

ПЕРЕРОБКА ТА ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА

УДК 579.222:504.5-0.34:633.16:581.5:664.7 DOI: <https://doi.org/10.47414/np.29.2021.244425>

Накопичення важких металів у зерні ячменю ярого (*Hordeum sativum*) залежно від сортових особливостей і тривалості зберігання

Войтовська В. І.¹, Рассадіна І. Ю.², Климович Н. М.², Третякова С. О.²

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

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

Мета. Виявити вміст важких металів у зерні сортів ячменю ярого різного напрямку використання залежно від тривалості його зберігання. **Методи.** Упродовж 2018–2020 рр. досліджували 11 сортів ячменю ярого, із них зернові: ‘Сталкер’, ‘Водограй’, ‘Взірець’, ‘Аграрій’, ‘Щедрик’; універсальні: ‘Еней’; пивоварні: ‘Козак’, ‘Докучаєвський 15’, ‘Етикет’, ‘Геліос’, ‘Святогор’. Уміст хімічних елементів у зерні (кадмій, свинець, ртуть, арсен, мідь, цинк) визначали в динаміці: відразу після збирання врожаю, а також через 7, 14, 21 та 28 днів. **Результати.** Експериментально встановлено, що у сортів ярого ячменю вміст Pb варіював відразу після обмолоту і через 7 днів від 1,12 до 1,01 мг/кг. Зменшення досліджуваного елемента через 14 днів відмічено в усіх сортах. Зокрема, вміст свинцю був у межах: сорт ‘Щедрик’ – 1,03 мг/кг, ‘Сталкер’ – 1,01 мг/кг, ‘Взірець’ – 1,00 мг/кг, найнижчим у сорту ‘Водограй’ – 0,78 мг/кг, а найвищим у сорту ‘Аграрій’ – 1,12 мг/кг. Дослідженнями встановлено, що найчутливішим до кадмію (Cd) у зернових сортах ячменю ярого був сорт ‘Взірець’ із показником 0,09 мг/кг відразу після обмолоту і через 7 днів зберігання, а на 14, 21 і 28 добу цей показник становив 0,08 мг/кг. Визначення вмісту кадмію у зерні пивоварного ячменю вказує, що відразу після обмолоту і через 7 днів у сорту ‘Святогор’ вміст становив – 0,08 мг/кг, а в усіх інших сортах – 0,09 мг/кг. На 14 добу накопичення незмінним було у сортів ‘Докучаєвський 15’, ‘Етикет’, ‘Геліос’, ‘Святогор’, неістотне зменшення у сорту ‘Козак’ – 0,07 мг/кг. Зберігання упродовж 21 і 28 днів вказує, що у сортів ‘Святогор’ і ‘Козак’ вміст кадмію становив 0,07 мг/кг, усі інші мали показник 0,08 мг/кг. **Висновки.** Найнижчий вміст кадмію визначено у сорту ‘Щедрик’, який відразу після обмолоту і через 7 днів зберігання становив 0,05 мг/кг, а на 14 і 21 та 28 добу зменшився до 0,03 мг/кг. Одразу після обмолоту і через 7 днів вміст ртуті у сортів варіював від 0,07 до 0,03 мг/кг. Через 14, 21 і 28 днів встановлено таку закономірність у сортів: ‘Водограй’ – 0,06 мг/кг, ‘Сталкер’ і ‘Взірець’ – 0,05 мг/кг, ‘Аграрій’ – 0,04 мг/кг, ‘Щедрик’ – 0,3 мг/кг. Щодо залежності від сортових особливостей та тривалості зберігання, то найвищий вміст цинку встановлено у сорту ‘Аграрій’ – 14,05 мг/кг, а найнижчий у ‘Щедрик’ – 12,55 мг/кг. Дослідження сорту ‘Еней’ ярого ячменю універсального значення дозволяє відзначити, що накопичення важких металів залежно від тривалості зберігання істотно не відрізнялось від зернових форм.

Ключові слова: вміст металів; хімічні елементи; сорти; ярий ячмінь; нетривале зберігання.

Вступ

Одним із розповсюджених видів забруднення довкілля і зерна є надходження у середовищі важких металів, які за рівнем екологічної небезпеки поступаються лише

пестицидам. В умовах антропогенного навантаження на екосистеми їх вміст у ґрунті, воді та повітрі багатьох регіонів України перевищує гранично допустимі концентрації [1–3]. Питання впливу різних хімічних елементів на ріст і розвиток рослин та їх накопичення у зерновій продукції вивчається дуже давно й досить широко [4–7]. Доцільно відмітити, що до важких металів належать більше ніж 40 металів з атомною масою понад 50 атомних одиниць. Відповідно до класифікації М. Реймерса, важкими металами слід називати метали зі щільністю більше ніж 8 г/см^3 : Cu, Zn, Ni, Pb, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg. Деякі з них належать до мікроелементів, тобто хімічних елементів, які вкрай важливі для зростання та розвитку рослин і тварин (Cu, Zn, Co). У рослинах мікроелементи або входять до складу ферментів, або ж активують їхню роботу і потрібні в мізерно малій кількості. Деякі важкі метали (As, Cd, Hg, Pb) не впливають істотно на ріст рослин, оскільки не мають певних фізіологічних функцій у життєвому циклі рослини. Але такі метали, як Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn є життєво важливими елементами для рослин [8–10]. Надлишок цих елементів може призвести до значного отруєння рослинного організму. Так, наприклад, 1,5–2,5 кратне підвищення рухомих форм важких металів (Cu, Zn, Pb, Cd) у ґрунті викликає зниження кількості та якості продукції сільськогосподарських культур. Поглинання важких металів рослинами і подальше накопичення в харчовому ланцюзі є потенційною загрозою для здоров'я людини і тварин. Специфічною особливістю забруднення ґрунтів важкими металами є дуже низька швидкість самоочищення ґрунту. Що стосується свинцю, то його надмірний вміст у ґрунті призводить до зменшення кількості та різноманітності ґрунтових мікробіоценозів [11–14].

