

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 543.9:544:634.32

**Порівняльний аналіз деяких фізико-хімічних показників
плодів різних видів цитрусових****Поліщук В.М.** , **Цехмістренко С.І.** , **Поліщук С.А.** ,
Бітюцький В.С. , **Чернюк С.В.** *Білоцерківський національний аграрний університет* E-mail: vitnik2007@ukr.net

Поліщук В.М., Цехмістренко С.І., Поліщук С.А., Бітюцький В.С., Чернюк С.В. Порівняльний аналіз деяких фізико-хімічних показників плодів різних видів цитрусових. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2025. № 1. С. 93–102.

Polishchuk V., Tsekhmistrenko S., Polishchuk S., Bitiutskyi V., Cherniuk S. Comparative analysis of physicochemical parameters of freshly squeezed juices from various citrus fruits. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2025. № 1. PP. 93–102.

Рукопис отримано: 20.02.2025 р.

Прийнято: 06.03.2025 р.

Затверджено до друку: 22.05.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2025-194-1-93-102

Історія цитрусових сягає тисячоліть, рослини походять із Південно-Східної Азії. Більшість сучасних сортів з роду *Citrus* є результатом тривалої селекції та схрещування трьох основних видів: мандарина, помело та цитрона. Популярність цитрусових зросла в останні десятиліття завдяки їх високій харчовій цінності та доступності. Сьогодні цитрусові є одними з найпоширеніших фруктів у світі, їх вирощують на всіх континентах, крім Антарктиди. Загальне світове виробництво цитрусових становить понад 161,8 млн т на рік.

Мета дослідження полягала в оцінюванні фізико-хімічних властивостей свіжовичавлених соків цитрусових шляхом визначення таких показників, як активна та титрована кислотність, вміст вітаміну С, сухих розчинних речовин та індексів зрілості плодів.

Проведено порівняльний аналіз рН свіжовичавлених соків різних видів з роду *Citrus*. Встановлено, що кислотність є варіабельним показником, який залежить від сортових особливостей, ступеня зрілості та зовнішніх факторів. Найнижчі значення рН зафіксовано у лайма та лимона – 2,76 та 2,84 відповідно, що корелює з їх вираженим кислим смаком. Апельсин, світі та мандарин характеризуються помірною кислотністю (3,78–3,66). Грейпфрут демонструє проміжний рівень кислотності з характерною гіркуватістю, що визначає його специфічні органолептичні властивості.

Результати титрування продемонстрували, що сік лайма характеризується максимальним значенням титрованої кислотності (4,55 %) серед досліджених видів. Отримані дані підтверджують обернену кореляцію між об'ємом використаного титранту та величиною рН. Мінімальний показник реакції середовища зафіксовано у соку лайма, що відповідає його максимальній титрованій кислотності. Натомість у соку апельсина спостерігається протилежна тенденція: максимальний показник рН та мінімальний об'єм титранту, що свідчить про його найнижчу титровану кислотність серед досліджених зразків.

Вміст сухих розчинних речовин у досліджуваних фруктах коливався в межах 7,52–11,78 %. Сік апельсинів продемонстрував максимальну концентрацію цих речовин (11,78 %). Кореляційний аналіз виявив статистично значущий зв'язок між кислотністю середовища та вмістом аскорбінової кислоти. Індекс BrimA показав високу кореляцію з вмістом сухих розчинних речовин і цукрово-кислотним співвідношенням.

Вміст вітаміну С у досліджених зразках цитрусових варіював у межах від 26,21 до 57,25 мг/100 см³. Найвищий вміст аскорбінової кислоти спостерігали в апельсинах, він удвічі перевищував показники мандаринів. Лимони містили на 38 % більше вітаміну С порівняно з лаймом. Концентрація вітаміну С в грейпфруті та світі була практично однаковою.

Ключові слова: цитрусові, фізико-хімічні показники, активна та загальна кислотність, вміст сухих розчинних речовин, аскорбінова кислота, індекси зрілості плодів.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Протягом багатьох століть фрукти та овочі є невід'ємною частиною раціону людини, важливим джерелом біологічно активних сполук. Серед них особливе місце належить цитрусовим, які характеризуються багатим вмістом вітамінів, зокрема, аскорбінової кислоти [31], мінеральних речовин [7], полісахаридів [4, 22], флавоноїдів (гесперидину, нарингіну, нарингеніну, кверцетину, рутину) [2], фенольних кислот [8], кумаринів [14], та каротиноїдів [26]. Зазначені сполуки виконують широкий спектр біологічних функцій в організмі людини: від антиоксидантного захисту до регуляції метаболізму та підтримки імунного статусу. Флавоноїди, зокрема, відіграють важливу роль у профілактиці серцево-судинних захворювань, цукрового діабету II типу та деяких видів раку. Аскорбінова кислота як потужний антиоксидант задіяна в регуляції кровотворення, синтезі колагену, зміцненні імунної системи та засвоєнні феруму [1, 23].

Протягом останніх десятиліть спостерігається суттєва зміна моделі харчування та ставлення споживачів до їжі. Це, своєю чергою, зумовило розвиток ринку функціональних харчових продуктів. Сьогодні виробники пропонують широкий асортимент різноманітних екзотичних фруктів, що характеризуються високим умістом біологічно активних речовин, необхідних для підтримання здоров'я [16, 28].

