

УДК 633.16:664.786

О. І. РИБАЛКА, д. б. н., с. н. с., зав. від.,  
С. С. ПОЛІЩУК, мол. наук. співроб.,  
З. В. ЩЕРБИНА, к. с.-г. н., с. н. с., пров. наук. співроб.  
СГІ–НЦНС, Одеса  
e-mail: rybalkaalexander@gmail.com

## ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ ЗЕРНА ЯЧМЕНЮ (*HORDEUM VULGARE L.*)

*Викладені результати дослідження комплексу показників харчової цінності зерна комерційних сортів, колекційних зразків та селекційних ліній ярого і озимого, голозерного і плівчастого ячменю. Зразки голозерного ячменю мають достовірну перевагу над зразками плівчастого ячменю за вмістом у зерні сирого протеїну, некрохмалистих полісахаридів  $\beta$ -глюканів, олії та загальної антиоксидантної активності зерна. Виявлено високу позитивну кореляційну залежність між вмістом у зерні ячменю олії та загальною антиоксидантною активністю, як і вмістом у зерні олії та білка. Така залежність цілком логічна, адже в олії ячменю містяться жиророзчинні токоли (токофероли і токотриеноли), які характеризуються високою антиоксидантною активністю, а олія і білок зосереджені переважно у зародку та периферійних частинах зернівки ячменю.*

Ключові слова: ячмінь голозерний, ячмінь плівчастий, полісахариди, олія, білок, антиоксидантна активність.

**Вступ.** В останні 15–20 років ячмінь набуває широкої популярності у цивілізованому світі як цінна харчова культура з чітко визначеними характеристиками продукту функціонального харчування. Це означає, що харчові продукти з зерна ячменю є для організму людини важливим джерелом засвоюваної метаболічної енергії і зміцнення фізичного здоров'я. Результатами численних наукових досліджень останніх двох десятиліть (біохімічних і клінічних), виконаних у авторитетних лабораторіях світу, доведено, що харчові продукти із зерна ячменю забезпечують профілактику організму людини проти основних смертоносних хвороб сучасного цивілізованого людства — цукрового діабету [1; 2], серцево-судинних патологій [3; 4] та раку [5].

За висновками впливової міжнародної організації FDA (Food and Drug Administration), яка здійснює контроль якості харчових продуктів у світі, лише дві зернові культури — ячмінь і овес — при систематичному вживанні їх у вигляді харчових продуктів суттєво знижують ризик коронарної хвороби серця [6].

Сучасні наукові дисципліни сфери здорового харчування — дієтологія і нутриціологія — базуються на трьох основних концепціях, які визначають стратегічну роль у харчуванні таких нутрієнтів як: а) дієтична клітковина, б) антиоксиданти та с) мінерали [7–9]. Саме ці компоненти здорової (функціональної) їжі забезпечують фізіологічне здоров'я кишківника, а відтак і фізичне здоров'я людини, стійкість організму проти руйнівних вільних радикалів, що спричиняють численні патології клітин, тканин і органів людини, передчасне старіння її та смерть [10; 11].

У зв'язку з викладеним особливо важливо наголосити, що зерно ячменю відповідає всім трьом стратегічним концепціям сучасної нутриціології. Воно містить у великій кількості унікальну розчинну рослинну дієтичну клітковину  $\beta$ -глюкани, за рахунок комплексу фітохімічних речовин, таких як токоли, пігменти, похідні ферулової кислоти, характеризується високою антиоксидантною активністю та водночас є цінним джерелом таких ключових мінералів, як залізо, цинк, марганець, селен, хром [5].

Серед основних відомих морфотипів ячменю півчастого і голозерного у харчовій промисловості науково просунутих країн світу особливо зростаючою популярністю характеризується голозерний ячмінь, який має у порівнянні з півчастим щонайменше дві основні переваги: а) зерно без плівки легше технологічно переробляється у борошно, крупи і пластівці, б) при технологічній переробці зерна без плівки не втрачаються цінні у харчовому відношенні такі морфологічні компоненти, як зародок, зернова оболонка і алейроновий шар, а вихід продуктів при переробці голозерного ячменю суттєво вищий, ніж при переробці півчастого [12–14].

У Селекційно-генетичному інституті (СГІ–НЦНС) розгорнута одна з наймасштабніших в Україні програм зі створення вихідного матеріалу для селекції сортів голозерного ячменю харчового використання. У зв'язку з цим для нас важливо мати характеристику за ознаками харчової цінності як колекційного вихідного матеріалу ячменю, що залучається у схрещування, так і перспективних селекційних ліній як імовірного вихідного матеріалу для створення сортів голозерного ячменю харчового напрямку. У нашій статті наведені результати дослідження різноманітного генетичного і селекційного матеріалу ячменю за ключовими показниками харчової цінності зерна — вмісту в ньому білка і  $\beta$ -глюканів, олії, а також загальної антиоксидантної активності.

