


УДК 619:591.3:597.55.2 (574.2:577.151)

ВПЛИВ ФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВОДИ НА КІЛЬКІСТЬ МІКРОЯДЕР У КЛІТИНАХ ЕМБРІОНІВ ХИЖИХ ВИДІВ РИБ

Водяніцький О.М.¹ , Гриневич Н.Є.² ,
Хом'як О.А.² , Присяжнюк Н.М.² 

¹Інститут гідробіології НАНУ

²Білоцерківський національний аграрний університет

 E-mail: fishfarmalex@ukr.net, gnatbc@ukr.net, chomiak_o@ukr.net, natasha.prisjzhnjuk@ukr.net



Водяніцький О.М., Гриневич Н.Є., Хом'як О.А., Присяжнюк Н.М. Вплив фізичних показників води на кількість мікроядер у клітинах ембріонів хижих видів риб. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2020. № 1. С. 142–149.

Vodianitskyi O.M., Hrynevych N.Ie., Khomiak O.A., Prisyazhniuk N.M. Vplyv fizychnykh pokaznykiv vody na kil'kist mikroiaader u klitynakh embriioniv khyzhykh vydiv ryb. Zbirnyk naukovykh prats «Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynnytstva», 2020. № 1. Pp. 142–149.

Рукопис отримано: 24.02.2020 р.

Прийнято: 08.03.2020 р.

Затверджено до друку: 25.05.2020 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2020-157-1-142-149

Розвиток і життєдіяльність організму тісно пов'язані з умовами середовища. Зв'язок організму з навколишнім середовищем відбувається через взаємодію з групами біотичних та абіотичних чинників. Співвідношення організму з окремими елементами його абіотичного і біотичного середовища не існує ізольовано, вони знаходяться в єдиній системі зв'язків. Вага абіотичних чинників навколишнього середовища в житті риб значна, особливо в фазах ембріонального періоду онтогенезу.

Під час моніторингу цитологічних показників ембріонів та личинок риб за змін умов середовища встановлено, що пристосування організму до температурних умов середовища відбувається на клітинному рівні. Порогові температури є межею опору клітин організму екстремальним температурам зовнішнього середовища. З огляду на те, що ця здатність у різних видів різна, температурні пороги їх неоднакові. Доведено, що для кожного виду риб існує певна амплітуда температури, в межах якої можливий їх ембріональний розвиток. Від температури залежить швидкість перебігу ембріогенезу. Відхилення від оптимальної величини температури та її наближення до порогової спричиняє порушення в ембріогенезі риб, загибель зародків або появу аномалій їх розвитку. За дії порогової температури на запліднену ікру також можлива поява поліплоїдності клітин. Генетичні зміни в соматичних клітинах є інтегральним показником порушення гомеостазу. Вони характеризують наявність мутагенів середовища та ефективність реакції імунної відповіді організму. У нормі більшість генетичних порушень елімінуються. Наявність таких порушень є індикатором стресу, який зумовлює появу аномальних клітин та зниження імунного статусу організму. Такі порушення можуть бути виявлені на хромосомному рівні.

Доведено, що критичні періоди в ембріональному розвитку риб виявляються на стадіях дроблення клітин на морулі, гастрюляції та в ембріонів під час органогенезу. Однак наявність чутливих періодів не завжди пов'язана з процесами диференціації, наприклад, початком дроблення клітин, періодом виходу ембріонів з оболонки.

Ключові слова: хижі види риб, температурний режим, метаболізм, мікроядерний тест, ембріональна клітина, ядерця, стрес-чинники, абіотичний вплив.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Останнє десятиліття означене нехарактерними температурами водного середовища, істотними змінами газового режиму, що спричиняють порушення поділу клітин, процесів диференціації органів та тканин, різноманітні ембріопатії та змінюють перебіг ме-

таболічних процесів в ембріонів риб [1, 2, 3, 4]. Тератогенез у риб спостерігається під дією широкого спектра чинників водного середовища, спричиняє суттєве зниження життєздатності ембріонів та негативно впливає на відтворення природних популяцій риб або на результати штучного їх розведення [5–11].

Риби, як і багато інших груп організмів, були об'єктом досліджень з вивчення впливу абіотичних чинників середовища. Однак у роботах Константинова А.С., Здановича В.В., Шолохова А.М. та ін. головну увагу було приділено молоді риб та старшим віковим групам. Водночас саме ембріональний та ранній постембріональний розвиток є найбільш уразливим етапом у життєвому циклі риб. У цей час відбувається формування всіх найважливіших функціональних систем організму, а смертність риб може бути максимальною. Експериментальне вивчення впливу коливань найважливіших абіотичних чинників середовища на ембріональний та личинковий періоди розвитку риб може допомогти в отриманні життєздатнішої молоді в лабораторних і виробничих умовах [20–24].

Чутливість ембріонів до дії різних чинників навколишнього середовища, зокрема абіотичних, таких як дефіцит кисню, різкі коливання температури, які виходять за межі оптимумів, механічні пошкодження та інше, впливають на хід генетичних та морфологічних процесів у них, порушуючи швидкість розвитку окремих органів, спричиняють появу потворних зародків [25–30].

