

Content of chemical elements in the liver of cattle with fasciolosis and dicrocoeliosis

O. V. Kruchynenko*, M. P. Prus**, M. V. Galat**, S. M. Mykhailiutenko*, O. S. Klymenko*, L. M. Kuzmenko*

*Poltava State Agrarian Academy, Poltava, Ukraine

**National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Article info

Received 14.01.2018

Received in revised form

22.02.2018

Accepted 27.02.2018

Poltava State Agrarian
Academy, Skovorody st., 1/3,
Poltava, 36003, Ukraine.

National University of Life
and Environmental Sciences
of Ukraine, Heroiv Oborony st.,
15/3, Kyiv, 03041, Ukraine.
Tel.: +38-099-062-64-96.

E-mail:
oleg.kruchynenko@pdaa.edu.ua

Kruchynenko, O. V., Prus, M. P., Galat, M. V., Mykhailiutenko, S. M., Klymenko, O. S., & Kuzmenko, L. M. (2018). Content of chemical elements in the liver of cattle with fasciolosis and dicrocoeliosis. Regulatory Mechanisms in Biosystems, 9(1), 15–22. doi: 10.15421/021803

The concentration of chemical elements (Pb, Cd, Cu, As, Zn, Hg, Fe, Co, Mn) in the liver of healthy cattle and those affected by *Fasciola hepatica* and *Dicrocoelium lanceatum* in Poltava region (central part of Ukraine) was determined. The research was carried out by the method of atomic and absorption spectrometry carried out at the Regional State Laboratory of Veterinary Medicine in Poltava region. The liver samples ($n = 30$) from healthy cattle black-and-white breed and those affected by *F. hepatica* and *D. lanceatum* were taken at the meat processing plant. The ages of the cattle ranged from 6 to 8 years. The samples were immediately cooled, transported to the laboratory and stored at -20°C for further analysis. The results of the research determined the average indicators of concentration of some toxic elements in the livers of healthy cattle and those infected by the trematodes. The content of chemical elements in the liver of healthy animals and those affected by fasciola can be represented in the form of a decreasing rank number: $\text{Zn} > \text{Fe} > \text{Cu}$, and for dicrocoeliosis, respectively, $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu}$. It has been established that Cu and Zn are involved in the metabolic processes of the body of trematodes, which is confirmed by our research. The presence of *F. hepatica* and *D. lanceatum* in the body of cattle significantly reduces the level of copper and zinc, with a high inverse correlation dependence on the intensity of infection, thus indicating the possibility of their accumulation by helminths. Concentration of Cu and Zn in the liver of cattle with fasciolosis was 6.82 ± 0.29 and 35.77 ± 1.93 mg/kg, while for animals with dicrocoeliosis it was 3.90 ± 0.25 and 41.91 ± 2.22 mg/kg. The content of cobalt and manganese in the liver of healthy animals was, respectively, 0.05 ± 0.01 and 1.95 ± 0.06 mg/kg. In the case of *Fasciola* parasitising in the liver tissue, the level of cobalt (0.10 ± 0.02) and manganese (2.55 ± 0.16) significantly increased, positively correlating with the intensity of the infection, indicating no effect on the exchange and bioaccumulation of these elements by helminths.

Keywords: microelements; heavy metals; correlation; *Fasciola hepatica*; *Dicrocoelium lanceatum*

Вміст хімічних елементів у печінці великої рогатої худоби за фасціольозу та дикроцеліозу

О. В. Кручиненко*, М. П. Прус**, М. В. Галат**,
С. М. Михайлютенко*, О. С. Клименко*, Л. М. Кузьменко*

*Полтавська державна аграрна академія, Полтава, Україна

**Національний університет біоресурсів та природокористування України, Київ, Україна

На території Полтавської області (центральна частина України) визначено концентрацію хімічних елементів (Pb, Cd, Cu, As, Zn, Hg, Fe, Co, Mn) у печінці великої рогатої худоби від здорових тварин і уражених *Fasciola hepatica* та *Dicrocoelium lanceatum*. Дослідження проведено методом атомно-абсорбційної спектроскопії на базі Регіональної державної лабораторії ветеринарної медицини в Полтавській області. На м'ясокомбінаті відбирали зразки печінки ($n = 30$) від здорових корів чорно-рябої породи та уражених *F. hepatica* та *D. lanceatum*. Вік великої рогатої худоби – 6–8 років. Зразки негайно охолоджували, транспортували в лабораторію та до подальшого аналізу зберігали за -20°C . Встановлено середні показники концентрації окремих хімічних елементів у печінці здорових та інвазованих трематодами тварин. Уміст хімічних елементів у печінці здорових тварин і уражених фасціолами можна навести у вигляді спадного ранжувального ряду: $\text{Zn} > \text{Fe} > \text{Cu}$, а за дикроцеліозу – $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu}$. Мідь та цинк беруть участь в обмінних процесах організму трематод, що підтверджується нашими дослідженнями. Присутність *F. hepatica* та *D. lanceatum* в організмі великої рогатої худоби достовірно знижує рівень міді та цинку, маючи високу зворотну кореляційну залежність від інтенсивності інвазії. Концентрація Cu та Zn у печінці за фасціольозу складає $6,82 \pm 0,29$ і $35,77 \pm 1,93$ мг/кг, а за дикроцеліозу – $3,90 \pm 0,25$ та $41,91 \pm 2,22$ мг/кг. Вміст кобальту та марганцю у печінці здорових тварин становить, відповідно, $0,05 \pm 0,01$ і $1,95 \pm 0,06$ мг/кг. За паразитування фасціол у тканині печінки достовірно підвищується рівень кобальту ($0,10 \pm 0,02$) та марганцю ($2,55 \pm 0,16$), позитивно корелюючи з інтенсивністю інвазії, що свідчить про відсутність впливу на обмін та біоаккумуляцію гельмінтами цих елементів.

Ключові слова: мікроелементи; важкі метали; кореляція; *Fasciola hepatica*; *Dicrocoelium lanceatum*

До незамінної групи речовин, що виконують важливі біологічні функції, відносять мікро- та макроеlementи. Ці мінеральні речовини мають високу біологічну активність, містяться у продуктах харчування, питній воді, тканинах людини та тварини. Мідь, кобальт, цинк, марганець, залізо беруть участь майже в усіх біологічних процесах, що відбуваються у тканинах організму, та мають досить специфічну дію (Ekici et al., 2004; Mohammadifard et al., 2017). Мідь виступає необхідним компонентом дихального ферменту цитохромоксидази. За відсутності хімічних елементів неможливі: дихання, утворення крові, білковий, вуглеводний та жировий обмін (Minatel & Carfagnini, 2002; Stern, 2010).

Кобальт бере активну участь у ферментативних процесах організму (Orjales et al., 2017). Відмічено його гальмівний вплив на окисно-відновні процеси, він знижує активність цитохром- і холін-оксидази, каталази крові, активує дипептидазу, аргіназу, кісткову та кишкову фосфатази (Leskinen et al., 2016).

Біологічна роль цинку пов'язана з вуглеводним обміном. Цей мікроelement разом із ферментами, гормонами та вітамінами впливає на фундаментальні життєві процеси: розмноження, ріст і розвиток організму, обмін білків, жирів, окисно-відновні процеси та енергетичний обмін (Grosskopf et al., 2017).

Марганець – незамінний element для життя рослин і тварин. Він стимулює синтез холестерину та жирних кислот, виявляючи тим самим гіпотрофну дію. Крім впливу на процеси кровотворення, марганець впливає на антилігеноз, прискорюючи утворення антитіл. Більшість елементів, у тому числі Mn, має характерний для нього діапазон безпечної експозиції (Botle et al., 2004; Griffiths et al., 2007; Bowman et al., 2011).