Механізми поглинання, транспортування, метаболізму і розподілу важких металів в органах і тканинах тісно пов'язані з видовими і сортовими особливостями культур та залежать від низки екологічних і антропогенних факторів. Накопичення і розподіл важких металів в органах рослини залежить перш за все від виду, фізіологічної спеціалізації і морфологічних ознак окремих органів [15, 16].

Відомо, що різні види рослин проявляють неоднакову стійкість до надмірного вмісту важких металів у ґрунті. Із літературних джерел відомо, що ярий ячмінь чутливий до накопичення важких металів у зерні [8, 17]. Вибір як тест-культури ячменю ярого пов'язаний ще й з тим, що в Україні його посіви займають друге місце після пшениці та широко використовується зернова продукція [18]. Однак мало робіт присвячено дослідженню впливу різних елементів у зерновій продукції залежно від сортових особливостей та нетривалого зберігання.

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

Матеріали та методика досліджень

Визначення вмісту важких металів проводили упродовж 2018–2020 років за використання різних сортів ячменю ярого, із них зернові: 'Сталкер', 'Водограй', 'Взірець', 'Аграрій', 'Щедрик'; універсальні: 'Еней'; пивоварні: 'Козак', 'Докучаєвський 15', 'Етикет', 'Геліос', 'Святогор'.

Досліджуваними важкими металами були: кадмій (Cd), свинець (Pb), ртуть (Hg), арсен (As), мідь (Cu), цинк (Zn). Визначення вмісту кадмію, свинцю, міді та цинку проводили за ДСТУ EN 14082:2019, вміст арсену – за ДСТУ 7453:2013 [23], вміст ртуті – за МВВ 081–12/03–98 [19–23]. Накопичення хімічних елементів у зерні ярого ячменю визначали: відразу після збирання зерна, через 7, 14, 21 та 28 діб.

Результати досліджень

У сортів ярого ячменю вміст Pb варіював відразу після обмолоту і через 7 діб від 1,12 і до 1,01 мг/кг. Зменшення досліджуваного елемента через 14 діб відмічено в усіх сортах. Так, зокрема, вміст свинцю був у межах: сорт 'Щедрик' – 1,03 мг/кг, 'Сталкер' – 1,01 мг/кг, 'Взірець' – 1,00 мг/кг, найнижчим у сорту 'Водограй' – 0,78 мг/кг, а найвищим у сорту 'Аграрій' – 1,12 мг/кг. На 21 добу зберігання зерна сортів встановлено вміст Pb від 1,06 мг/кг

у ‘Аграрія’ і до 0,45 мг/кг у ‘Водограй’. Дослідження на 28 добу дозволяють встановити таку залежність у сортів: ‘Аграрій’ – 1,02 мг/кг, ‘Взірець’ – 0,91 мг/кг, ‘Щедрик’ – 0,87 мг/кг, ‘Сталкер’ – 0,73 мг/кг, ‘Водограй’ – 0,28 мг/кг.

Дослідженнями встановлено, що найчутливішим до кадмію (Cd) у зернових сортів ячменю ярого був сорт ‘Взірець’ із показником 0,09 мг/кг відразу після обмолоту і через 7 діб зберігання, а на 14, 21 і 28 добу цей показник становив – 0,08 мг/кг. У ‘Сталкера’ і ‘Аграрія’ показники після обмолоту і на 7 добу були однаковими – 0,07 мг/кг. Накопичення кадмію на 14 добу у ‘Сталкера’ залишилось незмінним, а в ‘Аграрія’ зменшилось до 0,05 мг/кг, і цей показник залишався на 21 і 28 добу зберігання зерна. Характеризуючи сорт ‘Водограй’, можна відмітити, що кількість кадмію відразу після обмолоту та на 7 і 14 добу була в межах 0,05 мг/кг, а на 21 і 28 добу становила 0,04 мг/кг. Найнижчий вміст кадмію визначено у сорту ‘Щедрик’, який відразу після обмолоту і через 7 діб зберігання становив – 0,05 мг/кг, а на 14 і 21 та 28 добу – зменшився до 0,03 мг/кг.

Одразу після обмолоту і через 7 діб вміст ртуті у сортів варіював від 0,07 мг/кг до 0,03 мг/кг. Через 14, 21 і 28 діб встановлено таку закономірність у сортів: ‘Водограй’ – 0,06 мг/кг, ‘Сталкер’ і ‘Взірець’ – 0,05 мг/кг, ‘Аграрій’ – 0,04 мг/кг, ‘Щедрик’ – 0,03 мг/кг.

Вміст арсену у сортах ячменю ярого відразу після обмолоту становив: ‘Аграрій’ – 0,8 мг/кг ‘Взірець’ – 0,7 мг/кг, ‘Водограй’ – 0,5 мг/кг та ‘Сталкер’ і ‘Щедрик’ – 0,4 мг/кг. Аналогічні дані були і на 7 добу зберігання зерна. Відмічено зниження вмісту арсену на 14, 21 і 28 добу у такій послідовності: ‘Аграрій’ – 0,6 мг/кг, ‘Взірець’ і ‘Водограй’ – 0,5 мг/кг та ‘Сталкер’ і ‘Щедрик’ – 0,3 мг/кг (рис. 1).

