

**Світельський М. М., к.с.-г.н., доцент, Іщук О. В., к.с.-г.н., доцент, Федючка М. М., к.с.-г.н., доцент, Климчик О. М., к.с.-г.н., доцент** (Житомирський національний агроекологічний університет, м. Житомир), **Прищепа М. О., викладач-методист, викладач вищої категорії, Пилипчук Н. В., викладач-методист, викладач вищої категорії** (Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир, svitmm71@ukr.net)

### **ВНУТРІШНЬОКЛІТИННИЙ ОБМІН КАЛЬЦІЮ РИБ ПРИ ГІПЕРКАЛЬЦЕМІЧНИХ УМОВАХ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА**

Узагальнено дані про те, що з процесами дихання в мітохондріях тісно пов'язане підтримання градієнтів концентрації певних іонів, зокрема калію, магнію, фосфату. Процес транслокації кальцію через мітохондріальну мембрану може відбуватися тільки при наявності аденозинтрифосфатної кислоти (АТФ), іонів магнію та неорганічного фосфору. Вивчаючи фосфорно-кальцієвий обмін у риб, використовували спеціальні методичні підходи, які дозволяють вивчати тканинні, клітинні і органні механізми регуляції обміну речовин з урахуванням особливостей проживання організмів у водному середовищі. З метою вивчення впливу фосфору водного середовища на окремі показники внутрішньоклітинного обміну в осморегулюючих органах, виділяли субклітинні частки, зокрема мітохондрії, де протікають основні біосинтетичні і біоенергетичні процеси клітини. Програмою досліджень було вивчення зміни концентрації іонів кальцію в мітохондріях печінки і зябер риб в умовах підвищеної його концентрації у водному середовищі 60, 100 і 200 мг/л. Завдання полягало в тому, щоб дослідити роль мітохондрій залозистих клітин зябер і печінки риб в процесі аклімації при підвищенні концентрації кальцію у воді та з'ясувати особливості накопичення його у риб, а також встановити участь цих субклітинних структур в механізмі регулювання внутрішньо-клітинного обміну кальцію, що зі збільшенням часу перебування риб в середовищі з підвищеним вмістом кальцію відмічаються особливості його внутрішньоклітинного розподілу. Після закінчення семи діб перебування риб у воді з підвищеним рівнем кальцію (200 мг/л), в мітохондріях зябер його рівень хоча і перевищував вихідний, проте був нижчим зареєстрованого на третю добу максимального накопичення.

**Ключові слова:** фосфор; кальцій; мітохондрії; зябра; печінка; риби.

**Вступ.** Основними структурними компонентами клітини є мітохондрії. Вони виконують важливу роль в енергозабезпеченні клітин.

В них знаходяться ферментативні системи, які беруть участь в фосфорилуванні, диханні, гліколізі, біосинтетичних процесах, а також транспорті іонів. З процесами дихання в мітохондріях тісно пов'язане підтримання градієнтів концентрації певних іонів, зокрема калію, магнію, фосфату [2]. У теплокровних тварин є здатність ізольованих мітохондрій зв'язувати кальцій. Цей процес знаходиться в тісному зв'язку з клітинним споживанням кисню. Причому кожним молекулою мітохондріального білка може зв'язуватися 130 мкмоль кальцію, а на кожен атом поглиненого кисню доводиться 3 і більше іони кальцію [1]. Процес транслокації кальцію через мітохондріальну мембрану може відбуватися тільки при наявності аденозинтрифосфатної кислоти (АТФ), іонів магнію та неорганічного фосфору.

**Аналіз останніх досліджень.** Між накопиченням кальцію мітохондріями і перенесенням електронів є стехіометричний зв'язок, оскільки для транслокації кальцію через мітохондріальну мембрану витрачається енергія, що вивільняється в результаті окислення різних речовин [7]. Мітохондрії печінки можуть зв'язувати кальцій в невеликих кількостях і при відсутності вираженого клітинного дихання, проте при цьому необхідна наявність високої концентрації АТФ в інкубаційному середовищі і активної АТФ-утворюючої системи [8].