В організмі тварин ферум присутній в усіх тканинах, проте найбільша його частина зосереджена в кров'яних тілах. Атоми заліза займають центральне положення в молекулах гемоглобіну, завдяки чому останні можуть приєднувати та відщеплювати кисень (Hansch & Mendel, 2009). Недостатнє надходження перерахованих елементів до організму з кормами чи неповне засвоєння у разі захворювань супроводжуються патологічними змінами, викликає дисбаланс мінеральних речовин, порушення обмінних процесів, зниження якості продукції (Berger, 2005; Dermauw et al., 2013; Alzaheb & Al-Ameri, 2017).

До мікроelementів належать також важкі метали, які акумулюються в різних наземних і водних екосистемах. Вони – невід'ємна складова рослин, організму тварин і людей, оскільки багато сполук цих елементів входять до складу вітамінів, гормонів та різних тканин (Kabata-Pendias, 2004; Tchounwou et al., 2012; Ramos et al., 2014). Однак надмірне накопичення цих елементів викликає тяжкі наслідки, навіть захворювання (Zeng et al., 2016).

Відомо, що важкі метали стають високотоксичними у разі підвищення їх порогових концентрацій. Індивідуальна потреба живих організмів у цих елементах мізерна, а надходження із зовнішнього середовища їх надлишкових кількостей спричиняє порушення функцій різних органів та їх систем. Кадмій в організмі активує цинкзалежні ферменти, входячи до складу деяких білків, бере участь у метаболізмі заліза, міді та кальцію, впливає на вуглеводний обмін. Разом із цим особливої необхідності в його надходженні немає, що підтверджено дослідженнями: згодовування бугайцям хлориду кадмію у дозах 0,03 і 0,05 мг/кг маси тіла протягом 30 діб спричинило розвиток хронічного кадмієвого токсикозу. Задавання з кормом хлориду кадмію у дозі 0,05 мг/кг зумовило вірогідне зниження рівня неензимної та ензимної системи антиоксидантного захисту організму тварин, на що вказує зниження активності супероксиддисмутази, каталази, глутатіонпероксидази, вмісту відновленого глутатіону, селену, вітамінів А та Е в їх крові (Gutj et al., 2016). За даними Lazarus et al. (2008), кадмій належить до найтоксичніших речовин, що мають властивість накопичуватися. Період його напіввиведення коливається в межах 10–35 років. Цей element накопичується в нирках, печінці, трубчастих кістках, підшлунковій залозі, селезінці та інших тканинах і органах, спричиняє підвищення тиску, порушення роботи нервової системи,

легень, нирок та появу злоякісних новоутворень (Skalny, 2004). Свинцеві досить повільно виводяться з організму, переважно з калом і сечею. Він стимулює процеси росту та відновлення тканин; бере участь у процесах обміну кальцію та заліза; регулює вміст гемоглобіну у крові; активує або пригнічує активність деяких ферментів. Однак вже у разі потрапляння 1 мг свинцю в організм реєструється його передозування, що спричиняє захворювання кісток, гіпертонію, анемію, атеросклероз, виснаження, ниркову недостатність, послаблення імунітету, зниження рівня мікро- та мікроelementів та інші патології. Основні органи накопичення катіонів свинцю – нирки та мозок (Shefa & Héroux, 2017).

Арсен поліпшує кровотворення, регулює засвоєння азоту та фосфору, чинить послаблювальну дію на окисні процеси, взаємодіє з деякими групами білків, а також із цистеїном, глутатіоном, ліпосою кислотою; бере участь у ферментативних реакціях, діє як замітник фосфату (Datta et al., 2010). Перевищення порогової концентрації елемента спричиняє дратівливість, алергію, екзему, дерматити, виразки, кон'юнктивіти. Також уражається дихальна система, відмічається порушення функції печінки. Реєструють підвищення ризику виникнення онкологічних захворювань, пригнічення функцій нервової системи. Токсична доза в діапазоні 5–50 мг/доба, а збільшення до 50 мг і вище може призвести до летальних наслідків (Skalny, 2004; Datta et al., 2012).

За останні роки зросли викиди токсичних елементів у довкілля різних країнах світу. Забруднення навколишнього природного середовища важкими металами стало глобальною проблемою. До головних факторів, що спричинили загрозливий стан довкілля, відносять застарілу технологію виробництва у промисловості, несучасне обладнання, низький рівень упровадження ресурсо- та енергозощаджувальних, екологічно чистих технологій; високий рівень концентрації промислових об'єктів; відсутність належних природоохоронних систем; низький рівень експлуатації існуючих природоохоронних об'єктів; відсутність належного правового та економічного механізмів регулювання; прогресуючу урбанізацію населення, розростання гігантських мегаполісів, відсутність належного контролю за охороною довкілля, виверження вулканів (Davydova, 2005; Shakir et al., 2017).

Екологічні наслідки таких геохімічних змін привертають увагу, оскільки, на відміну від інших речовин, що забруднюють середовище, метали у природних умовах не руйнуються, а лише змінюють форму знаходження залежно від низки факторів. Крім того порушується природний кругообіг хімічних елементів (Sokolenko & Sokolenko, 2015).

Тому, інтерес до концентрації токсичних елементів у живих організмах зріс (Li et al., 2015). Відомості про вміст важких металів і особливості їх локалізації у тканинах тварин, птиці, безхребетних мають велике практичне значення (Gašparik et al., 2010; Ihedioha & Okoye, 2013; Brygadyrenko & Ivanyshyn, 2015). Актуальність моніторингу полягає в тому, що надходження значної частини токсичних елементів в організм людини в основному відбувається за ланцюгом «грунт – рослина (корм, раціон) – тварина – продукт тваринництва – людина» (Roggeman et al., 2014; Sachko et al., 2016).

Для визначення особливостей розташування вмісту важких металів у живих організмах, знаючи їх властивість до акумуляції, науковці дослідили тварин-біоіндикаторів. Вони дозволяють визначити ступінь небезпеки тих або інших речовин для живої природи та людини; дають можливість контролювати дію будь-яких металів, сполук тощо. До переваг «живих індикаторів» відносять можливість оцінити стан популяції в цілому, включаючи токсичні елементи та антропогенні фактори. Вони показують тенденції, швидкість змін, співвідношення, що відбуваються в навколишньому середовищі, вказують на шляхи та місця накопичення в екосистемах важких металів (López Alonso et al., 2002; Yarsan et al., 2014).

Аналіз показників накопичення токсичних елементів у тваринах-індикаторах дозволяє дати санітарну характеристику стану середовища відносно факторів промислового забруднення, оцінити ступінь ризику від дії нових антропогенних чинників у біосфері та, відповідно, скласти коротко- та довгострокові прогнози зміни екології (Saltykova, 2011; Peterson & Schulte, 2016). Біомоніторинг

гу важких металів в органах і тканинах риб присвячено праці Le et al. (2016) та Javed & Usmani (2016). Доступні літературні дані свідчать також і про акумуляцію важких металів паразитами риб, що локалізуються в її різних органах (Nachev et al., 2010; Bayoumy et al., 2015; Hassan et al., 2016). Автори доводять, що паразити здатні накопичувати важкі метали в концентраціях, які у багато разів вищі, ніж у тканинах господаря (Sures, 2004; Leite et al., 2017; Sures et al., 2017). Через здатність паразита до біоаккумуляції важких металів у своїй системі вони можуть служити потенційними показниками якості навколишнього середовища (Nachev & Sures, 2016; Vidal-Martinez & Wunderlich, 2017). Акантоцефали – найбільш вивчена група паразитів у водних екотоксикологічних дослідженнях (Sures et al., 1997; Podolska et al., 2016). Представники інших видів гельмінтів вивчені меншою мірою.

