

ЕКОЛОГІЯ


УДК 57.087.1:681.3.068

Математична модель прогнозування накопичення важких металів у продукції свинарства

Чала О.С.¹ , Чалий О.І.² , Нагорний С.А.¹ 

¹ Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

² Харківська державна зооветеринарна академія

 chaliolisobol@gmail.com



Чала О.С., Чалий О.І. Нагорний С.А. Математична модель прогнозування накопичення важких металів у продукції свинарства. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2020. № 2. С. 120–127.

Chala O.S., Chalyj O.I. Nagornyj S.A. Matematychna model' prognosuvannja nakopychennja vazhkyh metaliv u produkci'i svynarstva. Zbirnyk naukovykh prac' «Tehnologija vyrobnyctva i pererobky produkci'i tvarynnyctva», 2020. № 2. PP. 120–127.

Рукопис отримано: 07.09.2020р.

Прийнято: 25.09.2020р.

Затверджено до друку: 24.11.2020р.

doi: 10.33245/2310-9289-2020-158-2-120-127

Наведено дані дослідження зі впливу надмірних доз важких металів, а саме Кадмію і Плюмбуму, на організм молодняка свиней. Важкі метали згодовували окремо і сумісно, у дозах, що перевищують гранично допустимі концентрації в кормах у 10 і 20 разів. У такий спосіб змодельовано процес інтоксикації біологічного об'єкта (свині) важкими металами, що може статись унаслідок забруднення довкілля. Дослідження проводили з метою визначення напрямку і ступеня впливу важких металів на живу масу, масу внутрішніх органів тварин, ступінь накопичення у продукції свинарства. За допомогою статистичної обробки отриманих даних побудували математичні моделі і встановили кореляційний зв'язок між досліджуваними чинниками.

Встановлено, що важкі метали мають суттєвий негативний вплив на інтенсивність росту тварин, і сила впливу зростає із дозою. Це підтверджує і високий кореляційний зв'язок між цими ознаками – коефіцієнт кореляції (r) становить 0,854. Так, жива маса свиней наприкінці досліду як у I, так і у II серіях за дії хемотоксикантів зменшувалася на 5,5–14,8 % проти контролю. Сила впливу залежала і від самого токсину. Так, найбільший негативний ефект спостерігали за дії самого Кадмію та Кадмію і Плюмбуму разом. Важкі метали більше накопичувалися в печінці і нирках, найменше – у м'язах. Побудовані рівняння регресії довели, що головний вплив на збільшення вмісту Кадмію і Плюмбуму в органах і м'ясі має зростання дози відповідного елемента в кормах. Вміст Кадмію в кормах впливав на вміст Плюмбуму у м'ясі – зі збільшенням його концентрації, вміст Плюмбуму у м'ясі зменшувався. Отримані дані досліджень дають уяву про напрям і ступінь дії важких металів на біологічні об'єкти. Математичні моделі можуть використовуватись для прогнозування впливу та ступеня накопичення хемотоксикантів у продукції свинарства

Ключові слова: Плюмбум, Кадмій, продукція свинарства, екоцидний вплив, міграція ксенобіотиків, математичні моделі.

Постановка проблеми. Дослідження останніх років свідчать про критичний стан навколишнього середовища, який обумовлений збільшенням кількості різних забруднювачів у довкіллі [1]. Серед цих забруднювачів особливої групи становлять важкі метали (Цинк, Кадмій, Меркурій, Плюмбум та інші) [2]. Ці ксенобіотики швидко мігрують та накопичуються в компонентах біосфери (повітря, вода, ґрунт – рослини – тварини), ускладнюючи виробництво екологічно безпечної сільськогосподарської продукції [3].

Відомо, що здоров'я людини безпосередньо залежить від якості та екологічної безпеки харчових продуктів, тому це питання потребує особливої уваги [4]. Вивчення механізму впливу, інтенсивності міграції харчовими ланцюгами та пошук способів зниження вмісту важких металів у продуктах тваринництва має велике практичне значення. Це є актуальним і під час виробництва свинини.

Аналіз останніх досліджень. Одна з екологічних проблем людства – невинне зростання вмісту сполук важких металів у ґрунті, воді

та атмосфері індустріально розвинутих країн і міст [5, 6]. Основним джерелом надходження важких металів у екосистеми є техногенні об'єкти: промислові підприємства, транспорт, полігони твердих побутових відходів та інші [7]. Важкі метали здатні поступово накопичуватися за ланками харчового ланцюга, водночас найбільша концентрація спостерігатиметься у кінцевій його ланці [8]. Так, у тварин, які споживають забруднені корми, метали концентруються в окремих органах, і людина, що вживає м'ясні та молочні продукти від них, отримує збільшену концентрацію цих елементів [9].