Паралельно з кальцієм в мітохондрії можуть транспортуватися різні аніони (ацетат, фосфат тощо). Проте в більшості випадків основним супроводжуваним кальцій аніоном є фосфат, представлений у вигляді моноаніону  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  [9], а видалення його з-поміж інкубації значно зменшує поглинання  $\text{Ca}^{2+}$  [3]. Іони кальцію і аніони фосфату транспортуються з інкубаційного середовища в такому ж стані (1:7), в якому вони містяться в гідроксиапатит-мінеральному речовині кісткової тканини [11]. Значну кількість аніонів в мітохондріях представлено фосфатами: АТФ, АДФ, фосфоенолпіруват. Кальцій в мітохондріях в іонній формі майже не зустрічається. Показано, що в клітинах м'язів міксини 93% кальцію перебуває у зв'язаному стані [5]. Він утворює сполуки з фосфатами, на частку яких припадає близько 20% сухої маси мітохондрій печінки [1]. Механізм переносу  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  через мітохондріальну мембрану здійснюється єдиною ферментативною системою за участю мітохондріальної АТФ-ази. Припускають, що іони кальцію можуть зв'язуватися з активним центром АТФ-ази і знижувати її активність [11].

У мітохондріях клітин теплокровних тварин на процес накопичення та звільнення іонів кальцію і фосфату істотний вплив мають роз'єднувачі та інгібітори дихання, наприклад ДНФ. Зазначена властивість мітохондрій забезпечує участь їх в процесах біологічного ка-

льцинування і декальцинування [11]. Наведені основні положення внутрішньоклітинного обміну кальцію стосуються теплокровних тварин і зовсім не розкривають закономірності цього процесу у водних організмів. Тим часом, встановлення внутрішньоклітинного накопичення і розподіл кальцію та фосфору у представників водної фауни має виключно важливе значення, оскільки такі дані можуть істотно доповнити наше уявлення про функціональне значення мембранних структур клітин тварин на різних рівнях філогенетичного розвитку. Відомо, що водні тварини протягом року піддаються впливу широкого діапазону коливань температур, солоності води, її іонного складу. Все це в процесі еволюції визначило характер внутрішньоклітинних процесів і особливості функціонування її субклітинних структур.

**Методика досліджень.** Вивчаючи фосфорно-кальцієвий обмін у риб, використовували спеціальні методичні підходи, які дозволяють вивчати тканинні, клітинні й органні механізми регуляції обміну речовин з урахуванням особливостей проживання організмів у водному середовищі. З метою вивчення впливу фосфору водного середовища на окремі показники внутрішньоклітинного обміну в осморегулюючих органах, виділяли субклітинні частки, зокрема мітохондрії, де протікають основні біосинтетичні і біоенергетичні процеси клітини. Для отримання мітохондрій тканину гомогенізували в гомогенізаторі з тефлоновим товкачиком при розведенні середовищем 1:7. Уламки клітин і ядра осаджували при 3000 об/хв – 5 хвилин. Виділення мітохондрій проводили при 12–14 тис. об/хв. Після двократного промивання мітохондрії розводили, виходячи зі співвідношення 0,2 мл середовища на вихідний грам тканини. Виділені з печінки риб мітохондрії містили 36–40 мг білка в 1 мілілітрі, а з зябер – 10–15 мг. З метою отримання життєздатних мітохондрій випробовували декілька середовищ виділення. За даними, для отримання мітохондрій тканин теплокровних тварин, в основному, застосовується концентрація сахарози 0,25–0,32 М.