Тому мета цієї статті – визначити вміст токсичних елементів у печінці великої рогатої худоби за фасціольозу та дикроцеліозу.

Матеріал і методи досліджень

Дослідження проводили на базі Регіональної державної лабораторії ветеринарної медицини в Полтавській області, яка акредитована Національним агентством з акредитації України (НААУ). На м'ясокомбінаті відібрано зразки печінки ($n = 30$) від здорових корів чорно-рябої породи та уражених *F. hepatica* та *D. lanceatum*. Вік великої рогатої худоби становив 6–8 років. Зразки негайно охолоджували, транспортували у лабораторію та до подальшого аналізу зберігали за температури -20°C .

Вміст міді, цинку, кадмію, свинцю, заліза, кобальту та марганцю визначали методом атомно-абсорбційної спектроскопії з атомізацією у полум'ї атомно-абсорбційного спектрофотометра Varian AA 240-FS (ГОСТ 30178-96). Рівень миш'яку визначали за допомогою спектрофотометра Cary 50 та фотоелектроколориметра КФК-2 (ГОСТ 26930-86). Концентрацію ртуті визначали за допомогою аналізатора ртуті DMA-80 (EPA Method 7473 "Mercury in solids and solutions by thermal decomposition amalgamation, and atomic absorption spectrophotometry" & ISO 11212-2:1997(E) Part 2 "Determination of mercury content by atomic absorption spectrometry"). Гранично допустимий вміст токсичних елементів узятो згідно з наказом Державного департаменту ветеринарної медицини № 107 від 27.09.2004 року.

Статистичне опрацювання отриманих результатів проводили з використанням програми Statistica 10 (StatSoft Inc., USA, 2011). Усі параметри розглядали як непараметричні дані, виражали як середнє значення $\pm$ SE (стандартна помилка). Для попарного порівняння результатів використовували критерій Манна – Уїтні. Значущими вважали відмінності між показниками у групах за $P < 0,05$. Коефіцієнт кореляції Спірмена (r_s) застосовували для визначення залежності між змінними: інтенсивністю інвазії та концентраціями мікроелементів у печінці.

Результати

Установлено концентрації хімічних елементів (Pb, Cd, Cu, As, Zn, Hg, Fe, Co, Mn) у досліджених зразках печінки великої рогатої худоби. Проаналізовано вміст цих металів у печінці агельмінтних тварин і уражених фасціолами та дикроцеліями. Концентрація миш'яку та ртуті в усіх дослідних зразках не перевищувала гранично допустимі норми та не мала достовірної різниці. Встановлено перевищення вмісту міді у здорових тварин ($27,3 \pm 5,0$ мг/кг) порівняно з гранично допустимою концентрацією, що свідчило про надмірне його надходження з кормом. За паразитування трематод концентрація міді у печінці достовірно знижувалася. Її рівень у досліджених зразках за наявності фасціол становив $6,82 \pm 0,29$ мг/кг, а за дикроцеліозу – $3,90 \pm 0,25$ мг/кг ($P < 0,0001$).

Одержані результати свідчать, що вміст свинцю не перевищував гранично допустимі концентрації в усіх пробах. У печінці за відсутності збудників паразитарних хвороб його концентрація становила $0,19 \pm 0,01$, тоді як в органі за ураження фасціолами сягала $0,23 \pm 0,01$ мг/кг. Слід зазначити, що за ураження печінки

дикроцеліями, навпаки, реєстрували зниження вмісту Pb до $0,14 \pm 0,01$ ($P < 0,004$) порівняно з контролем. Концентрація кадмію у печінці здорових тварин (група H) складала $0,122 \pm 0,006$ мг/кг, у хворих на фасціольоз (група F) – $0,057 \pm 0,007$ мг/кг ($P < 0,0002$), на дикроцеліоз (група D) – $0,037 \pm 0,003$ мг/кг ($P < 0,0001$). У зразках органа агельмінтної великої рогатої худоби вміст цинку становив $94,3 \pm 2,5$ мг/кг. У хворих на фасціольоз і дикроцеліоз жуйних цей показник достовірно ($P < 0,0001$) знижувався ($35,8 \pm 1,9$ та $41,9 \pm 2,2$ мг/кг, відповідно). Вміст заліза також зменшувався у другій та третій групі: концентрація цього елемента у групі F складала $34,2 \pm 2,1$ мг/кг ($P < 0,0001$), а у групі D – $52,6 \pm 0,6$ мг/кг, порівняно з показником контрольної групи – $55,9 \pm 1,4$ мг/кг (рис. 1).

Таким чином, концентрація у печінці кадмію, міді, цинку та заліза за ураження трематодами нижча, ніж у контрольній групі. Крім перерахованих елементів, достовірно знижується у групі D також вміст свинцю. За результатами досліджень (табл. 1), у печінці великої рогатої худоби, ураженої фасціолами та дикроцеліями, відбулося достовірне відносно контрольної групи підвищення концентрації кобальту до $0,103 \pm 0,015$ ($P < 0,1$) та $0,143 \pm 0,009$ мг/кг ($P < 0,0001$) та марганцю до $2,547 \pm 0,160$ ($P < 0,004$) та $2,210 \pm 0,078$ мг/кг ($P < 0,100$). Вміст кобальту та марганцю у печінці здорових тварин становив, відповідно, $0,049 \pm 0,009$ та $1,951 \pm 0,060$ мг/кг.

Таблиця 1

Оцінка різниці показників між двома вибірками за порівняння груп H та F і H та D ($n = 10$, U-тест Манна – Уїтні)

Дослід- жувані елементи	z-значення за порівняння груп H та F	P value за порівняння груп H та F	z-значення за порівняння груп H та D	P value за порівняння груп H та D
Pb	-1,58745	0,1124	2,8725	0,0040
Cd	3,6662	0,0002	3,7418	0,0001
Cu	3,7418	0,0001	3,7418	0,0001
Zn	3,7418	0,0001	3,7418	0,0001
Hg	3,7418	0,0001	-1,8142	0,0696
Fe	3,7418	0,0001	1,8142	0,0696
Co	-2,5323	0,0113	-3,7418	0,0001
Mn	-2,8725	0,0040	-2,4945	0,0126

У печінці здорових тварин ранжувальний ряд за рівнем хімічних елементів представлений таким чином: $\text{Zn} > \text{Fe} > \text{Cu}$ та $\text{Mn} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Co}$ у співвідношенні $3,45 : 2,05 : 1,00$ й $39,82 : 3,96 : 2,49 : 1,00$, відповідно. У досліджуваному органі спостерігали високий вміст цинку та низький – кобальту. Концентрацію арсену та ртуті не брали до уваги, оскільки ці показники в усіх дослідних зразках достовірно не корелювали. Разом із цим, вміст токсичних елементів у печінці великої рогатої худоби, ураженої фасціолами, можна навести у вигляді спадних ранжувальних рядів: $\text{Zn} > \text{Fe} > \text{Cu}$ у співвідношенні $5,23 : 5,02 : 1,00$ та $\text{Mn} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Cd} - 44,68 : 3,96 : 1,81 : 1,00$. У печінці корів, уражених збудником дикроцеліозу, ранжувальний ряд мав іншу послідовність: $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu}$ та $\text{Mn} > \text{Co} > \text{Pb} > \text{Cd}$, з таким співвідношенням: $13,49 : 10,75 : 1,00$ та $59,73 : 3,86 : 3,73 : 1,00$.