Серед основних важких металів найбільш токсичними для організму тварин є Cd та Pb. Ці елементи мають виражену токсичність, навіть за найнижчих концентрацій [10]. З кожним роком концентрація Кадмію в ґрунтах, відтак у різних кормах збільшується на 0,2 % на рік. Щодо Плюмбуму, це один із найпоширеніших і водночас небезпечних елементів у токсикологічному сенсі, його виявляють у мікрокількостях майже повсюдно [11, 12]. Обидва ці токсиканти дуже токсичні, вони блокують роботу важливих для життєдіяльності організму ферментів, пошкоджують роботу внутрішніх органів [13], знижують резистентність організму до хвороб, негативно впливають на спадковість, руйнують еритроцити крові [14].

У разі надходження надлишкових кількостей Кадмію і Плюмбуму в організм порушується обмін деяких есенціальних елементів (Феруму, Купруму, Сульфур, Йоду), збільшується виведення Кальцію і Фосфору із запасів організму та знижується міцність кісток [15].

Важкі метали негативно впливають на продуктивність тварин, змінюють хімічний склад,

показники біологічної цінності і санітарної якості продукції тваринництва. Така продукція негативно позначається на здоров'ї населення [14].

З огляду на це, існує необхідність здійснювати контроль вмісту важких металів у трофічних ланцюгах, зокрема «корми – тварина – продукція тваринництва (м'ясо)» для отримання екологічно безпечної продукції для споживача.

Важливим є розроблення математичних моделей вмісту важких металів у трофічних ланцюгах, що дає змогу на основі показників вмісту важких металів у одній з ланок (ґрунт, корми) достовірно прогнозувати їх кількість у наступній (корми, продукція тваринництва).

Мета дослідження – вивчити ступінь впливу ксенобіотиків на продуктивні якості та розробити способи прогнозування їх міграції в організм молодняка свиней.

Матеріал і методи дослідження. Ступінь впливу Кадмію та Плюмбуму, а також процес біогенної міграції важких металів у системі «корми – організм свиней – продукція (м'ясо)» вивчали через постановку та проведення науково-виробничого досліду. Дослід виконували на кнурцях-кастратах великої білої породи у віці 3,5 місяців. Початкова жива маса становила 30 кг. За принципом пар-аналогів було сформовано 4 групи, по 10 голів у кожній. Перша група була контрольною. Після 15-добового порівняльного періоду в раціон свиней дослідних груп вводили солі важких металів (сумісно та окремо), зокрема Кадмію та Плюмбуму, в дозах, які перевищують гранично допустимі концентрації у комбікормах для свиней у 10 разів, створюючи модель екоцидного впливу (табл.1).

За такою самою схемою проводили і II серію досліджень, водночас доза важких металів

Таблиця 1 – Схема досліду

| Група | Кількість голів | Умови досліду |
|---|-----------------|--|
| Підготовчий період 15 діб (у I та II серіях дослідів) | | |
| I-V | 10 | ОР (основний раціон) (вміст у кормах Pb<5 мг/кг, Cd<0,4 мг/кг) |
| Основний період 138 діб (у I та II серіях дослідів) | | |
| I серія | | |
| I (контроль) | 10 | ОР (вміст у кормах Pb<5 мг/кг, Cd<0,4 мг/кг) |
| II (дослідна) | | ОР+Pb (10ГДК) |
| III (дослідна) | | ОР+Cd (10ГДК) |
| IV (дослідна) | | ОР+Pb (10ГДК)+Cd (10ГДК) |
| II серія | | |
| I (контроль) | 10 | ОР (вміст у кормах Pb<5 мг/кг, Cd<0,4 мг/кг) |
| II (дослідна) | | ОР+Pb (20ГДК) |
| III (дослідна) | | ОР+Cd (20ГДК) |
| IV (дослідна) | | ОР+Pb (20ГДК)+Cd (20ГДК) |

Примітка: ОР – основний раціон.

перевищувала гранично допустимі концентрації у комбікормах для свиней у 20 разів. Тривалість основного періоду становила як у I, так і у II серіях дослідів 138 діб.

Годівля дослідних тварин була груповою, дворазовою. Раціон за рівнем енергетичного живлення та поживними речовинами відповідав установленим нормам. Вміст Кадмію та Плюмбуму в комбікормі не перевищував ГДК. З метою дослідження інтенсивності накопичення важких металів у внутрішніх органах і тканинах наприкінці досліду було проведено контрольний забій тварин, по 3 голови з кожної групи. Концентрацію Плюмбуму і Кадмію в кормах та біологічному матеріалі встановлювали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі AAS-30 (Німеччина).

Дані досліджень обробляли математико-статистичними методами із застосуванням пакетів прикладних програм Excel-2010 (Microsoft) та Statistica-10 (Stat Soft Inc.) [16, 17].

Побудову математичної моделі залежності вмісту Кадмію і Плюмбуму у м'ясі та органах свиней (Y) від дози спожитих важких металів (X) здійснювали в межах пакета «Аналіз даних» програми MS Excel-2010. Використовували інструмент «регресія» та метод відбору найбільш інформативних змінних (найвищим значенням коефіцієнта детермінації R , найнижчим значенням рівня значущості за Фішером p_F , за умови значущості усіх його коефіцієнтів за Стьюдентом на рівні p_{St} не більш як 0,05).