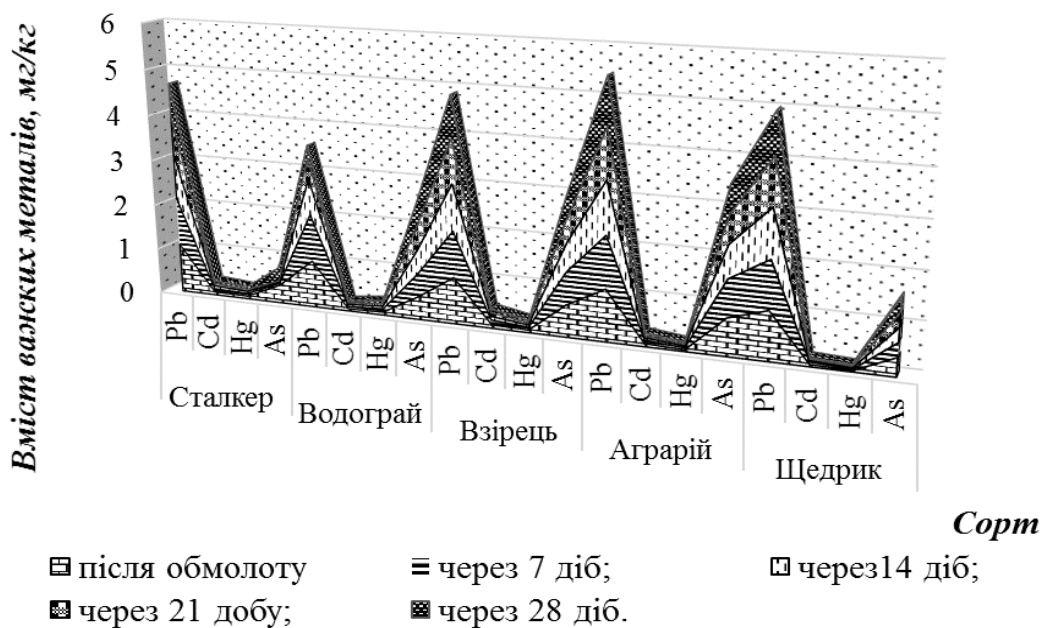


Рис. 1. Вміст важких металів у зерні різних сортів ячменю ярого залежно від тривалості їх зберігання, мг/кг (середнє за 2018–2020 рр.)

Гранично допустимий коефіцієнт цинку (Zn) становить 50,0 мг/кг, а у досліджуваних сортів цей показник в середньому після обмолоту був 13,25 мг/кг, неістотне зменшення відмічено через 7 діб зберігання – 13,20 мг/кг, через 14 діб – 13,18 мг/кг, на 21 та 28 добу зберігання – 13,13 і 13,07 мг/кг. Залежно від сортових особливостей та тривалості зберігання найвищий вміст встановлено у сорту ‘Аграрій’ – 14,05 мг/кг, а найнижчий у ‘Щедрик’ – 12,55 мг/кг.

Накопичення міді у зернових сортів ячменю ярого відразу після обмолоту і 7 діб зберігання вказує на таку послідовність: ‘Аграрій’ – 3,00 мг/кг, ‘Взірець’ – 2,56 мг/кг, ‘Водограй’ – 2,38 мг/кг, ‘Сталкер’ – 2,31 і ‘Щедрик’ – 2,27 мг/кг. Збільшення вмісту Си в середньому можна відзначити на 14 добу зберігання – 2,76 мг/кг. На 21 та 28 добу зберігання

залежно від сортових особливостей накопичення міді становить: ‘Аграрій’ – 3,89 і 4,07 мг/кг, ‘Взірець’ та ‘Водограй’ – 2,51 і 2,56 мг/кг, ‘Щедрик’ – 2,50 і 2,53 мг/кг, ‘Сталкер’ – 2,41 і 2,47 мг/кг (рис. 2).

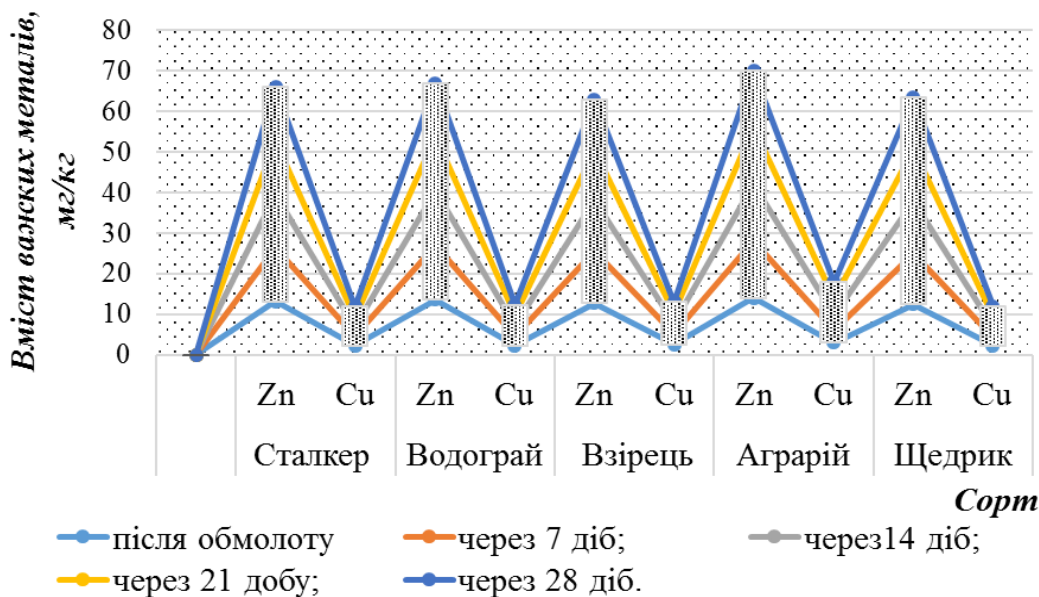


Рис. 2. Накопичення важких металів у зернових сортах ячменю залежно від тривалості зберігання, мг/кг (середнє за 2018–2020 рр.)