Інтенсивність фасціольозної інвазії (II) в середньому становила $43,4 \pm 6,41$ екз./гол. (min–max: 19–74). У групі D, відповідно, $\text{II} = 42,6 \pm 6,5$ екз./гол. (min–max: 16–87).

Підррахунок коефіцієнта кореляції хімічних елементів підтвердив високу залежність вмісту міді, цинку, кобальту та марганцю від інтенсивності фасціольозної інвазії та кількості міді та цинку – від дикроцеліозної (табл. 2). Установлено також, що концентрація свинцю мала високу пряму кореляційну залежність від інтенсивності фасціольозної ($P < 0,05$) та високу обернену – від інтенсивності дикроцеліозної інвазії ($P < 0,05$). Рівень кадмію позитивно корелював із присутністю трематод роду *Fasciola*, негативно – за дикроцелії, але не мав достовірної залежності. Вміст кобальту та марганцю залежав лише від інтенсивності фасціольозної інвазії з найвищими коефіцієнтами кореляції ($P < 0,05$).

Як видно з таблиці 2, коефіцієнти кореляції концентрації ртуті у печінці тварин груп F і D не мали достовірної різниці. Показники вмісту цинку мали високу обернену кореляційну залежність від інтенсивності фасціольозної ($P < 0,05$) та дикроцеліозної ($P <$

0,05) інвазій. Концентрація міді обернено залежала від присутності фасціол ($P < 0,05$) та дикроцелій ($P < 0,05$). Вміст заліза достовірно не корелював з показниками ураження трематодами.

Проведені дослідження свідчать, що паразитування фасціол достовірно підвищує у печінці тварин рівень свинцю, кобальту та марганцю, позитивно корелюючи з інтенсивністю інвазії; знижує вірогідно концентрацію міді та цинку з високою оберненою кореляційною залежністю від інтенсивності інвазії. Встановлено обернено достовірний кореляційний зв'язок між вмістом свинцю, міді, цинку та показником кількості дикроцелій у печінці хворих тварин.

Таблиця 2

Кореляція між інтенсивністю трематодозних інвазій та вмістом хімічних елементів

Групи, n = 10	Pb	Cd	Cu	Zn	Hg	Fe	Co	Mn
Коефіцієнт кореляції (r_s) групи F	0,76*	0,60	-0,85*	-0,70*	0,53	-0,54	0,91*	0,79*
Коефіцієнт кореляції (r_s) групи D	-0,72*	-0,47	-0,81*	-0,84*	0,42	-0,24	0,59	0,25

Примітка: * – $P < 0,05$.

Обговорення

Ми дослідили вміст хімічних елементів у печінці великої рогатої худоби, ураженої збудниками фасціоліозу та дикроцеліозу, на території Полтавської області (центральна частина України). Виявлено різні концентрації мікроелементів, важких металів і токсичних елементів у дослідних зразках. Порівнюючи їх вміст у печінці здорових та інвазованих трематодами тварин, установили, що рівень мінеральних елементів у досліджуваному органі змінювався за присутності паразитів. Водночас концентрація арсену та ртуті в усіх дослідних зразках не перевищувала гранично допустимі норми.

Серед металів, що відносно рівномірно розподіляються в організмі, зазвичай реєструється найвищий їх вміст в органах, де зосереджені інтенсивні біохімічні процеси: у печінці, залозах внутрішньої секреції, нирках (López-Alonso et al., 2000; Suttle, 2010; Nwude et al., 2011). Дослідники повідомляють (Jarzyńska & Falandysz, 2011), що печінку слід розглядати як потужне джерело таких мікроелементів, як Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Se і Zn, які накопичуються в організмі жуйних тварин у межах трофічного ланцюга.

Автори наголошують, що печінка великої рогатої худоби стає потенційно небезпечним органом для здоров'я людей у разі акумуляції в ньому важких металів. Крім того, науковці зазначають, що виявлення концентрації одного металу може свідчити про рівень накопичення іншого (Nwude et al., 2011). На думку науковців, печінка акумулює максимальну кількість таких мікроелементів як Cu, Mn і Md, тому її використовують як орган-мішень для виявлення цих металів (Oupak et al., 2017). Про важливість дослідження печінки та нирок у тварин на вміст елементів задля оцінювання забруднення навколишнього середовища повідомляє низка дослідників (Pařlack et al., 2014; López-Alonso et al., 2017). Автори рекомендують визначати в цих органах Sr, Ba, Cd, Cu, Zn, Mn, Cr, Sb, Se та Pb.

Результати наших досліджень свідчать, що присутність фасціол достовірно підвищує вміст кобальту у печінці тварин на 52,4%. Це положення підтверджують інші автори. Зокрема, російські дослідники у хворих на опісторхоз людей виявляли підвищене накопичення у тканинах печінки хрому, ртуті, цезію, лантану та кобальту (Il'inskikh et al., 2006). Під час дослідження кормових добавок у щурів, уражених фасціолами, дослідники встановили, що рівні марганцю та кобальту у печінці суттєво не змінюються і залежать від форми захворювання: за гострої стадії кількість марганцю підвищувалась, а за хронічної – незначно знижувалась (Tsosheva-Gaitandjieva et al., 2002). Це збігається з результатами наших досліджень, якими встановлено, що рівень марганцю, маючи позитивну кореляцію з інтенсивністю інвазії, підвищувався у хворих на фасціоліоз на 23,4%. Водночас у тварин, уражених дикроцеліями, вміст марганцю та кобальту не

мав кореляційної залежності. Зміни вмісту кобальту, міді, цинку та магнію відмічали турецькі вчені у дітей, хворих на лямбліоз і ентеробіоз (Culha & Sangün, 2007).

Проведені нами дослідження також встановили, що паразитування фасціол сприяло достовірному зниженню концентрації заліза у печінці тварин до $34,2 \pm 2,1$ мг/кг, маючи високу обернену кореляційну залежність від інтенсивності інвазії. Інші дослідники також повідомляють про зменшення рівня заліза у сироватці крові хворих на фасціоліоз тварин (Lotfollahzadeh et al., 2008). Про кореляційну залежність вмісту мікроелементів у тканинах організму та сироватки крові повідомляє Petukhova (2013), що свідчить про високу інформативність рівня мікроелементів у печінці тварин.

Minguez et al. (2011) зазначають, що аналіз концентрації мікроелементів у безхребетних в окремих екосистемах може слугувати індикатором забруднення навколишнього середовища. Інші науковці доводять, що паразити хребетних організмів накопичують мікроелементи з навколишнього середовища. Отже, дослідження вмісту мікроелементів у їх тканинах може свідчити про рівень забруднення того регіону, де перебувала тварина (Nachev & Sures, 2016). За даними Suleyman et al. (2006), елементи, що беруть участь в обмінних процесах організму – магній (Mg), цинк (Zn), мідь (Cu) – здатні накопичуватися у *F. hepatica* та *D. dendriticum*.