Так, в ембріонів окуня та йоржа (весняно нерестуючі риби) в умовах гіпоксії відмічено критичні періоди на початкових стадіях дроблення клітин, перед початком гастрюляції, а також у період формування осьових органів. Було доведено, що на чутливість ембріонів впливають не лише видові особливості морфофізіологічної реактивності, а й характер пошкоджувального агента. Дія одного й того самого несприятливого чинника, наприклад температури, має різний вплив на процес ембріонального розвитку [31–37]. Найбільше зниження стійкості ембріонів спостерігається перед їх виходом з ікринки.

Високочутливі методи базуються на оцінюванні структурних та кількісних змін хромосом у соматичних клітинах, зокрема мікроядерний тест, облік сестринських хроматичних обмінів, хромосомних аберацій, забезпечують характеристику стресового стану організму.

Мікроядерне тестування належить до найважливіших і відносно швидких тестів, які використовують для комплексного біологічного моніторингу динаміки водних екосистем. Цей метод дає змогу визначити дію різних токсикантів на структуру хромосом та виявити генетичні зміни в одній особині або групі особин.

Розроблення мікроядерного тесту пов'язують з ім'ям Schmid, хоча його було запропоновано майже одночасно в 1970–1973 рр. декількома гру-

пами вчених. Метод швидко отримав визнання, і до 1990 р. налічувалося не менш як 800 робіт по мікроядерному тесту. У 1998–2000 рр. кількість досліджень, виконаних з використанням мікроядерного тесту, нараховувала 5–7 тис. та продовжує зростати швидкими темпами [38, 39].

Мікроядра переважно утворюються в результаті порушення розходжень хромосом. Один із способів формування мікроядер – порушення процесів поділу клітини з відділенням цілих хромосом або їх фрагментів. Ядро спочатку формує лопать, яка потім відділяється і утворює мікроядра. Низкою авторів висунуто припущення, що немітотичне утворення мікроядер – це спосіб утилізації дефектного хроматину [38].

Мета дослідження – встановити вплив абіотичних чинників водного середовища та їх природних коливань на ранні етапи ембріонального розвитку риб та оцінити ступінь їх дії за генетичними показниками.

Для досягнення мети було поставлено наступні завдання: визначити цитогенетичний вплив температури, газового режиму за показниками кількості мікроядер у клітинах ембріонів та личинок на різних стадіях хижих видів риб.

Об'єкт дослідження – ікра хижих видів риб на різних стадіях ембріонального розвитку та личинки окуня річкового (*Perca fluviatilis* L.), йоржа звичайного (*Gymnocephalus cernuus* L.).

Матеріал і методи дослідження. Дослідження проводили в умовах Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції Інституту гідробіології НАН України та кафедри іхтіології та зоології Білоцерківського національного аграрного університету. Для проведення цитогенетичного аналізу зразки ікри риб фіксували у двох змінах свіжоприготовленої та охолодженої суміші етилового спирту і оцтової кислоти (3:1) по 30 хв кожна, в об'ємі, який у 50–100 разів перевищує об'єм фіксованого матеріалу.

Для аналізу з кожного зразка брали 10–15 ікринок. Механічна мацерація тривала 5–10 хв, хімічна в 45 % розчині оцтової кислоти – 40–50 хв. Повітряно-сухі препарати фарбували 50 % розчином нітрату срібла в термостаті за температури 58–60 °С упродовж 5–6 хв до отримання коричневого кольору, дофарбовували 2 % розчином Гімза у фосфатному буфері (рН=6,8) упродовж 1 хв [40, 41].

Число ядерець підраховували у кожного зразка у 500–700 клітин з використанням окулярів $\times 16$, об'єктивів $\times 100$ мікроскопа (Carl Zeiss) та вимірювали діаметр ядерець окуляр-мікрометром у 100 клітин за такого самого збільшення об'єктива [41].

Результати дослідження та їх обговорення. Хронічна дія несприятливих чинників на організм спричиняє порушення цитогенетичної стабільності на накопичення хромосомних аномалій у клітинах організму.

За даними дослідження середня кількість мікроядер у клітинах цих видів риб упродовж усього ембріогенезу становила 1–2 (до 89 % всіх клітин). У личинок також зберігалася подібна тенденція, кількість клітин з 3 або 4 ядрцями не перевищувала 11 % (рис. 1). Це можна пояснити тим, що під час перебігу ембріогенезу та розвитку личинок у природних умовах не було різких перепадів температури води (10–16 °С – для окуня та 12–18 °С – йоржа), а концентрація

терні для коропа, білого товстолобика та білого амура, коли з переходом на наступну стадію розвитку кількість ядерць збільшувалася незалежно від температури води. Насамперед це пов'язано з раннім нерестом цих видів риб. У цей період зазвичай не було значних коливань температури води упродовж доби.

У результаті проведеного гістологічного оцінювання клітин ембріонів хижих видів риб було визначено три типи мікроядер. На рисунку 1 представлено клітини другого та третього типів. До другого типу належать клітини ембріонів, що містили два мікроядра (А, Г), які знаходилися ближче до периферії клітин, і до третього типу – клітини зябер, що містили три і більше

