

УДК 633.11:581.16

Л. И. Релина, Л. А. Вечерская, О. В. ГоликИнститут растениеводства имени В. Я. Юрьева Национальной академии аграрных наук Украины,
проспект Московский, 142, 61000 Харьков, Украина, lyudmila_vecherska@ukr.net**СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА И МИНЕРАЛОВ В ЗЕРНЕ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ
РЕДКИХ ТЕТРАПЛОИДНЫХ ПШЕНИЦ**

Изучено качество зерна малоиспользуемых видов пшеницы *Triticum persicum* Vav. var. *rubiginosum*, *Triticum timopheevii* (ZHUK.) Zhuk и *Triticum durum* Desf. var. *falcatomelanopus* Jakubz. & Filat. Установлено, что *T. persicum* var. *rubiginosum* и *T. timopheevii* относятся к пшеницам с высоким содержанием белка (17,6 % и 17,4 % соответственно), и признак высокого содержания белка у них является довольно стабильным. Следовательно, эти виды могут быть использованы в селекции полбы как источники высокого содержания белка. *T. persicum* var. *rubiginosum*, *T. timopheevii* и *T. durum* var. *falcatomelanopus* отличаются высоким содержанием железа и цинка.

Ключевые слова: качество зерна, содержание белка, микроэлементы, *T. persicum* var. *rubiginosum*, *T. timopheevii*, *T. durum* var. *falcatomelanopus*.

Табл. 2. Библиогр.: 20 назв.

L. I. Relina, L. A. Vecherska, O. V. GolikV. Ya. Yuryev Plant Production Institute of the National Academy of Agrarian Sciences, Kharkov, 61060, 142,
Moskovskiy ave., Ukraine, lyudmila_vecherska@ukr.net**PROTEIN AND MINERAL CONTENTS IN THE GRAIN
OF SOME UNDERUTILIZED TETRAPLOID WHEATS**

The grain quality of underutilized wheat species *Triticum persicum* Vav. var. *rubiginosum*, *Triticum timopheevii* (ZHUK.) Zhuk and *Triticum durum* Desf. var. *falcatomelanopus* Jakubz. & Filat., has been studied. *T. persicum* var. *rubiginosum* and *T. timopheevii* are high-protein wheats (17.6 % and 17.4 % respectively), and the high protein content is rather stable in these species, therefore, they can be used in emmer breeding as sources of high protein content. *T. persicum* var. *rubiginosum* and *T. timopheevii* are high-protein wheats, and high protein content is rather stable in these species, therefore, they can be used in emmer breeding as sources of high protein content. *T. persicum* var. *rubiginosum*, *T. timopheevii* and *T. durum* var. *falcatomelanopus* are noticeable for high iron and zinc contents.

Key words: grain quality; protein content; micronutrients; *T. persicum* var. *rubiginosum*; *T. timopheevii*; *T. durum* var. *falcatomelanopus*.

Table 2. Ref.: 20 titles.

Введение. Белок — это макронутриент, необходимый организму в больших количествах. Норма потребления составляет 0,8 грамма белка на килограмм массы тела. Пшеница является источником многих необходимых питательных веществ, в том числе белка. В мире ее считают основным источником растительного белка в пище человека. Минеральные элементы важны для здоровья животных и человека, так как играют ключевую роль в биохимических и физиологических процессах. В настоящее время Всемирная организация здравоохранения считает дефицит минералов одной из самых серьезных глобальных проблем. Достаточное количество минералов в рационе в первую очередь зависит от их уровня в основных продовольственных культурах [1]. Пшеница (*Triticum* spp.) является основной продовольственной культурой во многих странах, в частности на ее счет приходится 179,26 г пищи на душу населения в день, или 15,87 г белка на душу населения в день, или 527 ккал

на душу населения в день (по состоянию на 2013 год) [2]. Повышение содержания минералов в зерне пшеницы за счет агрономических мероприятий (удобрения) или за счет использования генетического потенциала (селекция) — это многообещающий и эффективный подход к решению проблемы несбалансированного питания и связанных с этим проблем со здоровьем. Этот подход требует комплексных исследований генетических ресурсов пшеницы. Расширение генетического разнообразия пшеницы — непреходящая задача для селекционеров. Одна из основных целей современной селекции состоит в выявлении перспективных источников ценных признаков, в том числе высокого содержания минералов. Существует ряд малоиспользуемых видов пшеницы, которые могут стать такими источниками. Однако они плохо изучены с точки зрения качества зерна, в частности, содержания белка и минералов. Поэтому нашей целью было определение содержания белка, железа, цинка и меди в зерне некоторых тетраплоидных пшениц.

Triticum persicum Vav. (syn. *T. carthlicum* Nevski) — это раннеспелый аналог *Triticum durum* с облегченным обмолотом, распространенный в Закавказском регионе и прилегающих районах Турции [3]. Он устойчив к обильным осадкам, холоду, прорастанию на корню и полеганию. Кроме того, он очень устойчив к мучнистой росе [4], пыльной головне и относительно устойчив к бурой ржавчине, желтой ржавчине и стеблевой ржавчине [4]. Этот вид является высокобелковым (до 23 %), что делает его ценным для селекции. Объектом нашего исследования являлась малоисследованная разновидность *T. persicum* var. *rubiginosum*.

