

УДК 504.5-34:633.16:664.7

Особливості зміни вмісту важких металів у зерні сортів ячменю ярого (*Hordeum sativum*) різного використання залежно від тривалості зберігання

В. І. Войтовська¹, І. Ю. Рассадіна², Н. М. Климович², С. О. Третьякова²

¹Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна 25, м. Київ, 03110, Україна,
e-mail: vvojtovska6@gmail.com

²Уманський національний університет садівництва, вул. Інститутська, 1, м. Умань, 20305, Україна

Мета. Дослідити вміст важких металів у сортах ячменю ярого різних напрямів використання залежно від тривалості зберігання зерна. **Методи.** Лабораторний, аналітичний, статистичний. **Результати.** Встановлено, що досліджувані сорти незалежно від напряму використання мали індивідуальне накопичення вмісту важких металів. У зернових сортів встановлено обернену залежність щодо інтенсивності концентрації свинцю в зерні ячменю ярого – чим довший термін зберігання, тим менший вміст його в зерні. Накопичення важких металів ртуті (Hg) і арсену (As) у зерні ярого ячменю сортів зернового напряму використання дозволяє відмітити, що із збільшенням терміну зберігання вміст їх зменшується. Встановлено, що накопичення важких металів міді (Cu) і цинку (Zn) у зерні ярого ячменю зернового напрямку залежно від терміну зберігання – збільшується. Відмічено зменшення вмісту цинку після місяця зберігання і залежно від сортових особливостей. Неістотне збільшення, у сортах пивоварного використання, встановлено після трьох і шести місяців зберігання зерна. Після дев'яти місяців і року зберігання відбувалось збільшення вмісту міді, але до гранично допустимої норми. **Висновки.** Сорти ярого ячменю незалежно від використання мали індивідуальне накопичення вмісту важких металів. Сорти 'Сталкер' і 'Аграрій' чутливі до свинцю і вміст його одразу після обмолоту становив 1,08 мг/кг і 1,12 мг/кг, а через місяць цей показник був в межах 0,73 мг/кг і 1,02 мг/кг. Зберігання зерна ярого ячменю упродовж 9 та 12 місяців дозволяє встановити, що порівняно із показниками, які були отримані одразу після обмолоту, накопичення кадмію збільшилось. Так, у сортів 'Сталкер' цей показник становив 0,09 мг/кг, а у 'Аграрій' – 0,13 і 0,014 мг/кг. Найчутливішими до міді можна відзначити сорти 'Аграрій' 3,00 мг/кг і 'Взірець' 2,56 мг/кг, а найнижчі показники у сортів 'Щедрик' 2,27 мг/кг і 'Сталкер' 2,31 мг/кг. Сорт 'Еней' універсального використання за вмістом важких металів характеризувався порівняно із зерновими сортами меншим їх вмістом. У пивоварного ярого ячменю залежно від тривалості зберігання зерна встановлено, що як і у попередніх зернових і універсального використання вміст важких металів накопичується неоднаково, а залежно від сортових особливостей.

Ключові слова: кадмій (Cd); свинець (Pb); ртуть (Hg); арсен (As); мідь (Cu); цинк (Zn); сорти; використання; тривалість зберігання.

Вступ

Інтенсивна хімізація технологічних процесів вирощування зернових культур супроводжується внесенням високих норм мінеральних добрив, пестицидів та інших хімічних реагентів, що в свою чергу є передумовою забруднення зернової продукції важкими металами. Серед забруднювачів важкі метали вирізняються особливим екологічним та біологічним впливом [1–4].

Неконтрольоване внесення мінеральних речовин на поля порушує природний цикл кругообігу речовин у біосфері, впливаючи при цьому як на систему «ґрунт – рослина», так і на поверхневі й підґрунтові води, атмосферу, підстилаючі породи, людину, тварин тощо. Забруднення ґрунту, повітря і природних вод токсичними сполуками (які можуть переходити за допомогою трофічних ланцюгів та накопичуватись у рослинах, тваринах і людині) у кінцевому результаті може

Войтовська В. І., Рассадіна І. Ю., Климович Н. М., Третьякова С. О. Особливості зміни вмісту важких металів у зерні сортів ячменю ярого (*Hordeum sativum*) різного використання залежно від тривалості зберігання. *Новітні агротехнології*. 2020. № 8. doi: <https://doi.org/10.47414/na.8.2020.231238>.

призвести до загибелі окремих видів рослин, тварин і навіть людини, якщо своєчасно не вжити необхідних заходів [5–9].

Одними із найбільш небезпечних доцільно виділити: кадмій (Cd), свинець (Pb), ртуть (Hg), арсен (As), мідь (Cu), цинк (Zn). Ці важкі метали здатні накопичуватись не тільки у вегетативних, але і генеративних органах сільськогосподарських культур [10–14].

Свинець, зокрема, відноситься до хімічних елементів, які характеризуються високою токсичністю щодо біологічних об'єктів (І клас – високонебезпечні). Такі елементи становлять безпосередню загрозу навколишньому природному середовищу. Крім того, свинець належить до десяти хімічних елементів, які є пріоритетними забруднювачами навколишнього середовища [15]. Інші перераховані важкі метали також є небезпечними і їх надлишок в організмі викликає цілу низку порушень на всіх рівнях організму, що призводить не лише до посилення, але і до виникнення різного виду захворювань. Ці елементи добре адсорбуються орним шаром ґрунту, особливо за високого вмісту гумусу і важкого гранулометричного складу. Їх сполуки досить стійкі і зберігають токсичні властивості упродовж тривалого часу та істотно накопичуються у зерні різних сільськогосподарських культур. Дослідження авторів вказують, що інтенсивність накопичення важких металів у різних видів зернових культур неоднакова [16–18]. Тому проблема накопичення важких металів у зерні ячменю ярого різного використання має важливе значення.

Мета досліджень – дослідити вміст важких металів у сортах ячменю ярого різного використання залежно від тривалості зберігання зерна.

Матеріали та методика досліджень

У дослідженнях використовували сорти ярого ячменю різного використання – зерновий, універсальний, пивоварний. Усі матеріали мали стійкість до вилягання та зареєстровані у Державному реєстрі сортів України.

Зернові сорти: ‘Сталкер’, ‘Водограй’, ‘Взірець’, ‘Аграрій’, ‘Щедрик’; універсальні: ‘Еней’; пивоварні: ‘Козак’, ‘Докучаєвський 15’, ‘Етикет’, ‘Геліос’, ‘Святогор’.

Зерно ярого ячменю досліджували упродовж 2018–2020 років і визначали у ньому вміст важких металів.

