

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису**

ГРИГОРАШ ЮРІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК: 606.636.087

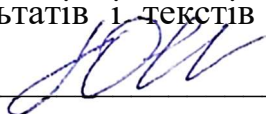
**РОЗРОБКА БІОТЕХНОЛОГІЇ БІОМАСИ СПІРУЛІНИ
ІЗ ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ СУЛЬФУРУ
ТА ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ ЗА ВИРОЩУВАННЯ СОБАК**

Спеціальність: 204 – Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва

Галузь знань: 20 – Аграрні науки та продовольство

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 Ю.В. Григораш

Науковий керівник:

Мерзлов Сергій Віталійович,

доктор с.-г. наук, професор

Біла Церква – 2025

АНОТАЦІЯ

Григораш Ю.В. **Розробка біотехнології біомаси спіруліни із підвищеним вмістом Сульфуру та її застосування за вирощування собак.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії із спеціальності 204 – Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва, Білоцерківський національний аграрний університет Міністерства освіти і науки України, Біла Церква, 2025.

У дисертаційній роботі наведено результати дослідження удосконалення елементів технології вирощування біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром, вивчення нешкідливості, гострої токсичності та подразнюючої дії біомаси синьо-зеленої водорості збагаченої Сульфуром на білих мишах, білих щурах та кролях, встановлення ефективності внесення біомаси спіруліни із підвищеним вмістом Сульфуру у раціони молодняку собак.

Дисертаційна робота підготовлена в умовах біолого-технологічного факультету Білоцерківського НАУ, яка є фрагментом наукової тематики «Розробка біотехнологій амінокислотно-мінеральних добавок із використанням одноклітинної водорості *Spirulina platensis* та личинок *Lucilia sericata* для вирощування телят» (№ держреєстрації 0124U000035).

Нині актуальним науково-практичним питанням є розроблення та удосконалення технологій, спрямованих на виробництво біологічно активних кормових добавок із вмістом елементів, які належать до есенціальних чинників живлення, використання яких у годівлі тварин сприяє підвищенню конверсії корму у масу тіла. Однією із таких кормових добавок є біомаса синьо-зеленої водорості спіруліни. В біомасі спіруліни міститься до 71,0 % білка на суху речовину, а також жиророзчинні та водорозчинні вітаміни, широкий спектр мінеральних речовин. Біомаса *Spirulina platensis* у організмі тварин проявляє імуномодулюючу, імуностимулюючу, антиоксидантну дію та здатність впливати на метаболічні процеси.

Серед мінеральних елементів в годівлі тварин важливе значення має Сульфур. Елемент є невід’ємним компонентом основних сірковмісних амінокислот. Мінерал входить до складу ензимів, білкових структур, бере участь в синтезі коензимів, вітамінів та гормонів. Недостатнє надходження Сульфуру у організм тварин супроводжується порушенням метаболізму.

Біомаса спіруліни здатна акумулювати мінеральні речовини із поживного середовища у якому її вирощують, зокрема Сульфур. Наразі не вивченою є технологія щодо збагачення біомаси спіруліни Сульфуром.

Науковий інтерес становить визначення токсичності біомаси спіруліни, збагаченої Сульфуром, та ефективності її використання за вирощування молодняку собак.

Під час реалізації мети наукової роботи вирішено завдання:

- встановити оптимальне джерело та дози Сульфуру, за якого максимально відбувається нарощування біомаси спіруліни;
- вивчити технологічні параметри вирощування біомаси спіруліни в середовищі із підвищеним вмістом Сульфуру;
- дослідити хімічний склад біомаси спіруліни, вирощеної на поживному середовищі із підвищеним вмістом Сульфуру;
- встановити гостру токсичність біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром;
- визначити подразнюючу дію біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром;
- вивчити вплив біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром у складі кормосуміші на ріст молодняку собак;
- дослідити біохімічні показники у крові цуценят за дії біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром;
- розрахувати економічну ефективність застосування у складі раціонів цуценят біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром.

Експериментальну частину роботи виконували із застосуванням сучасних та апробованих методів дослідження: біотехнологічних, хімічних, біохімічних, гематологічних, токсикологічних, зоотехнічних, математично-статистичних.

Здобувач особисто організував і виконав експерименти щодо встановлення оптимальних доз, джерел та технологічних параметрів збагачення біомаси спіруліни Сульфуром, дослідження цієї біомаси на нешкідливість, гостру токсичність та подразнюючу дію на лабораторних тваринах, доведення ефективності використання біомаси *Spirulina platensis* із підвищеним вмістом Сульфуру у складі раціонів молодняку собак. Виконав аналіз та статистичну обробку цифрового матеріалу, отриманого за постановки експериментів. Формування загальної схеми та мети досліджень, інтерпретацію отриманих результатів досліджень та їх узагальнення виконано за консультацій із науковим керівником, професором Сергієм Мерзловим.

Вивчаючи вплив різних доз (від 250,0 до 900,0 мг/дм³) Сульфуру у складі стандартного поживного середовища на нарощування біомаси спіруліни встановлено, що під час фази максимального нарощування біомаси культури (6–9 доба експерименту) за вмісту елемента у середовищі 700,0 мг/дм³ показник D збільшився на 42,8 %. На 16-ту добу культивування (завершення експерименту) за найбільшої дози Сульфуру у поживному середовищі (900,0 мг/дм³) виявлено, що надмірне накопичення Сульфуру у клітинах прискорює їх старіння.

Досліджуючи вплив підвищених доз Сульфуру у поживному середовищі за додавання глауберової солі доведено позитивний вплив дози 700,0 мг/дм³ на нарощування біомаси *Spirulina platensis*. За цієї дози встановлено статистично значуще збільшення виходу сухої маси спіруліни відносно показника у контрольній групі на 24,2 %.

Порівнюючи різні джерела Сульфуру на нарощування біомаси спіруліни виявлено, що за підвищення вмісту елемента у поживному середовищі до рівня 700,0 мг/дм³ за внесення глауберової солі вихід сухої речовини *Spirulina platensis* збільшується на 3,9 % відносно показника отриманого за використання аналогічної дози Сульфуру у аліментарній очищеній формі.

Встановлено, що від температури поживного середовища залежить інтенсивність нарощування біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром. Враховуючи масу отриманої біомаси *Spirulina platensis* та витрати енергії, необхідні для

нагрівання поживного середовища Заррука, оптимальною температурою для швидкого нарощування клітин культури збагачених Сульфуром є 35,0 °C.

Доведено, що для максимального нарощування біомаси синьо-зеленої водорості збагаченої Сульфуром необхідно у період із 1-ї до 4-ї доби культивування інтенсивність освітлення витримувати на рівні 1700 люкс, у першу фазу інтенсивного нарощування (5–8-ма доба) освітлення має становити 2700 люкс, до 9-ї доби культивування на поверхню поживного середовища має падати світло з інтенсивністю 3700 люкс, на завершальному етапі культивування культури інтенсивність освітлення необхідно збільшувати до 5000 люкс.

Для підвищення нарощування біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром та зменшення витрат на освітлення доцільно у період початку інтенсивного нарощування клітин товщину поживного середовища у фітореакторах знижувати до 5,0 см.

Встановлено, що із підвищенням вмісту Сульфуру у поживному середовищі вміст цього елемента у біомасі *Spirulina platensis* зростає, що підтверджує здатність спіруліни акумулювати його у своїх клітинах. За вирощування культури в поживному середовищі із вмістом Сульфуру 700,0 мг/дм³ за додавання глауберової солі вміст елемента у біомасі спіруліни збільшується у 2,01 рази відносно показника у біомасі синьо-зеленої водорості, вирощеній на стандартному поживному середовищі.

За культивування клітин спіруліни в поживному середовищі із оптимальним вмістом Сульфуру виявлено тенденцію щодо підвищення у клітинах мікроводорості загального білка, хлорофілу, лізину, аргініну, гістидину, валіну, ізолейцину, серину, гліцину та статистично значуще підвищення вмісту тирозину і метіоніну.

На другому етапі дослідження встановлювали показники нешкідливості та токсичності біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром. Доведено, що за внутрішньошлункового введення 0,35 см³ 50,0 % суспензії кормової добавки загибелі білих мишей не виявлено. За патолого-анатомічного дослідження встановлено, що стан внутрішніх органів цих тварин не мав відмінностей порівняно

з мишами контрольної групи. Не виявлено у дослідних тварин статистично значущого збільшення або зменшення вмісту загальних, білкових і низькомолекулярних тіолових груп, загального білка, активності амінотрансфераз у печінці, вмісту глюкози, Кальцію, гемоглобіну у крові, Купруму та Кобальту у м'язовій тканині у порівнянні із контролем.

Виявлено, що біомаса спіруліни збагачена Сульфуром належить до малотоксичних речовин – 4 клас. DL_{50} біомаси синьо-зеленої водорості за внутрішньошлункового введення лабораторним тваринам (білі миші та щурі) є більшою 5000 мг/кг.

Вивчаючи подразнюючу дію на кролях було доведено, що біомаса синьо-зеленої водорості збагачена Сульфуром не справляє подразнюючої дії за нанесення її на слизові оболонки очей лабораторних тварин. Помірне виділення сліз продовж перших 12 годин обґрунтовується залишками лугів на поверхні клітин спіруліни, які сорбувались із поживного середовища, рН якого становить 12,1–12,5. За вивчення подразнюючої дії у кролів не виявлено статистично значущого відхилення від фізіологічної норми вмісту загального білка, гемоглобіну, Кальцію, глюкози, сульфогідрильних груп та активності амінотрансфераз у крові.

Встановлено низку закономірностей за згодовування молодняку собак (віком від 75- до 126-ти діб) кормосуміші із вмістом від 0,5 до 1,5 % біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром. Доведено, що наприкінці експерименту найбільша маса тіла (статистично значуща) була у цуценят, які споживали раціон із вмістом 1,0 та 1,5 % біомаси спіруліни відносно тварин, які споживали кормосуміш (контроль) без вмісту біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром. За порівняння маси тіла тварин із дослідних груп встановлено, що різниця між ними була в межах 0,1 %. Незначна різниця маси тіла між групами з економічного погляду дає підстави рекомендувати для подальшого використання дозу біомаси спіруліни збагачену Сульфуром – 1,0 %. Найбільший середньодобовий приріст було встановлено у цуценят, які споживали кормосуміш із вмістом 1,0 % біомаси спіруліни.

Вміст гемоглобіну у крові цуценят, які споживали кормосуміш із вмістом 1,0 та 1,5 % біомаси синьо-зеленої мікродорості був статистично вищим у порівнянні

із контролем. Кількість лейкоцитів та еритроцитів у крові цуценят із цих дослідних груп відповідала фізіологічній нормі.

Споживання цуценятами кормосуміші із вмістом 1,0 та 1,5 % біомаси синьо-зеленої водорості приводить до підвищення активності аспартатамінотрансфери у сироватці крові на статистично значущу величину у порівнянні із контрольною групою. Підвищення активності ензиму у крові дослідних собак було в межах фізіологічної норми. Аналогічні результати встановлено щодо активності аланінамінотрансфери у сироватці крові молодняку собак.

Доведено, що за використання найбільшої дози біомаси спіруліни у складі кормосуміші встановлено статистично значуще збільшення вмісту загальних сульфогідрильних груп у сироватці крові цуценят відносно показника у контрольній групі. На статистично значущу величину збільшується вміст білкових тіолових груп у сироватці крові тварин, які споживали кормосуміш із вмістом 1,0 та 1,5 % біомаси спіруліни.

Встановлено, що включення до складу кормосуміші 1,0 % біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром обумовлює статистично значуще підвищення вмісту загального білка та тенденцію щодо підвищення вмісту альбуміну у сироватці крові молодняку собак.

За проведення виробничої перевірки доведено, що за вмісту у складі раціону 1,0 % біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром маса тіла цуценят збільшується на 3,3 % відносно контрольної групи.

Математичним методом, враховуючи дані виробничої перевірки було встановлено, що включення до раціонів 1,0 % біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром приводить до зменшення собівартості одного кілограма приросту цуценят на 6,3 %.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше удосконалено спосіб збагачення біомаси спіруліни Сульфуром. Доведено оптимальну концентрацію, джерело Сульфуру за культивування клітин синьо-зеленої водорості. Встановлено оптимальну температуру, інтенсивність освітлення, товщину поживного середовища за збагачення біомаси спіруліни Сульфуром.

Під час постановки експериментів на білих мишах, білих щурах та кролях доведено, що біомаса спіруліни належить до нешкідливих, малотоксичних речовин.

Доведено ефективність використання біомаси синьо-зеленої водорості збагаченої Сульфуром у складі раціонів для молодняку собак.

Вивчено гематологічні, хімічні, біохімічні показники у крові та сироватці крові цуценят, яким згодовували кормосуміш із різним вмістом біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром.

Практичне значення результатів досліджень. Доведено, що за підвищення вмісту Сульфуру у стандартному поживному середовищі Заррука до 700,0 мг/дм³ за внесення глауберової солі збільшується нарощування біомаси синьо-зеленої водорості спіруліни на 27,9 % (за оптичною густиною) із вмістом Сульфуру 5,43 г/кг.

Встановлено, що оптимальними технологічними умовами нарощування біомаси спіруліни із підвищеним вмістом Сульфуру є: інтенсивність освітлення 1–4-та доба – 1700 люкс; 5–7-ма доба – 2700 люкс; 8–9-та доба – 3700 люкс; 10–13-та доба – 5000 люкс, температура – 35,0 °С.

Експериментально виявлено, що біомаса спіруліни збагачена Сульфуром належить до малотоксичних речовин – 4 клас. DL₅₀ біомаси синьо-зеленої водорості за внутрішньошлункового введення лабораторним тваринам є більшою 5000 мг/кг.

Встановлено, що додавання до раціонів (кормосуміші) молодняку собак біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром у кількості 1,0 % від маси стимулює підвищення ваги цуценят на 3,3 % ($p \leq 0,05$), сприяє зниженню витрат корму на 1 кг приросту на 7,0 %, зменшенню собівартості одного кілограма приросту тварин на 6,3 % відносно контрольної групи.

За даними дисертаційної роботи підготовлено методичні рекомендації для виробництва щодо збагачення біомаси синьо-зеленої водорості спіруліни Сульфуром та використання її у складі кормосуміші під час вирощування молодняку собак. Рекомендації вивчені та затверджені радою біолого-

технологічного факультету Білоцерківського національного аграрного університету (Протокол № 4 від 29 листопада 2024 р.).

Дані дисертаційної роботи можна використовувати за викладання дисциплін: «Прикладна біотехнологія», «Годівля тварин», «Технологія гідробіонтів», у вищих навчальних закладах під час підготовки фахівців за освітніми програмами: “Біотехнологія та біоінженерія”, «Водні біоресурси та аквакультура», “Технологія виробництва та переробки продукції тваринництва”.

Ключові слова: синьо-зелена водорість, фітореактор, поживне середовище, хлорофіл, нешкідливість, гостра токсичність, подразнююча дія, білі миші, білі щурі, кролі, прирости цуценят, біохімічні показники крові, гематологічні показники крові, кормосуміш.

ABSTRACT

Hryhorash Y.V. Development of biotechnology of spirulina biomass with high sulphur content and its application in dog breeding – Qualification scientific work on the rights of manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in speciality 204 - Technology of Livestock Products Production and Processing, Bila Tserkva National Agrarian University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Bila Tserkva, 2025.

The thesis presents the results of a study of the improvement of elements of the technology for growing spirulina biomass enriched with Sulphur, the study of harmlessness, acute toxicity and irritant effects of blue-green algae biomass enriched with Sulphur on white mice, white rats and rabbits, and the establishment of the effectiveness of introducing spirulina biomass with a high Sulphur content into the diets of young dogs.

The thesis was prepared at the Faculty of Biotechnology at Bila Tserkva National Agricultural University and is a part of the scientific topic ‘Development of biotechnologies of amino acid and mineral additives using the unicellular algae *Spirulina platensis* and *Lucilia sericata* larvae for calf rearing’ (state registration number 0124U000035).

The development and improvement of technologies aimed at the production of biologically active feed additives containing elements that belong to the essential nutritional factors, the use of which in animal feeding contributes to an increase in the conversion of feed into body weight that is an urgent scientific and practical issue. One of these feed additives is the biomass of the blue-green algae spirulina. Spirulina biomass contains up to 71.0% protein on a dry matter basis. The algae's biomass contains fat-soluble and water-soluble vitamins and a wide range of important minerals. The biomass of *Spirulina platensis* in the body of animals has an immunomodulating, immunostimulating, antioxidant effect and the ability to influence metabolic processes.

Sulphur is an important mineral element in animal nutrition. The element is an integral component of the main sulphur-containing amino acids. The mineral is a part of enzymes, protein structures, and is involved in the synthesis of coenzymes, vitamins and hormones. Insufficient intake of Sulphur in the body is accompanied by metabolic disorders in animals.

Spirulina biomass is able to accumulate minerals from the nutrient medium in which it is grown, including sulphur. The technology for enriching spirulina biomass with sulphur hasn't been studied yet.

The scientific interest is to determine the toxicity of spirulina biomass enriched with sulphur and the effectiveness of its use in the rearing of young dogs.

During the implementation of the purpose of the scientific work, the following tasks have been solved:

- to establish the optimal source and dose of Sulphur at which the maximum growth of spirulina biomass takes place;
- to study the technological parameters of growing spirulina biomass in an environment with a high content of Sulfur;
- to investigate the chemical composition of spirulina biomass grown on a nutrient medium with a high content of Sulfur;
- to determine the acute toxicity of *Spirulina platensis* biomass enriched with Sulphur;

- to determine the irritating effect of *Spirulina platensis* biomass enriched with Sulphur;
- to study the effect of *Spirulina platensis* biomass enriched with Sulphur in the composition of the feed mixture on the growth of young dogs;
- to study the biochemical parameters in the blood of puppies under the influence of *Spirulina platensis* biomass enriched with Sulfur;
- to calculate the economic efficiency of the use of *Spirulina platensis* biomass enriched with Sulfur in puppy diets.

The experimental part has been carried out using modern and proven research methods: biotechnological, chemical, biochemical, haematological, toxicological, zootechnical, mathematical and statistical.

The applicant personally organised and carried out experiments to establish optimal doses, sources and technological parameters of enrichment of *Spirulina platensis* biomass with Sulphur, to study this biomass for harmlessness, acute toxicity and irritant effects in laboratory animals, to prove the effectiveness of using *Spirulina platensis* biomass with a high content of Sulphur in the diet of young dogs. He performed the analysis and statistical processing of digital data obtained by setting up experiments. The formation of the general scheme and purpose of the research, interpretation of the research results and their generalisation were carried out in consultation with the supervisor, Professor Serhii MERZLOV.

By studying the effect of different doses (from 250.0 to 900.0 mg/dm³) of Sulfur in the standard culture medium on the growth of spirulina biomass, it was found that during the phase of maximum biomass growth of the culture (6-9 days of the experiment) at the content of the element in the medium of 700.0 mg/dm³, the D index increased by 42.8 %. On the 16th day of cultivation (end of the experiment), at the highest dose of Sulfur in the culture medium (900.0 mg/dm³), it was found that excessive accumulation of Sulfur in cells accelerates their aging.

Investigating the effect of increased doses of Sulfur in the nutrient medium by adding glauher's salt, a positive effect of a dose of 700.0 mg/dm³ on the growth of *Spirulina platensis* biomass has been proved. At this dose, a statistically significant

increase in the yield of dry mass of *Spirulina platensis* was found by 24.2 % compared to the control group.

Comparing different sources of Sulphur for the growth of spirulina biomass, it was found that increasing the element content in the nutrient medium to a dose of 700.0 mg/dm³ by adding galberic salt increased the dry matter yield of *Spirulina platensis* by 3.9% compared to the value obtained by using a similar dose of Sulphur in the alimentary, purified form.

It has been established that the intensity of biomass growth of Sulfur-enriched *Spirulina platensis* depends on the temperature of the culture medium. Taking into account the mass of the obtained *Spirulina platensis* biomass and the energy consumption required for heating the Zarrouk nutrient medium, the optimal temperature for the rapid growth of Sulfur-enriched culture cells is 35.0 °C. It was proved that for maximum biomass growth of blue-green algae enriched with sulphur, it is necessary to maintain the light intensity at 1700 lux from the 1st to the 4th day of cultivation, in the first phase of intensive growth (5-8th day) the light intensity should be at 2700 lux, by the 9th day of cultivation light with an intensity of 3700 lux should fall on the surface of the culture medium, at the final stage of culture cultivation the light intensity should be increased to 5000 lux.

To increase the growth of biomass of *Spirulina platensis* enriched with Sulphur and reduce lighting costs, it is advisable to reduce the thickness of the culture medium in phytoreactors to 5.0 cm during the period of intensive cell growth.

It was found that with increasing Sulphur content in the nutrient medium, the content of this element in the biomass of *Spirulina platensis* increases, which confirms the ability of spirulina cells to accumulate it in their cells. When the culture was grown in a nutrient medium containing 700.0 mg/dm³ of Sulphur, the element's content in the biomass of *Spirulina platensis* increased by 2.01 times compared to the biomass of the blue-green algae grown in standard nutrient medium due to the addition of glauber's salt.

Cultivation of spirulina cells in a nutrient medium with an optimal Sulphur content revealed a tendency to increase total protein, chlorophyll, lysine, arginine, histidine,

valine, isoleucine, serine, glycine, and a statistically significant increase in tyrosine and methionine content in the microalgae cells.

At the second stage of the study, the indicators of harmlessness and toxicity of spirulina biomass enriched with sulphur were determined. It was proved that no deaths of squirrels were detected after intragastric administration of 0.35 cm³ of 50.0 % feed additive suspension. The pathological and anatomical examination revealed that the condition of the internal organs of these animals did not differ from the condition of the internal organs of mice from the control group. There was no statistically significant increase or decrease in the content of total, bilical and low molecular weight thiol groups, total protein, aminotransferase activity in the liver, glucose, calcium, haemoglobin in the blood, copper and cobalt in muscle tissue in the experimental animals compared to the control.

It was found that the spirulina biomass enriched with sulphur belongs to low-toxic substances - class 4. The DL₅₀ of the blue-green algae biomass when administered intragastrically to laboratory animals (white mice and rats) is more than 5000 mg/kg.

The study of irritant effect on rabbits proved that the biomass of blue-green algae enriched with sulphur does not cause irritant effect when applied to the mucous membranes of the eyes of laboratory animals. Moderate tear secretion during the first 12 hours is justified by the alkali residues on the surface of spirulina cells, which were sorbed from the culture medium with a pH of 12.1-12.5. The study of the irritant effect in rabbits revealed no statistically significant deviation from the physiological norm of total protein, haemoglobin, calcium, glucose, sulfohydryl groups and aminotransferase activity in the blood.

A number of regularities have been established when feeding young dogs (aged 75 to 126 days) with a feed mixture containing 0.5 to 1.5 % of spirulina biomass enriched with sulfur. It was proved that at the end of the experiment, the highest body weight (statistically significant) was observed in puppies consuming a diet containing 1.0 and 1.5 % of spirulina biomass compared to animals consuming a feed mixture (control) without *Spirulina platensis* biomass enriched with Sulfur. When comparing the body weights of the experimental groups, it was found that the difference between

them was within 0.1%. The insignificant difference in body weight between the groups from an economic point of view gives grounds to recommend a dose of spirulina biomass enriched with Sulphur - 1.0 % for further use. The highest average daily weight gain was found in puppies fed a feed mixture containing 1.0 % spirulina biomass.

The haemoglobin content in the blood of puppies consuming feed mixtures containing 1.0 and 1.5 % of blue-green microalgae biomass was statistically higher compared to the control. The number of leukocytes and erythrocytes in the blood of puppies from these experimental groups corresponded to the physiological norm.

Consumption of a feed mixture containing 1.0 and 1.5 % of blue-green algae biomass by puppies leads to an increase in serum aspartate aminotransferase activity by a statistically significant amount compared to the control group. The increase in the enzyme activity in the blood of experimental dogs was within the physiological norm. Similar results were found for the activity of alanine aminotransferase in the blood serum of young dogs.

It has been proved that the use of the highest dose of spirulina biomass in the feed mixture resulted in a statistically significant increase in the content of total sulfohydryl groups in the blood serum of puppies compared to the control group. The content of protein thiol groups in the blood serum of animals consuming feed mixtures containing 1.0 and 1.5 % of spirulina biomass increased by a statistically significant amount.

It was found that the inclusion of 1.0 % of spirulina biomass enriched with sulphur in the feed mixture caused a statistically significant increase in the total protein content and a tendency to increase the albumin content in the blood serum of young dogs.

During production testing, it has been proven that when the diet contains 1.0% of spirulina biomass enriched with sulphur, the body weight of puppies increases by 3.3% compared to the control group.

Using a mathematical method, taking into account the data from the production test, it was found that the inclusion of 1.0% of *Spirulina platensis* biomass enriched with sulphur in the diets leads to a 6.3% reduction in the cost per kilogram of puppy weight gain.

Scientific novelty of the results. The method of enrichment of spirulina biomass with Sulphur has been improved for the first time. The optimal concentration and source of Sulphur for the cultivation of blue-green algae cells have been proved. The optimum temperature, light intensity, and thickness of the culture medium for the enrichment of spirulina biomass with Sulfur have been determined.

Experiments on white mice, white rats and rabbits have shown that spirulina biomass is a harmless, low-toxic substance. The effectiveness of the use of biomass of blue-green algae enriched with sulfur as part of rations for young dogs has been proven.

The haematological, chemical, biochemical parameters in blood and serum of puppies fed with a feed mixture with different content of *Spirulina platensis* biomass enriched with sulphur were studied.

Practical significance of the research results. It was proved that by increasing the Sulphur content in the standard Zarrouk nutrient medium to 700.0 mg/dm³ due to the introduction of glauber's salt, the biomass growth of the blue-green algae *Spirulina* increased by 27.9 % (by optical density) with a Sulphur content of 5.43 g/kg.

It was found that the optimal technological conditions for the growth of spirulina biomass with a high sulphur content are: light intensity 1-4 days - 1700 lux; 5-7 days - 2700 lux; 8-9 days - 3700 lux; 10-13 days - 5000 lux, temperature - 35.0 °C.

Experimentally, it was found that spirulina biomass enriched with sulphur belongs to low-toxic substances - class 4. The DL₅₀ of the blue-green algae biomass when administered intragastrically to laboratory animals is more than 5000 mg/kg.

It was found that the addition of *Spirulina platensis* biomass enriched with Sulphur in the amount of 1.0 % by weight to the diets (feed mixture) of young dogs stimulates an increase in puppy weight by 3.3 % ($p \leq 0.05$), reduces feed costs per 1 kg of weight gain by 7.0 %, and reduces the cost per kilogram of animal weight gain by 6.3 % compared to the control group.

According to the data of the dissertation, methodological recommendations for production on the enrichment of the biomass of the blue-green algae *Spirulina* with Sulfur and its use in the composition of the feed mixture for growing young dogs were prepared. The recommendations have been reviewed and approved by the Council of the Faculty of

Biology and Technology of Bila Tserkva National Agrarian University (Protocol No. 4 of 29 November 2024).

The data of the thesis can be used in teaching the following disciplines: ‘Applied Biotechnology’, “Animal Feeding”, “Technology of Hydrobionts”, in higher education institutions during the training of specialists in educational programmes: ‘Biotechnology and Bioengineering, Aquatic Bioresources and Aquaculture, and Technology of Livestock Production and Processing.

Key words: blue-green algae, phytoreactor, nutrient medium, chlorophyll, harmlessness, acute toxicity, irritant effect, white mice, white rats, rabbits, puppy gains, blood biochemical parameters, blood haematological parameters, feed mixture.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. **Григораш Ю., Мерзлов С.В.** Перевірка показників нешкідливості та токсичності спіруліни збагаченої сульфуром на білих мишах. Наукові доповіді НУБіП України, 20(6), 9-19. <https://doi.org/10.31548/dopovidi/6.2024.09> (0,31 д.а.; дисертант узагальнив матеріали і брав участь у підготовці статті)

2. **Григораш Ю., Мерзлов С.В.** Подразнююча дія та ефективність включення у раціони молодняку собак біомаси спіруліни, збагаченої Сульфуром. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2024. № 2. С. 79–84. doi: 10.33245/2310-9289-2024-190-2-79-84 (0,2 д.а.; дисертант узагальнив матеріали і брав участь у підготовці статті)

3. **Григораш Ю., & Мерзлов С.** (2024). Нарощування біомаси *Spirulina platensis* як кормової добавки за різних доз сульфуру у поживному середовищі. НВ ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Сільськогосподарські науки, 26(101), 217-222. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a10134> (0,2 д.а.; дисертант узагальнив матеріали і брав участь у підготовці статті)

Матеріали науково-практичних конференцій:

4. Мерзлов С.В., Осіпенко І.С., **Григораш Ю.В.** Показники оптичної густини поживного середовища із *spirulina platensis* за підвищеного вмісту у ньому сульфуру та різних режимів освітлення. Сучасний розвиток технологій тваринництва. Інноваційні підходи у харчових технологіях: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. 3 жовтня 2024 р. м. Білоцерківський НАУ, 63-65 с. (0,09 д.а.; дисертант узагальнив матеріали і брав участь у підготовці написання тез)

Рекомендації:

5. **Григораш В.Ю.** Рекомендації щодо збагачення біомаси спіруліни Сульфуром та її використання у раціонах молодняку собак / В.Ю. Григораш, С.В. Мерзлов. – Біла Церква. – 12 с. (0,4 д.а.; дисертант узагальнив матеріали і брав участь у підготовці рекомендацій)

ЗМІСТ

	Вступ.....	20
	РОЗДІЛ І. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	26
1.1.	Значення Сульфуру для біоб'єктів.....	26
1.2.	Характеристика спіруліни та технологія її культивування.....	39
1.3.	Використання біомаси спіруліни.....	46
	РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	49
2.1.	Матеріали і місце проведення досліджень.....	49
2.2.	Методи дослідження показників.....	57
	РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	59
3.1.	Дослідження технології збагачення біомаси спіруліни Сульфуром..... ...	59
3.1.1	Вивчення різних доз і джерел Сульфуру за нарощування біомаси . спіруліни.....	59
3.1.2	Хімічні та біохімічні показники спіруліни..... .	69
3.1.3	Встановлення впливу технологічних параметрів на ріст культури в . поживному середовищі із підвищеним вмістом Сульфуру.....	87
3.2.	Доклінічні дослідження біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром.....	96
3.2.1	Встановлення нешкідливості біомаси спіруліни збагаченої . Сульфуром.....	96
3.2.2	Вивчення гострої токсичності біомаси спіруліни..... .	10 1
3.2.3	Встановлення подразнюючої дії біомаси <i>Spirulina platensis</i>	10 4

3.3.	Встановлення ефективності додавання до раціонів молодняку собак біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром.....	10 8
3.3.1	Жива маса та прирости цуценят за згодовування їм біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром.....	10 8
3.3.2	Гематологічні та біохімічні показники у молодняку собак.....	11 3
3.4.	Виробнича перевірка використання біомаси спіруліни у складі раціонів молодняку собак.....	11 7
3.5.	Економічна ефективність додавання біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром до кормосуміші для молодняку собак.....	11 8
4	АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	12 0
	ВИСНОВКИ.....	13 0
	ПРОПОЗИЦІЇ.....	13 2
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	13 3
	ДОДАТКИ.....	15 1

ВСТУП

Актуальність проблеми. З метою підвищення трансформації поживних речовин із кормів в організм тварин до них додають добавки із вмістом біологічно активних речовин та мінералів. За додавання таких кормових добавок реалізується генетичний потенціал щодо росту, підвищується обмін речовин та резистентність організму тварин. До таких кормових добавок можна віднести біомасу синьо-зеленої водорості спіруліни [43]. В біомасі спіруліни міститься від 43,0 до 71,0 % білка на суху речовину, а також жиророзчинні та водорозчинні вітаміни, широкий спектр мінеральних речовин [16, 43]. Біомаса *Spirulina platensis* у організмі тварин проявляє імуномодулюючу, імуностимулюючу, антиоксидантну дію та здатність впливати на метаболічні процеси [35, 43].

Серед мінеральних елементів в годівлі тварин важливе значення має Сульфур. Елемент є невід'ємним компонентом основних сірковмісних амінокислот. Мінерал входить до складу ензимів, білкових структур, бере участь в синтезі коензимів, вітамінів та гормонів. Недостатнє надходження Сульфуру у організм тварин супроводжується порушенням метаболізму [65, 88].

Біомаса спіруліни здатна акумулювати мінеральні речовини із поживного середовища у якому її вирощують, зокрема Сульфур. Наразі не вивченою є технологія щодо збагачення біомаси спіруліни Сульфуром.

Науковий інтерес становить визначення токсичності біомаси спіруліни, збагаченої Сульфуром, та ефективності її використання за вирощування молодняку собак.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота є елементом наукової тематики Інституту тваринництва та харчових технологій Білоцерківського НАУ: «Розробка біотехнологій амінокислотно-мінеральних добавок із використанням одноклітинної водорості *Spirulina platensis* та личинок *Lucilia sericata* для вирощування телят» (№ держреєстрації 0124U000035), яка виконується впродовж 2020–2025 рр.

Мета і завдання дослідження. Метою є відпрацювання технології збагачення біомаси спіруліни Сульфуром, встановлення її нешкідливості, гострої токсичності

на лабораторних тваринах та виявлення ефективності використання у складі раціонів за вирощування молодняку собак.

Для реалізації мети дослідження були сформовані наступні завдання:

- встановити оптимальне джерело та дози Сульфуру, за якого максимально відбувається нарощування біомаси спіруліни;
- вивчити технологічні параметри вирощування біомаси спіруліни в середовищі із підвищеним вмістом Сульфуру;
- дослідити хімічний склад біомаси спіруліни, вирощеної на поживному середовищі із підвищеним вмістом Сульфуру;
- встановити гостру токсичність біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром;
- визначити подразнюючу дію біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром;
- вивчити вплив біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром у складі кормосуміші на ріст молодняку собак;
- дослідити біохімічні показники у крові цуценят за дії біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром;
- розрахувати економічну ефективність застосування у складі раціонів цуценят біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром.

Об'єкт дослідження – розробка технології збагачення біомаси спіруліни Сульфуром, вивчення її нешкідливості та ефективності використання у складі раціонів молодняку собак.

Предмет дослідження – біомаса спіруліни, поживне середовище, технологія збагачення біомаси спіруліни Сульфуром, глауберова сіль, аліментарний Сульфур, білі миші, білі щурі, кролі, цуценята, кров молодняку собак.

Методи дослідження – біотехнологічні – розробка елементів технології збагачення біомаси синьо-зеленої водорості Сульфуром;

– зоотехнічні – вивчення методом груп-аналогів впливу біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром у складі кормосуміші на ріст та масу тіла молодняку собак;

– хімічний аналіз – вивчення вмісту Кальцію у крові, мікроелементів (Купрум та Кобальт) у м'язовій тканині лабораторних тварин, вивчення вмісту Сульфуру у біомасі спіруліни;

– гематологічні – дослідження кількості еритроцитів та лімфоцитів у крові молодняку собак;

– біохімічні – дослідження вмісту загального білка, сульфогідрильних груп, альбуміну, глюкози, гемоглобіну, активності ензимів (аспартатамінотрансфераза АсАт, аланінамінотрансфераза АлАт, лужна фосфатаза) в крові білих мишей та молодняку собак; вмісту загального білка, амінокислот та хлорофілу у біомасі синьо-зеленої водорості спіруліни;

– технологічні – встановлення температури повітря і поживного середовища, інтенсивності освітлення та оптичної густини поживного середовища;

– математично-статистичні – обрахунок середнього арифметичного, похибки до нього, розрахунок економічної ефективності включення у раціони молодняку собак біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше удосконалено спосіб збагачення біомаси спіруліни Сульфуром. Доведено оптимальну концентрацію, джерело Сульфуру за культивування клітин синьо-зеленої водорості. Встановлено оптимальну температуру, інтенсивність освітлення, товщину поживного середовища за збагачення біомаси спіруліни Сульфуром.

За постановки експериментів на білих мишах, білих щурах та кролях доведено, що біомаса спіруліни належить до нешкідливих, малотоксичних речовин.

Доведено ефективність використання біомаси синьо-зеленої водорості збагаченої Сульфуром у складі раціонів для молодняку собак.

Вивчено гематологічні, хімічні, біохімічні показники у крові та сироватці крові цуценят, яким згодовували кормосуміш із різним вмістом біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром.

Практичне значення результатів досліджень. Доведено, що за підвищення вмісту Сульфуру у стандартному поживному середовищі Заррука до 700,0 мг/дм³ за внесення глауберової солі збільшується нарощування біомаси синьо-зеленої

водорості спіруліни на 27,9 % (за оптичною густиною) із вмістом Сульфуру 5,43 г/кг.

Встановлено, що оптимальними технологічними умовами нарощування біомаси спіруліни із підвищеним вмістом Сульфуру є: інтенсивність освітлення 1–4-та доба – 1700 люкс; 5–7-ма доба – 2700 люкс; 8–9-та доба – 3700 люкс; 10–13-та доба – 5000 люкс, температура – 35,0 °C.

Експериментально виявлено, що біомаса спіруліни збагачена Сульфуром належить до малотоксичних речовин – 4 клас. DL_{50} біомаси синьо-зеленої водорості за внутрішньошлункового введення лабораторним тваринам є більшою 5000 мг/кг.

Встановлено, що додавання до раціонів (кормосуміші) молодняку собак біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром у кількості 1,0 % від маси стимулює підвищення ваги цуценят на 3,3 % ($p \leq 0,05$), сприяє зниженню витрат корму на 1 кг приросту на 7,0 %, зменшенню собівартості одного кілограма приросту тварин на 6,3 % відносно контрольної групи.

За даними дисертаційної роботи підготовлено методичні рекомендації для виробництва щодо збагачення біомаси синьо-зеленої водорості спіруліни Сульфуром та використання її у складі кормосуміші під час вирощування молодняку собак. Рекомендації вивчені та затверджені радою біолого-технологічного факультету Білоцерківського національного аграрного університету (Протокол № 4 від 29 листопада 2024 р.).

Дані дисертаційної роботи можна використовувати за викладання дисциплін: «Прикладна біотехнологія», «Годівля тварин», «Технологія гідробіонтів», у вищих навчальних закладах під час підготовки фахівців за освітніми програмами: “Біотехнологія та біоінженерія”, «Водні біоресурси та аквакультура», “Технологія виробництва та переробки продукції тваринництва”.

Особистий внесок здобувача. Дисертант особисто провів моніторинг, збір, вивчення і аналіз наукових першоджерел за темою дисертаційної роботи, виконав експериментальну частину щодо розробки елементів технології збагачення біомаси

спірулірни Сульфуром, встановлення її нешкідливості, гострої токсичності та ефективності використання за вирощування молодняку собак.