**Матеріал і методи дослідження.** Матеріалом для досліджень слугували комерційні сорти озимого і ярого півчастого та голозерного ячменю походженням з різних селекційних центрів України та інших країн. Вивчали також ряд перспективних селекційних ліній голозерного ячменю, створених у відділі генетичних основ селекції СГІ–НЦНС. До програми досліджень була включена серія колекційних зразків ячменю, отриманих з різних джерел, зокрема і генетичної колекції Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва.

Вміст білка, олії та  $\beta$ -глюканів у зерні визначали за допомогою NIR аналізатора «Spectra Alyzer premium» виробництва німецької компа-

нії Zeutec, попередньо каліброваного за даними визначення вмісту цих компонентів шляхом прямого лабораторного аналізу статистичної вибірки мінімум 100 зразків.

Визначення загальної антиоксидантної активності як здатності нейтралізації вільних радикалів виконували співробітники Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва (м. Харків) з використанням препарату DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) як джерела стабільного вільного радикала згідно з методом, описаним у статті Arabshahi-Deloue S., Urooj A., 2007, з невеликими модифікаціями [13]. Компонд DPPH добре відомий як радикал і як пастка «*scavenger*» для інших вільних радикалів. Тому DPPH широко застосовують як індикатор для визначення швидкості зниження вільнорадикальної хімічної реакції при додаванні DPPH. Сам DPPH у розчині має темнофіолетовий колір та сильно поглинає при довжині хвилі 520 нм, а в процесі нейтралізації знебарвлюється або стає солом'яно-жовтим. Ця властивість DPPH дозволяє здійснювати візуальний моніторинг реакції нейтралізації та розрахунок початкової активності вільних радикалів при зниженні активності поглинання за довжини хвилі 520 нм. Зерно зразків ячменю було розмелено в СГІ–НЦНС на млині Perten 3100, упаковано в атмосфері азоту в пробірки erpendorf. Пробірки були поміщені у герметичний посуд в атмосфері азоту і зберігалися до виконання аналізу на антиоксидантну активність.

**Результати досліджень.** Узагальнені результати виконаних досліджень подано в таблиці 1. Тут представлені плівчасті і голозерні, озимі і ярі зразки ячменю (сорти і селекційні лінії) різного походження. Зразки голозерного ячменю були охарактеризовані також за ознакою забарвлення зерна, оскільки його колір є індикатором присутності в ньому певних пігментів, які являють собою тип фітохімічних речовин з доволі високою антиоксидантною активністю. Для плівчастих зразків об'єктивну диференціацію за кольором зерна зробити досить важко, оскільки їхнє зерно щільно покрите зерною плівкою.

Таблиця 1

Характеристика сортів і ліній голозерного і плівчастого ячменю за показниками харчової цінності зерна, % на суху масу зерна *as is*, урожай 2015 р.

| Сорт, лінія          | Походження   | Колір зерна | Вміст білка, % | Вміст β-глюканів, % | Вміст олії, % | АОА, %       |
|----------------------|--------------|-------------|----------------|---------------------|---------------|--------------|
| <b>Голозерні ярі</b> |              |             |                |                     |               |              |
| Ахіллес st           | Україна, СГІ | коричн.     | <b>21,06</b>   | 6,57                | 2,52          | 76,04        |
| Ахіллес st           | СГІ          | коричн.     | <b>20,81</b>   | 6,42                | 2,47          | 75,57        |
| Ахіллес st           | СГІ          | коричн.     | <b>20,93</b>   | 6,48                | 2,61          | 79,40        |
| McGwire              | Канада       | біле        | 17,98          | 5,78                | 2,72          | <b>81,49</b> |
| Alamo (wax)          | Канада       | біле        | 18,56          | <b>8,25</b>         | 2,74          | 69,20        |
| Alamo (wax)          | Канада       | біле        | 18,42          | <b>8,31</b>         | 2,86          | 72,98        |
| Candle (wax)         | Канада       | біле        | 17,78          | <b>7,68</b>         | 2,76          | 71,82        |