Для отримання інтактних мітохондрій риб випробовували середовища виділення з концентрацією сахарози від 0,15 до 0,32 М з додаванням трис-буфера, ЕДТА або без них. За даними електронної мікроскопії і дихального контролю найбільш життєздатні мітохондрії отримано при використанні середовища виділення наступного складу: 0,20 М сахарози; 0,001 М трису; 0,001 М ЕДТА. Про активність  $\text{Na}^+\text{K}^+\text{Mg}^{2+}$ -аденозинтрифосфатази і лужної фосфатази судили за приростом неорганічного фосфору в середовищі інкубації, що складається з для аденозинтрифосфатази – 0,025 М трис – HCl; 0,1 М NaCl; 0,005 М  $\text{MgCl}_2$ ; 0,02 М KCl, 0,001 М АТФ. Час інкубації – 1 година

при визначенні активності ферменту в тканинних гомогенатах і 0,5 години – в мітохондріях; 2) для лужної фосфатази – з 2 мл 1% розчину  $\text{Na}$  в – гліцерофосфату, 0,5 мл 0,001 М  $\text{MgCl}_2$ . Час інкубації для тканин коропа 2 години.

Ферментативну активність виражали в мкг фосфору/мг білка/1 год.

Ліпідний і білковий фосфор визначали після екстракції їх хлороформ-етаноловою сумішшю з гомогенатів тканин або суспензії мітохондрій із спалювання в суміші сірчаної та азотної кислот; неорганічний фосфор – по М.Н. Кондрашовій, М.Н. Лесогоровій, С.Е. Шноль; аденінові нуклеотиди – методом електрофорезу на папері; загальний фосфор по Фіске і Субарроу; загальний кальцій – методом комплексонометричного або в атомно-абсорбційному спектрофотометрі. При вивченні в хронічних експериментах органічних механізмів регуляції обміну кальцію і фосфору використовувались поліфістульні риби, оперовані за методами, розробленими В.Д. Романенко, І.І. Коцарем (1976) і Т.Д. Малижевою (1961). Одержані матеріали оброблені статистично (Монцевичюте – Ерингене, 1964) [10].

**Постановка завдання.** Програмою досліджень було вивчення зміни концентрації іонів кальцію в мітохондріях печінки і зябер риб в умовах підвищеної його концентрації у водному середовищі 60, 100 і 200 мг/л. Завдання полягало в тому, щоб дослідити роль мітохондрій залозистих клітин зябер і печінки риб в процесі аклімації при підвищенні концентрації кальцію у воді та з'ясувати особливості накопичення його у риб, а також встановити участь цих субклітинних структур в механізмі регулювання внутрішньо-клітинного обміну кальцію.

**Результати досліджень.** Наші дослідження показали, що після перенесення коропів дворічного віку з водного середовища, що містить 100 мг/л кальцію, в середовище із 60,0 мг/л  $\text{Ca}^{2+}$ , його кількість в мітохондріях печінки і зябер знижувалась вже в перші дні аклімації, а до кінця 7-ї доби рівень катіона зменшився на 50–56% (таблиця). В динаміці фосфатів внутрішньоклітинних структур (за винятком першого дня досліджень, коли кількість його в мітохондріях перевищувала контрольний рівень) не відзначено статистично достовірних змін.

При аклімації риб в середовищі з підвищеною до 200 мг/л концентрацією кальцію в мітохондрії печінки і зябер було виявлено його різке накопичення. Так, вже через 24 години його вміст в мітохондріях залозистого апарату зябер зростав від 8,99 до 13,33 мкг/мг білка. Особливо різко підвищувався мітохондріальний вміст кальцію у риб на третю добу перебування їх в такому середовищі. При цьому вміст кальцію в мітохондріях зябер збільшився в порівнянні з умов-

ним контролем (100 мг/л) майже в 7 разів. Настільки значне накопичення кальцію інтактними мітохондріями залозистих клітин зябер свідчить про надзвичайно високу інтенсивність внутрішньоклітинного обміну цього іона у водних тварин і високу проникність їх клітинних мембран. Для порівняння зазначимо, що різке накопичення кальцію ізольованими мітохондріями теплокровних тварин, при якому на 1 мг мітохондріального білка доводилося 2,5 мкмоль кальцію, спостерігали лише в дослідах з інкубацією їх в спеціальних середовищах [8].