Результати дослідження та обговорення. Під час постановки тварин на відгодівлю підсвинки як у I, так і II серіях досліджень за живою масою не різнилися, достовірної різниці між серіями також встановлено не було. Наприкінці досліду різниця у живій масі між контрольною та дослідними групами була достовірною у двох серіях досліджень. Так, жива

маса тварин II, III та IV дослідних груп у першій серії дослідження знижувалась, порівнюючи з контролем, відповідно на 2,8 % ($P \geq 0,95$), 5,5 ($P \geq 0,99$) та 4,4 % ($P \geq 0,99$) (табл. 2).

У другій серії досліджень жива маса тварин у дослідних групах зменшувалась ще більше від контролю. Так, жива маса тварин II, III, IV та V дослідних груп була меншою проти контрольної групи відповідно на 5,7 % ($P \geq 0,999$), 9,0 ($P \geq 0,999$), 10,8 ($P \geq 0,999$), 1,2 % ($P \geq 0,90$).

Кореляційний аналіз отриманих даних за допомогою інструменту «кореляція» довів, що між живою масою тварин та застосованими дозами (показниками I і II серій дослідів) важких металів існує високий кореляційний зв'язок, на що вказує значення коефіцієнта кореляції $r=0,854$.

Згодовування тваринам Плюмбуму і Кадмію як сумісно, так і окремо у дозах 10 та 20 ГДК мало вплив на показники живої маси та маси внутрішніх органів дослідних тварин. Кінцева жива маса відгодівельних свиней як у I, так і у II серіях дослідів за дії важких металів зменшувалась на 5,4–14,8 % проти контролю, водночас найбільший негативний ефект був у тварин III дослідної групи у I серії та IV дослідної групи у II серії дослідів.

Отже, отримані дані свідчать, що зі збільшенням дози важких металів їх негативний вплив на живу масу тварин зростає. Це підтверджує і високий кореляційний зв'язок між цими ознаками – коефіцієнт кореляції (r) становить 0,854.

Аналіз впливу Кадмію і Плюмбуму на масу внутрішніх органів довів, що між дозою важких металів і масою нирок, печінки і селезінки склалась складна залежність, оскільки зі збільшенням дози в деяких випадках відбувалось зменшення, а в деяких збільшення маси цих органів. Зв'язок між цими ознаками мав слабкий і найменший ступінь (дуже слабку кореляцію спостерігали між дозою токсикантів і масою

Таблиця 2 – Жива маса та маса внутрішніх органів тварин наприкінці досліду за дії важких металів (у % до показника контрольної групи)

| Показники | Групи | | | | Коефіцієнт кореляції, r |
|-----------|-------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|
| | I | II | III | IV | |
| Жива маса | 100 | $\frac{97,2^1}{94,3}$ | $\frac{94,5}{90,9}$ | $\frac{95,6}{89,2}$ | 0,854 |
| Печінка | 100 | $\frac{99,5}{111,1}$ | $\frac{97,5}{112,1}$ | $\frac{98,9}{114,6}$ | - 0,034 |
| Нирки | 100 | $\frac{91,9}{101,6}$ | $\frac{86,3}{99,8}$ | $\frac{90,4}{83,1}$ | 0,348 |
| Селезінка | 100 | $\frac{96,1}{118,2}$ | $\frac{93,7}{92,2}$ | $\frac{89,8}{102,8}$ | -0,213 |

Примітка: ¹ - у числівнику наведено дані I серії досліджень, а у займеннику – II серії досліджень.

нирок ($r > 0,4$), дуже слабку від'ємну кореляцію – для маси печінки ($r > 0,03$) і селезінки ($r > 0,2$). Отже, стверджувати, що збільшення дози Кадмію і Плюмбуму у кормах тварин призводить до зменшення або збільшення маси печінки, нирок і селезінки, не можна. Зменшення живої маси та маси внутрішніх органів тварин за дії важких металів можна пояснити механізмом дії токсикантів, зокрема зменшенням активності ферментів, у тому числі шлунково-кишкового тракту, впливом на перетравність і обмін поживних речовин. Зростання маси печінки, нирок, селезінки у II серії дослідів, поряд зі зменшенням цих показників у I серії, можна пояснити активізацією роботи цих органів-детоксикантів в організмі зі зростанням дози. Це підтверджується і характером розподілу важких металів у внутрішніх органах.

Дослідження внутрішніх органів на вміст у них Плюмбуму і Кадмію довело, що найбільше ці метали накопичувались у нирках та печінці і менше (у послідовності) у селезінці та м'язах (табл. 3).

Щодо Кадмію, найбільша його концентрація була у нирках і печінці тварин III і IV дослідних

груп, найменша – у м'язах як у I, так і у II серіях дослідів. Значним також було накопичення Кадмію у селезінці дослідних тварин, особливо у тварин IV групи, де Кадмій і Плюмбум згодували сумісно. Зі збільшенням дози (II серія) накопичення Кадмію в органах свиней IV групи було найбільшим, порівнюючи з тваринами інших дослідних груп, як для I, так і для II серій.