## Продовження табл. 1

| Сорт, лінія          | Походження | Колір зерна | Вміст білка, % | Вміст β-глюканів, % | Вміст олії, % | АОА, %       |
|----------------------|------------|-------------|----------------|---------------------|---------------|--------------|
| Jet                  | Ефіопія    | чорне       | <b>21,29</b>   | 6,27                | <b>3,37</b>   | 77,71        |
| Arabische            | Іран       | чорне       | 15,88          | 7,08                | <b>3,04</b>   | 79,90        |
| H. trifurcatum       | Монголія   | коричн.     | 16,23          | 6,68                | 2,30          | 67,76        |
| Fibar (wax)          | Канада     | біле        | <b>20,82</b>   | <b>9,77</b>         | 2,89          | <b>85,55</b> |
| Alberte              | Канада     | біле        | 19,03          | 5,97                | 2,79          | 85,57        |
| Hilose               | Канада     | коричн.     | <b>19,85</b>   | <b>7,84</b>         | <b>3,16</b>   | <b>92,93</b> |
| Lophy-1              | Канада     | біле        | 17,89          | 4,21                | 2,69          | 78,19        |
| Rattan (wax)         | Канада     | біле        | 17,54          | <b>7,56</b>         | <b>2,92</b>   | <b>80,38</b> |
| Carter               | Канада     | коричн.     | 16,97          | 6,61                | 2,68          | <b>85,81</b> |
| Olande               | Канада     | коричн.     | 16,14          | 5,72                | 2,59          | <b>83,17</b> |
| Омський голоз.2      | Росія      | коричн.     | 16,79          | 5,36                | <b>2,98</b>   | <b>91,50</b> |
| Gainer               | Канада     | коричн.     | 15,54          | 6,35                | 2,75          | <b>83,43</b> |
| Гатунок              | Україна    | коричн.     | 19,41          | 5,67                | 2,69          | <b>81,21</b> |
| Козацький            | Україна    | коричн.     | 19,81          | 5,40                | 2,59          | 69,60        |
| СЛ-5107 (wax)        | СГІ–НЦНС   | біле        | 18,43          | <b>8,74</b>         | 2,78          | 79,74        |
| СЛ-5124 (wax)        | СГІ–НЦНС   | біле        | 17,60          | <b>8,58</b>         | 2,70          | 76,88        |
| СЛ-5175 (wax)        | СГІ–НЦНС   | біле        | 17,51          | 7,95                | 2,56          | 73,69        |
| СЛ-5345 (wax)        | СГІ–НЦНС   | біле        | 17,38          | <b>8,88</b>         | 2,75          | 78,29        |
| СЛ-5008              | СГІ–НЦНС   | коричн.     | 16,92          | 6,74                | 2,53          | 75,33        |
| СЛ-5075              | СГІ–НЦНС   | коричн.     | 16,73          | 6,22                | 2,42          | 76,60        |
| СЛ-5085              | СГІ–НЦНС   | синє        | 16,87          | 6,32                | 2,48          | 78,31        |
| СЛ-5126              | СГІ–НЦНС   | синє        | 17,34          | 6,86                | 2,71          | <b>82,26</b> |
| СЛ-5228              | СГІ–НЦНС   | біле        | 16,18          | 6,25                | 2,32          | 67,12        |
| СЛ-5347              | СГІ–НЦНС   | синє        | 16,82          | 6,46                | 2,48          | 74,79        |
| СЛ-573/33            | СГІ–НЦНС   | коричн.     | 16,44          | 6,03                | 2,45          | 67,71        |
| СЛ-5231              | СГІ–НЦНС   | коричн.     | 15,98          | 6,20                | 2,31          | 69,70        |
| СЛ-5317              | СГІ–НЦНС   | коричн.     | 17,29          | 6,77                | 2,57          | <b>87,26</b> |
| СЛ-5367              | СГІ–НЦНС   | коричн.     | 17,22          | 6,68                | 2,49          | 74,29        |
| СЛ-5229              | СГІ–НЦНС   | синє        | 16,79          | 6,77                | 2,63          | 77,47        |
| СЛ-5365              | СГІ–НЦНС   | коричн.     | 16,91          | 6,64                | 2,72          | <b>82,29</b> |
| СЛ-5157              | СГІ–НЦНС   | коричн.     | 18,90          | 6,58                | 2,63          | 72,53        |
| СЛ-5293              | СГІ–НЦНС   | коричн.     | 18,85          | 6,67                | 2,64          | 71,58        |
| СЛ-5021              | СГІ–НЦНС   | біле        | 18,54          | 6,63                | 2,48          | 73,33        |
| СЛ-5055              | СГІ–НЦНС   | коричн.     | 18,32          | 6,37                | 2,63          | 75,36        |
| СЛ-5172              | СГІ–НЦНС   | коричн.     | 18,97          | 5,26                | 2,41          | 78,90        |
| Гладіатор (озимий)   | СГІ–НЦНС   | коричн.     | 16,17          | 6,12                | 2,32          | 79,14        |
| НІР <sub>0,05</sub>  |            |             | 0,48           | 0,34                | 0,07          | 1,94         |
| <b>Плівчасті ярі</b> |            |             |                |                     |               |              |
| Negra Manfredi       | Ефіопія    | чорне       | 16,67          | 6,36                | <b>3,26</b>   | 71,82        |
| Abyssinian 1105      | Ефіопія    | чорне       | <b>19,28</b>   | 6,99                | <b>3,34</b>   | <b>87,77</b> |
| H 3334 Sulto 1       | Ефіопія    | чорне       | 17,95          | 7,39                | <b>3,08</b>   | 64,49        |
| Командор st          | СГІ        |             | 15,52          | 5,34                | 2,37          | 78,39        |
| Modern A/L           | Україна    |             | 16,97          | 5,80                | 2,46          | 78,84        |
| 120706 A/L           | Україна    |             | 16,75          | 5,56                | 2,35          | 75,68        |
| 120708в A/L          | Україна    |             | 15,83          | 6,36                | 2,25          | 66,90        |