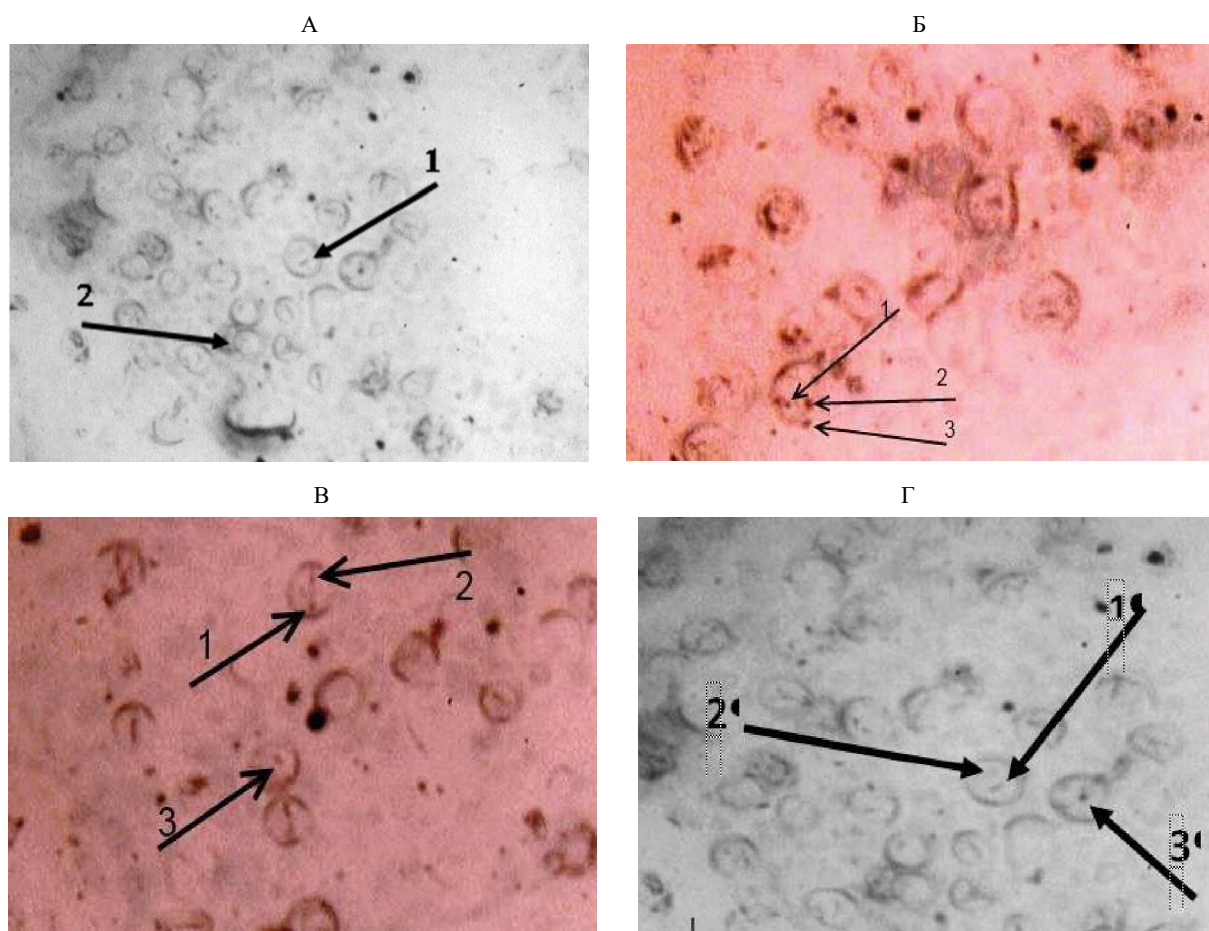


Рис. 1. Мікроядра в клітинах ембріонів окуня (А, В) та йоржа (Б, Г).

розчиненого кисню завжди була значно нижчою за нижню допустиму межу оптимуму для цих видів (6,5–11 мг/дм³). Отже, ембріони та личинки не знаходились тривалий час під впливом стрес-чинників, зокрема абіотичних чинників водного середовища. Ймовірно, саме це й було причиною низької кількості пошкоджених хромосом, які надалі формували б мікроядра.

В ембріональних клітинах окуня та йоржа не спостерігалися закономірності, які харак-

терні для коропа, білого товстолобика та білого амура, коли з переходом на наступну стадію розвитку кількість ядерць збільшувалася незалежно від температури води. Насамперед це пов'язано з раннім нерестом цих видів риб. У цей період зазвичай не було значних коливань температури води упродовж доби.

Для ембріонального розвитку окуня характерним є те, що за нижчих температур кількість мікроядер у зародкових клітинах була мінімальною. Зміну кількості мікроядер у клітинах йоржа та окуня під час ембріонального їх розвитку в різних температурних умовах представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Кількість мікроядер у клітинах йоржа та окуня під час ембріонального їх розвитку в різних температурних умовах.

Стадія розвитку	Температура води, °C				
	10	12	14	16	18
Йорж					
Закінчення гастрюляції	–	1,55±0,121	1,61±0,082	1,59±0,142	1,71±0,172
Очні бокали	–	–	1,71±0,113	1,68±0,091	1,74±0,141
Пігментація очей	–	–	1,69±0,171	1,81±0,121	1,79±0,110
Личинки	–	–	1,74±0,141	1,72±0,133	1,75±0,163
Окунь					
Закінчення гастрюляції	1,59±0,120	1,64±0,171	1,78±0,112	1,69±0,148	–
Очні бокали	1,64±0,121	1,72±0,112	1,85±0,091	1,78±0,151	–
Пігментація очей	–	1,69±0,14	1,74±0,10	1,81±0,106	–
Личинки	–	1,74±0,13	1,84±0,11	1,85±0,122	–

Для ембріонального розвитку окуня характерно, що за низьких температур кількість мікроядер у зародкових клітинах була мінімальною. Так, за температури 10 °C на стадії завершення гастрюляції було зафіксовано мінімальну величину досліджуваного показника – 1,59, а максимум було відмічено за температур 14 та 16 °C на стадії очних бокалів та в личинках відповідно, що на 16,4 % більше. На підставі проведених досліджень можна стверджувати, що температура води в межах 10–12 °C є найбільш оптимальною для ембріонального розвитку окуня.