Triticum timopheevii (ZHUK.) Zhuk — культурная тетраплоидная пшеница, относится к эндемичным культурам предгорий Западной Грузии. *T. timopheevii* предпочитает песчаные, суглинистые и глинистые влажные, хорошо дренированные почвы, не требовательна к pH почвы [5]. Также эта пшеница характеризуется высокой устойчивостью к твердой головне, невосприимчива к корневым гнилям, мучнистой росе, желтой ржавчине, пятнистому септориозу листьев и др. [3; 6].

Triticum durum Desf. var. *falcatomelanopus* Jakubcz. & Filat. — это позднеспелая разновидность твердой пшеницы, которая встречается на небольших территориях стран Ближнего Востока (Сирия, Израиль, Иордания) и Центральной Азии [7]. Эта пшеница относительно холодоустойчива [7] и, несмотря на значительную высоту, устойчива к полеганию, что объясняется крепкой соломиной. *T. durum* var. *falcatomelanopus* достаточно устойчива к коричневой и желтой ржавчине. Размер зерновки составляет до 10 мм. Стекловидность высокая: до 75 %. Еще одно преимущество этой пшеницы — легкий обмолот [3].

Мы использовали первый украинский сорт полбы Голиковська, полученный от скрещивания образцов пшеницы полбы яровой (K19285, K21961) и сорта пшеницы твердой яровой Харьковская 41, в качестве сорта-эталона.

Материалы и методы исследований. Мы исследовали зерно *T. persicum* var. *rubiginosum* (образец UA0300066, ARM), *T. timopheevii* (образец UA0300107, GEO) и *T. durum* var. *falcatomelanopus* (образец IR00137, SYR) из коллекции Национального центра генетических ресурсов растений Украины. Почва зоны исследований представлена мощным слабо выщелоченным чернозёмом с зернистой структурой на пылевато-суглинистом лёссе с глубиной залегания карбонатов 30—50 см. Прочность почвенного профиля около 110—140 см. Запасы азота на низком уровне (до 134 мг / кг), запасы фосфора на среднем уровне (97 мг / кг), высокий уровень запасов калия (более 133 мг / кг). Толщина гумусового слоя не менее 75 см. Реакция почвенного раствора слабо-кислая или нормальная (pH 6,15—7,25). Содержание гумуса в пахотном горизонте составляет 5,8 %. Максимальная гигроскопичность почвы колеблется от 8 до 10 %. Образцы — сорта полбы Голиковська и твердой пшеницы Спадщина, — взятые для сравнения, выращивали на участках, расположенных на одном и том же поле, с применением идентичных агрономических методов. Для анализа использовали зерно урожая 2015—2017 годов (годы с различными погодными

условиями). Содержание железа, цинка и меди определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии [8]. Содержание белка определяли методом Кьельдаля [9; 10]. Статистическую обработку результатов проводили в программе StatgraphWin. Сравнение выполняли с помощью непараметрического *U*-критерия Манна—Уитни для малых выборок с неизвестным распределением. Данные в таблицах представлены как среднее \pm ошибка среднего.

Результаты исследований и их обсуждение. Содержание белка в зерне *T. persicum* var. *rubiginosum* варьировало в пределах от $15,7 \pm 0,8$ до $20,4 \pm 1,2$ %. Наибольшее содержание белка было зарегистрировано в 2015 году, когда количество осадков в период налива зерна было средним за 3 года исследования — 156 мм (таблица 1). Не выявлено явной связи между содержанием белка и средней температурой воздуха во время вегетации. Такое содержание белка является довольно высоким, поскольку в хорошем зерне твердой пшеницы 15—18 % белка (зерно I сорта содержит $\geq 14,0$ % белка) [11]. Например, содержание белка в зерне сорта стандарта твердой пшеницы Спадщина, созданного в Институте растениеводства имени В. Я. Юрьева НААН, колеблется в пределах 14,5—16,5 %. Несмотря на различия по годам, высокое содержание белка в зерне, по-видимому, является устойчиво экспрессируемым признаком *T. persicum* var. *rubiginosum*. Таким образом, этот вид можно рассматривать как источник высокого содержания белка.

Содержание белка в зерне *T. timopheevii* находилось в пределах от $16,5 \pm 0,7$ до $18,2 \pm 1,1$ % (см. таблицу 1) в зависимости от года. Это выше, чем среднее (2015—2017 годы) содержание белка в зерне отечественного сорта полбы Голиковська, — $13,3 \pm 1,6$ %. Самым благоприятным для накопления белка в зерне *T. timopheevii* был 2017 год. Изменение содержания белка может быть связано с погодными колебаниями в критические периоды развития растений. Зерно накапливало $18,2 \pm 1,1$ % белка, когда количество осадков составляло 26 и 39 мм в периоды развития зеленой массы и налива зерна соответственно. Увеличение количества осадков было связано с уменьшением содержания