Цитрусові рослини, що належать до родини *Rutaceae*, мають багату історію, перші згадки про них зустрічаються в давньокитайській літературі (2205–2197 рр. до нашої ери). Більшість сучасних сортів цитрусових є результатом тисячолітньої гібридизації або селекції трьох вихідних видів: *Citrus reticulata* (мандарин), *Citrus maxima* (помело) та *Citrus medica* (цитрон). Апельсин (*Citrus sinensis*), наприклад, походить від *Citrus grandis* і *Citrus reticulata*. Грейпфрут (*Citrus paradisi*) утворений у процесі гібридизації *Citrus sinensis* і *Citrus grandis* [5, 15]. За останні десятиліття

споживання цитрусових у світі значно зросло. Це пов'язано зі зростанням свідомості про здорове харчування та доступністю цих фруктів упродовж року. Цитрусові культивують у понад 140 країнах світу.

Найбільші світові експортери цитрусових – Бразилія, Індія, Китай, Мексика, США, Іспанія, Єгипет, Індонезія та Італія. Саме ці країни забезпечують основну частину світового виробництва цих фруктів. Щорічний обсяг світового виробництва цитрусових перевищує 161,8 млн т [6], водночас більша частина продукції споживається свіжою або у вигляді соку. Товарними видами цитрусових є апельсин, грейпфрут, лимон, лайм і мандарин. Зазначені фрукти посідають перше місце за обсягами продажів серед свіжих плодів і овочів на світовому ринку. За популярністю цитрусові поступаються лише яблукам, що свідчить про їх широке поширення у світі [10].

Незважаючи на сучасні умови життя та широкий вибір харчових продуктів, проблема дефіциту вітаміну С залишається актуальною, особливо серед певних груп населення, таких як діти, літні люди, особи з імунodefіцитними станами тощо [6, 29]. Фізичні та психоемоційні навантаження посилюють потребу організму в аскорбіновій кислоті. Це пов'язано з втраченою людиною в процесі еволюції здатності до ендогенного синтезу аскорбінової кислоти, на відміну від більшості тварин [19]. Тому для нас цей вітамін є життєво необхідним компонентом харчування, який ми отримуємо винятково з їжею. Біохімічний склад плодів роду *Citrus* може значно варіювати залежно від виду, сорту, умов вирощування та інших факторів.

Дослідження вмісту вітаміну С у різних фруктах є актуальним, оскільки надає цінну інформацію для раціонального харчування. Визначення цього показника в цитрусових (апельсин, мандарин, грейпфрут, лимон, лайм, світі) дає змогу обчислити необхідну кількість фруктів для задоволення добової потреби в аскорбіновій кислоті. Це допоможе споживачам планувати раціон і запобігти розвитку гіповітамінозу С.

Мета дослідження – провести порівняльний аналіз фізико-хімічних показників у соках найпоширеніших видів роду *Citrus*. Для досягнення поставленої мети досліджували активну та титровану кислотність у свіжовичавлених соках цитрусових фруктів, визначали вміст сухих розчинних речовин, обчислювали індекс зрілості для плодів, визначали кількісний вміст аскорбінової кислоти в соках, а також проводили корелятивний аналіз між різними фізико-хімічними показниками цитрусових.

Матеріали і методи дослідження. Експериментальну частину дослідження виконано на кафедрі хімії Білоцерківського національного аграрного університету. Об'єктами дослідження слугували свіжовичавлені соки, отримані з плодів шести видів цитрусових, придбаних у місцевому супермаркеті. Для аналізу було відібрано по п'ять плодів кожного виду, що відповідали критеріям стиглості, однорідності за кольором, розміром і щільністю, а також відсутності видимих пошкоджень. Зразки були доставлені в хімічну лабораторію та підготовлені до аналізу в найкоротші терміни. Вибір свіжовичавлених соків дав змогу мінімізувати вплив технологічного оброблення на результати дослідження.

Перед проведенням аналізу плоди ретельно промили водопровідною водою та розрізали навпіл. Сік вичавлювали за допомогою ручної пластикової соковижималки та фільтрували через паперовий фільтр для видалення твердих частинок. З метою збереження максимальної кількості вітамінів для збору соку використовували скляний посуд, оскільки контакт з металом може призвести до окиснення вітамінів. Для подальшого очищення сік додатково центрифугували. Такі маніпуляції є невід'ємною частиною підготовки проби для дослідження, дозволяють отримати більш точні результати аналізу [9]. Відсутність сторонніх домішок у зразку значно спрощує проведення таких методів аналізу як титрування, рефрактометрія або спектрофотометрія.

Активна кислотність. Визначення активної кислотності соків здійснювали за допомогою рН-метрії. Для кожного зразка проводили три повторні вимірювання, а отримані дані обробляли статистично. Різниця між паралельними визначеннями не перевищувала 0,1 од. рН. Для забезпечення точності вимірювань робочий електрод рН-метра ретельно промивали дистильованою водою між вимірюваннями [33].

Титрована кислотність. У мірну колбу об'ємом 250 см³ вносили 25 см³ підготовленої проби соку плодів цитрусів. Далі об'єм доводили до мітки дистильованою водою, відбирали 10 см³ зразку в конічну колбу. Додавали декілька крапель 1 % спиртового розчину фенолфталеїну. Титрували 0,1 н розчином NaOH до появи рожевого забарвлення, яке не зникало впродовж 30 секунд. Фіксували кількість лугу, яка витрачена на титрування. Дослідження проводили тричі і визначали середнє арифметичне значення об'єму титранту.

Титровану кислотність (Т % – грам домінуючої органічної кислоти на 100 см³ соку) обчислювали за формулою [21]:

$$T\% = \frac{V_1 \cdot c \cdot K \cdot 100}{V_2},$$

де V_1 – об'єм розчину NaOH, використаний для титрування, см³;

c – концентрація розчину NaOH, моль/дм³;

K – коефіцієнт перерахунку на цитратну кислоту – 0,064;

100 – коефіцієнт для вираження титрованої кислотності в перерахунку на 100 г продукту;

V_2 – об'єм зразка взятий для титрування (10 см³).