Дослідження сорту ‘Еней’ ярого ячменю універсального значення дозволяє відзначити, що накопичення важких металів залежно від тривалості зберігання істотно не відрізнялось від зернових форм. Так, вміст свинцю, кадмію, ртуті і арсенію залежно від тривалості зберігання зменшувалось, а міді і цинку – збільшувалось. Відразу після обмолоту вміст свинцю становив – 0,95 мг/кг, та через 28 діб зберігання його кількість була – 0,76 мг/кг, що на 0,19 мг/кг менше, однак більше на 0,26 мг/кг за ГДК. Сорт ‘Еней’ незалежно від тривалості зберігання містив кадмію і ртуті 0,03 мг/кг та арсенію 0,2 мг/кг. Вміст цинку відразу після обмолоту становив 10,8 мг/кг та збільшувався, і на 28 добу підвищився до 11,9 мг/кг. Кількість міді у зерні ярого ячменю відразу після обмолоту була у межах 2,12 мг/кг і до 28 доби становила 2,25 мг/кг (рис. 3).

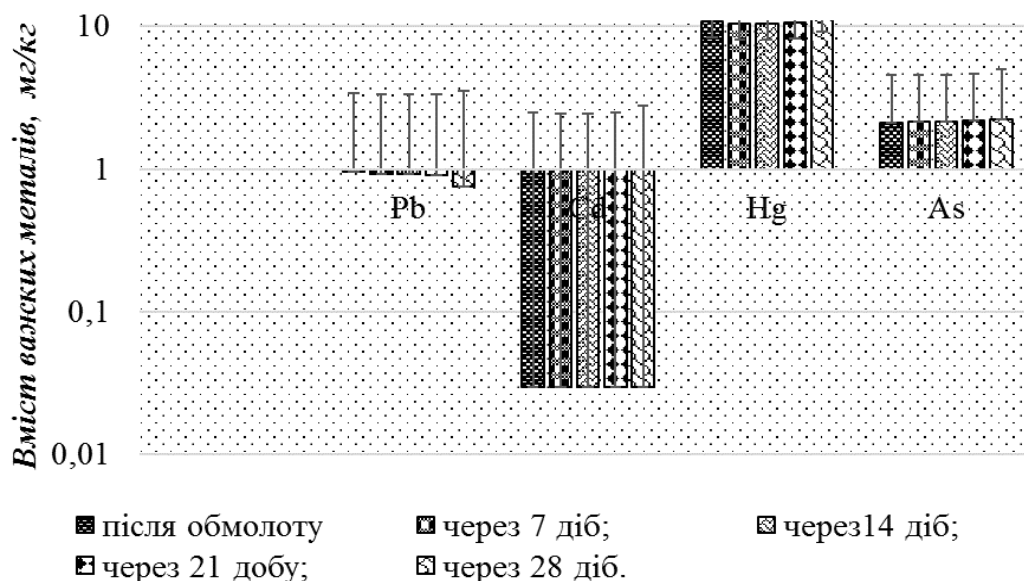


Рис. 3. Вміст важких металів у зерні ярого ячменю сорту ‘Еней’ залежно від тривалості зберігання, мг/кг (середнє за 2018–2020 рр.)

Експериментальні дослідження вказують, що у сортів пивоварного значення найвищий вміст свинцю відразу після обмолоту був у сорту 'Докучаєвський 15' – 1,55 мг/кг, дещо нижчі показники цього елемента виявлені у сортів: 'Етикет' – 1,43 мг/кг, 'Святогор' – 1,37 мг/кг, 'Геліос' – 1,33 мг/кг, 'Козак' – 1,15 мг/кг. Через 7 і 14 днів у зерні ячменю ярого були однакові показники свинцю та прослідковувалась аналогічна залежність по сортах, як і відразу після обмолоту. Так, у сортів встановлені такі показники: 'Докучаєвський 15' – 1,43 мг/кг, 'Етикет' – 1,41 мг/кг, 'Святогор' – 1,35 мг/кг, 'Геліос' – 1,31 мг/кг, 'Козак' – 1,12 мг/кг. На 21 добу відмічено найвищий вміст свинцю у сорту 'Докучаєвський 15' – 1,36 мг/кг, а найнижчий у сорту 'Козак' – 1,02 мг/кг. Через 28 днів зберігання вміст свинцю порівняно із після обмолоту зменшився у сортів на: 'Докучаєвський 15' – 0,33 мг/кг, 'Етикет' – 0,22 мг/кг, 'Святогор' – 0,20 мг/кг, 'Геліос' – 0,12 мг/кг, 'Козак' – 0,13 мг/кг.

Визначення вмісту кадмію у зерні пивоварного ячменю вказує, що відразу після обмолоту і через 7 днів у сорту 'Святогор' вміст становив 0,08 мг/кг, а в усіх інших сортів – 0,09 мг/кг. Встановлено, що на 14 добу накопичення незмінним було у сортів 'Докучаєвський 15', 'Етикет', 'Геліос', 'Святогор', неістотне зменшення у сорту 'Козак' – 0,07 мг/кг. Зберігання упродовж 21 і 28 днів вказує, що у сортів вміст кадмію становив: 'Святогор' і 'Козак' – 0,07 мг/кг, усі інші мали показник – 0,08 мг/кг.

Вміст ртуті залежно від тривалості зберігання становив 0,07 мг/кг, за винятком сорту 'Козак', у якого цей показник – 0,06 мг/кг. Через 28 днів показник у досліджуваних сортів зменшився до 0,06 мг/кг, а у 'Козак' до 0,05 мг/кг.

У зерні пивоварного ячменю було проведено визначення накопичення арсенію. Дослідження вказують, що відразу після обмолоту та через 7 і 14 днів його вміст у сортів був однаковим – 0,9 мг/кг. Через 21 і 28 добу встановлено, у сорту 'Козак' – 0,7 мг/кг, а в усіх інших – 0,8 мг/кг (рис. 4).