Таблиця

Вплив різних концентрацій кальцію у воді на його утримання в мітохондріях тканин риб (мкг/мг білка)

Доба досліді	Концентрація кальцію у воді, мг/л	Печінка		Зябра	
		М ± м	Відхилення від контролю, %	М ± м	Відхилення від контролю, %
1	100 (умовний контроль)	5,26±0,22		8,99±0,71	
	60	2,75±0,16*	-17,7	3,99±0,96*	-55,6
	200	4,66±0,37	-11,4	13,33±0,80*	+48,2
3	100 (умовний контроль)	4,08±0,52	-	9,06±1,20	-
	60	2,09±0,16*	-49,2	6,62±0,22*	-26,9
	200	8,16±0,50*	+100,6	68,85±1,31*	+659,9
7	100 (умовний контроль)	3,26±0,49		5,66±0,12	
	60	1,62±0,14*	-50,3	2,4±0,29*	-56,0
	200	3,77±0,39	+15,6	15,41±0,90*	+172,2

\* – результат достовірний

Висока інтенсивність внутрішньоклітинного обміну кальцію властива не лише зябрам, а й іншим залозистим утворенням риб. Про це може свідчити різке збільшення рівня кальцію в мітохондріях, виділених з печінки риб в процесі семидобової аклімації в середовищі з 200 мг/л кальцію (таблиця). Необхідно звернути увагу на те, що інтенсивність накопичення кальцію мітохондріями печінкових клітин була менш вираженою в порівнянні з такою ж в залозистих клітинах зябер. Так, максимальне підвищення вмісту кальцію в мітохондріях печінки, відмічене на третю добу перебування риб в такому середовищі, становило 8,16 мкг/мг білка, а в середовищі з 100 мг/л кальцію – 4,06 мкг/мг. Той факт, що мітохондрії залозистих клітин

зябер і печінки риб в процесі аклімації до підвищених концентрацій кальцію у воді накопичують його значні кількості, свідчить про участь цих субклітинних структур в механізмі регулювання внутрішньоклітинного обміну кальцію. Підтвердженням такого припущення може служити різке зменшення мітохондріального кальцію залозистих клітин зябер у риб, що містилися в середовищі з низьким рівнем катіона. Так, при зменшенні концентрації кальцію у воді зі 100 до 60 мг/л його кількості в мітохондріях зябер зменшувались на 55–56%. Аналогічна закономірність характерна для вмісту кальцію в мітохондріях клітин печінки. Вважають [1], що в екстремальних умовах мітохондрії тваринних клітин можуть накопичувати великі кількості кальцію, тим самим сприяючи збереженню внутрішньоклітинного гомеостазу.

Дослідження здатностей внутрішньоклітинного обміну кальцію у риб в процесі їх аклімації до підвищеного його вмісту у воді впливає і на ряд характерних закономірностей в обміні фосфору. Зокрема, накопичення значних кількостей кальцію в мітохондріях зябер супроводжує різке збільшення кількості загального і неорганічного фосфору. Так, із збільшенням кальцію в мітохондріях зябер від  $9,06 \pm 1,20$  до  $68,85 \pm 1,30$  мкг/мг білка (третя доба) вміст загального фосфору підвищувався від  $4,62 \pm 0,49$  до  $15,82 \pm 0,82$  мкг/мг білка.

**Висновки.** Наші дослідження довели, що із збільшенням часу перебування риб в середовищі з підвищеним вмістом кальцію відмічаються особливості його внутрішньоклітинного розподілу. Після закінчення семи діб перебування риб у воді з підвищеним рівнем кальцію (200 мг/л), в мітохондріях зябер його рівень хоча і перевищував вихідний, проте був нижчим зареєстрованого на третю добу максимального накопичення: на третю добу вміст мітохондріального кальцію був у 7,0 разів, а під кінець сьомої доби – у 2,5 рази вищий ніж при аклімації риб в середовищі із 100 мг/л кальцію. Ймовірно, що при тривалому перебуванні риб в середовищі з підвищеним вмістом кальцію змінюється проникність клітинних мембран зябер, в результаті чого зменшується внутрішньоклітинне його проникнення. Крім того, посилюється виведення кальцію з організму риб за рахунок органних механізмів, які регулюються гормональними впливами.