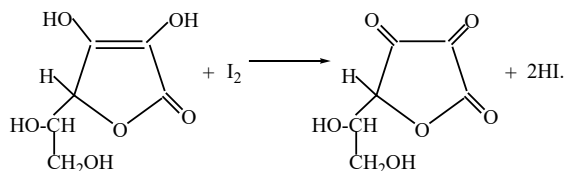
Масова частка сухих розчинних речовин. Вміст розчинних сухих речовин або °Brix (відсотковий вміст цукру в фруктових соках) визначали рефрактометричним методом [33]. Фрукти, крім води, містять сухі речовини, представлені вуглеводами (в основному цукрами), органічними кислотами, білками, ліпідами та солями мінеральних речовин. Вміст розчинних сухих речовин є важливим показником зрілості плодів та вказує на концентрацію цукрів у соках. Концентрацію розчинних сухих речовин у соках виражали в градусах Брікса (°Bx), що відповідає кількості грамів цукру в 100 грамах розчину [9]. Цей показник характеризує ступінь зрілості фрукта, дає змогу оцінити вміст цукрів у плодах і є важливим для контролю якості готової продукції. Вимірювання проводили двічі, а кінцевий результат обчислювали як середнє арифметичне.

Індекс зрілості (ІЗ) фруктів. Цей показник обчислювали за такою формулою [35]:

$$ІЗ = °Bx / T \text{ \%}.$$

Залежно від виду фруктів, показник ІЗ фруктів може варіювати в досить широких межах від 12 до 30.

Аскорбінова кислота (вітамін С). Для кількісного визначення вмісту аскорбінової кислоти у свіжовичавлених соках цитрусових використовували йодометричне титрування [27]. Реакція відбувається за такою схемою:



У чисту конічну колбу об'ємом 100 см³ відмірювали 10 см³ аналізованого соку. До проби додавали 4 см³ 6 М розчину H₂SO₄ або 2 % розчин HCl, для створення кислого середовища, необхідного для перебігу реакції окиснення аскорбінової кислоти йодом. До підкисленого розчину додавали 20 см³ 0,01 М розчину I₂. Далі титрували із бюретки 0,01 М розчином Na₂S₂O₃ до появи світло-жовтого забарвлення розчину. Потім додавали 1 см³ 1 % розчину крохмалю (індикатор). Титрували до зникнення синього забарвлення. Титрування здійснювали щонайменше двічі. Вміст аскорбінової кислоти, мг/100 г продукту, обчислювали за формулою:

$$KA = \frac{(C_1 \cdot V_1 - C_2 \cdot V_2) \cdot M_{ak} \cdot V_k}{1000 \cdot V_p},$$

де C_1 – концентрація розчину йоду, моль/дм³;
 C_2 – концентрація розчину Na₂S₂O₃, моль/дм³;
 V_1 – об'єм розчину йоду, використаний для титрування, см³;
 V_2 – об'єм розчину Na₂S₂O₃, використаний для титрування надлишку йоду, см³;
 M_{ak} – молярна маса еквівалента аскорбінової кислоти, г/моль (88 г/моль);
 V_k – об'єм мірної колби, в якій готували витяжку, см³,
 $V_k = 100$ см³;
 V_p – кількість витяжки (10 см³), яку взяли на титрування.

Статистичне оброблення даних проводилося з використанням методів описової статистики, включаючи розрахунок середнього арифметичного (М), стандартного відхилення, стандартної похибки середнього (m) та коефіцієнта варіації. Всі розрахунки здійснені за допомогою пакету програм Statistica 10 (StatSoft, Inc., США).

Результати дослідження та обговорення. Хімічний склад фруктів є надзвичайно різноманітним, водночас значну роль у формуванні смаку та харчової цінності відіграють органічні кислоти. Хоча цитрусові традиційно асоціюються з високим вмістом цитратної кислоти, слід зазначити, що склад органічних кислот у цих фруктах може значно варіювати залежно від виду, сорту, умов вирощування та навіть частини плоду. Наприклад, у шкірці апельсинів – значна кількість оксалатної кислоти [12]. Така різноманітність обумовлена складними біохімічними процесами, що відбуваються в рослинах під час дозрівання плодів.

Смак фруктів формується за рахунок гармонійного поєднання кислого та солодкого смаків, які визначаються вмістом органічних кислот і цукрів. Кислотність фруктів може варіювати залежно від сорту та стадії дозрівання. Наприклад, лимони зазвичай мають більш виражений кислий смак порівняно з апельсинами. Протягом дозрівання фруктів відбувається поступове зниження кислотності за рахунок перетворення органічних кислот на цукри. Для кількісного оцінювання кислотності використовують два основних методи: потенціометричне визначення рН та титрування [24].

У процесі дослідження показників реакції середовища цитрусових соків виявлено значні відмінності в їх кислотності (табл. 1). Лайм і лимон характеризуються найнижчими значеннями рН (2,76 та 2,84, відповідно), мають найбільш виражений кислий смак і часто використовуються для додавання кислинки в страви та напої. Низький рівень рН у соках зазначених фруктів можна пояснити значним вмістом цитратної кислоти в їх складі.