Згідно з нашими дослідженнями, присутність фасціол достовірно знижує рівень купруму у печінці хворих тварин учетверо, за дикроцеліозу – усемеро порівняно з агельмінтними тваринами ($P < 0,0001$). Інші автори подібну тенденцію пояснюють накопиченням міді, цинку та заліза самими гельмінтами. Іранські дослідники наводять дані щодо акумуляції міді фасціолами, тому це дає можливість використання трематоди роду *Fasciola* як маркерів забруднення навколишнього середовища важкими металами (Lotfy et al., 2013). У той же час автори зазначають, що коефіцієнт біоконцентрації міді у *D. lanceatum* найвищий серед порівнюваних видів трематод, що узгоджується нашими даними, оскільки вміст купруму у печінці хворих на дикроцеліоз був мінімальним. Про те, що *F. gigantica* – хороший біоаккумулятор міді та цинку, повідомляють Acosta et al. (2017).

Нашими дослідженнями встановлено, що рівень цинку, маючи високу обернену кореляційну залежність ($r_s = -0,70$ та $-0,84$, $P < 0,05$) від інтенсивності фасціоліозної та дикроцеліозної інвазії, становив $35,77 \pm 1,93$ та $41,91 \pm 2,22$ мг/кг, що значно нижче, ніж у здорових тварин ($94,28 \pm 2,49$ мг/кг). Враховуючи думку наведених авторів, можна стверджувати, що трематоли добре накопичують і цинк (Lotfy et al., 2013; Acosta et al., 2017).

Проведено низку досліджень (Nachev et al., 2013), в яких вивчено, що кишкові паразити накопичують в основному токсичні елементи (кадмій, арсен, свинець), а тканинні – основні біологічно важливі для організму тварин (мідь, залізо, селен та цинк). Паразити шлунково-кишкового каналу конкурують за поживні речовини та метали з навколишніми тканинами, можливо в результаті переривання ентогенепатичного циклу. Метали, пов'язані з жовчю, поглинаються в кишечнику гельмінтами і не доступні для реабсорбції кишечником (Thielen et al., 2004). Зокрема, турецькі вчені встановили, що за паразитування кишкових нематод у дрібних жуйних у сироватці крові концентрація марганцю та заліза нижча за норму, а вміст цинку та кальцію перебував на нижній фізіологічній межі. У той же час кількість кадмію підвищувалася та мала позитивну кореляцію з інтенсивністю інвазії (Unubol Ayrak et al., 2016).

За даними Brázová et al. (2015), вміст мікроелементів у тканинах паразита та господаря залежить від характеру (моно- чи полі-) та інтенсивності інвазії. Інші дослідники зазначають, що біоаккумуляція паразитами мікроелементів залежить від виду металу та гельмінта. Зокрема, Lotfy et al. (2013) зазначають, що коефіцієнт біотрансформації хрому перебував на вищому рівні у *F. hepatica*, а цинку – у *F. gigantica*. Під час досліджень головня європейського концентрації Cu, Mn, Ag, Cd, Pb мали вищі значення у кишкових паразитів, порівняно із тканинами шлунково-кишкового каналу, а рівні металів Fe та Zn були нижчими у паразитів відповідно (Marjić et al., 2013). Пізні профілі накопичення важких металів гельмін-

тами вчені пов'язують зі специфічністю мікробіотів, морфологією кутикули та міжвидовою конкуренцією. Накопичення важких ме-

талів залежить також від пори року та погодних умов (Mazhar et al., 2014; Nachev & Sures, 2016).

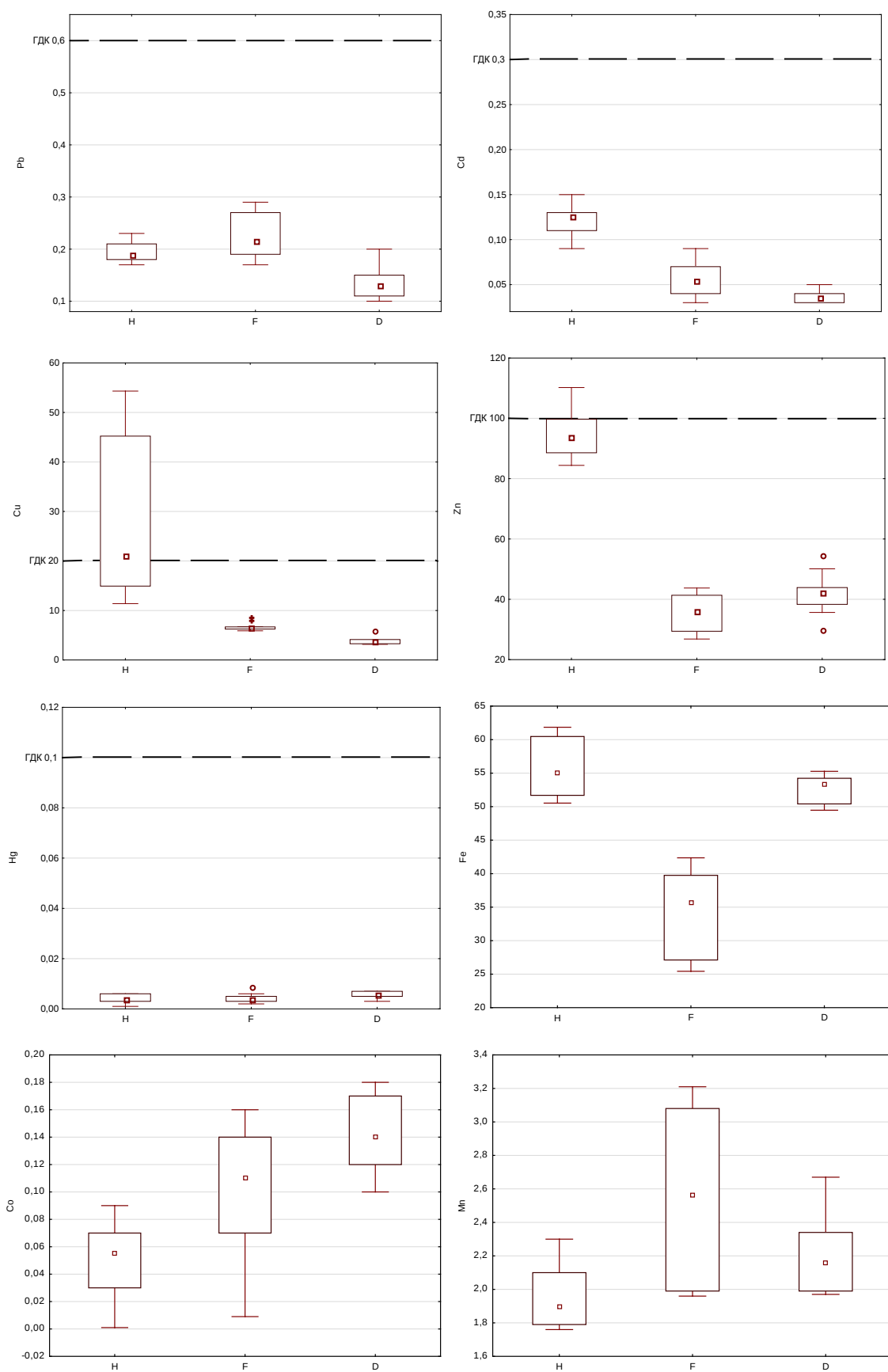


Рис. 1. Вміст (мг/кг) Pb, Cd, Cu, Zn, Hg, Co, Mn і Fe у печінці агельмінтних (H), уражених фасціолами (F) та дикроцеліями тварин (D): ГДК – гранично допустима концентрація

Про біоаккумуляцію металів у тканинах гельмінтів повідомляють також Sures et al. (1998), які вивчали накопичення Pb й Cd у *F. hepatica*. За даними Sures et al. (1998), які вивчали коефіцієнт біоаккумуляції свинцю та кадмію, встановлено більшу здатність до накопичення саме *F. hepatica*. Вони вказують, що марити трематод накопичували свинець до концентрації, що значно перевищувала таку у м'язах, нирках і печінці спонтанно заражених тварин. Розрахований нами коефіцієнт кореляції між інтенсивністю фасціольозної інвазії та рівнем свинцю становив ($r_s = 0,76$, $P < 0,05$), що свідчило про високу позитивну залежність. У той же час, за паразитування дикроцелій, зареєстровано високу обернену кореляційну залежність між П та вмістом Pb ($r_s = -0,72$, $P < 0,05$). Різницю між нашими результатами та результатами авторів можна пояснити відносно невеликим розміром вибірки (непараметричні дані).