Продовження табл. 1

| Сорт, лінія            | Походження      | Колір зерна | Вміст білка, % | Вміст $\beta$ -глюканів, % | Вміст олії, % | АОА, % |
|------------------------|-----------------|-------------|----------------|----------------------------|---------------|--------|
| Святогор               | СГІ–НЦНС        |             | 13,74          | 5,86                       | 2,46          | 71,40  |
| Воєвода                | СГІ–НЦНС        |             | 13,83          | 4,82                       | 2,23          | 69,26  |
| Первенець              | СГІ–НЦНС        |             | 17,97          | 5,23                       | 2,27          | 56,96  |
| Вестник                | СГІ–НЦНС        |             | 17,19          | 5,46                       | 2,38          | 66,76  |
| Чорноморець            | СГІ–НЦНС        |             | 16,17          | 5,94                       | 2,41          | 65,80  |
| Гетьман                | СГІ–НЦНС        |             | 13,75          | 5,31                       | 2,37          | 73,42  |
| Delphi                 | н/в             |             | 15,63          | 4,50                       | 2,25          | 63,42  |
| Jersey                 | Нідерланди      |             | 15,92          | 5,21                       | 2,32          | 66,79  |
| Sebastian              | Данія           |             | 15,79          | 5,28                       | 2,19          | 67,38  |
| Ebson                  | Чехія           |             | 15,58          | 5,77                       | 2,28          | 67,59  |
| Henrike                | Німеччина       |             | 14,74          | 5,14                       | 2,27          | 72,29  |
| Henrike                | Німеччина       |             | 14,67          | 5,23                       | 2,18          | 69,14  |
| KWS Aliciana           | Німеччина       |             | 15,86          | 5,28                       | 2,23          | 60,83  |
| KWS Bambina            | Німеччина       |             | 15,31          | 4,24                       | 2,15          | 74,88  |
| Datcha                 | Франція         |             | 15,23          | 5,70                       | 2,37          | 52,69  |
| Marthe                 | Німеччина       |             | 16,88          | 5,24                       | 2,15          | 47,93  |
| Shakira                | Німеччина       |             | 15,45          | 5,47                       | 2,28          | 64,29  |
| Kangoo                 | Нідерланди      |             | 15,92          | 5,55                       | 2,36          | 51,93  |
| Tolar                  | Чехія           |             | 14,36          | 5,72                       | 2,07          | 47,14  |
| Quench                 | Велика Британія |             | 15,48          | 5,83                       | 2,36          | 61,40  |
| Claire                 | Німеччина       |             | 14,24          | 5,59                       | 2,28          | 53,79  |
| Malz                   | Чехія           |             | 14,33          | 5,68                       | 2,24          | 52,24  |
| Gladys                 | Нідерланди      |             | 13,71          | 5,11                       | 2,31          | 58,52  |
| Bojos                  | Чехія           |             | 14,08          | 4,93                       | 2,25          | 55,05  |
| Concerto               | Франція         |             | 13,70          | 5,26                       | 2,39          | 64,24  |
| МК 403 (UA0801603)     | Монголія        |             | 16,07          | 6,28                       | 2,29          | 58,71  |
| Golden Promise         | США             |             | 15,72          | 5,44                       | 2,26          | 56,69  |
| Golden Promise x5      | США             |             | 16,43          | 5,91                       | 2,30          | 56,95  |
| Golden Promise y10     | США             |             | 17,76          | 5,63                       | 2,47          | 65,07  |
| Golden Promise x5+y10  | США             |             | 17,14          | 6,45                       | 2,33          | 56,64  |
| НІР <sub>0,05</sub>    |                 |             | 0,47           | 0,21                       | 0,09          | 3,16   |
| <b>Плівчасті озимі</b> |                 |             |                |                            |               |        |
| Достойний st           | СГІ–НЦНС        |             | 11,86          | 5,69                       | 1,59          | 55,24  |
| Luran                  | Чехія           |             | 13,08          | 5,02                       | 1,95          | 54,36  |
| Cinderella             | Німеччина       |             | 13,64          | 5,86                       | 1,82          | 59,81  |
| Артемівський           | Росія           |             | 13,30          | 5,02                       | 2,17          | 61,48  |
| Еспада А/L             | Росія           |             | 12,84          | 5,71                       | 2,02          | 64,17  |
| Кіндрат                | Росія           |             | 13,58          | 5,91                       | 2,14          | 62,26  |
| Maybrit                | Німеччина       |             | 13,30          | 4,99                       | 2,23          | 65,45  |
| Highlight              | Німеччина       |             | 12,18          | 5,02                       | 1,92          | 55,83  |
| Gerlach                | Нідерланди      |             | 12,98          | 6,14                       | 1,99          | 60,43  |
| Scarpia                | Німеччина       |             | 12,93          | 5,79                       | 1,64          | 60,14  |