Лабораторні аналізи включали визначення вмісту основних важких металів: кадмій (Cd), свинець (Pb), ртуть (Hg), арсен (As), мідь (Cu), цинк (Zn) після збирання урожаю в різні періоди: одразу після обмолоту, через місяць, три, шість, дев'ять та дванадцять місяців [19–21].

Вміст кадмію, свинцю, міді та цинку визначали за ДСТУ EN 14082:2019 [22], вміст арсену – за ДСТУ 7453:2013 [23], вміст ртуті – за МВВ 081–12/03–98.

Гранично допустима концентрація (ГДК) вмісту свинцю в зерні ячменю становить 0,5 мг/кг, кадмію – 0,1, цинку – 50,0 і міді – 10,0 мг/кг [24], тому нами ці показники були взяті в якості контролів.

Результати досліджень

Дослідженнями встановлено, що у різних сортів ярого ячменю накопичення важких металів у процесі зберігання зерна і внаслідок перебігу фізіологічних реакцій, концентрація їх у зерні може змінюватись незалежно від використання (зерновий, універсальний, пивоварний). Так у сортів зернового використання встановлено, що інтенсивність зниження свинцю в зерні ячменю ярого має обернену залежність: чим довший термін зберігання, тим менший вміст його в зерні. Концентрація кадмію і цинку знижується упродовж одного місяця, а потім підвищується. Такі ж дослідження підтверджуються й іншими авторами [25].

Вміст ртуті (Hg) і арсену (As) залежно від тривалого терміну зберігання поступово зменшується. Крім того, сорти ярого ячменю незалежно від напряму використання мали індивідуальне накопичення вмісту важких металів. Сорти ‘Сталкер’ і ‘Аграрій’ чутливі до свинцю і вміст його одразу після обмолоту становив 1,08 мг/кг і 1,12 мг/кг, а через місяць цей показник був у межах 0,73 мг/кг і 1,02 мг/кг. Визначення через 3, 6 і 9 місяців вказує на поступове зменшення концентрації елементу у зерні. Через 12 місяців у сортів ‘Сталкер’ і ‘Аграрій’ вміст свинцю становив – 0,29 і 0,34 мг/кг.

Сорти ‘Водограй’, ‘Взірець’ і ‘Щедрик’ мали майже однаковий вміст свинцю від 1,01 мг/кг до 1,05 мг/кг. Через місяць після збору зерна відмічено суттєве його зменшення. Особливо, доцільно

відмітити сорт 'Водограй', у якого цей показник був 0,28 мг/кг. Сорти 'Взірець' і 'Щедрик' на цю ж дату мали зменшення на 0,10 і 0,18 мг/кг відповідно.

Гранично допустима концентрація кадмію становить 0,1 мг/кг, однак його вміст одразу після обмолоту становив у сортів 'Сталкер' і 'Аграрій' – 0,07 мг/кг, 'Водограй' і 'Щедрик' – 0,05 мг/кг, а у сорту 'Взірець' встановлено найвищу концентрацію 0,09 мг/кг. Через місяць і три у цих же сортів відмічено неістотне зменшення, а після шести збільшення. Зберігання зерна ярого ячменю упродовж 9 та 12 місяців дозволяє встановити, що порівняно із показниками, які були отримані одразу після обмолоту, накопичення кадмію збільшилось. Так, у сорту 'Сталкер' цей показник становив 0,09 мг/кг, а у 'Аграрій' – 0,13 і 0,014 мг/кг. 'Водограй' і 'Щедрик' – через 12 місяців зберігання мали вміст кадмію – 0,12 і 0,17 мг/кг, проміжне між ними положення займав сорт 'Взірець' – 0,15 мг/кг (рис. 1).

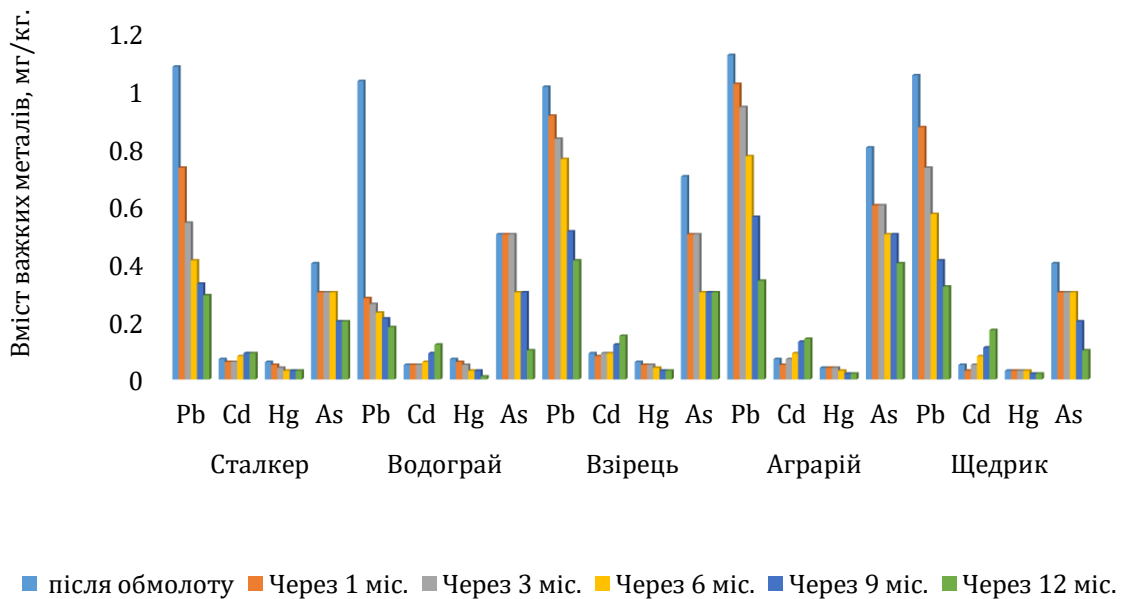


Рис. 1. Накопичення важких металів у зерні ярого ячменю сортів зернового використання залежно від тривалості зберігання, мг/кг (середнє за 2018–2020 рр.)

Накопичення важких металів ртуті (Hg) і арсену (As) у зерні ярого ячменю сортів зернового використання дозволяє відмітити, що із збільшенням терміну зберігання вміст їх зменшується. Зокрема, у сорту 'Сталкер' ці показники одразу після обмолоту були в межах: ртуть – 0,06 мг/кг і арсен – 0,4 мг/кг. Через місяць і три відмічено неістотне зменшення, а через 12 місяців зберігання ці ж показники становили: ртуть – 0,03 мг/кг і арсен – 0,2 мг/кг. Найменший вміст важких металів (ртуті і арсену) встановлено у сорту 'Водограй', і через 12 місяців їх вміст становив 0,01 мг/кг і 0,1 мг/кг відповідно. Майже із такими показниками відмічено і сорт 'Щедрик'. У сортів 'Взірець' і 'Аграрій' вміст ртуті був 0,03 і 0,02 мг/кг, а арсену 0,3 і 0,4 мг/кг (рис. 1).