Організував та виконав виробничу перевірку, провів статистичні розрахунки даних досліджень. Автор оприлюднив результати власних досліджень в тезах, статтях і доповідях та підготував дисертаційну роботу.

Визначення вмісту амінокислот у біомасі спіруліни нативної і збагаченої Сульфуром проводили за допомоги співробітників Науково-дослідного контрольного інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок м. Львів, за що дисертант щиро дякує.

Підготовку загальної схеми наукових досліджень, аналіз отриманих результатів досліджень, формування висновків та пропозицій для виробництва здійснено за допомоги наукового керівника – доктора сільськогосподарських наук, професора, директора НДІ тваринництва та харчових технологій Білоцерківського НАУ С.В. Мерзлова.

Апробація результатів досліджень. Результати експериментів дисертант оприлюднював на засіданнях академічної ради та вченої ради біолого-технологічного факультету Білоцерківського національного аграрного університету (2021–2024 рр.), Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти «Молодь – аграрній науці і виробництву» (Біла Церква, 2023), Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасний розвиток технологій тваринництва. Інноваційні підходи у харчових технологіях» (Біла Церква, 2024), на засіданні Круглого столу «Сучасні проблеми кінології» в кінологічному клубі «DOGARM. COMPANY» (м. Київ, 2024).

Публікації. Отримані експериментальні дані за темою дисертаційної роботи опубліковано у 5 наукових працях: 3 статтях у фахових виданнях, які входять до переліку ДАУ України; 1 тезах – матеріалів наукової конференції, одних методичних рекомендаціях виробництву.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Кваліфікаційна робота має розділи та додатки: анотацію; вступ; розділ I (огляд літератури); розділ II (матеріали і методи дослідження); розділ III (результати власних досліджень);

розділ IV (аналіз та узагальнення результатів досліджень); висновки, пропозиції для виробництва; список використаних джерел та додатки. Робота викладена на 158 сторінках комп'ютерного тексту, містить 6 рисунків і 39 таблиць. Список літератури включає 165 джерел, зокрема 122 – латиницею.

РОЗДІЛ I

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Значення Сульфуру для біооб'єктів

Сульфур є біологічно важливим для рослинного, тваринного та людського організму. У рослинних клітинах значення Сульфуру полягає в забезпеченні фізіологічного росту та захисту від низки патогенів [124]. У тваринних організмах Сульфур є основним компонентом сірковмісних амінокислот (SAA) цистеїну та метіоніну [88].

За даними [88], Сульфур бере участь у синтезі ключових сполук, які мають важливе значення у імунній системі та гомеостазі. До таких сполук можливо віднести ряд гормонів, γ -глутаміл-цистеїн-гліцин, S-аденозилметіонін, ліпоєву кислоту, тіамін, біотин, ензими, коферменти (КоА).

Сполуки, які містять Сульфур є невід'ємним компонентом N-ацетилцистеїну, глутатіону (GSH), ряду антиоксидантів та ліпоєвої кислоти [65].

Для ефективного включення Сульфуру у метаболічні процеси у тваринному організмі елемент має надходити у органічній формі. Мікрободорості та бактеріальні клітини Сульфур можуть засвоювати у різних формах [76].

У організм тварин і людини Сульфур надходить у складі харчових продуктів та кормів рослинного і тваринного походження [116]. Сульфур у такій формі перебуває у складі амінокислот чи у складі вторинних сірковмісних метаболітів. Із цих сполук у тваринному організмі синтезуються тканини та органи. Вторинні метаболіти із вмістом Сульфуру рослинного походження мають важливе значення в перебізі антиоксидантних і протизапальних процесів [76].

У тваринному організмі Сульфур бере активну участь у біологічних процесах антиоксидантного захисту, що є важливим для підтримки здоров'я [122].

Сульфур в навколишньому середовищі широко зустрічається в різних формах: у вигляді сірчистих газів, вільного елемента, неорганічних сульфатів та сульфідів, оксидів сульфуру та у зв'язаних сірковмісних сполуках у рослинних і тваринних організмах [68, 147, 149].

Великим джерелом неорганічної сірки є морські (водні) середовища (до якого входять лимани, водно-болотні угіддя та солончаки). Різноманітні мікроорганізми, зокрема фітопланктон, водорості, бактерії, продукують в атмосферу сірководень (H_2S) та сірчані гази [76, 147].

Значна кількість Сульфуру виділяється за технології використання і переробки кам'яного вугілля, природних мінералів та нафтопродуктів [68].

Також наземним джерелом Сульфуру можуть бути термальні джерела і вулканічні викиди. Елемент із цих джерел потрапляє у наземне водне середовище [76, 85].

Глобальний цикл Сульфуру передбачає рух і трансформацію його між водним, наземним та атмосферним середовищем. Через глобальний кругообіг Сульфур надходить в тканини рослин у відновленій формі. Елемент проходить складні адаптивні механізми, на які впливає доступність та умови навколишнього середовища [85].

Елемент біологічно необхідний для синтезу вітамінів, білків, ензимів і захисних сполук у рослинах, а також для засвоєння та оптимального використання Нітрогену для підвищення врожайності [116, 85].

Сульфур є важливим елементом для росту та здоров'я всіх рослин. Нестача елемента призводить до затримки утворення клітин та росту рослин, зниження захисту рослин та їх врожайності [85, 105, 116]. Для підвищення врожаїв сільськогосподарських культур на різних етапах вегетації часто застосовують добрива із високим вмістом Сульфуру [105, 127].

Засвоєння Сульфуру рослинами, насамперед залежить від концентрація цього елемента у легкодоступній формі в ґрунті, а також впливу транспортерів Сульфуру [79, 116].

На засвоєння Сульфуру та його трансформацію у різні сполуки впливають не лише абіотичні чинники навколишнього середовища (температура, вміст води, вміст солей, запас поживних речовин), а також стійкість до біотичних стресових чинників [105].

Елемент із ґрунту переважно засвоюється кореневою системою рослини за допомогою чутливих до Сульфуру транспортерів сульфатів, які локалізовані в клітинах кореневого епідермісу. Значний вплив на ці процеси у клітинах рослин мають регуляторні протеїни та ензими [116]. Засвоєння елемента рослинами прямо пропорційно залежить від його вмісту у ґрунті та потреби певною культурою [105]. Сульфур, який акумулюється у вакуолях корневих клітин транспортується із водою разом із розчиненими мінералами до ростучих елементів вегетативної частини рослин. У листках та стеблах Сульфур вступає у реакції відновлення і бере участь у різних метаболічних процесах [85].

Дефіцит Сульфуру в ґрунті негативно впливає на формування насіння вики, гороху, конюшини. Підвищені дози Сульфуру призводять до інтенсивного росту рослин [145].

Спостереження за культурами показали, що Сульфур необхідний для фізіологічно нормального фотосинтезу. Листя рослин, які страждали від нестачі елемента, мали жовтувато-зелене чи блідо-зелене забарвлення. Вони були вузькі, дрібні та короткі, що було пов'язано зі зниженим синтезом хлорофілу. Значний дефіцит Сульфуру в ґрунті призводить до зниження вмісту магнію, а відповідно, до обмеженого синтезу хлорофілу в рослинах. Доведено, що вміст хлорофілу в листках ріпаку, який підживляли малими дозами нітрату амонію, був нижчим, ніж у рослинах, яких підживляли сульфатом амонію, що може підтверджувати позитивний вплив сульфат-іонів [145].

Дефіцит Сульфуру у хрестоцвітів проявляється вже на 17-ту добу після появи їх паростків. Рослини гірчиці, що росли на дослідних ділянках без внесення Сульфуру, були меншими і мали дрібне насіння.

Додавання сірки у всіх досліджуваних рослинах (гірчиця) прискорювало генеративні процеси, збільшувало кількість повноцінних, сформованих квіток і скорочувало вегетаційний період. Для підживлення застосовували хлористий калій і виявили, що нестача елемента спричинює відмирання конусів росту [145].

За даними [46, 47, 48, 49, 90, 141], у разі дефіциту Сульфуру спостерігали зміни кольору молодих листків. Додаткове внесення елемента справляло найбільший

вплив на кількість стручків на одиницю площі та кількість стручків однієї рослини. Водночас аналіз результатів 3-річних експериментів не підтвердив суттєвої кореляції між цими морфологічними особливостями рослин і дозами сірки [78]. Аналогічні дані отримали [99] де підживлення ярого тритикале сполуками Сульфору не мало суттєвого впливу на врожайність. Проте підживлення сполуками Сульфору покращило інші характеристики, важливі для зимівлі хрестоцвітів, такі як діаметр кореневої шийки [118].

Вміст Сульфору визначає ефективне використання рослинами Нітрогену, що в подальшому впливає на врожайність, склад і якість рослин [102, 103, 129].

Вміст Нітрогену в рослинах значно змінюється під впливом концентрації Сульфору в ґрунті, який є доступний. Підживлення сульфатом кальцію підвищує вміст білкового Нітрогену, що вказує на краще засвоєння цього елемента конюшиною. Також за цих умов збільшується вміст загального Нітрогену у вегетативній частині. Незначна нестача Сульфору не зменшувала засвоєння рослинами Нітрогену, і він акумулювався у небілкових сполуках [145].

Сульфурне голодування обмежувало акумулювання білкового Нітрогену в посівах, але збільшувало вміст у листках таких амінокислот як глутамін, аспарагін та аспарагінова кислота. Бобові рослини можуть зв'язувати значну кількість Нітрогену, якщо рівень засвоєного Сульфору сірки є фізіологічно оптимальним. Підвищений вплив Сульфору на ріст рослин спостерігається у варіантах, де останні ростуть на ґрунтах, багатих біодоступним Нітрогеном. Дефіцит сірки у ґрунті призводить до пригнічення фотосинтезу у рослин, що проявляється підвищеною концентрацією небілкового Нітрогену. У рослин, які мали значну нестачу Сульфору, ця форма Нітрогену становила 68–71 % від загального вмісту Нітрогену. Це явище є додатковим підтвердженням важливості Сульфору в синтезі білка у рослинах [145].

Підживлення сполуками Сульфору підвищує вміст низки амінокислот: цистеїн, метіонін. Ці результати підтверджено в дослідженнях [47], згідно з якими виявлено, що підживлення сіркою, порівняно з варіантом без удобрення

(контроль), сприяє збільшенню вмісту більшості амінокислот у протеїні, а також показників протеїну та його біологічної цінності.

Внесення сірчаних добрив у ґрунт змінює вміст загального елемента та сульфатів у рослинах [48, 102, 130]. Рослини, які вирощені на ґрунтах із низьким вмістом Сульфору без удобрення цим елементом, містять низьку кількість загального Сульфору та незначні сліди сульфатів. Незначна концентрація неорганічного Сульфату в цьому випадку є індикатором сірчаного голодування культури. Внесення сірки у ґрунт позитивно впливає на якість врожаю рослин завдяки збільшенню у них органічних сполук Сульфору. Вміст Сульфору в білку, а отже, і кількість незамінних, сірковмісних амінокислот збільшується, коли рослини підживлюють сульфатом калію [145].

За даними Krauze та ін. (2001) [82] кормові культури, які росли поблизу звалищ із відходами, які містять значну кількість Сульфору, не мали токсичних рівнів Сульфору як з погляду фізіології рослин, так і щодо придатності включення у раціони тварин.

Додавання добрив Сульфору сприяє збільшенню його сполук у рослинах. Вміст Сульфору у рослинах залежить від його біодоступності у складі внесених добрив [58, 104, 144, 148].

Метаболізм Сульфору в рослинних організмах визначається відповідним співвідношенням Нітрогену до Сульфору. У вегетативних частинах усіх видів сільськогосподарських культур співвідношення N:S у білках практично однакове (15 до 1), а сумарне співвідношення згаданих вище елементів становить 12:1 [58].

Співвідношення N:S є відносно чутливим показником щодо засвоєння Сульфору в рослинах [82, 90, 131]. Порушення росту культур внаслідок нестачі Сульфору проявляється зниженням біологічної цінності рослинної біомаси [81].

Сульфур може впливати на засвоєння і включення у метаболічні процеси інших елементів. За підживлення Сульфуром червоної конюшини у рослинах підвищується вміст загального Фосфору. За дефіциту Сульфору накопичення Нітрогену та Фосфору здебільшого обґрунтовується пригніченням синтезу органічних сполук. Зниження вмісту Фосфору в біомасі ріпаку, вирощеному

на ґрунтах, багатих Сульфуром (біодоступним) пов'язане з антагоністичною взаємодією між сульфатами і фосфатами. Елемент має позитивний вплив на співвідношення у рослинах Са:Р. У ряді досліджень використання сульфатів стимулює збільшення вмісту Фосфору та зниження вмісту Кальцію, Калію та Магнію у вегетативній частині рослин [145].

Підживлення сполуками Сульфуру зменшило вміст Фосфору в насінні люпину порівняно з контролем, де підживлення не проводили [46]. За використання сірковмісних добрив у листках ріпаку збільшується вміст Магнію та Кальцію. Виявлено акумулювання Сульфуру, Нітрогену, Магнію, Калію та Кальцію у зрілих рослинах, удобрених сіркою [130].

Встановлені закономірності щодо впливу різних форм сірки на зміни вмісту важких металів у ґрунті та врожайність перевірених рослин-індикаторів забруднення. Удобрення сірковмісними добривами знижує рН ґрунту, але водночас підвищує концентрацію металів-біотиків (Манган, Цинк, Купрум), доступних для рослин. Підвищення вмісту Сульфуру в ґрунті пов'язане з підвищенням рівня Мангану та Алюмінію в рослинах. Виявлено, що забруднення ґрунту Сульфуром значно підвищує біодоступність і акумулювання Плюмбуму та Кадмію в рослинах [145]. Внесення сірчаних добрив вплинуло на збільшення та поглинання Селену люцерною [126].

Вміст Мангану та Цинку в рослинах після додавання Сульфуру змінюється залежно від виду рослини [92]. Підживлення сірковмісними добривами збільшує вміст Zn і Mn у корінні та знижує вміст Mn у соломі білої гірчиці [157].

Впливаючи на метаболізм Нітрогену, Сульфур визначає кількісні і якісні показники врожаїв [102, 129].

Підживлення Сульфуром впливає на вміст жиру в експериментальних рослинах. Застосування сірковмісних добрив позитивно вплинуло на збільшення вмісту жиру в зернах гірчиці та люпину [49]. Водночас встановлено, що підживлення Сульфуром зменшувало вміст ліпідів та підвищувало вміст протеїну в насінні ріпаку [157]. Не було виявлено впливу внесення добрив Сульфуру на кількість жиру в насінні хрестоцвітів [159].

Харчова цінність жирів здебільшого характеризується вмістом ненасичених жирних кислот (НЖК). Підживлення ярого ріпаку Сульфурвмісними добривами покращує поживну цінність жиру завдяки збільшенню ненасичених жирних кислот (C18:2 та C18:3). За додавання Сульфору підвищується вміст лінолевої кислоти (C18:2), одночасно знижується вміст олеїнової кислоти (C18:1) в олії, отриманій із насіння розторопші [160].

За даними [157], застосування Сульфору не виявило жодних суттєвих змін в концентрації жирних кислот в олії, та суттєвої кореляції між Сульфуром і Нітрогеном, вмістом білка, карбонових кислот у отриманій олії ріпаку. Відмічали вплив внесення Сульфору на вміст глюкозинолатів у насінні, що визначає придатність і цінність шроту із ріпаку. Дослідження показали, що надмірне внесення сірки збільшувало вміст глюкозинолатів. Глюкозинолати профілактують рак, завдяки тому, що вони є попередниками речовин із потенційною протипухлинною дією та виявляють протигрибкову, противірусну та антибактеріальну дію щодо збудників інфекційних захворювань.

Корми та харчові продукти, які містять глюкозинолати, мають функціональні та корисні властивості [146]. Глюкозинолати у рослин сприяють їх захисту від травоядних, патогенних мікроорганізмів та комах [78].

Сульфур є важливим компонентом глюкозинолатів, доступність елемента значно впливає на синтез цих речовин. У насінні ріпаку, отриманому за підживлення рослин Бором та Сульфуром, значно підвищувався вміст L-5 вінілоксазолідініту, сполуки зобоактивної дії, що спричиняють функціональні та морфологічні зміни щитоподібної залози [145]. Сульфур входить до складу ізотіоціанатів, які перешкоджають поглинанню Йоду з крові і накопиченого його в щитоподібній залозі. Дія вінілоксазолідініту L-5 здебільшого обґрунтовується пригніченням йодування тирозину, що в подальшому може зумовити зоб у овець, великої рогатої худоби, свиней та курчат [145].

Дослідники [47] встановили, що використання Сульфурвмісних добрив змінювало вміст його вторинних метаболітів (глюкозинолатів і жирних кислот) у насінні білої гірчиці. Доступний Сульфур спричинив збільшення вмісту алкенових

форм глюкозинолатів, ніж їх загального рівня. Вторинні метаболіти застосування Сульфуру впливають на підвищення вмісту синальбіну та лінолевої кислоти у насінні хрестоцвітів.

Дефіцит Сульфуру у ґрунтах та в добривах знижує синтез тіоглікозидів та інших органічних тіосполук у вегетативній частині чорної редьки. Оптимальне надходження елемента в рослини впливає на кількість і склад глюкозинолатів, накопичених у насінні ріпаку. Збільшення доз Сульфуру найбільше вплинуло на вміст прогоїтрину та глюкозинолатів, але знижує вміст фракції індолу. Концентрація глюкозинолатів у насінні сильно корелювала із вмістом Сульфуру в молодих листках рослин у період цвітіння хрестоцвітів [145].

Використання аліментарної форми Сульфуру для контролювання інфекційних хвороб та шкідників було встановлено ще у 18-му столітті. Для пригнічення дії борошнистої роси на фруктових деревах і овочах застосовують пасту із вмістом Сульфуру або суспензію порошку. Внесення Сульфуру є ефективним у захисті від іржі та борошнистої роси на злакових зернових, знешкоджує *Streptomyces scabies* та *Erisiphe graminis*. Ефективність елемента (фунгіцидна) реалізується через прямий його вплив на грибки та бактерії або через дію сполук відновлення Сульфуру [78].

За використання добрив із вмістом Сульфуру знижуються прояви інфекційних захворювань культур, безпосередньо на капустяних та олійних рослинах, що містять значну концентрацію глюкозинолатів. Це велика група біоактивних сполук, які мають природний захист рослин від мікроорганізмів (патогенних), травоядних комах і тварин. Глюкозинолати можна використовувати як ефективні біофуміганти для захисту від шкідників [128].

Сульфурвмісна спролука аліїн міститься в цибулі та часнику, має антибактеріальні та фунгіцидні властивості. Ензим аліназа гідролізує аліїн в діалілсульфід, який має активну бактерицидну дію [113].

Дослідники [102] виявили статистичне зменшення зараження зернових *Erisiphe graminis* та *Puccinia graminis* за дії Сульфуру.

Застосування Сульфуру на ярому ріпаку приводить до зменшення проявів пероноспорозу. Позакореневе живлення ярого ріпаку сполуками Сульфуру обмежує появу борошнистої роси та склеротиніозної гнилі [137, 138]. Внесення сірчаних добрив корелювало із зниженням ураження рослин патогенами [106, 107, 112].

Відновлення сполук Сульфуру відбувається за дії аденозинтрифосфатів (АТФ) і хлоропластів, багатих відновником, які локалізовані у фотосинтетичних тканинах рослин [85]. За активації АТФ-сульфурилази з синтезом аденозин-5'-фосфосульфату АФС-редуктаза відновлює АФС до сульфідів. Феридоксин-залежна сульфїтредуктаза каталізує шестиелектронне відновлення до сульфідів [94, 116]. Сульфїди вступають у реакції в хлоропластах, цитозолі та мітохондріях рослинних клітин з утворенням амінокислоти цистеїну [135]. Ця амінокислота є першою органічною формою Сульфуру, яка є доступною для метаболічних реакцій у клітинах рослин [116]. В наступних реакціях цистеїн вмонтовується в різноманітні білки у рослинах через їх синтез в цитозолі, мітохондріях і хлоропласті та є критичним проміжним етапом для засвоєння елемента у корисні сірковмісні сполуки [88].

Метаболізм Сульфуру в тканинах і клітинах рослин поділяється на первинний метаболізм (виживання рослин і збереження у царстві рослин) та вторинний метаболізм (менш консервативний і є специфічним для різних рослин). До первинного метаболізму елемента відносять початкові етапи перетворення Сульфуру до метіоніну, цистеїну та GSH [116]. За вторинного метаболізму Сульфуру синтезуються вторинні метаболіти, які містять цей елемент [105]. Вторинні метаболіти Сульфуру належать до «захисних сполук» і можуть діяти як антимікробні сполуки. Сірковмісна сполука фітоалексин синтезується у рослинах на відповідь щодо запобігання стресу та посилення захисних механізмів [124, 125].

Сульфурвмісні вторинні метаболіти можуть містити тіосульфінати та глюкозинолати (аліцин синтезований із сульфоксидів цистеїну), реактивні

види елемента (сульфат натрію і H_2S) та антимікробні пептиди (тіоніни і дефензини) [105].

До первинного сульфурвмісного трипептиду належить глутатіон (глутамат, гліцин та цистеїн), який синтезується під дією γ -глутамілцистеїнсинтетази (глутамат-цистеїнлігаза) та GSH-синтетази [94]. За фізіологічно нормального стану (без дії стресу) до 90,0 % глутатіону перебуває у неокисненій (відновній) формі, а до 10,0 % (дисульфід глутатіон) – у окисненій формі [105, 165]. Сульфурвмісні сполуки виконують функцію центрального регулятора окисно-відновної сигналізації рослин, проводячи захист рослин, пом'якшуючи пошкодження в клітинах та активують захисні гени. Глутатіон поширюється в клітинах рослин як у органелах (основні) так і цитозолі [165].

Глутатіон може окиснюватись внаслідок дії електрофільних речовин на залишки амінокислоти цистеїну до вільних радикалів. GSH-транспортери регулюють перерозподілення окисненого глутатіону до різних субклітинних компонентів клітин внаслідок відповіді на атаку, що запускає дію захисних сполук (ауксини, саліцилова кислота, етилен та абсцизова кислота) у рослинній тканині [165]. Глутатіон бере участь у синтезі ряду глюकोзинолатів (кон'югація цистеїну з амінокислотами) у рослинах [121]. За синтезу глюкозинолату застосовується значна частина енергії фотосинтезу [46].

Транскрипційні фактори мієлобластозу утворюють транскрипційний комплекс, який впливає на виробництво глюкозинолату в рослинних тканинах і робить його чутливим до ряду абіотичних та біотичних чинників та стресів [119]. За дії механічних пошкоджень на рослину активуються процеси синтезу глюкозинолатів [119, 152].

S-алк(ен)ілцистеїнсульфоксиди (ASCO) широко зустрічаються у таких видах рослин як цибуля та часник. Похідні тіосульфінатів є основою смакових та ароматичних сполук цих рослин [163]. До основних цистеїнсульфоксидів належать метіїн, аліїн, ізоаліїн, бутіїн тощо [127, 136, 233].

Більшість Сульфуру у ряді рослин міститься в γ -глутаміл S-алк(ен)ілцистеїнах (GSAkCs) та γ -глутаміл S-алк(ен)ілцистеїнсульфоксидах, на

доповнення до S-алк(ен)ілглутатіону [100, 164]. S-алк(ен)ілцистеїнсульфоксиди становлять більше половини загального вмісту Сульфору в рослинах [133].

Метаболіти у рослинах, які містять Сульфур активують реакції детоксикації після впливу стресу, посилюють антиоксидантний захист, регулюють активні форми Оксигену та шляхи детоксикації. Одночасно забезпечують додатковий захист від екологічних стресорів та патогенних мікроорганізмів [83].

Деякі метаболіти, що містять Сульфур, мають характеристики фітоантиципантів. Кількість метаболітів, що містять Сульфур, залежить від наявності елемента у рослині [154]. Наявність Сульфору забезпечує універсальність та різноманітність активності сполук Карбону, Гідрогену, Оксигену та Нітрогену в рослинах [76]. Це явище досягається дією ряду ензимів, що проявляють гідроокиснювальну, окиснювальну, метокиснювальну дію сполук багатих на Сульфур [84].

Із Сульфору, який надходить у рослину утворюються сполуки, де елемент включається не лише у первинні метаболіти: метіонін, цистин, GSH. Встановлено, що в рослинах може бути до 540 сіркоорганічних сполук [89] та понад 130 різних глюкозинолатів [55].

В організм тварин Сульфур надходить у складі таурину, метіоніну, цистеїну, гомоцистеїну та вторинних метаболітів. Метіонін та цистеїн у великій кількості містяться в кормах тваринного походження, в меншій кількості в рослинних білках [88].

Метіонін є незамінною амінокислотою, яка не здатна синтезуватись у організмі тварин. Цистеїн є початковим етапом включення Сульфору в органічні тканини, який у поєднанні з метіоніном та іншими амінокислотами сприяє синтезу глюкозинолатів і GSH [116]. GSH є найпоширенішим небілковим тіолом в організмі тварин і людини, який має важливе значення у регулюванні окисно-відновного статусу клітин [150].

GSH є важливим джерелом цистеїну, на який припадає до 65,0 % потоку амінокислоти в організмі тварин, що вказує на його значення у регулюванні системи антиоксидантного захисту [157].

GSH активно бере участь у опосередкуванні детоксикації, реакціях тіолдисульфідів, які є важливими для клітинної передачі імпульсів та активації захисних шляхів [77, 94, 165].

Сполуки на основі Сульфуру та GSH широко задіяні як важливий окисно-відновний буфер за низки хронічних захворювань, таких як діабет, кардіометаболічна дисфункція, нейродегенеративна дисфункція печінки [117, 150].

Метіонін через його перетворення до S-аденозилметіоніну має важливе значення в широкомасштабних реакціях метилювання майже в кожній клітині тваринного організму [59]. За деметилювання метіоніну виробляється гомоцистеїн, необхідний для засвоєння як метіоніну, так і цистеїну. За умови достатнього надходження вітамінів групи В (фолієва кислота, В₆, В₁₂), а також холіну та бетаїну реакція транссульфурації повертає гомоцистеїн назад до цистеїну або до метіоніну через реакції трансметилювання [71].

Цистеїн здатний утворювати дисульфідні зв'язки, що робить його ключовим у структурі білка та у формуванні механізмів звертання білка. Дисульфідні зв'язки локалізовані на поверхні клітин для транспорту білків в інші частини тіла. Метіонін характеризується гідрофобними тенденціями. Локалізований в середині захисного внутрішнього гідрофобного ядра білків [71, 72].

На сьогодні норми споживання Сульфуру є динамічними, також немає доступних вичерпних рекомендацій щодо кількісного визначення споживання Сульфуру, не пов'язаного з амінокислотами [70].

Вміст сполук Сульфуру надає характерного аромату і смаку ряду рослин та овочів [54, 163].

Багаті сіркою хрестоцвіті, часник та цибуля мають гепатопротекторні, антиоксидантні, антиканцерогенні, гіпоглікемічні, протизапальні, протимікробні властивості [127, 143].

За споживання продуктів із високим вмістом Сульфуру знижуються серцево-судинні захворювання [56, 57], діабет 2 типу [95] та онкологічні хвороби [44].

За надходження у організм рослин із підвищеним вмістом Сульфуру збільшується кількість метаболітів, що містять елемент, у відповідь як на

абіотичний стрес, а також на вплив різних патогенів [69, 123]. Сірковмісні метаболіти рослинного походження діють як імуномодулятори в організмі тварин та людини [75]. За надходження у організм сірковмісних метаболітів зменшуються протизапальні біомаркери (TNF- α , IL-1 β та IL-6) [96, 97]. Вторинні метаболіти, що містять Сульфур мають захист від хронічних захворювань. Сірковмісні вторинні метаболіти рослинного походження містять S-алк(ен)ілцистеїнсульфоксиди і глюкозинолати [45, 60, 133, 153].

Рослинні корми багаті ізотіоціанатом діють як донори H₂S, створюючи додаткові кардіопротекторні переваги [114, 115]. Еруцин забезпечує вазодилатацію в серцях тварин, інгібує вазоконстрикцію *in vitro*, яка викликана норадреналіном, і в такий спосіб забезпечує антигіпертензивний ефект завдяки ініціації H₂S [62, 63, 114]. Рослини багаті на Сульфур містять сульфорафан (з глюкорафаніну), бензилізотіоціанат (з глюкотропеоліну), алілізотіоціанат (з синігріну), *nf* 4-гідроксибензилізотіоціанат (із синальбіну) [59].

Сірководень визначено як третю за біологічною важливістю газоподібну сигнальну молекулу в тваринному організмі після NO та монооксиду карбону (CO), який регулює кілька патофізіологічних шляхів [62]. Сірководень підвищує біодоступність NO, активує Nrf₂ (посилення антиоксидантних та протизапальних шляхів) та знижує експресію NF- κ B, що забезпечує антиоксидантний і протизапальний захист [140].

За даними [67, 86, 111], сірководень у організмі тварин має важливе значення у клітинному окисно-відновному гомеостазі методом транскрипції Nrf2 та модуляції. Вивільнення сірководню з ізотіоціанатів відбувається за допомогою неферментативних аддуктів, синтезованих сульфогідрильними групами (цистеїну чи GSH) або за реакції з ензимами, що утворюють сірководень.

У тваринних організмах існує декілька тканиноспецифічних H₂S-генеруючі ензими, куди входить цистатіонін β -синтаза (CBS), цистатіонін γ -ліаза (CSE), 3-меркаптопіруватсульфуртрансфераза (3-MST) та цистеїнамінотрансфераза (CAT) [62, 67, 114]. Ці ензими концентруються у серцево-судинній тканині, центральній нервовій системі, печінці, нирках [111]. Вторинні метаболіти,

що містять Сульфур, є потенційним джерелом утворення сірководню [68, 80, 101, 108, 161, 162].

Встановлено, що Сульфур у різних формах застосовують для підживлення сільськогосподарських рослин (злакових, бобових, олійних та христоцвітів) для підвищення якісних і кількісних показників врожаїв, проте не достатньо інформації щодо впливу додавання різних доз і джерел Сульфору на нарощування біомаси синьо-зеленої водорості *Spirulina platensis*.

1.2. Характеристика спіруліни та технологія її культивування

Spirulina platensis належить до синьо-зелених мікроводоростей. Вона активно розвивається у воді із лужним середовищем або у карбонатних і гідрокарбонатних поживних середовищах. Спіруліна належить до царства прокаріотів, до класу *Oxyphotobacteria*, групи ціанобактерій [74].

Спіруліна має низький рівень клітинної диференціації без утворення істиного ядра. Спіралеподібні трихоми (філаменти) мають слизоподібну поверхню, що створює можливість до ковзаючих і обертальних рухів. Філаменти за впливу різних фізико-хімічних чинників можуть розкручуватись [134, 151].

Клітини спіруліни мають здатність до ділення за допомогою мікроплазмодесм (цитоплазматичних тяжів). Зовні клітини спіруліни покриті пептидогліканом муреїну. Такого компонента цитолемі не виявлено у еукаріот та грибів [151].

У біомасі спіруліни містяться каротиноїди, хлорофіл та фікобіліпротеїни [50, 64, 120]. За фотосинтезу у клітинах *Spirulina platensis* поліцукор (б-1, 4-поліглюкан) має подібність із амілопектиновими фракціями крохмалю, але розгалуженість є подібною як у глікогену. Спіруліна містить також включення у вигляді карбоксілом, гранул волютину (метахроматинові утворення) та ціанофіцинових гранул [151]. Розмноження спіруліни (ціанопрокаріот) відбувається за допомогою коротколанцюгових гормогоній (здатних до руху) фрагментів ниток, які формуються у результаті фрагментації батьківських трихомів [134, 151]. У біомасі спіруліни не утворюються спеціалізовані клітини (гетероцисти, акінети) [155].

Хімічний склад біомаси синьо-зеленої водорості залежить від складу поживного середовища та інтенсивності освітлення. Склад спіруліни динамічний. Вміст загального білка може коливатись від 19,0 до 72,0 %, ліпідів або жироподібних сполук – від 5,5 до 75,0 %, безазотистих екстрактивних речовин – від 5,0 до 39,0 %. Під час забезпечення оптимальних умов, *Spirulina platensis* синтезує органічну речовину з високим вмістом протеїну, перетравність якого становить до 75 % [41].

Вуглеводи біомаси спіруліни представлені крохмалем та рамнозою. Рамноза легко засвоюється в організмі тварин [1].

Ліпіди біомаси спіруліни представлені олеїновою, пальмітиновою, лінолевою та γ -ліноленовою кислотою. Ліпіди утворюють ліпідний шар мембран клітин мікроводорості [41].

Клітини спіруліни вкриті оболонкою, основним компонентом якої є пептидоглікан, який легко перетравлюється в організмі моногастричних, полігастричних тварин. Також у складі клітинних оболонок мікроводорості є поліцукри (альгінати), які здатні виводити із організму радіонукліди та метали-токсиканти [41].

У природних умовах спіруліна інтенсивно росте та розвивається у водоймах із рН 12,0-13,0. Такі водойми локалізовані в Південній Америці та Африці. Ця вода містить також значну кількість розчинних солей [61, 134].

За вмісту у водоймах розчинних солей 35,0 г/л і більше синьо-зелена водорість розмножується як монокультура. Інші мікроводорості не можуть розвиватись в таких умовах. Клітини спіруліни живуть у поживному середовищі, де вміст солей може сягати до 260,0 г/л, проте оптимальний ріст спостерігався за 25,0–72,0 г/л. Синьо-зелена водорість належить до термофільних культур. Інтенсивність утворення клітин проявляється за температури до 36,0 °C. Проте розмноження біомаси спіруліни відбувається за широкого діапазону температур. За 19,0 °C відмічають незначне нарощування біомаси синьо-зеленої водорості [139, 155].

Клітини спіруліни під час фотосинтезу можуть використовувати сонячну енергію більш ефективно, ніж інші фотосинтетики це явище обґрунтовується

особливостями їх пігментної системи. Склад пігментів синьо-зеленої водорості і їх кількість змінюються залежно від інтенсивності освітлення, вмісту у середовищі елементів, що визначають енергетичні та метаболічні процеси спіруліни [41].

Морфологічний стан Спіруліни залежить від співвідношення спіральних форм клітин до ниткових. Перевага тієї чи іншої форми вказує на здатність адаптації культури до зміни поживного середовища. Введення до поживного середовища невисоких доз Карбону та Нітрогену у вигляді бікарбонату амонію призводить до збільшення кількості спіральних форм в культурі [1].

Унікальний біологічний склад спіруліни, швидке збільшення маси, створює передумови для культивування її в промислових масштабах [51, 53].

Для культивування спіруліни розроблено низку основних способів. Ці способи поділяються на вирощування в закритих приміщеннях і у відкритих водоймищах. За вирощування у відкритих водоймах мінімізуються витрати, пов'язані із енергоносіями. Проте за такого способу ускладнюється умова виробництва чистої культури спіруліни, а також за різкого похолодання необхідна система утеплення водойм. Установки під відкритим небом використовують у країнах із жарким кліматом (Мексика, Чилі, Ізраїль, Індія, Казахстан) [1].

У країнах із помірним кліматом здебільшого застосовують установки закритого типу. За такого способу використовують приміщення, парники або теплиці, які оснащені системою підтримки температури та інтенсивності освітлення [1].

У закритих приміщеннях застосовують різні конструкції фітореакторів. Найпоширенішим є розташування таких фітореакторів у теплицях. У фітореакторах використовують поживне середовище у більшості випадків аналогічне до поживного середовища Заррука. Кількість солей та рН поживного середовища наближені до складу води, в якій спіруліна живе в природних умовах під відкритим небом.

До складу поживного середовища для вирощування спіруліни можуть додавати стічні води від населених пунктів та сільськогосподарського виробництва. Кількість стічних вод не є сталою. цей показник може постійно змінюватись

залежно від вмісту у стічних водах поживних речовин та його реакції середовища (рН). До поживного середовища у фітореактори вносять порційно фільтровану, рідку фракцію, одержану за біогазового зброджування органічних відходів [1].

За даними [41], під час вирощування біомаси спіруліни у склад поживного середовища можна додавати певну кількість молочної сироватки, яку зливають у каналізаційну систему.

Традиційно за вирощування біомаси спіруліни використовують її автотрофний тип живлення, за таких умов клітини вирощують на мінеральному середовищі [1].

Із технологічного погляду середовище, яке використовують для вирощування спіруліни, є розчином регламентованих мінеральних солей у воді. Таке середовище забезпечує спіруліну необхідними хімічними елементами. Реакція поживного середовища може сягти до рН 12,0 [1, 3, 20, 21, 23-26].

Від хімічного складу (вміст макро- та мікроелементів) залежить інтенсивність утворення клітин та рівень внутріклітинного метаболізму спіруліни. Для інтенсивного вирощування синьо-зелених водоростей та подальшого використання цієї біомаси як харчового продукту або кормової добавки обов'язково необхідно враховувати якість води та мінеральних елементів. У воді розчиняють весь комплекс необхідних для біомаси спіруліни солей. Важливою умовою під час змішування цих солей є їх реакція між собою та утворення нерозчинних осадів. Перехід у нерозчинний стан зменшує біодоступність елементів для синьо-зеленої водорості.

За кількістю елементів у поживному середовищі їх поділяють на основні макроелементи: Кальцій, Нітроген, Фосфор, Калій, Сульфур, Ферум, Магній. До мікроелементів належать: Купрум, Манган, Цинк, Бор, Молібден. Третя група мікроелементів представлена супутніми елементами, до них належать: Хром, Нікель, Свинець, Ванадій, Фтор, Селен, Алюміній, Вісмут та деякі інші [3, 21].

Під час експериментів та в промислових умовах на території України застосовують стандартне поживне середовище Заррука. До якого включають г/л:

соду (NaHCO_2) – 16,8; нітрат натрію (NaNO_3) – 2,3–2,6; калій сірчаноокислий (K_2SO_4) – 1,0–1,1; харчову сіль (NaCl) – 0,9–1,1; калій кислий фосфорнокислий ($\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) – 0,4–0,6; магній сірчаноокислий 7-водний ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) – 0,18–0,21; кальцій хлористий 6-водний ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) – 0,03–0,05 [1, 3, 21].

Технологія вирощування біомаси спіруліни у закритих приміщеннях передбачає внесення у ємності поживного середовища і додавання до нього стартової (маточної) культури клітини синьо-зеленої водорості. Кількість маточної культури визначається технологічним завданням. За динамічного освітлення, температури поживного середовища до 35,0 °C біомаса спіруліни збільшується у 6–12 разів продовж 10–12 діб [1].