Т а б л и ц а 1. — Содержание белка в зерне тетраплоидных пшениц

T a b l e 1. — Protein content in tetraploid wheat grain

Год	Период накопления зеленой массы		Период налива зерна		Содержание белка, %
	$\Sigma_{ос}$, мм	t_{cp} , °C	$\Sigma_{ос}$, мм	t_{cp} , °C	
<i>T. durum</i> Desf. var. <i>falcatomelanopus</i>					
2017	41	18,1	49	21,6	$13,3 \pm 1,3$
2016	157	20,9	107	23,2	$12,2 \pm 0,9$
2015	56	18,6	108	20,9	$15,7 \pm 1,6$
<i>T. persicum</i> var. <i>rubiginosum</i>					
2017	53	20,5	208	22,9	$15,7 \pm 0,8$
2016	157	17,1	107	23,2	$16,8 \pm 0,9$
2015	13	20,7	156	22,0	$20,4 \pm 1,2^{\#}$
<i>T. timopheevii</i>					
2017	26	19,1	39	22,6	$18,2 \pm 1,1$
2016	123	19,6	96	23,1	$17,4 \pm 0,9$
2015	58	16,3	102	20,3	$16,5 \pm 0,7$

Примечание. Здесь и в таблице 2: 1) $\Sigma_{ос}$, мм, — количество осадков, мм; t_{cp} , °C, — средняя температура, °C; 2) $\#$ — значимые различия между 2015-м и 2017 годами, $p \leq 0,05$.

белка, хотя эта разновидность предпочитает влажные условия. Это может быть связано с недостаточным дренажом почвы, так как почва в месте выращивания была умеренно глинистой со средним дренажом, а *T. timopheevii* предпочитает хорошо дренированные почвы [5]. Мы не наблюдали очевидной связи между содержанием белка и температурой в критические периоды развития растений. Несмотря на отмеченные вариации, высокое содержание белка является, по-видимому, довольно стабильным признаком у *T. timopheevii*, и этот вид относится к пшеницам с высоким содержанием белка.

Диапазон содержания белка в зерне *T. durum* var. *falcatomelanopus* составлял 12,2—15,7 % (см. таблицу 1), при среднем содержании белка $13,7 \pm 0,9$ %, поэтому этот сорт нельзя считать высокобелковым. Наименьшее содержание белка ($12,2 \pm 0,9$ %) было зафиксировано в 2016 году, когда температура в периоды развития зеленой массы и налива зерна достигала своего пика ($20,9^\circ\text{C}$ и $23,2^\circ\text{C}$ соответственно) за годы исследования, что типично для пшеницы. Не наблюдалось очевидной связи между содержанием белка в зерне *T. durum* var. *falcatomelanopus* и количеством осадков. Известно, что содержание белка в зерне отрицательно коррелирует с размером зерна [12]. Лocus *Gpc-B1* регулирует старение растения и содержание белка в зерне пшеницы. Аллель дикого сородича кодирует фактор транскрипции, ускоряющий старение и повышающий содержание белка в зерне (а также цинка и железа, см. ниже). Нефункциональный аллель *GPC-B1* («выключенный» методом РНК-интерференции) задерживал старение и значительно снижал содержание белка в зерне. Считается, что это изменение приводит к увеличению размера зерна вследствие его более длительного созревания [13]. Возможно, что *T. durum* var. *falcatomelanopus* несет нефункционирующий аллель *GPC-B1*, что объясняет относительно низкое содержание белка и крупность зерна, поскольку замедленное старение ассоциировано с более крупным зерном.

Пшеница не упоминается как важный источник минералов. Тем не менее она потребляется в больших количествах, следовательно, существует мнение, что повышение уровня минералов в зерне пшеницы может оказать существенное влияние на питание и здоровье человека. Дефицит железа является наиболее распространенным пищевым дефицитом в мире [14]. Хлеб и сухие завтраки иногда специально обогащают железом, поэтому селекционеры стремятся создавать сорта пшеницы с высоким содержанием этого элемента. Содержание железа в товарной твердой пшенице колеблется в пределах 25,7—40,5 мг / кг [15]. Зерно *T. persicum* var. *rubiginosum* содержит от $30,73 \pm 1,63$ до $39,75 \pm 1,87$ мг / кг железа (таблица 2), что сопоставимо с уровнем железа в коммерческих сортах твердой пшеницы. Такая вариабельность может быть связана с изменениями погоды в критические периоды развития растений. Зерно накапливало $39,75 \pm 1,87$ мг / кг (максимум) железа, когда количество осадков составляло 53 и 208 мм в периоды развития зеленой массы и налива зерна соответственно, и $30,73 \pm 1,63$ мг / кг (минимум), когда количество осадков составляло 157 и 107 мм в периоды развития зеленой массы и налива зерна соответственно. Растение активно накапливает питательные вещества из почвы во время развития зеленой массы; следовательно, растворение минералов из-за обильных осадков может снизить их уровень. Однако уменьшение количества осадков до 13,1 мм было связано с более низким уровнем железа (до $35,65 \pm 1,76$ мг / кг). Таким образом, можно предположить, что скудное влагообеспечение не позволяет растениям поглощать минералы из почвы. С другой стороны, обильные осадки в течение периода налива зерна (208 мм) могут оказывать незначительное влияние на этот параметр, так как вид устойчив к обильным осадкам во время созревания [3]. Мы не наблюдали связи между содержанием железа и температурой в критические периоды развития растений. Несмотря на такую вариабельность, высокое содержание железа в зерне, по-видимому, генетически присуще *T. persicum* var. *rubiginosum*, следовательно, она может служить источником высокого содержания железа.