Для ембріональних та ранніх постембріональних стадій розвитку йоржа оптимальним є весь діапазон досліджуваної температури (14–18 °C), адже чіткої закономірності зміни кількості ядерця у клітинах під дією температурного чинника не спостерігали, величина цього показника змінювалася в дуже вузьких межах.

Отже, основну увагу потрібно звертати на пристосування організму до температурних умов середовища, яке відбувається на клітинному рівні. Порогові температури є межею опору клітин організму на дію екстремальних температур зовнішнього середовища. З огляду на те, що ця здатність у різних видів різна, температурні пороги їх неоднакові.

Висновки. 1. У природних умовах досліджено генетичну реакцію ембріонів та личинок хижих видів риб за різних екологічних умов. Установлено основні закономірності фізіолого-біохімічного стану ембріонів за дії коливання та підвищення температури води і зниження концентрації розчиненого кисню.

Під час зростання температури води і її коливання продовж доби в ембріонах на пізніх стадіях розвитку та передличинках збільшується середня кількість мікроядер у клітинах на 1,74–1,85 для окуня, та характеризується незначними коливаннями у йоржа.

Експериментальні дослідження проводили відповідно до Закону України «Про захист від жорсткого поводження з тваринами» від 28.03.2006 р. та правил Європейської конвенції захисту хребетних тварин, які використовуються в експериментальних та інших наукових цілях від 13.11.1987 р.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Журавлєва Н.Г. Влияние абиотических и биотических факторов среды на выживаемость эмбрионов и молоди рыб. Вестник МГТУ. 2009. Т. 12. № 2. С. 338–343.
2. Вовк П.С. Реакции эмбрионов и личинок белого амура на температурные воздействия. Разнокачественность раннего онтогенеза у рыб. Киев, 1974. С. 191–226.
3. Константинов А.С. Влияние колебаний температуры на рост, энергетику и физиологическое состояние молоди рыб. Известия РАН. Сер. биологическая. 1993. № 1. С. 55–63.
4. Лукиянов С.В. Влияние колебаний абиотических факторов (рН, соленость, температура) на рыб в эмбрионально-личиночный период развития. Саранск, 2010. 145 с.
5. Белоусов Л.В. Основы общей эмбриологии. М.: Изд-во МГУ. 2005. 360 с.
6. Schaefer J., Ryan A. Developmental plasticity in the thermal tolerance of zebrafish *Danio rerio*. Journal of Fish Biology. 2006. Vol. 69. № 3. P. 722–734.
7. Bestgen K.R., Williams M.A. Effects of fluctuating and constant temperatures on early development and survival of Colorado squawfish. Trans. Amer. Fish. Soc. 1994. Vol. 123. № 4. P. 574–579.
8. Urho L. Habitat shifts of perch larvae as survival strategy. Ann. Zool. Fennici. 1996. Vol. 33. P. 329–340.
9. Watanabe Y. Effect of diel temperature alterations on specific growth of red sea bream. Oceanis. 1992. Vol. 18. № 1. P. 133–140.
10. Капшай Д.С. Оценка оптимальных и сублетальных температур у молоди различных видов рыб. Современные проблемы и перспективы рыбохозяйственного комплекса. Мат. второй научно-практич. конф. молодых ученых. М.: Изд. ВНИРО, 2011. С. 274–280
11. Andrades J.A., Becerra J., Fernández-Llebrez P. Skeletal deformities in larval, juvenile and adult stages of

- cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). Aquaculture. 1996. Vol. 141. P.1–11.
12. Романенко В.Д. Основы гидробиологии. К.: Генеза. 2004. 664 с.
13. Janauer G.A. Aquatic Vegetation in River Flood plains: Climate Change Effects, River Restoration and Eco-hydrology Aspects. Climate Change. Inferences from Paleoclimate and Regional Aspects. New York: Springer. 2012. P. 149–156.
14. Hochachka P.W., Somero G.N. Biochemical Adaptation: Mechanism and Process in Physiological Evolution. Oxford: Oxford University Press. 2002. 356 p.
15. Немова Н.Н., Высоцкая Р.У. Биохимическая индикация состояния рыб. М.: Наука. 2004. 215 с.
16. Carter K. Effects of Temperature, Dissolved Oxygen/ Total Dissolved Gas, Ammonia, and pH on Salmonids. Implications for California's North Coast TMDLs. 2008. July. 53 p.
17. Вербицкий В.Б. Понятие экологического оптимума и его определение у пресноводных пойкилотермных животных. Журнал общей биологии. 2008. Т. 69. № 1. С. 44–56.
18. Детлаф Т.А. Температурно-временные закономерности развития пойкилотермных животных. М.: Наука. 2001. 211 с.
19. Diana J.S. The growth of largemouth bass, *Micropterus salmoides*, under constant and fluctuating temperatures. J. Fish Biol. 1984. Vol. 24. № 2. P. 165–172.
20. Barton B.A. Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. Integrative and comparative biology. 2002. Vol. 42. P. 517–525.
21. Євтушенко М.Ю., Шевченко П.Г., Хижняк М.І. Наукові-методичні рекомендації щодо вибору індикаторних організмів в системі біомоніторингу. Київ: Український фітосоціальний центр. 2011. 24 с.
22. Schneider J.C., Copeland J., Wolgamood M. Tolerance of incubating walleye eggs to temperature fluctuation. Aquacult. 2002. Vol. 64. № 1. P. 75–76.
23. Bermudes M., Ritar A.J. Effects of temperature on the embryonic development of the striped trumpeter (*Latris lineata* Bloch and Schneider, 1801). Aquaculture. 1999. Vol. 176. P. 245–255.
24. First studies of embryonic and larval development of *Coilia nasus* (Engraulidae) under controlled conditions / G.C. Xu et al. Aquaculture Research. 2011. 42(2). P. 593–601. Doi:https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02655.x.
25. Effect of photoperiod on growth and gonadal development of juvenile Topmouth Gudgeon *Pseudorasbora parva* / DM. Zhu et al. Environmental Biology of Fishes. 2014. 97(2). P. 147–156. Doi:https://doi.org/10.1007/s10641-013-0133-7.
26. Del Rio A.M., Davis B.E., Fangue N.A., Todgham A.E. Combined effects of warming and hypoxia on early life stage Chinook salmon physiology and development. Conserv Physiol. 2019. 7(1). Doi: https://doi.org/10.1093/conphys/coy078.
27. Ontogeny influences sensitivity to climate change stressors in an endangered fish / L.M. Komoroske et al. Conserv Physiol. 2014. 2. Doi:https://doi.org/10.1093/conphys/cou008.
28. McDonnell L.H., Chapman L.J. At the edge of the thermal window: effects of elevated temperature on the resting metabolism, hypoxia tolerance and upper critical thermal limit of a widespread African cichlid. Conserv Physiol. 2015. 3 p. Doi:https://doi.org/10.1093/conphys/cov050.
29. Effect of different water temperatures on sex ratio, gonad development and production parameters of common carp (*Cyprinus carpio* L.). / L. Kovács et al. Aquaculture Research. 51(2) 2020. P. 858–862. Doi:https://doi.org/10.1111/are.14407.
30. Fantastically plastic: fish larvae equipped for a new world / K. Pittman et al. Reviews Aquaculture. 2013. 5. P. 224–267. Doi: https://doi.org/10.1111/raq.12034.
31. Водяницький О.М., Потрохов О.С., Зінковський О.Г. Вплив коливань температурного режиму водойми на ембріональний розвиток білого товстолобика. Рибогосподарська наука України. 2015. № 1. С. 96–107. Doi:https://doi.org/10.15407/fsu2015.01.096.
32. Гриневич Н.С., Кухтин М.Д., Семанюк Н.В., Присяжнюк Н.М. Типи мікроядер у клітинах зябер малька райдужної форелі під час формування мікробіоценозу біофільтра УЗВ. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2018. Вип. 293. С. 41–46.
33. Bondarev D. L., Kunah O. M., Fedushko M. P., Gubanova N. L. The impact of temporal patterns of temperature and precipitation on silver Prussian carp (*Carassius gibelio*) spawning events. Biosystems Diversity. 2019. 27(2). P. 106–117. Doi:https://doi.org/10.15421/011915
34. Bondarev D., Kunah O., Zhukov O. Assessment of the impact of seasonal patterns climatic conditions on spawning events of the white bream *Blicca bjoerkna* (Linnaeus, 1758) in astronomical and biological time. Acta Biologica Sibirica. 2018. 4(2). P. 48–64. Doi:https://doi.org/10.14258/abs.v4i2.4125
35. Richards J.G., Farrell A.P., Brauner C.J. Metabolic and Molecular Responses of Fish to Hypoxia. Fish Physiology. Hypoxia. San Diego. 2009. Vol. 27. P. 443–485.
36. Anderson N. The Effect of hypoxia and temperature on developing embryos of the annual killifish *Austrofundulus limnaeus*. Portland State University PDXScholar Dissertations and Theses Dissertations and Theses Fall. 2012. 52 p.
37. Ильинских Н.Н., Ильинских И.Н., Некрасов В.Н. Использование микроядерного теста в скрининге и мониторинге мутагенов. Цитология и генетика. 1988. Т. 22. № 7. С. 67–72.
38. Ильинских Н.Н. Физиологические факторы мутагенеза в связи с изменением иммунореактивности организма. III школа-семинар по генетике и селекции животных. II научные чтения памяти академика Д.К. Беляева. Новосибирск, 1989. 47 с.
39. Архипчук В.В., Жукинский В.Н. Изменение количественных характеристик ядрышек в эмбриогенезе некоторых карповых рыб и в связи с разнокачественностью икры. Рыбное хозяйство. К. 1987. № 43. С. 18–24.
40. Howel W.M., Black D.A. Controlled silver-staining of nucleolus organizer regions with a protective colloidal developer: a 1-step method. Experientia. 1980. Vol. 36. P. 1014–1015.
41. Физиолого-биохимические и генетические исследования ихтиофауны Азово-черноморского бассейна. Методическое руководство / Г.Г. Корниенко и др. Ростов-на-Дону: Эверест, 2005. 105 с.