У разі, якщо за технології вирощування біомаси спіруліни неможливо збудувати теплиці, облаштовують фітореактори різних конструкцій і розміщують їх у приміщеннях оснащених регульованою системою вентилявання, освітлення та опалення. На сьогодні існують різні конструкції фітореакторів: горизонтальні, вертикальні. Для виготовлення фітореакторів застосовують поліетиленову плівку, скляні ємності (прямокутні, циліндричні, трубчасті) [1].

На півдні країни для вирощування спіруліни застосовують вертикальні фітореактори, стелажного типу. Культивування спіруліни проводять на терасно-каскадних установках. За такої технології використовують як природне так і штучне освітлення [1].

Науковими співробітниками Інституту гідробіології НАН сконструйовано устаткування, де передбачено використання трубчастих систем. Продуктивність такої системи до 10 т біомаси [1].

Авторами розроблено різні конструкції та модифікації фотореакторів для інтенсивного нарощування біомаси мікроводоростей, в яких використовують різні джерела світла – природні та штучні. З технологічного погляду штучні джерела світла мають низку переваг. У порівнянні з природним джерелом світла вони мають суттєві відмінності. Найбільш важливим показником є можливість управління світловими умовами, що дає змогу забезпечувати процес інтенсивного розвитку мікроводоростей. Це дає можливість керувати біохімічним складом (якістю)

біомаси та мати високу швидкість біосинтезу цінних сполук, що входять до складу біомаси спіруліни [21].

Розвиток спіруліни має чотири фази. Під час першої фази клітини спіруліни внесені у нове поживне середовище адаптуються. Водночас проходить гальмування швидкості розмноження клітин культури. В цей період відновлюються фотосинтетичні та синтетичні процеси. В цей період невисока початкова концентрація спіруліни і незначна їх фотосинтетична активність не потребує інтенсивного освітлення, тому вмикають таку кількість ламп щоб забезпечити освітлення на рівні 1200–1300 люкс [1, 17].

Через 48–50 годин після внесення клітин спіруліни в нове поживне середовище розпочинається II фаза. В цей період активуються біохімічні та фотосинтетичні процеси. Активно синтезується Оксиген. Кількість клітин значно зростає, що ускладнює проходження променів світла через поживне середовище, тому інтенсивність освітлення збільшують до 2200–2330 люкс. Під час цієї фази перемішування поживного середовища із клітинами має бути безперервним [1, 17].

Під час третьої фази проходить активне нарощування клітин культури. Спостерігається біологічне плато. У цей період починає виникати склеювання клітин та утворення конгломератів. Клітини у цей період мають високу фотосинтетичну активність. Легкі клітини інтенсивніше переміщуються по поживному середовищі та інтенсивніше асимілюють Карбон. Ця фаза теж потребує активного освітлення для підтримання процесів фотосинтезу і синтезу на високому рівні. У цей період освітлення поверхні поживного середовища має бути на рівні 3300–3500 люксів [1, 17, 27].

Під час четвертої фази спостерігається зниження інтенсивності нарощування кількості клітин. В цей період починається старіння культури. В поживному середовищі накопичується значний вміст метаболітів, які розпочинають зменшувати процеси фотосинтезу. а також знижуються процеси обміну речовин.

Для підтримки рівня фотосинтезу у фітореактори або ємності вносять свіже середовище і підвищують освітлення. У цей період включають максимальну

кількість джерел світла, що забезпечує освітленість у межах 4700–5000 люкс [1, 17, 27].

За культивування спіруліни використовують перемішування поживного середовища із клітинами. За перемішування проходить інтенсифікація живлення клітин із різною масою, вирівнюється температура у різних зонах фітореактора.

Ця маніпуляція в технологічних процесах нарощування біомаси має важливе значення. Під час перемішування мішалками застосовують реле часу та налаштовують швидкість обертання валу. За культивування спіруліни у вертикальних ємностях використовують компресори з барбітажними наконечниками [17, 20].

Забезпечення оптимальних умов для спіруліни (температура, швидкість потоку середовища, наявність нутрієнтів в поживному середовищі, інтенсивність освітлення) приводить до інтенсивного збільшення клітин культури і покращення фотосинтетичних і біохімічних процесів у них [19, 22].

Технологія вирощування біомаси спіруліни в теплицях має ряд технологічних етапів:

Початок культивування. На початку технології невелику масу клітин спіруліни вносять в басейн із підготовленим поживним середовищем. Забезпечують оптимальне перемішування та додаткове освітлення в період інтенсивного нарощування біомаси спіруліни.

Збір біомаси. Оскільки швидкість нарощування біомаси мікроводоростей достатньо висока, відділення культури від поживного середовища проводять щоденно. За досягнення високої щільності в поживному середовищі частина біомаси спіруліни конгломерується і спливає, що дозволяє легко її збирати.

Внесення свіжого поживного середовища. Внаслідок нарощування біомаси спіруліни та її збору в поживному середовищі зменшується кількість нутрієнтів. Для цього в ємності вносять свіже поживне середовище або додають концентрат розчинених мінеральних сполук.

Для зменшення вмісту у біомасі спіруліни розчинених солей макро- й мікроелементів та лужності її промивають на спеціальних ситах чистою, питною,

проточною водою.

З метою пролонгованого зберігання та технологічності використання біомаси спіруліни її висушують за уникнення потрапляння прямих сонячних променів.

Сушу біомасу спіруліни поміщають у герметичну тару на зберігання для цього застосовують поліетиленові мішки. Мішки герметизують, оскільки висушена біомаса спіруліни гігроскопічна. Зберігають готовий продукт в темному місці за кімнатної температури [1, 27].

У доступній літературі зустрічається інформація щодо удосконалення технології збагачення біомаси спіруліни Кобальтом, Цинком, Йодом та іншими елементами, проте відсутня інформація щодо розробки елементів технології збагачення біомаси синьо-зеленої водорості Сульфуром.

1.3. Використання біомаси спіруліни

Біомаса спіруліни завдяки її хімічному складу може слугувати ефективною харчовою, дієтичною та кормовою добавкою для тварин і людини.

У біомасі синьо-зеленої водорості містяться поживні речовини, які необхідні тваринам і людині для нормального функціонування [27]. Біомаса спіруліни містить значну кількість незамінних амінокислот, вітамінів, мінеральних речовин. Культура містить ряд біологічних речовин – біопротектори, біокоректори і біостимулятори, які не містяться більше в жодному продукті натурального походження [38].

Біомаса мікрowodорості є нешкідливою для споживання, має імуномодулюючі, антиоксидантні властивості. За споживання спіруліни нормалізуються показники функціональної активності генетичного апарату гепатоцитів за дії токсичних сполук, відновлюються окисно-відновні процеси, знижується рівень холестерину у крові, оптимізується ліпідний склад тканин [38, 109].

Біомасу спіруліни застосовують у разі авітамінозу, гіпоксичних станів, порушення обміну речовин, анемії, онкологічних захворювань, зниження імунітету, виразок шлунка, порушень коронарного церебрального та периферичного кровообігу,

для виведення токсичних ксенобіотиків з організму, дистрофії, цирозу печінки, токсичних і діабетичних уражень гепатоцитів печінки [142].

Додавання до комбікормів курей-несучок навіть 0,01 % біомаси спіруліни від ваги сприяє підвищенню несучості та зниженню витрат комбікорму. У комбікорм, не забалансований за вітамінами, рекомендується включати спіруліну з розрахунку 0,1–0,3 кг сухої речовини на 1 т комбікорму.

Додавання біомаси спіруліни до комбікормів також позитивно впливає і на продуктивність курчат-бройлерів. Приця, яка одержувала її незначну масу, в забійній вазі на 150–200 г перевищувала показники контрольної групи. Витрати комбікорму на 1 кг приросту зменшуються на 11,0 %, збереженість поголів'я збільшується на 3–5 % [27].

За впливу біомаси спіруліни у складі комбікормів у ремонтних півників посилюються процеси обміну поживних речовин, гомеостазу, що призводить до збільшення, в межах фізіологічних норм, кількості червоних кров'яних клітин, Кальцію, вмісту гемоглобіну, білка, Фосфору. Згодовування біомаси спіруліни сприяє статевому дозріванню птиці [27].

За додавання до комбікормів птиці біомаси спіруліни, рядом дослідників було одержано підвищення її продуктивності [27].

Встановлено, що за згодовування бджолам суміші цукрової пудри, цукрового сиропу та біомаси спіруліни має позитивний ефект. Доведено, що біомаса спіруліни добре поїдається робочими бджолами і проявляє стимулювальну дію на розвиток сімей комах, підвищує відтворювальну здатність бджолиних маток. За дії спіруліни збільшилась тривалість життя робочих бджіл і репродуктивна функція маток. Весняна стимуляція бджолиних сімей біомасою спіруліни є одним з ефективним прийомів збільшення розплоду [12].

Додавання до раціонів свиней біомаси спіруліни сприяє збільшенню приростів маси тіла ремонтного молодняку на 4,5 % [87].

Доведено, що введення в раціони поросят пастоподібної біомаси синьо-зеленої водорості в кількості до 2 г на голову на добу підвищує середньодобовий приріст маси тіла тварин на 8–50 %. Спостереження показали, що згодовування

свиням біомаси спіруліни запобігає шлунково-кишковим захворюванням, стимулює прискорення активації ензимів у шлунку та кишківнику, підвищує поїдання кормів. Збільшувалось збереження поголів'я молодняку на 14,0 %. Згодовування біомаси спіруліни супоросним та підсисним свиноматкам із розрахунку до 20 г на голову на добу сприяє підвищенню їх резистентності [17].

Авторами [27, 30-35] було одержано біомасу спіруліни, збагачену Кобальтом та Цинком. Застосування такої кормової добавки у годівлі молодняку свиней сприяє підвищенню їхньої маси тіла на 10,9 %, впливає на підвищення гемоглобіну у крові; вмісту Цинку та Кобальту у сироватці крові та зменшенню концентрації сечовини, забезпечує зниження витрат корму на 1 кг приросту на 3,7 %; собівартості 1 кг приросту маси тіла на 1,3 % та підвищенню прибутку на 27,4 %.

Аналізуючи доступну вітчизняну та зарубіжну літературу було виявлено, що біомаса спіруліни є ефективною харчовою та кормовою добавкою для сільськогосподарських тварин і птиці. Включення її у нативній і збагаченій нутрієнтами формах у комбікорми та раціони позитивно впливає на підвищення приростів, конверсію корму, зміцнення імунної системи.

Проте у доступній літературі не було знайдено даних щодо проведення експериментів із використанням біомаси спіруліни, збагаченої Сульфуром, у годівлі молодняку собак.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Матеріали і місце проведення досліджень

Експерименти за темою дисертаційної роботи проводили в умовах лабораторії та віварію Інституту тваринництва та харчових технологій Білоцерківського національного аграрного університету у період із 2020 до 2024 рр.

Визначення нешкідливості та токсичності *Spirulina platensis*, збагаченої Сульфуром, проводили на білих щурах, мишах та кролях в умовах віварію і лабораторії Інституту тваринництва та харчових технологій Білоцерківського національного аграрного університету.

Науково-господарські дослід з встановлення ефективності використання біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром у складі раціонів для собак та виробничу перевірку проводили на цуценятах німецької вівчарки (вік 75–136 діб) у кінологічному клубі «DOGARM. COMPANY» м. Київ.

Наукову роботу за темою дисертації здійснювали відповідно до загальної схеми (рис. 2.1.). Перший етап складався із відпрацювання біотехнологічного способу одержання біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром, де вивчали вплив різних джерел і доз елемента на акумулювання його у клітинах синьо-зеленої водорості та накопичення біомаси *Spirulina platensis*. Визначали вплив температури, освітлення, інтенсивності перемішування поживного середовища із різними дозами Сульфур у культивування спіруліни і нарощування її біомаси.

Під час другого етапу вивчали гостру токсичність, нешкідливість та подразнюючу дію біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром на лабораторних тваринах (білі миші, білі щури, кролі).

Третій етап роботи представлений дослідженнями, спрямованими на встановлення ефективності використання різних доз біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром у складі раціонів молодняку собак.

Для експериментів щодо одержання біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром застосовували поживне середовище Заррука із різним вмістом цього елемента.

Культивування ціанобактерії штаму ЛГУ-603 здійснювали у фітореакторах, застосовуючи цілодобове динамічне освітлення.



Рис. 2.1. Загальна схема експерименту.

На першому етапі вивчали вплив невисоких доз Сульфуру на показники росту *Spirulina platensis* (чиста трихомна культура) штаму ЛГУ-603.

У стандартне поживне середовище Заррука Сульфур вносили із солями макроелементів (Магній, Калій і ферум сірчаноокислий) та мікроелементів

(Купрум та цинк сірчаноокислий). Розчинником для органічних та мінеральних солей для виготовлення стандартного середовища Заррука слугувала дистильована вода.

Фітореактори для спіруліни розташовували у боксах, де температуру підтримували на рівні 27,0–28,0 °С. Перемішування поживного середовища із вмістом біомаси спіруліни у фітореакторах проводили продовж усього терміну дослідження безперебійно. Тривалість досліджень становила 16 діб.

У контрольній групі фітореакторів для вирощування синьо-зеленої водорості використовували стандартне поживне середовище, де вміст Сульфору за рахунок солей макроелементів та мікроелементів становив 212,0 мг/дм³. У I дослідній групі концентрацію Сульфору у поживному середовищі збільшували на 6,6 % порівняно до контролю. У II і III дослідних групах у поживному середовищі містилось по 300,0 та 350,0 мг/дм³ Сульфору. Вміст Сульфору у поживних середовищах із дослідних груп збільшували за допомогою внесення аліментарної очищеної сірки (I серія досліду).

У II серії експериментів у контрольній групі використовували стандартне середовище Заррука, де вміст Сульфору становив 212,0 мг/дм³. У I, II та III дослідних групах вміст Сульфору у поживному середовищі збільшували до рівня 250,0; 300,0 та 350,0 мг/дм³ за внесення натрію сульфату (глауберова сіль) (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

**Схема дослідження вирощування спіруліни на поживному середовищі
із низькими дозами Сульфору**

Група (фітореакторів)	Кількість фітореакторів/ об'єм поживного середовища в одному фітореакторі, дм ³	Вміст Сульфору, мг/дм ³
Контрольна	3/ 15,0	212,0
I дослідна	3/ 15,0	250,0
II дослідна	3/ 15,0	300,0
III дослідна	3/ 15,0	350,0

Вивчаючи вплив високих доз Сульфуру (III та IV серії дослідів) на інтенсивність росту у контрольних фітореакторах застосовували середовище із вмістом цього елемента 212,0 мг/дм³ (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

**Схема дослідження вирощування спіруліни на поживному середовищі
із високими дозами Сульфуру**

Група (фітореакторів)	Кількість фітореакторів/ об'єм поживного середовища в одному фітореакторі, дм ³	Вміст Сульфуру, мг/дм ³
Контрольна	3/ 15,0	212,0
I дослідна	3/ 15,0	500,0
II дослідна	3/ 15,0	700,0
III дослідна	3/ 15,0	900,0

У поживному середовищі із I, II та III дослідних груп фітореакторів вміст Сульфуру збільшували у 2,35; 3,30 та 4,24 рази у порівнянні із контролем за рахунок внесення глауберової солі та аліментарної очищеної сірки.

Із поживного середовища із спіруліною відбирали проби на 1-шу, 4-ту, 8-му, 12-ту та 16-ту добу експерименту. У відібраних пробах поживного середовища із клітинами спіруліни визначали оптичну густину за використання спектрофотометричного методу. За величиною оптичної густини поживного середовища оцінювали збільшення кількості клітин спіруліни.

Вивчення нешкідливості біомаси *Spirulina platensis*, збагаченої Сульфуром, проводили на лабораторних мишах лінії Albino.

Для визначення нешкідливості біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром із лінійних мишей одного віку (55 діб кожна), однакових за статтю, величиною та масою тіла (19,5–20,5 г) формували три групи по чотири голови у кожній з використанням правила випадковості. Фізрозчин та досліджувані суспензії біомаси спіруліни мишам вводили внутрішлунково, застосовуючи одноразові металеві зонди.

Внутрішньошлунково лабораторним тваринам із контрольної групи вводили по 0,35 см³ фізрозчину. Білим мишам з I дослідної групи вводили по 0,35 см³ 25,0 % суспензії біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром. Тварини із II дослідної групи отримували по 0,35 см³ 50,0 % суспензії біомаси синьо-зеленої водорості (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Схема встановлення нешкідливості біомаси спіруліни

Група	Кількість мишей у групі, гол.	Фактор дослідження
Контрольна	4,0	Внутрішньошлункове введення фізіологічного розчину у дозі 0,35 см ³ на голову
I дослідна	4,0	Внутрішньошлункове введення 25,0 % суспензії біомаси <i>Spirulina platensis</i> у дозі 0,35 см ³ на голову
II дослідна	4,0	Внутрішньошлункове введення 50,0 % суспензії біомаси <i>Spirulina platensis</i> у дозі 0,35 см ³ на голову

Лінійних мишей утримували у спеціально облаштованих клітках, тварини постійно були забезпечені питною водою з напувалок і збалансованим гранульованим комбікормом. За виконання експерименту враховували показники: поведінку, зовнішній стан мишей, стан їх волосяного покриву, реагування тварин на зовнішні подразники, споживання комбікорму та води.

Після введення лабораторним тваринам дослідних зразків суспензії спіруліни спостереження за ними здійснювали продовж 12 діб. По завершенню дослідження проводили наркоз тварин та забій для виконання патолого-анатомічних досліджень щодо стану внутрішніх органів і проведення відбору проб біоматеріалу для біохімічних досліджень.

Вивчали гостру токсичність біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром на білих мишах 3-місячного віку із масою тіла 22–23 г. Дослід складався із двох етапів – орієнтовного та розгорнутого (заключного). Суспензію біомаси мікрowodорості дослідним мишам вводили одноразово і дворазово (за високого об'єму) внутрішньошлунково. За 6 годин до введення суспензії *Spirulina platensis*,

приготовленої на основі 1,0 % розчину крохмалю, тварин витримували на голодній дієті за вільного доступу до води. Кожна група нараховувала по п'ять голів мишей.

За орієнтовного дослідів мишам внутрішньошлунково вводили дози 5, 500 та 5000 мг біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром за натуральної вологи на кг маси тіла. Під час розгорнутого дослідів мишам вводили дози 3000, 4000, 5000 та 6000 мг/кг живої маси. Спостереження за тваринами здійснювали продовж 14 діб. Дози суспензії спіруліни 4000–6000 мг/кг маси тіла розділяли і вводили у два етапи.

Вивчали гостру токсичність біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром на щурах, умови експерименту були аналогічними що і на білих мишах. Кількість тварин у орієнтовному та розгорнутому дослідів та дози суспензії спіруліни були однаковими. Для досліджень використовували лінійних білих щурів 3–4-місячного віку, з масою тіла 175–181 г. Перед постановкою експерименту впродовж 2 тижнів щурів витримували на карантині.

Утримання та годівлю тварин за вивчення гострої токсичності біомаси спіруліни проводили згідно із загальноприйнятими нормами [7].

Розчин біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром вводили у шлунок білих мишей та щурів за допомогою металевих зондів натщесерце. Рівень токсичності кормової біомаси спіруліни встановлювали, керуючись [7].

За вивчення подразнюючої дії із підготовленої біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром виготовляли суспензію, яку в кількості 2-х крапель вносили у кон'юнктивальний мішок ока (ліве) кролів. Пальцями вжимали слізно-носовий канал і фіксували на 90 с. Для постановки експерименту було використано чотири кроля віком 75 діб із масою тіла 2,32–2,33 кг. Для порівняння (контроль) використовували результати клінічних ознак правих очей лабораторних тварин, у які не вносили суспензію *Spirulina platensis*. Впродовж дослідження постійно спостерігали за станом очей і самих кролів через годину, 12 та 24 години після нанесення суспензії водорості, а потім щодоби продовж 14 діб.

Подразнюючу дію спіруліни на слизових оболонках очей кролів оцінювали з огляду на наявність або відсутність ознак: набряк, гіперемію та різної природи

виділення з очей. За вказаними ознаками присуджували бали враховуючи дані наведені у таблиці 2.4 [7].

Таблиця 2.4

**Бали щодо оцінювання шкідливої дії біомаси *Spirulina platensis*
збагаченої Сульфуром**

Клінічні ознаки	Бали за ознакою
Характеристика виділень	
Кількість виділень незначна, локалізована в кутику ока	1,0
Об'єм виділень достатній щоб зволожувати усі повіки	2,0
Об'єм виділень достатній щоб зволожувати усі повіки та шкіряний покрив навколо	3,0
Гіперемія рогівки очей та кон'юнктиви	
Чітко видимі гіперемійовані судини ока	1,0
Частина судин ока невиразно помітна	2,0
Дифузне і глибоке почервоніння	3,0
Набряк повік	
Незначний (малопомітний) набряк	1,0
Добре помітний набряк повіки з її зональним виверненням	2,0
За набряку повік око закрите на половину	3,0
Через значний набряк повік око закрите більше ніж на половину	4,0

По завершенню експерименту у лабораторних тварин відбирали кров для проведення ряду біохімічних досліджень.

Науково-господарські дослідження з встановлення ефективності додавання біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром до раціонів молодняку собак були проведені методом збалансованих груп-аналогів згідно зі схемою (табл. 2.5).

Основний раціон для молодняку собак складався із кормосуміші, до якої входили яловичина свіжа подрібнена (довжина часток 0,3–0,8 см) – 15,0 % за масою, м'ясо курчат-бройлерів механічного обвалювання (довжина часток 0,3–0,8 см) – 25,0 % за масою, кісткове борошно – 2,5 % за масою, каша ячмінна – 57,48 % та вітамінний бленд – 0,02 % за масою (додаток Б).

Добова даванка готової кормосуміші на одну голову молодняку собак становила 7,0 % від їх тіла. Корегування маси даванки кормосуміші на голову на добу здійснювали кожні 10 діб за результатами контрольних зважувань тварин. Під час введення до кормосуміші біомаси спіруліни використовували метод вагового дозування і багатоступеневого змішування.

Таблиця 2.5

Схема науково-господарського досліду на цуценятах

Група	Кількість собак, гол.	Фактор, що досліджується
Контрольна	6,0	Готова кормосуміш із кормів тваринного, рослинного походження та вітамінного бленду – основний раціон (ОР)
I дослідна	6,0	ОР із вмістом 0,5 % біомаси <i>Spirulina platensis</i> збагаченої Сульфуром
II дослідна	6,0	ОР із вмістом 1,0 % біомаси <i>Spirulina platensis</i> збагаченої Сульфуром
III дослідна	6,0	ОР із вмістом 1,5 % біомаси <i>Spirulina platensis</i> збагаченої Сульфуром

Молодняку собак із контрольної групи згодовували готову кормосуміш без внесення біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром. Цуценятам із I дослідної групи давали кормосуміш, яка містила 0,5 % за масою біомаси спіруліни. Тварини із II дослідної групи споживали кормосуміш, яка містила 1,0 % синьо-зеленої водорості. Кормосуміш для собак із III дослідної групи містила 1,5 % біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром. Утримували молодняк собак у оснащених вольєрах. Зважування маси тіла тварин здійснювали один раз на 10 діб. Дослід тривав 60 діб.

За експерименту проводили облік збереженості молодняку собак, вивчали ріст і обраховували середньодобові прирости живої маси, а також витрати корму на 1 кг приросту. Витрати кормів реєстрували щоденно і за період досліду.

У собак відбирали кров для проведення біохімічних та гематологічних досліджень.

За виробничих випробувань дослідній групі до кормосуміші вводили біомасу спіруліни збагачену Сульфуром у кількості 1,0 % від маси.

2.2. Методи дослідження показників

Проводили дослідження хімічного складу біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром, керуючись загальноприйнятими методиками:

- визначення вмісту хлорофілу та загального білка проводили за методиками [20];
- колір та зовнішній вигляд спіруліни визначали візуальною оцінкою, запах – органолептично;
- вміст сухої речовини визначали за методикою [9].
- вміст амінокислот за методикою капілярного електрофорезу викладеною у рекомендаціях за реакцією І.Я. Коцюмбаса [18].

Із одержаних проб крові мишей, щурів і собак отримували сироватку, яку центрифугували за 1500 об./хв, цільну кров собак, мишей і щурів стабілізували гепарином [2]. Із печінки мишей та щурів виготовляли гомогенат.

Концентрацію гемоглобіну в крові собак визначали згідно з [2, 14].

Концентрацію глюкози в крові тварин визначали використовуючи стандартний набір реактивів глюкозооксидазним методом [2, 13]. Вміст сечовини в сироватці крові досліджували використовуючи стандартний набір реактивів [2, 15].

Уміст білка (загального) у сироватці крові та печінці тварин визначали використовуючи стандартний набір реактивів за допомогою біуретового реагента та за методикою О.Н. Lowry [110].

У тілі мишей вміст металів-біотиків визначали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії згідно з нормативним документом [8]. Вміст Сульфуру у біомасі спіруліни визначали за методикою капілярного електрофорезу.

Активність аспартатамінотрансферази і аланінамінотрансферази в сироватці крові собак та печінці мишей і щурів визначали за методом S. Reitman, S. Francel [132], лужної фосфатази – керуючись методикою S. King [98].

У печінці мишей досліджували уміст тіолових груп – за G.L. Ellman [73]. Вміст Кальцію та альбуміну в крові визначали за допомогою стандартних наборів

реактивів [2]. Підрахунок кількості еритроцитів та лімфоцитів у крові собак проводили згідно з [2].

Наукові дослідження на лабораторних тваринах та собаках проводили згідно з вимогами європейської конвенції про захист хребетних тварин та закону України “Про захист тварин від жорстокого поводження” [10, 11].

Статистичну значущість різниць між показниками обраховували з використанням програми Statistika, оцінювали за критерієм Стюдента.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Дослідження технології збагачення біомаси спіруліни Сульфуром

3.1.1. Вивчення різних доз і джерел Сульфуру за нарощування біомаси спіруліни

На першому етапі експерименту встановлювали вплив низьких доз (212–350 мг/дм³) Сульфуру у формі аліментарної очищеної сірки та натрію сульфат (глауберова сіль) на інтенсивність збільшення кількості клітин ціанобактерії *Spirulina platensis* за динамікою показників оптичної густини середовища (поживного) із спіруліною. Вивчаючи вплив Сульфуру у аліментарній очищеній формі було виявлено, що інтенсивність збільшення біомаси синьо-зеленої водорості у поживному середовищі залежала від вмісту Сульфуру в останньому (рис. 3.1).

На першу добу (початок експерименту) оптична густина поживного середовища із біомасою клітин водорості була однакова (в межах 0,61 D) як у контрольній так і дослідних групах. Через 96 годин (завершення фази адаптації спіруліни до хімічного складу поживного середовища) від початку вирощування культури було встановлено, що у I дослідній групі фітореакторів за додаткового внесення Сульфуру оптична густина поживного середовища збільшується на 9,0 % відносно контрольних показників. У середовищі із II дослідної групи на 4-ту добу експерименту теж було виявлено зростання метаболічних процесів та пришвидшення ділення клітин *Spirulina platensis*, що супроводжується збільшенням показника D. У III дослідній групі фітореакторів оптична густина поживного середовища із культурою була більшою на 36,3 % відносно контрольної групи.

На 8-му добу культивування спіруліни (фаза під час якої відбувається нарощування біомаси культури в межах біологічного плато) зберігалась тенденція – чим більше у поживне середовище вносили Сульфуру, тим показники оптичної густини були вищими. Найбільші показники оптичної густини поживного

середовища були встановлені у III дослідній групі, різниця із показником у контрольній групі становила 11,7 %.

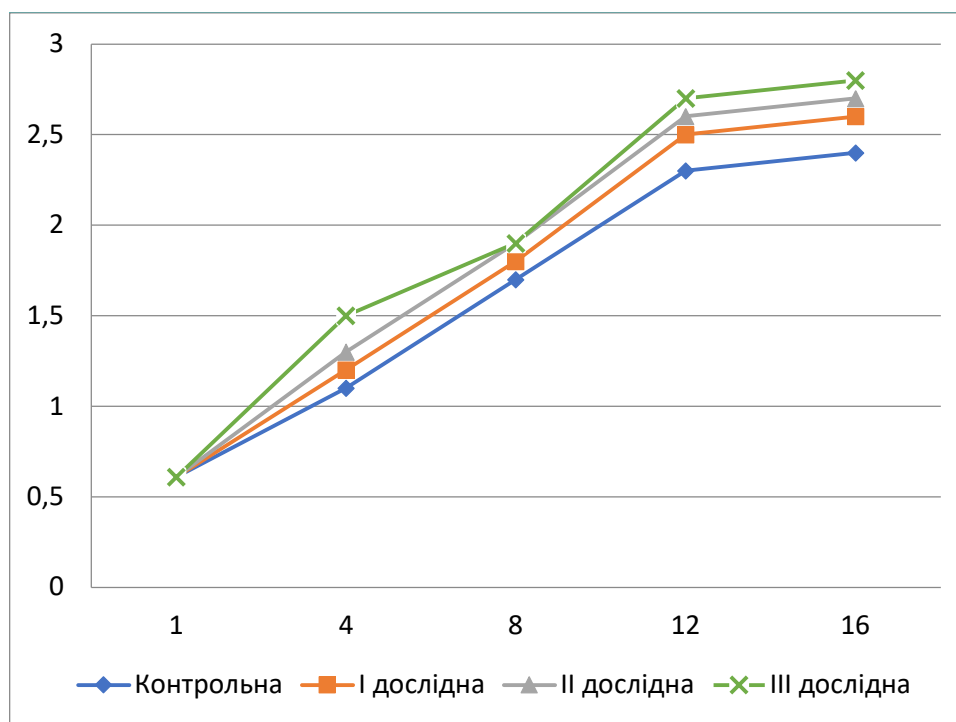


Рис. 3.1. Вплив Сульфуру у аліментарній формі на нарощування біомаси *Spirulina platensis* (за оптичною густиною).

За збільшення вмісту елемента у поживному середовищі на 6,6 % (II дослідна група фітореакторів) на 8-му добу культивування пришвидшується утворення клітин *Spirulina platensis*, що супроводжується зростанням оптичної густини середовища на 5,8 % відносно контролю.

Оцінюючи показники оптичної густини середовища на 12-ту добу вирощування (фаза старіння культури), виявлено вплив різних доз елемента у поживному середовищі на збільшення кількості клітин синьо-зеленої водорості. У I дослідній групі фітореакторів оптична густина поживного середовища була вищою ніж у контрольній групі на 8,6 %. За збільшення вмісту Сульфуру у поживному середовищі до 300 мг/дм³ (II дослідна група) оптична густина збільшувалась відносно показника у контролі на 13,0 %. У цей період найінтенсивніше збільшувалось нарощування біомаси *Spirulina platensis*

у поживному середовищі із III дослідної групи, показник оптичної густини був вищим відносно контролю, I та II дослідних груп, відповідно, на 17,5; 8,0 та 3,8 %.

Наприкінці дослідження (16-та доба культивування) було виявлено збереження закономірності – чим більше у поживне середовище вносили елемента тим оптична густина останнього була вищою. Найнижча оптична густина середовища спостерігалася у контрольній групі, а найбільша у поживному середовищі, яке містило найбільшу дозу додатково внесеного Сульфуру. Різниця між показником оптичної густини поживного середовища у III дослідній групі фітореакторів і контрольній групі становила 16,7 %. Встановлено, що у контрольній групі оптична густина поживного середовища із культурою відносно показника на 12-ту добу зросла на 4,3 %. У дослідних групах фітореакторів цей показник відносно 12-ї доби досліду становив 3,7–4,0 %, що є ознакою швидкого старіння клітин внаслідок високої оптичної густини і зменшення інтенсивності проникнення променів світла, необхідного для перебігу фотосинтезу в клітинах. Найбільше нарощування біомаси *Spirulina platensis* у дослідних групах відбувалось із 4-ї до 8-ї доби. Отже, доведено стимулюючий вплив невеликих доз Сульфуру у очищеній аліментарній формі.

Також визначали вплив Сульфуру у формі глауберової солі (натрію сульфат) на ріст і нарощування біомаси *Spirulina platensis*. Вивчаючи оптичну густину поживного середовища із клітинами синьо-зеленої водорості на першу добу дослідження виявлено аналогічні показники у дослідних та контрольній групах (рис. 3.2.).

У період адаптації спіруліни (1–3-я доба) виявлено стимулюючий ефект додаткового внесення Сульфуру у поживне середовище у формі глауберової солі. У I дослідній групі фітореакторів оптична густина була аналогічною, що і в контрольній групі.

За додавання у поживне середовище 300,0 мг/дм³ елемента, його оптична густина зростає на 27,7 % відносно контрольного показника. За вмісту найбільшої дози Сульфуру у поживному середовищі (III дослідна група) оптична густина у останньому на 4-ту добу експерименту збільшується на 45,5 % відносно контролю.

Це явище є підтвердженням стимулюючого впливу додаткових доз Сульфуру на утворення нових клітин спіруліни. Чим більша оптична густина поживного середовища, тим кількість клітин синьо-зеленої водорості зростає.

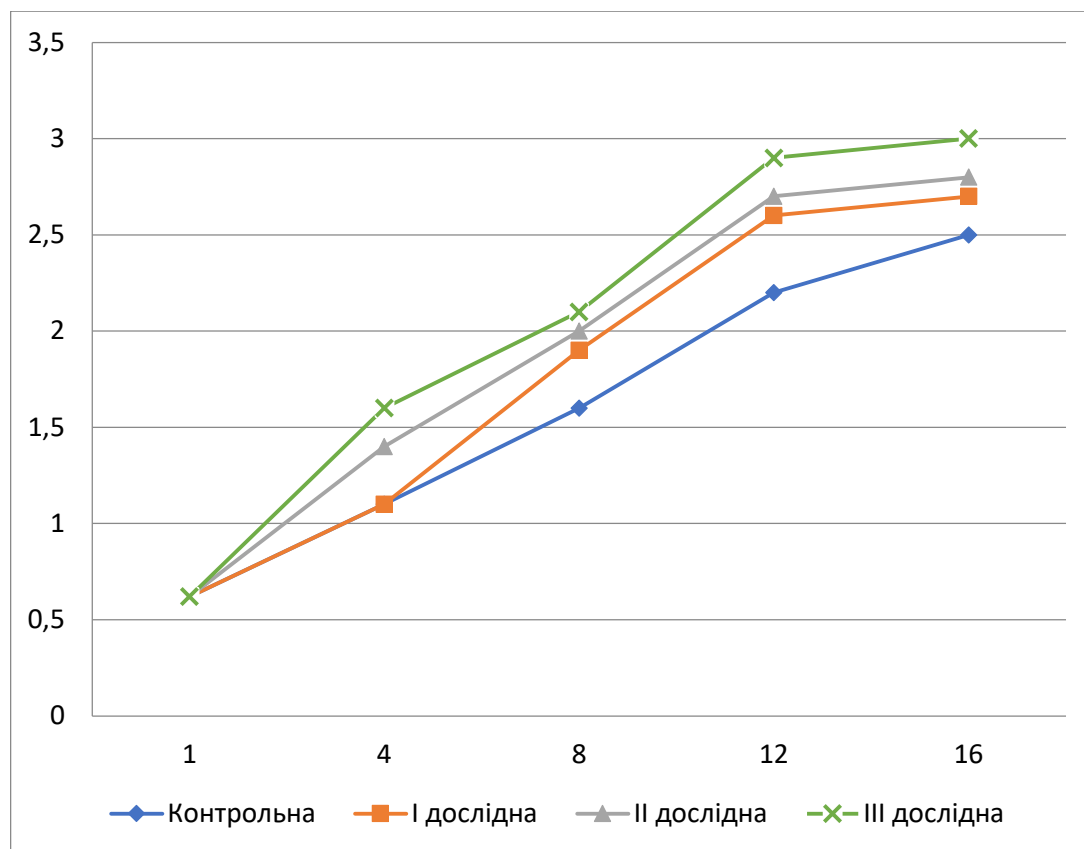


Рис. 3.2. Вплив Сульфуру у складі натрію сульфат на нарощування біомаси *Spirulina platensis* (за оптичною густиною)

У фазу інтенсивного нарощування біомаси *Spirulina platensis* (8-ма доба дослідження) найменший показник оптичної густини було встановлено у поживному середовищі контрольної групи. Найбільше значення оптичної густини поживного середовища спостерігалось у III дослідній групі фітореакторів. Різниця із контролем становила на рівні 31,2 %. Збільшення показника D у поживному середовищі цієї групи відносно даних одержаних на 4-ту добу культивування було в межах 2,58 рази.

Підвищення вмісту Сульфуру у поживному середовищі у дослідних групах позитивно впливало на утворення біомаси *Spirulina platensis* із 8-ї до 12-ї доби

досліджень. У I, II та III дослідних групах показники D були більшими ніж у контрольній групі, відповідно, на 18,1; 22,7 та 31,8 %. Станом на 16-ту добу експерименту було виявлено ознаки старіння клітин спіруліни і сповільнення збільшення їх кількості. Збільшення показника оптичної густини на 16-ту добу відносно 12-ї доби культивування у контрольній, I, II та III дослідних групах становило в межах, відповідно, 13,6; 3,8; 3,7 та 3,4 %.

Аналізуючи ріст *Spirulina platensis* за оптичною густиною щодо культивування її на поживному середовищі із додатковим внесенням Сульфору за різних джерел виявлено, що за використання Сульфору у формі натрію сульфат оптична густина на 4-ту; 8; 12 та 16-ту добу була більшою, відповідно, на 6,0, 7,0; 10,5; 7,4 та 7,1 % відносно варіантів де вміст Сульфору у поживному середовищі підвищували за його очищеної аліментарної форми.

Досліджуючи вплив високих доз Сульфору у поживному середовищі на нарощування клітин *Spirulina platensis*, рівень елемента забезпечували у дозі 500,0–700,0 мг/дм³, застосовуючи ті самі сполуки що і під час дослідження низьких доз Сульфору (аліментарну, очищену сірку та глауберову сіль).

Досліджуючи вплив високих доз Сульфору за додавання глауберової солі встановлено, що у першу добу поживне середовище із клітинами синьо-зеленої водорості (контрольна і дослідні групи фітореакторів) мало показник оптичної густини на рівні 0,68–0,69 (D).

Виявлено, що інтенсивність збільшення біомаси синьо-зеленої водорості у поживному середовищі залежала від вмісту у ньому Сульфору. На 4-ту добу культивування найменший показник оптичної густини був у поживному середовищі із контрольної групи (рис. 3.3.).

Показники оптичної густини у поживному середовищі із I дослідної групи фітореакторів були вищими на 54,5 % у порівнянні із даними контрольної групи. Після завершення етапу адаптації клітин синьо-зеленої водорості за внесення до поживного середовища Сульфору до концентрації 700,0 мг/дм³ оптична густина останнього збільшується на 63,6 % відносно контролю. У поживному середовищі із III дослідної групи фітореакторів на 4-ту добу дослідження теж було виявлено

зростання засвоєння елементів та прискорення ділення клітин *Spirulina platensis*, що приводить до збільшення показника оптичної густини аналогічно як у II дослідній групі.