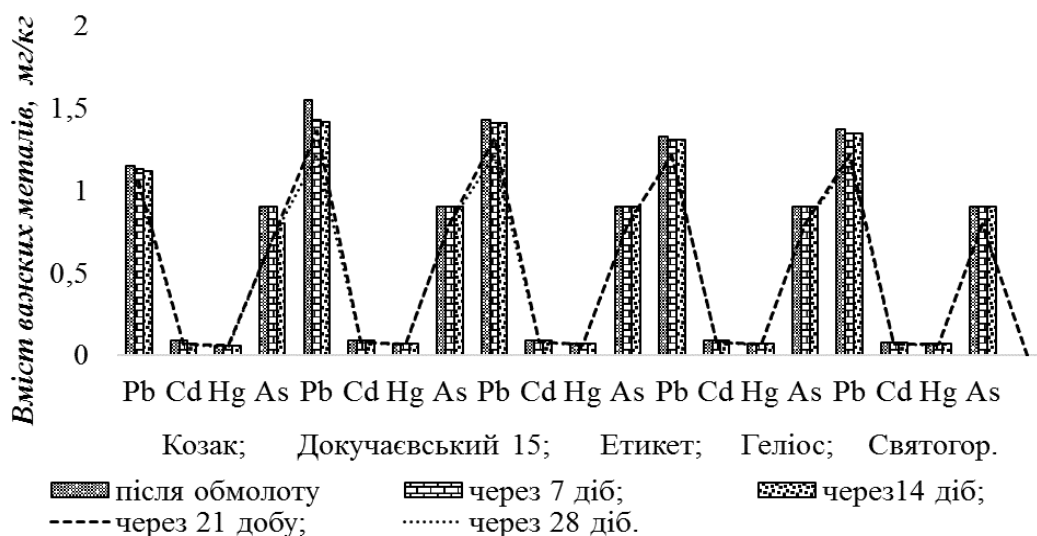


Рис. 4. Накопичення важких металів у зерні ярого ячменю пивоварного залежно від нетривалого зберігання, мг/кг (середнє за 2018–2020 рр.)

За вмістом цинку сорти пивоварного ячменю відразу після обмолоту зерна мали такі показники: 'Святогор' – 33,5 мг/кг, 'Геліос' – 25,01 мг/кг, 'Етикет' – 23,01 мг/кг, 'Докучаєвський 15' – 19,07 мг/кг, 'Козак' – 17,05 мг/кг. Через 14 днів визначення цього показнику дозволяє відмітити зменшення у такому порядку: 'Святогор' – 33,5 мг/кг, 'Геліос' – 25,01 мг/кг, 'Етикет' – 23,01 мг/кг, 'Докучаєвський 15' – 19,07 мг/кг, 'Козак' – 17,05 мг/кг. На 14 і 21 добу найчутливішим до накопичення цинку був сорт 'Святогор' – 32,00 мг/кг, а найменшу кількість визначено у сорту 'Козак' – 16,02 мг/кг. Через 28 днів зберігання зерна ячменю вміст цинку залежно від сортових особливостей варіював від 30,00 до 14,89 мг/кг.

В усіх сортах пивоварного ячменю вміст міді був нижчим за ГДК та спостерігалась закономірність збільшення кількості залежно від тривалості зберігання. Відразу після

обмолоту та на сьому добу кількість залежно від сортових особливостей була в межах: 'Святогор' – 7,00 мг/кг, 'Геліос' – 6,00 мг/кг та у 'Етикет', 'Докучаєвський 15', 'Козак' – 5,00 мг/кг. На чотирнадцяту добу відмічено збільшення кількості міді у сорту 'Козак' – 5,89 мг/кг, в усіх інших значення були без змін. Поступове збільшення вмісту міді встановлено на 21 добу від 0,47 мг/кг до 0,89 мг/кг. Через 28 діб зберігання зерна у різних сортів відмічено такий вміст міді: 'Святогор' – 8,66 мг/кг, 'Геліос' – 6,91 мг/кг, 'Етикет' – 6,51 мг/кг, 'Докучаєвський 15' – 6,23 мг/кг, 'Козак' – 6,77 мг/кг (рис. 5).

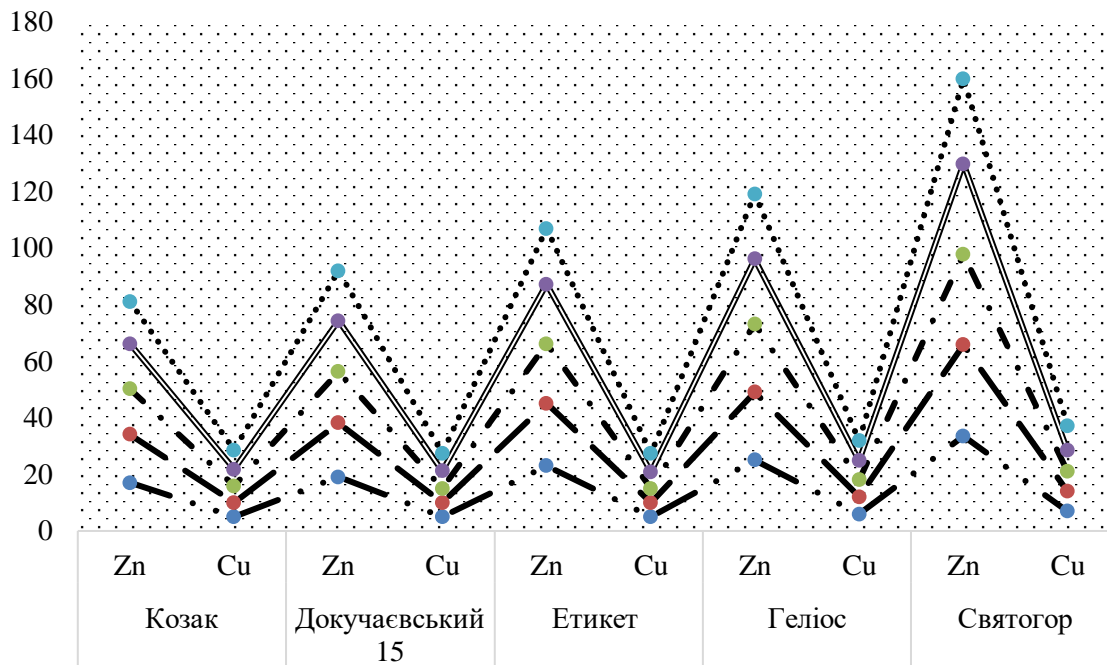


Рис. 5. Накопичення важких металів у зерні ярого ячменю пивоварного залежно від нетривалого зберігання, мг/кг (середнє за 2018–2020 рр.)