Таблиця 1 – Активна кислотність натуральних свіжовичавлених соків цитрусових; n=5

Назва фрукту	Показник рН				
	Середнє значення	Мінімальне значення	Максимальне значення	Стандартна похибка	Коефіцієнт варіації, %
Апельсин	3,78	3,65	3,91	0,08	2,11
Мандарин	3,66	3,57	3,75	0,08	2,09
Грейпфрут	3,18	2,95	3,31	0,14	4,45
Лайм	2,76	2,64	2,96	0,13	4,85
Світі	3,71	3,60	3,82	0,09	4,49
Лимон	2,84	2,72	2,94	0,08	3,08

Статистичний аналіз показав, що соки лайма характеризуються найвищим коефіцієнтом варіації (4,85 %). Це означає, що розподіл значень показника у цій сировині є більш розсіяним порівняно з іншими пробами. Хоча цей показник вказує на певну неоднорідність, він все ж таки входить у межі помірної варіабельності.

Рівень кислотності цитрусових соків суттєво впливає на їх смак та харчову цінність. Дослідження показало, що соки апельсина, мандарина та світі мають більш помірну реакцію середовища (3,78–3,66 рН) порівняно з соком лайма та лимона. Такий рівень кислотності не лише надає цим сокам приємного освіжаючого смаку, й сприяє кращому засвоєнню організмом іонів феруму та інших мікро- та макроелементів. Варто зазначити, що навіть незначні відмінності в реакції середовища можуть суттєво впливати на сприйняття смаку та загальну оцінку якості соку [3].

Титрована кислотність плодів відповідає за кислотність фруктового соку. У процесі дозрівання фруктів вона знижується, адже органічні кислоти в цей період використовуються як субстрат для дихання в різних метаболічних процесах [11, 30]. Титрування показало, що сік лайма вимагав найбільшого об'єму лугу для нейтралізації, що свідчить про його найвищу кислотність (табл. 2). Простежується чіткий взаємозв'язок між об'ємом використаного титранту та значенням рН: найнижчий рН було зафіксовано у соку лайма, що підтверджує його максимальну кислотність. Навпаки, сік апельсина демонстрував найвищий рН і найменший об'єм використаного титранту, що вказує на його мінімальну кислотність серед досліджених зразків.

Не завжди існує пряма пропорційність між активною (рН) та загальною кислотністю розчину. Існує тенденція до зниження активної кислотності зі збільшенням титрованої кислотності ($r = -0,7$). Це означає, що зі збіль-

шенням одного показника інший обов'язково зменшується. Зазвичай спостерігається зростання кислотності зі збільшенням концентрації іонів H^+ , однак є випадки, коли цей зв'язок може бути порушений через наявність буферних систем, різних типів кислот або інших факторів. У наших дослідженнях сік світі не продемонстрував чіткої кореляції між рН та об'ємом використаного титранту. Для більш детального розуміння причин такого відхилення необхідно провести додаткові дослідження.

Основними вуглеводами, що визначають солодкий смак фруктів, є сахароза, глюкоза та фруктоза. Їх сумарний вміст становить майже 80 % від загальної кількості сухих розчинних речовин. Крім вуглеводів, у складі фруктів наявні органічні кислоти, вітаміни, пігменти, фенольні сполуки, амінокислоти, білки, ліпіди та мінеральні речовини. Їх концентрація зростає в процесі дозрівання плодів і може досягати 20 % від маси фрукта. Середній вміст цукру в апельсиновому соку становив приблизно 8,9 г/100 см³ [36]. В інших експериментах вміст цукрів у цитрусових коливався від 3,3 до 5,3 г на 100 см³. Також є повідомлення про вміст сахарози від 10,4 до 12,73 г/100 см³ [30].

Встановлено значну варіабельність вмісту розчинних сухих речовин (% цукру або °Brix) у різних фруктах, яка коливалася від 7,52 % до 11,78 % (табл. 3). Максимальний вміст цих речовин зареєстровано в апельсинів (11,78 %), що дещо перевищує мінімальні вимоги міжнародних стандартів для цього виду цитрусових (9 %). Лимони виявилися на 15,5 % солодшими за лайми, а мандарини – на 18,9 % солодшими за грейпфрути. Зазначені відмінності обумовлені сортовими особливостями, кліматичними умовами вирощування та іншими факторами. Високий показник °Brix є не лише індикатором солодкості плодів, а й свідчить про їх підвищену здатність до тривалого зберігання [13].

Таблиця 2 – Титрована кислотність натуральних свіжовичавлених соків цитрусових, $T_{\%}$; $n=5$

Назва фрукта	Показник				
	Середнє значення	Мінімальне значення	Максимальне значення	Стандартна похибка	Коефіцієнт варіації, %
Апельсин	0,51	0,48	0,55	0,03	5,46
Мандарин	0,53	0,47	0,60	0,04	9,34
Грейпфрут	0,83	0,75	0,95	0,07	8,92
Лайм	4,55	4,40	4,7	0,11	2,45
Світі	0,68	0,64	0,73	0,04	5,46
Лимон	4,23	4,10	4,4	0,12	2,84

Таблиця 3 – Вміст сухих розчинних речовин (°Вх) натуральних свіжовичавлених соків цитрусових; n=5

Показник	Назва фрукту					
	Апельсин	Мандарин	Грейпфрут	Лайм	Світі	Лимон
Рефракційне число	1,3505±0,0008	1,3492±0,0008	1,3465±0,0004	1,3448±0,0006	1,3443±0,0006	1,3466±0,0005
Градуси Брікс, °Вх	11,78±0,49	10,92±0,57	9,18±0,29	8,00±0,45	7,52±0,50	9,24±0,31
Індекс зрілості	23,21±0,77	20,61±1,39	11,06±0,84	1,76±0,13	11,12±0,97	2,19±0,12

Фізико-хімічний склад плодів цитрусових динамічно змінюється в процесі дозрівання. Такі показники як вміст цукрів, органічних кислот, ароматичних речовин та інших компонентів, є важливими маркерами для визначення оптимального часу збору врожаю. Однак для комплексного оцінювання ступеня зрілості необхідно враховувати сукупність фізико-хімічних показників, оскільки жоден з них окремо не може адекватно характеризувати цей стан [32].