Зерно *T. timopheevii* содержит 39,27—55,90 мг / кг железа (см. таблицу 2), что значительно выше, чем уровень железа в коммерческих сортах твердой пшеницы и сравнимо

Т а б л и ц а 2. — Содержание минералов в зерне тетраплоидной пшеницы

T a b l e 2. — Mineral contents in tetraploid wheat grain

Год	Период накопления зеленой массы		Период налива зерна		Zn	Fe	Cu
	Σ_{oc} , мм	t_{cp} , °C	Σ_{oc} , мм	t_{cp} , °C			
<i>T. durum</i> Desf. var. <i>falcatomelanopus</i>							
2017	41	18,1	49	21,6	34,8 ± 1,2	35,2 ± 1,0	3,72 ± 0,1
2016	157	20,9	107	23,2	32,4 ± 0,9	41,0 ± 1,63*	0,83 ± 0,04**
2015	56	18,6	108	20,9	31,5 ± 0,9	44,4 ± 2,4###	0,17 ± 0,02###^
<i>T. persicum</i> var. <i>rubiginosum</i>							
2017	53	20,5	208	22,9	43,9 ± 1,9	39,75 ± 1,87	1,03 ± 0,04
2016	157	17,1	107	23,2	31,1 ± 1,5**	30,73 ± 1,63*	0,62 ± 0,02**
2015	13	20,7	156	22,0	35,6 ± 1,7#	35,65 ± 1,76#	3,47 ± 0,13###^^
<i>T. timopheevii</i>							
2017	26	19,1	39	22,6	41,04 ± 0,9	55,90 ± 1,6	1,86 ± 0,04
2016	123	19,6	96	23,1	36,52 ± 1,3*	39,27 ± 0,8**	2,79 ± 0,07
2015	58	16,3	102	20,3	36,33 ± 0,9#	40,04 ± 1,1#	4,46 ± 0,11#

Примечания: * — значимые различия между 2017-м и 2016 годами, $p \leq 0,05$; ** — значимые различия между 2017-м и 2016 годами, $p \leq 0,001$; ### — значимые различия между 2017-м и 2015 годами, $p \leq 0,001$; ^ — значимые различия между 2015-м и 2016 годами, $p \leq 0,05$; ^^ — значимые различия между 2015-м и 2016 годами, $p \leq 0,001$.

с содержанием железа в зерне польской полбы (49 мг / кг) [16]. Зерно накапливало 55,90 мг / кг железа, когда количество осадков составляло 26 и 39 мм в периоды развития зеленой массы и налива зерна соответственно. Не отмечалось очевидной связи между содержанием железа и температурой в критические периоды развития растения. Несмотря на такую вариабельность, *T. timopheevii* также может служить источником высокого содержания железа.

Зерно *T. durum* var. *falcatomelanopus* содержит 35,15—44,42 мг / кг железа (см. таблицу 2), что превышает содержание железа в коммерческих сортах твердой пшеницы. Зерно накапливало 44,42 мг / кг железа, когда количество осадков составляло 56 мм и 108 мм в периоды развития зеленой массы и налива зерна соответственно. Уменьшение содержания железа было связано с увеличением количества осадков в этот период, хотя данный вид предпочитает влажные условия. Снижение количества осадков до 41 мм сопровождалось даже более резким падением уровня содержания железа. Мы предполагаем, что излишне обильные осадки приводят к снижению концентрации минералов в почве, и минералы переходят в недоступные для растений горизонты почвы. И напротив, скудные осадки не позволяют растению поглощать минералы из почвы. Обильные осадки в течение периода налива зерна (108 мм) не приводили к снижению содержания железа, поскольку к этому времени накопление минералов в нем было завершено. Мы не отмечали взаимосвязи между содержанием железа и температурой воздуха в критические периоды развития растений. Таким образом, 2015 год был наиболее благоприятным для накопления железа зерном *T. durum* var. *falcatomelanopus*. Несмотря на отмеченную вариабельность, высокое содержание железа в зерне, по-видимому, является генетически детерминированным для *T. durum* var. *falcatomelanopus*, поэтому эта разновидность может служить источником высокого содержания железа.