REFERENCES

1. Zhuravlyova, N.G. (2009). Vliyanie abioticheskikh i bioticheskikh faktorov sredy na vyzhivaemost embrionov i molodi ryb [The influence of abiotic and biotic environmental factors on the survival of embryos and juvenile fish]. Vestnik MGTU [Bulletin of MSTU]. no. 12 (2), pp. 338–343.
2. Vovk, P.S. (1974). Reakczii embrionov i lichinok belogo amura na temperaturny'e vozdejstviya [Reaction of embryos and larvae of grass carp to temperature effects]. Raznokachestvennost rannego ontogeneza u ryb [The diversity of early ontogenesis in fish]. Kiev, pp. 191–226.
3. Konstantinov, A.S. (1993) Vliyanie kolebanij temperatury na rost, energetiki i fiziologicheskoe sostoyanie molodi ryb [The influence of temperature fluctuations on the growth, energy and physiological state of juvenile fish]. Izvestiya RAN. Ser. Biologicheskaya [Proceedings of the RAS. Ser. biological]. no. 1, pp. 55–63.
4. Lukyanov, S.V. (2010). Vliyanie kolebanij abioticheskikh faktorov (pH, solenost', temperatura) na ryb v embrionalno-lichinochnyj period razvitiya [The influence of fluctuations of abiotic factors (pH, salinity, temperature) on fish in the embryonic larval period of development]. Saransk, 145 p.
5. Belousov, L.V. (2005). Osnovy obshchej embriologii [Fundamentals of General Embryology]. M.: Publ. MSU. 360 p.
6. Schaefer, J., Ryan, A. (2006). Developmental plasticity in the thermal tolerance of zebrafish *Danio rerio*. Journal of Fish Biology. Vol. 69, no. 3, pp. 722–734.
7. Bestgen, K.R., Williams, M.A. (1994). Effects of fluctuating and constant temperatures on early development and survival of Colorado squawfish. Trans. Amer. Fish. Soc. Vol. 123, no. 4, pp. 574–579.
8. Urho, L. (1996). Habitat shifts of perch larvae as survival strategy. Ann. Zool. Fennici. Vol. 33, pp. 329–340.
9. Watanabe, Y. (1992). Effect of diel temperature alterations on specific growth of red sea bream. Oceanis. Vol. 18, no. 1, pp. 133–140.
10. Kapschaj, D.S. (2011) Otsenka optimalnykh i subletalnykh temperatur u molodi razlichnykh vidov ryb [Assessment of optimal and sublethal temperatures in juveniles of various fish species]. Sovremennye problemy i perspektivy rybokhozyajstvennogo kompleksa. Mat. vtoroj nauchno-praktich. konf. molodykh uchenykh [Current problems and prospects of the fishery complex. Mat. second scientific and practical. conf. young scientists]. M.: VNIRO, pp. 274–280.
11. Andrades, J.A., Becerra, J., Fernández-Llebreg, P. (1996). Skeletal deformities in larval, juvenile and adult stages of cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). Aquaculture. Vol. 141, pp. 1–11.
12. Romanenko, V.D. (2004). Osnovy gidrobiologii [The basics of hydrobiology]. K.: Geneza, 664 p.
13. Janauer, G.A. (2012) Aquatic Vegetation in River Flood plains: Climate Change Effects, River Restoration and Eco-hydrology Aspects Climate Change. Inferences from Paleoclimatology and Regional Aspects. New York: Springer, pp. 149–156.
14. Hochachka, P.W., Somero, G.N. (2002) Biochemical Adaptation: Mechanism and Process in Physiological Evolution. Oxford: Oxford University Press, 356 p.
15. Nemova, N.N., Vysoczkaya, R.U. (2004) Biokhimicheskaya indikacziya sostoyaniya ryb [Biochemical indication of fish status]. M.: Nauka, 215 p.
16. Carter, K. (2008). Effects of Temperature, Dissolved Oxygen/Total Dissolved Gas, Ammonia, and pH on Salmonids. Implications for California's North Coast TMDLs, July. 53 p.
17. Verbizkij, V.B. (2008). Ponyatie e'kologicheskogo optimuma i ego opredelenie u presnovodny'kh pojkilotermny'kh zhyvotny'kh [The concept of ecological optimum and its definition in freshwater poikilothermic animals] Zhurnal obshhej biologii [Journal of General Biology]. Vol. 69, no. 1, pp. 44–56.
18. Detlaf, T.A. (2001). Temperaturno-vremenny'e zakonornosti razvitiya pojkilotermny'kh zhyvotny'kh [Temperature-time patterns of development of poikilothermic animals]. M.: Nauka, 211 p.
19. Diana, J.S. (1984). The growth of largemouth bass, *Micropterus salmoides*, under constant and fluctuating temperatures. J. Fish Biol. Vol. 24, no. 2, pp. 165–172.
20. Barton, B.A. (2002). Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. Integrative and comparative biology. Vol. 42, pp. 517–525.
21. Ievtushenko, M.Iu., Shevchenko, P.H., Khyzhniak, M.I. (2011). Naukovi-metodychni rekomendatsii shchodo vyboru indykatornykh orhanizmv v systemi biomonitorynhu [High-tech recommendations for vibration and indicator organisms in biomonitoring systems]. Kyiv: Ukrainyskiy fitosotsialnyi tsentr [Kyiv: Ukrainian Phytosocial Center]. 24 p.
22. Schneider, J.C., Copeland, J., Wolgamood, M. (2002). Tolerance of incubating walleye eggs to temperature fluctuation. Aquaculture. Vol. 64, no. 1, pp. 75–76.
23. Bermudes, M., Ritar, A.J. (1999). Effects of temperature on the embryonic development of the striped trumpeter (*Latris lineata* Bloch and Schneider, 1801). Aquaculture. Vol. 176, pp. 245–255.
24. Xu, G.C., Tang, X., Zhang, C.X., Gu, R.B., Zheng, J.L., Xu, P., Le, G.W. (2011). First studies of embryonic and larval development of *Coilia nasus* (Engraulidae) under controlled conditions. Aquaculture Research. 42(2), pp. 593–601. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02655.x>.
25. Zhu, D.M., Yang, K., Gul, Y., Song, W., Zhang, X.H., Wang, W.M. (2014). Effect of photoperiod on growth and gonadal development of juvenile Topmouth Gudgeon *Pseudorasbora parva*. Environmental Biology of Fishes. 97(2). pp. 147–156. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10641-013-0133-7>.
26. Del, Rio A.M., Davis, B.E., Fanguie, N.A., Todgham, A.E. (2019). Combined effects of warming and hypoxia on early life stage Chinook salmon physiology and development. Conserv Physiol. 7(1), pp. 1–14. Available at: <https://doi.org/10.1093/conphys/coy078>.
27. Komoroske, L.M., Connon, R.E., Lindberg, J., Cheng, B.S., Castillo, G., Hasenbein, M., Fanguie, N.A. (2014). Ontogeny influences sensitivity to climate change stressors in an endangered fish. Conserv Physiol. 2. Available at: <https://doi.org/10.1093/conphys/cou008>.
28. McDonnell, L.H., Chapman, L.J. (2015). At the edge of the thermal window: effects of elevated temperature on the resting metabolism, hypoxia tolerance and upper critical thermal limit of a widespread African cichlid. Conserv Physiol. 3. Available at: <https://doi.org/10.1093/conphys/cov050>.
29. Kovács, L., Minya, D., Homoki, D. (2020). Effect of different water temperatures on sex ratio, gonad development