1. Романенко В. Д. Роль печени в обмене кальция и его значение в процессах желчеобразования : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Киев, 1969. 32 с.
2. Соломатіна В. Д., Пінкіна Т. В., Світельський М. М. Вплив температури підросування молоді різних видів риб на тканинний вміст фосфорорганічних макроергічних сполук. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2/2018. С. 79–88.
3. Соломатіна В. Д., Пінкіна Т. В., Світельський М. М., Федючка М. І. Зміни фосфорно-кальцієвого обміну у риб при їх тепловодному вирощуванні. *Вод-*

ні біоресурси та аквакультура. 1/2019. С. 51–62. DOI: 10.32851/wba.2019.1.5. **4.** Линник П. М., Жежеря В. А., Батог С. В. Екологічний стан водних об'єктів урбанізованих територій. Київські ставки. К. : Логос, 2015. 76 с. **5.** Романенко В. Д. Физиология кальциевого обмена. Киев : Наукова думка, 1975. 171 с. **6.** Соломатина В. Д., Зиньковский О. И., Потрохов А. С., Могилевич Н. А. Оценка роли аллохтонного азота в водоеме по изменению физиолого-биохимических показателей годовиков карпа. *Наук. записки Тернопільського нац. педуніверситету ім. В. Гнатюка*. 2005. 3 (26). С. 170–172. **7.** Babel-Guerin Elisne. Metabolisme du calcium et liberation de l'acetylcholine dans l'organe electrique de la Torpille. *J. Neurochem.* 1974. 23(3). P. 525–532. **8.** Girndt O., Henning H.V., Delling J. Corellation of calcium and acid-base metabolism. *Hormone and Metab. Res.* 1979. 11(10). P. 587–588. **9.** Isaia J., Masoni A. The effect of calcium and magnesium on water and ionic permeabilities in the sea water adapted eel. *Anguilla anguilla L. J. Comp. Physiol.* 1976. 109(2). P. 221–233. **10.** Коцар Н. Действие колебаний температуры и газового режима водной среды на энергообмен у сеголетков карпа. *Рыбное хозяйство*. 1980. 40. С. 5–8. **11.** Ленинджер А. Митохондрия. Москва : Мир, 1966.

## REFERENCES:

**1.** Romanenko V. D. Rol pecheni v obmene kaltsiya i ego znachenie v protsesah jelcheobrazovaniya : avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. Kiev, 1969. 32 s. **2.** Solomatina V. D., Pinkina T. V., Svitelskyi M. M. Vplyv temperatury pidroshchuvannia molodi riznykh vydiv ryb na tkanynnyi vmist fosfororhanichnykh makroerhichnykh spoluk. *Vodni bioresursy ta akvakultura*. 2/2018. S. 79–88. **3.** Solomatina V. D., Pinkina T. V., Svitelskyi M. M., Fediuchka M. I. Zminy fosforno-kaltsiievoho obminu u ryb pry yikh teplovodnomu vyroshchuvanni. *Vodni bioresursy ta akvakultura*. 1/2019. S. 51–62. DOI: 10.32851/wba.2019.1.5. **4.** Lynnyk P. M., Zhezheria V. A., Batoh S. V. Ekolohichni stan vodnykh obektiv urbanizovanykh terytorii. Kytaivski stavky. K. : Lohos, 2015. 76 s. **5.** Romanenko V. D. Fyzyolohyia kaltsyevoho obmena. Kyev : Naukova dumka, 1975. 171 s. **6.** Solomatyna V. D., Zynkovskyi O. Y., Potrokhov A. S., Mohylevych N. A. Otsenka roly allokhtonnoho azota v vodoeme po yzmenenyiu fyzyoloho-byokhymycheskykh pokazatelei hodovykov karpa. *Nauk. zapysky Ternopilskoho nats. peduniversytetu im. V. Hnatiuka*. 2005. 3 (26). S. 170–172. **7.** Babel-Guerin Elisne. Metabolisme du calcium et liberation de l'acetylcholine dans l'organe electrique de la Torpille. *J. Neurochem.* 1974. 23(3). P. 525–532. **8.** Girndt O., Henning H.V., Delling J. Corellation of calcium and acid-base metabolism. *Hormone and Metab. Res.* 1979. 11(10). P. 587–588. **9.** Isaia J., Masoni A. The effect of calcium and magnesium on water and ionic permeabilities in the sea water adapted eel. *Anguilla anguilla L. J. Comp. Physiol.* 1976. 109(2). P. 221–233. **10.** Kotsar N. Deystvie kolebaniy temperatury i gazovogo rejima vodnoy sredy na energoobmen u segoletkov karpa. *Ryibnoe hozyaystvo*. 1980. 40. S. 5–8. **11.** Lenindjer A. Mitohondriya. Moskva : Mir, 1966.