Было показано, что ген, детерминирующий высокое содержание белка в зерне (*GPC-B1*), отвечает за повышенные концентрации железа (и цинка). Наблюдались положительные корреляции между содержанием железа, цинка и белка в зерне образцов дикой и культурной полбы [17]. Следовательно, мы ожидали, что содержание железа (и цинка) будет изменяться параллельно с содержанием белка. Содержание железа изменялось параллельно с содержанием белка только в зерне *T. timopheevii*. В зерне *T. persicum* var. *rubiginosum* содержание белка достигло своего пика в 2015-м и было минимальным в 2017 году, в то время как содержание железа (и цинка, см. ниже) было максимальным в 2017-м и минимальным в 2016-м. Для зерна *T. durum* var. *falcatomelanopus* также не было установлено четкой взаимосвязи между этими параметрами. Мы можем предположить, что зависимость «белок—железо—цинк» может быть не общей чертой тетраплоидных пшениц, а особенностью образца полбы, описанного в цитированных выше статьях. Поскольку *T. timopheevii* также считается полбой, это предположение кажется вполне логичным.

Цинк также является важным микроэлементом. Пшеница относится к пищевым культурам, которые содержат больше всего цинка [18]. Злаки были рекомендованы в качестве дешевых и стабильных источников легкоусвояемого цинка. Содержание цинка в коммерческой твердой пшенице находится в пределах 24,8—48,8 мг / кг [15; 16]. Предельно допустимая концентрация цинка в зерне составляет 50,0 мг / кг [19].

Зерно *T. persicum* var. *rubiginosum* содержало от $31,13 \pm 1,53$ до $43,90 \pm 1,91$ мг / кг цинка (см. таблицу 2), что сопоставимо с коммерческими сортами твердой пшеницы. Взаимосвязь между содержанием цинка и погодными условиями была сходной с таковой между содержанием железа и погодными условиями (см. выше).

Зерно *T. timopheevii* содержит 36,33—41,04 мг / кг цинка (см. таблицу 2), что сопоставимо с товарной твердой пшеницей и сортом полбы Голиковська (около 31,0 мг / кг) и несколько меньше, чем в зерне польской полбы (54 мг / кг [16]). Взаимосвязь между содержанием цинка и погодными условиями для зерна *T. timopheevii* была сходной с таковой между содержанием железа/белка и погодными условиями.

Зерно *T. durum* var. *falcatomelanopus* содержит 31,54—34,76 мг / кг цинка (см. таблицу 2), что также сопоставимо с коммерческой твердой пшеницей и сортом полбы Голиковська (около 31,0 мг / кг) и несколько ниже, чем в зерне полбы (54 мг / кг [16]). Взаимосвязь между содержанием цинка и погодными условиями была противоположной таковой между содержанием железа и погодными условиями. Отсутствие корреляции между содержанием этих минералов в *T. durum* var. *falcatomelanopus* может быть обусловлено крупностью зерна [13].

Медь является еще одним важным микроэлементом. Различия в этом параметре могут варьировать в широких пределах: 1,8—39,7 мг / кг в продуктах помола твердой пшеницы [16; 19; 20]. В зерне российской пшеницы содержание меди варьировало в пределах 2,0—12,8 мг / кг в зависимости от места выращивания [20]. Другие российские исследователи сообщают, что уровень меди в зерне яровой пшеницы в среднем составлял $5,15 \pm 0,40$ мг / кг (в течение 10 лет) с максимально допустимой концентрацией 10 мг / кг [19]. Suchowilska и соавторы [16] сообщили, что зерно дикого сородича *Triticum dicoccum* содержало 4,4 мг / кг меди.

Зерно *T. persicum* var. *rubiginosum* содержало $0,62 \pm 0,02$ — $3,47 \pm 0,13$ мг / кг меди в зависимости от года (см. таблицу 2). В целом, взаимосвязь между содержанием меди и погодными условиями была аналогична таковой между содержанием железа и цинка и погодными условиями. Хотя максимальное содержание меди было зафиксировано в 2015 году с наименьшим и средним уровнем осадков в период развития зеленой массы и налива зерна соответственно, и самой высокой средней температурой воздуха в период развития зеленой массы.

Зерно *T. timopheevii* содержало 1,86—4,46 мг / кг меди в разные годы (см. таблицу 2). Содержание меди было максимальным в годы, когда средняя температура воздуха в периоды

развития зеленой массы и налива зерна была относительно низкой: 16,3 и 20,3 °С соответственно. Повышение температуры до 19,1—19,6 °С и до 22,6—23,1 °С, соответственно, было связано с более низким содержанием меди. В отличие от содержания железа и цинка, мы не обнаружили никакой связи между содержанием меди и количеством осадков для зерна *T. timopheevii*.

Зерно *T. durum* var. *falcatomelanopus* в разные годы содержало 0,165—3,680 мг / кг меди (см. таблицу 2). Изменения содержания меди, по-видимому, не связаны с колебаниями погоды в периоды развития зеленой массы и налива зерна, поскольку как минимальное ($0,17 \pm 0,02$ мг / кг), так и максимальное ($3,72 \pm 0,1$ мг / кг) были ассоциированы практически с одинаковой температурой воздуха (18,6 °С и 18,1 °С соответственно) и количеством осадков (56 мм и 41 мм соответственно) во время развития зеленой массы. Дожди в период налива зерна, по-видимому, также не влияют на этот параметр. Более низкие значения содержания меди ассоциированы с температурой 23,2—23,5 °С во время налива зерна, хотя в настоящее время эта связь остается необъясненной. Различные изменения в содержании железа, цинка и меди можно объяснить различными путями и ролью этих ионов в физиологии растений. Таким образом, наблюдаемые уровни меди могут, с одной стороны, удовлетворять потребность организма человека в меди, и, с другой — быть намного ниже максимально допустимой концентрации.