Разом із тим, Sures et al. (1998) доводять, що серед важких металів, саме вміст кадмію вищий у тканинах великої рогатої худоби, але нижчий у паразита. Аналогічні результати отримано під час наших досліджень. Установлено низьку концентрацію кадмію у печінці хворих на фасціольоз і дикроцеліоз тварин порівняно з контрольною групою ($P < 0,0002$; $P < 0,0001$). Інші важкі метали не виявили кореляційної залежності від інтенсивності ураження трематодами.

Висновки

З'ясовано середні показники концентрації деяких хімічних елементів у печінці здорової великої рогатої худоби. Розподіл хімічних елементів за вмістом в агельмінтних тварин можна навести у вигляді спадного ранжувального ряду $Zn > Fe > Cu > Mn > Pb > Cd > Co$. Доведено, що наявність трематод викликає перерозподіл хімічних елементів у тканинах печінки. За паразитування фасціол у тканині печінки достовірно підвищується рівень кобальту та марганцю, позитивно корелюючи з інтенсивністю інвазії. Це свідчить про відсутність впливу на обмін та біоаккумуляцію гельмінтами цих елементів. Присутність фасціол і дикроцелій в організмі великої рогатої худоби достовірно знижує рівень міді та цинку, маючи високу обернену кореляційну залежність від інтенсивності інвазії, вказуючи тим самим на можливість накопичення їх трематодами.

Ми висловлюємо слова вдячності офіційному лікарю ветеринарної медицини у Полтавській області С. М. Канівцю за допомогу у відбиранні зразків для досліджень і завідувачу хіміко-токсикологічного відділу, заступнику директора Регіональної державної лабораторії ветеринарної медицини у Полтавській області, лікарю ветеринарної медицини О. О. Ісаєвій за допомогу у виконанні досліджень.

References

Acosta, G. D. A., Camara, C. N. M., Ongsiako, M. J., Tso, J. N., Flore, J. C., Janairo, I. B., Vi, S. R. C., Flores, R. G., Amalin, D. M., Abes, N. S., & Sumalapa, D. E. P. (2017). Bioaccumulation of cadmium, copper, lead, and zinc in water buffaloes (*Bubalus bubalis*) infected with liver flukes (*Fasciola gigantica*). *Oriental Journal of Chemistry*, 33(4), 1684–1688.

Alzaheb, R. A. & Al-Amer, O. (2017). The prevalence of iron deficiency anemia and its associated risk factors among a sample of female university students in Tabuk, Saudi Arabia. *Clinical Medicine Insights: Women's Health*, 10, 1–8.

Bayoumy, E. M., Sanaa, K. A., Abou-El-dobal, & Hassanain, M. A. (2015). Assessment of heavy metal pollution and fish parasites as biological indicators at Arabian Gulf off Dammam Coast. *Saudi Arabia International Journal of Zoological Research*, 11, 198–206.

Berger, M. M. (2005). Can oxidative damage be treated nutritionally? *Clinical Nutrition*, 24, 172–183.

Botle, S., Normandin, L., Kennedy, G., & Zayrd, J. (2004). Human exposure to respirable manganese in outdoor and indoor air in urban and rural areas. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 67, 459–467.

Bowman, A. B., Kwakye, G. F., Hemández, H. E., & Aschner, M. (2011). Role of manganese in neurodegenerative diseases. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 25(4), 191–203.

Brázová, T., Hanzelová, V., Miklisová, D., Šalamúna, P., & Vidal-Martínez, V. M. (2015). Host-parasite relationships as determinants of heavy metal concentrations in perch (*Perca fluviatilis*) and its intestinal parasite infection. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 122, 551–556.

Brygadyrenko, V., & Ivanyshyn, V. (2015). Changes in the body mass of *Mega-phyllum kievense* (Diplopoda, Julidae) and the granulometric composition of leaf litter subject to different concentrations of copper. *Journal of Forest Science*, 61(9), 369–376.

Culha, G., & Sangün, M. K. (2007). Serum levels of zinc, copper, iron, cobalt, magnesium, and selenium elements in children diagnosed with *Giardia intestinalis* and *Enterobiosis vermicularis* in Hatay, Turkey. *Biological Trace Element Research*, 118(1), 21–26.

Datta, B. K., Bhar, M. K., Patra, P. H., Majumdar, D., Dey, R. R., Sarkar, S., Mandal, T. K., & Chakraborty, A. K. (2012). Effect of environmental exposure of arsenic on cattle and poultry in Nadia District, West Bengal, India. *Toxicology International*, 19(1), 59–62.

Datta, B. K., Mishra, A., Singh, A., Sar, T. K., Sarkar, S., Bhattacharya, A., Chakraborty, A. K., & Mandal, T. K. (2010). Chronic arsenicosis in cattle with special reference to its metabolism in arsenic endemic village of Nadia District West Bengal India. *Science of the Total Environment*, 409(2), 284–288.

Davydova, S., (2005). Heavy metals as toxicants in big cities. *Microchemical Journal*, 79(1–2), 133–136.

Dermauw, V., Yisehak, K., Belay, D., Van Hecke, T., Du Laing, G., Duchateau, L., & Janssens, G. P. (2013). Mineral deficiency status of ranging zebu (*Bos indicus*) cattle around the Gilgel Gibe catchment, Ethiopia. *Tropical Animal Health and Production*, 45, 1139–1147.

Dermauw, V., Yisehak, K., Dierenfeld, E. S., Laing, D. G., Buyse, J., Wuyts, B., & Janssens, G. P. J. (2013). Effects of trace element supplementation on apparent nutrient digestibility and utilisation in grass-fed zebu (*Bos indicus*) cattle. *Livestock Science*, 155, 255–261.

Ekici, K., Agaoglu, S., & Isleyici, O. (2004). Some toxic and trace metals in cattle livers and kidneys. *Indian Veterinary Journal*, 81, 1284–1285.

Gašparik, J., Vladarova, D., Capcarova, M., Smehyl, P., Slamecka, J., Garaj, P., Stawarz, R., & Massanyi, P. (2010). Concentration of lead, cadmium, mercury and arsenic in leg skeletal muscles of three species of wild birds. *Journal of Environmental Science and Health, Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 45(7), 818–823.

Griffiths, L. M., Loeffler, S. H., Sochac, M. T., Tomlinson, D. J., & Johnson, A. B. (2007). Effects of supplementing complexed zinc, manganese, copper and cobalt on lactation and reproductive performance of intensively grazed lactating dairy cattle on the South Island of New Zealand. *Animal Feed Science and Technology*, 137(1–2), 69–83.

Grosskopf, H. M., Schwartz, C. I., Machado, G., Bottari, N. B., da Silva, E. S., Gabriel, M. E., Lucca, N. J., Alves, M. S., Schetinger, M. R. C., Morsch, V. M., Mendes, R. E., & da Silva, A. S. (2017). Cattle naturally infected by *Eurytrema coelomaticum*: Relation between adenosine deaminase activity and zinc levels. *Research in Veterinary Science*, 110, 79–84.