**Svitelskyi M. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor; Ishchuk O. V., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor; Fediuchka M. I., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor; Klymchyk O. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor (Zhytomyr National Agroecological University), Pryshchepa M. A., Lecturer-Methodologist, Lecturer of the Highest Category; Pylypchuk N. V., Lecturer-Methodologist, Lecturer of the Highest Category (Zhytomyr Agrotechnical College, Zhytomyr, svitmm71@ukr.net)**

### **INTRACELLULAR CALCIUM METABOLISM OF FISH UNDER HYPERCALCEMIC CONDITIONS OF THE AQUATIC ENVIRONMENT**

**Data on the fact that the processes of respiration in mitochondria are closely related to maintaining the concentration gradients of certain ions, in particular potassium, magnesium, and phosphate, are generalized. The process of calcium translocation through the mitochondrial membrane can occur only in the presence of ATP (adenosine triphosphate), magnesium ions and inorganic phosphorus. Studying phosphorus-calcium metabolism in fish, we used special methodological approaches that allow us to study the tissue, cellular and organ mechanisms of metabolic regulation, taking into account the characteristics of the living environment of organisms in the aquatic environment. In order to study the influence of phosphorus in the aquatic environment on individual indicators of intracellular metabolism in osmoregulatory organs, subcellular particles, in particular mitochondria, where the main biosynthetic and bioenergetic processes of the cell proceed, were isolated. The research program was to study changes in the concentration of calcium ions in the mitochondria of the liver and gills of fish under conditions of its increased concentration in the aquatic environment of 60, 100 and 200 mg/l. The task was to investigate the role of mitochondria of glandular cells of gills and liver of fish in the process of acclimation with increasing calcium concentration in water and to determine the peculiarities of its accumulation in fish, and also to establish the participation of these subcellular structures in the mechanism of regulation of intracellular calcium metabolism. It has been established that with an increase in the residence time of fish in an environment with a high content of calcium, features of its intracellular distribution are noted. After seven days of fish staying in water with a high level of calcium (200 mg/l), in the gill mitochondria, its level, although it exceeded the initial one, was lower than on the**



third day of maximum accumulation.

The main structural components of the cell are mitochondria. They play an important role in the energy supply of cells. They contain enzymatic systems that are involved in phosphorylation, respiration, glycolysis, biosynthetic processes, and ion transport. Respiratory processes in the mitochondria are closely linked to the maintenance of concentration gradients of certain ions, in particular potassium, magnesium, and phosphate. The ability of isolated mitochondria to bind calcium is established in warm-blooded animals. This process is closely related to cellular oxygen consumption. Moreover, each mole of mitochondrial protein can bind 130  $\mu\text{mol}$  of calcium, and each atom of absorbed oxygen accounts for 3 or more calcium ion. The process of calcium translocation through the mitochondrial membrane can occur only in the presence of ATP (adenosine triphosphate acid), magnesium ions and inorganic phosphorus.