Встановлено, що накопичення важких металів міді (Cu) і цинку (Zn) у зерні ярого ячменю зернового використання залежно від терміну зберігання збільшується. Дослідження різних сортів вказує, що одразу після обмолоту вміст міді (Cu) коливається від 2,27 до 3,0 мг/кг, через три місяці її вміст становить від 3,66 до 6,88 мг/кг, а через дванадцять місяців від 5,91 до 8,15 мг/кг. Така сама закономірність встановлена й у цинку (Zn), вміст якого одразу після обмолоту у зерні становив від 12,55 до 14,05 мг/кг, через шість місяців – від 16,02 до 25,05 мг/кг, а через дванадцять місяців – від 19,67 до 26,78 мг/кг.

Найчутливішими до накопичення міді (Cu) одразу після обмолоту можна відзначити сорти 'Аграрій' 3,00 мг/кг і 'Взірець' 2,56 мг/кг, а найнижчі показники були у сортів Щедрик 2,27 мг/кг і 'Сталкер' 2,31 мг/кг. Аналізуючи дані, можна зазначити, що уже через три місяці після збору зерна вміст міді істотно збільшився в усіх досліджуваних сортах. Так, вміст досліджуваного елемента від найбільшого до найменшого встановлено у сортів: 'Аграрій' 6,88 мг/кг і 'Взірець' 5,23 мг/кг, 'Щедрик' 2,27 мг/кг, 'Сталкер' 2,31 мг/кг і 'Водограй' 2,38 мг/кг. Досліджуючи вміст міді після дев'яти місяців зберігання зерна ярого ячменю, можна відмітити таку ж закономірність, як і після

трьох місяців: у сортів 'Аграрій' 7,55 мг/кг і 'Взірець' 6,44 мг/кг, 'Щедрик' 5,61 мг/кг, 'Сталкер' 6,03 мг/кг і 'Водограй' 4,78 мг/кг. Через дванадцять місяців у цих же сортів вміст міді також збільшився у такому ж порядку.

Експериментальні дані свідчать, що за вмістом цинку (Zn) лідируючу позицію відразу після обмолоту зерна встановлено у таких сортів: 'Аграрій' – 14,05 мг/кг, 'Водограй' – 13,65 мг/кг, 'Сталкер' – 13,23 мг/кг, 'Взірець' – 12,77 мг/кг, Щедрик – 12,55 мг/кг. Дані досліджень після трьох місяців зберігання зерна вказують, що рівень цинку збільшився і варіював від 14,78 мг/кг у 'Щедрика' до 23,01 мг/кг у 'Сталкера'. Поступове збільшення прослідковується за зберігання зерна упродовж шести і дев'яти місяців. Так, у сортів ярого ячменю встановлено вміст цинку за цих періодів у таких межах: 'Водограй' – 25,05 і 26,01 мг/кг, 'Сталкер' – 24,16 і 24,56 мг/кг, 'Взірець' – 18,01 і 20,02 мг/кг, 'Аграрій' 17,32 і 18,01 мг/кг, 'Щедрик' 16,02 і 17,89 мг/кг.

Накопичення важких металів, а саме цинку, у зерні ярого ячменю сортів зернового використання залежно від дванадцятимісячного терміну зберігання дозволяють відзначити, що у сортів цей показник становив від 19,67 до 26,78 мг/кг і не перевищував гранично допустиму норму. Сорти мали такий вміст цинку: 'Водограй' – 26,78 мг/кг, 'Сталкер' – 25,01 мг/кг, 'Взірець' – 21,07 мг/кг, 'Аграрій' і 'Щедрик' 19,67 мг/кг (рис. 2).

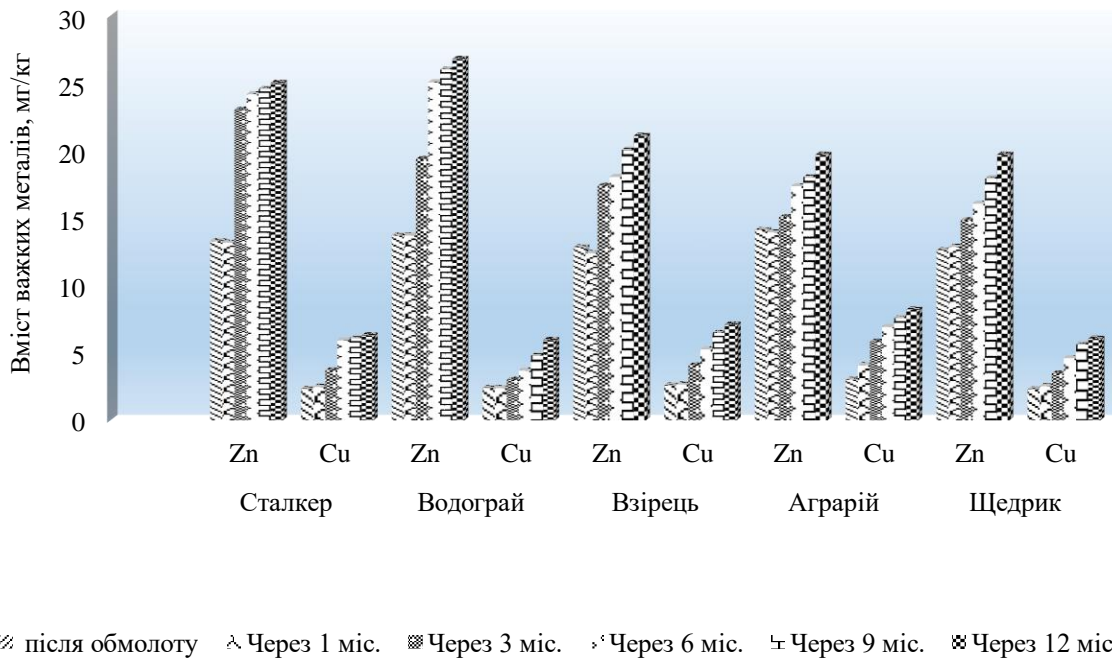


Рис. 2. Накопичення важких металів у зерні ярого ячменю сортів зернового використання залежно від тривалості зберігання, мг/кг (середнє за 2018–2020 рр.)