Висновки

Найнижчий вміст кадмію визначено у сорту 'Щедрик', який відразу після обмолоту і через 7 діб зберігання становив – 0,05 мг/кг, а на 14, 21 та 28 добу – зменшився до 0,03 мг/кг.

Одразу після обмолоту і через 7 діб вміст ртуті у сортів варіював від 0,07 мг/кг до 0,03 мг/кг. Через 14, 21 і 28 діб встановлено таку закономірність у сортів: 'Водограй' – 0,06 мг/кг, 'Сталкер' і 'Взірець' – 0,05 мг/кг, 'Аграрій' – 0,04 мг/кг, 'Щедрик' – 0,3мг/кг.

Залежно від сортових особливостей та тривалості зберігання, то найвищий вміст встановлено у сорту 'Аграрій' – 14,05 мг/кг, а найнижчий у 'Щедрик' – 12,55 мг/кг.

Дослідження сорту 'Еней' ярого ячменю універсального значення дозволяє відзначити, що накопичення важких металів залежно від тривалості зберігання істотно не відрізнялось від зернових форм.

Використана література

1. Герасимчук Л. О. Вплив моно- та поліметалічного забруднення на фітотоксичність дерново-підзолистого ґрунту для представників родин Fabaceae і Brassicaceae. *Збірник наукових статей III Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю* (Вінниця, 21–24 вересня 2011 р.). Вінниця, 2011. С. 92–98.

2. Скопецька О. В., Косик О. І., Мусієнко М. М. Комплексний екологофізіологічний аналіз міграції та нагромадження свинцю в агроєкосистемах. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2004. Т. 36, № 1. С. 27–33.

3. Szatanić-Kłoc A. Wpływ pH i stężenia wybranych metali ciężkich w glebie na ich zawartość w roślinach. *Acta Agrophisica*. 2004. Vol. 4, No. 1. P. 177–183.

4. Разанов С. Ф. Зниження важких металів в рослинах та живих організмах. *Збірник наукових праць ВНАУ*. 2012. С. 75–79.

5. Герасимчук Л. О. Вплив моно- та поліметалічного забруднення на фітотоксичність дерново-підзолистого ґрунту. *Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Серія : Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів*. 2010. № 1. С. 188–194.
6. Яковишина Т. Ф. Порівняльний аналіз підходів до екологічної оцінки поліелементного забруднення ґрунтів урбоєкосистеми важкими металами. *Вісник Придніпровського державної академії будівництва та архітектури*. 2016. № 6. С. 25–31.
7. Яковишина Т. Ф. Екологічна оцінка реакції-відгуку озимих зернових культур на забруднення ґрунту важкими металами. *Вісник ДАУ*. 2008. № 2, Т. 1. С. 122–131.
8. Гуральчук Ж. З. Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії. Київ : Логос, 2006. 208 с.
9. Качмар Н. В., Мазурак О. Т., Жилищич Ю. В. Особливості біологічного поглинання свинцю рослинами ячменю ярого. *Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія : Сільськогосподарські науки*. 2016. Вип. 18, № 1. С. 48–52.
10. Alcántara E., Ginhás A. M., Ojeda M. A. et al. Metal accumulation by different plant species grown in contaminated media. *Plant Nutrition. Developments in Plant and Soil Sciences / W. J. Horst et al. (Eds.)*. Dordrecht : Springer, 2001. Vol. 92. P. 460–461. doi: 10.1007/0-306-47624-X
11. Ткачук О. П., Яковець Л. А., Ватаманюк О. В. Інтенсивність зниження концентрації нітратів у зерні злакових культур залежно від періоду зберігання. *Збалансоване природокористування*. 2018. № 1. С. 173–175.
12. Січняк О. Л., Лук'янова О. Є. Генотоксичний вплив свинцю на ячмінь. *Генетика і селекція в сучасному агрокомплексі : матер. Всеукр. наук.-практ. конф. (Умань, 26 червня 2019 р.)*. Умань, 2019. С. 108–111.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Szatanik-Kłoc A., Sokłowska Z., Hrebelska N. Effect of Pb-stress of selected physicochemical surface properties of barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Agrophysics*. 2007. Vol. 21, No. 4. P. 399–408.
17. Андрейко Л. В., Лозовицька Т. М. Фітотоксичні властивості свинцю та кадмію в системі «ґрунт–рослина» в умовах штучного забруднення ґрунту цими металами. *Екологічні проблеми сільськогосподарського виробництва : матеріали наук.-практ. конф. молодих учених (Київ, 22–24 травня 2007 р.)*. Київ : Ін-т агроєкології УААН, 2007. С. 23–25.
18. Жемела Г. П., Барат Ю. М. Вміст важких металів у ґрунті та зерні ярого ячменю залежно від внесення мінеральних добрив. *Вісник ПДАА*. 2008. № 4. С. 36–38.
19. Piper C. S. Soil and plant analysis. Jodhpur, Rajasthan : 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 атомноабсорбційної спектрометрії (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 спектрофотометрії з електротермічною атомізацією : ДСТУ 7453:2013. Київ, 2014. 16 с.