Для оцінювання ступеня зрілості плодів часто використовують індекс зрілості, що характеризує співвідношення цукру і кислоти. Цей показник дозволяє визначити оптимальні терміни збору, зберігання та споживання плодів. Найвищий показник ІЗ серед досліджених фруктів характерний для апельсинів. Мандарини поступалися апельсинам за цим показником, проте також демонстрували досить високий рівень зрілості. Грейпфрути та світі мають приблизно однаковий рівень вмісту цукрів. Попри те, що ІЗ є одним з основних критеріїв оцінювання якості плодів, він не завжди адекватно відображає органолептичні характеристики, зокрема, смак. Наприклад, два фрукти з однаковим ІЗ можуть різнитися за смаком внаслідок різного співвідношення окремих компонентів [19]. За показником співвідношення цукру до кислоти лайм (1,76 %) і лимон (2,19 %) значно відставали від інших досліджуваних фруктів, що свідчить про їх високу кислотність. Отримані результати корелюють з даними інших досліджень [3, 11, 20, 25].

Для об'єктивного оцінювання органолептичних характеристик цитрусових було обчислено ще додатковий індекс зрілості BrimA. Він визначається як різниця між вмістом сухих розчинних речовин і загальною кислотністю, помножена на емпіричну константу, специфічну для кожного виду

цитрусових [17]. За результатами розрахунків, найвищий індекс BrimA був зафіксований в апельсинів (161), далі йшли мандарини (144), грейпфрути (97) та світі (79). Лайми та лимони не були оцінені за цим індексом через їх високу кислотність та низький вміст цукрів.

Вміст аскорбінової кислоти є важливим показником якості соків цитрусових, оскільки цей водорозчинний вітамін піддається інтенсивному окисненню під впливом численних екзо- та ендогенних факторів (сорт, ступінь зрілості плодів, умови зберігання, ультрафіолетове опромінення, температура, вологість тощо) [18]. Процеси деградації вітаміну С починаються одразу після збору врожаю і продовжуються під час зберігання, хоча низькі температури можуть уповільнити їх кінетику.

Вміст аскорбінової кислоти в аналізованих зразках цитрусових коливався у значних межах – від 26,21 до 57,25 мг/100 см³ (рис. 1). Максимальний вміст вітаміну С спостерігали в апельсинах, перевищуючи показник у мандаринів майже удвічі. Лимони містили на 38 % більше аскорбінової кислоти порівняно з лаймом. Концентрація вітаміну С у грейпфруті та світі була практично ідентичною. Подібні результати описано в роботі [34]. Значна частина цієї варіабельності може бути обумовлена сортовими особливостями та умовами вирощування цитрусових [36].

Наше дослідження, а також дані, представлені в роботі [34], свідчать про те, що вміст вітаміну С у цитрусових є мінливим показником, який значною мірою залежить від виду фрукта. Для більш детального аналізу взаємозв'язку між вмістом вітаміну С та іншими фізико-хімічними характеристиками різних видів цитрусових ми провели кореляційний аналіз за Пірсоном (табл. 4).

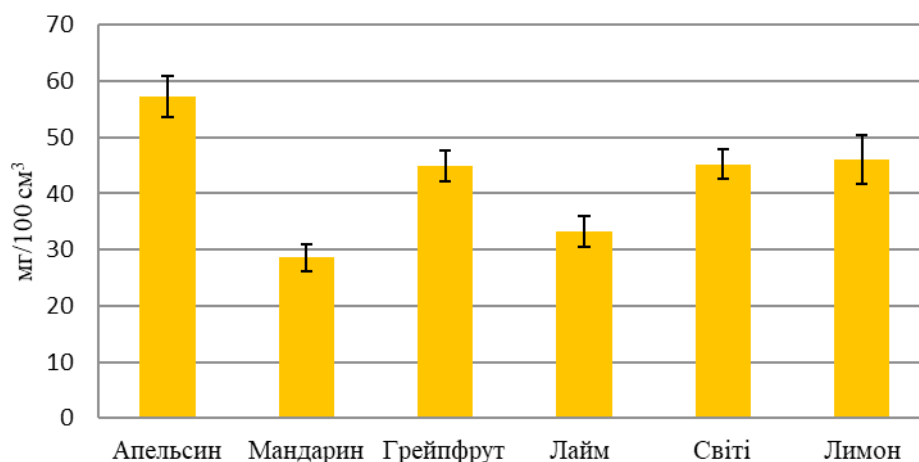


Рис. 1. Вміст аскорбінової кислоти в свіжовичавленому соку різних видів цитрусових.