Gutyj, B. V., Mursjka, S. D., Hufrij, D. F., Hariv, I. I., Levkivska, N. D., Nazanuk, N. V., Haydyuk, M. B., Priyma, O. B., Bilyk, O. Y., & Guta, Z. A. (2016). Vplyv kadmiovoho navantazhennia na systemu antyoksydantnoho zakhystu orhanizmu buhatisiv [Influence of cadmium loading on the state of the antioxidant system in the organism of bulls]. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, Ecology*, 24(1), 96–102 (in Ukrainian).

Hansch, R., & Mendel, R. R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, 12, 259–266.

Hassan, A. H., Al-Zanbagia, N. A., & Al-Nabati, E. A. (2016). Impact of nematode helminthes on metal concentrations in the muscles of Koshar fish, *Epinephelus summana*, in Jeddah, Saudi Arabia. *The Journal of Basic and Applied Zoology*, 74, 56–61.

Ihedioha, J. N., & Okoye, C. O. (2013). Dietary intake and health risk assessment of lead and cadmium via consumption of cow meat for an urban population in Enugu State, Nigeria. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 93, 101–106.

Il'inskikh, E. N., Novitskii, V. V., Il'inskikh, N. N., & Lepekhin, A. V. (2006). Akkumulyatsiya nekotorykh toksichnykh mikroelementov v tkani pecheni i gelmintakh, poluchennykh ot bolnykh s invaziyey *Opisthorchis felinus* (Rivolta, 1884) i *Metorchis bilis* (Braun, 1890) [Accumulation of some toxic microelements in liver tissue and helminths obtained from patients with *Opisthorchis felinus* (Rivolta, 1884) and *Metorchis bilis* (Braun, 1890) invasion]. *Meditsinskaia Parazitologiya i Parazitarnye Bolezni*, 4, 37–40 (in Russian).

Jarzyńska, G., & Falandysz, J. (2011). Selenium and 17 other largely essential and toxic metals in muscle and organ meats of Red Deer (*Cervus elaphus*) – Consequences to human health. *Environment International*, 37(5), 882–888.

Javed, M., & Usmani, N. (2016). Accumulation of heavy metals and human health risk assessment via the consumption of freshwater fish *Mastacembelus armatus* inhabiting, thermal power plant effluent loaded canal. *Springerplus*, 5(1), 776.