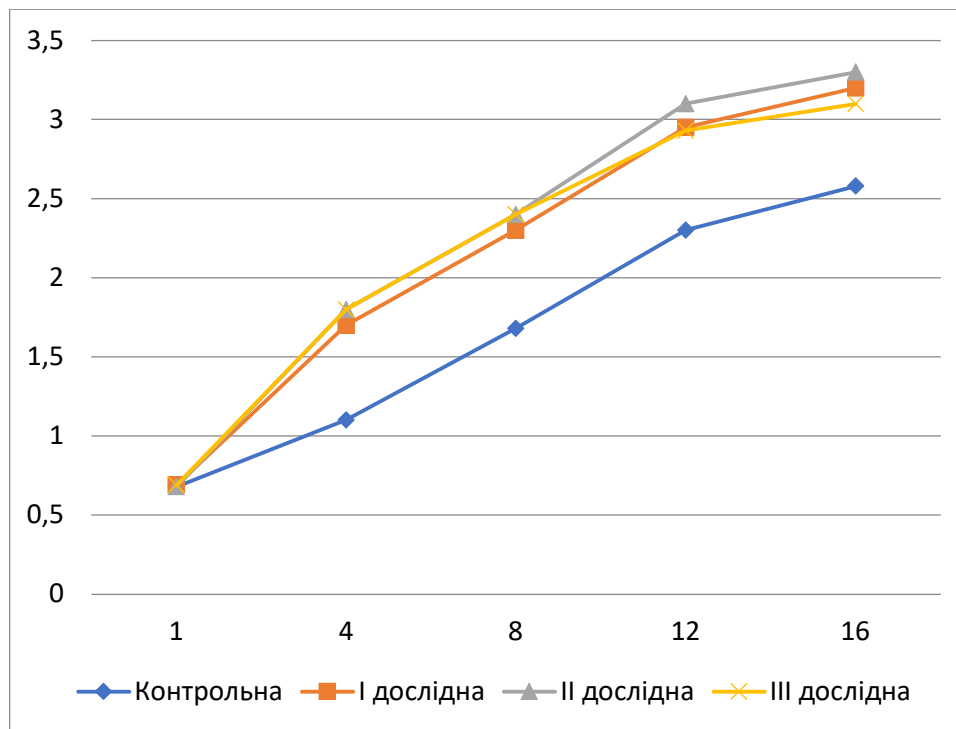


Рис. 3.3. Вплив Сульфору (високі дози) у складі натрію сульфат на нарощування біомаси *Spirulina platensis* (за оптичною густиною)

Під час фази максимального нарощування біомаси культури (8-ма доба експерименту) виявлено вплив збільшення вмісту Сульфору у поживному середовищі на показники оптичної густини. За вмісту елемента у середовищі 500,0 мг/дм³ показник D збільшився на 36,9 % у порівнянні із даними контрольної групи. Найвищі показники оптичної густини поживного середовища у цей період було зафіксовано у II та III дослідних групах, різниця із показником контролю становила 42,8 %.

Аналізуючи показники оптичної густини у фазу початку старіння культури (12-та доба експерименту) встановлено вплив різних доз Сульфору у поживному середовищі на підвищення кількості біомаси синьо-зеленої водорості. У I дослідній групі показник D поживного середовища був вищим ніж у контролі на 28,2 %. За

додаткового внесення у поживне середовище глауберової солі (II дослідна група фітореакторів) оптична густина збільшувалась відносно показника контролю на 34,7 %. У цей період найінтенсивніше відбувалось розмноження клітин *Spirulina platensis*. У поживному середовищі із III дослідної групи показник оптичної густини був вищим відносно контролю і нижчим у порівнянні із I та II дослідними групами, відповідно, на 27,3; 0,67 та 5,4 %.

На 16-ту добу культивування (завершення експерименту) за доз 500,0 та 700,0 мг/дм³ зберігалась закономірність щодо позитивного впливу Сульфуру на підвищення оптичної густини останнього. Найменша оптична густина поживного середовища була виявлена у контролі, а найбільша у поживному середовищі, яке містило 700,0 мг/дм³ Сульфуру. Різниця між показником оптичної густини поживного середовища у II дослідній та контрольній групах становила 27,9 %. За найбільшої дози Сульфуру у поживному середовищі (III дослідна група) виявлено, що надмірне накопичення Сульфуру прискорює старіння клітин спіруліни.

Виявлено, що у контролі оптична густина (16-та доба) середовища із культурою відносно показника на 12-ту добу збільшилась на 12,1 %. У дослідних групах показник D відносно 12-ї доби культивування зріс, відповідно, на 8,4; 6,4 та 5,8 %. Зниження відсотка зростання оптичної густини обумовлено зменшенням проникнення світлових променів у поживне середовище і зниженням розмноження клітин синьо-зеленої водорості. Найбільша динаміка збільшення оптичної густини та утворення біомаси спіруліни проходить у період після адаптації культури. Отже, виявлено, що оптимальним вмістом Сульфуру у поживному середовищі є 700,0 мг/дм³ за додавання глауберової солі.

Досліджували вплив підвищених доз Сульфуру у формі внесення аліментарної очищеної сірки на збільшення біомаси спіруліни. На першу добу культивування оптична густина поживного середовища із клітинами синьо-зеленої водорості із контрольної та дослідних груп фітореакторів була аналогічною (показники становили в межах 0,71–0,73) (рис. 3.4.).

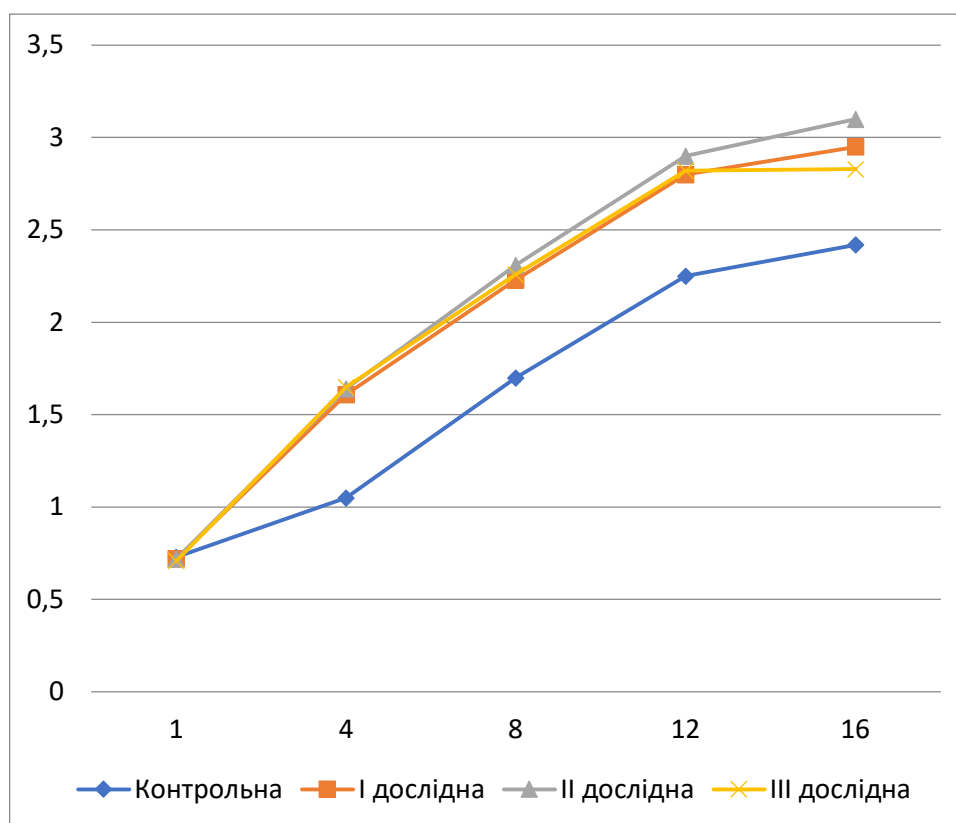


Рис. 3.4. Вплив Сульфуру (високі дози) у аліментарній формі на нарощування біомаси *Spirulina platensis* (за оптичною густиною).

За період 96 годин культивування адаптація клітин *Spirulina platensis* пройшла позитивно, що підтверджується підвищенням оптичної густини у порівнянні з першою добою культивування. У контролі збільшення оптичної густини становило 43,8 % у порівнянні із першою добою. Найбільший приріст оптичної густини було зафіксовано у III дослідній групі. Різниця із контролем становила 2,3 рази.

У поживному середовищі із I дослідної групи фітореакторів оптична густина була більшою на 53,3 % відносно контролю.

За вмісту у поживному середовищі 700,0 мг/дм³ Сульфуру, його оптична густина збільшується на 56,1 % відносно контрольного показника. За найбільшої дози елемента у поживному середовищі із III дослідної групи фітореакторів оптична густина у ньому на 4-ту добу експерименту збільшується на 57,1 % відносно показника у контрольній групі. Отже, встановлено, що внесення високих

доз Сульфуру має стимулюючий ефект щодо розмноження клітин синьо-зеленої водорості на першому етапі культивування.

У період 8-ї доби вирощування біомаси *Spirulina platensis* у контрольній групі оптична густина поживного середовища була найнижчою. Найбільший показник оптичної густини поживного середовища було встановлено у II дослідній групі фітореакторів. Різниця із контролем становила на рівні 35,8 %. Також встановлено підвищення оптичної густини поживного середовища із клітинами спіруліни у I та III дослідних групах, відповідно, на 31,1 та 32,9 % відносно контролю.

Порівнюючи показники оптичної густини поживного середовища із спіруліною до показників одержаних на 4-ту добу культивування виявлено збільшення у контролі, I, II та III дослідних групах показника D, відповідно, на 61,9; 38,5; 40,8 та 36,9 %.

За збільшення вмісту Сульфуру у поживному середовищі у дослідних групах активується утворення клітин *Spirulina platensis* із 8-ї до 12-ї доби культивування. У дослідних групах (I, II та III) фітореакторів показники оптичної густини були більшими ніж у контролі, відповідно, на 24,4; 28,9 та 25,3 %.

Наприкінці експерименту (16-та доба) спостерігалось сповільнення нарощування кількості клітин спіруліни у контролі і дослідних групах. За найбільшої дози Сульфуру у поживному середовищі ріст синьо-зеленої водорості був меншим, ніж у I та II дослідних групах. Найбільший показник оптичної густини поживного середовища із культурою був у II дослідній групі фітореакторів. Різниця із контролем становила 28,0 %. На 16-ту добу культивування збільшення показника оптичної густини відносно 12-ї доби у контрольній I, II та III дослідних групах становило, відповідно, 7,5; 4,2; 6,8 та 0,3 %.

Доведено, що за внесення Сульфуру у кількості 700,0 мг/дм³ у різних формах (глауберова сіль та очищена, аліментарна сірка) проявляється позитивний ефект щодо нарощування біомаси синьо-зеленої водорості. Порівнюючи ці два джерела встановлено, що за додавання Сульфуру у формі натрію сульфат оптична густина продовж експерименту була більшою, відповідно, на 9,7; 3,8; 6,8 та 6,4 % відносно

додаткового Сульфуру у поживному середовищі для *Spirulina platensis* за його очищеної аліментарної форми.

Отже, внесення в поживне середовище глауберової солі, що забезпечує вміст Сульфуру у кількості 700,0 мг/дм³, проявляє стимулювальний ефект з нарощування клітин *Spirulina platensis*.

У період із 14- по 16-ту добу культивування за допомогою фільтрування від поживного середовища була відділена біомаса спіруліни і висушена за активної вентиляції тонкого шару теплим повітрям. Розрахунок проводили на 10,0 дм³.

Залежно від концентрації Сульфуру у складі поживного середовища було одержано різну масу сухої *Spirulina platensis*.

За культивування спіруліни на стандартному поживному середовищі Заррука (контрольна група) вихід спіруліни становив 21,1 г. За вирощування культури у I дослідній групі додаткове внесення Сульфуру у аліментарній очищеній формі сприяє виходу біомаси синьо-зеленої водорості на 14,6 % відносно контрольної групи (табл. 3.1).

Найбільший вміст сухої маси спіруліни було одержано у II дослідній групі. Різниця у порівнянні із контрольною та I дослідною групами становила, відповідно, 118,9 та 3,7 %. У порівнянні із контролем різниця була статистично значущою.

Таблиця 3.1.

Вихід сухої речовини біомаси спіруліни

Групи	Маса біомаси спіруліни, г	Відносно контролю, %
Додаткове внесення Сульфуру у аліментарній, очищеній формі		
Контрольна	21,1±1,05	100,0
I дослідна	24,2±0,87	114,6
II дослідна	25,1±0,95*	118,9
III дослідна	23,8±1,15	112,7
Додаткове внесення Сульфуру у формі натрію сульфату		
Контрольна	21,0±0,87	100,0
I дослідна	25,3±0,98*	120,4
II дослідна	26,1±1,05*	124,2
III дослідна	24,0±1,65	114,2

Примітка: * – $p \leq 0,05$.

Серед дослідних груп найменшу масу сухої *Spirulina platensis* було одержано у III дослідній групі, де вміст Сульфору у поживному середовищі становив 900,0 мг/дм³. Різниця у порівнянні із I та II дослідними групами становила, відповідно, 1,6 та 5,1 %.

Вивчаючи вплив підвищених доз Сульфору у поживному середовищі у формі глауберової солі, встановлено позитивний вплив доз 500,0 та 700,0 мг/дм³ на нарощування біомаси спіруліни. За цих доз спостерігається статистично значуще підвищення виходу сухої маси спіруліни відносно показника у контрольній групі, відповідно, на 20,4 та 24,2 %.

За вмісту Сульфору у кількості 900,0 мг/дм³ (III дослідна група) вихід біомаси синьо-зеленої водорості був меншим відносно показника у I та II дослідних групах, відповідно, на 5,1 та 8,0 %.

Отже, встановлено, що додаткове внесення Сульфору до поживного середовища у формі глауберової солі є більш ефективнішим у порівнянні із його аліментарною формою.

3.1.2. Хімічні та біохімічні показники спіруліни

Ефективність кумуляції Сульфору із поживного середовища біомасою спіруліни проводили за допомогою визначення його вмісту у клітинах синьо-зеленої водорості отриманої за вирощування її на поживному середовищі Заррука із низькими та високими дозами цього елемента у різних формах. Промивання біомаси мікроводорості відібраної із поживного середовища після експерименту проводили за низького коефіцієнта гідромодуля (табл. 3.2).

Вирощена біомаса *Spirulina platensis* на стандартному поживному середовищі Заррука містила найменшу кількість Сульфору. Показник становив у межах 2,66–2,68 г/кг. За культивування клітин спіруліни у поживному середовищі із вмістом Сульфору 250,0 мг/дм³ (за додавання глауберової солі) вміст останнього у біомасі синьо-зеленої водорості збільшується на 13,0 %. Встановлено, що у біомасі спіруліни із II дослідної групи фітореакторів вміст Сульфору був вищим у порівнянні із контролем на 22,7 %. Різниця була

статистично значущою. Вміст елемента був також вищий у порівнянні із показником із I дослідної групи на 8,5 %.

Таблиця 3.2

**Вміст Сульфуру у біомасі спіруліни за низьких доз цього елемента
у поживному середовищі, г/кг**

Група фітореакторів	Біомаса отримана на поживному середовищі із додатковим вмістом глауберової солі	Біомаса отримана на поживному середовищі із додатковим вмістом аліментарної очищеної сірки
Контрольна	2,68±0,155	2,66±0,164
I дослідна	3,03±0,208	2,98±0,157
II дослідна	3,29±0,187*	3,11±0,250
III дослідна	3,67±0,206*	3,54±0,211*

Примітка: * – $p \leq 0,05$.

Збільшення вмісту Сульфуру у III дослідному поживному середовищі до 350,0 мг/дм³ обумовило статистично значуще зростання елемента у біомасі синьо-зеленої водорості на 36,9 % у порівнянні із культурою, яку вирощували у контрольній групі фітореакторів. Вміст Сульфуру у біомасі спіруліни із III дослідної групи був вищим у порівнянні із цим показником у I та II дослідних групах фітореакторів, відповідно, на 21,1 та 11,5 %.

Вміст Сульфуру у контрольній групі у варіанті де визначали вплив додаткового внесення цього елемента на нарощування біомаси спіруліни у аліментарній очищеній формі був аналогічним показнику у контрольній групі де визначали вплив додаткового внесення Сульфуру у формі глауберової солі (табл. 3.2).

За концентрації Сульфуру 250,0 мг/дм³ поживного середовища вміст цього елемента збільшується на 12,0 % відносно контрольної групи. Щодо біомаси спіруліни, яку вирощували у II дослідній групі фітореакторів, то вміст у ній Сульфуру був більшим ніж у контролі та I дослідній групі фітореакторів, відповідно, на 16,9 та 4,3 %.

Найбільший вміст Сульфуру було встановлено у біомасі спіруліни із III дослідної групи. У порівнянні із контрольною групою підвищення вмісту елемента мало статистичну значущість. Порівнюючи із показниками у I та II дослідних групах, вирощена біомаса спіруліни на поживному середовищі із вмістом Сульфуру $350,0 \text{ мг/дм}^3$ мала більший вміст цього елемента, відповідно, на 18,7 та 13,8 %.

Порівнюючи вміст Сульфуру між дослідними групами встановлено, що за використання додаткових доз Сульфуру у формі глауберової солі вміст елемента у біомасі синьо-зеленої водорості у I, II та III дослідних групах був більшим, відповідно, на 1,6; 5,7 та 3,6 % у порівнянні із варіантами де до поживного середовища додатково вносили Сульфур у очищеній аліментарній формі.

Отже, внесення невисоких доз Сульфуру як у аліментарній формі так і у вигляді глауберової солі до поживного середовища приводить до підвищення цього елемента у біомасі спіруліни.

Також були проведені дослідження щодо встановлення показників накопичення Сульфуру у біомасі спіруліни за внесення його підвищених доз у поживне середовище (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

**Вміст Сульфуру у біомасі спіруліни за високих доз цього елемента
у поживному середовищі, г/кг**

Група фітореакторів	Біомаса отримана на поживному середовищі із додатковим вмістом глауберової солі	Біомаса отримана на поживному середовищі із додатковим вмістом аліментарної очищеної сірки
Контрольна	$2,70 \pm 0,254$	$2,74 \pm 0,184$
I дослідна	$4,24 \pm 0,298^*$	$3,98 \pm 0,275^*$
II дослідна	$5,43 \pm 0,315^{**}$	$5,12 \pm 0,334^{**}$
III дослідна	$6,55 \pm 0,398^{**}$	$6,28 \pm 0,375^{**}$

Примітка: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$.

За вирощування біомаси спіруліни в поживному середовищі із вмістом Сульфуру $500,0 \text{ мг/дм}^3$ (I дослідна група) вміст останнього у клітинах мікроводорості збільшується на 57,0 % відносно контролю. У біомасі спіруліни із

II дослідної групи фітореакторів вміст Сульфуру був більшим ніж у контролі у 2,01 рази. Порівнюючи до I дослідної групи різниця становила 28,0 %.

За культивування клітин спіруліни у поживному середовищі із вмістом Сульфуру 900,0 мг/дм³ (за додавання глауберової солі) вміст останнього у біомасі синьо-зеленої водорості збільшується у 2,4 рази відносно контролю. Різниця була статистично значущою. Вміст елемента був також вищий у порівнянні із показником I та II дослідних груп, відповідно, на 54,4 та 20,6 %.

За концентрації Сульфуру у аліментарній формі 500,0 мг/дм³ поживного середовища вміст цього елемента зростає на 45,2 % відносно контрольної групи. Різниця була статистично значущою. Біомаса спіруліни, яку культивували у II дослідній групі фітореакторів мала вищий вміст Сульфуру у порівнянні із контролем та I дослідною групою фітореакторів, відповідно, на 86,8 % ($p \leq 0,01$) та 28,6 %.

Найбільший вміст Сульфуру було виявлено у біомасі спіруліни із III дослідної групи. Різниця із контролем становила 2,29 рази. Порівнюючи із показниками I та II дослідних груп біомаса спіруліни із III дослідної групи мала більший вміст Сульфуру, відповідно, на 57,7 та 22,6 %.

Доведено, що із збільшенням вмісту Сульфуру у поживному середовищі вміст останнього у біомасі спіруліни зростає. Отже, спіруліна здатна акумулювати у своїх клітинах Сульфур.

Проведено дослідження щодо вмісту загального білка та хлорофілу у клітинах біомаси спіруліни за внесення низьких доз Сульфуру у поживне середовище.

Досліджуючи вміст загального білка у біомасі *Spirulina platensis* було встановлено, що у контрольній групі цей показник був найменший і становив 52,1 г/100 г сухої речовини. За збільшення вмісту у поживному середовищі Сульфуру до показника 250,0 мг/дм³ (внесення аліментарного очищеного елемента) вміст загального білка був вищим ніж у контрольній групі на 1,9 %. У біомасі спіруліни із II та III дослідних груп фітореакторів вміст загального білка був вищим порівняно із контролем, відповідно, на 3,2 та 4,2 % (табл. 3.4). Проте

збільшення вмісту білка у клітинах синьо-зеленої водорості із II та III дослідних груп не мало статистичної значущості.

Таблиця 3.4

Деякі біохімічні показники у сухій речовині біомаси спіруліни

Група фітореакторів	Уміст загально білка, г/100 г	Уміст хлорофілу, г/кг
Додаткове внесення Сульфуру у аліментарній очищеній формі		
Контрольна	52,1±1,08	1,83±0,367
I дослідна	53,1±0,78	1,92±0,154
II дослідна	53,8±0,95	1,98±0,204
III дослідна	54,3±1,65	2,04±0,298
Додаткове внесення Сульфуру у формі натрію сульфат		
Контрольна	52,2±0,84	1,86±0,125
I дослідна	54,2±0,95	1,97±0,106
II дослідна	54,6±1,34	2,07±0,177
III дослідна	55,2±1,76	2,11±0,181

Додаткове внесення до поживного середовища Сульфуру у аліментарній формі позитивно вплинуло на збільшення хлорофілу у біомасі *Spirulina platensis*. За внесення найменшої додаткової дози елемента (I дослідна група фітореакторів) вміст хлорофілу у клітинах культури збільшується на 4,9 % відносно контрольної групи. У біомасі спіруліни із II дослідної групи теж було встановлено збільшення вмісту хлорофілу відносно контролю. Різниця не мала статистичної значущості і становила 8,1 %. Встановлено тенденцію щодо зростання вмісту хлорофілу у біомасі синьо-зеленої водорості із III дослідної групи відносно контрольної групи.

Досліджуючи вплив додаткових доз Сульфуру на біохімічні показники встановлено, що у контрольній групі вміст загального білка у біомасі спіруліни був на рівні 52,2 г/100 г. За доведення вмісту Сульфуру до 250,0 мг/дм³ за додавання глауберової солі вміст загального білка у біомасі спіруліни у I дослідній групі був вищим ніж у контролі на 3,8 %. У біомасі спіруліни із II дослідної групи встановлено тенденцію щодо збільшення вмісту білка відносно контролю. Різниця

становила у межах 4,6 %. У III дослідній групі виявлено аналогічну тенденцію щодо загального білка у біомасі *Spirulina platensis*.

За використання додаткових доз Сульфур у формі глауберової солі (I дослідна група фітореакторів) у біомасі синьо-зеленої водорості виявлено зростання вмісту хлорофілу у межах похибки. Виявлено стимулюючий вплив підвищених доз Сульфур на збільшення вмісту хлорофілу у біомасі спіруліни із II та III дослідних груп відносно контролю. Різниця мала прояв тенденції і становила, відповідно, 11,2 та 13,4 %.

Порівнюючи вміст загального білка у біомасі спіруліни вирощеної на поживному середовищі із різними джерелами Сульфур було встановлено, що у культурі вирощеній на поживному середовищі із вмістом глауберової солі (I дослідна група) вміст білка був вищим на 2,07 % порівнюючи із біомасою водорості вирощеної у середовищі де елемент додатково вносили у аліментарній формі. У II та III дослідних групах збільшення вмісту загального білка стимулювалось Сульфуром у складі глауберової солі порівняно із аліментарним елементом, відповідно, на 1,4 та 1,6 %.

Встановлено позитивний вплив додаткового внесення глауберової солі у поживне середовище у порівнянні із аліментарною сіркою щодо синтезу хлорофілу у клітинах спіруліни. Різниця між групами не мала статистичної значущості.

Також проводили визначення загального білка у біомасі спіруліни за використання підвищених доз Сульфур. У контрольній групі вміст білка у першу добу експерименту був на рівні 55,6 г/100 г (дослідження додаткового внесення Сульфур у аліментарній, очищеній формі). У дослідних групах вміст білка був аналогічним (табл. 3.5).

За чотиридобового культивування вміст загального білка у біомасі спіруліни із контрольної групи збільшився на 0,7 %. У I, II та III дослідних групах вміст загального білка у біомасі спіруліни був більшим, відповідно, на 2,3; 4,7 та 4,1 % відносно даних отриманих на першу добу культивування. У цей період найбільший вміст загального білка було встановлено у біомасі синьо-зеленої водорості із III дослідної групи. Показник був вищим ніж у контролі на 3,5 % і не мав статистичної значущості.

Таблиця 3.5.

Вміст загального білка у біомасі *Spirulina platensis*, г/100 г

Група	Доба експерименту				
	1-ша	4-та	8-ма	12-та	16-та
Додаткове внесення Сульфур у аліментарній очищеній формі					
Контрольна	55,6±1,95	56,0±1,68	55,8±2,38	56,5±2,56	56,9±1,38
I дослідна	55,3±1,55	56,6±2,32	56,3±2,25	57,2±1,15	57,3±1,52
II дослідна	55,2±2,01	57,8±2,65	57,6±1,85	58,2±1,39	59,1±2,35
III дослідна	55,7±1,98	58,0±1,08	57,7±1,98	58,0±2,52	56,0±2,09
Додаткове внесення Сульфур у формі натрію сульфат					
Контрольна	55,8±1,12	56,4±2,35	56,1±2,56	57,6±2,87	57,9±3,25
I дослідна	55,9±1,32	57,0±3,54	56,7±1,87	58,1±3,11	58,6±1,98
II дослідна	55,5±1,68	59,0±1,54	58,6±3,54	59,5±1,87	60,2±1,31
III дослідна	55,4±2,08	59,4±2,33	59,0±2,66	58,2±2,35	57,2±1,85

На 8-му добу експерименту встановлено, що в період початку інтенсивного нарощування біомаси *Spirulina platensis* вміст загального білка у всіх групах знизився у межах похибки відносно показників на 4-ту добу культивування. Це явище можна пояснити великою кількістю молодих клітин, період дозрівання і синтез протеїну у яких ще не завершився.

У період 12-ї доби культивування найнижчий вміст загального білка було виявлено у біомасі спіруліни із контрольної групи. За вирощування культури на поживному середовищі із вмістом Сульфур 500,0 мг/дм³ (I дослідна група) концентрація загального білка у останньої збільшилась на 1,2 %. Різниця не була статистично значущою. Найбільший вміст загального білка було виявлено у біомасі спіруліни із II дослідної групи. Показник переважав дані контролю на 3,0 %. Збільшення дози Сульфур у поживному середовищі до 900,0 мг/дм³ спричинило зниження вмісту білка у біомасі спіруліни у порівнянні із показником II дослідної групи на 0,34 %.

Наприкінці експерименту вміст загального білка був найбільший у біомасі синьо-зеленої водорості із I та II дослідних груп, що, ймовірно, обумовлено початком старіння і наявністю найбільшої кількості сформованих клітин культури.

Водночас за найбільшого вмісту Сульфуру у поживному середовищі у формі аліментарного очищеного елемента вміст загального білка знизився у порівнянні із показником отриманим на 12-ту добу культивування на 3,4 %. Різниця мала прояв тенденції.

Вивчаючи вплив додаткових, високих різних доз Сульфуру у формі глауберової солі у поживному середовищі на вміст загального білка у біомасі спіруліни встановлено, що на першу добу експерименту вміст останнього у клітинах культури був майже аналогічний. Після завершення етапу адаптації (4-та доба) виявлено тенденцію щодо стимулювання синтезу білка у біомасі спіруліни із II та III дослідних груп. Різниця із контролем становила, відповідно, 4,6 та 5,3 %. Найбільший вміст білка у біомасі *Spirulina platensis* було встановлено у III дослідній групі, поживне середовище якої містило 900,0 мг/дм³ Сульфуру.

У період інтенсивного утворення клітин спіруліни (8-ма доба експерименту) спостерігалось незначне зниження загального білка у біомасі культури. Проте, загальна тенденція щодо стимулюючої дії Сульфуру на синтез білка залишилась. Чим більше у поживному середовищі було Сульфуру, тим вміст білка був вищим. Різниця за вмістом білка у біомасі спіруліни між III дослідною групою та контролем становила на рівні 5,1 % і мала прояв тенденції.

У період сповільнення нарощування біомаси спіруліни (12-та доба культивування) найнижчий вміст загального білка у біомасі спіруліни було виявлено у контрольній групі фітореакторів. За вирощування культури на середовищі, яке містило 500,0 мг/дм³ Сульфуру вміст загального білка був вищим на 0,8 % відносно контролю. Також було виявлено збільшення вмісту загального білка у біомасі спіруліни із II та III дослідних груп порівняно із контрольною групою, відповідно, на 3,2 та 1,0 %. Найбільший вміст загального білка було виявлено у біомасі спіруліни, яку культивували на поживному середовищі із вмістом Сульфуру 700,0 мг/дм³. Порівнюючи вміст загального білка у біомасі спіруліни із I та II дослідних груп із цим показником на 8-му добу експерименту встановлено збільшення його, відповідно, на 2,4 та 1,5 %.

Наприкінці експерименту виявлено, що додаткове внесення Сульфору, що забезпечує дозу елемента $700,0 \text{ мг/дм}^3$, стимулює синтез білка у клітинах спіруліни. Вміст загального білка був на 3,9 % більшим ніж у контролі. Різниця мала прояв тенденції. За використання найбільшої дози Сульфору вміст загального білка у біомасі синьо-зеленої водорості знизився на 1,2 % відносно контролю, що, ймовірно, пов'язано з пришвидшеним старінням клітин культури.

Порівнюючи вплив різних джерел Сульфору на синтез білка у клітинах спіруліни виявлено, що глауберова сіль є більш оптимальним джерелом щодо стимулювання анаболізму амінокислот і формування білкових структур у порівнянні із аліментарною очищеною сіркою.

З огляду на те, що фотосинтез у життєдіяльності синьо-зеленої водорості має важливе значення, було проведено визначення вмісту хлорофілу у біомасі спіруліни за впливу різних джерел та концентрацій Сульфору у поживному середовищі (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Вміст хлорофілу у біомасі *Spirulina platensis*, г/кг

Група	Доба експерименту				
	1-ша	4-та	8-ма	12-та	16-та
Додаткове внесення Сульфору у аліментарній очищеній формі					
Контрольна	$1,7 \pm 0,11$	$2,2 \pm 0,18$	$2,5 \pm 0,21$	$2,6 \pm 0,22$	$2,5 \pm 0,18$
I дослідна	$1,8 \pm 0,05$	$2,4 \pm 0,13$	$2,6 \pm 0,19$	$2,8 \pm 0,21$	$2,7 \pm 0,14$
II дослідна	$1,7 \pm 0,06$	$2,5 \pm 0,17$	$2,8 \pm 0,22$	$2,9 \pm 0,24$	$2,8 \pm 0,24$
III дослідна	$1,8 \pm 0,09$	$2,5 \pm 0,16$	$2,9 \pm 0,21$	$2,8 \pm 0,15$	$2,6 \pm 0,22$
Додаткове внесення Сульфору у формі натрію сульфат					
Контрольна	$1,8 \pm 0,06$	$2,3 \pm 0,18$	$2,6 \pm 0,19$	$2,7 \pm 0,25$	$2,6 \pm 0,22$
I дослідна	$1,7 \pm 0,08$	$2,5 \pm 0,21$	$2,8 \pm 0,15$	$3,0 \pm 0,21$	$2,8 \pm 0,17$
II дослідна	$1,8 \pm 0,04$	$2,7 \pm 0,20$	$2,9 \pm 0,22$	$3,1 \pm 0,23$	$2,9 \pm 0,21$
III дослідна	$1,8 \pm 0,07$	$2,7 \pm 0,22$	$2,9 \pm 0,23$	$3,0 \pm 0,21$	$2,7 \pm 0,14$

На першу добу культивування вміст хлорофілу у біомасі спіруліни був аналогічним як контролі так і дослідних групах. За впливу Сульфору (аліментарна очищена форма) у дослідних поживних середовищах на четверту добу

культивування спостерігалось збільшення вмісту хлорофілу у клітинах спіруліни. Вміст хлорофілу у біомасі синьо-зеленої водорості із I дослідної групи був вищим на 9,0 % відносно контролю.

Встановлено позитивний вплив вмісту Сульфуру (700 та 900 мг/дм³) у поживному середовищі на підвищення вмісту хлорофілу у біомасі спіруліни. Вміст хлорофілу у клітинах водорості із II дослідної групи був вищим у порівнянні із контролем та I дослідною групою, відповідно, на 13,6 та 4,1 %.

Дослідження вмісту хлорофілу на 8-му добу культивування показало, що із збільшенням вмісту Сульфуру у поживному середовищі вміст останнього зростає. У I дослідній групі вміст хлорофілу у біомасі спіруліни був на 4,0 % більшим у порівнянні із контролем. У межах тенденції встановлено зростання вмісту хлорофілу у клітинах водорості у II та III дослідних групах фітореакторів. У I, II, III дослідних та контрольній групах у біомасі спіруліни вміст хлорофілу зріс порівняно із 4-ю добою культивування, відповідно, на 13,6; 8,3; 12,0 та 16,0 %. Це підтверджує стимулюючий ефект Сульфуру у процесах синтезу хлорофілу.

Дослідження на 12-ту добу показало, що у дослідних поживних середовищах (I–II дослідні групи фітореакторів) у біомасі синьо-зеленої водорості вміст хлорофілу збільшується відносно восьмої доби культивування. У III дослідній групі виявлено зниження вмісту хлорофілу у біомасі спіруліни у порівнянні із 8-ю добою культивування. Різниця становила 3,4 %. На 12-ту добу культивування найбільший вміст хлорофілу у біомасі спіруліни було виявлено у II дослідній групі фітореакторів. Показник був більшим відносно контролю і I дослідної групи, відповідно, на 11,5 та 3,5 %.

У період старіння більшості клітин спіруліни (12–16-та доба експерименту) як у контролі так і дослідних групах спостерігалось зменшення концентрації хлорофілу у біомасі водорості. У контрольній групі зменшення вмісту хлорофілу становило 3,8 % відносно показника на 12-ту добу культивування. Найбільший відсоток зниження вмісту хлорофілу було виявлено у біомасі спіруліни із III дослідної групи фітореакторів, що становило 7,1 %. Це може свідчити

про негативний вплив надмірної дози акумульованого Сульфуру у складі спіруліни. У біомасі спіруліни із II дослідної групи вміст хлорофілу був найбільший. Різниця із контролем становила 12,0 %. Отже, доведено, що збільшення вмісту Сульфуру у поживному середовищі за його аліментарної форми (до концентрації 700,0 мг/дм³) позитивно впливає на синтез хлорофілу у біомасі спіруліни.

Досліджуючи вплив додаткового вмісту Сульфуру в поживному середовищі на першу добу культивування у формі глауберової солі на вміст хлорофілу у клітинах спіруліни виявлено, що цей показник у контрольній і дослідних групах не відрізнявся між собою і становив у межах 1,7–1,8 г/кг.

На 4-ту добу культивування виявлено зростання вмісту хлорофілу у біомасі спіруліни із контрольної групи на 27,7 % у порівнянні із показником на першу добу культивування. У I дослідній групі також виявлено зростання вмісту хлорофілу у біомасі синьо-зеленої водорості в межах статистичної значущості порівнюючи до попереднього етапу. Найбільший вміст хлорофілу спостерігався у клітинах водорості із II та III дослідних груп. Показник був більшим ніж у контролі на 17,3 %.

Дослідження на 8-му добу показало, що вміст хлорофілу у складі клітин синьо-зеленої водорості збільшується відносно першої та четвертої доби експерименту. У II та III дослідних груп цей показник становив, відповідно, 61,1 та 7,4 %. Порівнюючи між групами було встановлено, що за вирощування спіруліни на поживному середовищі із вмістом Сульфуру 500,0 мг/дм³ у біомасі останньої вміст хлорофілу був вищим ніж у контролі на 7,6 %. Вміст хлорофілу у біомасі спіруліни із II та III дослідних груп фітореакторів був однаковим і перевищував показник у контрольній групі на 11,5 %. Різниця мала прояв тенденції.

На 12-ту добу експерименту тенденція щодо збільшення вмісту хлорофілу у контрольній, I та II дослідних груп відносно попереднього етапу зберігалась. У I дослідній групі фітореакторів вміст хлорофілу у біомасі мікроводорості був вищим ніж у контролі на 11,1 %. Аналогічний вміст хлорофілу було визначено у біомасі спіруліни, яку культивували на поживному середовищі із вмістом

Сульфур у $900,0 \text{ мг/дм}^3$. Встановлено, що на початок старіння більшості клітин спіруліни у III дослідній групі фітореакторів у їх масі знизився вміст хлорофілу відносно показника у II дослідній групі. Різниця між групами становила 3,2 %. Найвищий вміст хлорофілу у цей період було виявлено в біомасі спіруліни у II дослідній групі, де поживне середовище містило $700,0 \text{ мг/дм}^3$ Сульфур у. Різниця із контролем мала прояв тенденції.

Наприкінці експерименту у всіх групах фітореакторів спостерігали зменшення вмісту хлорофілу у біомасі спіруліни у порівнянні із 12-ю добою культивування. Найбільший відсоток зниження вмісту хлорофілу у біомасі синьо-зеленої водорості було зафіксовано у III дослідній групі. Втрати відносно із показника на 12-ту добу культивування становили 10,0 %. Водночас у контрольній групі цей показник становив лише 3,7 %. У II дослідній групі фітореакторів зменшення вмісту хлорофілу було на рівні 6,4 %. Найбільший вміст хлорофілу у біомасі спіруліни був у II дослідній групі. Різниця із контролем була в межах тенденції і становила 11,5 %. Найнижчий відсоток втрат (розпаду) хлорофілу у контрольній групі пов'язаний з високим вмістом клітин, які знаходились на початку стадії старіння.