Генетичні особливості сорту істотно впливають на рівень накопичення важких металів в зерні. Сорт 'Еней' універсального використання за вмістом важких металів характеризувався порівняно із зерновими сортами меншим їх вмістом. Дослідження після обмолоту ярого ячменю вказують, що вміст у зерні свинцю становив 0,95 мг/кг, через місяць зменшився до 0,76 мг/кг, після трьох місяців – 0,55 мг/кг, шести – 0,40, дев'яти – 0,32 і дванадцяти – до 0,21 мг/кг. Визначення вмісту кадмію (Cd) дозволяє стверджувати його підвищення залежно від тривалості зберігання від 0,03 мг/кг до 0,07 мг/кг. За довготривалого зберігання зерна сорту 'Еней' універсального призначення упродовж року досліджено, що вміст важких металів ртуті і арсену був сталим та становив – 0,03 і 0,2 мг/кг.

Накопичення цинку і міді у сорті 'Еней' було рівнозначним зерновим сортам, вони накопичувались залежно від терміну зберігання. Зерно після обмолоту цинку містило 10,8 мг/кг, та із збільшенням до місяця цей показник збільшився до 11,9 мг/кг. Через три місяці порівняно із зерном одразу після обмолоту вміст цинку збільшився на 2,09 мг/кг, шість місяців – на 4,63 мг/кг, дев'ять – 5,53 мг/кг та дванадцять – на 8,25 мг/кг.

Експериментальні дослідження з визначення вмісту міді вказують, що у сорту 'Еней' її було залежно від терміну зберігання від 2,12 до 6,45 мг/кг.

Істотне збільшення міді відмічено через три місяці після збору зерна ярого ячменю – 3,88 мг/кг. В подальшому накопичення хімічного елементу збільшувалось до 4,67 мг/кг – через шість місяців, потім 5,77 мг/кг – через дев'ять та до 6,45 мг/кг – через дванадцять місяців відповідно (рис. 3).

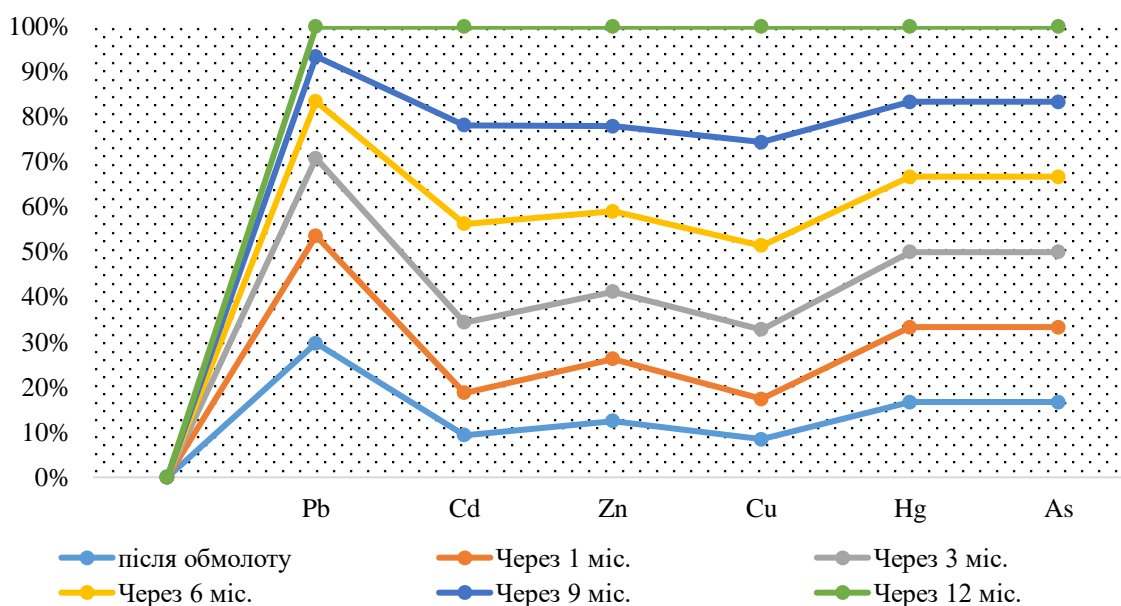


Рис. 3. Вміст важких металів у зерні ярого ячменю сорту 'Еней' залежно від тривалості зберігання, мг/кг (середнє за 2018–2020 рр.)

У пивоварного ярого ячменю залежно від тривалості зберігання зерна встановлено, що як і у попередніх зернових і універсального використання вміст важких металів накопичується неоднаково залежно від сортових особливостей.

За вмістом свинцю сорти 'Докучаєвський 15' (1,55 мг/кг) та 'Етикет' (1,43 мг/кг) переважали сорти 'Святогор' (1,37 мг/кг) і 'Геліос' (1,33 мг/кг), а найменший показник відмічено у сорту 'Козак' (1,15 мг/кг) за визначення у зерні одразу після обмолоту. Через місяць істотного зменшення не встановлено, однак після трьох цей показник був у межах від 1,00 мг/кг у сорту 'Козак' до 1,17 мг/кг – 'Етикет'. Після піврічного зберігання зберігалась така ж сама закономірність зменшення від 0,93 мг/кг у сорту 'Козак' до 1,12 мг/кг – 'Етикет', інші сорти займали проміжне положення – в середньому 1,03 мг/кг. Через дев'ять місяців пивоварні сорти містили свинцю в такій послідовності: 'Етикет' – 1,03 мг/кг, 'Святогор' і 'Геліос' 1,00 мг/кг, 'Докучаєвський 15' – 0,92 мг/кг, 'Козак' – 0,87 мг/кг. Найвищий вміст виявлено у сорту 'Етикет' – 1,00 мг/кг, а найнижчий у 'Козак' – 0,81 мг/кг після дванадцяти місяців зберігання зерна.

Відразу після обмолоту зерна у сорту 'Святогор' вміст кадмію був 0,08 мг/кг, а в усіх інших 0,09 мг/кг. Поступове збільшення відмічено через три та шість місяців. Так, у сортів через дев'ять місяців встановлено накопичення кадмію в зерні у такій послідовності: 'Докучаєвський 15' – 0,19 мг/кг, 'Етикет' – 0,18 мг/кг, 'Святогор', 'Геліос' і 'Козак' – 0,15 мг/кг. Дослідженнями встановлено, що через рік після зберігання вміст кадмію збільшився у сортів ярого ячменю на: 'Докучаєвський 15' – 0,13 мг/кг, 'Етикет' – 0,11 мг/кг, 'Козак' – 0,08 мг/кг, 'Святогор' і 'Геліос' 0,07 мг/кг.