За сумісної дії токсикантів накопичення Плюмбуму в нирках, печінці, селезінці та м'ясі було меншим, порівнюючи з показниками II групи (на які впливав лише Плюмбум). Особливо помітним це було у II серії дослідів, що може пояснюватись антагоністичною дією між Кадмієм та Плюмбумом і перерозподілом, у зв'язку з цим, ксенобіотиків у організмі.

Кореляційний аналіз наведених даних довів високу силу зв'язку між дозою важких металів та вмістом Кадмію у м'ясі ($r = 0,781$), нирках ($r = 0,765$) і селезінці ($r = 0,842$). Середній і слабкий статистичний зв'язок спостерігався між дозою токсикантів і вмістом Кадмію в печінці ($r = 0,534$).

Накопичення і розподіл Плюмбуму у внутрішніх органах і тканинах тварин дослідних

Таблиця 3 – Вміст важких металів у м'ясі та внутрішніх органах дослідних тварин, мг/кг

| Група | М'ясо | Печінка | Нирки | Селезінка |
|--------------------------------|------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Кадмій | | | | |
| I | <u>0,04±0,01¹</u> | <u>0,22±0,01</u> | <u>0,74±0,09</u> | <u>0,16±0,01</u> |
| | 0,041±0,01 | 0,23±0,02 | 0,75±0,04 | 0,18±0,02 |
| II | <u>0,04±0,01</u> | <u>0,25±0,01</u> | <u>0,77±0,06</u> | <u>0,17±0,04</u> |
| | 0,042±0,01 | 0,29±0,02 | 0,78±0,07*** | 0,2±0,02 |
| III | <u>0,08±0,01***</u> | <u>2,91±0,05***</u> | <u>25,32±0,01***</u> | <u>0,55±0,01***</u> |
| | 0,10±0,01*** | 3,91±0,1*** | 30,78±0,94*** | 0,57±0,02*** |
| IV | <u>0,09±0,04**</u> | <u>2,98±0,02***</u> | <u>23,02±0,14***</u> | <u>0,81±0,01***</u> |
| | 0,16±0,03* | 4,44±0,11*** | 36,6±3,38*** | 2,92±0,02*** |
| Коефіцієнт кореляції, <i>r</i> | 0,781 | 0,534 | 0,765 | 0,842 |
| Плюмбум | | | | |
| I | <u>0,47±0,02</u> | <u>0,58±0,01</u> | <u>0,74±0,03</u> | <u>0,48±0,02</u> |
| | 0,43±0,01 | 0,57±0,08 | 0,79±0,03 | 0,46±0,03 |
| II | <u>0,63±0,01**</u> | <u>1,04±0,07**</u> | <u>0,91±0,02**</u> | <u>1,9±0,11***</u> |
| | 0,96±0,01*** | 5,36±0,24*** | 2,59±0,02*** | 2,06±0,03*** |
| III | <u>0,41±0,03*</u> | <u>0,67±0,02*</u> | <u>0,9±0,04*</u> | <u>0,46±0,02</u> |
| | 0,41±0,03 | 0,61±0,07 | 0,84±0,09 | 0,41±0,02 |
| IV | <u>0,63±0,02**</u> | <u>0,91±0,01***</u> | <u>1,05±0,03**</u> | <u>1,05±0,09**</u> |
| | 0,76±0,02*** | 4,01±0,16*** | 3,14±0,08*** | 1,09±0,04*** |
| Коефіцієнт кореляції, <i>r</i> | 0,741 | 0,861 | 0,766 | 0,989 |

¹ - у числівнику наведено дані I серії досліджень, а у займеннику – II серії досліджень.

Примітка: ***- P>0,999, ** - P>0,99, * - P>0,95.

груп відбувалися нерівномірно. Так, найбільший його вміст спостерігали у печінці, нирках і селезінці тварин II і IV дослідних груп, що можна пояснити напруженою роботою цих органів у процесі інтоксикації організму важкими металами. Зі збільшенням дози ступінь накопичення Плюмбуму у внутрішніх органах значно зростає. Високий статистичний зв'язок спостерігали між показником дози важких металів та вмістом Плюмбуму у м'ясі ($r=0,741$), печінці ($r=0,861$), нирках ($r=0,766$).

Установлено, що Кадмій найбільше накопичувався у нирках, а Плюмбум – у печінці і селезінці. Статистичний аналіз отриманих даних довів, що рівень вмісту важких металів у кормах значно впливає на вміст Кадмію у м'ясі, нирках та селезінці, що підтверджується коефіцієнтами кореляції: відповідно $r=0,781$, $r=0,765$, $r=0,842$. Середній кореляційний зв'язок спостерігали між дозою токсикантів і вмістом Кадмію в печінці ($r=0,534$). Збільшення вмісту Плюмбуму в кормах суттєво впливало на його концентрацію у досліджуваних органах, що підтверджувалося високими коефіцієнтами кореляції: у селезінці ($r=0,989$), м'ясі ($r=0,741$), печінці ($r=0,861$) та нирках ($r=0,766$).