Отже, встановлено, що за впливу Сульфур у концентрації $700,0 \text{ мг/дм}^3$ до 12-ї доби спостерігається стимулювання синтезу хлорофілу у клітинах синьо-зеленої водорості, а висока доза елемента після восьмої доби культивування призводить до сповільнення синтезу хлорофілу, що можна пояснити надмірним накопиченням Сульфур у біомасі спіруліни продовж 8-ми діб культивування.

Враховуючи те, що Сульфур входить до складу низки амінокислот, а також є елементом ензимів, які беруть участь у обміні амінокислот, було поставлено за мету вивчити вплив високих доз елемента ($500\text{--}900 \text{ мг/дм}^3$) у поживному середовищі на вміст амінокислот.

Встановлено, що у біомасі спіруліни із контрольної групи вміст лізину становив $10,2 \text{ г/кг}$. За додавання до поживного середовища Сульфур у аліментарній формі (500 мг/дм^3) виявлено незначне збільшення вмісту лізину у біомасі синьо-зеленої водорості (в межах похибки) (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

Вміст амінокислот у біомасі спіруліни, г/кг

Група фітореакторів	Лізін	Аргінін	Гістидин	Тирозин
Додаткове внесення Сульфуру у аліментарній очищеній формі				
Контрольна	10,2±0,49	17,3±0,51	2,2±0,18	14,1±0,45
I дослідна	10,5±0,73	17,6±0,33	2,6±0,22	15,6±0,78
II дослідна	11,0±0,57	18,0±0,42	2,9±0,22	16,2±0,42*
III дослідна	10,3±0,39	17,3±0,28	2,4±0,10	15,2±0,68
Додаткове внесення Сульфуру у формі натрію сульфат				
Контрольна	10,0±0,51	17,9±0,52	2,4±0,18	14,5±0,51
I дослідна	11,5±0,65	18,4±0,89	2,8±0,17	16,5±0,89
II дослідна	12,0±0,77	19,3±0,59	3,0±0,19	17,2±0,52*
III дослідна	11,2±0,66	18,1±0,74	2,7±0,16	16,0±0,88

Примітка: * – $p \leq 0,05$.

За культивування клітин спіруліни на поживному середовищі із вмістом Сульфуру 700,0 мг/дм³, вміст лізину у останній збільшується на 7,8 %. Різниця не була статистично значущою. За найбільшої дози Сульфуру виявлено зменшення активності синтезу лізину клітинами мікробіодорості відносно показника у дослідних групах.

Встановлено, що у II дослідній групі вміст аргініну був вищим ніж у контролі на 4,0 %. Різниця мала прояв тенденції. Порівнюючи вміст амінокислоти між дослідними групами виявлено, що найменший показник був у III дослідній групі, де вміст Сульфуру у поживному середовищі був найбільшим.

Уміст гістидину у біомасі спіруліни в дослідних групах статистично не відрізнявся від показника у контрольній групі. За використання Сульфуру у дозі 500,0 мг/дм³ концентрація амінокислоти у клітинах синьо-зеленої водорості зросла на 31,8 %. Проте різниця мала прояв тенденції. У III дослідній групі вміст гістидину у біомасі спіруліни був менший на 7,7 % відносно показника у I дослідній групі.

Експериментально виявлено, що вміст тирозину у біомасі спіруліни залежав від дози Сульфуру у поживному середовищі. Найменший вміст амінокислоти було

встановлено у клітинах водорості із контрольної групи. За культивування спіруліни на поживному середовищі із вмістом Сульфору $500,0 \text{ мг/дм}^3$, вміст тирозину у її клітинах збільшується на 10,6 %. Різниця мала прояв тенденції. У II дослідній групі вміст амінокислоти у біомасі синьо-зеленої водорості був більшим у порівнянні із контролем на 14,8 %. Різниця була статистично значущою. Вміст тирозину у біомасі спіруліни із III дослідної групи був нижчим у порівнянні із даними в I та II дослідних групах. Різниця становила, відповідно, 2,5 та 6,1 %.

За вмісту Сульфору у поживному середовищі $500,0 \text{ мг/дм}^3$ у формі глауберової солі було отримано біомасу *Spirulina platensis* з більшим вмістом лізину на 15,0 % порівняно із контролем. Різниця була в межах тенденції. У II дослідній групі вміст лізину у біомасі спіруліни був вищим у порівнянні із контролем та I дослідною групою, відповідно, на 20,0 та 4,3 %. Виявлено, що доведення у поживному середовищі вмісту Сульфору до 900 мг/дм^3 призводить до зниження вмісту лізину у біомасі спіруліни відносно цього показника у I та II дослідних групах, відповідно, на 2,6 та 6,7 %.

Найбільший вміст аргініну було виявлено у біомасі спіруліни із II дослідної групи. Показник був більший ніж у контрольній групі на 7,8 %. У I дослідній групі вміст амінокислоти у біомасі синьо-зеленої водорості був більшим ніж у контролі на 2,7 %. Вміст аргініну у біомасі *Spirulina platensis*, яку вирощували на поживному середовищі із найвищим вмістом Сульфору був меншим у порівнянні із даними в I та II дослідних групах, відповідно, на 1,6 та 6,2 %.

Вивчаючи вміст гістидину у біомасі синьо-зеленої водорості виявлено, що додаткові дози Сульфору у поживному середовищі впливають на синтез цієї амінокислоти в клітинах культури. Встановлено тенденцію щодо підвищення вмісту гістидину у *Spirulina platensis* із II дослідної групи. Різниця із контролем становила 25,0 %. Найменший вміст амінокислоти у біомасі спіруліни із був у III дослідній групі.

Вміст тирозину у біомасі спіруліни із контрольної групи був найменший. За вирощування *Spirulina platensis* на поживному середовищі із вмістом Сульфору $700,0 \text{ мг/дм}^3$, вміст тирозину збільшується на 18,6 % відносно контролю. Різниця

була статистично значущою. У I дослідній групі збільшення вмісту амінокислоти відносно контролю мало прояв тенденції.

Виявлено вплив різних доз Сульфуру у поживному середовищі на вміст ізолейцину та лейцину у біомасі спіруліни. За вирощування *Spirulina platensis* в поживному середовищі із вмістом елемента 500,0 мг/дм³ (аліментарна очищена форма) вміст амінокислот у її біомасі збільшується на 0,7 % відносно контролю. У II дослідній групі вміст ізолейцину та лейцину був вищим відносно контрольної групи на 1,5 % (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Вміст амінокислот у клітинах мікробіодорості, г/кг

Група фітореакторів	Ізолейцин+лейцин	Метіонін	Валін	Пролін
Додаткове внесення Сульфуру у аліментарній очищеній формі				
Контрольна	38,9±1,02	9,0±0,45	20,1±0,68	10,3±0,73
I дослідна	39,2±1,11	11,4±0,53*	22,0±1,08	10,9±0,85
II дослідна	39,5±1,28	11,8±0,42*	22,5±0,88	11,5±0,97
III дослідна	39,0±1,65	11,9±0,52*	21,3±0,75	9,8±0,88
Додаткове внесення Сульфуру у формі натрію сульфат				
Контрольна	39,0±0,98	9,2±0,48	20,2±0,98	10,5±0,56
I дослідна	40,9±0,87	12,0±0,51*	23,0±1,12,	11,3±0,87
II дослідна	41,1±1,02	12,3±0,60*	23,5±1,08	11,9±0,67
III дослідна	40,2±0,85	11,8±0,49*	20,4±1,05	10,5±0,34

Примітка: * – $p \leq 0,05$.

Встановлено вплив за додаткового введення елемента у поживне середовище на вміст сірковмісної амінокислоти у біомасі спіруліни. Найменший вміст метіоніну був у клітинах *Spirulina platensis* із контрольної групи. За культивування біомаси спіруліни в поживному середовищі із вмістом 500,0 мг/дм³ збільшується вміст метіоніну у останній на 26,6 % ($p \leq 0,05$). Статистично значущим є збільшення вмісту метіоніну у клітинах синьо-зеленої водорості у II та III дослідних групах.

За використання поживного середовища із вмістом Сульфуру 700,0 мг/дм³ виявлено тенденцію щодо підвищення вмісту валіну у біомасі спіруліни із

II дослідної групи. За найвищої дози Сульфуру у поживному середовищі вміст валіну у клітинах синьо-зеленої водорості був меншим відносно показника у I та II дослідних групах, відповідно, на 3,1 та 5,3 %.

Виявлено, що за вмісту Сульфуру 900,0 мг/дм³ у поживному середовищі зменшується вміст проліну у біомасі спіруліни на 4,8 %.

Досліджуючи вплив підвищених доз Сульфуру у поживному середовищі у формі глауберової солі виявлено, що вміст елемента у дозі 700,0 мг/дм³ справляє стимулюючий ефект на синтез ізолейцину і лейцину у біомасі спіруліни. Різниця із контролем мала прояв тенденції.

За підвищення вмісту Сульфуру у поживному середовищі (I–III дослідні групи) було одержано біомасу *Spirulina platensis* з більшим вмістом метіоніну, відповідно, на 30,4; 33,6 та 28,2 % ($p \leq 0,05$) відносно біомаси мікроводорості із контрольної групи.

Встановлено тенденцію щодо підвищення вмісту валіну у біомасі спіруліни із I та II дослідних груп. Найбільший вміст амінокислоти було виявлено у клітинах синьо-зеленої водорості, яку вирощували на поживному середовищі із вмістом Сульфуру 700,0 мг/дм³. Різниця із контролем становила 16,3 %. За найбільшої дози Сульфуру у поживному середовищі вміст валіну у біомасі спіруліни не мав суттєвої різниці із показником одержаним у контрольній групі.

Вміст заміної амінокислоти проліну у біомасі спіруліни збільшувався в межах тенденції за вирощування її на поживному середовищі із вмістом Сульфуру в дозах 500,0–700,0 мг/дм³. У II дослідній групі вміст амінокислоти у біомасі синьо-зеленої водорості був вищим ніж у контролі на 13,3 %. Не виявлено стимулюючого впливу найбільшої дози Сульфуру у поживному середовищі на синтез проліну у клітинах спіруліни.

За вмісту Сульфуру 500,0 мг/дм³ (аліментарна форма) у поживному середовищі було одержано біомасу спіруліни із більшим вмістом на 4,0 % серину відносно культури із контрольної групи. У біомасі синьо-зеленої водорості із II дослідної групи вміст серину був більшим на 5,5 % відносно контролю. Різниця не мала статистичної значущості (табл. 3.9).

Встановлено, що вміст Сульфору ($500,0 \text{ мг/дм}^3$) у поживному середовищі не вплинув на статистично значуще збільшення аланіну у біомасі спіруліни. Найвищий вміст аланіну у біомасі синьо-зеленої водорості виявлено у II дослідній групі. Різниця із контролем становила $3,0 \%$ і мала прояв тенденції.

Таблиця 3.9

Вміст амінокислот у біомасі спіруліни, г/кг

Група фітореакторів	Серин	Аланін	Гліцин	Фенілаланін
Додаткове внесення Сульфору у аліментарній очищеній формі				
Контрольна	$19,8 \pm 0,58$	$39,8 \pm 10,65$	$16,7 \pm 0,25$	$16,1 \pm 0,44$
I дослідна	$20,6 \pm 0,65$	$40,3 \pm 0,84$	$17,5 \pm 0,65$	$15,7 \pm 0,65$
II дослідна	$20,9 \pm 0,87$	$41,0 \pm 0,47$	$17,4 \pm 0,55$	$15,2 \pm 0,52$
III дослідна	$20,0 \pm 0,77$	$39,8 \pm 0,67$	$15,3 \pm 0,64$	$15,0 \pm 0,47$
Додаткове внесення Сульфору у формі натрію сульфат				
Контрольна	$20,4 \pm 0,61$	$40,4 \pm 0,86$	$16,8 \pm 0,45$	$16,0 \pm 0,89$
I дослідна	$21,8 \pm 0,55$	$42,0 \pm 1,02$	$17,3 \pm 0,55$	$15,0 \pm 0,61$
II дослідна	$22,0 \pm 0,86$	$42,3 \pm 0,75$	$17,3 \pm 0,87$	$14,9 \pm 0,42$
III дослідна	$21,0 \pm 0,67$	$41,5 \pm 1,22$	$16,1 \pm 0,38$	$14,3 \pm 0,78$

Доведено, що за додавання до поживного середовища аліментарної сірки у дозі $900,0 \text{ мг/дм}^3$ знижується синтез гліцину у біомасі спіруліни. Вміст амінокислоти був нижчим від показника у контролі на $8,3 \%$. За вирощування спіруліни в поживному середовищі із вмістом Сульфору $500,0 \text{ мг/дм}^3$, вміст гліцину у клітинах культури був вищим на $4,7 \%$. У II дослідній групі вміст амінокислоти у біомасі спіруліни був вищим на $4,1 \%$ відносно контрольної групи. Різниця була в межах похибки. Серед дослідних груп найвищий вміст гліцину був у біомасі спіруліни із I дослідної групи, де вміст Сульфору був найменшим.

За підвищеного вмісту Сульфору у поживному середовищі виявлено зміни вмісту фенілаланіну у біомасі спіруліни. У I дослідній групі вміст амінокислоти був меншим на $2,4 \%$ відносно контролю. Встановлено, чим більший вміст Сульфору у поживному середовищі, тим вміст фенілаланіну був меншим. Проте статистично значущої різниці між показником у контрольній і дослідними групами не виявлено.

Збагачення поживного середовища Сульфуром за додавання глауберової солі проявляло вплив на синтез амінокислот у клітинах біомаси спіруліни. Збільшення вмісту Сульфуру у поживному середовищі до 500,0 мг/дм³ привело до підвищення вмісту серину у біомасі синьо-зеленої водорості на 6,8 % відносно показника у мікроводорості із контрольної групи. За вирощування *Spirulina platensis* на поживному середовищі із вмістом Сульфуру 700,0 мг/дм³ було одержано біомасу мікроводоростей із концентрацією амінокислоти вищою ніж у контролі на 7,8 %. Різниця не мала статистичної значущості. У III дослідній групі вміст серину у біомасі спіруліни був меншим на 3,6 та 4,5 % відносно цього показника у I та II дослідних групах. Зниження синтезу цієї амінокислоти може бути пов'язано з надмірним накопиченням Сульфуру у клітинах синьо-зеленої водорості.

Експериментально встановлено, що найменший вміст аланіну був у клітинах мікроводорості, які вирощували на поживному середовищі без додаткового внесення Сульфуру (контрольна група). За додавання певних доз Сульфуру до поживного середовища вміст амінокислот має тенденцію до зростання. У I дослідній групі вміст аланіну у біомасі спіруліни був вищим порівняно із контрольною групою на 3,9 %. Підвищення амінокислоти у клітинах синьо-зеленої водорості спостерігалось також за внесення глауберової солі до поживного середовища Заррука (II дослідна група), доводячи рівень Сульфуру до 700,0 мг/дм³. Вміст аланіну був більшим на 4,7 % відносно показника у контрольній групі. Різниця мала прояв тенденції. За найвищої дози Сульфуру у поживному середовищі вміст амінокислоти у біомасі спіруліни був меншим відносно I та II дослідних груп, відповідно, на 1,2 та 1,8 %.

Аналізуючи вміст гліцину виявлено, що у контрольній групі біомаса спіруліни містила цієї амінокислоти 16,8 г/кг. За підвищення вмісту Сульфуру у поживному середовищі до 500,0 мг/дм³ зростання вмісту амінокислоти у клітинах синьо-зеленої водорості було в межах похибки. Найбільший вміст гліцину було встановлено у біомасі спіруліни, вирощеної на поживному середовищі із вмістом Сульфуру 700,0 мг/дм³. Різниця із контролем становила 2,9 % і не була статистично значущою.

Встановлено, що вміст замінної амінокислоти у біомасі спіруліни із III дослідної групи був меншим у порівнянні із контролем на 4,1 %. Різниця мала прояв тенденції. Виявлена закономірність свідчить про те, що збільшення вмісту Сульфору до рівня 900,0 мг/дм³ у поживному середовищі Заррука не справляє стимулюючого ефекту на підвищення гліцину у клітинах *Spirulina platensis*.

Виявлено, що найбільший вміст фенілаланіну був у біомасі спіруліни вирощений у контрольній групі. Підвищення вмісту Сульфору у поживному середовищі до 500,0 та 700,0 мг/дм³ супроводжувалось зниженням вмісту амінокислоти у клітинах синьо-зеленої водорості в межах похибки. Найменший вміст фенілаланіну було виявлено у біомасі спіруліни із III дослідної групи. Різниця із контролем не мала статистичної значущості.

Порівнюючи вплив різних джерел Сульфору у поживному середовищі на синтез амінокислот у біомасі спіруліни встановлено, що за дози елемента 700,0 мг/дм³ виявлено більший стимулюючий вплив глауберової солі у порівнянні із його аліментарною очищеною формою на синтез тирозину, лізину, аргініну, ізолейцину, серину, проліну, аланіну, метіоніну та валіну.

Результати експериментів цього підрозділу опубліковані в одній науковій праці [6].

3.1.3. Встановлення впливу технологічних параметрів на ріст культури в поживному середовищі із підвищеним вмістом Сульфору

Температурні параметри мають важливе значення щодо перебігу анаболічних фотосинтетичних і біохімічних процесів, поділу клітин та катаболічних реакцій у клітинах синьо-зеленої водорості, тому були проведені дослідження щодо впливу температури поживного середовища на інтенсивність нарощування біомаси спіруліни за умов підвищеного вмісту у ньому Сульфору (700,0 мг/дм³).

Аналізуючи результати вивчення впливу температури на нарощування біомаси спіруліни за підвищеного вмісту Сульфору у поживному середовищі встановлено, що показник D за температури 27,0 °C; 29,0; 31,0; 33,0; 35,0 та 37,0 °C був на одному рівні (рис. 3.5).

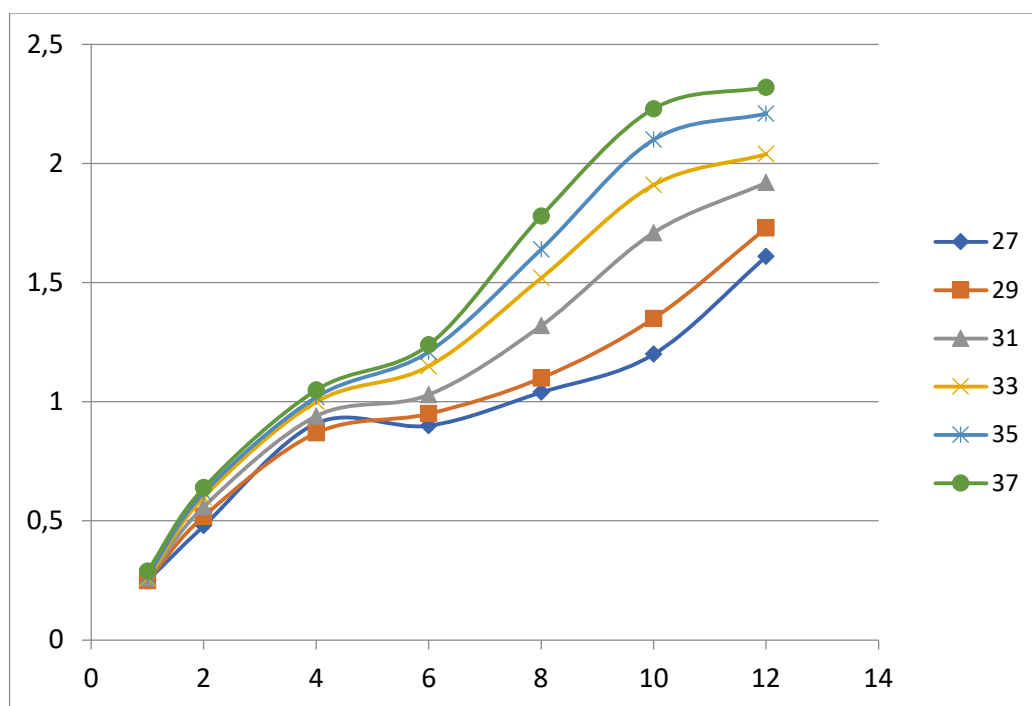


Рис. 3.5. Нарощування біомаси *Spirulina platensis* в середовищі із підвищеним вмістом Сульфуру за різної його температури

За другої доби експерименту найменший показник оптичної густини відмічали за найнижчої температури 27,0 °C. Оптична густина за температури 29,0; 31,0 та 33,0 °C була вищою у порівнянні із температурою 27,0 °C, відповідно, на 8,3; 16,6 та 25,0 %. Також спостерігали збільшення оптичної густини у поживному середовищі із клітинами спіруліни за температури на рівні 35,0 °C відносно варіанта з температурою 33,0 °C. Різниця становила 3,3 %. У період адаптації спіруліни за впливу найвищої температури було виявлено найбільший показник оптичної густини.

Після завершення четвертої доби культивування показники оптичної густини збільшились відносно даних отриманих на 2-гу добу. Різниця по кожній групі становила, відповідно, 68,7 %; 67,3; 67,8; 66,7; 64,5 та 64,0 %. За температури 27,0 °C оптична густина поживного середовища була найменшою. Показник D поживного середовища із клітинами спіруліни за температур 29,0 та 31,0 °C був вищим відносно оптичної густини за температури 27,0 °C, відповідно, на 7,4 та 16,0 %. Наприкінці періоду адаптації не виявлено негативного впливу підвищеної

дози Сульфуру на показники оптичної густини за найбільшої температури. Значення D поживного середовища за температури 37,0 °C було найбільшим.

На шосту добу культивування відмічали зростання показників оптичної густини. Чим вища була температура, тим показник оптичної густини був більшим. За температури 27,0 °C збільшення показника оптичної густини у порівнянні із показником на початку становило 3,6 рази. За найвищої температури культивування показник D поживного середовища збільшився у порівнянні із першою добою у 4,2 рази. За температури 33,0 та 35,0 °C оптична густина поживного середовища зросла відносно показника на 4-ту добу культивування, відповідно, на 15,0 та 18,6 %.

Із 6-ї до 8-ї доби культивування інтенсивність нарощування кількості клітин синьо-зеленої водорості не зменшилась за усіх режимів температури поживного середовища, що підтверджується показниками оптичної густини. Тенденція нарощування значення оптичної густини поживного середовища із клітинами культури залишалась аналогічною, що у попередні дати контролю (2 та 4 доба). Найменший показник оптичної густини на 8-му добу культивування було встановлено за варіанта з температурою на рівні 27,0 °C. За температури 29,0 та 31,0 °C оптична густина поживного середовища збільшилась, відповідно, на 15,7 та 28,1 % відносно показників на 6-ту добу культивування. Найбільшу кількість клітин синьо-зеленої водорості (за показниками оптичної густини) було встановлено у поживному середовищі з температурою 37,0 °C.

Із 8-ї до 10-ї доби культивування інтенсивність збільшення показника оптичної густини за температур 31,0–37,0 °C значно зросла. Показники оптичної густини (8-ма доба) поживного середовища були більшими на 25,2–29,5 % у порівнянні із даними на 8-му добу експерименту. За низьких температур 27,0–29,0 °C збільшення показників оптичної густини поживного середовища із клітинами спіруліни відносно даних на 8-му добу культивування становило, відповідно, 15,3 та 22,7 %, що на 6,8–9,9 % менше порівняно із показниками за температури 33–35 °C. Під час культивування спіруліни за температури поживного середовища 35,0–37,0 °C показники оптичної густини були більшими

у порівнянні із варіантом з температурою на рівні 27,0 °C – на 75,0–85,8 %. Різниця була статистично значущою.

На 12-ту добу культивування виявлено сповільнення зростання показника оптичної густини поживного середовища за високих температур культивування (33,0–37,0 °C) у порівнянні із 10-ю добою. Зростання показника D у цих варіантах становило в межах 4,0–6,8 %. Найбільший приріст кількості клітин синьо-зеленої водорості (за показником оптичної густини) відповідно показника на 10-ту добу культивування спостерігали у варіанті з температурою поживного середовища 27,0 °C, що становив 34,1 %. За температури 29,0 °C прирости оптичної густини по відношенню до показника на 10-ту добу культивування становили 28,1 %. Підвищені прирости кількості клітин спіруліни у поживному середовищі на 12-ту добу культивування із низкою температурою (27,0–29,0 °C) можливо пояснити пролонгованим часом настання старіння основної маси водорості. Чим вища температура поживного середовища із підвищеним вмістом Сульфуру, тим нарощування біомаси спіруліни проходить інтенсивніше і швидше починається старіння клітин. Одночасно через значну кількість клітин в одиниці об'єму поживного середовища погіршується проходження світлових променів, що може пришвидшувати старіння і знижувати активність реакцій фотосинтезу.

Отже, експериментально доведено, що залежно від температури поживного середовища із підвищеним вмістом Сульфуру змінюється інтенсивність нарощування біомаси спіруліни, збагаченої цим елементом. Найшвидше наростає біомаса спіруліни за температури 37,0 °C. Проте, враховуючи що за температури 35,0 °C нарощування біомаси спіруліни не мало статистичного зменшення відносно температури 29,0 °C, а кількості енергії для обігріву необхідно менше – доцільно рекомендувати температуру 35,0 °C.

На швидкість утворення нових клітин синьо-зеленої водорості та тривалість їх життя впливає інтенсивності світла і проходження променів у поживне середовище.

Враховуючи наведене вище, після завершення першого етапу (вплив різних доз Сульфуру на нарощування біомаси спіруліни) було проведено дослідження

щодо встановлення впливу дози елемента ($350,0 \text{ мг/дм}^3$) за різних режимів освітлення на нарощування біомаси водорості керуючись зміною оптичної густини поживного середовища із клітинами.

У контрольній групі освітлення витримували на рівні 2500 люкс. У I дослідній групі на поживне середовище впливали світлом із інтенсивність 3000 люкс. У II–V дослідних групах освітлення поверхні поживного середовища становило від 3500 до 5000 люкс.

З огляду на те, що у кожне поживне середовище було додано культуру *Spirulina platensis*, оптична густина (D) на початок експерименту (перша доба) була однаковою. Починаючи із 4-ї доби культивування встановлено закономірність – чим інтенсивніше було використане освітлення, тим оптична густина поживного середовища із клітинами спіруліни була вищою (табл. 3.10).

Таблиця 3.10

Показники D поживного середовища за різних режимів освітлення

Група фітореакторів	Перша доба експерименту	Четверта доба експерименту	Восьма доба експерименту
Контрольна	0,48	1,30	1,85
I дослідна	0,48	1,34	1,92
II дослідна	0,48	1,40	2,23
III дослідна	0,48	1,50	2,56
IV дослідна	0,48	1,70	3,04
V дослідна	0,48	1,80	3,45

На 4-ту добу експерименту у контрольній групі за інтенсивності освітлення 2500 люкс оптична густина була найменшою і становила 1,3 D. За інтенсивності освітлення 3000 люкс показники оптичної густини поживного середовища збільшились на 3,0 % у порівнянні із контрольною групою. У II та III дослідних групах фітореакторів показники D були більшими ніж у контролі, відповідно, на 7,6 та 15,3 %. Підтримання найінтенсивнішого освітлення (V-та дослідна група) привело до того, що показники оптичної густини були вищими ніж у контролі на 38,4 %.

На 8-му добу культивування *Spirulina platensis* динаміка оптичної густини залишалась сталою. Найнижчий показник оптичної густини було виявлено у варіанті з інтенсивністю освітлення 2500 люкс (контрольна група). У I та II дослідних групах показники оптичної густини збільшились на 43,2 та 59,2 % відносно показників на 4-ту добу культивування. За інтенсивності освітлення 4500 люкс показник оптичної густини був вищим на 64,3 % відносно контролю і на 78,8 % відносно показника на 4-ту добу культивування. За найінтенсивнішого освітлення кількість клітин спіруліни утворюється найбільше, що підтверджується зростанням показника оптичної густини відносно контролю та 4-ї доби культивування, відповідно, на 86,4 та 91,6 %.

Отже, доведено, що за підвищення вмісту Сульфуру у поживному середовищі до концентрації 350,0 мг/дм³ та зростання інтенсивності освітлення можливо регулювати нарощування біомаси спіруліни.

Також визначали вплив інтенсивності освітлення поживного середовища із вмістом Сульфуру 700,0 мг/дм³ за додаткового внесення у середовище Заррука глауберової солі. Інтенсивність освітлення змінювали динамічно залежно від етапу культивування. На кожному етапі досліджували різні режими освітлення поживного середовища із клітинами спіруліни (табл. 3.11).

Таблиця 3.11

Інтенсивність нарощування біомаси *Spirulina platensis*

Доба культивування	Інтенсивність освітлення, люкс	Оптична густина, D
1–4	1300	0,75
	1500	0,81
	1700	0,93
5–7	2300	1,06
	2500	1,13
	2700	1,22
8–9	3300	1,78
	3500	2,01
	3700	2,13
10–13	4500	2,78
	5000	3,12
	5500	3,17

У період адаптації клітин, до 4-ї доби культивування, за інтенсивності освітлення 1300 люкс показники оптичної густини поживного середовища були найменші. За інтенсивності освітлення 1500 люкс показник *D* поживного середовища збільшується на 8,0 % відносно даних отриманих за освітлення 1300 люкс.

Найбільше нарощування клітин *Spirulina platensis* було встановлено за інтенсивності освітлення 1700 люкс, що підтверджується показником оптичної густини. Показник *D* був вищим ніж у варіантах із застосуванням 1300 та 1500 люкс, відповідно, на 24,0 та 14,8 %. До 4-ї доби культивування синьо-зеленої водорості за підвищеного вмісту Сульфору у поживному середовищі доведено, що із збільшенням інтенсивності освітлення швидкість поділу клітин спіруліни зростає.

На першому етапі інтенсивного нарощування біомаси спіруліни (5–7 доба культивування) зберігалась тенденція – із збільшенням інтенсивності освітлення поверхні поживного середовища, активність нарощування біомаси синьо-зеленої водорості зростає. За інтенсивності освітлення 2300 люкс показник оптичної густини поживного середовища із клітинами спіруліни становив 1,06 *D*. Збільшення інтенсивності освітлення на 200 люкс сприяло зростанню показника оптичної густини поживного середовища на 6,6 % відносно варіанта із застосуванням для освітлення 2300 люкс. За інтенсивності освітлення 2700 люкс показник *D* поживного середовища із клітинами водорості був вищим ніж у варіантах за 2300 та 2500 люкс, відповідно на 15,0 % та 7,9 %.

На 8–9 добу культивування біомаси спіруліни не виявлено негативного впливу підвищеного вмісту Сульфору в поживному середовищі за збільшення освітлення до 3700 люкс. За найменшої інтенсивності освітлення (3300 люкс) оптична густина поживного середовища була найнижчою у період активного нарощування кількості клітин. Культивування спіруліни за 3700 люкс сприяло збільшенню показника *D* поживного середовища із клітинами культури на 19,6 % відносно варіанта із освітленням на рівні 3300 люкс.

Із 10- до 13-ї доби культивування спостерігали сповільнення нарощування біомаси спіруліни у зв'язку із настанням старіння клітин і сповільненням

проникності променів світла через поживне середовище. Найменший показник оптичної густини було виявлено у варіанті із інтенсивністю освітлення становила 4500 люкс. Підвищення інтенсивності освітлення у цей період на 200 люкс сприяло зростанню показника оптичної густини поживного середовища на 12,2 % відносно варіанта із освітленням в межах 4500 люкс. За найбільшого освітлення спостерігали пришвидшений ефект старіння культури спіруліни, що підтверджується незначною різницею показника оптичної густини у порівнянні із варіантом за освітлення 5000 люкс. Різниця становила лише 1,6 %.

Отже, експериментально підтверджено, що для максимального накопичення біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром необхідно до завершення етапу адаптації (1–4-та доба) інтенсивність освітлення підтримувати на рівні 1700 люкс, із п'ятої до сьомої доби (перша фаза інтенсивного нарощування) освітлення необхідно витримувати на рівні 2700 люкс, до 9-ї доби культивування на поверхню поживного середовища має падати світло із інтенсивністю 3700 люкс, оптимальним освітленням на завершальному етапі можна вважати 5000 люкс.

Слід зазначити, що від товщини поживного середовища залежить проходження світлових променів і забезпечення світлом кожної клітини спіруліни. Чим більша товщина поживного середовища, тим інтенсивність освітлення в середині останнього менша за великої кількості клітин спіруліни. З огляду на це, було досліджено ще один технологічний показник на ефективність нарощування біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром – товщина поживного середовища. Для цієї мети використано фітореактори із розмірами скляних ємностей 100x25x10; 100x25x7 та 100x25x5 см. Освітлення застосовували на рівні 1700; 2700; 3700 та 5000 люкс залежно від етапу вирощування біомаси спіруліни (табл. 3.12).

Наприкінці періоду адаптації культури (1–4 доба культивування) показник оптичної густини поживного середовища із клітинами спіруліни за товщини скляної ємності 10,0 см був на рівні 0,91 D. У варіанті із товщиною фітореактора 7,0 см показник оптичної густини поживного середовища становив 1,0 %. Аналогічні результати досліджень отримано за культивування синьо-зеленої водорості у фітореакторах із товщиною 5,0 см. Незначний вплив товщини

фітореактора на показники оптичної густини пов'язаний з невеликою концентрацією клітин спіруліни у поживному середовищі у період їх адаптації.

Таблиця 3.12

**Інтенсивність нарощування біомаси *Spirulina platensis*
за різної товщини фітореакторів**

Доба культивування	Товщина фітореактора, см	Оптична густина, D
1–4	10,0	0,91
	7,0	0,92
	5,0	0,92
5–7	10,0	1,22
	7,0	1,26
	5,0	1,32
8–9	10,0	2,05
	7,0	2,34
	5,0	2,43
10–13	10,0	2,99
	7,0	3,10
	5,0	3,21

У період 5–7-ї доби культивування інтенсивність нарощування клітин синьо-зеленої водорості у фітореакторах розмірами 100x25x10 см була найменшою, що підтверджується найнижчим показником оптичної густини поживного середовища. На 7-му добу встановлено, що кількість клітин спіруліни у поживному середовищі із товщиною 7,0 см була більшою, ніж за використання фітореакторів із товщиною 10,0 см. Показник оптичної густини був більшим на 5,0 %. Найвищий показник оптичної густини зафіксовано у варіанті з товщиною поживного середовища 5,0 см. Різниця із поживним середовищем із товщиною 7,0 та 10,0 см становила, відповідно, 4,7 та 8,1 %.

Показник D поживного середовища із культурою клітин на 7-му добу був більшим у порівнянні із показниками поживного середовища із товщиною 5,0; 7,0 та 10,0 см четвертої доби, відповідно, на 43,4; 36,9 та 34,0 %.

Після завершення етапу інтенсивного нарощування клітин спіруліни (9-та доба) у трьох варіантах було виявлено зростання показників оптичної густини. За умов культивування синьо-зеленої водорості у поживному середовищі із товщею шару 10,0 см показник D становив 2,05 %, що на 12,3 та 15,6 % менше відносно оптичної густини, отриманої за товщини поживного середовища 7,0 та 5,0 см. Найбільше зростання оптичної густини поживного середовища відносно сьомої доби експерименту виявлено у варіанті з товщиною поживного середовища у фітореакторі була 5,0 см, різниця становила 84,0 %.

У період із 10 до 13 доби відмічали сповільнення нарощування клітин біомаси *Spirulina platensis* відносно восьмої–дев'ятої доби культивування. За товщини поживного середовища у фітореакторах 10,0 см оптична густина останнього була найменшою. У порівнянні із показником D у варіантах із товщиною поживного середовища 7,0 та 5,0 см дані були меншими, відповідно, на 3,5 та 6,8 %. За найменшої товщини поживного середовища було виявлено у ньому найбільшу кількість клітин спіруліни і найшвидше їх старіння на 13-ту добу.

Отже, доведено, що з метою підвищення нарощування біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром та зменшення витрат на освітлення доцільно із 5-ї доби культивування товщину поживного середовища у фітореакторах зменшувати до 5,0 см.

3.2. Доклінічні дослідження біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром

3.2.1. Встановлення нешкідливості біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром

Під час визначення нешкідливості спіруліни доведено, що за дванадцятидобового експерименту у дослідних та контрольній групах загибелі мишей не спостерігалось. Встановлено, що у період перших 2,5–3,5 годин після введення суспензії (0,35 см³ 50,0 %) біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром у тварин із II дослідної групи було виявлено пригніченість. Миші впродовж певного часу відновлювали рухливість і активно реагували на шум, дотики та увімкнення і вимкнення світла. У 50,0 % лабораторних тварин впродовж першої доби відмічали

розлади шлунково-кишкового тракту. Споживання мишами корму та води відновилось через 16–24 години. Тварини регулярно підходили до годівниць та поїлок.

Під час спостереження за лабораторними тваринами, яким вводили 0,35 см³ 25,0 % суспензія біомаси *Spirulina platensis* не було встановлено порушень у їх поведінці впродовж дванадцяти діб експерименту.

За внутрішньошлункового введення 0,35 см³ 50,0 % суспензії біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром не встановлено летальних наслідків у білих мишей. Незначна пригніченість дослідних тварин і розлад їх шлунково-кишкового тракту тривали не більше доби.

Після розтину тушок мишей та проведення патолого-анатомічних досліджень встановлено, що стан внутрішніх органів тварин із I та II дослідних груп не мав відмінностей від стану внутрішніх органів мишей із контрольної групи.

Досліджуючи низку показників білкового обміну у печінці лабораторних тварин за встановлення нешкідливості біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром виявлено, що наприкінці експерименту активність аспартатамінотрансферази у мишей із I дослідної групи не була статистично меншою у порівнянні із цим показником у контрольній групі. Різниця в межах похибки (табл. 3.13).

Оцінюючи активність аспартатамінотрансферази у печінці тварин із II дослідної групи встановлено, що збільшення показника не мало статистично значущого значення. Також виявлено, що активність аланінамінотрансферази у печінці мишей із дослідних груп статистично не відрізнялась від показника тварин із контрольної групи.

Таблиця 3.13

**Вміст білка та активність амінотрансфераз в печінці лабораторних тварин
за дії біомаси спіруліни, $M \pm m$, $n=4$**

Група	Активність АЛАТ, мкмоль/год/г	Активність АсАТ, мкмоль/год/г	Вміст білка, г/кг
Контрольна	13,2±0,68	10,3±0,36	44,7±2,32
I дослідна	12,9±0,82	9,9±0,47	43,8±3,56
II дослідна	13,6±0,76	10,5±0,43	45,5±1,97

Уміст загального білка у гомогенаті печінки лабораторних тварин із контрольної групи становив 44,7 г/кг. Різниця за цим показником до контролю у I та II дослідних групах була 2,0 та 1,7 %, що не перевищувало меж статистично значущої похибки. Отже, доведено, що за одноразового введення 0,35 см³ 25,0 та 50,0 % суспензії біомаси синьо-зеленої водорості у печінці тварин не виявлено порушень білкового обміну.