Закінчення табл. 1

| Сорт, лінія         | Походження | Колір зерна | Вміст білка, % | Вміст $\beta$ -глюканів, % | Вміст олії, % | АОА, % |
|---------------------|------------|-------------|----------------|----------------------------|---------------|--------|
| Кариока             | Росія      |             | 12,56          | 5,88                       | 1,79          | 55,40  |
| Тигр                | Росія      |             | 11,89          | 5,42                       | 2,14          | 72,52  |
| Михайло             | Росія      |             | 12,65          | 5,47                       | 2,38          | 71,21  |
| Кумач               | Росія      |             | 13,18          | 5,32                       | 1,97          | 52,00  |
| Lester              | Чехія      |             | 13,37          | 5,29                       | 2,32          | 67,83  |
| Metaxa (CP-535/20)  | Росія      |             | 13,81          | 5,83                       | 2,25          | 56,98  |
| Mascara             | Франція    |             | 12,75          | 5,24                       | 2,12          | 54,21  |
| Pictus              | н/в        |             | 13,81          | 5,89                       | 2,24          | 62,57  |
| НІР <sub>0,05</sub> |            |             | 0,27           | 0,17                       | 0,11          | 2,73   |

Примітка: н/в — немає відомостей; АОА — антиоксидантна активність.

З даних таблиці 1 видно, що вивчені зразки ячменю загалом суттєво і достовірно відрізнялися за досліджуваними показниками харчової цінності зерна. За вмістом білка в зерні спостерігалася чітка тенденція переваги ярих зразків над озимими і голозерних над плівчастими в межах одного й того ж морфотипу за ознакою плівчастість/голозерність. Максимально високий вміст білка виявився у зерні ярого сорту голозерного ячменю Ахіллес (21,06 %), ярого сорту ваксі канадської селекції Fibar (20,82 %), ярого високоамілозного сорту канадської селекції Nilose (19,85 %) та примітивних екзотичних зразків ячменю плівчастого Abyssinian 1105 (19,28 %) і голозерного Jet (21,29 %). Серед вивчених сортів озимого ячменю високим вмістом у зерні білка виділилися шестирядний сорт Cinderella (13,64 %) та дворядний сорт Metaxa (13,81 %).

Результати вивчення зразків плівчастого і голозерного ячменю за вмістом білка у зерні узагальнено в таблиці 2. З даних таблиці 2 видно, що за вмістом білка в зерні плівчасті ячмені (ярі і озимі) при низькому коефіцієнті варіювання ознаки достовірно поступаються зразкам ярого голозерного ячменю.

Таблиця 2

Вміст білка в зерні різних морфотипів ячменю за ознакою плівчастість/голозерність

| Тип ячменю        | Кількість ліній, шт. | Вміст білка, %           |      |
|-------------------|----------------------|--------------------------|------|
|                   |                      | ( $\pm$ S)               | V, % |
| Голозерний ярий   | 43                   | 17,93 $\pm$ 0,24         | 8,66 |
| Плівчастий ярий   | 37                   | 15,72 $\pm$ 0,23*        | 8,72 |
| Плівчастий озимий | 20                   | 12,96 $\pm$ 0,12*        | 4,39 |
|                   |                      | НІР <sub>0,05</sub> 0,65 |      |
|                   |                      | НІР <sub>0,01</sub> 0,86 |      |

Примітка: \* — різниця вірогідна за рівня значимості  $P \leq 0,01$ .

Подібна картина спостерігалася також при порівнянні досліджених зразків голозерного і плівчастого ячменю за вмістом у них такої дієтично важливої сполуки, як некрохмалисті полісахариди  $\beta$ -глюкани (табл. 3).

Таблиця 3

Вміст  $\beta$ -глюканів у зерні різних морфотипів ячменю за ознакою плівчастість/голозерність

| Тип ячменю        | Кількість ліній,<br>шт. | Вміст $\beta$ -глюканів, % |       |
|-------------------|-------------------------|----------------------------|-------|
|                   |                         | ( $\pm$ S)                 | V, %  |
| Голозерний        | 43                      | 6,76 $\pm$ 0,16            | 15,31 |
| Плівчастий ярий   | 37                      | 5,59 $\pm$ 0,10*           | 10,98 |
| Плівчастий озимий | 20                      | 5,52 $\pm$ 0,08*           | 6,55  |
|                   |                         | HIP <sub>0,05</sub> 0,34   |       |
|                   |                         | HIP <sub>0,01</sub> 0,45   |       |

Примітка: \* — різниця вірогідна за рівня значимості  $P \leq 0,01$ .