Примечательно, что, несмотря на сходство исследуемых видов, каждый из них характеризуется индивидуальными особенностями взаимосвязи «состав зерна — погода».

Изученные виды были использованы в скрещиваниях в целях получения новых селекционных линий и сортов полбы. В данный период проводятся отборы в первых поколениях. Мы планируем выяснить в ходе дальнейших исследований, передались ли новым линиям признаки содержания белка и минералов от *T. persicum* var. *rubiginosum*, *T. timopheevii* и *T. durum* var. *falcatomelanopus*.

Заключение. Наши результаты показали, что: 1) *T. persicum* var. *rubiginosum*, *T. timopheevii* и *T. durum* var. *falcatomelanopus* отличаются высоким или достаточным содержанием железа и цинка, а также сбалансированным содержанием меди; 2) *T. persicum* var. *rubiginosum* и *T. timopheevii* относятся к пшенице с высоким содержанием белка и могут быть использованы в селекции полбы как источники высокого содержания белка; 3) *T. durum* var. *falcatomelanopus* нельзя отнести к высокобелковым видам; 4) несмотря на сходство исследуемых видов, каждый из них характеризуется индивидуальными особенностями соотношения «минерал / содержание белка — погода».

Список цитируемых источников

1. Sands, D. C. Elevating optimal human nutrition to a central goal of plant breeding and production of plant-based foods / D. C. Sands, C. E. Morris, E. A. Dratz, A. Pilgeram // Plant Science. — 2009. — Vol. 177(5). — P. 377—389. doi: 10.1016/j.plantsci.2009.07.011.
2. FAOSTAT [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS/>. — Дата доступа 29.04.2019
3. Пшеницы мира / В. Ф. Дорощев [и др.] ; под ред. акад. В. Ф. Дорощева ; сост. Р. А. Удачин. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Агропромиздат, 1987. — 560 с.
4. Вавилов, Н. И. К филогенезу пшениц. Гибридологический анализ вида *Triticum persicum* Vav. и междуви́довая гибри́дизация у пшениц / Н. И. Вавилов, О. В. Якушкина // Тр. по прикл. ботан. и селекции. — 1925. — Т. 15. — Вып. 1. — С. 3—159.
5. Plants for future *Triticum timopheevii* Zhuk. Plants for a Future (1995—2010) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Triticum+timopheevii>. — Дата доступа: 19.05.2019.
6. Chen, T. Two members of TaRLK family confer powdery mildew resistance in common wheat / T. Chen, J. Xiao, J. Xu, W. Wan, B. Qin, A. Cao, W. Chen, L. Xing, C. Du, X. Gao, S. Zhang, R. Zhang, W. Shen, H. Wang, X. Wang // BMC Plant Biol. — 2016. — С. 16—27. <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0713-8>.