References

1. Herasymchuk, L. O. (2011, September). Influence of mono- and polymetallic pollution on phytotoxicity of sod-podzolic soil for members of the Fabaceae and Brassicaceae families. In *Zbirnyk naukovykh statei III Vseukrainskoho zizdu ekologiv z mizhnarodnoiu uchastiu* [Collection of scientific articles of the III All-Ukrainian Congress of Ecologists with international participation] (pp. 92–98). Vinnytsia: N. p. [in Ukrainian]
2. Skopetska, O. V., Kosyk, O. I., & Musiienko, M. M. (2004). Comprehensive ecological and physiological analysis of lead migration and accumulation in agroecosystems. *Fiziologiya i biokhimiya kul'turnykh rasteniy* [Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants], 36(1), 27–33. [in Ukrainian]
3. Szatanic-Kloc, A. (2004). Wpływ pH i stężenia wybranych metali ciężkich w glebie na ich zawartość w roślinach [Effect of pH and selected heavy metals in soil on their content in plants]. *Acta Agrophysica*, 4(1), 177–183. [in Polish]
4. Razanov, S. F. (2012). Reduction of heavy metals in plants and living organisms. *Zbirnyk naukovykh prac' Vinnic'kogo nacional'nogo agrarnogo universitetu. Seriâ: Sil'skogospodars'ki nauki* [Proceedings of VNAU. Series of Agricultural Science], 75–79. [in Ukrainian]
5. Herasymchuk, L. O. (2010). Influence of mono- and polymetallic pollution on phytotoxicity of sod-podzolic soil. *Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo agrarnogo universitetu imeni V. V. Dokuchaeva. Seriâ Ġruntoznastvo, agrohimiâ, zemlerobstvo, lisove gospodarstvo, ekologiâ Ġruntiv* [The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series: Soil Science, Agrochemistry, Agriculture, Forestry, Soil Ecology], 1, 188–194. [in Ukrainian]
6. Yakovyshyna, T. F. (2016). Comparative analysis of approaches to ecological assessment of polyelement contamination soil of urban ecosystem by heavy metals. *Visnyk Prydniprovskoho derzhavnoi akadademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture], 6, 25–31. [in Ukrainian]
7. Yakovyshyna, T. F. (2008). An ecological estimation of the reaction-response of the winter crops to the soil contamination by the heavy metals. *Visnyk DAU*, 2(1), 122–131. [in Ukrainian]
8. Huralchuk, Zh. Z. (2006). *Fitotoksychnist vazhkykh metaliv ta stiikist roslyn do yikh dii* [Phytotoxicity of heavy metals and plant resistance to their action]. Kyiv: Lohos. [in Ukrainian]
9. Kachmar, N. V., Mazurak, O. T., & Zhylishchych, Yu. V. (2016). Features of lead absorption by plants of spring barley. *Naukovyi visnyk LNU veterynarnoi medytsyny ta biotekhnologii. Seriiâ: Silskohospodarski nauky* [Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences], 18(1), 48–52. [in Ukrainian]
10. Alcántara, E., Ginhas, A. M., Ojeda, M. A., Benítez, M. J., & Benlloch, M. (2001). Metal accumulation by different plant species grown in contaminated media. In Horst W. J. et al. (Eds.), *Plant Nutrition. Developments in Plant and Soil Sciences* (Vol. 92, pp. 460–461). Dordrecht: Springer. doi: 10.1007/0-306-47624-X
11. Tkachuk, O. P., Yakovets, L. A., & Vatamaniuk, O. V. (2018). Intensity of reduction of concentration of nitrates in cereal crops grains depending on the period of storage. *Zbalansovane prirodozoristuvannâ* [Balanced Nature Using], 1, 173–175. [in Ukrainian]
12. Sichniak, O. L., & Lukianova, O. Ye. (June 2019). Genotoxic effects of lead on barley. In *Henetyka i selektsiia v suchasnomu ahrokompleksi: mater. Vseukr. nauk.-prakt. konf.* [Genetics and selection in the modern agricultural complex: materials of the All-Ukrainian scientific-practical conference] (pp. 108–111). Uman: N. p. [in Ukrainian]
13. Viniukov, O. O., Konovalenko, L. I., Bondareva, O. B., & Vasylenko, T. F. (2017). Varietal features of heavy metals accumulation by cereal crops in the industrial region. *Visnik Centru naukovogo zabezpečennâ APV Harkivs'koï oblasti* [Bulletin of the Center for Science Provision of Agribusiness in the Kharkiv region], 23, 161–169. [in Ukrainian]
14. Razanov, S. F., & Tkachuk, O. P. (2017). Intensive chemistry of earth – as a precondition for the pollution of grain production by high-speed metals. *Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynnytstva* [Animal Husbandry Products Production and Processing], 1, 66–71. [in Ukrainian]

15. Mazur, V. A., Tkachuk, O. P., & Yakovets, L. A. (2019). The period of storage of grain – as a factor in improving its environmental safety. In O. O. Horb, T. O. Chaika, & I. O. Yasnolob (Eds.), *Pryrodno-resursnyi ta enerhetychnyi potentsialy: napriamy zberezhennia, vidnovlennia ta ratsionalnoho vykorystannia* [Natural resource and energy potentials: directions of preservation, restoration and rational use] (pp. 172–179). Poltava: Astraia. [in Ukrainian]
16. Szatanik-Kloc, A., Sokłowska, Z., & Hrebela, N. (2007). Effect of PB-stress of selected physicochemical surface properties of barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Agrophysics*, 21(4), 399–408.
17. Andreiko, L. V., & Lozovytska, T. M. (May 2007). Phytotoxic properties of lead and cadmium in the system “soil-plant” in the conditions of artificial contamination of the soil with these metals. In *Ekolohichni problemy silskohospodarskoho vyrobnytstva: materialy nauk.-prakt. konf. molodykh uchenykh* [Ecological problems of agricultural production: materials of scientific practice conference young scientists] (pp. 23–25). Kyiv: Institute of Agroecology of UAAS. [in Ukrainian]
18. Zhemela, H. P., & Barat, Yu. M. (2008). The content of heavy metals in the soil and grain of spring barley depending on the application of mineral fertilizers. *Visnik Poltav's'koï deržavnoi agrarnoi akademii* [Bulletin of Poltava State Agrarian Academy], 4, 36–38. [in Ukrainian]
19. Piper, C. S. (2017). *Soil and plant analysis*. Jodhpur, Rajasthan: Scientific Publishers.
20. Makarenko, N. A., & Makarenko, V. V. (Eds.). (2008). *Ekolohichna ekspertyza tekhnologii vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur* [Ecological examination of technologies for growing crops]. Kyiv: N. p. [in Ukrainian]
21. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v pochvakh sel'skokhozyaystvennykh ugodiy i produktsii rasteniiovodstva* [Guidelines for the determination of heavy metals in agricultural soils and crop products]. (1992). Moscow: TsINAO. [in Russian]
22. *Produkty kharchovi. Vyznachennia vmistu svyntsiu, kadmiu, tsynku, midi, zaliza ta khromu metodom atomnoabsorbtsiinoi spektrometrii (AAS) pislia sukhoho ozolennia: DSTU EN 14082:2019* [Foodstuffs – 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]. (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]. (2014). Kyiv: N. p. [in Ukrainian]