Дані таблиці 3 свідчать, що зразки плівчастого ячменю (ярі і озимі) достовірно поступаються зразкам голозерного ячменю за вмістом  $\beta$ -глюканів у зерні. Звертає на себе увагу підвищений серед зразків голозерного ячменю у порівнянні з іншими морфотипами коефіцієнт варіювання за вмістом  $\beta$ -глюканів у зерні. Це пояснюється тим, що серед досліджених зразків ярого голозерного ячменю є кілька зразків з суттєво зміненим біохімічним складом крохмалю, а саме — співвідношенням амілоза/амілопектин, і, як наслідок, суттєво підвищеним рівнем  $\beta$ -глюканів. Так, зразки ячменю ваксі канадської селекції Alamo, Candle, Fibar, Rattan характеризуються вмістом у зерні  $\beta$ -глюканів на рівні 8–9 % і вище у порівнянні зі звичайними не ваксі ячменями з умістом  $\beta$ -глюканів на рівні 6–7 %. Отримані нами селекційні лінії ярого голозерного ячменю ваксі також наближаються за вмістом  $\beta$ -глюканів до рівня 9 %. Нагадаємо, що зразки ячменю ваксі мають вміст амілози у складі крохмалю 0 % або величину, близьку до 0 %. Важливо підкреслити, що канадський сорт високоамілозного ячменю (до 40 % амілози замість норми 20–25 %) Nilose також мав підвищений у зерні вміст  $\beta$ -глюканів (7,84 %). Підвищення вмісту  $\beta$ -глюканів у цих генотипів ячменю пояснюється тим, що при генетично детермінованому зміщенні співвідношення у зерні амілоза/амілопектин від норми 20–25/80–75 % загальний пул синтезованої у зерні глюкози метаболізується у формі некрохмалистих полісахаридів  $\beta$ -глюканів, завдяки чому у ячменів ваксі та високоамілозних ячменів вміст  $\beta$ -глюканів у порівнянні зі звичайним ячменем суттєво зростає [14]. Це особливо важливо для ячменю з високим вмістом у зерні амілози, оскільки його дієтична цінність складається як з резистентного крохмалю, завдяки підвищенню вмісту амілози, так і за рахунок зростання рівня некрохмалистих  $\beta$ -глюканів.

Важливою дієтичною складовою вважається олія ячменю, багата за вмістом незамінних жирних кислот та розчинних у ній токолінів з високою

антиоксидантною активністю (попередники вітаміну Е). Олія у зерні ячменю зосереджена головним чином у зародку, оболонці та алейроновому шарі зернівки. За результатами наших досліджень вмісту олії у зерні було отримано наступні дані, наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Вміст олії у зерні різних морфотипів ячменю за ознакою плівчастість/голозерність

| Тип ячменю        | Кількість ліній,<br>шт. | Вміст олії, %            |       |
|-------------------|-------------------------|--------------------------|-------|
|                   |                         | (±S)                     | V, %  |
| Голозерний ярий   | 43                      | 2,65 ± 0,03              | 8,46  |
| Плівчастий ярий   | 37                      | 2,37 ± 0,04*             | 11,53 |
| Плівчастий озимий | 20                      | 2,06 ± 0,05*             | 11,21 |
|                   |                         | HIP <sub>0,05</sub> 0,10 |       |
|                   |                         | HIP <sub>0,01</sub> 0,14 |       |

Примітка: \* — різниця вірогідна за рівня значимості  $P \leq 0,01$ .

Знову ж таки дані таблиці 4 свідчать про те, що зразки голозерного ячменю за вмістом у зерні олії достовірно перевищують відповідні характеристики зерна плівчастих морфотипів. Привертає увагу більш високий коефіцієнт варіації показника вмісту олії у зерні зразків плівчастого ячменю, аніж у голозерного. Найімовірнішою причиною, яка пояснює підвищену варіацію за вмістом олії у зерні плівчастого ячменю, може бути розбіжність між зразками плівчастих генотипів за ознакою плівчастості або частки плівки (яка не містить олії) у загальній масі зерна. Як відомо, зразки плівчастого ячменю часто доволі суттєво відрізняються між собою за ознакою плівчастості. У наших дослідах за ознакою «вміст олії в зерні» на рівні 3 % і вище виділилося кілька зразків. Левову частку їх складають примітивні екзотичні генотипи з редукованим ендоспермом і, відповідно, підвищеною пропорцією маси зародка до загальної маси зернівки. Хоча до цієї групи зі значенням вмісту олії в зерні 3,16 % належить також комерційний канадський сорт з підвищеним вмістом у зерні амілози Nilose.

Наступною надзвичайно важливою характеристикою харчової цінності зерна ячменю, що ми вивчали у нашому досліді, є загальна антиоксидантна активність зерна (АОА). Результати дослідження зразків за цією ознакою наведені у таблиці 5.

Загальний рівень антиоксидантної активності, як бачимо з даних таблиці 1, варіює від мінімального 47,14 % у ярого плівчастого ячменю сорту Tolar, до майже удвоє вищого рівня 92,93 % у високоамілозного голозерного ячменю сорту Nilose. Помітно виражена різниця між дослідженими плівчастими і голозерними яриями зразками за загальним рівнем АОА на користь останніх, які показали середній рівень АОА 77,72 % у порівнянні з 64,14 % у ярих плівчастих, і лише 60,78 % у плівчастих озимих.