7. Удачин, Р. А. Пшеницы Киргизии / Р. А. Удачин // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. — Л., 1973. — № 50 (1). — С. 320.
8. Jorhem, L. Elements in rice on the Swedish market: Part 2. Chromium, copper, iron, manganese, platinum, rubidium, selenium and zinc / L. Jorhem, C. Astrand, B. Sundstrom, M. Baxter, P. Stokes, J. Lewis, K. P. Grawe // Food Additives and Contaminants. — 2008. — 25(7). — P. 841—850. <https://doi.org/10.1080/02652030701701058>.
9. S'aez-plaza, P. An overview of the Kjeldahl method of nitrogen determination. Part I. Early history, chemistry of the procedure, and titrimetric finish / P. Sáez-Plaza, T. Michałowski, M. J. Navas, A. G. Asuero, S. Wybraniec // Critical Reviews in Analytical Chemistry. — 2013. — 43(4). — P. 178—223. <https://doi.org/10.1080/10408347.2012.751786>.
10. S'aez-plaza, P. An overview of the Kjeldahl method of nitrogen determination. Part II. Sample preparation, working scale, instrumental finish, and quality control / P. Sáez-Plaza, M. J. Navas, S. Wybraniec, T. Michałowski, A. G. Asuero // Critical Reviews in Analytical Chemistry. — 2013. — № 43(4). — P. 224—272. <https://doi.org/10.1080/10408347.2012.751787>.
11. Національний стандарт України. Пшениця. Технічні умови : ДСТУ 3768:2010 / Держспоживстандарт України. — Київ, 2010. — 14 с.
12. Abdipour, M. Association between Grain Size and Shape and Quality Traits, and Path Analysis of Thousand Grain Weight in Iranian Bread Wheat Landraces from Different Geographic Regions / M. Abdipour, M. Ebrahimi, A. Izadi-Darbandi, A. M. Mastrangelo, G. Najafian, Y. Arshad, G. Mirniyam // Not Bot Horti Agrobo. — 2016. — № 44(1). — P. 228—236. <http://dx.doi.org/10.15835/nbha44110256>.
13. Nadolska-Orczyk, A. Major genes determining yield-related traits in wheat and barley / A. Nadolska-Orczyk, I. K. Rajche, W. Orczyk, S. Gasparis // Theor Appl Genet. — 2017. — № 130(6). — P. 1081—1098. doi: 10.1007/s00122-017-2880-x.
14. Hider, R. C. Iron: Effect of Overload and Deficiency / R. C. Hider, X. Kong // Metal Ions in Life Sciences. Springer. — 2013. — № 13. — P. 229—294. doi: 10.1007/978-94-007-7500-8_8.
15. Magallanes-López, A. M. Variability in iron, zinc and phytic acid content in a worldwide collection of commercial durum wheat cultivars and the effect of reduced irrigation on these traits / A. M. Magallanes-López, N. Hernandez-Espinosa, G. Velu, G. Posadas-Romano, V. M. G. Ordoñez-Villegas, J. Crossa, K. Ammar, C. Guzmán // Food Chem. — 2017. — № 237. — P. 499—505. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.110>
16. Suchowilska, E. A comparison of macro- and microelement concentrations in the whole grain of four Triticum species / E. Suchowilska, M. Wiwart, W. Kandler, R. Krska // Plant Soil Environ. — 2012. — № 58. — T. 3. — P. 141—147. <https://doi.org/10.17221/688/2011-PSE>.
17. Chatzav, M. Genetic diversity for grain nutrients in wild emmer wheat: potential for wheat improvement / M. Chatzav, Z. Peleg, L. Ozturk, A. Yazici, T. Fahima, I. Cakmak, Y. Saranga // Annals of Botany. — 2010. — 105 (7). — P. 1211—1220. doi: 10.1093/aob/mcq024.
18. Rodríguez, H. L. Minerals and trace elements in a collection of wheat landraces from the Canary Islands / H. L. Rodríguez, A. D. Morales, R. E. Rodríguez, C. D. Romero // J. Food Compos. Anal. — 2011. — № 24. — P. 1081—1090. doi: 10.1016/j.jfca.2011.04.016.
19. Фещенко, В. П. Экологическое состояние зерновых культур Новосибирской области по содержанию тяжёлых металлов [Электронный ресурс] / В. П. Фещенко // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 5. — Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15088> — Дата доступа: 29.05.2019.
20. Пугаев, С. В. Содержание тяжелых металлов в зерне озимой и яровой пшеницы, произрастающей в разных экологических условиях / С. В. Пугаев // Вестн. Мордов. ун-та. — 2013. — № 3—4. — С. 89—93.

References

1. Sands D. C., Morris C. E., Dratz E. A., Pilgeram A. Elevating optimal human nutrition to a central goal of plant breeding and production of plant-based foods // Plant Science. 2009. 177(5). 377—389. doi: 10.1016/j.plantsci.2009.07.011.
2. FAOSTAT [Electronic source]. Access at <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS/>. Retrieved on 04.29.2019.
3. Dorofeev V. F., Udachin R. A., Semyonova L. V. [et al.]. Pshenithy mira [Wheats of the world] / Ed. by Academician V. F. Dorofeev; compiled by R. A. Udachin. 2nd revised and enlarged edition. M.: Agropromizdat, 1987. 413 p. [in Russian].
4. Vavilov N. I., Yakushkina O. V. K filogenezy pshenits. Gibridologicheskii analiz vida Triticum persicum Vav. [On the phylogenesis of wheat. Hybridological analysis of the species and interspecies hybridization in wheat] // Trudy po Prikladnoy Botanike i Selektii. 1925. 15 (1). P. 3—159 [in Russian].
5. Plants for future *Triticum timopheevii* Zhuk. Plants for Future (1995—2010) [Electronic source]. Access at: <https://www.pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Triticum+timopheevii>. Retrieved on 05.29. 2019.
6. Two members of TaRLK family confer powdery mildew resistance in common wheat / T. Chen, J. Xiao, J. Xu, W. Wan, B. Qin, A. Cao, W. Chen, L. Xing, C. Du, X. Gao, S. Zhang, R. Zhang, W. Shen, H. Wang, X. Wang // BMC Plant Biol. 2016. P. 16—27. <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0713-8>.