Проведений аналіз підтверджує, що Кадмій і Плюмбум більше впливають на нирки і печінку. Водночас зміни відбувалися як за масою, так і за накопиченням токсикантів ними. Усе це вказує на те, що саме ці органи є мішенями дії важких металів.

Під час побудови математичної моделі залежності вмісту Кадмію і Плюмбуму у м'ясі та органах свиней (позначеної як Y) дослідних груп залежно від дози спожитих важких металів, вміст чистого Кадмію в кормі (тобто дозу)

позначили як X_1 , а вміст чистого Плюмбуму – X_2 . Побудову моделі здійснювали у програмі MS Excel-2010 за допомогою інструменту «регресія» в межах пакета «Аналіз даних». Водночас застосовували метод відбору найбільш інформативних змінних (найвищими значеннями коефіцієнта детермінації R^2 усього рівняння регресії та найнижчим значенням рівня значущості цього рівняння за Фішером P_F за умови значущості усіх його коефіцієнтів за Стьюдентом на рівні не більш як $P<0,05$). Рівняння регресії мало наступний загальний вигляд:

$$Y = a_0 + a_{11}X_1 + a_{21}X_2 + a_{12}X_1^2 + a_{22}X_2^2,$$

тобто у вигляді полінома 2-го ступеня за показниками X_1 і X_2 . Під час побудови рівнянь регресії було відкинуто дані для V групи I і II серій випробувань, оскільки разом з важкими металами раціони для цих груп підсвинків містили антитоксичну рослинну добавку. Рівняння регресії для залежності між вмістом Кадмію і Плюмбуму в кормах і ступенем накопичення їх у органах і тканинах дослідних тварин наведено у таблиці 4.

За даними таблиці 3 усі рівняння регресії фактично звелися до рівнянь парної лінійної регресії (окрім 1-го рівняння лінійної множинної регресії за показниками X_1 і X_2). Головний вплив на збільшення вмісту Кадмію і Плюмбуму у тканинах підсвинків має збільшення дози цих елементів у кормах. Згідно з першим рівнянням регресії на вміст Плюмбуму у м'ясі впливає і концентрація Кадмію в кормах – зі збільшенням його концентрації X_1 вміст Плюмбуму у м'ясі зменшується (тобто Кадмій витісняє його).

Усі рівняння є достовірними за Фішером ($p_F<0,05$) з високими значеннями коефіцієнтів

Таблиця 4 – Моделі залежності вмісту Кадмію та Плюмбуму у тканинах підсвинків від дози важких металів у кормах

| Органи та тканини | Рівняння регресії | R^2 | $>p_F$ |
|-------------------|-------------------------------|-------|----------|
| Кадмій | | | |
| М'ясо | $Y = 0,00819X_1$ | 0,77 | 0,003 |
| Печінка | $Y = 0,481X_1$ | 0,97 | 0,000004 |
| Нирки | $Y = 3,896X_1$ | 0,97 | 0,000006 |
| Селезінка | $Y = 0,178 X_1$ | 0,70 | 0,0066 |
| Плюмбум | | | |
| М'ясо | $Y = 0,0119X_2 - 0,000437X_1$ | 0,93 | 0,0009 |
| Печінка | $Y = 0,0354X_2$ | 0,90 | 0,0002 |
| Нирки | $Y = 0,0235X_2$ | 0,88 | 0,0004 |
| Селезінка | $Y = 0,0159X_2$ | 0,80 | 0,0018 |

детермінації, тому можуть бути застосовані для прогнозування вмісту Кадмію і Плюмбуму у м'ясі та внутрішніх органах.

Висновки. 1. Встановлено, що за дії важких металів у дозах 10 та 20 ГДК відбувалось зменшення живої маси тварин наприкінці досліду у межах 5,4–14,8 %, водночас ступінь впливу зростає із дозою ($r=0,854$) та залежав від самого металу і виду дії. За дії важких металів відмічали зміни у масі внутрішніх органів, особливо значущим було збільшення маси печінки у II серії дослідів (від 11,1 до 14,6 % проти контролю).

2. Виявлено, що найбільше важкі метали накопичувалися у печінці (у межах 1,04–5,36 мг/кг) та нирках (0,77–39,59 мг/кг), а найменше – у м'язах (0,04–0,96 мг/кг). Зі збільшенням дози токсикантів зростала і їх концентрація у м'ясі, нирках, селезінці, що підтверджувалося сильним кореляційним зв'язком ($r>0,7$). Середній і слабкий кореляційний зв'язок спостерігали між дозою токсикантів і вмістом Кадмію в печінці ($r=0,534$). У групах, де тваринам згодовували важкі метали сумісно, відмічали зміну характеру накопичення токсинів, що пов'язано з антагоністичною дією Кадмію і Плюмбуму між собою.