Таблиця 4 – Кореляційні зв'язки між фізико-хімічними показниками свіжовичавлених соків з різних цитрусових

	Реакція середовища	Титрована кислотність	Суха розчинена речовина	Індекс зрілості	Вітамін С.	Індекс BrimA
Реакція середовища	1	- 0.78	0.65	0.75	- 0.60	0.71
Титрована кислотність	- 0.78	1	- 0.70	- 0.90	0.03	- 0.81
Суха розчинена речовина	0.66	- 0.69	1	0.93	0.08	0.99
Індекс зрілості	0.75	- 0.90	0.93	1	0.07	0.98
Віт С	- 0.60	0.03	0.09	0.07	1	0.07
Індекс BrimA	0.72	- 0.81	0.99	0.98	0.07	1

Проведені дослідження виявили значний статистичний зв'язок між кислотністю середовища (рН) та вмістом вітаміну С у цитрусових, що узгоджується з результатами дослідження [37]. Зокрема, було встановлено обернену кореляцію ($r = -0,60$) між цими показниками, що свідчить про зниження стабільності вітаміну С у менш кислому середовищі. Індекс зрілості BrimA продемонстрував високу позитивну кореляцію з умістом сухих розчинних речовин ($r = 0,99$) і цукрово-кислотним співвідношенням ($r = 0,99$), а також негативну кореляцію з титрованою кислотністю ($r = -0,78$) та вмістом аскорбінової кислоти ($r = -0,60$). Високий рівень кореляції між цими показниками свідчить про їх взаємозалежність та вплив на органолептичні властивості плодів. Отримані дані підтверджують, що сік цитрусових є цінним харчовим продуктом завдяки високому вмісту вітамінів і мінеральних речовин.

Висновки. Серед досліджуваних фруктів лимон і лайм виділяються найвищим рівнем кислотності (рН 2,76 та 2,84, відповідно), що надає їм вираженого кислого смаку. Натомість апельсин, світі та мандарин мають більш помірну реакцію середовища (рН 3,78–3,66), що робить їх смак більш збалансованим та менш кислим. Апельсини та мандарини є найменш кислими, а лайм та лимони – найкислішими. Ця залежність підтверджується високим негативним значенням коефіцієнта кореляції ($r = -0,7$) між активною та титрованою кислотністю.

Вміст сухих розчинних речовин значно варіює між різними видами цитрусових. Найвищий показник було зафіксовано в апельсинах (11,78 %), тоді як найнижчий – в соку світі (7,52 %). Найнижчий індекс зрілості спостерігався у лайма (1,76) та лимона (2,19), що вказує на їхню меншу стиглість порівняно з апельсинами (23,21) та мандаринами (20,61).

Апельсини є найбагатшим джерелом вітаміну С серед досліджених цитрусових. Його вміст в апельсинах був удвічі вищим, ніж у мандаринах, та на 70 % вищим, ніж у лаймі. При цьому було виявлено досить сильний обернений зв'язок між умістом вітаміну С та реакцією середовища ($r = -0,60$), що свідчить про їх взаємозалежність.