Введення мишам 0,35 см³ 25,0 та 50,0 % суспензії біомаси синьо-зеленої водорості не призводить до статистично значущого зниження або підвищення показників білкового обміну у печінці тварин. Активність амінотрансфераз і вміст загального білка у печінці мишей відповідали фізіологічним нормам.

Досліджуючи вміст гемоглобіну виявлено, що у крові білих мишей, яким вводили двадцятип'ятивідсоткову суспензію спіруліни показник був меншим у порівнянні із показником у тварин із контрольної групи на 1,9 %. Різниця була в межах похибки. У крові лабораторних мишей із II дослідної групи виявлено вищий вміст гемоглобіну у порівнянні із контрольною групою. Різниця становила 3,7 % і не мала статистичного значення (табл. 3.14).

Таблиця 3.14

Біохімічні і хімічні показники у крові лабораторних мишей, $M \pm m$, $n=4$

Група	Вміст гемоглобіну, г/л	Вміст глюкози, ммоль/л	Вміст загального Кальцію, ммоль/л
Контрольна	145,1 $\pm$ 6,54	4,9 $\pm$ 0,34	9,7 $\pm$ 0,55
I дослідна	142,3 $\pm$ 4,89	5,1 $\pm$ 0,27	10,1 $\pm$ 0,87
II дослідна	150,5 $\pm$ 7,98	4,7 $\pm$,19	10,0 $\pm$ 0,95

Вміст глюкози у крові мишей із дослідних груп не відрізнявся від фізіологічно визнаної норми. У крові мишей із I дослідної групи вміст глюкози був вищим у порівнянні із контролем на 4,0 %. Різниця була в межах похибки. В межах похибки виявлено зниження вмісту глюкози у крові лабораторних тварин із II дослідної групи відносно контролю.

На прикладі вмісту Кальцію у крові мишей було доведено відсутність порушень мінерального обміну у їх організмі за введення підвищених доз біомаси

спіруліни збагаченої Сульфуром. Різниця між показником у тварин із дослідних і контрольної груп була в межах похибки.

Вміст тіолових груп є важливим показником у тканинах та органах біооб'єктів, який реагує на вплив токсичних речовин. За дії токсичних сполук вміст HS-груп значно знижується у клітинах. Встановлено, що у гомогенаті печінки лабораторних тварин вміст загальних сульфогідрильних груп становив 820,1 мкг/г (табл. 3.15).

Таблиця 3.15

HS-групи у печінці мишей, мкг/г $M \pm m$, n=4

Група	Загальні	Білкові	Вільні
Контрольна	820,1 $\pm$ 10,55	765,9 $\pm$ 7,54	54,2 $\pm$ 2,65
I дослідна	815,2 $\pm$ 9,85	766,9 $\pm$ 6,48	48,3 $\pm$ 3,65
II дослідна	828,5 $\pm$ 11,98	771,8 $\pm$ 4,98	56,7 $\pm$ 3,98

За одноразового введення 0,35 см³ 25,0 % суспензії біомаси синьо-зеленої водорості вміст загальних сульфогідрильних груп у печінці мишей статистично не відрізнявся від показника у контролі. Зменшення HS-груп становило 0,5 %. У II дослідній групі вміст сульфогідрильних груп у печінці лабораторних тварин був вищим ніж у тварин із контрольної групи на 1,0 %. Різниця була в межах похибки.

Аналізуючи вміст білкових HS-груп у печінці мишей встановлено, що у тварин із I дослідної групи підвищення цього показника було в межах похибки – 0,4 %. Не мало статистичної значущості підвищення білкових сульфогідрильних груп у печінці лабораторних мишей із II дослідної групи.

Уміст вільних сульфогідрильних груп у печінці мишей із контрольної групи становив 54,2 мкг/г. Введення підвищених доз суспензій біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром не зумовило статистично значущого зменшення HS-груп у печінці мишей із I дослідної групи. Збільшення вільних сульфогідрильних груп у печінці лабораторних тварин із II дослідної групи відносно контролю становило 4,6 %. Різниця була в межах похибки.

Отже, встановлено, що одноразове введення мишам 0,35 см³ 25,0 та 50,0 % суспензії біомаси синьо-зеленої водорості не призводить до статистично значущого

зменшення білкових сульфогідрильних груп, що свідчить про незначну його токсичну дію.

Враховуючи явище антагонізму та синергізму між хімічними елементами було поставлено мету встановити вплив додаткових доз Сульфуру у складі біомаси спіруліни на вміст Купруму та Кобальту у організмі лабораторних мишей. У I дослідній групі підвищення вмісту Купруму у м'язовій тканині було в межах похибки. Різниця із показником у контролі становила 5,9 % (табл. 3.16).

Таблиця 3.16

Вміст мікроелементів у м'язовій тканині мишей, мкг/г $M \pm m$, n=4

Група	Вміст Купруму, мкг/кг сухої речовини	Вміст Кобальту, мкг/кг сухої речовини
Контрольна	3,4 $\pm$ 0,28	0,9 $\pm$ 0,07
I дослідна	3,6 $\pm$ 0,18	0,8 $\pm$ 0,06
II дослідна	4,1 $\pm$ 0,37	0,9 $\pm$ 0,04

Встановлено тенденцію щодо підвищення вмісту Купруму у м'язовій тканині мишей із II дослідної групи відносно контролю. Вміст елемента у мишей із II дослідної групи був більшим у порівнянні із показником у лабораторних тварин із I дослідної групи на 13,9 %.

Вивчаючи вміст Кобальту у м'язовій тканині лабораторних тварин не виявлено статистично значущого відхилення вмісту цього елемента у мишей із дослідних груп у порівнянні із показником у контролі. Зниження вмісту Кобальту у тварин із I дослідної групи на рівні 11,2 % відносно контролю було в межах похибки.

Отже, не встановлено статистичного зниження або збільшення вмісту Купруму та Кобальту у м'язовій тканині мишей за одноразового внутрішньошлункового введення їм високих доз біомаси синьо-зеленої водорості збагаченої Сульфуром.

Згідно з етологічними, патолого-анатомічними, біохімічними і хімічними дослідженнями встановлено, що біомаса спіруліни збагачена Сульфуром належить до нешкідливих кормових добавок.

3.2.2. Вивчення гострої токсичності біомаси спіруліни

Одночасно із встановленням нешкідливості досліджували гостру токсичність біомаси синьо-зеленої водорості збагаченої Сульфуром. За даними орієнтованого дослідіу щодо введення лінійним мишам біомаси *Spirulina platensis*, збагаченої Сульфуром, у дозах від 5 до 500 мг/кг маси тіла було виявлено, що продовж періоду спостереження (14 діб) змін у поведінці тварин не спостерігалось. Тварини миттєво реагували на подразники, вільно пересувались по клітці, періодично споживали корм і воду. Також не було встановлено жодного летального випадку (табл. 3.17).

За дози 5000 мг/кг лабораторні тварини продовж 1,5–2 годин після введення біомаси спіруліни відмовлялись від корму і води. Через 4–10 годин поведінка білих мишей у цій групі відповідала фізіологічним нормам.

Таблиця 3.17

Дані щодо спостереження за мишами під час визначення гострої токсичності біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром (орієнтований дослід)

Кількість тварин у групі	Доза біомаси спіруліни, мг/кг	Кількість мишей, що загинули		
		всього	у %	час загибелі
5	5	0	0	0
5	500	0	0	0
5	5000	0	0	0

Під час проведення розгорнутого дослідіу не було встановлено відхилень в поведінці лабораторних тварин. Після внутрішньошлункового введення другої частини дози біомаси спіруліни (5000 мг/кг маси тіла) у 4 тварин із групи спостерігалась тимчасова пригніченість (2–3 години) миші не споживали корму і води. На 6-ту годину експерименту у мишей із цієї групи етологічні показники фізіологічно стабілізувались (табл. 3.18).

Під час дослідження дози *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром 6000 мг/кг у лабораторних тварин виявлено розлади функцій шлунково-кишкового тракту. Активність рухів мишей із цієї групи була зменшена. На 16–18 годину після введення біомаси синьо-зеленої водорості споживання корму та води у тварин

відновилось. На 48 годину експерименту фізіологічне функціонування шлунково-кишкового тракту було відновлено. Етологічні зміни у мишей, яким вводили біомасу спіруліни у кількості 5000 та 6000 мг/кг пов'язані з введенням тваринам великої маси кормової добавки.

Встановлено, що за розгорнутого досліду під час введення білим мишам біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром у дозах від 3000 до 6000 мг/кг маси тіла за період спостереження не виявлено загибелі мишей.

Таблиця 3.18

**Дані щодо спостереження за мишами під час встановлення токсичності
біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром (розгорнутий дослід)**

Кількість мишей у групі	Доза біомаси спіруліни, мг/кг	Кількість мишей, які загинули		
		всього	у %	час загибелі
5	3000	0	0	0
5	4000	0	0	0
5	5000	0	0	0
5	6000	0	0	0

Отже, експериментально доведено, що біомаса спіруліни, збагачена Сульфуром, належить до малотоксичних речовин – 4 клас. DL_{50} біомаси синьо-зеленої водорості за внутрішньошлункового введення лабораторним тваринам (білі миші) є більшою 5000 мг/кг.

Згідно з вимогами щодо проведення доклінічних досліджень кормових добавок з новими властивостями, гостру токсичність необхідно вивчати на двох видах гризунів. Нами було обрано для повторного вивчення білих, лінійних щурів. Дози (на кг маси тіла) були аналогічними, як і для мишей.

Згідно з даними орієнтованого досліду щодо введення (внутрішньошлунково) лінійним щурам біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром (від 5 до 500 мг/кг маси тіла) відхилень у поведінці тварин продовж експерименту не було зафіксовано. Щурі завжди реагували на шум, дотик та світло, постійно пересувались по клітці, періодично споживали корм і воду. За введення дози біомаси спіруліни 500 мг/кг маси тіла загибелі дослідних тварин не спостерігали (табл. 3.19).

Доза біомаси спіруліни 5000 мг/кг у лабораторних тварин зумовлювала тимчасову пригніченість, що на 3–4 години вплинуло на їх етологічні показники та споживання корму. У деяких щурів відмічали розлади шлунково-кишкового тракту. Наприкінці першої доби експерименту поведінка лабораторних тварин стабілізувалась.

Таблиця 3.19

**Результати досліджень гострої токсичності біомаси спіруліни
збагаченої Сульфуром на щурах (орієнтований дослід)**

Кількість щурів у групі	Доза біомаси спіруліни, мг/кг	Кількість щурів, що загинули		
		всього	у %	час загибелі
5	5	0	0	0
5	500	0	0	0
5	5000	0	0	0

Як на білих мишах так і на щурах було виконано розгорнуте дослідження впливу біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром. За введення підвищених доз біомаси синьо-зеленої водорості не було встановлено суттєвих відхилень в поведінці лабораторних тварин.

Лабораторні щури, яким вводили біомасу спіруліни у кількості 3000–4000 мг/кг маси тіла не мали порушень у поведінці продовж експерименту. Споживання корму та води було зафіксовано через 1–2 години після внутрішньошлункового введення їм досліджуваної кормової добавки.

Введення дози 5000 мг/кг маси тіла суспензій біомаси синьо-зеленої водорості проводили у два етапи. За введення всієї дози щури перші 4–5 годин сповільнювали свої рухи, прижимались до стінок клітки. У цей час тварини не споживали комбікормів. У більшості щурів було виявлено прояви розладу шлунково-кишкового тракту. З часом у дослідних тварин поведінка стабілізувалась, рухи і дії їх були знову фізіологічними. Споживання води і корму відновилось (табл. 3.20).

За дослідження введення синьо-зеленої водорості збагаченої Сульфуром у дозі 6000 мг/кг у лабораторних щурів виявлено розлади функцій шлунково-кишкового

тракту. Етологічні показники відрізнялись від фізіологічно нормальних продовж 14–22 годин після введення біомаси спіруліни. Активне споживання води та комбікорму проявлялось на 20–24 годину від початку експерименту. На другу добу досліджень робота шлунково-кишкового тракту нормалізувалась. Порухи поведінки у щурів, яким вводили біомасу мікродорості у кількості 5000 та 6000 мг/кг можливо обґрунтувати дискомфортом, спричиненим великою дозою біомаси, яка має лужну реакцію.

Доведено, що за розгорнутого досліду під час введення білим щурам біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром у дозах від 3000 до 6000 мг/кг маси тіла летальних випадків зафіксовано не було.

Таблиця 3.20

**Вживання щурів під час встановлення токсичності біомаси спіруліни
збагаченої Сульфуром**

Кількість мишей у групі	Доза біомаси спіруліни, мг/кг	Кількість мишей, які загинули		
		всього	у %	час загибелі
5	3000	0	0	0
5	4000	0	0	0
5	5000	0	0	0
5	6000	0	0	0

Отже, повторно встановлено, що біомаса спіруліни збагачена Сульфуром, належить до малотоксичних речовин – 4 клас. DL_{50} біомаси синьо-зеленої водорості за внутрішньошлункового введення білим щурам є більшою 5000 мг/кг.

Результати експериментів цього підрозділу опубліковані в одній науковій праці [4].

3.2.3. Встановлення подразнюючої дії біомаси *Spirulina platensis*

Для використання кормових добавок із новими властивостями важливим показником є визначення її подразнюючої дії. Експериментально встановлено, що через 60 хв після нанесення на слизову ока кролів суспензії біомаси *Spirulina platensis*, збагаченої Сульфуром, на правих очах не спостерігали виділень. У цей

період у кутиках лівих очей усіх кролів було невелике сльозовиділення. У четвертого кроля виявлено локалізований на незначній ділянці набряк повіки (табл. 3.21).

Проводячи спостереження за станом очей лабораторних кролів через 12 годин після нанесення суспензії синьо-зеленої водорості було виявлено незначне сльозовиділення.

Таблиця 3.21

**Результати спостережень за впливу біомаси *Spirulina platensis*
на слизову оболонку ока кролів, n=4**

Ознака шкідливості	Бали за ознаками					
	через годину	через 12 годин	через добу	через 2 доби	через 3 доби	через 14 діб
Фактичні ознаки у I-го кроля						
Набряки	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Виділення	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Гіперемія	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Фактичні ознаки у II-го кроля						
Набряки	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Виділення	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Гіперемія	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Фактичні ознаки у III-го кроля						
Набряки	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Виділення	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0
Гіперемія	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Фактичні ознаки у IV-го кроля						
Набряки	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Виділення	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Гіперемія	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Контроль лівих очей кролів через добу показав, що суспензія біомаси спіруліни збагачена Сульфуром не зумовлювала гіперемії кон'юнктиви та рогівки. За зовнішнім виглядом ця ознака на лівих очах була аналогічною правим. Сльозових виділень у очах дослідних кролів не встановлено. За ретельного огляду

не було виявлено набряку повік очей. Також не зафіксовано утворення гіперемії на оці у IV-го кроля, яка була виявлена через 12 годин після нанесення суспензії біомаси *Spirulina platensis*.

У результаті огляду лабораторних кролів через кожні 24 години до 14-ї доби експерименту не було виявлено утворення виділень, гіперемії чи набрякових ознак їх очей. Враховуючи встановлені дані, біомаса синьо-зеленої водорості збагачена Сульфуром не справляє подразнюючої дії за нанесення її на слизові оболонки очей лабораторних тварин. Помірне (незначне) виділення сліз продовж перших 12 годин можна пояснити залишками лугів на поверхні клітин спіруліни, які сорбувались із поживного середовища, рН якого становить 12,1–12,5.

Крім того, у лабораторних кролів досліджували вплив біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром на показники білкового обміну у їх сироватці крові (табл. 3.22).

У фізіологічно здорових, молодих кролів вміст загального білка у сироватці крові має бути в межах 66,0–76,0 г/дм³. Експериментально виявлено, що середньоарифметичний показник вмісту білка чотирьох тварин становив 67,4 г/дм³, що є додатковим підтвердженням відсутності впливу суспензії біомаси синьо-зеленої водорості на порушення анаболізму чи катаболізму білка у організмі кролів за подразнюючої дії.

Дані щодо активності аспартатамінотрансферази у сироватці крові лабораторних кролів наприкінці експерименту були на рівні 0,43 мкмоль/год/см³. Визначений показник статистично не відрізнявся від фізіологічної норми щодо активності аспартатамінотрансферази.

Таблиця 3.22

Деякі показники білкового обміну у сироватці крові лабораторних кролів, $M \pm m$, $n=4$

Показник	Значення
Активність АсАТ, мкмоль/год/см ³	0,43±0,029
Активність АлАТ, мкмоль/год/ см ³	0,30±0,010
Уміст білка, г/дм ³	67,4±2,87

Не виявлено статистично значущого підвищення або зниження активності аланінамінотрансферази у сироватці крові кролів. Отже, біомаса спіруліни не проявляє негативної дії на білковий обмін у організмі тварин за потрапляння на поверхню тіла.

Слід зазначити, що від мінерального обміну (безпосередньо Феруму) залежить вміст гемоглобіну у крові біооб'єктів, тому було поставлено за мету дослідити вміст гемоглобіну у крові кролів за подразнюючої дії біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром. Під час дослідження було виявлено, що у крові лабораторних тварин вміст гемоглобіну відповідав показнику клінічно здорових тварин. У нормі цей показник у кролів становить 122–145 г/л (табл. 3.23).

Таблиця 3.23

Біохімічні та хімічні показники у крові лабораторних кролів, $M \pm m$, $n=4$

Показник	Значення
Вміст гемоглобіну, г/л	132,6 $\pm$ 8,66
Вміст глюкози, ммоль/л	5,4 $\pm$ 0,28
Вміст загального Кальцію, ммоль/л	8,3 $\pm$ 0,64

Уміст глюкози у крові кролів, у кон'юнктиву ока яких вносили біомасу синьо-зеленої водорості збагаченої Сульфуром не відрізнявся від фізіологічно визнаної норми.

Відсутність порушень мінерального обміну у крові лабораторних кролів за встановлення подразнюючої дії біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром було підтверджено результатами визначення вмісту Кальцію. Цей показник відповідав фізіологічно встановленим нормам, що є додатковим підтвердженням нетоксичності досліджуваної кормової добавки.

Рівень токсичності біомаси спіруліни також оцінювали за вмістом сульфогідрильних груп у крові білих кролів. Встановлено, що вміст загальних HS-груп у крові кролів становив у межах 9,1 мкг/см³. Отриманий показник не мав статистично значущої різниці у порівнянні із даними отриманих у клінічно здорових тварин (табл. 3.24).

Експериментально встановлено, що вміст білкових сульфогідрильних груп у крові білих кролів становив 81,3 % від загальних тіолових груп, що відповідало показнику клінічно здорових тварин.

Таблиця 3.24

Вміст HS-груп у крові кролів, мкг/см³, $M \pm m$, n=4

Показник	Значення
Загальні сульфогідрильні групи	9,1 $\pm$ 0,58
Білкові сульфогідрильні групи	7,4 $\pm$ 0,39
Вільні сульфогідрильні групи	1,7 $\pm$ 0,09

Вільні HS-групи свідчать про активність розпаду амінокислот внаслідок дії різних хімічних чи біохімічних чинників. Вміст цих груп у крові кролів був незначний – 18,7 % від загальної маси.

Отже, за результатами вмісту сульфогідрильних груп у крові кролів можливо стверджували про відсутність значної токсичної дії біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром за встановлення її подразнюючого впливу.

3.3. Встановлення ефективності додавання до раціонів молодняку собак біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром

3.3.1. Жива маса та прирости цуценят за згодовування їм біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром

Для встановлення ефективності використання біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром в годівлі молодняку собак до складу раціонів вводили від 0,5 до 1,5 % її маси. На початок експерименту (75–76 доба життя) маса тіла молодняку собак становила 11,18–11,30 кг.

Досліджуючи вплив біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром у складі раціонів для собак було виявлено деякі закономірності. У результаті зважування через 10 діб від початку експерименту встановлено, що у I дослідній групі маса тіла молодняку собак була меншою на 0,31 % відносно показника у контролі. За згодовування цуценят із II дослідної групи кормосуміші із вмістом 1,0 %

біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром збільшується їх маса на 1,5 % відносно показника у контролі.

Найбільшу масу тіла виявлено у молодняку собак, які споживали кормосуміш із вмістом біомаси *Spirulina platensis* 1,5 %. Різниця із контролем становила 1,8 % (табл. 3.25).

Таблиця 3.25

Маса тіла молодняку собак, кг, n=6

Вік, діб	Група			
	контрольна	I дослідна	II дослідна	III дослідна
75–76	11,25±0,230	11,21±0,204	11,18±0,147	11,30±0,165
85–86	12,61±0,183	12,57±0,213	12,80±0,167	12,84±0,168
95–96	13,90±0,175	13,87±0,201	14,28±0,135	14,32±0,167
105–106	15,31±0,124	15,30±0,208	15,61±0,114	15,68±0,166
115–116	16,40±0,215	16,55±0,255	16,92±0,108	16,95±0,151
125–126	18,20±0,135	18,48±0,198	19,01±0,128**	19,07±0,135**
135–136	20,05±0,118	20,34±0,167	20,88±0,108**	20,91±0,114**

Примітка: ** – $p < 0,01$ у порівнянні до контролю.

На 20-ту добу дослідження було встановлено, що прирости (порівняно до маси тіла на початок експерименту) у контрольній групі становили 23,5 %. У I дослідній групі приріст цуценят відносно до першої доби становив 23,7 %. Найбільший відносний приріст у цей період встановлено у II і III дослідних групах, показник становив 27,7 %. У II дослідній групі маса тіла цуценят була більшою на 2,7 % відносно контролю. За додавання до кормосуміші 1,5 % біомаси синьо-зеленої водорості маса цуценят збільшується на 3,0 % відносно показника у контрольній групі.

На 30-ту добу експерименту тенденція щодо приростів маси тіла цуценят у дослідних групах залишалась незмінною, що і на 20-ту добу. У цей період маса цуценят із контрольної групи збільшилась на 10,1 % відносно показника на 20-ту добу досліджень. У I, II та III дослідних групах збільшення маси тіла молодняку собак відносно показника на 20-ту добу експерименту становило, відповідно, 10,3;

9,3 та 9,5 %. Маса тіла цуценят, які споживали кормосуміш із вмістом біомаси спіруліни 1,5 % була більшою на 2,4 % відносно контролю.

На 40-ву добу експерименту маса тіла молодняку собак із I дослідної групи зросла відносно контролю на 0,91 %. У дослідних групах (II та III) маса тіла цуценят була вищою ніж у контрольній групі, відповідно, на 3,1 та 3,3 %. Збільшення маси тіла молодняку собак у II та III дослідних групах відносно показника на першу добу експерименту становило, відповідно, 51,5 та 50,0 %. У тварин із контрольної групи збільшення маси тіла відносно першої доби становило 45,7 %, що на 5,8 % менше відносно II дослідної групи.

Виявлено статистично значуще збільшення маси молодняку собак із II та III дослідних груп на 50-ту добу експерименту відносно показника у контрольній групі, відповідно, на 4,4 та 4,7 %. Найбільша маса цуценят у цей період була зафіксована у III дослідній групі.

Зважування молодняку собак наприкінці експерименту показало, що у II та III дослідних групах їх маса тіла була більшою на статистично значущу величину відносно цуценят, які споживали кормосуміш (контроль) без вмісту біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром. Порівнюючи масу тіла у цуценят із II та III дослідних груп встановлено, що різниця між ними була в межах 0,1 %. Незначна різниця маси тіла між групами з економічного погляду дає підстави рекомендувати для подальшого використання дозу біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром – 1,0 %.

Встановлено, що у період експерименту середньодобовий приріст у молодняку цуценят із контрольної групи становив 146,7 г. За згодовування цуценятм кормосуміші із вмістом біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром у кількості 0,5 % їх середньодобові прирости збільшуються на 3,7 % відносно показника у контрольній групі. Різниця не мала статистичної значущості (табл. 3.26).

У III дослідній групі середньодобові прирости молодняку собак були більшими у порівнянні із контролем на 9,1 %. Різниця була статистично значущою. Найбільший середньодобовий приріст встановлено у цуценят, які споживали кормосуміш із вмістом 1,0 % біомаси спіруліни. Різниця із показником у

контрольній, I та III дослідних групах становила, відповідно, 10,1; 6,1 та 0,9 %. Різниця у порівнянні із контрольною групою була статистично значущою.

Таблиця 3.26

Середньодобовий приріст живої маси тіла молодняку цуценят, кг

Група	Показник, г
Контрольна	146,7±3,85
I дослідна	152,2±4,35
II дослідна	161,6±4,05*
III дослідна	160,1±3,52*

Примітка: * ($p \leq 0,05$).

Для оцінки приросту за весь період експерименту визначали абсолютні прирости у контрольній та дослідних групах. Абсолютний приріст за період експерименту у цуценят із контрольної групи становив 8,8 кг (табл. 3.27).

Таблиця 3.27

Абсолютний приріст цуценят, кг, $M \pm m$

Група	Маса, кг
Контрольна	8,80±0,18
I дослідна	9,13±0,25
II дослідна	9,70±0,21*
III дослідна	9,61±0,17*

Примітка: * ($p \leq 0,05$).

За згодовування молодняку собак кормосуміші із вмістом 0,5 % біомаси синьо-зеленої водорості абсолютний приріст збільшується на 3,7 % відносно контролю. Різниця мала прояв тенденції. У III дослідній групі абсолютний приріст був більшим у порівнянні із контрольною та I дослідною групами, відповідно, на 9,2 та 5,2 %. Різниця із контрольною групою біла статистично значущою.

Вміст у кормосуміші цуценят 1,0 % біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром впливає на збільшення їх абсолютного приросту відносно контролю на

статистично значущу величину – 10,2 %. Порівняно із I дослідною групою абсолютний приріст був більшим на 6,2 %. Різниця мала прояв тенденції.

Враховуючи показник абсолютного приросту важко порівняти ступінь напруження інтенсивності приросту молодняку собак, оскільки за ним не можна визначити взаємозв'язок між показником маси тіла цуценят та інтенсивністю їх росту, тому напруженість росту молодняку собак визначали за відносними приростами.

Оцінюючи відносний приріст живої маси молодняку собак із різних груп було встановлено вплив добавок біомаси синьо-зеленої водорості до складу кормосуміші, яку вони споживали, на цей показник (табл. 3.28).

Таблиця 3.28

Відносний приріст живої маси цуценят, %

Група	Показник
Контрольна	78,2±2,15
I дослідна	81,4±1,45
II дослідна	86,7±1,7*
III дослідна	85,0±3,22

Примітка: * ($p \leq 0,05$).

Відносний приріст цуценят у контрольній групі становив 78,2 %. Застосування у складі кормосуміші для молодняку цуценят 0,5 % біомаси спіруліни сприяло збільшенню їх відносного приросту порівняно з до контрольною групою на 3,2 %. Різниця мала прояв тенденції.

Цуценята із II та III дослідних груп науково-господарського дослідження перевищували контрольних аналогів за ступенем напруження інтенсивності росту, що є додатковим підтвердженням ефективності включення біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром до складу раціонів тварин.

Найвище значення показника відносного приросту живої маси молодняку собак було у II дослідній групі. Різниця відносно контрольної групи становила відповідно 8,5 % ($p \leq 0,05$), що вказує на більш інтенсивний ріст цуценят. Тварини

із III дослідної групи мали нижчий показник відносно цуценят із II дослідної групи на 1,7 %.

Результати експериментів цього підрозділу опубліковані в одній науковій праці [5].

3.3.2. Гематологічні та біохімічні показники у молодняку собак

Досліджуючи вміст гемоглобіну у крові молодняку собак встановлено, що цей показник у контрольній групі становив $129,3 \text{ г/дм}^3$. За згодовування цуценят кормосуміші із вмістом 0,5 % біомаси синьо-зеленої водорості збагаченої Сульфуром вміст гемоглобіну у їх крові був на рівні контролю. Різниця між групами становила 1,3 % (табл. 3.29).

Таблиця 3.29

Біохімічні та гематологічні показники у крові цуценят, $M \pm m$, $n=4$

Показник	Група			
	контрольна	I дослідна	II дослідна	III дослідна
Вміст гемоглобіну, г/дм^3	$129,3 \pm 2,33$	$127,5 \pm 4,57$	$139,6 \pm 2,15^*$	$140,5 \pm 1,98^*$
Кількість лейкоцитів, тис/мкл	$9,2 \pm 0,45$	$9,0 \pm 0,57$	$8,9 \pm 0,48$	$8,8 \pm 0,35$
Кількість еритроцитів, Т/л	$6,7 \pm 0,42$	$6,9 \pm 0,28$	$7,1 \pm 0,37$	$7,3 \pm 0,45$

Примітка: * ($p \leq 0,05$).

У II дослідній групі вміст гемоглобіну у крові цуценят був більшим на 7,9 % у порівнянні із контрольною групою. Різниця мала статистичну значущість. Споживання молодняком собак 1,5 % біомаси *Spirulina platensis* у складі кормосуміші приводить до підвищення вмісту гемоглобіну у їх крові на 8,7 % ($p \leq 0,05$) у порівнянні із контролем. Поясненням такого явища є підвищення засвоєння Феруму (головного компоненту гемоглобіну) завдяки збільшенню вмісту у раціоні молодняку собак HS-груп, які сприяють всмоктуванню металобіотику у кишківнику.

Кількість лейкоцитів у тварин із контрольної групи відповідала фізіологічним нормам. За згодовування цуценят кормосуміші із вмістом біомаси спіруліни 0,5 %

кількість лейкоцитів у їх крові була меншою на 2,1 % у порівнянні із контролем. Різниця була в межах похибки. Встановлено зниження в межах похибки кількості лейкоцитів у крові цуценят із II та III дослідних груп. Кількість лейкоцитів у крові тварин із цих груп відповідала фізіологічним нормам.

Досліджуючи кількість еритроцитів у крові молодняку собак встановлено, що найменший показник був у контрольній групі, де тварини не споживали біомаси спіруліни із підвищеним вмістом Сульфуру. У цуценят із I дослідної групи кількість еритроцитів у крові була більшою на 2,9 % відносно контролю. Різниця була у межах похибки. Згодовування цуценят кормосуміші із вмістом 1,0 % біомаси спіруліни сприяє збільшенню кількості еритроцитів у крові тварин на 5,9 %. Різниця не була статистично значущою. Збільшення кількості еритроцитів у крові тварин із III дослідної групи не мало статистичної значущості. Кількість еритроцитів у крові дослідних цуценят була в межах фізіологічної норми.

За активністю амінотрансфераз можна оцінювати показники білкового обміну у організмі тварин. Активність аспартатамінотрансферази у сироватці крові цуценят із контрольної групи була в межах фізіологічної норми – 1,83 мкмоль/год/см³ (табл. 3.30).

Таблиця 3.30

Активність ензимів у крові молодняку цуценят, $M \pm m$, $n=4$

Показник	Група			
	контрольна	I дослідна	II дослідна	III дослідна
Активність АсАТ, мкмоль/год/см ³	1,83±0,034	1,87±0,087	1,98±0,036*	1,96±0,068
Активність АлАТ, мкмоль/год/ см ³	1,12±0,028	1,33±0,087	1,42±0,045*	1,44±0,047*
Активність ЛФ, нмоль/с×дм ³	2170,1±40,37	2204,2±35,42	2243,4±53,16	2210,3±35,88

Примітка: * ($p \leq 0,05$).

Споживання цуценятами кормосуміші із вмістом 0,5 % біомаси синьо-зеленої водорості (I дослідна група) призводить до підвищення активності аспартатамінотрансферази на 2,1 % відносно контролю. Різниця була в межах

похибки. У молодняку собак із II дослідної групи активність ензиму була підвищена на статистично значущу величину у порівнянні із контрольною групою. Різниця становила в межах 8,1 %. За споживання цуценятами кормосуміші із вмістом 1,5 % біомаси спіруліни активність аспартатамінотрансферази у їх сироватці крові збільшується на 7,1 % ($p \leq 0,05$). Підвищення активності ензиму у крові дослідних собак було в межах фізіологічної норми.

Аналізуючи активність аланінамінотрансферази у сироватці крові цуценят було встановлено, що за використання у їх раціонах біомаси спіруліни активність цього ензиму збільшується. У молодняку собак із I дослідної групи активність аланінамінотрансферази сироватки крові була вищою на 18,7 % відносно показника у контролі. Різниця мала прояв тенденції. Згодовування цуценятам кормосуміші із вмістом біомаси спіруліни у кількості 1,0 та 1,5 % приводить до статистично значущого підвищення активності аланінамінотрансферази у сироватці крові. Різниця із контрольною групою становила, відповідно, 26,7 та 28,5 %.

Водночас не встановлено статистично значущого підвищення активності лужної фосфатази у сироватці крові молодняку собак, яким згодовували кормосуміш із вмістом біомаси спіруліни відносно контролю.

Тіолові групи у тканинах і клітинах організму є чутливим показником щодо надходження у організм шкідливих сполук та речовин. У сироватці крові цуценят із I дослідної групи вміст загальних сульфогідрильних груп був більшим на 4,7 % відносно контролю. Різниця мала прояв тенденції (табл. 3.31).

Таблиця 3.31

Вміст тіолових груп у сироватці крові цуценят, мкг/см³, $M \pm m$, $n=4$

HS-групи	Група			
	контрольна	I дослідна	II дослідна	III дослідна
Загальні	8,60 $\pm$ 0,181	9,01 $\pm$ 0,352	9,45 $\pm$ 0,211	9,52 $\pm$ 0,242*
Вільні	1,48 $\pm$ 0,082	1,46 $\pm$ 0,087	1,35 $\pm$ 0,108	1,52 $\pm$ 0,098
Білкові	7,12 $\pm$ 0,105	7,55 $\pm$ 0,245	8,10 $\pm$ 0,187*	8,00 $\pm$ 0,175*

Примітка: * ($p \leq 0,05$).

Встановлено, що вміст загальних тіолових груп у сироватці крові молодняку собак (II дослідна група) був вищим відносно контролю. Різниця мала тенденцію. За використання найбільшої дози біомаси спіруліни у складі кормосуміші виявлено статистично значуще збільшення вмісту загальних сульфогідрильних груп у сироватці крові цуценят відносно показника у контрольній групі.

Статистично значущої різниці щодо вмісту вільних тіолових груп у сироватці крові цуценят між дослідними та контрольною групами не встановлено.

За згодовування молодняку собак раціонів із вмістом 1,5 % біомаси синьо-зеленої водорості виявлено підвищення вмісту білкових сульфогідрильних груп на 12,3 % відносно показника у контрольній групі. Різниця була статистично значущою.

Найбільший вміст білкових сульфогідрильних груп у сироватці крові цуценят було виявлено у II дослідній групі. Різниця із контролем була статистично значущою і становила 13,7 %. Підвищення вмісту сульфогідрильних груп у сироватці крові молодняку собак можна пояснити підвищенням надходження у організм тварин сірковмісних амінокислот та Сульфуру із біомаси спіруліни.

Оцінку вуглеводневого обміну у організмі цуценят, яким згодовували біомасу спіруліни проводили за вмістом глюкози у сироватці крові (табл. 3.32).

Таблиця 3.32

Показники білкового обміну та вміст глюкози у крові молодняку собак, $M \pm m$, $n=4$

Показник	контрольна група	I дослідна група	II дослідна група	III дослідна група
Концентрація глюкози, ммоль/дм ³	4,5 $\pm$ 0,25	4,4 $\pm$ 0,18	4,7 $\pm$ 0,35	4,7 $\pm$ 0,19
Уміст загального білка, г/дм ³	52,3 $\pm$ 0,87	54,6 $\pm$ 2,44	57,2 $\pm$ 1,10*	55,5 $\pm$ 0,87
Уміст альбуміну, г/дм ³	37,9 $\pm$ 0,84	39,4 $\pm$ 0,97	40,1 $\pm$ 2,14	39,9 $\pm$ 1,87
Уміст сечовини, ммоль/дм ³	4,8 $\pm$ 0,54	4,9 $\pm$ 0,27	4,3 $\pm$ 0,16	4,5 $\pm$ 0,37

Примітка: * ($p \leq 0,05$).

Не було виявлено статистично значущого впливу на підвищення вмісту глюкози у сироватці крові молодняку собак згодовування 1,0 та 1,5 % біомаси синьо-зеленої водорості збагаченої Сульфуром.

Встановлено, що у сироватці крові цуценят із I дослідної групи вміст загального білка був більшим на 4,3 % відносно контролю. Різниця була в межах похибки. Згодовування цуценят у складі кормосуміші 1,0 % біомаси спіруліни сприяє підвищенню загального білка у сироватці крові на 9,3 % відносно показника контрольної групи. Різниця була статистично значущою. У III дослідній групі підвищення вмісту загального білка було в межах 6,1 % відносно контролю. Різниця була в межах тенденції.

Виявлено збільшення вмісту альбуміну в межах тенденції в сироватці крові молодняку собак, яким згодовували раціони з біомасою спіруліни відносно показника тварин із контрольної групи.

Вміст сечовини у сироватці крові цуценят із контрольної групи був в межах фізіологічної норми. У I–III дослідних групах вміст сечовини у сироватці крові цуценят був меншим відносно контрольної групи, що може бути пов'язано з домінуванням процесів анаболізму над процесами катаболізму. Різниця була в межах похибки.

3.4. Виробнича перевірка використання біомаси спіруліни у складі раціонів молодняку собак

Виробничу перевірку було здійснено у кінологічному клубі «DOGARM. COMPANY» м. Київ. За 65 діб експерименту було встановлено, що збереженість молодняку собак у дослідній групі становила 100,0 %. Оцінюючи масу тіла цуценят виявлено, що використання у складі їх раціону біомаси синьо-зеленої водорості збагаченої Сульфуром у кількості 1,0 % від маси приводить до підвищення ваги тварин на 3,3 % відносно контрольної групи (табл. 3.33).

Середньодобові прирости цуценят із дослідної групи були більшими на 7,5 % відносно тварин, яким згодовували кормосуміш без додавання біомаси спіруліни. Різниця мала прояв тенденції.

Таблиця 3.33

**Показники виробничої перевірки ефективності впливу біомаси спіруліни,
збагаченої Сульфуром, у годівлі молодняку собак**

Показник	Контрольна група	Дослідна група
Кількість цуценят на початку досліджу, гол.	12,0	12,0
Збереження молодняку, %	100,0	100,0
Тривалість виробничої перевірки, діб	65	65
Середня маса тіла 1 голови у віці 140 діб, кг	20,8±0,18	21,5±0,21*
Маса тіла у % до контролю	100,0	103,3
Середньодобовий приріст маси тіла цуценят, г	144,4±6,15	155,3±5,98
Витрати кормосуміші (кг) на 1 кг приросту молодняку собак, кг	7,75	7,20

Примітка: * ($p \leq 0,05$).