and production parameters of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture Research*. 51(2), pp. 858–862. Available at: <https://doi.org/10.1111/are.14407>.

30. Pittman, K., Yúfera, M., Pavlidis, M., Geffen, A.J., Koven, W., Ribeiro, L., Zambonino-Infante, J.L., Tandler, A. (2013). Fantastically plastic: fish larvae equipped for a new world. *Reviews Aquaculture*. 5. pp. 224–267. Available at: <https://doi.org/10.1111/raq.12034>.

31. Vodianskyi, O.M., Potrokhov, O.S., Zinkovskyi, O.H. (2015). Vplyv kolyvan temperaturnoho rezhymu vo doimy na embrionalnyi rozvytok biloho tovtolobyka [The effect of fluctuations in the temperature of the reservoir on the embryonic development of the white silver carp]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]*. no. 1, pp. 96–107. Available at: <https://doi.org/10.15407/fsu2015.01.096>.

32. Hrynevych, N.Ie., Kukhtyn, M.D., Semaniuk, N.V., Prysiazniuk, N.M. (2018). Typy mikroiadier u klitynakh ziaber malka raiduzhnoi foreli pid chas formuvannia mikrobiotsenozu biofiltra UZV [Types of micronuclei in gill cells of rainbow trout gills during microbiocenosis formation of UZV biofilter]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu biosursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy [Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine]*. Vol. 293, pp.41–46.

33. Bondarev, D. L., Kunah, O. M., Fedushko, M. P., Gubanova, N. L. (2019). The impact of temporal patterns of temperature and precipitation on silver Prussian carp (*Carassius gibelio*) spawning events. *Biosystems Diversity*. 27(2), pp. 106–117. Available at: <https://doi.org/10.15421/011915>

34. Bondarev, D., Kunah, O., Zhukov, O. (2018). Assessment of the impact of seasonal patterns climatic conditions on spawning events of the white bream *Blicca bjoerkna* (Linnaeus, 1758) in astronomical and biological time. *Acta Biologica Sibirica*, 4(2), pp. 48–64. Available at: <https://doi.org/10.14258/abs.v4i2.4125>

35. Richards, J.G., Farrell, A.P., Brauner, C.J. (2009). *Metabolic and Molecular Responses of Fish to Hypoxia/ Fish Physiology. Hypoxia*. San Diego. Vol. 27, pp. 443–485.

36. Anderson, N. (2012). The Effect of hypoxia and temperature on developing embryos of the annual killifish *Austrofundulus limnaeus*. *Portland State University PDX Scholar Dissertations and Theses Dissertations and Theses Fall*. 52 p.

37. Il'inskikh, N.N., Il'inskikh, I.N., Nekrasov, V.N. (1988). Ispol'zovanie mikroyadernogo testa v skrininge i monitoringe mutagenov [The use of micronucleus test in screening and monitoring of mutagens]. *Czitologiya i genetika [Cytology and Genetics]*. Vol. 22, no. 7, pp. 67–72.

38. Il'inskikh, N.N. (1989). Fiziologicheskie faktory mutageneza v svyazi s izmeneniem immunoreaktivnosti organizma [Physiological factors of mutagenesis in connection with a change in the body's immunoreactivity]. III shkola-seminar po genetike i selekczii zhivotny'kh. II nauchny'e chteniya pamyati akademika D.K. Belyaeva [III school-seminar on genetics and animal breeding. II scientific readings in memory of academician D.K. Belyaeva]. *Novosibirsk*, 47 p.