Таблиця 5

Антиоксидантна активність у зерні різних морфотипів ячменю за ознакою плівчастість/голозерність

| Тип ячменю        | Кількість ліній, шт. | АОА, %                   |       |
|-------------------|----------------------|--------------------------|-------|
|                   |                      | (±S)                     | V, %  |
| Голозерний ярий   | 43                   | 77,72 ± 0,91             | 7,86  |
| Плівчастий ярий   | 37                   | 64,14 ± 1,51*            | 14,35 |
| Плівчастий озимий | 20                   | 60,78 ± 1,31*            | 9,63  |
|                   |                      | HIP <sub>0,05</sub> 2,85 |       |
|                   |                      | HIP <sub>0,01</sub> 3,77 |       |

Примітка: \* — різниця вірогідна за рівня значимості  $P < 0,01$ .

Привертає увагу тенденція позитивної залежності між вмістом у зерні олії та загальною АОА. Як правило, підвищену і високу АОА показували зразки ячменю з високим або підвищеним рівнем вмісту в зерні олії. Показовим є також той факт, що зерно сорту Nilose має підвищені всі показники харчової цінності водночас (19,85 % білка, 7,84 % β-глюканів, 3,16 % олії і рівень АОА 92,93 %). Це може означати, що негативна кореляційна залежність між досліджуваними показниками харчової цінності зерна скоріш за все відсутня або доволі слабо виражена. І підтвердженням цього висновку можуть бути результати оцінки кореляційної залежності між усіма дослідженими нами показниками харчової цінності зерна ячменю, що наведені в таблиці 6.

Таблиця 6

Кореляційна залежність між показниками харчової цінності зерна ячменю (n = 100)

|                     | АОА, %          | вміст білка, %  | вміст β-глюканів, % | вміст олії, %   |
|---------------------|-----------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| АОА, %              |                 | 0,589***        | 0,452***            | <b>0,701***</b> |
| Вміст білка, %      | 0,589***        |                 | 0,541***            | <b>0,724***</b> |
| Вміст β-глюканів, % | 0,452***        | 0,541***        |                     | 0,577***        |
| Вміст олії, %       | <b>0,701***</b> | <b>0,724***</b> | 0,577***            |                 |

Примітка: \*\*\* — достовірно за трьома рівнями значимості ( $P > 0,05-0,001$ ).

Як свідчать дані таблиці 6, між усіма дослідженими показниками харчової цінності зерна ячменю відсутня негативна залежність. Значення всіх вивчених у досліді характеристик позитивно корелюють між собою. Найвища позитивна кореляційна залежність зафіксована між вмістом олії та АОА ( $r=0,701$ ) і між вмістом олії та білка в зерні ( $r=0,724$ ). Отримані залежності досить легко пояснити тим, що, як зазначалося вище, олія містить жиророзчинні токоли з високою антиоксидантною активністю. В той же час олія міститься переважно у зародку зерна ячменю та периферійних шарах зернівки. У цих же анатомічних структурах зернівки міститься і висока концентрація білка, головним чином водо- і солерозчинного (класи альбуміни, глобуліни), який вирізняється високою харчовою

цінністю на відміну від суттєво менш цінних запасних білків, зосереджених у тканинах ендосперму зернівки ячменю.

### **Висновки.**

1. Зразки ярого голозерного ячменю (сорти і селекційні лінії) достовірно переважають зразки плівчастого ячменю (ярі і озимі) за такими важливими характеристиками харчової цінності зерна, як вміст білка в зерні, олії,  $\beta$ -глюканів та оцінка загальної антиоксидантної активності зерна.

2. Отримані нами дані дослідження свідчать про те, що селекція ячменю харчового напряму технологічного використання зерна має бути спрямована на створення перш за все сортів ярого голозерного ячменю.

3. Серед дослідженого матеріалу виділені зразки з високим і підвищеним вмістом білка в зерні, олії,  $\beta$ -глюканів та рівнем загальної антиоксидантної активності зерна, які можуть бути рекомендованими для використання в селекції сортів голозерного ячменю харчового напряму використання.

4. Не виявлено негативної кореляційної залежності між досліджуваними характеристиками харчової цінності зерна ячменю, такими як вміст у зерні білка, олії,  $\beta$ -глюканів та загальна антиоксидантна активність зерна.

5. Найвища позитивна кореляційна залежність зафіксована між показниками вмісту олії у зерні та AOA ( $r=0,701$ ), між вмістом олії та білка в зерні ( $r=0,724$ ).