Експериментально встановлено, що включення до складу кормосумішей біомаси спіруліни сприяє зниженню витрат корму на 1 кг приросту молодняку собак на 7,0 %.

Отже, використання біомаси спіруліни дозволяє підвищити прирости молодняку собак та зменшити витрати кормів на одержання одиниці приросту цуценят.

3.5. Економічна ефективність додавання біомаси спіруліни, збагаченої Сульфуром, до кормосуміші для молодняку собак

Оцінку економічної ефективності включення біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром проводили на основі даних, отриманих під час проведення виробничої перевірки (табл. 3.34).

Під час проведення щодобового обліку витрат кормів було встановлено, що за період виробничої перевірки на групу цуценят було витрачено 873,6 кг кормосуміші. Вартість одного кілограма кормосуміші за додавання біомаси синьо-зеленої водорості збагаченої Сульфуром збільшується на 0,5 %.

Таблиця 3.34

**Показники економічної ефективності застосування біомаси спіруліни
збагаченої Сульфуром за вирощування цуценят**

Показник	Контрольна група	Дослідна група
Витрати кормосуміші за період експерименту на групу, кг	873,6	873,6
Вартість кормосуміші без добавки, грн	51979,2	51979,2
Вартість використаної біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром, грн	—	696,0
Інші витрати на вирощування цуценят, грн	6800,0	6800,0
Собівартість приросту 1 кг маси тіла цуценят, грн	523,8	490,7

За обрахунку собівартості вирощування молодняку враховували не лише вартість кормосуміші, а також витрати на утримання, догляд та профілактичні ветеринарні заходи, які становлять 6800,0 грн на групу.

Експериментально доведено, що включення до складу кормосуміші 1,0 % біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром сприяє зменшенню собівартості одного кілограма приросту цуценят на 6,3 %.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ефективною кормовою добавкою багатою на есенціальні фактори живлення для тварин є біомаса *Spirulina platensis*. В сухій речовині біомаси спіруліни міститься від 42,0 до 72,5 % білка, який за біологічною цінністю не поступається протеїну сої. За амінокислотним складом (метіонін, лейцин, валін, треонін, ізолейцин, тирозин і триптофан) білок спіруліни переважає значення ідеального протеїну [16, 19, 118].

У біомасі *Spirulina platensis* міститься до 12,6 % ліпідів, до складу яких входить γ -ліноленова кислота, до 18,5 % вуглеводів, комплекс фізіологічно необхідних для життя вітамінів, широкий спектр мінеральних речовин [16]. Біомаса синьо-зеленої водорості має унікальний, динамічний хімічний склад біологічно активних речовин, потрапляючи у організм тварин проявляє імуностимулюючу, імуномодулюючу, антиоксидантну дію та здатність впливати на анаболічні процеси [16, 43].

Адаптивні властивості *Spirulina platensis* дозволяють змінювати якісні та кількісні показники через зміну складу хімічних елементів [34, 36]. Такі властивості спіруліни дозволяють вирощувати її біомасу збагачену амінокислотами та мінеральними речовинами. Важливе значення серед мінеральних речовин має Сульфур.

Сульфур має важливе біологічне значення як для рослинних так і тваринних організмів. За росту рослин Сульфур бере участь у забезпеченні їх захисту від різноманітних патогенів, що сприяє фізіологічно здоровому розвитку [124]. Сульфур є невід'ємним компонентом основних сірковмісних амінокислот, вітамінів, антиоксидантів [88].

Мікрowodорості можуть акумулювати Сульфур із органічних та мінеральних сполук, що знаходяться в поживному середовищі [49].

Культитивування та використання біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром та з підвищеним вмістом сірковмісних амінокислот, які є есенціальними факторами живлення для тварин, має науково-практичне значення.

Для збагачення біомаси спіруліни використовували різні джерела Сульфору: глауберову сіль і аліментарну очищену форму, забезпечуючи вміст елемента у стандартному поживному середовищі Заррука від 250,0 до 900,0 мг/дм³. Експериментально встановлено, що найменша оптична густина поживного середовища була виявлена у контролі, а найбільша у поживному середовищі, яке містило 700,0 мг/дм³ Сульфору. Різниця між показником оптичної густини поживного середовища у II дослідній та контрольній групах становила 27,9 %.

Експериментально доведено, що внесення додаткових доз елемента до складу стандартного поживного середовища позитивно впливає на збільшення біомаси *Spirulina platensis*. Це явище можливо пояснити тим, що за дози Сульфору у поживному середовищі 700,0 мг/дм³ елемент оптимально засвоюється біомасою спіруліни і включається у фотосинтетичні та біохімічні процеси активуючи їх. Отримані результати підтверджують дані досліджень ряду науковців [105, 116]. Вони стверджують, що Сульфур є важливим хімічним елементом для росту рослинних організмів і за оптимального засвоєння цього елемента зростає захист рослин, реалізується їх генетичний потенціал щодо підвищення урожайності. Інтенсифікація утворення нових клітин синьо-зеленої водорості і нарощування її біомаси обґрунтовується активною участю оптимальних доз Сульфору у синтезі вітамінів, ензимів, амінокислот і захисних сполук спіруліни. Також за додаткового надходження Сульфору у клітинах рослин інтенсивніше використовується Нітроген, що сприяє збільшенню біомаси.

Аналізуючи різні джерела Сульфору доведено, що більш стимулюючий ефект на збільшення клітин *Spirulina platensis* мала глауберова сіль у порівнянні із аліментарним очищеним Сульфуром. Поясненням такого явища може бути те, що Сульфур у складі глауберової солі має кращу розчинність і в подальшому біодоступність у порівнянні із елементом у очищеній аліментарній формі.

Доведено стимулюючий ефект додаткових доз Сульфору у складі стандартного поживного середовища на синтез хлорофілу у біомасі спіруліни. Вплив Сульфору на вміст хлорофілу у клітинах рослин було встановлено науковцями [158, 162]. За даними цих дослідників, дефіцит Сульфору призводить до погіршення процесу

фотосинтезу, що проявляється у забарвленні поверхні листків рослин. У рослинах, які страждають від сильної нестачі Сульфору, було блідо-зелене чи жовто-зелене, вузьке, коротке і дрібне листя та менш розвинена за норму коренева система, що пов'язано із зменшенням синтезу хлорофілу. Дослідники вважають, що зростаючий дефіцит Сульфору в ґрунтах призводить до суттєвого зменшення засвоєння Магнію, а отже, до сповільнення синтезу хлорофілів.

Досліджуючи вміст загального білка у біомасі *Spirulina platensis* вирощеної на поживному середовищі із збільшеним вмістом Сульфору ($700,0 \text{ мг/дм}^3$) було виявлено збільшення цього показника. До дози елемента $700,0 \text{ мг/дм}^3$ у поживному середовищі виявлено тенденцію – чим більше поживне середовище містило Сульфору, тим вміст протеїну був вищим у біомасі спіруліни. Підтвердженням результатів досліджень є праці дослідників Krauze, Bowszys, 2000; Podleśna, 2003 [102, 130], які повідомляють, що за оптимального вмісту Сульфору у ґрунті можливо впливати на залучення Нітрогену рослинами і в результаті ефективно впливати на білковий склад і якість рослин. Науковці також стверджують, що метаболізм Сульфору в рослинних організмах регулюється різним співвідношенням N:S. У вегетативних частинах рослин співвідношення Нітрогену до Сульфору у білках майже однакове (15:1) [81, 82]. У рослинах оптимально забезпечених Сульфуром вміст білка зростає у порівнянні із рослинами, які засвоюють менші дози елемента, що свідчить про важливе значення його в синтезі протеїну [145, 158].

За культивування спіруліни на поживному середовищі із вмістом Сульфору $700,0 \text{ мг/дм}^3$ вміст лізину у останній збільшується на 7,8 %. У цій біомасі спіруліни також встановлено тенденцію щодо підвищення вмісту аргініну, гістидину, валіну, ізолейцину, гліцину, серину та аланіну. На статистично значущу величину підвищено вміст метіоніну та тирозину у біомасі спіруліни, вирощеної в поживному середовищі із вмістом Сульфору $700,0 \text{ мг/дм}^3$ відносно контролю. Це явище можна обґрунтувати підвищенням синтезу Сульфурвмісних сполук (ензими, антиоксидантні речовини, вітаміни, HS-групи), які задіяні в синтезі амінокислот, зокрема незамінних.

Доведено, що за підвищених доз Сульфуру у поживному середовищі збільшується його засвоєння у клітини мікроводорості і включення у анаболічні процеси, в результаті чого збільшується засвоєння Нітрогену, синтез ряду незамінних амінокислот, загального білка та хлорофілу, що прискорює поділ клітин і нарощування біомаси спіруліни.

Виявлено підвищену біодоступність Сульфуру із глауберової солі у порівнянні із його аліментарною очищеною формою, що підтверджується зростанням нарощування біомаси *Spirulina platensis* та підвищенням вмістом у ній загального білка і хлорофілу. Вміст Сульфуру у сухій речовині біомаси спіруліни, вирощеної в поживному середовищі із вмістом глауберової солі був вищим на 5,7–6,0 % відносно вмісту елемента у синьо-зеленої водорості отриманої в поживному середовищі із вмістом аліментарного Сульфуру. Це пояснюється меншою здатністю Сульфуру вступати в малорозчинні сполуки.

Досліджуючи технологічні параметри нарощування біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром встановлено, що для максимального накопичення біомаси спіруліни необхідно до 4-ї доби інтенсивність освітлення підтримувати на рівні 1700 люкс, із п'ятої до сьомої доби освітлення необхідно витримувати на рівні 2700 люкс, до 9-ї доби культивування на поверхню поживного середовища падати світло із інтенсивністю 3700 люкс, оптимальним освітленням на завершальному етапі можна вважати 5000 люкс. Наші дослідження співпадають із результатами авторів [27], які стверджують, що із збільшенням кількості клітин спіруліни у поживному середовищі необхідно підвищувати інтенсивність освітлення поступово до показника 4800 люкс.

Експериментально доведено, що залежно від температури поживного середовища із підвищенням вмістом Сульфуру змінюється інтенсивність утворення клітин біомаси спіруліни збагаченої цим елементом. Найшвидше росте біомаса спіруліни за температури 37,0 °C. Проте статистичної різниці оптичної густини порівнюючи із температурою 35,0 °C не було встановлено. Тому враховуючи зменшення витрат енергії для обігріву доцільно рекомендувати температуру 35,0 °C.

Встановлюючи нешкідливість біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром доведено, що за внутрішньошлункового введення $0,35 \text{ см}^3$ 50,0 % її суспензії не виявлено летальних наслідків у білих мишей. Незначна пригніченість дослідних тварин і розлад їх шлунково-кишкового тракту були тимчасовими.

Після розтину тушок мишей та проведення патолого-анатомічних досліджень встановлено, що стан внутрішніх органів тварин, яким вводили $0,35 \text{ см}^3$ 50,0 % суспензії спіруліни не мав відмінностей від стану внутрішніх органів мишей із контрольної групи.

Введення мишам $0,35 \text{ см}^3$ 25,0 та 50,0 % суспензії біомаси синьо-зеленої водорості збагачену Сульфуром не призводить до статистично значущого зниження або підвищення показників білкового обміну у печінці тварин. Активність амінотрансфераз і вміст загального білка у печінці мишей відповідали фізіологічним нормам.

Відсутність статистично значущих змін показників білкового обміну у печінці мишей, яким одноразово вводили суспензію біомаси спіруліни збагачену Сульфуром підтверджуються рядом науковців [27, 32], де вказується, що за введення білим мишам біомаси спіруліни збагаченої Кобальтом не встановлено статистично значущого підвищення або зниження активності аспаратамінотрансферази, аланінамінотрансферази і загального білка.

У крові лабораторних мишей, яким вводили біомасу спіруліни виявлено вищий вміст гемоглобіну у порівнянні із контрольною групою. Різниця становила 3,7 % і не мала статистичного значення. Також не встановлено статистично значущої розбіжності щодо вмісту Кальцію та глюкози у крові мишей контрольної і дослідної груп.

Одноразове введення мишам $0,35 \text{ см}^3$ 25,0 та 50,0 % суспензії біомаси синьо-зеленої водорості збагачену Сульфуром не призводить до статистично значущого зменшення білкових сульфогідрильних груп, що свідчить про незначну її токсичну дію.

Одночасно із встановленням нешкідливості досліджували гостру токсичність біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром. Для цього використовували білих мишей

та щурів. Доведено, що за внутрішньошлункового введення лабораторним тваринам високих доз біомаси спіруліни (5000–6000 мг/кг маси тіла) не було встановлено летальних випадків. Миші та щурі перші 6–20 годин експерименту були пригніченими, у них було виявлено розлади функцій шлунково-кишкового тракту. Активність їх рухів була знижена. На 16–18 годину після введення біомаси синьо-зеленої водорості споживання корму та води у тварин відновилося. На 48 годину експерименту фізіологічне функціонування шлунково-кишкового тракту було відновлено. Етологічні зміни у лабораторних тварин, яким вводили біомасу спіруліну у кількості 5000 та 6000 мг/кг пов'язані з введенням тваринам великої маси кормової добавки, яка має лужну реакцію.

Експериментально доведено, що біомаса синьо-зеленої водорості збагачена Сульфуром, належить до малотоксичних речовин – 4 клас. DL_{50} біомаси *Spirulina platensis* за внутрішньошлункового введення лабораторним тваринам (білі миші, білі щурі) є більшою 5000 мг/кг.

Одержані дані щодо відсутності загибелі білих мишей та щурів за введення їм внутрішньошлунково високих доз біомаси синьо-зеленої водорості збагаченої Сульфуром (5000–6000 мг/кг маси тіла) співпадають із даним авторів [29], які стверджують, що за введення лабораторним тваринам 5000 мг/кг маси тіла біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Цинком не виявлено летальних випадків продовж експерименту.

Для визначення подразнюючої дії біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром використовували кролів. На слизову оболонку лівого ока тварин наносили біомасу *Spirulina platensis*, а праве око слугувало контролем. Встановлено, що у перші години виявлено у кутиках лівих очей усіх кролів незначне сльозовиділення. У одного із кролів спостерігали локалізований на невеликій ділянці набряк повіки.

Проводячи спостереження за станом очей лабораторних кролів через 12 годин після нанесення біомаси суспензії було виявлено незначне сльозовиділення. За огляду лабораторних кролів через кожні 24 години до 14-ї доби експерименту не було встановлено будь-яких виділень, гіперемії чи набрякових ознак їх очей. З огляду на встановлені дані, біомаса синьо-зеленої водорості збагачена

Сульфуром не справляє подразнюючої дії за нанесення її на слизові оболонки очей лабораторних тварин. Незначне виділення сліз продовж перших 12 годин обґрунтовується залишками лугів на поверхні клітин спіруліни, які сорбувались із поживного середовища, рН якого становить 12,1–12,5.

Не встановлено порушень білкового, мінерального обміну у організмі кролів, яким на слизову ока наносили біомасу синьо-зеленої водорості збагачену Сульфуром.

Результати досліджень щодо встановлення подразнюючої дії біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром співпадають із даними авторів [27], які стверджують, що кормова добавка біомаси спіруліни, збагачена Кобальтом, не має подразнювальної дії на слизові оболонки лабораторних тварин (кролі), що підтверджується відсутністю набряків, виділень та гіперемії.

Для встановлення ефективності використання біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром у годівлі молодняку собак до складу їх кормосуміші вводили від 0,5 до 1,5 % досліджуваної кормової добавки.

Зважування цуценят наприкінці експерименту показало, що маса тварин, які споживали раціони із вмістом кормової добавки 1,0 та 1,5 % була більшою на статистично значущу величину відносно цуценят, які споживали кормосуміш (контроль) без вмісту біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром. Порівнюючи масу тіла у цуценят із дослідних груп встановлено, що різниця між ними була в межах 0,1 %. Різниця маси тіла в межах похибки між групами з економічного погляду дає підстави рекомендувати для подальшого використання дозу біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром – 1,0 %.

Найбільший середньодобовий приріст було встановлено у цуценят, які споживали кормосуміш із вмістом 1,0 % біомаси спіруліни. Різниця із показником у контрольній, I та III дослідних групах становила, відповідно, 10,1; 6,1 та 0,9 %. Різниця у порівнянні із контрольною групою була статистично значущою.

Експериментально встановлено, що вміст у кормосуміші цуценят 1,0 % біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром впливає на збільшення їх

абсолютного приросту відносно контролю на статистично значущу величину – 10,2 %.

Найвище значення показника відносного приросту живої маси молодняку встановлено у собак, які споживали раціон із вмістом 1,0 % біомаси спіруліни. Різниця відносно контрольної групи становила відповідно 8,5 % ($p \leq 0,05$), що вказує на більш інтенсивний ріст цуценят. Підвищення маси тіла молодняку собак, середньодобових та абсолютних приростів можливо пояснити оптимальним надходженням Сульфуру та сульфурвмісних амінокислот у організм тварин [65, 76, 116].

Споживання молодняком собак 1,5 % біомаси *Spirulina platensis* у складі кормосуміші приводить до підвищення вмісту гемоглобіну у їх крові на 8,7 % ($p \leq 0,05$) у порівнянні із контролем. Поясненням такого явища є підвищення засвоєння Феруму (головного компонента гемоглобіну) завдяки збільшенню вмісту у раціоні молодняку собак HS-груп, які сприяють всмоктуванню металубіотику у кишківнику [88]. Встановлено, що кількість лейкоцитів та еритроцитів у крові тварин, які споживали кормосуміш із вмістом 1,0 % біомаси спіруліни відповідала фізіологічним нормам.

За активністю амінотрансфераз можна оцінювати показники білкового обміну у організмі тварин. У молодняку собак, які споживали кормосуміш із вмістом 1,0 % біомаси спіруліни активність аспартатамінотрансферази була підвищена на статистично значущу величину у порівнянні із контрольною групою. Різниця була в межах 8,1 %. Згодовування цуценят кормосуміші із вмістом біомаси спіруліни у кількості 1,0 та 1,5 % приводить до статистично значущого підвищення активності аланінамінотрансферази у сироватці крові. Різниця із контрольною групою становила, відповідно, 26,7 та 28,5 %. Активність лужної фосфатази у сироватці крові дослідних тварин статистично не відрізнялась від показника у контролі.

Також було досліджено вміст сульфогідрильних груп у сироватці крові молодняку собак, яким згодовували досліджувані кормові добавки. Встановлено, що вміст загальних тіолових груп у сироватці крові молодняку собак,

які споживали раціон із вмістом 1,0 % біомаси спіруліни був вищим відносно контролю. Різниця мала прояв тенденції. Статистично значущої різниці щодо вмісту вільних тілових груп у сироватці крові цуценят між дослідними та контрольною групами не виявлено.

Найбільший вміст білкових сульфогідрильних груп був у сироватці крові цуценят, які споживали раціон із вмістом 1,0 % біомаси спіруліни. Різниця із контролем була статистично значущою і становила 13,7 %. Підвищення вмісту сульфогідрильних груп у сироватці крові молодняку собак може пояснюватись підвищенням надходження у організм тварин сірковмісних амінокислот та Сульфуру із біомаси спіруліни [88].

Не було виявлено статистично значущого впливу на підвищення вмісту глюкози у сироватці крові молодняку собак згодовування 1,0 та 1,5 % біомаси синьо-зеленої водорості збагаченої Сульфуром.

Згодовування цуценят у складі кормосуміші 1,0 % біомаси спіруліни сприяє підвищенню загального білка у сироватці крові на 9,3 % відносно показника контрольної групи. Різниця була статистично значущою. Результати наших досліджень щодо підвищення вмісту загального білка у крові тварин за згодовування біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром знайшли підтвердження у експериментальних даних [41], де дослідники стверджують, що використання у годівлі перепелів біомаси спіруліни, вирощеної на поживному середовищі із вмістом сироватки молока, сприяє підвищенню загального білка у сироватці крові.

Виявлено збільшення вмісту альбуміну в межах тенденції в сироватці крові молодняку собак, яким згодовували раціони з вмістом біомаси спіруліни, відносно показника тварин із контрольної групи.

Вміст сечовини у сироватці крові цуценят із дослідних груп був у межах фізіологічної норми. У I–III дослідних групах вміст сечовини у сироватці крові цуценят був меншим відносно контрольної групи, що може бути пов'язано з домінуванням процесів анаболізму над процесами катаболізму. Різниця була в межах похибки.

Виробничу перевірку було здійснено у кінологічному клубі «DOGARM. COMPANY» м. Київ. Оцінюючи масу тіла цуценят було встановлено, що використання у складі їх раціону біомаси синьо-зеленої водорості збагаченої Сульфуром у кількості 1,0 % від маси приводить до підвищення ваги тварин на 3,3 % відносно контрольної групи.

Включення до складу кормосумішей біомаси спіруліни сприяє зниженню витрат корму на 1 кг приросту молодняку собак на 7,0 %. Отже, використання біомаси спіруліни дозволяє підвищити прирости молодняку собак та зменшити витрати кормів на одержання одиниці приросту цуценят.

Доведено, що згодовування молодняку собак кормосуміші із вмістом 1,0 % біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром сприяє зменшенню собівартості одного кілограма приросту цуценят на 6,3 %.

ВИСНОВКИ

Здійснено комплекс експериментально-практичних робіт з удосконалення елементів технології одержання біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром, встановлено її нешкідливість і токсикологічні показники та доведено ефективність використання біомаси *Spirulina platensis* збагаченої Сульфуром у складі раціонів для молодняку собак.

1. За підвищення вмісту Сульфуру до рівня 700,0 мг/дм³ оптична густина поживного середовища із клітинами спіруліни підвищується на 27,9 % відносно контролю. За таких умов вміст Сульфуру у біомасі синьо-зеленої водорості становить 5,43 г/кг. Оптимальним джерелом Сульфуру у стандартному поживному середовищі є глауберова сіль.

2. Встановлено, що для підвищення нарощування біомаси спіруліни у поживному середовищі із вмістом Сульфуру 700,0 мг/дм³ культивування необхідно проводити за температури 35,0 °С, оптимальна товщина поживного середовища має становити 5,0–7,0 см, інтенсивність освітлення на 4-ту, 7-, 9- та 12-ту добу культивування необхідно витримувати на рівні 1700; 2700; 3700 та 5000 люкс.

3. За вирощування *Spirulina platensis* в поживному середовищі із вмістом Сульфуру 700,0 мг/дм³ у її біомасі підвищується вміст загального білка, хлорофілу, аргініну, тирозину, метіоніну, валіну, серину, аланіну, відповідно, на 3,9; 11,5; 20,0; 18,6 ($p \leq 0,05$); 33,6 ($p \leq 0,05$); 7,8 та 4,7 % та зниження фенілаланіну на 6,8 % відносно показника у контролі.

4. Біомаса *Spirulina platensis*, збагачена Сульфуром, належить до малотоксичних речовин. DL₅₀ синьо-зеленої водорості за внутрішньошлункового введення тваринам (щури та миші) становить понад 5000 мг/кг маси тіла.

5. Експериментально встановлено, що біомаса синьо-зеленої водорості збагачена Сульфуром не справляє подразнюючої дії за нанесення її на слизові оболонки очей лабораторних тварин. У організмі кролів не виявлено порушень білкового, вуглеводного та мінерального обміну.

6. Використання у складі кормосуміші для молодняку собак 1,0 % біомаси *Spirulina platensis*, збагаченої Сульфуром, сприяє підвищенню їхньої маси тіла на 4,1 % ($p \leq 0,01$).

7. Застосування у складі раціонів цуценят 1,0 % біомаси *Spirulina platensis*, збагаченої Сульфуром, впливає на підвищення гемоглобіну у крові на 7,9 % ($p \leq 0,05$); активності аспартатамінотрансферази на 8,1 % ($p \leq 0,05$); аланінамінотрансферази на 26,1 % ($p \leq 0,05$); вмісту білкових сульфогідрильних груп на 13,7 % ($p \leq 0,05$) і загального білка на 9,3 % ($p \leq 0,05$) у сироватці крові.

8. Уведення у кормосуміш для молодняку собак біомаси *Spirulina platensis*, збагаченої Сульфуром, сприяє зменшенню собівартості одного кілограма приросту цуценят на 6,3 %.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Для одержання біомаси *Spirulina platensis*, збагаченої Сульфуром, рекомендуємо до стандартного поживного середовища додавати глауберову сіль, щоб досягти вмісту елемента в середовищі 700,0 мг/дм³ і культивування проводити у фітореакторах за температури 35,0 °С.

2. Для збільшення приростів маси тіла цуценят (вік 75–136 діб) пропонуємо до кормосуміші включати 1,0 % біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Біотехнологія / [В.Г. Герасименко, М.О. Герасименко, М.І. Цвіліховський та ін.]; за заг. ред. В.Г. Герасименка. – К.: Фірма “ІНКОС”, 2006. – 647 с.
2. Біохімічні методи дослідження крові тварин / Левченко В.І., Новожицька Ю.М., Сахнюк В.В. [та ін.] // методичні рекомендації. – Київ, 2004. – 104 с.
3. Голтвянський А.В. Біоаккумуляція іонів металів клітинами зелених водоростей та одержання біомаси, багатої на мікроелементи: дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук: спец. 03.00.20 / Голтвянський Анатолій Володимирович. – Харків, 2002. – 125 с.
4. Григораш Ю., Мерзлов С.В. Перевірка показників нешкідливості та токсичності спіруліни збагаченої сульфуром на білих мишах. Наукові доповіді НУБіП України, 20(6), 9-19. <https://doi.org/10.31548/dopovid/6.2024.09>
5. Григораш Ю., Мерзлов С.В. Подразнююча дія та ефективність включення у раціони молодняку собак біомаси спіруліни, збагаченої Сульфуром. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2024. № 2. С. 79–84. doi: 10.33245/2310-9289-2024-190-2-79-84
6. Григораш, Ю., & Мерзлов, С. (2024). Нарощування біомаси *Spirulina platensis* як кормової добавки за різних доз сульфур у поживному середовищі. НВ ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Сільськогосподарські науки, 26(101), 217-222. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a10134>
7. Доклінічні дослідження ветеринарних лікарських засобів / [Коцюмбас І.Я., Малик О.Г., Патерега І.П. та ін.]; під ред. І.Я. Коцюмбаса. – Львів: Тріада плюс, 2006. – 360 с.
8. ДСТУ 7965:2015 Корми для тварин, сировина для виготовлення повнораціонних сумішей, виділення тварин. Визначання вмісту кадмію, кобальту, молібдену, нікелю та хрому методом атомно-абсорбційної спектроскопії з електротермічною атомізацією. від 22 червня 2015 р. № 61 з 2017-01-01
9. ДСТУ ISO 936:2008 М'ясо та м'ясні продукти. Метод визначення масової частки загальної золи (ISO 936:1998, IDT) від 11.06.2008 р. № 188 чинність установлена з 2008–09–01

10. Європейська конвенція про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей (Страсбург, 1986) // Збірка договорів Ради Європи. – К.: Парлам. Вид-во, 2000. – 57 с.

11. Закон України “Про захист тварин від жорстокого поводження” // Відомості Верховної Ради України. – 2006. – № 27. – С. 990.

12. Іванова В.Д. Використання спіруліни в бджільництві // Вісник агр. науки Причорномор’я. – 2008. – Випуск 1(44) – Миколаїв. – С. 184–188.

13. Інструкція до набору реактивів для визначення глюкози в біологічних рідинах по кольоровій реакції з орто-толуїдиновим реактивом (кат. № НР009.01). Затверджена Інститутом хірургії та трансплантології АМН України від 10 жовтня 2003 р. – К., 2003. – 2 с.

14. Інструкція до набору реактивів для визначення концентрації гемоглобіну у крові (кат. № НР008.01.) Затверджена Інститутом АМН України від 10 жовтня 2003 року. – К., 2003. – 2 с.

15. Інструкція до набору реактивів для визначення сечовини в біологічних рідинах діацетилмонооксимним методом (кат. № НР018.01.) Затверджена Інститутом АМН України від 10 жовтня 2003 року. – К., 2003. – 2 с.

16. Картиш А. П., Горбань Є. М., Чекман І. С. [та ін.] Спіруліна – лікарський засіб широкого спектра дії // Фармацевтичний журнал. – 2000. – № 2. – С. 105–109.

17. Кир’яченко С.П. Виробництво біомаси спіруліни і її використання в годівлі свиней: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.00.16 “Годівля тварин і технологія кормів” / С.П. Кир’яченко. – Вінниця, 1997. – 22 с.

18. Корми та кормова сировина. Визначення вмісту амінокислот методом капілярного електрофорезу з використанням системи капілярного електрофорезу «КАПЕЛЬ – 105/105 М». / І.Я. Коцюмбас, Т.Р. Левицький, Г.П. Ривак, Г.В. Кушнір, Р.О. Ривак // Методичні рекомендації. – Львів, 2013. – 44 с.

19. Котинський А.В. Вплив освітлення на пігментний склад та продуктивність спіруліни / А.В. Котинський // Харчова і переробна промисловість. – 2009. – № 4–5. – С. 23–25.

20. Котинський А.В., Салюк А.І., Нікулін О.Ф. В.І. Карпенко Вплив світлових умов культивування на продуктивність мікроводорості *Spirulina platensis* при вирощуванні її у площинному аероліфтному фотобіореакторі закритого типу // Наукові записки НаУКМА: Біологія та екологія. – 18. – 2000. – с. 56–62.

21. Котинський А.В., Салюк А.І., Нікулін О.Ф. Культивування мікроводоростей роду *Spirulina* (Перше повідомлення) // Харчова промисловість. - 2000. - 45. - С. 192-198.

22. Котинський А.В., Салюк А.І., Нікулін О.Ф. Площинний аерліфтний фотобіореактор закритого типу для культивування фототрофної мікроводорості *Spirulina platensis* // Харчова промисловість.– 2000.– 46.– С. 67–79.

23. Котинський А.В., Салюк А.І., Чернухіна Л.О. Новий спосіб одержання йодованої біомаси // Харчова та переробна промисловість. - №8. – 2000. – с. 18-19.

24. Котинський А.В., Салюк А.І., Чернухіна Л.О. Одержання йодованої біомаси спіруліни. // Бюлетень інституту сільськогосподарської мікробіології, - №7. – 2000. – с.22-23.

25. Котинський А.В., Салюк А.І., Чернухіна Л.О. Одержання йодованої біомаси спіруліни з використанням площинного аероліфтного фотобіореактора закритого типу // Праці Міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми та перспективи створення і впровадження нових ресурсо- та енергоощадних технологій, обладнання в галузях харчової і переробної промисловості”. – К.: УДУХТ. – 2000. – С.96-97.

26. Котинський А.В., Салюк А.І., Чернухіна Л.О., Нікулін О.Ф. Вплив світла і температури на продуктивність спіруліни // Харчова та переробна промисловість. - №1. – 2001. – с.19-21.

27. Мезлова Г.В. Біотехнологія виробництва біомаси спіруліни збагаченої цинком і кобальтом та її використання за вирощування свиней // Дис. канд. с.-г. наук: спец. 03.00.20 “Біотехнологія” / Білоцернківський національний аграрний університет. Біла Церква, 2013. – 148 с.

28. Мерзлов С.В. Культивування *Spirulina platensis* за використання кисломолочної сироватки / С.В. Мерзлов, А.Д. Хоменко // Наук.-теоретич. зб. Житомир. нац. агроеколог. ун-ту. – 2014. – Вип. № 2 (44): – Т. 3. – С. 77–81.

29. Мерзлова Г.В. Reception biomass of spirulina enriched zine and establish its toxicity. 36. наук. праць / Білоцерк. нац. аграр. ун- т. - Біла Церква, 2015. - С. 87-90.

30. Мерзлова Г.В. Accumulation of biomass *Spirulina platensis*, enriched with Cobalt, under different technological harameters. 36. наук, праць / Білоцерк. нац. аграр. ун- т. Біла Церква, 2013. - Випуск 10(105).- С.69-73.

31. Мерзлова Г.В. Вміст хлорофілу у біомасі спіруліни за дії різних доз мікроелементів у поживному середовищі. Біологія тварин. Наук, журнал / Інститут біології тварин - Львів, 2014. Том 16. №2.-С. 86-91.

32. Мерзлова Г.В., Мельниченко О.М. Біохімічні показники в організмі мишей за введення біомаси спіруліни збагаченої Кобальтом. 36. наук. праць/ Білоцерк. нац. аграр. ун- т. Біла Церква, 2012. - Випуск 8 (98).- С. 40—43.

33. Мерзлова Г.В., Мельниченко О.М. Використання високих доз сульфату кобальту в біотехнології культивування *Spirulina platensis*. Матеріали наук. конф. молодих учених [“Актуальні проблеми біохімії та біотехнології -2011”] (Київ, 1 червня 2011 р.). - Київ, 2011. - С. 86.

34. Мерзлова Г.В., Мельниченко О.М. Вплив різних доз Цинку на нарощування біомаси *Spirulina platensis*. Наук.-техн. бюл. / Інститут біології тварин, 2012.- Том 13, № 1-2. - С. 305-308.

35. Мерзлова Г.В., Мельниченко О.М. Вплив різних доз Цинку у біотехнології культивування *Spirulina platensis*. Матеріали держ. наук.- практ. конф. [“Екологічні проблеми України та шляхи їх вирішення”] (Біла Церква, 9 листопада 2011 р.). - Біла Церква, 2011. - С. 3.

36. Мерзлова Г.В., Мельниченко О.М. Динаміка росту культури *Spirulina platensis* за різних концентрацій Кобальту в поживному середовищі. Наук. вісник / ЛНУВМБТ ім. С.З. Гжицького, 2012. - Том 14. № 2 (52). Частина 2. С. 265-269.

37. Мерзлова Г.В., Мельниченко О.М. Удосконалення біотехнології вирощування спіруліни з метою одержання мінерально-білкової добавки до

раціонів свиней. Матеріали міжнар.наук.-практ. конф.молодих учених, аспірантів та докторантів “Наукові пошуки молоді у третьому тисячолітті” [“Екологічні проблеми сучасного світу та шляхи їх вирішення”] (Біла Церква, 19-20 травня 2011 р.). - Біла Церква, 2011. -С. 8-9.

38. Спіруліна – лікарський засіб широкого спектра дії / Картиш А.П., Горбань Є.М., Чекман І.С. [та ін.] // Фармацевтичний журнал. – 2000. – № 2. – С. 105–109.

39. Хоменко А.Д. Амінокислотний склад *Spirulina platensis* як кормової добавки за додавання кисломолочної сироватки до поживного середовища Заррука / А.Д. Хоменко, С.В. Мерзлов // Науковий вісник НУБіП України. – 2015. – Вип. 205. –С. 233–238.

40. Хоменко А.Д. Амінокислотний склад кормової добавки біомаси *Spirulina platensis* за використання сироватки молока під час її виробництва / А.Д. Хоменко, С.В. Мерзлов // Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва: зб. наук. праць Білоцерків. нац. аграр. ун-ту. – 2015. – Вип. № 1 (116). – С. 135–138.

41. Хоменко А.Д. Біотехнологія культивування *spirulina platensis* за використання сироватки молока та застосування біомаси водорості у перепелівництві// Дис. канд. с.-г. наук: спец. 03.00.20 “Біотехнологія” / Білоцернківський національний аграрний університет. Біла Церква, 2015. – 140 с.

42. Хоменко А.Д. Використання кисломолочної сироватки під час культивування *Spirulina platensis* / А.Д. Хоменко, С.В. Мерзлов // Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва: зб. наук. праць Білоцерків. нац. аграр. ун-ту. – 2014. – № 1 (110). – С. 11–15.

43. Хоменко А.Д. Використання кормової добавки *Spirulina platensis* за вирощування перепелів / А.Д. Хоменко, С.В. Мерзлов // Науковий вісник ЛНУВМ та БТ імені С.З. Гжицького. – 2015. – Т. 17, № 1 (61). – Ч. 3. – С. 238–242.

44. Aune, D., E. Giovannucci, P. Boffetta, L. T. Fadnes, N. Keum, T. Norat, D. C. Greenwood, E. Riboli, L. J. Vatten, and S. Tonstad. 2017. Fruit and vegetable intake and the risk of cardiovascular disease, total cancer and all-cause mortality-a systematic review

and dose-response meta-analysis of prospective studies. *International Journal of Epidemiology* 46 (3):1029–56. doi: 10.1093/ije/dyw319.

45. Baenas, N., J. Marhuenda, C. García-Viguera, P. Zafrilla, and D. A. Moreno. 2019. Influence of cooking methods on glucosinolates and isothiocyanates content in novel cruciferous foods. *Foods* 8 (7):257. doi: 10.3390/foods8070257.

46. Barczak B., Kozera W., Knapowski T., Ralcewicz M. 2014. Effects of sulphur fertilisation on the content and uptake of macroelements in narrow-leaf lupin. *Rom Agric Res.*, 31:245-251.

47. Barczak B., Nowak K. 2010. Effect of the sulphur dose and form on yielding and protein content in Komes cultivar of oat grain. *Fragm. Agron.*, 27(1):14-20.

48. Barczak B., Nowak K. 2015. Effect of sulphur fertilisation on the content of macroelements and their ionic ratios in potato tubers. *J. Elem.*, 20(1): 37-47. DOI: 10.5601/jelem.2014.19.1.471

49. Barczak B., Nowak K., Kozera W., Knapowski T., Ralcewicz M. 2013. Response of narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius* L.) to sulphur fertilization. Part II. Content and yield of fat in seeds. *Fragm. Agron.*, 30(2): 35-41.

50. Beale S.I. Biosynthesis of Cyanobacterial Tetrapyrrole pigments: Hemes, Chlorophylls and Phycobilins // *Molecular biology of cyanobacteria*. – Kluwer Academic Publishers, 1994. – P. 487–517.

51. Becker E.W. Development of Spirulina Research in Developing Country India // *Spirulina – Algae of Life*. – Bull. Ist. Oceanogr. – 1993. – Vol. NS, No. 12. – P. 141–155.

52. Bekaert, M., P. P. Edger, C. M. Hudson, J. C. Pires, and G. C. Conant. 2012. Metabolic and evolutionary costs of herbivory defense: Systems biology of glucosinolate synthesis. *The New Phytologist* 196 (2):596–605. doi: 10.1111/j.1469-8137.2012.04302.x.

53. Belay A. Mass culture of Spirulina Outdoors – The Earthrise Farms Experience // *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology* / Ed. Vonshak A. – London: Taylor & Francis, 1997. – P. 131–159.