39. Arkhipchuk, V.V., Zhukinskij, V.N. (1987). Izmenenie kolichestvennykh kharakteristik yadryshek v e'mbriogeneze nekotorykh karpovykh ry'b i v svyazi s raznokachestvennost'yu ikry [Changes in the quantitative characteristics of nucleoli in the embryogenesis of some

cyprinids and in connection with the different quality of eggs]. *Rybnoe khozaystvo [Fisheries]*. K., no 43, pp. 18–24.

40. Howel, W.M., Black, D.A. (1980). Controlled silver-staining of nucleolus organizer regions with a protective colloidal developer: a 1-step method. *Experientia*. Vol. 36, pp.1014–1015.

41. Kornienko, G.G., Bojko, N.E., Bugaev, L.A. (2005). Fiziologo-biokhimicheskie i geneticheskie issledovaniya ikhtiofauny Azovo-chernomorskogo bassejna [Physiological, biochemical and genetic studies of the ichthyofauna of the Azov-Black Sea basin]. *Metodicheskoe rukovodstvo [Methodical guide]*. Rostov-na-Donu: Everest, 105 p.

Влияние физических показателей воды на количество микроядер в клетках эмбрионов хищных видов рыб **Водяницкий А.М., Гриневиц Н.Е., Хомяк А.А., Присяжнюк Н.М.**

Развитие и жизнедеятельность организма тесно связаны с условиями среды. Связь организма с окружающей средой происходит путем взаимодействия с группами биотических и абиотических факторов. Соотношение организма с отдельными элементами его абиотической и биотической среды не существует изолированно, они находятся в единой системе связей. Роль абиотических факторов окружающей среды в жизни рыб значительна, особенно в фазах эмбрионального периода онтогенеза.

В результате мониторинга цитологических показателей эмбрионов и личинок рыб при изменении условий среды установлено, что приспособление организма к температурным условиям среды происходит на клеточном уровне. Пороговые температуры являются пределом сопротивления клеток организма на действие экстремальных температур внешней среды. Поскольку эта способность у разных видов различна, температурные пороги их неодинаковы. Доказано, что для каждого вида рыб существует определенная амплитуда температуры, в пределах которой возможно их эмбриональное развитие. От температуры зависит скорость прохождения эмбриогенеза. Отклонение от оптимальной величины температуры и ее приближение к пороговой вызывает нарушения в эмбриогенезе рыб, приводит к гибели зародышей или к появлению аномалий их развития. Под действием пороговой температуры на оплодотворенную икру возможны проявления полиплоидности клеток. Генетические изменения в соматических клетках являются интегральным показателем нарушения гомеостаза. Они характеризуют наличие мутагенов среды и эффективность реакции иммунного ответа организма. В норме большинство генетических нарушений элиминируются. Наличие таких нарушений является индикатором стресса, который ведет к появлению аномальных клеток и снижению иммунного статуса организма. Такие нарушения могут быть обнаружены на хромосомном уровне.

Доказано, что критические периоды в эмбриональном развитии рыб проявляются на стадиях дробления клеток морулы, гастрюляции и у эмбрионов во время органогенеза. Однако наличие чувствительных периодов не всегда связано с процессами дифференциации, например, началом дробления клеток, периодом выхода эмбрионов из оболочек.

Ключевые слова: хищные виды рыб, температурный режим, метаболизм, микроядерный тест, эмбрио-

нальная клетка, ядрышки, стресс-факторы, абиотическое влияние.

The cytogenetic influence of physical water indicators on the number of micronuclei in cells of predatory fish species

Vodianitskyi O., Hrynevych N., Khomiak O., Prysiazhniuk N.

During the monitoring of cytological parameters of embryos and fish larvae under changing environmental conditions, it was found that the body adapts to the environmental temperature conditions at the cellular level. Threshold temperature is the limit of the resistance of body cells to the action of extreme ambient temperatures. Since this ability is different for different species, their temperature threshold is not the same. It is proved that for each fish species there is a certain temperature amplitude, within which their embryonic development is possible. The rate of passage of embryogenesis depends on temperature. Deviation from the optimal temperature and its approach to the "threshold" causes disturbances in the embryogenesis of fish, leads to

the death of embryos or to the appearance of anomalies in their development. Under the influence of a threshold temperature on fertilized eggs, polyploidy of cells is possible. Genetic changes in somatic cells is an integral indicator of homeostasis disturbance. They characterize the presence of environmental mutagens and the effectiveness of the body's immune response. Normally, most genetic disorders are eliminated. The presence of such disorders is an indicator of stress, which leads to the appearance of abnormal cells and a decrease in the body's immune status. Such abnormalities can be detected at the chromosomal level.

It has been proved that critical periods in the embryonic development of fish are manifested at the stages of crushing of morula cells and gastrulation in embryos during organogenesis. However, the presence of sensitive periods is not always associated with differentiation processes, for example, the onset of cell crushing, the period of embryo exit from the membranes.

Key words: predatory fish species, temperature regime, metabolism, micronuclear test, embryonic cell, nucleoli, stress factors, abiotic effect.



Copyright: © **Vodianitskyi O., Hrynevych N., Khomiak O., Prysiazhniuk N.**



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.

ВОДЯНИЦЬКИЙ О.М., <http://orcid.org/0000-0002-4912-689X>

ГРИНЕВИЧ Н.Є., <http://orcid.org/0000-0001-7430-9498>

ХОМ'ЯК О.А., <http://orcid.org/0000-0003-3010-6757>

ПРИСЯЖНЮК Н.М., <http://orcid.org/0000-0002-4737-0143>