REFERENCES

1. Abakpa, G.O., Adenaike, O. (2021). Antioxidant compounds and health benefits of citrus fruits. *European journal of nutrition & food safety*, 13 (2), pp. 65–74. DOI:10.9734/ejns/2021/v13i230376.
2. Addi, M., Elbouzidi, A., Abid, M., Tungmunthum, D., Elamrani, A., Hano, C. (2021). An overview of bioactive flavonoids from citrus fruits. *Applied Sciences*, 12 (1), 29 p. DOI:10.3390/app12010029.
3. Al-Juhaimi, F.Y., Ghafoor, K.A. (2013). Bioactive compounds, antioxidant and physico-chemical properties of juice from lemon, mandarin and orange fruits cultivated in Saudi Arabia. *Pak. J. Bot.*, 45 (4), pp. 1193–1196.
4. Aslan, M.N., Sukan-Karaçagıl, B., Acar-Tek, N. (2024). Roles of citrus fruits on energy expenditure, body weight management, and metabolic biomarkers: a comprehensive review. *Nutrition Reviews*, 82 (9), pp. 1292–1307. DOI:10.1093/nutrit/nuad116.
5. Budiarto, R., Mubarak, S., Sholikin, M. M., Sari, D. N., Khalisha, A., Sari, S. L., Adli, D. N. (2024). Vitamin C variation in citrus in response to genotypes, storage temperatures, and storage times: A systematic review and meta-analysis. *Heliyon*, 10, pp. 1–17. DOI:10.1016/j.heliyon.2024.e29125.
6. Crook, J., Horgas, A., Yoon, S.J., Grundmann, O., Johnson-Mallard, V. (2021). Insufficient vitamin C levels among adults in the United States: results from the NHANES surveys, 2003–2006. *Nutrients*, 13 (11), 3910 p. DOI:10.3390/nu13113910.
7. Czech, A., Zarycka, E., Yanovych, D., Zasada, Z., Grzegorzczak, I., Klys, S. (2020). Mineral content of the pulp and peel of various citrus fruit cultivars. *Biological Trace Element Research*, 193, pp. 555–563. DOI:10.1007/s12011-019-01727-1.
8. Dadwal, V., Joshi, R., Gupta, M. (2022). A comparative metabolomic investigation in fruit sections of *Citrus medica* L. and *Citrus maxima* L. detecting potential bioactive metabolites using UH-PLC-QTOF-IMS. *Food Research International*, 157. DOI:10.1016/j.foodres.2022.111486.
9. Guo, H., Zheng, Y.J., Wu, D.T., Du, X., Gao, H., Ayyash, M., Gan, R.Y. (2023). Quality evaluation of citrus varieties based on phytochemical profiles and nutritional properties. *Frontiers in Nutrition*, 10. DOI:10.3389/fnut.2023.1165841.
10. Hamid, S., Sharma, K., Kumar, K., Thakur, A. (2024). Types and Cultivation of Citrus Fruits. In *Citrus Fruits and Juice: Processing and Quality Profiling*; Springer: Singapore, pp. 17–43. DOI:10.1007/978-981-99-8699-6_2.
11. Hussain S.B., Shi C.Y., Guo L.X., Kamran H.M., Sadka A., Liu Y.Z. (2017). Recent advances in the regulation of citric acid metabolism in citrus fruit. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 36, pp. 241–256. DOI:10.1080/07352689.2017.1402850.
12. Ismail, A.Y., Nainggolan, M.F., Aminudin, S., Siahaan, R.Y., Dzulfannazhir, F., Sofyan, H.N. (2024). Characterization of chemical composition of eco-enzyme derived from banana, orange, and pineapple pineapple peels. *Brazilian Journal of Biology*, 84. DOI:10.1590/1519-6984.286961.
13. Jaywant, S.A., Singh, H., Arif, K.M. (2022). Sensors and instruments for brix measurement: A review. *Sensors*, 22 (6), 2290 p.
14. Junior, C.M. S., Silva, S.M.C., Sales, E.M., da Silva Velozo, E., Dos Santos, E.K.P., Canuto, G.A.B., Biegelmeyer, R. (2023). Coumarins from *Rutaceae*: Chemical diversity and biological activities. *Fitoterapia*, 168. DOI:10.1016/j.fitote.2023.105489.
15. Kalita, B., Roy, A., Annamalai, A., Lakshmi, P.T.V. (2021). A molecular perspective on the taxonomy and journey of Citrus domestication. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 53. DOI:10.1016/j.ppees.2021.125644.
16. Khan, U.M., Sameen, A., Aadil, R.M., Shahid, M., Sezen, S., Zarrabi, A., Butnariu, M. (2021). Citrus Genus and Its Waste Utilization: A Review on Health-Promoting Activities and Industrial Application. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 1. DOI:10.1155/2021/2488804.
17. Khurshid, T., Creek, A., Sanderson, G., Zhao, X. (2024). Tree Performance, Yield, and Fruit Quality of 'Valencia' Sweet Orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) Selections on New Poncirus trifoliata Rootstocks. *Horticulturae*, 10 (4), 393 p. DOI:10.3390/horticulturae10040393.
18. Kujawińska, M., Kawulok, I., Szczyrba, A., Grot, M., Bielaszka, A., Grajek, M. (2022). Vitamin C content in orange juices obtained by different methods. *Journal of Education, Health and Sport*, 12 (6), pp. 253–267. DOI:10.12775/JEHS.2022.12.06.025.
19. Lachapelle M.Y., Drouin G. (2011). Inactivation dates of the human and guinea pig vitamin C genes. *Genetica*, 139 (2), pp. 199–207. DOI:10.1007/s10709-010-9537-x.
20. Lado J., Rodrigo J.M., Zacarias L. (2014). Maturity indicators and citrus fruit quality. *Stewart Postharvest Rev.*, 2, pp. 1–6.
21. Li, Z., Jin, R., Yang, Z., Wang, X., You, G., Guo, J., Pan, S. (2021). Comparative study on physicochemical, nutritional and enzymatic properties of two Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) varieties from different regions. *Journal of Food Composition and Analysis*, 95. DOI:10.1016/j.jfca.2020.103614.
22. Lu, X., Zhao, C., Shi, H., Liao, Y., Xu, F., Du, H., Zheng, J. (2023). Nutrients and bioactives in citrus fruits: Different citrus varieties, fruit parts, and growth stages. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63 (14), pp. 2018–2041. DOI:10.1080/10408398.2021.1969891.
23. Maheshwari, S., Kumar, V., Bhadauria, G., Mishra, A. (2022). Immunomodulatory potential of

phytochemicals and other bioactive compounds of fruits: A review. *Food Frontiers*, 3 (2), pp. 221–238. DOI:10.1002/fft2.129.

24. Ogundele, O.O., Bolade, M.K. (2021). Biochemical characteristics and antioxidant properties of citrus juice from lemon (*Citrus limon*), lime (*Citrus aurantifolia*) and grapefruit (*Citrus paradisi*) as influenced by degree of ripening. *Asian Food Science Journal*, 20 (3), pp. 40–51. DOI: 10.9734/afsj/2021/v20i330277.

25. Paul, V., Singh, A., Pandey, R. (2010). Determination of Titrable acidity (TA). *Post-Harvest Physiology of Fruits and Flowers*, pp. 44–45.

26. Saini, R.K., Ranjit, A., Sharma, K., Prasad, P., Shang, X., Gowda, K.G.M., Keum, Y.S. (2022). Bioactive compounds of citrus fruits: A review of composition and health benefits of carotenoids, flavonoids, limonoids, and terpenes. *Antioxidants*, 11 (2), 239 p. DOI:10.3390/antiox11020239.

27. Satpathy, L., Pradhan, N., Dash, D., Baral, P.P., Parida, S.P. (2021). Quantitative determination of vitamin C concentration of common edible food sources by redox titration using iodine solution. *Letters in Applied NanoBioScience*, 10 (3), pp. 2361–2369. DOI:10.33263/LIA NBS103.23612369.

28. Sayago-Ayerdi, S., García-Martínez, D.L., Ramírez-Castillo, A.C., Ramírez-Concepción, H.R., Viuda-Martos, M. (2021). Tropical fruits and their co-products as bioactive compounds and their health effects: A review. *Foods*, 10 (8), 1952 p. DOI:10.3390/foods10081952.

29. Sharma, Y., Popescu, A., Horwood, C., Hakendorf, P., Thompson, C. (2021). Prevalence of hypovitaminosis C and its relationship with frailty in older hospitalised patients: a cross-sectional study. *Nutrients*, 13 (6), 2117 p. DOI:10.3390/nu13062117.