Результати досліджень вказують, що вміст ртуті, окрім сорту 'Козак' (0,06 мг/кг), становив 0,07 мг/кг в усіх досліджуваних сортів. Через місяць, три і шість істотного зменшення не відмічено по усіх сортах. Вміст досліджуваного елементу варіював від 0,03 мг/кг ('Козак', 'Етикет', 'Геліос') до 0,05 мг/кг ('Докучаєвський 15', 'Святогор'). Найвищий вміст ртуті був у сортів 'Докучаєвський 15' і 'Святогор' – 0,04 мг/кг, а найменший – 'Геліос' – 0,02 мг/кг, проміжне положення 0,03 мг/кг відзначено в усіх інших сортах ярого ячменю.

Одразу після обмолоту показник арсену (As) в усіх сортах ярого ячменю був однаковий і становив – 0,9 мг/кг. Зберігання зерна упродовж трьох і одного місяця вказує на незначне

зменшення кількості досліджуваного елемента. Через шість і дев'ять місяців його вміст залежно від сортів зменшився у такій закономірності: 'Геліос' 0,7 і 0,5 мг/кг; 'Докучаєвський 15', 'Етикет', 'Святогор' – 0,6 і 0,5 мг/кг; 'Козак' – 0,5 і 0,3 мг/кг. Проведені дослідження вказують, що після року зберігання вміст арсену у сортах був незначним і найменша кількість його була у сорту 'Козак' – 0,3 мг/кг, а найбільша – у сортів 'Геліос', 'Докучаєвський 15' і 'Етикет' – 0,5 мг/кг (рис. 4).

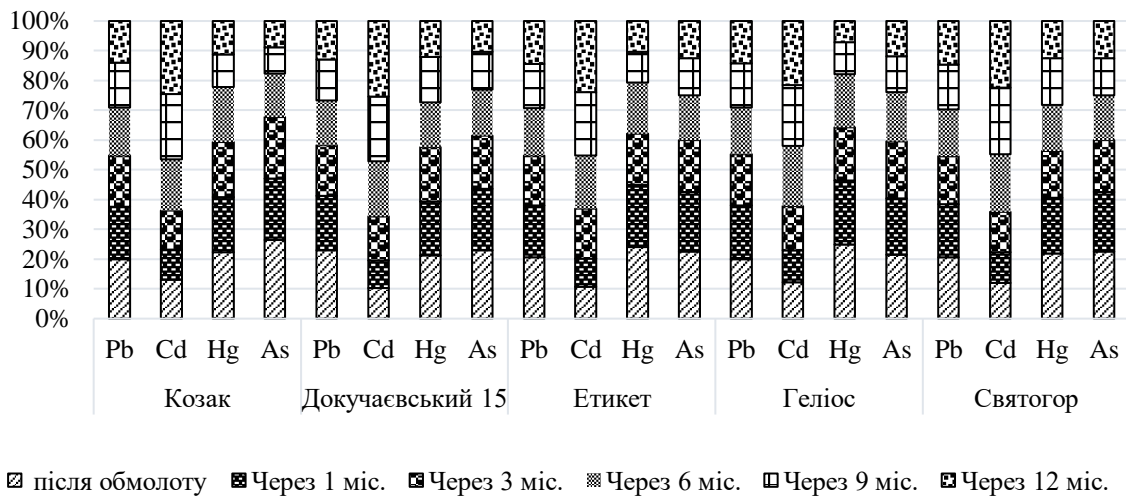


Рис. 4. Вміст важких металів у зерні різних сортів ярого ячменю пивоварного використання залежно від тривалості зберігання, мг/кг (середнє за 2018–2020 рр.)

Накопичення цинку у пивоварних сортах ярого ячменю одразу після обмолоту були в межах від 17,05 мг/кг ('Козак') до 33,5 мг/кг ('Святогор'). Відмічено зменшення вмісту цинку після місяця зберігання і залежно від сортових особливостей. Через три місяці вміст цинку знову збільшився і порівняно із початковими показниками становив: 'Святогор' – 31,12 мг/кг; 'Геліос' – 24,76 мг/кг; 'Етикет' – 22,17 мг/кг; 'Докучаєвський 15' – 21,77 мг/кг; 'Козак' – 18,89 мг/кг.

Найменший вміст після піврічного зберігання встановлено у сорту 'Козак' – 23,56 мг/кг, а найбільший – у 'Святогор' – 32,78 мг/кг. Сорти 'Геліос', 'Етикет' і 'Докучаєвський 15' накопичення мали від 24,87 до 26,12 мг/кг відповідно. Збільшення вмісту цинку від початку і упродовж року дозволяє встановити, що сорти пивоварного ярого ячменю мали таку послідовність: 'Святогор' – 34,01 мг/кг; 'Геліос' – 30,21 мг/кг; 'Етикет' – 29,93 мг/кг; 'Докучаєвський 15' – 29,78 мг/кг; 'Козак' – 26,32 мг/кг (рис. 5).

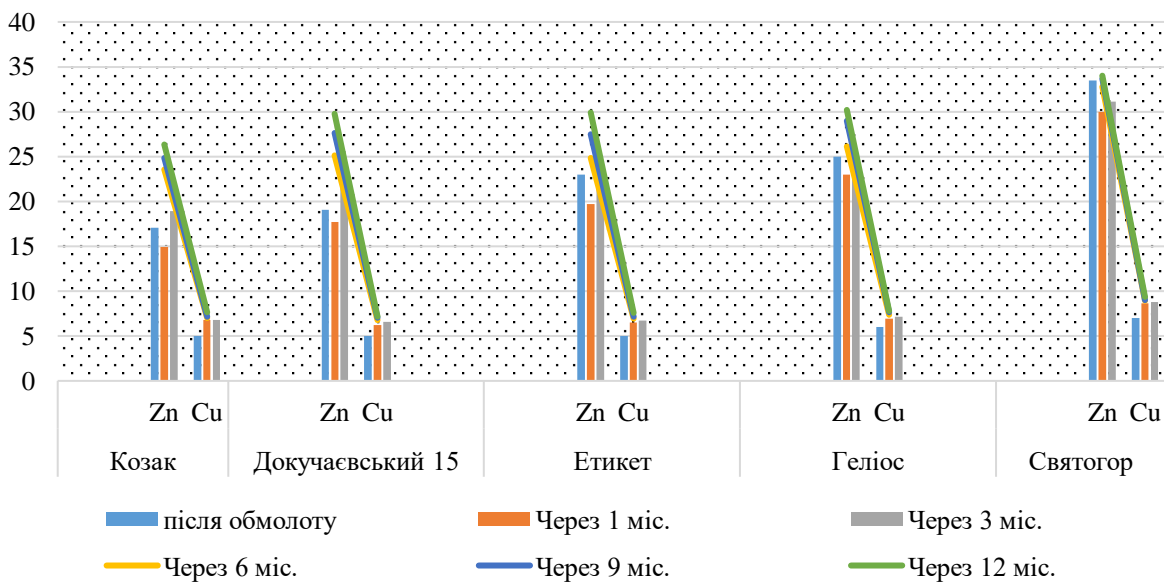


Рис. 5. Вміст важких металів у зерні різних сортів ярого ячменю пивоварного використання залежно від тривалості зберігання, мг/кг (середнє за 2018–2020 рр.)