There is a stoichiometric link between the accumulation of calcium by the mitochondria and the transfer of electrons, since energy released by oxidation of various substances is expended for the translocation of calcium through the mitochondrial membrane. Liver mitochondria can bind calcium in small quantities and in the absence of pronounced cellular respiration, but it is necessary to have a high concentration of ATP in the incubation medium and an active ATP-forming system.

Different anions (acetate, phosphate, etc.) can be transported in parallel with calcium in the mitochondria. However, in most cases, the major calcium anion is phosphate, which is presented as  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  mono anion, and its removal from incubation significantly reduces  $\text{Ca}^{2+}$  absorption. Calcium ions and phosphate anions are transported from the incubation medium in the same state (1:7) in which they are contained in hydroxyapatite, a bone mineral substance. A considerable number of anions in mitochondria are represented by phosphates: ATP, ADP, phosphoenolpyruvate. Calcium in mitochondria in ionic form is almost never found. It has been shown that in myxin muscle cells, 93% of calcium is bound. It forms phosphate compounds, accounting for about 20% of the dry weight of liver mitochondria. The mechanism of transfer of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  through the mitochondrial membrane is carried out by a single enzymatic system with the participation of mitochondrial ATPase. It is suggested that calcium ions can bind to the active center of ATPase and reduce its activity.

**Keywords:** phosphorus; calcium; mitochondria; gills; liver; fish.

**Свительский Н. М., к.с.-х.н., доцент, Ищук О. В., к.с.-х.н., доцент, Федючка Н. И., к.с.-х.н., доцент, Климчик О. Н., к.с.-х.н., доцент** (Житомирский национальный агроэкологический университет),  
**Прищепя М. А., преподаватель-методист, преподаватель высшей категории, Пилипчук Н. В., преподаватель-методист, преподаватель высшей категории** (Житомирский агротехнический колледж, г. Житомир, svitmm71@ukr.net)

### **ВНУТРИКЛЕТОЧНЫЙ ОБМЕН КАЛЬЦИЯ РЫБ ПРИ ГИПЕРКАЛЬЦЕМИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВОДНОЙ СРЕДЫ**

Обобщены данные о том, что с процессами дыхания в митохондриях тесно связано поддержание градиентов концентрации определенных ионов, в частности калия, магния, фосфата. Процесс транслокации кальция через митохондриальную мембрану может происходить только при наличии аденозинтрифосфатной кислоты (АТФ), ионов магния и неорганического фосфора. Изучая фосфорно-кальциевый обмен у рыб, использовали специальные методические подходы, которые позволяют изучать тканевые, клеточные и органные механизмы регуляции обмена веществ с учетом особенностей обитания организмов в водной среде. С целью изучения влияния фосфора водной среды на отдельные показатели внутриклеточного обмена в осморегулирующих органах, выделяли субклеточные частицы, в частности митохондрии, где протекают основные биосинтетические и биоэнергетические процессы клетки. Программой исследований было изучение изменения концентрации ионов кальция в митохондриях печени и жабр рыб в условиях повышенной его концентрации в водной среде 60, 100 и 200 мг/л. Задача состояла в том, чтобы исследовать роль митохондрий железистых клеток жабр и печени рыб в процессе акклимации при повышении концентрации кальция в воде и выяснить особенности накопления его у рыб, а также установить участие этих субклеточных структур в механизме регулирования внутриклеточного обмена на кальция. Установлено, что с увеличением времени пребывания рыб в среде с повышенным содержанием кальция отмечаются особенности его внутриклеточного распределения. После окончания семи суток пребывания рыб в воде с повышенным уровнем кальция (200 мг/л), его уровень в митохондриях жабр хотя и превышал исходный, однако был ниже чем на третьи сутки максимального накопления.

**Ключевые слова:** фосфор; кальций; митохондрии; жабры; печень; рыбы.