UDC 579.222:504.5-0.34:633.16:581.5:664.7

Voitovska, V. I.¹, Rassadina, I. Yu.², Klymovych, N. M.², & Tretiakova, S. O.² (2021). Accumulation of heavy metals in the grain of spring barley (*Hordeum sativum*) as affected by varietal characteristics and duration of storage. *Naukovi praci Institutu bioenergetichnih kul'tur ta cukrovih burâkiv* [Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet], 29, 62–71. [in Ukrainian]

¹*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, e-mail: vvojtovska6@gmail.com*

²*Uman National University of Horticulture, 1 Instytutska St., Uman, Cherkasy region, 20305, Ukraine*

Purpose. Determine the content of heavy metals in the grain of spring barley varieties of different application as affected by the duration of storage. **Methods.** In the years 2018–2020, 11 spring barley varieties of different applications were studied: grain ‘Stalker’, ‘Vodohrai’, ‘Vzirets’, ‘Ahrarii’, ‘Shchedryk’; universal ‘Enei’; malting ‘Kozak’, ‘Dokuchaievskiy 15’, ‘Etyket’, ‘Helios’, ‘Sviatohor’. The content of chemical elements in the grain (cadmium, lead, mercury, arsenic, copper, zinc) was determined in the dynamics: immediately after harvest, after 7, 14, 21 and 28 days. **Results.** In the studied varieties of spring barley, the lead (Pb) content in the grain varied

immediately after threshing and after 7 days ranged from 1.01 to 1.12 mg/kg. Reduction of the studied element after 14 days was observed in all varieties. In particular, the lead content was 1.03 mg/kg in 'Shchedryk', 1.01 mg/kg in 'Stalker', 1.00 mg/kg in 'Vzirets', 0,78 mg/kg (the lowest) in 'Vodohrai', and 1.12 mg/kg (the highest) in 'Ahrarii'. Studies have shown that the most sensitive to cadmium (Cd) grain variety of spring barley was 'Vzirets' with the content of 0.09 mg/kg immediately after threshing and on the 7th day of storage; on the 14th, 21st and 28th days, the content was 0.08 mg/kg. The content of cadmium in malting barley grain immediately after threshing and after 7 days was 0.08 mg/kg in 'Sviatohor', and 0.09 mg/kg in all other varieties. On the 14th day, the accumulation remained unchanged in varieties 'Dokuchaievskiy 15', 'Etyket', 'Helios', 'Sviatohor'; insignificant decrease was noted in 'Kozak' (0.07 mg/kg). After the storage for 21 and 28 days, the cadmium content was 0.07 mg/kg in 'Sviatohor' and 'Kozak', and 0.08 mg/kg in all others. **Conclusions.** The lowest cadmium content was determined in variety 'Shchedryk'. Immediately after threshing and after 7 days of storage it was 0.05 mg/kg, and on the 14th, 21st and 28th days it decreased to 0.03 mg/kg. Immediately after threshing and after 7 days, the mercury content of the varieties varied from 0.07 to 0.03 mg/kg. After 14, 21 and 28 days, the following values were determined: in 'Vodohrai' 0.06 mg/kg, in 'Stalker' and 'Vzirets' 0.05 mg/kg, in 'Ahrarii' 0.04 mg/kg, 'Shchedryk' 0.3 mg/kg. Depending on the varietal characteristics and duration of storage, the highest content (14.05 mg/kg) was determined in 'Ahrarii', and the lowest (12.55 mg/kg) in 'Shchedryk'. The study of the 'Enei' variety of spring barley of universal application allows us to note that the accumulation of heavy metals, as affected by the duration of storage, did not differ significantly from the grain varieties.

Keywords: metal content; chemical elements; varieties; spring barley; short-term storage.

Надійшла / Received 15.08.2021

Погоджено до друку / Accepted 23.09.2021

УДК 633.1:631.526.3

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.29.2021.249713>

Біохімічний склад свіжих, сушених і заморожених ягід різних сортів обліпихи звичайної (*Hippophae rhamnoides* L.)

Я. В. Євчук¹, М. І. Парубок¹, І. І. Миколайко², Т. М. Марченко³

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

²Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, вул. Садова 2, м. Умань, 20300, Україна

³Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Генерала Родимцева, 15, м. Київ, 03041, Україна

Мета. Визначити формування фізико-хімічних показників якості (маса ягоди, вміст білка, вуглеводів, жиру, харчових волокон, органічних кислот) свіжих, сухих і заморожених плодів обліпихи різних сортів. **Методи.** Лабораторні, математично-статистичні, фізико-хімічні. **Результати.** Вміст води у ягодах обліпихи був найвищим, проте також істотно змінювався залежно від сорту. У сортів обліпихи 'Галерит' і 'Єлизавета' її вміст був найвищим – 90 %, на 2 і 3 абс. % менше в сортів 'Бурштинове намисто' та 'Алтайська', у сортів 'Сонечко' та 'Улюблена' – 85 %. Найнижчий вміст води був у ягодах сортів 'Рижик', 'Подруга', 'Дюймовочка', 'Чечек' – 75–78 %. Сушені плоди містили води від 22 до 16 %. У сортів 'Улюблена', 'Єлизавета', 'Алтайська' – 22 %, 'Галерит', 'Дюймовочка',