Одразу після обмолоту у сортів вміст міді становив: 'Козак', 'Етикет' і 'Докучаєвський 15' – 5,0 мг/кг, на 1,0 мг/кг вище у сорту 'Геліос' і на 2,0 мг/кг у – 'Святогор'. Через місяць у них встановлено її збільшення на: 'Козак' – 1,77 мг/кг, 'Святогор' – 1,66 мг/кг, 'Етикет' – 1,51 мг/кг, 'Докучаєвський 15' – 1,23 мг/кг, 'Геліос' 0,91 мг/кг. Неістотне збільшення встановлено після трьох і шести місяців зберігання зерна. Аналізуючи дані можна відмітити, що після дев'яти місяців і року зберігання відбувалось збільшення вмісту міді, але до гранично допустимої норми. Через рік зберігання зерна дослідженнями встановлено у пивоварних сортів такий вміст міді: 'Святогор' – 9,33 мг/кг, 'Геліос' 7,81 мг/кг, 'Козак' – 7,65 мг/кг, 'Етикет' – 7,55 мг/кг, 'Докучаєвський 15' – 7,17 мг/кг.

Отже, показники акумулятивної здатності до важких металів ярого ячменю залежать не тільки від тривалості зберігання зерна, але і від сортових особливостей.

Висновки

Сорти 'Сталкер' і 'Аграрій' чутливі до свинцю і вміст його одразу після обмолоту становив 1,08 мг/кг і 1,12 мг/кг, а через місяць цей показник був в межах 0,73 мг/кг і 1,02 мг/кг. Визначення через 3, 6 і 9 місяців вказує на поступове зменшення концентрації елементу у зерні. Через 12 місяців у сортів 'Сталкер' і 'Аграрій' вміст свинцю становив – 0,29 і 0,34 мг/кг.

Найчутливішими до накопичення міді (Cu) одразу після обмолоту можна відзначити сорти 'Аграрій' 3,00 мг/кг і 'Взірець' 2,56 мг/кг, а найнижчі показники у сортів 'Щедрик' 2,27 мг/кг і 'Сталкер' 2,31 мг/кг.

Сорт 'Еней' універсального використання за вмістом важких металів характеризувався порівняно із зерновими сортами меншим їх вмістом.

У пивоварного ярого ячменю залежно від тривалості зберігання зерна встановлено, що, як і у попередніх зернових і універсального напрямлення, вміст важких металів накопичується неоднаково, а залежно від сортових особливостей.

За вмістом свинцю сорти 'Докучаєвський 15' (1,55 мг/кг) та 'Етикет' (1,43 мг/кг) переважали сорти 'Святогор' (1,37 мг/кг) і 'Геліос' (1,33 мг/кг), а найменший показник відмічено у сорту 'Козак' (1,15 мг/кг) за визначення у зерні одразу після обмолоту. Найвищий вміст виявлено у сорту 'Етикет' – 1,00 мг/кг, а найнижчий у 'Козак' – 0,81 мг/кг після дванадцяти місяців зберігання зерна.

Використана література

1. Сірант Л. В., Сандецька Н. В. Генетична різноманітність сортів ярого ячменю за локусами гордеїнів. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2020. № 27. С. 265–269.
2. Яковець Л. А. Шляхи токсикації зернової продукції. Збалансоване природокористування – перспектива розвитку суспільства: *Збірник матеріалів науково-практичної конференції студентів, магістрантів та аспірантів* (м. Вінниця, 30 березня 2016 р.). Вінниця : ВНАУ, 2016. С. 5–7.
3. Разанов С. Ф., Ткачук О. П. Інтенсивна хімізація землеробства – як передумова забруднення зернової продукції важкими металами. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2017. № 1. С. 66–71.
4. Fortoul T. I., Avila-Costa M.-R., Espejel-Maya G. et al. Metal mixture inhalation (Cd-Pb) and its effects on the bronchiolar epithelium. An ultrastructural approach. *Toxicol Ind Health*. 2004. Vol. 20, Iss. 1–5. P. 69–75. doi: 10.1191/0748233704th1960a
5. Ватаманюк О. В., Яковець Л. А. Накопичення Pb і Cd у зерні сільськогосподарських культур під час зберігання в умовах зміни клімату. *Вплив змін клімату на онтогенез рослин* : матер. доп. Міжнар. наук.-практ. конф. (Миколаїв, 3–5 жовтня 2018 р.). Миколаїв, 2018. С. 205–206.
6. Медведев П. В., Федотов В. А. Исследование влияния природно-географических и сортовых факторов на накопление тяжелых металлов яровой пшеницей. *Вестник ОГУ*. 2009. № 6. С. 222–226.
7. Яковишина Т. Ф. Екологічна оцінка реакції-відгуку озимих зернових культур на забруднення ґрунту важкими металами. *Технологія кормів і кормових добавок*. 2008. № 2. С. 122–131.
8. Prankel S. H., Nixon R. M., Phillips C. J. Meta analysis of feeding trials in vest gating cadmium accumulati on in the livers and kidneys of sheep. *Environmental Research*. 2004. Vol. 94, Iss. 2. P. 171–183.
9. Троїцький М. О., Дмитрієва Л. А. Міграція важких металів у ланці «ґрунт–рослини» в агроландшафтах степу України. *Наукові праці. Екологія*. 2012. Т. 167. С. 37–40.
10. Яковишина Т. Ф. Екологічна оцінка толерантності сортів озимої пшениці до забруднення важкими металами. *Вісник Сумського нац. аграр. ун-ту*. 2009. Вип. 7. С. 64–67.
11. Денчиля-Сакаль Г. М., Ніколайчук В. І., Колесник А. В. та ін. Особливості акумуляції важких металів в рослинах *Trifolium pratense* L. *Науковий вісник Ужгородського ун-ту. Серія : Біологія*. 2012. Вип. 33. С. 189–191.