3. Побудовано математичні моделі залежності ступеня накопичення токсинів у органах і тканинах досліджуваних тварин залежно від дози Кадмію і Плюмбуму в кормах та виду дії. Отримані рівняння є достовірними ($p_F<0,05$) з високими значеннями коефіцієнта детермінації, тому можуть бути застосовані з метою прогнозування впливу хемотоксикантів на організм тварин та накопичення у продукції свинарства.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Савченко Ю.І., Савчук І.М., Савченко М.Г. Концентрація Pb і Cd у свинині за використання в раціонах різних зерносумішей. Вісник аграрної науки. № 5. 2016. С. 21–24.

2. Титов А. Ф., Казнина Н. М., Таланова В. В. Тяжелые металлы и растения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. 194 с.

3. Басиладзе Г. В., Каландия Е. Г. Влияние загрязненного тяжёлыми металлами молока на безопасность молочных продуктов. Инновационные технологии в АПК: теория и практика: сборник статей V Международной научно-практической конференции. Пенза: РИО ПГАУ, 2017. С. 10–13.

4. Рыбкин В. С., Богданов А. Н., Чуйков Ю. С., Теплая Г. А. Тяжелые металлы как фактор возможных экологически обусловленных заболеваний в Астраханском регионе. Гигиена и санитария. Москва: Медицина, № 2. 2014. С. 27–30.

5. Кроїк Г. А. Токсикологічні аспекти накопичення та розподілу важких металів у ґрунтах промислових агломерацій. Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах:

матеріали VI Міжнародної наукової конференції. Дніпропетровськ: ДНУ, 2011. С. 15–18.

6. Куранова А. П., Иванова Е. Б. Тяжёлые металлы как экотоксиканты. Прикладная токсикология. 2010. № 2. Т. 1. С. 14–17.

7. Детергенти сучасності: монографія. Житомир: Житомирський національний агроєкологічний університет, 2012. 652 с.

8. Бокова Т. И. Экологические основы инновационного совершенствования пищевых продуктов: монография. Новосибирск: Новосиб. гос. аграр. ун-т, СибНИИ переработки с.-х. продукции, 2011. 284 с.

9. Hassan Z., Aarts M. G. M. Opportunities and feasibility for biotechnological improvement of Zn, Cd or Ni tolerance and accumulation in plants. Environ. Exp. Biol. 2011. Vol. 72. P. 53–63. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.env-expbot.2010.04.003>.

10. Гонохова М. Влияние на свиней тяжелых металлов в кормах. Животноводство России. 2008. № 12. С. 25–26.

11. Шаторна В. Ф., Гарець В. І., Нефьодова О. О., Кривошей В. В. Механізми впливу важких металів на морфофункціональний стан травної системи. Вісник проблем біології і медицини. 2016. В.1. Т. 1 (126). С. 57–59.

12. Богуславская Н. В. Загрязнение окружающей среды – важнейший фактор ухудшения продуктивного здоровья животных. Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал. 2010. № 1. 224 с.

13. Чалая О. С. Действие кадмия и свинца на организм молодняка свиней на откорме. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 8. С. 78–80.

14. Чалая О. С. Відгодівельні та забійні якості свиней за впливу токсичних доз важких металів. Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини: зб. наук. пр. Харківської державної зооветеринарної академії. Харків, 2012. Вип. 24. ч.1. С. 66–69.

15. Trace mineral status and toxic metal accumulation in extensive and intensive pigs in NW Spain / M. López-Alonso et al. Livestock Science. Vol. 146. Issue 1. June 2012. P. 47–53. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.02.019>.

16. Барановський Д. І., Гетманець О. М., Хохлов А. М. Біометрія в програмному середовищі MS Excel: навчальний посібник. Харків: СПД ФО Бровін О.В., 2017. 90 с.

17. Лебедько Е. Я., Хохлов А. М., Барановський Д. И., Гетманець О. М. Биометрия в Excel. СПб: ЭБС Лань, 2018. 172 с.

REFERENCES

1. Savchenko, Yu.I., Savchuk, I.M., Savchenko, M.G. (2016). Koncentraciya Pb i Cd u svy'ny'ni za vy'kory'stan-nya v racionax rizny'h zernosumishej [The concentration of Pb and Cd in pork for use in the diets of different mixtures]. Visny'k agrarnoyi nauky' [Bulletin of Agricultural Science], no. 5, pp. 21–24.

2. Titov, A. F., Kaznina, N. M., Talanova, V. V. (2014). Tyazhelyie metally i rasteniya [Heavy metals and plants]. Petrozavodsk: Karelskiy nauchnyiy tsentr RAN [Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of RAS]. 194 p.

3. Basiladze, G. V., Kalandiya, E. G. (2017). Vliyaniye zagryaznennogo tyazhyolyimi metallami moloka na bezopasnost molochnyih produktov [Influence of milk contaminated with

heavy metals on the safety of dairy products]. *Innovatsionnyie tehnologii v APK: teoriya i praktika: sbornik statey V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovative technologies in the agro-industrial complex: theory and practice: collection of articles of the V International scientific-practical conference]. Penza: RIO PSAU, pp. 10–13.