- Kabata-Pendias, A. (2004). Soil – plant transfer of trace elements – an environmental issue. *Geoderma*, 122(2–4), 143–149.
- Lazarus, M., Orci, T., Blanuša, M., Vicković, I., & Šošarić B. (2008). Toxic and essential metal concentrations in four tissues of red deer (*Cervus elaphus*) from Baranja, Croatia. *Food Additives and Contaminants: Part A*, 270–283.
- Le, T. T., Nachev, M., Grabner, D., Hendriks, A. J., & Sures, B. (2016). Development and validation of a biodynamic model for mechanistically predicting metal accumulation in fish-parasite systems. *PLoS One*, 11(8) 24–48.
- Leite, L. A., Pedro, N. H., Azevedo, R. K., Kinoshita, A., Gennari, R. F., Watanabe, S., & Abdallah, V. D. (2017). *Contracaecum* sp. Parasitizing *Acestro-rhynchus lacustris* as a bioindicator for metal pollution in the Batalha River, southeast Brazil. *Science of the Total Environment*, 575, 836–840.
- Leskinen, H., Viitala, S., Mutikainen, M., Kairenius, P., Tapio, I., Taponen J., Bernard, L., Vilkki, J., & Shingfield, K. J. (2016). Ruminant infusions of cobalt edta modify milk fatty acid composition via decreases in fatty acid desaturation and altered gene expression in the mammary gland of lactating cows. *The Journal of Nutrition*, 146(5), 976–985.
- Li, Q., Liu, H., Alattar, M., Jiang, S., Han, J., Ma, Y., & Jiang, C. (2015). The preferential accumulation of heavy metals in different tissues following frequent respiratory exposure to PM2.5 in rats. *Scientific Reports*, 5, 16936.
- López Alonso, M., Benedito, J. L., Miranda, M., Castillo, C., Hernández, J., & Shore, R. F. (2002). Cattle as biomonitors of soil arsenic, copper, and zinc concentrations in Galicia (NW Spain). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 43(1), 103–108.
- López Alonso, M., Benedito, J. L., Miranda, M., Castillo, C., Hernández, J., & Shore, R. F. (2000). Toxic and trace elements in liver, kidney and meat from cattle slaughtered in Galicia (NW Spain). *Food Additives and Contaminants*, 17(6), 447–457.
- López-Alonso, M., Carbajales, P., Miranda, M., & Pereira, V. (2017). Subcellular distribution of hepatic copper in beef cattle receiving high copper supplementation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 42, 111–116.
- Lotfollahzadeh, S., Mohri, M., Bahadori, S. R., Dezfouly, M. R., & Tajik, P. (2008). The relationship between normocytic, hypochromic anaemia and iron concentration together with hepatic enzyme activities in cattle infected with *Fasciola hepatica*. *Journal of Helminthology*, 82(1), 85–88.
- Lotfy, W. M., Mohsen, E. A., & Ali Moustafa, H. A. (2013). Bioaccumulation of some heavy metals in the liver flukes *Fasciola hepatica* and *F. gigantica*. *Iranian Journal of Parasitology*, 8(4), 552–558.
- Marijić, F. V., Smrzlić, V. I., & Raspor, B. (2013). Effect of acanthocephalan infection on metal, total protein and metallothionein concentrations in European chub from a Sava River section with low metal contamination. *Science of the Total Environment*, 463–464, 772–780.
- Mazhar, R., Shazili, N. A., & Harrison, F. S. (2014). Comparative study of the metal accumulation in *Hysterothylacium reliquens* (nematode) and *Paraphilometroides nemipteri* (nematode) as compared with their doubly infected host, *Nemipterus peronii* (Notched threadfin bream). *Parasitology Research*, 113(10), 3737–3743.
- Minatel, L., & Carfagnini, J. C. (2002). Evaluation of the diagnostic value of plasma copper levels in cattle. *Preventive Veterinary Medicine*, 53(1–2), 1–5.
- Mínguez, L., Molloy, D. P., Guérola, F., & Giambérinia, L. (2011). Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) parasites: Potentially useful bioindicators of freshwater quality? *Water Research*, 45(2), 665–673.
- Mohammadifard, N., Humphries, K. H., Gotay, C., Mena-Sánchez, G., Salas-Salvadó, J., Esmailzadeh, A., Ignaszewski, A., & Sarrafzadegan, N. (2017). Trace minerals intake: Risks and benefits for cardiovascular health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 13, 1–13.
- Nachev, M., Schertzinger, G., & Sures, B. (2013). Comparison of the metal accumulation capacity between the acanthocephalan *Pomphorhynchus laevis* and larval nematodes of the genus *Eustrongylides* sp. infecting barbel (*Barbus barbus*). *Parasites and Vectors*, 6(21), 1–8.
- Nachev, M., & Sures, B. (2016). Environmental parasitology: Parasites as accumulation bioindicators in the marine environment. *Journal of Sea Research*, 113, 45–50.
- Nachev, M., & Sures, B. (2016). Seasonal profile of metal accumulation in the acanthocephalan *Pomphorhynchus laevis*: A valuable tool to study infection dynamics and implications for metal monitoring. *Parasites and Vectors*, 9(1), 1–9.
- Nachev, M., Zimmermann, S., Rigaud, T., & Sures, B. (2010). Is metal accumulation in *Pomphorhynchus laevis* dependent on parasite sex or infrapopulation size? *Parasitology*, 137(8), 1239–1248.
- Nwude, D. O., Okoye, P. A. C., & Babayemi, J. O. (2011). Assessment of heavy metal concentrations in the liver of cattle at slaughter during three different seasons. *Research Journal of Environmental Sciences*, 5, 288–294.
- Orjales, I., Herrero-Latorre, C., Miranda, M., Rey-Crespo, F., Rodríguez-Bermúdez, R., & López-Alonso, M. (2017). Evaluation of trace element status of organic dairy cattle. *Animal*, 6, 1–10.
- Oymak, T., Ulusoy, H. I., Hastaoglu, E., Yilmaz, V., & Yıldırım, S. (2017). Some heavy metal contents of various slaughtered cattle tissues in Sivas-Turkey. *Journal of the Turkish Chemical Society*, 4(3), 721–728.
- Paflack (Paslack), N., Mainzer, B., Lahrssen-Wiederholt, M., Schaff, H., Palavinskaskas, R., Breithaupt, A., Neumann, K., & Zentek, J. (2014). Concentrations of strontium, barium, cadmium, copper, zinc, manganese, chromium, antimony, selenium and lead in the equine liver and kidneys. *Springerplus*, 3, 343.
- Peterson, E. K., & Schulte, B. A. (2016). Impacts of pollutants on beavers and otters with implications for ecosystem ramifications. *Journal of Contemporary Water Research and Education*, 157(1), 33–45.
- Petukhova, T. V. (2013). Content of heavy metals in the muscle tissue of cattle. In: *E3S Web of Conferences*, 1, 15002.
- Podolska, M., Polak-Juszczak, L., & Nadolna-Ałtyn, K. (2016). Host condition and accumulation of metals by acanthocephalan parasite *Echinorhynchus gadi* in cod *Gadus morhua* from the southern Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1–2), 287–292.
- Ramos, P., Santos, A., Pinto, N. R., Mendes, R., Magalhães, T., & Almeida, A. (2014). Anatomical region differences and age-related changes in copper, zinc, and manganese levels in the human brain. *Biological Trace Element Research*, 161(2), 190–201.
- Roggeman, S., de Boeck, G., De Cock, H., Blust, R., & Bervoets, L. (2014). Accumulation and detoxification of metals and arsenic in tissues of cattle (*Bos taurus*), and the risks for human consumption. *Science of the Total Environment*, 466–467, 175–184.
- Sachko, R. H., Lesyk, Y. V., Luchka, I. V., & Nevostrueva, I. V. (2016). Vmst vazhkykh metaliv u kormakh, orhanizmi tvaryn ta produktii tvarynnystva v ahroekolohichnykh umovakh Zakarpattia [Contents of heavy metals in food, organism and animal products in the Zacarpethian biogeochemical province]. *Naukovyi Visnyk L'vivskoho Natsionalnoho Universytetu Vetrynamoi Medytsyny ta Biotekhnologii imeni S. Z. Gzhytskoho. Seria: Vetrynami nauky*, 18(3), 87–90 (in Ukrainian).
- Saltykova, S. A. (2011). Nakopleniye tyazhelykh metallov v ryibakh Ladozhskogo ozera i v ih parazitah [Accumulation of heavy metals in fishes of Ladoga lake and their parasites]. *Vestnik Kolskogo Nauchnogo Tsentra RAN*, 2, 88–93. (in Russian).
- Shakir, S. K., Azizullah, A., Murad, W., Daud, M. K., Nabeela, F., Rahman, H., Rehman, U. S., & Häder, D. P. (2017). Toxic metal pollution in Pakistan and its possible risks to public health. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 242, 1–60.
- Shefa, S. T., & Héroux, P. (2017). Both physiology and epidemiology support zero tolerable blood lead levels. *Toxicology Letters*, 280, 232–237.
- Skalny, A. V. (2004). Chemical elements in physiology and ecology of people [Himicheskie elementy v fiziologii i ekologii cheloveka]. Mir, Moscow (in Russian).
- Sokolenko, V. L., & Sokolenko, S. V. (2015). Radionuclide activity and the immune system functioning in residents of radiation contaminated areas. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, Medicine*, 6(2), 93–96 (in Ukrainian).
- Stem, B. R. (2010). Essentiality and toxicity in copper health risk assessment: Overview, update and regulatory considerations. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 73(2), 114–127.
- Suleyman, Y., Eser, K., Recep, S., & Musret, M. U. A. (2006). Essential elements levels in *Fasciola hepatica* and *Dicrocoelium dendriticum*. *Indian Veterinary Journal*, 12, 1322–1323.
- Sures, B. (2004). Environmental parasitology: Relevancy of parasites in monitoring environmental pollution. *Trends in Parasitology*, 20(4), 170–177.
- Sures, B., Jürges, G., & Taraschewski, H. (1998). Relative concentrations of heavy metals in the parasites *Ascaris suum* (Nematoda) and *Fasciola hepatica* (Digenea) and their respective porcine and bovine definitive hosts. *International Journal for Parasitology*, 28(8), 1173–1178.
- Sures, B., Nachev, M., Selbach, C., & Marcogliese, D. J. (2017). Parasite responses to pollution: What we know and where we go in 'Environmental Parasitology'. *Parasites and Vectors*, 65, 1–19.
- Sures, B., Taraschewski, H., & Siddall, R. (1997). Heavy metal concentrations in adult acanthocephalans and cestodes compared to their fish hosts and to established free-living bioindicators. *Parasitologia*, 39(3), 213–218.
- Suttle, N. F. (2010). Mineral nutrition of livestock. 4th Edition. CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire.
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlola, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metals toxicity and the environment. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*, 101, 133–164.
- Thielen, F., Zimmermann, S., Baska, F., Taraschewski, H., & Sures, B. (2004). The intestinal parasite *Pomphorhynchus laevis* (Acanthocephala) from barbel as a bioindicator for metal pollution in the Danube River near Budapest, Hungary. *Environmental Pollution*, 129(3), 421–429.
- Tsocheva-Gaitandjieva, N. T., Gabrashanska, M. P., & Tepavitcharova, S. (2002). Trace element levels in the liver of rats with acute and chronic fascioliasis and after treatment with zinc-copper hydroxochloride mixed crystals. *Journal of Helminthology*, 76(1), 87–90.
- Unubol Aypak, S., Aypak, S., Voyvoda, H., Güven, G., Fidan, D. E., Tosun, G., Gültekin, M., Şimşek, E., & Güler, G. A. (2016). Comparative analysis of serum mineral levels and parasite load in goats naturally infected with gastrointestinal nematodes. *Türkiye Parazitoloji Dergisi*, 40(3), 141–146.

- Vidal-Martínez, V. M., & Wunderlich, A. C. (2017). Parasites as bioindicators of environmental degradation in Latin America: A meta-analysis. *Journal of Helminthology*, 91(2), 165–173.
- Yarsan, E., Yipel, M., Dikmen, B., Altıntaş, L., Ekici, H., & Köksal, A. (2014). Concentrations of essential and non-essential toxic trace elements in wild boar (*Sus scrofa* L., 1758) tissues from Southern Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92(1), 10–14.
- Zeng, X., Xu, X., Boezen, H. M., & Huo, X. (2016). Children with health impairments by heavy metals in an e-waste recycling area. *Chemosphere*, 148, 408–415.