12. Герасимчук Л. О., Валерко Р. А. Міграція Cu, Zn, Pb, Cd у системі «грунт–рослина». *Вісник Харківського національного аграрного університету*. 2013. № 1. С. 244–248.
13. Монарх В. В. Оцінка екологічних ризиків забруднення пестицидами компонентів агроєкосистеми. *Збалансоване природокористування*. 2014. № 1. С. 1–2.
14. Мазур В. А., Ткачук О. П., Яковець Л. А. Екологічна безпека зернової та зернобобової продукції. *Вінниця : ВНАУ*, 2020. 442 с.
15. Головач О. М., Демків О. Т. Поглинання і розподіл іонів свинцю у органах рослин та реакція на токсичну дію іона. *Науковий вісник Львівської національної академії ветеринарної медицини ім. С. З. Гжицького*. 2005. Т. 7, № 2. С. 33–38.
16. Флоря Л. В. Оцінка рівня забруднення ґрунтів важкими металами та їх вплив на урожайність сільськогосподарських культур у північно-західному Причорномор'ї. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2012. Вип. 13. С. 131–141.
17. Вінюков О. О., Коноваленко Л. І., Бондарева О. Б., Василенко Т. Ф. Сортові особливості накопичення важких металів зерновими колосовими культурами в промисловому регіоні. *Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області*. 2017. Вип. 23. С. 161–169.
18. Мазур В. А., Ткачук О. П., Яковець Л. А. Період зберігання зерна – як чинник підвищення його екологічної безпеки. *Природно-ресурсний та енергетичний потенціали: напрями збереження, відновлення та раціонального використання / за ред. О. О. Горба, Т. О. Чайки, І. О. Яснолоба*. Полтава : Астроя, 2019. С. 172–179.
19. Piper C. S. Soil and plant analysis. Scientific Publ., 2017. 368 p.
20. Екологічна експертиза технологій вирощування сільськогосподарських культур / за ред. Н. А. Макаренко, В. В. Макаренка. Київ, 2008. 84 с.
21. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства. Москва : ЦИНАО, 1992. 61 с.
22. Продукти харчові. Визначення вмісту свинцю, кадмію, цинку, міді, заліза та хрому методом атомно-абсорбційної спектроскопії (AAS) після сухого озолення : ДСТУ EN 14082:2019. Київ, 2019. 12 с.
23. Зерно, зернобобові та продукти їх перероблення. Визначення вмісту кадмію, свинцю та миш'яку методом атомно-абсорбційної спектроскопії з електротермічною атомізацією : ДСТУ 7453:2013. Київ, 2014. 16 с.
24. Hospodarenko H., Prokopchuk I., Nikitina O., Liubych V. Assessment of the contamination level of a podzolized chernozem with nuclides in a long-term land use. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*. 2019. Vol. 65, Iss. 3. P. 128–135.
25. Яковець Л. А. Інтенсивність зниження вмісту важких металів у зерні залежно від періоду очікування. *Збалансоване природокористування*. 2017. № 4. С. 126–129.

References

1. Sirant, L. V., & Sandetska, N. V. (2020). Genetic diversity of spring barley varieties by loci of gordeins. *Faktori eksperimental'noi evolucii organizmiv* [Factors in Experimental Evolution of Organisms], 27, 265–269. [in Ukrainian]
2. Yakovets, L. A. (2016). Ways of toxicity of grain products. Balanced nature management – the perspective of society development. *Proceedings of the scientific-practical conference of students, undergraduates and graduate students* (pp. 5–7). Vinnytsia: VNAU. [in Ukrainian]
3. Razanov, S. F., & Tkachuk, O. P. (2017). Intensive chemicalization of agriculture – as a prerequisite for contamination of grain products with heavy metals. *Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktiv tvarynnytstva* [Technology of production and processing of livestock products], 1, 66–71. [in Ukrainian]
4. Fortoul, T. I. (2004). Metal mixture inhalation (Cd-Pb) and its effects on the bronchiolar epithelium. An ultrastructural approach. *Toxicol Ind Health*, 20(1–5), 69–75.
5. Vatamaniuk, O. V., & Yakovets, L. A. (2018). Accumulation of Pb and Cd in grain of agricultural crops during storage in the conditions of climate change. In *Vplyv zmin klimatu na ontogenez roslyn: mater. dop. Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* [Influence of climate change on plant ontogenesis: Proc. Int. scientific-practical conf.] (pp. 205–206). Mykolaiv: N.p. [in Ukrainian]
6. Medvedev, P. V., & Fedotov, V. A. (2009). Investigation of the influence of natural-geographical and varietal factors on the accumulation of heavy metals by spring wheat. *Vestnik OGU*, 6, 222–226. [in Russian]
7. Yakovyshyna, T. F. (2008). Ecological assessment of reaction – response of winter grain crops to soil contamination by heavy metals. *Tekhnolohiia kormiv i kormovykh dobavok* [Technology of feeds and feed additives], 2, 122–131. [in Ukrainian]
8. Prankel, S. H., Nixon, R. M., & Phillips, C. J. (2004). Meta-analysis of feeding trials in vest gating cadmium accumulation in the livers and kidneys of sheep. *Environmental Research*, 94(2), 171–183.
9. Troitskyi, M. O., & Dmitrieva, L. A. (2012). Migration of heavy metals in the chain "soil–plants" in agro-landscapes of the steppe of Ukraine. *Naukovi pratsi. Ekolohiia* [Scientific works. Ecology], 167, 37–40. [in Ukrainian]