54. Bell, L., O. O. Oloyede, S. Lignou, C. Wagstaff, and L. Methven. 2018. Taste and Flavor Perceptions of glucosinolates, isothiocyanates, and related compounds. *Molecular Nutrition & Food Research* 62 (18):1700990. doi: 10.1002/mnfr.201700990.
55. Blažević, I., S. Montaut, F. Burčul, C. E. Olsen, M. Burow, P. Rollin, and N. Agerbirk. 2020. Glucosinolate structural diversity, identification, chemical synthesis and metabolism in plants. *Phytochemistry* 169:112100. doi: 10.1016/j.phytochem.2019.112100.
56. Blekkenhorst, L. C., C. P. Bondonno, J. R. Lewis, A. Devine, K. Zhu, W. H. Lim, R. J. Woodman, L. J. Beilin, R. L. Prince, and J. M. Hodgson. 2017. Cruciferous and allium vegetable intakes are inversely associated with 15-year atherosclerotic vascular disease deaths in older adult women. *Journal of the American Heart Association* 6 (10):1–15. doi: 10.1161/JAHA.117.006558.
57. Blekkenhorst, L. C., C. P. Bondonno, J. R. Lewis, R. J. Woodman, A. Devine, N. P. Bondonno, W. H. Lim, K. Zhu, L. J. Beilin, P. L. Thompson, et al. 2018. Cruciferous and total vegetable intakes are inversely associated with subclinical atherosclerosis in older adult women. *Journal of the American Heart Association* 7 (8):e008391. doi: 10.1161/JAHA.117.008391.
58. Brodowska M.S., Kaczor A. 2003. The effect of sulphur fertilization and liming on the anionic composition of wheat and rape. *Fertilizers and Fertilization*, , 4(17): 92-103.
59. Brosnan, J. T., and M. E. Brosnan. 2006. The sulfur-containing amino acids: An overview. *The Journal of Nutrition* 136 (6 Suppl):1636S–40S. doi: 10.1093/jn/136.6.1636S.
60. Chang, J., M. Wang, Y. Jian, F. Zhang, J. Zhu, Q. Wang, and B. Sun. 2019. Health-promoting phytochemicals and antioxidant capacity in different organs from six varieties of Chinese kale. *Scientific Reports* 9 (1):20344. doi: 10.1038/s41598-019-56671-w.
61. Ciferri O. Spirulina, the edible microorganism // *Microbiol. Rev.* – 1983. – Vol. 47, No. 4. – P. 551–578.
62. Citi, V., A. Martelli, L. Testai, A. Marino, M. C. Breschi, and V. Calderone. 2014. Hydrogen sulfide releasing capacity of natural isothiocyanates: Is it a reliable

explanation for the multiple biological effects of Brassicaceae? *Planta Medica* 80 (8–9):610–3. doi: 10.1055/s-0034-1368591.

63. Citi, V., E. Piragine, E. Pagnotta, L. Ugolini, L. Di Cesare Mannelli, L. Testai, C. Ghelardini, L. Lazzeri, V. Calderone, and A. Martelli. 2019. Anticancer properties of erucin, an H₂S-releasing isothiocyanate, on human pancreatic adenocarcinoma cells (AsPC-1). *Phytotherapy Research: PTR* 33 (3):845–55. doi: 10.1002/ptr.6278.

64. Cohen Z. The Chemicals of Spirulina // *Spirulina platensis* (Arthrospira): Physiology, cell-biology and biotechnology / Ed. A. Vonshak. – London: Bristol, Taylor and Francis, 1997. – P. 175–204.

65. Colovic, M. B., V. M. Vasic, D. M. Djuric, and D. Z. Krstic. 2018. Sulphur-containing amino acids: Protective role against free radicals and heavy metals. *Current Medicinal Chemistry* 25 (3):324–35. doi: 10.2174/0929867324666170609075434.

66. Corsello, T., N. Komaravelli, and A. Casola. 2018. Role of hydrogen sulfide in NRF2- and sirtuin-dependent maintenance of cellular redox balance. *Antioxidants (Basel, Switzerland)* 7 (10):129. doi: 10.3390/antiox7100129.

67. Corvino, A., F. Frecentese, E. Magli, E. Perissutti, V. Santagada, A. Scognamiglio, G. Caliendo, F. Fiorino, and B. Severino. 2021. Trends in H(2)S-donors chemistry and their effects in cardiovascular diseases. *Antioxidants (Basel)* 10 (3):429. doi: 10.3390/antiox10030429.

68. De Kok, L. J., M. Durenkamp, L. Yang, and I. Stulen. 2007. Atmospheric sulfur. In *Sulfur in plants. An ecological perspective*, ed. Malcolm J. Hawkesford and L. J. De Kok, 91–106. Dordrecht, The Netherlands: Springer. doi: 10.1007/978-1-4020-5887-5.

69. Del Carmen Martínez-Ballesta, M., D. A. Moreno, and M. Carvajal. 2013. The physiological importance of glucosinolates on plant response to abiotic stress in Brassica. *International Journal of Molecular Sciences* 14 (6):11607–25. doi: 10.3390/ijms140611607.

70. Doleman, J. F., K. Grisar, L. Van Liedekerke, S. Saha, M. Roe, H. S. Tapp, and R. F. Mithen. 2017. The contribution of alliaceous and cruciferous vegetables to dietary sulphur intake. *Food Chemistry* 234:38–45. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.098.

71. Dong, Z., R. Sinha, and J. P. Richie. Jr. 2018. Disease prevention and delayed aging by dietary sulfur amino acid restriction: Translational implications. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1418 (1):44–55. doi: 10.1111/nyas.13584.
72. Dong, Z., X. Gao, V. M. Chinchilli, R. Sinha, J. Muscat, R. M. Winkels, and J. P. Richie, Jr. 2020. Association of sulfur amino acid consumption with cardiometabolic risk factors: Cross-sectional findings from NHANES III. *EClinicalMedicine* 19:100248. doi: 10.1016/j.eclinm.2019.100248.
73. Ellman G.L. Tissue sulfhydryl groups / G.L. Ellman // Arch. Biochem. Biophys. – 1959. – Vol. 82, № 1. – P. 70–77.
74. Evaluation of the cobalt requirement of beef cattle based on vitamin B12, folate, homocysteine and methylmalonic acid / [G.I. Stangl, F.J. Schwarz, H. Mejlle, M. Kirchgessner] // Br. J. Nutr. – 2000. – Vol. 84(5). – P. 645–653.
75. Fakhri, S., M. Pesce, A. Patruno, S. Z. Moradi, A. Iranpanah, M. H. Farzaei, and E. Sobarzo-Sánchez. 2020. Attenuation of Nrf2/Keap1/ARE in Alzheimer's disease by plant secondary metabolites: A mechanistic review. *Molecules* 25 (21):4926. doi: 10.3390/molecules25214926.
76. Francioso, A., A. Baseggio Conrado, L. Mosca, and M. Fontana. 2020. Chemistry and biochemistry of sulfur natural compounds: Key intermediates of metabolism and redox biology. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* 2020:8294158. doi: 10.1155/2020/8294158.
77. Franco, R., O. J. Schoneveld, A. Pappa, and M. I. Panayiotidis. 2007. The central role of glutathione in the pathophysiology of human diseases. *Archives of Physiology and Biochemistry* 113 (4–5):234–58. doi: 10.1080/13813450701661198.
78. Gaj R., Klikocka H. 2011. Multifunctional sulphur effect in plants – from nutrition to protection. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Rośl.*, 51(1): 33-44.
79. Gigolashvili, T., and S. Kopriva. 2014. Transporters in plant sulfur metabolism. *Frontiers in Plant Science* 5:442. doi: 10.3389/fpls.2014.00442.
80. Giles, G. I., M. J. Nasim, W. Ali, and C. Jacob. 2017. The reactive sulfur species concept: 15 years on. *Antioxidants (Basel, Switzerland)* 6 (2):38. doi: 10.3390/antiox6020038.

81. Grygierzec B, Luty L., Musiał K. 2015. The efficiency of nitrogen and sulphur fertilization on yields and value of N:S ratio for *Lolium × boucheanum*. *Plant Soil Environ.*, 61(3): 137-143. DOI: 10.17221/1005/2014-PSE
82. Grzebisz W., Przygocka-Cyna K. 2007. Spring malt barley's response to elemental sulphur – the prognostic value of N and S concentration in malt barley leaves. *Plant Soil Environ.*, 53(9): 388-394.
83. Gullner, G., B. Zechmann, A. Künstler, and L. Király. 2017. The signaling roles of glutathione in plant disease resistance. In *Glutathione in plant growth, development, and stress tolerance*, ed. Mohammad Anwar Hossain, Mohammad Golam Mostofa, Pedro Diaz-Vivancos, David J. Burritt, Masayuki Fujita, and Lam-Son Phan Tran, 331–57. Cham: Springer International Publishing.
84. Halkier, B. A., and J. Gershenzon. 2006. Biology and biochemistry of glucosinolates. *Review of Plant Biology* 57:303–33. doi: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105228.
85. Hawkesford, M. J. 2007. Sulfur and plant ecology: A central role of sulfate transporters in responses to sulfur availability. In *Sulfur in plants. An ecological perspective*, ed. M. J. Hawkesford and L. J. De Kok, 1–15. Dordrecht, The Netherlands: Springer. doi: 10.1007/978-1-4020-5887-5.
86. Hsu, C. N., and Y. L. Tain. 2021. Preventing developmental origins of cardiovascular disease: Hydrogen sulfide as a potential target? *Antioxidants* 10 (2):247. doi: 10.3390/antiox10020247.
87. Hugh W.I., Evolution of dehydrated spirulina (*Spirulina platensis*) as a protein replacement in swite starter diets / W.I. Hugh, W. Daminy, E. Duerr // College of Tropical Agriculture and Human Resources, Univ., Hawaii, 1985. – p. 1–10.
88. Ingenbleek, Y., and H. Kimura. 2013. Nutritional essentiality of sulfur in health and disease. *Nutrition Reviews* 71 (7):413–32. doi: 10.1111/nure.12050.
89. Iranshahi, M. 2012. A review of volatile sulfur-containing compounds from terrestrial plants: Biosynthesis, distribution and analytical methods. *Journal of Essential Oil Research* 24 (4):393–434. doi: 10.1080/10412905.2012.692918.

90. Jakubus M. 2006. Sulphur in environment. AR Poznań, ss. 49. (in Polish)
- Jankowski K., Budzyński W., Szymanowski A. 2008a. Effect of sulfur on the quality of winter rape seeds. *J. Elem.*, 13(4): 521-534.
91. Jankowski K., Kijewski Ł., Skwierawska M., Krzebietke S., Mackiewicz-Walec E. 2014a. Effect of sulfur fertilization on the concentrations of copper, zinc and manganese in the roots, straw and oil cake of rapeseed (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* Metzg). *J. Elem.*, 20(2): 433-446.
92. Jankowski K.J., Budzyński W.S., Kijewski Ł., Klasa A. 2014b. Concentrations of copper, zinc and manganese in the roots, straw and oil cake of white mustard (*Sinapis alba* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea*(L.) Czern. et Coss.) depending on sulphur fertilization. *Plant Soil Environ.* , 60(8):364-371.
93. Jędryczka M., Podleśna A., Lewartowska E. 2002. Effect of fertilization with nitrogen and sulphur on healthiness of winter oilseed rape plants. *Pam. Puł.*, 130(1): 329-338.
94. Jez, J. M. 2019. Structural biology of plant sulfur metabolism: From sulfate to glutathione. *Journal of Experimental Botany* 70 (16):4089–103. doi: 10.1093/jxb/erz094.
95. Jia, X., L. Zhong, Y. Song, Y. Hu, G. Wang, and S. Sun. 2016. Consumption of citrus and cruciferous vegetables with incident type 2 diabetes mellitus based on a meta-analysis of prospective study. *Primary Care Diabetes* 10 (4):272–80. doi: 10.1016/j.pcd.2015.12.004.
96. Jiang, J., T. B. Kang, W. Shim do, N. H. Oh, T. J. Kim, and K. H. Lee. 2013. Indole-3-carbinol inhibits LPS-induced inflammatory response by blocking TRIF-dependent signaling pathway in macrophages. *Food and Chemical Toxicology* 57:256–61. doi: 10.1016/j.fct.2013.03.040.
97. Jiang, Y., S. H. Wu, X. O. Shu, Y. B. Xiang, B. T. Ji, G. L. Milne, Q. Cai, X. Zhang, Y. T. Gao, W. Zheng, et al. 2014. Cruciferous vegetable intake is inversely correlated with circulating levels of proinflammatory markers in women. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics* 114 (5):700–8.e2. doi: 10.1016/j.jand.2013.12.019.

98. Kind P. R.N. Estimation of plasma phosphatase by determination of hydrolysed phenol with aminoantipyrine / P.R.N. Kind, E.J. King // J. Clin. Pathol. – 1954. – Vol. 7. – P. 322–326
99. Klikocka H., Haneklaus E., Bloem. E., Schnug E. 2003. The evaluation of potato sulphur fertilization demands. *Nawozy Nawoż.*, 4(17): 143-150.
100. Kodera, Y., M. Kurita, M. Nakamoto, and T. Matsutomo. 2020. Chemistry of aged garlic: Diversity of constituents in aged garlic extract and their production mechanisms via the combination of chemical and enzymatic reactions (Review). *Experimental and Therapeutic Medicine* 19 (2):1574–84. doi: 10.3892/etm.2019.8393.
101. Krause, K., A. Pyrczak-Felczykowska, M. Karczewska, M. Narajczyk, A. Herman-Antosiewicz, A. Szalewska-Pałasz, and D. Nowicki. 2021. Dietary isothiocyanates, sulforaphane and 2-phenethyl isothiocyanate, effectively impair vibrio cholerae virulence. *International Journal of Molecular Sciences* 22 (19):10187. doi: 10.3390/ijms221910187.
102. Krauze A., Bowszys T. 2000. Effect of applying different technologies of sulfur fertilizer application on yield and quality of winter and spring rape. *Fol. Univ. Stetin., Agric.*, 204(81): 133-142.
103. Krauze A., Bowszys T. 2001. Effect of time of sulphur fertilization of spring oilseed rape cv. Star on seed yield, sulphur content and crude oil. *Rośl. Oleiste - Oilseed Crops*, 22(1): 285-290.
104. Kulczycki G. 2003. The influence of elemental sulphur fertilization on yield chemical composition of plants and chemical soil properties. *Fertilizers and Fertilization*, 4(17): 151-159
105. Künstler, A., G. Gullner, A. L. Ádám, K. Nagy, and L. Király. 2020. The versatile roles of sulfur-containing biomolecules in plant defense-A road to disease resistance. *Plants (Basel)* 9 (12):1705. doi: 10.3390/plants9121705.
106. Kurowski T.P., Jankowski K. 2003a. The influence of fertilisation on health status of white and Indian mustard. *Rośl. Oleiste - Oilseed Crops*, 24(2): 465-476. (in Polish)
107. Kurowski T.P., Jankowski K. 2003b. Sanitary state of crambe and spring false flax in relation to the way of fertilization. *Rośl. Oleiste - Oilseed Crops*, 24(2): 477-488.

108. Kuschman, H. P., M. B. Palczewski, and D. D. Thomas. 2021. Nitric oxide and hydrogen sulfide: Sibling rivalry in the family of epigenetic regulators. *Free Radical Biology & Medicine* 170:34–43. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2021.01.010.
109. Loseva C.P. Spirulina natural sorbent of radionuclei-des / C.P. Loseva, J.V. Dardinskaya // 6–4 Internet. Congress of Applied Algology, Crech. Republic, 1993.
110. Lowry O.H. Protein meashurement with the Folin phenol refgent / O.H. Lowry, N. I. Rosenbrough, A.L. Farr // J. Biol. Chem. – 1951. – Vol. 193. – P. 265–315.
111. Magli, E., E. Perissutti, V. Santagada, G. Caliendo, A. Corvino, G. Esposito, G. Esposito, F. Fiorino, M. Migliaccio, A. Scognamiglio, et al. 2021. H(2)S donors and their use in medicinal chemistry. *Biomolecules* 11 (12):1899. doi: 10.3390/biom11121899.
112. Majchrzak B., Kurowski T.P., Jankowski K. 2010. The effect of preceding crops being fertilized with sulfur on the health status of winter wheat roots. *Prog. Plant Protect./Post. Ochr. Rośl.*, 50(2): 927-930
113. Marska E., Wróbel J. 2000. Importance of sulphur for crops. *Fol. Univ. Stetin., Agric.*, 81: 69-76.
114. Martelli, A., E. Piragine, V. Citi, L. Testai, E. Pagnotta, L. Ugolini, L. Lazzeri, L. Di Cesare Mannelli, O. L. Manzo, M. Bucci, et al. 2020. Erucin exhibits vasorelaxing effects and antihypertensive activity by H₂S-releasing properties. *British Journal of Pharmacology* 177(4):824–35. doi: 10.1111/bph.14645.
115. Martelli, A., V. Citi, L. Testai, S. Brogi, and V. Calderone. 2020. Organic isothiocyanates as hydrogen sulfide donors. *Antioxidants & Redox Signaling* 32 (2):110–44. doi: 10.1089/ars.2019.7888.
116. Maruyama-Nakashita, A. 2017. Metabolic changes sustain the plant life in low-sulfur environments. *Current Opinion in Plant Biology* 39:144–51. doi: 10.1016/j.pbi.2017.06.015.
117. Matuz-Mares, D., H. Riveros-Rosas, M. M. Vilchis-Landeros, and H. Vázquez-Meza. 2021. Glutathione participation in the prevention of cardiovascular diseases. *Antioxidants (Basel)* 10 (8):1220. doi: 10.3390/antiox10081220.
118. Merzlova G.V. Obtaining Zink enriched Spirulina biomass and establishing its toxicity. 36. наук. праць / Білоцерк. нац. аграр. ун- т. - Біла Церква, 2015. - С. 107-111.

119. Mitreiter, S., and T. Gigolashvili. 2021. Regulation of glucosinolate biosynthesis. *Journal of Experimental Botany* 72 (1):70–91. doi: 10.1093/jxb/eraa479.
120. Mohanty P. The Photosynthetic Apparatus of Spirulina: Electron Transport and Energy Transfer / P. Mohanty, M. Srivastava, K.B. Krishna // *Spirulina platensis* (Arthrospira): Physiology, cell-biology and biotechnology / Ed. A. Vonshak. – London: Bristol, Taylor and Francis, 1997. – P. 17–42.
121. Mugford, S. G., B. R. Lee, A. Koprivova, C. Matthewman, and S. Kopriva. 2011. Control of sulfur partitioning between primary and secondary metabolism. *The Plant Journal: For Cell and Molecular Biology* 65 (1):96–105. doi: 10.1111/j.1365-313X.2010.04410.x.
122. Mukwevho, E., Z. Ferreira, and A. Ayeleso. 2014. Potential role of sulfur-containing antioxidant systems in highly oxidative environments. *Molecules (Basel, Switzerland)* 19(12):19376–89. doi: 10.3390/molecules191219376.
123. Nguyen, V. P. T., J. Stewart, M. Lopez, I. Ioannou, and F. Allais. 2020. Glucosinolates: Natural occurrence, biosynthesis, accessibility, isolation, structures, and biological activities. *Molecules (Basel, Switzerland)* 25 (19):4537. doi: 10.3390/molecules25194537.
124. Nwachukwu, I. D., A. J. Slusarenko, and M. C. Gruhlke. 2012. Sulfur and sulfur compounds in plant defence. *Natural Product Communications* 7 (3):395–400. doi: 10.1177/1934578X1200700323.
125. Nwachukwu, I. D., and A. J. Slusarenko. 2014. Thiosulfinates, organic polysulfanes, and related compounds: From an unusual chemistry toward a wealth of potential applications. In *Recent advances in redox active plant and microbial products: From basic chemistry to widespread applications in medicine and agriculture*, 265–88. Netherlands: Springer.
126. Patorczyk-Pytlik B., Zimoch A., Szumińska E. 2009. Effect of sulfur fertilization on selenium content in alfalfa. *Zesz. Nauk. UP Wrocław, Rol.*, 44(573): 65-72.
127. Petropoulos, S., F. Di Gioia, and G. Ntatsi. 2017. Vegetable organosulfur compounds and their health promoting effects. *Current Pharmaceutical Design* 23 (19):2850–75. doi: 10.2174/1381612823666170111100531.

128. Piekarska A., Bartoszek A., Namieśnik J. 2010. Biofumigation as an alternative method of crop protection. *Ecol. Chem Eng S.*, 17(14): 527-547.
129. Podleśna A. 2003. Preliminary estimation of sulfur fertilization requirements of winter oilseed rape. *Rośl.Oleiste - Oilseed Crops*, 24(2): 641-649.
130. Podleśna A. 2004. The effect of sulfur fertilization on concentration and uptake of nutrients by winter oilseed rape. *Rośl. Oleiste - Oilseed Crops*, 25: 628-636
131. Potarzycki J., Grzebisz W. 2007. Effect of phosphoric fertilizers as a source of sulphur on malt barley total and technological grain yields. *Plant Soil Environ.*, 53(9): 395-402.
132. Reitman S., A colorimetric method for the determination of serum glutamic oxalacetic and glutamic pyruvic transaminases / S. Reitman, S. Frankel // *Amer. J. Clin. Pthol.* – 1957. – Vol. 28. – P. 56.
133. Rektorisova, M., V. Hrbek, M. Jiru, J. Ovesna, and J. Hajslova. 2020. Variability in S-alk(en)yl-l-cysteine sulfoxides in garlic within a seven-month period determined by a liquid chromatography - Tandem mass spectrometry method. *Plant Foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands)* 75 (3):376–82. doi: 10.1007/s11130-020-00817-z.
134. Richmond A. Microalgae of economic potential // *Handbook of microalgal mass culture* / Ed. Richmond A. – Boca Raton: CRC Press, 1986. – P. 199–244.
135. Romero, L. C., M. Á. Aroca, A. M. Laureano-Marín, I. Moreno, I. García, and C. Gotor. 2014. Cysteine and cysteine-related signaling pathways in *Arabidopsis thaliana*. *Molecular Plant* 7 (2):264–76. doi: 10.1093/mp/sst168.
136. Rose, P., P. K. Moore, M. Whiteman, and Y.-Z. Zhu. 2019. An appraisal of developments in *Allium* sulfur chemistry: Expanding the pharmacopeia of garlic. *Molecules (Basel, Switzerland)* 24 (21):4006. doi: 10.3390/molecules24214006.
137. Sadowski Cz., Baturo A., Lenc L., Trzciński J. 2002. Downy mildew (*P. parasitica*) and powdery mildew (*E. cruciferarum*) occurrence on spring oilseed rape cv. Star depending on differentiated fertilization with nitrogen and sulphur. *Rośl. Oleiste - Oilseed Crops*, 23: 391-408.

138. Sadowski Cz., Lenc L., Pańka D. 2005. Effect of application of sulphur, magnesium, boron and fungicides on the health of cv. Margo spring oilseed plants and fungal infestation of their seeds. by fungi. *Rocz. AR Poznań, Rol.*, 64: 143-153.
139. Sahu J., Heterotrophic growth and pigment composition of four filamentous blue-green algae / J. Sahu, S.P. Adhikary // *Arch. Hydrobiol.* – 1982. – Vol. 63, No. 2. – P. 189–199.
140. Scammahorn, J. J., I. T. N. Nguyen, E. M. Bos, H. Van Goor, and J. A. Joles. 2021. Fighting oxidative stress with sulfur: Hydrogen sulfide in the renal and cardiovascular systems. *Antioxidants (Basel)* 10 (3):373. doi: 10.3390/antiox10030373.
141. Schnug E., Gaj R., Haneklaus S. 2003. Visual diagnosis of sulphur nutrition in major agricultural crops. *Nawozy Nawoż.*, 4(17): 78-91.
142. Schwartz, J. Prevention of experimental oral cancer by extracts of *Spirulina-Dunaliella* algae. / J. Schwartz, G. Sklar, S. Reid, D. Trickier // *Nutr. cancer.* –1988.–T. 11. – P. 127–134.
143. Shang, A., S. Y. Cao, X. Y. Xu, R. Y. Gan, G. Y. Tang, H. Corke, V. Mavumengwana, and H. B. Li. 2019. Bioactive compounds and biological functions of garlic (*Allium sativum* L.). *Foods* 8 (7):246. doi: 10.3390/foods8070246.
144. Skwierawska M., Benedycka Z., Jankowski K., Skwierawski A. 2016. Sulphur as a fertiliser component determining crop yield and quality. *J. Elem.*, 21(2): 609-623. DOI: 10.5601/jelem.2015.20.3.992
145. Skwierawska M., Zawartka L., Zawadzki B. 2008. The effect of different rates and forms of applied sulphur on nutrient composition of planted crops. *Plant Soil Environ.*, 54(5): 179-189
146. Sosińska E., Obiedziński M.W. 2007. Investigation on bioactive glucosinolates in chosen cruciferous vegetables varieties by HPLC. *Żywn-Nauka Technol. J.*, 5(54): 129-136.
147. Stefels, J. 2007. Sulfur in the marine environment. In *Sulfur in plants. An ecological perspective*, ed. Malcolm J. Hawkesford and L. J. De Kok, 77–90. Dordrecht, The Netherlands: Springer. doi: 10.1007/978-1-4020-5887-5.

148. Szulc W., Rutkowska B, Sosulski T., Szara E., Stępień W. 2014. Assessment of sulphur demand of crops under permanent fertilization experiment. *Plant Soil Environ.*, 60(3): 135-140.
149. Tausz, M. 2007. Sulfur in forest ecosystems. In *Sulfur in plants. An ecological perspective*, ed. Malcolm J. Hawkesford and L. J. De Kok, 59–75. Dordrecht, The Netherlands: Springer. doi: 10.1007/978-1-4020-5887-5.
150. Teskey, G., R. Abraham, R. Cao, K. Gyurjian, H. Islamoglu, M. Lucero, A. Martinez, E. Paredes, O. Salaiz, B. Robinson, et al. 2018. Glutathione as a marker for human disease. *Advances in Clinical Chemistry* 87:141–59. doi: 10.1016/bs.acc.2018.07.004.
151. Tomasseli L. Morphology, Ultrastructure and Taxonomy of *Arthrospira* (*Spirulina*) *maxima* and *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* // *Spirulina platensis* (*Arthrospira*): Physiology, Cell-biology and Biotechnology / Ed. Vonshak A. – London: Taylor & Francis, 1997. – P. 1–15.
152. Van Moerkercke, A., O. Duncan, M. Zander, J. Šimura, M. Broda, R. Vanden Bossche, M. G. Lewsey, S. Lama, K. B. Singh, K. Ljung, et al. 2019. A MYC2/MYC3/MYC4-dependent transcription factor network regulates water spray-responsive gene expression and jasmonate levels. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 116 (46):23345–56. doi: 10.1073/pnas.1911758116.
153. Vermeulen, M., R. van den Berg, A. P. Freidig, P. J. van Bladeren, and W. H. Vaes. 2006. Association between consumption of cruciferous vegetables and condiments and excretion in urine of isothiocyanate mercapturic acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54 (15):5350–8. doi: 10.1021/jf060723n.
154. Vojtovič, D., L. Luhová, and M. Petřivalský. 2021. Something smells bad to plant pathogens: Production of hydrogen sulfide in plants and its role in plant defence responses. *Journal of Advanced Research* 27:199–209. doi: 10.1016/j.jare.2020.09.005.
155. Vonshak A. *Spirulina: Growth, Physiology and Biochemistry* // *Spirulina platensis* (*Arthrospira*): Physiology, Cell-biology and Biotechnology. – London: Taylor & Francis, 1997. – P. 43–65.

156. Wielebski F. 2006. Sulphur fertilization of different types of winter oilseed rape varieties in various soil conditions, I. Effect on yield and yield components. *Rośl. Oleiste - Oilseed Crops*, 27(2): 265-282.
157. Wielebski F. 2011. The effect of sulphur fertilization on the chemical composition of seeds of different breeding forms of winter oilseed rape in the conditions of diverse nitrogen doses. *Rośl. Oleiste - Oilseed Crops*, 32(1): 79-95.
158. Wielebski F. 2012. Response of winter oilseed rape to sulphur fertilization depending on level of nitrogen supply to plants. *Rośl. Oleiste - Oilseed Crops*, 34(2): 245-272.
159. Wielebski F., Wójtowicz M. 2004. The influence of agrotechnical factors on the chemical composition of seeds of restored hybrid BOH 3103 in comparison to open pollinated variety and composite hybrids. *Rośl. Oleiste - Oilseed Crops*, 25(2): 505-520.
160. Wierzbowska J, Bowszys T., Sternik P. 2012. Effect of mineral fertilization on the content and quality of fat in the achenes of milk thistle (*Sylibum marianum* L. Gaertner). *Rośl. Oleiste - Oilseed Crops*, 33(1): 99-112
161. Wu, D., Q. Hu, and D. Zhu. 2018. An update on hydrogen sulfide and nitric oxide interactions in the cardiovascular system. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* 2018:4579140. doi: 10.1155/2018/4579140.
162. Yagishita, Y., J. W. Fahey, A. T. Dinkova-Kostova, and T. W. Kensler. 2019. Broccoli or sulforaphane: Is it the source or dose that matters? *Molecules* 24 (19):3593. doi: 10.3390/molecules24193593.
163. Yamazaki, Y., K. Iwasaki, M. Mikami, and A. Yagihashi. 2010. Distribution of eleven flavor precursors, S-alk(en)yl-L-cysteine derivatives, in seven *Allium* vegetables. *Food Science and Technology Research* 17 (1):55–62. doi: 10.3136/fstr.17.55.
164. Yoshimoto, N., and K. Saito. 2019. S-Alk(en)ylcysteine sulfoxides in the genus *Allium*: Proposed biosynthesis, chemical conversion, and bioactivities. *Journal of Experimental Botany* 70 (16):4123–37. doi: 10.1093/jxb/erz243.
165. Zechmann, B. 2020. Subcellular roles of glutathione in mediating plant defense during biotic stress. *Plants* 9 (9):1067. doi: 10.3390/plants9091067.

Додаток А1

Затверджую директор
DOGARM. COMPANY
І.Ю. Дорошенко І.Ю.
Липень 2024 р.



АКТ

щодо проведення науково-господарського
дослідження встановлення ефективності
використання біомаси спіруліни збагаченої
Сульфуром в раціонах молодняку собак

Ми, що нижче підписались головний кінолог «DOGARM. COMPANY»,
Євгеній ПАРХОМЕНКО, професор кафедри харчових технологій і
технологій переробки продукції тваринництва Білоцерківського
національного аграрного університету (БНАУ) Сергій МЕРЗЛОВ, аспірант
кафедри харчових технологій і технологій переробки продукції тваринництва
БНАУ Юрій ГРИГОРАШ склали цей акт проте, що в умовах «DOGARM.
COMPANY» м. Київ було проведено науково-виробничий дослід із
встановлення ефективності використання біомаси спіруліни збагаченої
Сульфуром.

Науково-господарські дослідження з встановлення ефективності
додавання біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром до раціонів молодняку
собак були проведені методом збалансованих груп-аналогів згідно схеми
наведеної у табл. 1.

Таблиця 1. Схема науково-господарського досліду на цуценятах

Група	Кількість собак, гол	Фактор, що досліджується
Контрольна	6,0	Готова кормосуміш із кормів тваринного, рослинного походження та вітамінного бленду – основний раціон (ОР)
I дослідна	6,0	ОР із вмістом 0,5 % біомаси <i>Spirulina platensis</i> збагаченої Сульфуром
II дослідна	6,0	ОР із вмістом 1,0 % біомаси <i>Spirulina platensis</i> збагаченої Сульфуром
III дослідна	6,0	ОР із вмістом 1,5 % біомаси <i>Spirulina platensis</i> збагаченої Сульфуром

Результати науково-господарського досліду наведено у таблиці 2.

Таблиця 2. Маса тіла молодняку собак, кг, n=6

Вік,	Група			
	Контрольна	I дослідна	II дослідна	III дослідна
75-76	11,25±0,230	11,21±0,204	11,18±0,147	11,30±0,165
85-86	12,61±0,183	12,57±0,213	12,80±0,167	12,84±0,168
95-96	13,90±0,175	13,87±0,201	14,28±0,135	14,32±0,167
105-106	15,31±0,124	15,30±0,208	15,61±0,114	15,68±0,166
115-116	16,40±0,215	16,55±0,255	16,92±0,108	16,95±0,151
125-126	18,20±0,135	18,48±0,198	19,01±0,128**	19,07±0,135**
135-136	20,05±0,118	20,34±0,167	20,88±0,108**	20,91±0,114**

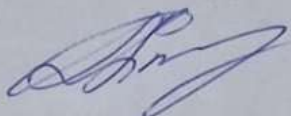
Виявлено статистично значуще збільшення маси молодняку собак із II та III дослідної групи на 50 добу експерименту відносно показника у контрольній групі, відповідно, на 4,4 та 4,7 %.

Головний кінолог



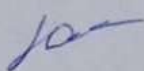
Євгеній ПАРХОМЕНКО

Професор



Сергій МЕРЗЛОВ

Аспірант



Юрій ГРИГОРАШ

Додаток А2

Затверджую директор

DOGARM. COMPANY



Дорошенко І.Ю.

7 травня 2024 р.

АКТ

щодо проведення виробничих випробувань
використання біомаси спіруліни збагаченої
Сульфуром в раціонах молодняку собак

Ми, що нижче підписались головний кінолог «DOGARM. COMPANY», Євгеній ПАРХОМЕНКО, професор кафедри харчових технологій і технологій переробки продукції тваринництва Білоцерківського національного аграрного університету (БНАУ) Сергій МЕРЗЛОВ, аспірант кафедри харчових технологій і технологій переробки продукції тваринництва БНАУ Юрій ГРИГОРАШ склали цей акт проте, що в умовах «DOGARM. COMPANY» м. Київ було проведено виробничі випробування використання в годівлі молодняку собак біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром.

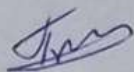
За 65 діб експерименту було встановлено, що збереженість молодняку собак у дослідній групі становила 100,0 %. Оцінюючи масу тіла цуценят було встановлено, що використання у складі їх раціону біомаси синьо-зеленої водорості збагаченої Сульфуром у кількості 1,0 % від маси призводить до підвищення ваги тварин на 3,3 % відносно контрольної групи (табл. 1).

Таблиця 1. Показники виробничої перевірки ефективності впливу біомаси спіруліни, збагаченої Сульфуром у годівлі молодняку собак

Показник	Контрольна група	Дослідна група
Кількість цуценят на початку дослідів, гол.	12,0	12,0
Збереження молодняку, %	100,0	100,0
Тривалість виробничої перевірки, діб	65	65
Середня маса тіла 1 голови у віці 140 діб, кг	20,8±0,18	21,5±0,21*
Маса тіла у % до контролю	100,0	103,3
Середньодобовий приріст маси тіла цуценят, г	144,4±6,15	155,3±5,98
Витрати кормосуміші (кг) на 1 кг приросту молодняку собак, кг	7,75	7,20

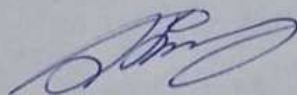
Експериментально встановлено, що включення до складу кормосумішей біомаси спіруліни сприяє зниженню витрат корму на 1 кг приросту молодняку собак на 7,0 %.

Головний кінолог



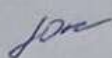
Євгеній ПАРХОМЕНКО

Професор



Сергій МЕРЗЛОВ

Аспірант



Юрій ГРИГОРАШ

Додаток АЗ

Затверджую директор

DOGARM. COMPANY

Дорошенко І.Ю.

2024 р.



АКТ

щодо впровадження в технологію
вирощування молодняку собак
використання біомаси спіруліни збагаченої
Сульфуром

Ми, що нижче підписались головний кінолог «DOGARM. COMPANY», Євгеній ПАРХОМЕНКО, професор кафедри харчових технологій і технологій переробки продукції тваринництва Білоцерківського національного аграрного університету (БНАУ) Сергій МЕРЗЛОВ, аспірант кафедри харчових технологій і технологій переробки продукції тваринництва БНАУ Юрій ГРИГОРАШ склали цей акт про те, що в умовах «DOGARM. COMPANY» м. Київ щомісячно вирощується 16-25 голів цуценят породи німецька вівчарка, бельгійська вівчарка та їх помісей із використанням раціонів, які містять 1,0 % біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром.

Експериментально доведено, що включення у склад кормосуміші 1,0 % біомаси спіруліни збагаченої Сульфуром сприяє зменшенню собівартості одного кілограма приросту цуценят на 6,3 %.

Головний кінолог

Євгеній ПАРХОМЕНКО

Професор

Сергій МЕРЗЛОВ

Аспірант

Юрій ГРИГОРАШ

Додаток Б

Рецептура складена
на квітень 2023 – квітень 2025 рр.

Склад кормосуміші для цуценят німецької вівчарки, бельгійської вівчарки та їх помісей (вік 45-150 діб)

Показник	Норма ведення на 100 кг кормосуміші
Яловичина подрібнена (свіжа)	15,0 кг
М'ясо птиці (курчат-бройлерів)	25,0 кг
Кісткове борошно	2,5 кг
Дерть ячмінна запарена	57,48 кг
Вітамінний бленд	0,02 кг

Головний кінолог
Євгеній Пархоменко

ДОДАТОК В

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Григораш Ю., Мерзлов С.В. Перевірка показників нешкідливості та токсичності спіруліни збагаченої сульфуром на білих мишах. Наукові доповіді НУБіП України, 20(6), 9-19. <https://doi.org/10.31548/dopovidi/6.2024.09> (0,31 д.а.; дисертант узагальнив матеріали і брав участь у підготовці статті)

2. Григораш Ю., Мерзлов С.В. Подразнююча дія та ефективність включення у раціони молодняку собак біомаси спіруліни, збагаченої Сульфуром. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2024. № 2. С. 79–84. doi: 10.33245/2310-9289-2024-190-2-79-84 (0,2 д.а.; дисертант узагальнив матеріали і брав участь у підготовці статті)

3. Григораш Ю., & Мерзлов С.В. (2024). Нарощування біомаси *Spirulina platensis* як кормової добавки за різних доз сульфуру у поживному середовищі. НВ ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Сільськогосподарські науки, 26(101), 217-222. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a10134> (0,2 д.а.; дисертант узагальнив матеріали і брав участь у підготовці статті)

Матеріали науково-практичних конференцій:

4. Мерзлов С.В., Осіпенко І.С., Григораш Ю.В. Показники оптичної густини поживного середовища із *spirulina platensis* за підвищеного вмісту у ньому сульфуру та різних режимів освітлення. Сучасний розвиток технологій тваринництва. Інноваційні підходи у харчових технологіях: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. 3 жовтня 2024 р. м. Білоцерківський НАУ, 63-65 с. (0,09 д.а.; дисертант узагальнив матеріали і брав участь у підготовці написання тез)

Рекомендації:

5. Григораш В.Ю. Рекомендації щодо збагачення біомаси спіруліни Сульфуром та її використання у раціонах молодняку собак / В.Ю. Григораш, С.В. Мерзлов. – Біла Церква. – 12 с. (0,4 д.а.; дисертант узагальнив матеріали і брав участь у підготовці рекомендацій)