6. Високоамілозний комерційний сорт голозерного харчового ячменю канадської селекції CDC Hilose (автор Brian Rossnagel) може слугувати прикладом успішного комбінування в одному генотипі високих значень досліджених нами показників харчової цінності зерна ячменю і джерелом цих ознак для подальшого селекційного використання.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Newman R. Barley for food and health / R. Newman, C. Newman // Science, technology and products. — Hoboken; New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Publications, 2008. — 245 p.
2. William D. Wheat Belly. Lose the wheat, lose the weight, and find your path back to health / D. William. — New York: Rodale, Inc., 2012. — 214 p.
3. Kerckhoffs D. Effect on the human lipoprotein profile of  $\beta$ -glucan, soy protein and isoflavones, plant sterols, garlic and tocotrienols / D. Kerckhoffs, F. Brouns, G. Hornstra [et al.] // J. Nutr. — 2002. — V. 132. — P. 2494–2505.
4. Wang L. Tocotrienol and fatty acid composition of barley oil and their effects on lipid metabolism / L. Wang, Q. Xue, R. Newman [et al.] // Plant Foods Hum. Nutr. — 1993. — V. 43. — P. 9–17.
5. Aggarwal B. Tocotrienols, the vitamin E of the 21st century: its potential against cancer and other chronic diseases / B. Aggarwal, C. C. Sundaram, S. Prasad [et al.] // Biochemical Pharmacology. — 2010. — V. 80. — P. 1613–1631.
6. FDA (U. S. Food and Drug Administration) 2006. Food labeling: health claims; soluble dietary fiber from certain foods and coronary heart disease. Fed. Reg. 71(98):29248.

7. Hasler C. M. Functional foods: their role in disease prevention and health promotion / C. M. Hasler // *Food Technol.* — 1998. — V. 52. — P. 57–62.
8. Lazaridou A. Molecular aspects of cereal  $\beta$ -glucan functionality: physical properties, technological applications and physiological effects / A. Lazaridou, C. J. Biliaderis // *Cereal Sci.* — 2007. — V. 46. — P. 101–118.
9. Havrlentova M. Cereal  $\beta$ -glucan and their significance for the preparation of functional food / M. Havrlentova, Z. Petrulakova, A. Bugarova // *Czech. J. Food Sci.* — 2011. — V. 29. — P. 1–14.
10. Wood P. J. Relationship between solution properties of cereal  $\beta$ -glucans and physiological effects: a review / P. J. Wood // *Trends Food Sci. Technol.* — 2002. — V. 13. — P. 313–320.
11. Wood P. J. Cereal  $\beta$ -glucans in diet and health / P. J. Wood // *J. Cereal Sci.* — 2007. — V. 46. — P. 230–238.
12. Robertson J. Solubilisation of mixed linkage (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan from barley: effect of cooking and digestion / J. Robertson, G. Majsak-Newman, S. Ring [et al.] // *J. Cereal Sci.* — 1996. — V. 25. — P. 275–283.
13. Arabshahi-Deloue S. Antioxidant Properties of Various Solvent Extracts of Mulberry *Morus indica* L. Leaves / S. Arabshahi-Deloue, A. Urooj // *Food Chem.* — 2007. — V. 102. — P. 1233–1240.
14. Brennan C. The potential use of cereal (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucan as functional food ingredients / C. Brennan, I. Cleary // *J. Cereal Sci.* — 2005. — V. 42. — P. 1–13.

Надійшла 13.09.2016

UDC 633.16:664.786

**Rybalka A. I., Polyshchuk S. S., Shcherbyna Z. V.** Plant Breeding and Genetics Institute — National Center of Seed and Cultivar Investigations

### **THE ESTIMATION OF GRAIN NUTRITIONAL VALUE INDEXES OF BARLEY (*HORDEUM VULGARE* L.)**

The values of grain nutritional characters of commercial varieties, collection strains and breeding lines of spring and winter, hulled and hull less barley were presented in the paper. The hull less barley samples have considerable advantages over the samples of hulled barley in such nutritional grain characters as grain protein content, non starch polysaccharides  $\beta$ -glucan content, oil content as well as general grain antioxidant activity. A high positive correlation between grain oil content and general grain antioxidant activity, between grain oil content and protein concentration were found. Such correlations are well explainable since barley oil contained with tocols (tocopherol and tocotrienol) possessing a high antioxidant activity. Oil and proteins both located in the barley germ and peripheral tissues of the barley grain.

УДК 633.16:664.786

**Рыбалка А. И., Полищук С. С., Щербина З. В.** Селекционно-генетический институт — Национальный центр семеноведения и сортоизучения

### **ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ ЗЕРНА ЯЧМЕНЯ (*HORDEUM VULGARE L.*)**

Представлены результаты исследования показателей пищевой ценности зерна коммерческих сортов, коллекционных образцов и селекционных линий ярового и озимого, голозерного и пленчатого ячменя. Показано, что образцы голозерного ячменя имеют достоверное преимущество над образцами пленчатого ячменя по показателям содержания в зерне сырого протеина, некрахмалистых полисахаридов  $\beta$ -глюканов, жира и общей антиоксидантной активности зерна. Установлена высокая позитивная корреляционная зависимость между содержанием в зерне жира и общей антиоксидантной активностью, содержанием в зерне жира и белка. Такая зависимость вполне логична и объясняется тем, что в масле ячменя содержатся жирорастворимые токолы (токоферолы и токотриенолы), характеризующиеся высокой антиоксидантной активностью, а масло и белок сосредоточены главным образом в зародыше и периферических частях зерновки ячменя.