10. Yakovyshyna, T. F. (2009). Ecological assessment of tolerance of winter wheat varieties to heavy metal pollution. *Visnik Sums'kogo nacional'nogo agrarnogo universitetu* [Bulletin of Sumy National Agrarian University], 7, 64–67. [in Ukrainian]
11. Denchylia-Sakal, H. M., Nikolaichuk, V. I., & Kolesnyk, A. V. (2012). Features of accumulation of heavy metals in plants *Trifolium pratense* L. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriya: Biolohiia* [Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Biology], 33, 189–191. [in Ukrainian]
12. Herasymchuk, L. O. (2013). Migration of Cu, Zn, Pb, Cd in the system "soil-plant". *Visn. HNAU*, 1, 244–248. [in Ukrainian]
13. Monarkh, V. V. (2014). Assessment of environmental risks of pesticide contamination of agroecosystem components. *Zbalansovane prirodokoristuvannâ* [Balanced Nature Using], 1, 1–2. [in Ukrainian]
14. Mazur, V. A., Tkachuk, O. P., & Yakovets, L. A. (2020). *Ekolohichna bezpeka zernovoi ta zernobobovoi produktsii* [Ecological safety of grain and legume products]. Vinnytsia: VNAU. [in Ukrainian]
15. Holovach, O. M., & Demkiv, O. T. (2005). Absorption and distribution of lead ions in plant organs and reaction to the toxic action of the ion. *Naukovyi visnyk Lvivskoi natsionalnoi akademii veterynarnoi medytsyny im. S. Z. Hzhyskoho* [Scientific Bulletin of the L'viv National Academy of Veterinary Medicine], 7(2), 33–38. [in Ukrainian]
16. Floria, L. V. (2012). Estimation of the level of soil pollution by heavy metals and their influence on the yield of agricultural crops in the northwestern Black Sea region. *Visnyk Odeskoho derzhavnoho ekolohichnoho universytetu* [Bulletin of Odessa State Ecological University], 13, 131–141. [in Ukrainian]
17. Viniukov, O. O., Konovalenko, L. I., Bondareva, O. B., & Vasylenko, T. F. (2017). Varietal features of accumulation of heavy metals by grain ear crops in the industrial region. *Visnik Centru naukovoogo zabezpechennâ APV Harkivs'koi oblasti* [Bulletin of the Center for Science Provision of Agribusiness in the Kharkiv region], 23, 161–169. [in Ukrainian]
18. Mazur, V. A., Tkachuk, O. P., & Yakovets, L. A. (2019). The period of grain storage – as a factor in improving its environmental safety. In O. O. Gorba, T. O. Chaika, & I. O. Yasnoloba (Eds.), *Pryrodno-resursnyi ta enerhetychnyi potentsialy: napriamy zberezhenia, vidnovlennia ta ratsionalnoho vykorystannia* [Natural resource and energy potentials: directions of preservation, restoration and rational use] (pp. 172–179). Poltava: Astraya. [in Ukrainian]
19. Piper, C. S. (2017). *Soil and plant analysis*. Scientific Publ.
20. Makarenko, N. A. (Ed.). (2008). *Ekolohichna ekspertyza tekhnologii vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur* [Ecological examination of technologies of cultivation of agricultural crops]. Kyiv: N.p. [in Ukrainian]
21. *Guidelines for the determination of heavy metals in agricultural soils and crop products* [Guidelines for the determination of heavy metals in soils of agricultural lands and crop products]. (1992). Moscow: N.p. [in Ukrainian]
22. *Produkty kharchovi. Vyznachennia vmistu svyntsiu, kadmiu, tsynku, midi, zaliza ta khromu metodom atomno-absorbtsiinoi spektrometrii (AAS) pislia sukhoho ozolennia: DSTU EN 14082:2019* [Determination of trace elements. Determination of lead, cadmium, zinc, copper, iron and chromium by atomic absorption spectrometry (AAS) after dry ashing: State Standard of Ukraine EN 14082:2019]. Kyiv: N.p. [in Ukrainian]
23. *Zerno, zernobobovi ta produkty yikh pereroblennia. Vyznachennia vmistu kadmiu, svyntsiu ta myshiaku metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii z elektrotermichnoiu atomizatsiieiu: DSTU 7453:2013* [Cereals, leguminous and processed products. Method for determination cadmium, lead and arsenic by atomic absorption spectrophotometry with electrotermic atomization State Standard of Ukraine 7453:2013]. Kyiv: N.p. [in Ukrainian]
24. Hospodarenko, H., Prokopchuk, I., Nikitina, O., & Liubych, V. (2019). Assessment of the contamination level of a podzolized chernozem with nuclides in a long-term land use. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*, 65(3), 128–135.
25. Yakovets, L. A. (2017). Intensity of reduction of heavy metals content in grain depending on the waiting period. *Zbalansovane prirodokoristuvannâ* [Balanced Nature Using], 4, 126–129. [in Ukrainian]

UDC 504.5-034:633.16:664.7

Voitovska, V. I.¹, Rassadina, I. Yu.², Klymovych, N. M.², & Tretiakova, S. O.² (2020). Features of the heavy metals content accumulation in grain of spring barley varieties (*Hordeum sativum*) for different applications as affected by the duration of storage. *Novitni agrotehnologii* [Advanced agritechnologies], 8. doi: <https://doi.org/10.47414/na.8.2020.231238>. [in Ukrainian]

¹*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, Ukraine, e-mail: vvoitovska6@gmail.com*

²*Uman National University of Horticulture, 1 Institut'ska St., Uman, 20305, Ukraine*

Purpose. Investigate the content of heavy metals in spring barley varieties for different applications depending on the duration of grain storage. **Methods.** Laboratory, analytical, statistical. **Results.** It was found that the studied varieties, regardless of the application had an individual accumulation of heavy metals. Grain varieties have an inverse relationship with the intensity of lead concentration in the grain of spring barley: the longer the storage, the lower its content in the grain. The accumulation of heavy metals of mercury (Hg) and arsenic (As) in the grain of spring barley varieties of grain use allows us to note that with increasing storage, their content decreases. It was

found that the accumulation of heavy metals copper (Cu) and zinc (Zn) in the grain of spring barley for grain increases as affected by the storage period. There was a decrease in zinc content after a month of storage and depending on varietal characteristics. A slight increase, in the varieties of the brewery application was found after three and six months of grain storage. When analyzing the data, it can be noted that after nine months and a year of storage, there was an increase in the copper content, but to the maximum permitted level. **Conclusions.** Varieties of spring barley, regardless of the application, had an individual accumulation of heavy metals. Varieties 'Stalker' and 'Ahrarii' are sensitive to lead: the content of this element immediately after threshing was 1.08 mg/kg and 1.12 mg/kg. A month later, these figures were 0.73 mg/kg and 1.02 mg/kg. Storage of spring barley grain for 9 and 12 months shows that the accumulation of cadmium has increased compared to the indicators obtained immediately after threshing. Thus, in the varieties 'Stalker' this figure was 0.09 mg/kg, and in 'Ahrarii' 0.13 and 0.014 mg/kg. The most sensitive to the accumulation of copper (Cu) immediately after threshing were varieties 'Ahrarii' with 3.00 mg/kg and 'Vzirets' with 2.56 mg/kg, and the lowest content had varieties 'Shchedryk' with 2.27 mg/kg and 'Stalker' with 2.31 mg/kg. 'Enei' variety of universal application was characterizing by a lower content of heavy metals in comparison with grain varieties. In spring malting barley, depending on the duration of grain storage, it was found that as in previous grain and universal application, the content of heavy metals accumulates differently depending on the varietal characteristics.

Keywords: *cadmium (Cd); lead (Pb); mercury (Hg); arsenic (As); copper (Cu); zinc (Zn); varieties; application; duration of storage.*

Надійшла / Received 11.11.2020
Погоджено до друку / Accepted 08.12.2020