4. Ryibkin, V. S., Bogdanov, A. N., Chuykov, Yu. S., Teplaya, G. A. (2014). Tyazhelyie metallyi kak faktor vozmozhnykh ekologicheskikh obuslovlennykh zabolevaniy v Astrahanskom regione [Heavy metals as a factor of possible environmentally related diseases in the Astrakhan region]. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation]. Moscow: Medicine, no. 2, pp. 27–30.

5. Kroyik, G. A. (2011). Toksykologichni aspekty nakopy' chennyya ta rozpodilu vazhky'h metaliv u g'run-tax promy'slovy'h aglomeracij [Toxicological aspects of accumulation and distribution of heavy metals in soils of industrial agglomerations]. *Bioriznomanittya ta rol' tvary'n v ekosy'stemax: materialy' VI Mizhnarodnoyi naukovo-y konferentsiyi* [Biodiversity and the role of animals in ecosystems: materials of the VI International Scientific Conference]. Dnepropetrovsk: DNU, pp. 15–18.

6. Kuranova A. P., Ivanova E. B (2010) Tyazhyolyie metallyi kak ekotoksikanty [Heavy metals as ecotoxicants]. *Prikladnaya toksikologiya* [Applied Toxicology]. no. 2, Vol. 1, pp. 14–17.

7. Detergency' suchasnosti: monografiya [Detergents of modernity: a monograph]. *Zhy'tomy'r: Zhy'tomy'rs'ky'j nacional'ny'j agroekologichny'j univerty'tet* [Zhy'tomyr: Zhy'tomyr National Agroecological University]. 2012. 652 p.

8. Bokova, T. I. (2011). Ekologicheskie osnovy innovatsionnogo sovershenstvovaniya pischevykh produktov: monografiya [Environmental foundations of innovative improvement of food products: monograph]. *Novosib. gos. agrar. un-t, SibNII pererobki s.-h. produktiv* [Novosibirsk: Novosib. state agrarian. un-t, SibNII processing of agricultural products]. 284 p.

9. Hassan, Z., Aarts, M.G.M. (2011). Opportunities and feasibility for biotechnological improvement of Zn, Cd or Ni tolerance and accumulation in plants. *Environ. Exp. Biol.* Vol. 72, pp. 53–63. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enxpb.2010.04.003>.

10. Gonohova, M. (2008). Vliyanie na sviney tyazhelykh metallov v kormakh [Effect on pigs of heavy metals in feed]. *Zhivotnovodstvo Rossii* [Livestock raising in Russia]. no.12, pp. 25–26.

11. Shatorna, V. F., Garecz', V. I., Nef'odova, O. O., Kry'voshej, V. V. (2016). Mehanizmy' vply'vu vazhky'h metaliv na morfofunkcional'ny'j stan travnoyi sy'stemy' [Mechanisms of influence of heavy metals on the morpho-functional state of the digestive system]. *Visny'k problem biologiyi i medy'cy'ny'* [Bulletin of problems of biology and medicine]. Issue 1, Vol. 1 (126), pp. 57–59.

12. Boguslavskaya, N.V. (2010). Zagryaznenie okruzhayushey sredy - vazhneyshiy faktor uhudsheniya produktivnogo zdorovya zhivotnykh [Environmental pollution is the most important factor in the deterioration of the productive health of animals]. *Ekologicheskaya bezopasnost v APK* [Environmental safety in the agro-industrial complex]. *Referativnyy zhurnal* [Abstract journal]. no. 1, 224 p.

13. Chalaya, O.S. (2013). Deystvie kadmiya i svinca na organizm molodnyaka sviney na otkorme [The effect of cadmium

and lead on the body of young fattening pigs]. *Vestnik Kursko gosudarstvennoy sel'skhozaystvennoy akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy]. no. 8, pp. 78–80.

14. Chalaya, O. S. (2012). Vidgodivel'ni ta zabijni yakosti svy'nej za vply'vu toksy'chny'h doz vazhky'h metaliv [Fattening and slaughter qualities of pigs under the influence of toxic doses of heavy metals]. *Problemy' zoonzheneriyi ta vetery'narnoyi medy'cy'ni: zb. nauk. pr. Harkivs'koyi derzhavnoyi zoovetery'narnoyi akademiyi* [Problems of zooengineering and veterinary medicine: coll. Science. Kharkiv State Veterinary Academy]. Kharkiv, Issue 24, Part 1, pp. 66–69.

15. López-Alonso, M., García-Vaquero, M., Benedito, J. L., Castillo, C., Miranda, M. (2012). Trace mineral status and toxic metal accumulation in extensive and intensive pigs in NW Spain. *Livestock Science*. Vol. 146, Issue 1, pp. 47–53. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.02.019>.