7. Udachin R. A. Pshenithsy Kirgizii [Wheats of Kirgizstan] // Trudy po Prikladnoy Botanike i Selekhii. Leningrad, 1973. 50(1). P. 320 [in Russian].
8. Elements in rice on the Swedish market: Part 2. Chromium, copper, iron, manganese, platinum, rubidium, selenium and zinc / L. Jorhem, C. Astrand, B. Sundstrom, M. Baxter, P. Stokes, J. Lewis, K. P. Grawe // Food Additives and Contaminants. 2008. 25(7). P. 841—850. <https://doi.org/10.1080/02652030701701058>.
9. An overview of the Kjeldahl method of nitrogen determination. Part I. Early history, chemistry of the procedure, and titrimetric finish / P. Sáez-Plaza, T. Michałowski, M. J. Navas, A. G. Asuero, S. Wybraniec // Critical Reviews in Analytical Chemistry. 2013. № 43(4). P. 178—223. <https://doi.org/10.1080/10408347.2012.751786>.
10. Sáez-Plaza P., Navas M. J., Wybraniec S., Michałowski T., Asuero A. G. An overview of the Kjeldahl method of nitrogen determination. Part II. Sample preparation, working scale, instrumental finish, and quality control // Critical Reviews in Analytical Chemistry. 2013. № 43(4). P. 224—272. <https://doi.org/10.1080/10408347.2012.751787>.
11. Nathionalnyi Standart Ukrainy. Pshenythia. Tekhnichn Umovy [National Standard of Ukraine. Wheat Specifications] : State Standard of Ukraine 3768:2010 / Derzhspozhyvstandart Ukrainy. Kyiv, 2010. 14 p. [in Ukrainian].
12. Abdipour M., Ebrahimi M., Izadi-Darbandi A., Mastrangelo A. M., Najafian G., Arshad Y., Mirniyom G. Association between Grain Size and Shape and Quality Traits, and Path Analysis of Thousand Grain Weight in Iranian Bread Wheat Landraces from Different Geographic Regions // Not Bot Horti Agrobo. 2016. № 44(1). P. 228—236. <http://dx.doi.org/10.15835/nbha44110256>.
13. Nadolska-Orczyk A., Rajche I. K., Orczyk W., Gasparis S. Major genes determining yield-related traits in wheat and barley // Theor Appl Genet. 2017. № 130(6). P. 1081—1098. doi: 10.1007/s00122-017-2880-x.
14. Hider R. C., Kong X. Iron: Effect of Overload and Deficiency // Metal Ions in Life Sciences. Springer. 2013. № 13. P. 229—294. doi: 10.1007/978-94-007-7500-8_8.
15. Magallanes-López A. M., Hernandez-Espinosa N., Velu G., Posadas-Romano G., Ordoñez-Villegas V. M. G., Crossa J., Ammar K., Guzmán C. Variability in iron, zinc and phytic acid content in a worldwide collection of commercial durum wheat cultivars and the effect of reduced irrigation on these traits // Food Chem. 2017. № 237. P. 499—505. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.110>.
16. Suchowilska E., Wiwart M., Kandler W., Krska R. A comparison of macro- and microelement concentrations in the whole grain of four Triticum species // Plant Soil Environ. 2012. № 58. T. 3. P. 141—147. <https://doi.org/10.17221/688/2011-PSE>.
17. Chatzav M., Peleg Z., Ozturk L., Yazici A., Fahima T., Cakmak I., Saranga Y. Genetic diversity for grain nutrients in wild emmer wheat: potential for wheat improvement // Annals of Botany. 2010. 105(7). P. 1211—1220. doi: 10.1093/aob/mcq024.
18. Rodríguez H. L., Morales A. D., Rodríguez R. E., Romero C. D. Minerals and trace elements in a collection of wheat landraces from the Canary Islands // J. Food Compos. Anal. 2011. 24. P. 1081—1090. doi: 10.1016/j.jfca.2011.04.016.
19. Feschenko V. P. Ekologicheskoye sostoyanie zernovykh kultur Novosibirskoy oblasti po sodержaniyu nyazhyolykh metalov [The ecological state of cereals in the Novosibirsk region by contents of heavy metals] // Sovremennyye Problemy Nauki i Obrazovaniya. 2014. No 5 [Electronic source]. Access at <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15088>. Retrieved on 05.29.2019 [in Russian].
20. Pugaev S. V. Soderzhaniye tyazhyolykh metalov v zerne ozimoy i yarovoy pshenithy proizrastayushey v raznykh ekologicheskikh usloviyakh [Contents of heavy metals in grain of winter and spring wheat grown in different environmental conditions] // Vestnik Mordovskogo Universiteta. 2013. № 3(4). P. 89—93 [in Russian].

Underutilized wheat species are promising in the context of expanding the genetic diversity of wheat varieties and improving wheat grain quality. The grain quality (protein and trace mineral contents) of tetraploid wheat species *Triticum persicum* Vav. var. *rubiginosum*, *Triticum timopheevii* (ZHUK.) and *Triticum durum* Desf. var. *falcatomelanopus* Jakubz. & Filat., was studied. Wheat accessions were kindly provided by the National Centre for Plant Genetic Resources of Ukraine. Plants were grown in compliance with conventional farming techniques. The protein content was determined by Kjeldahl digestion. The contents of iron, zinc and copper were determined by atomic absorption spectrometry. Despite the similarity between the species under investigation, each species has its specific characteristics of the mineral/protein-weather conditions. The grain of *T. persicum* var. *rubiginosum* and *T. timopheevii* is rich in protein, and the high protein content is rather stable in these species, therefore, they can be used in emmer breeding as sources of high protein content. *T. persicum* var. *rubiginosum*, *T. timopheevii* and *T. durum* var. *falcatomelanopus* are characterized by for high or sufficient iron and zinc contents as well as by balanced copper content.

Поступила в редакцию 03.06.2019