30. Silva, E., Arruda, H., Pastore, G., Meireles, M. (2020). Xylooligosaccharides chemical stability after high-intensity ultrasound processing of prebiotic orange juice. *Ultrasonics sonochemistry*, 63. DOI:10.1016/j.ultsonch.2019.104942.

31. Singh, N., Jaiswal, J., Tiwari, P., Sharma, B. (2020). Phytochemicals from citrus limon juice as potential antibacterial agents. *The Open Bioactive Compounds Journal*, 8 (1), pp. 1–6. DOI:10.2174/1874847302008010001.

32. Singh, N., Sharma, R.M., Dubey, A.K., Awasthi, O.P., Porat, R., Saha, S., Carmi, N. (2023). Harvesting maturity assessment of newly developed citrus hybrids (*Citrus maxima* Merr. × *Citrus sinensis* (L.) Osbeck) for optimum juice quality. *Plants*, 12 (23), 3978 p. DOI:10.3390/plants12233978.

33. Tiencheu, B., Nji, D.N., Achidi, A.U., Egbe, A.C., Tenyang, N., Ngongang, E.F.T., Fossi, B.T. (2021). Nutritional, sensory, physico-chemical, phytochemical, microbiological and shelf-life studies of natural fruit juice formulated from orange (*Citrus sinensis*), lemon (*Citrus limon*), Honey and Ginger (*Zingiber officinale*). *Heliyon*, 7 (6), pp. 45–52. DOI:10.1016/j.heliyon.2021.e07177.

34. Xu, Q., Chen, L.L., Ruan, X., Chen, D., Zhu, A., Chen, C. (2013). The draft genome of sweet

orange (*Citrus sinensis*). *Nature genetics*, 45 (1), pp. 59–66. DOI:10.1038/ng.2472.

35. Yanti, S., Lins, H.Y., Chien, W.J. (2023). Evaluation of ascorbic acid and sugar content in taiwanese lemon (*Citrus depressa* H.) extract. *Food and Agro-industry Journal*, 4 (1), pp. 9–20.

36. Zhang, J., Ritenour M.A. (2016). Sugar Composition Anylysis of Commercial Citrus Juice Products. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 129, pp. 178–180. DOI:10.3390/s22062290.

37. Wang, Y.C., Chuang, Y.C., Hsu, H.W. (2008). The flavonoid, carotenoid and pectin content in peels of citrus cultivated in Taiwan. *Food chemistry*, 106 (1), pp. 277–284. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.05.086.

Comparative analysis of physicochemical parameters of freshly squeezed juices from various citrus fruits

Polishchuk V., Tsekhmistrenko S., Polishchuk S., Bitiutskyi V., Cherniuk S.

The history of citrus fruits goes back thousands of years, the plants originate from Southeast Asia. Most of the modern varieties of the genus *Citrus* are the result of long-term selection and crossing of three main species: *Citrus reticulata*, *Citrus maxima*, and *Citrus medica*. The consumption of citrus fruits has increased significantly in recent decades, due to their high nutritional value and availability. Today, citrus fruits are among the most widely cultivated fruits worldwide, with cultivation occurring on all continents except Antarctica. The total global production of citrus fruits is over 161.8 million tonnes per year.

The study aimed to evaluate the physicochemical properties of freshly squeezed citrus juices by determining such indicators as active and titratable acidity, vitamin C content, dry soluble substances and fruit maturity indices.

A comparative analysis of the pH of freshly squeezed juices of different species of the genus *Citrus* was carried out. The study revealed that acidity is a variable indicator that depends on varietal characteristics, degree of maturity, and external factors. The lowest pH values were recorded for lime and lemon - 2.76 and 2.84, respectively, correlating with their pronounced sour taste. Orange, oroblanco and mandarin are characterized by moderate acidity (3.78–3.66). Grapefruit demonstrates an intermediate level of acidity with a characteristic bitterness, which determines its specific organoleptic properties.

The titration analysis revealed that lime juice had the highest titratable acidity (4.55 %) compared to other citrus species. The data substantiated an inverse relationship between the titrant volume and pH. The lowest pH was observed in lime juice, consistent with its highest titratable acidity. In contrast, orange juice displayed the highest pH and the lowest titrant volume, signifying its lowest titratable acidity among the analyzed samples.

The content of dry soluble substances in the studied fruits ranged from 7.52 to 11.78 %. Orange juice showed the highest concentration of these substances (11.78 %). Correlation analysis revealed a statistically significant relationship between the acidity of the medium and the content of ascorbic acid. The BrimA index showed a high correlation with the content of dry soluble substances and the sugar-acid ratio.

The content of vitamin C in the studied citrus samples ranged from 26.21 to 57.25 mg/100 cm³. The highest ascorbic acid content was observed in oranges, exceeding the mandarins' values by half. Lemons contained 38% more vitamin C than limes. The concentration of vitamin C in grapefruit and oroblanco was almost the same.

Key words: citrus fruits, physicochemical parameters, pH, titratable acidity, soluble solids content, ascorbic acid, fruit ripening indices.



Copyright: Поліщук В.М. та ін. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Поліщук В.М.

<https://orcid.org/0000-0002-0602-6100>

Цехмістренко С.І.

<https://orcid.org/0000-0002-7813-6798>

Поліщук С.А.

<https://orcid.org/0000-0001-6716-848X>

Бітюцький В.С.

<https://orcid.org/0000-0002-2699-3974>

Чернюк С.В.

<https://orcid.org/0000-0003-0488-3624>