16. Baranov's'ky'j, D. I., Getmanecz, O.M., Hohlov, A. M. (2017). Biometriya v programnomu seredovy'shhi MS-Excel: navchal'ny'j posibny'k [Biometrics in the MS Excel software environment: a textbook]. Harkiv: SPD FO Brovin O.V. [Kharkiv: SPD FO Brovin O.V.]. 90 p.

17. Lebed'ko, E. Y., Hohlov, A. M., Baranovskij, D. I., Getmanec, O. M. (2018). Biometriya v Excel [Biometrics in Excel]. SpB: JeBS Lan' [St. Petersburg: EBS Lan]. 172 p.

Математическая модель прогнозирования накопления тяжелых металлов в продукции свиноводства Чала А.С., Чалый А.И., Нагорный С.А.

Изучено влияние повышенных доз тяжелых металлов, а именно Кадмия и Плюмбума, на организм молодняка свиней. Тяжелые металлы скармливали отдельно и совместно, в дозах, превышающих предельно допустимые концентрации в кормах в 10 и 20 раз. Таким образом, смоделирован процесс интоксикации биологического объекта (свиньи) тяжелыми металлами, что может произойти в результате загрязнения окружающей среды. Исследования проводили с целью определения направления и степени влияния тяжелых металлов на живую массу, массу внутренних органов животных, степень накопления в продукции свиноводства. Статистическая обработка полученных данных позволила построить математические модели и установить корреляционную связь между изучаемыми факторами.

Установлено, что тяжелые металлы имеют существенное негативное влияние на интенсивность роста животных, и сила воздействия возрастает с дозой. Это подтверждает и высокая корреляционная связь между этими признаками – коэффициент корреляции (r) составляет 0,854. Так, живая масса свиней в конце опыта как в I так и в II сериях исследований под действием хемотоксикантов уменьшалась на 5,5–14,8 % по сравнению с контролем. Сила воздействия зависела и от самого токсина. Так, наибольший негативный эффект наблюдался как под действием одного Кадмия, так и Кадмия и Плюмбума вместе. Тяжелые металлы в большей степени накапливались в печени и почках, меньше всего – в мышцах. Построенные уравнения регрессии доказали, что главное влияние на увеличение содержания Кадмия и Плюмбума в органах и мясе имеет увеличение дозы соответствующего элемента в кормах. Содержание Кадмия в кормах оказывало влияние на содержание Плюмбума в мясе – с увеличением его концентрации, содержание Плюмбума

в мясе уменьшалось. Полученные данные исследований дают представление о направлении и степени воздействия тяжелых металлов на биологические объекты. Математические модели могут использоваться для прогнозирования влияния и степени накопления хемотокси-кантов в продукции свиноводства.

Ключевые слова: Плюмбум, Кадмий, продукция свиноводства, экоцидное воздействие, миграция ксенобиотиков, математические модели.

The mathematical model for forecasting the accumulation of heavy metals in pig production

Chala O., Chaly O., Nagorny S.

The results of research represent the impact of extensive doses of heavy metals such as lead and cadmium in store pigs bodies. Heavy metals were fed jointly and individually in the doses exceeding the maximum allowable concentrations in the fodder by 10 and 20 times. Therefore, the process of intoxication of the biological object (a swine) by heavy metals is modeled in a way similar to that, which might occur as the result of environmental pollution. The study was performed in order to determine the targets and the extent of the impact of heavy metals exerted upon the body weight, weight of inner parts of the animal body, and the incorporation rate of heavy metals in the swine breeding products. Statistical processing of the obtained data allowed developing mathematical models and determining the correlational relationships between the aspects under investigation.

It is determined that heavy metals exert an essential negative impact upon the rate of animal growth and the power of influence increases with the dose. It is also confirmed by a high value of correlational relationship between these parameters (the correlation coefficient (r) is 0.854). Thus, the body weight of swine during the latter of I-II stages decreased by 5.5 to 14.8% as it was compared to the control under the influence of hemotoxic substances. The extent of the impact was also dependent upon the toxin itself. Thus, the largest negative effect was observed both under the impact of cadmium only and of cadmium and lead taken together. The highest accumulation of heavy metals was observed in the liver and kidneys, whereas the lowest – in the muscles. The built regression equations showed that increasing of the dose of the relevant element in the fodder exerted the main impact on concentration of cadmium and lead in the body and meat. The content of cadmium in the fodder exerted an impact upon concentration of lead in the meat – with the increase of cadmium concentration the content of lead in the meat decreased. The results of the studies provide an overview of the targets and the extent of the impact exerted by heavy metals upon biological objects. The mathematical models may be used for prediction of the impact and the incorporation rate value of the hemotoxic substances in the swine breeding products.

Key words: lead, cadmium, swine breeding products, ecocide environmental impact, migration of xenobiotic, mathematical model.



Copyright: Чала О.С., Чалий О.І., Нагорний С.А. © 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.



Чала О.С.
Чалий О.І.
Нагорний С.А.

ID: <https://orcid.org/0000-0003-0189-6657>
ID: <https://orcid.org/0000-0001-6159-9908>
ID: <https://orcid.org/0000-0001-7870-2342>