

## ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ ЗЕРНА ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ БЕЛОРУССКОЙ СЕЛЕКЦИИ И ПРОДУКТОВ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ

*Ж. В. Кошак, Е. Л. Волынская, Е. М. Минина, Г. В. Слободницкая*

Изучена пищевая ценность зерна твердой пшеницы белорусской селекции, круподунстовых продуктов и макаронной муки, полученных в процессе размола твердой пшеницы. Определено содержание незаменимых аминокислот, витаминов и минеральных веществ. Проведена оптимизация процесса гидротермической обработки зерна твердой пшеницы белорусской селекции. Определены оптимальные параметры времени отволаживания и конечной влажности зерна твердой пшеницы.

### Введение

Пищевая ценность муки во многом зависит от химического состава зерна, из которого она получена, и от наличия в нем питательных веществ, необходимых для жизнедеятельности человека. Для производства макаронной и хлебопекарной муки используется в основном зерно двух видов пшеницы: мягкая и твердая. По содержанию белка, незаменимых аминокислот, крахмала, витаминов и минеральных веществ твердая пшеница превосходит зерно мягкой пшеницы.

В последние годы большой интерес представляет исследование химического состава и биохимических свойств зерна твердой пшеницы, селекционированного в Республике Беларусь, для возможности использования местного сырья при производстве макаронных изделий. Ранее пшеница твердых сортов в республике не выращивалась из-за сложных почвенно-климатических условий. Однако изменение климата показало возможность и актуальность выращивания твердой пшеницы на ее территории.

В своих работах Е. Д. Казаков, Г. П. Карпиленко, В. Л. Кретович, Г. А. Егоров и др. авторы отмечают, что основное количество питательных веществ зерна пшеницы сосредоточено в зародыше, оболочках и алейроновом слое, при этом эндосперм, из которого получают муку высоких сортов, содержит в основном крахмал [1–3]. Правильно подобранные режимы подготовки зерна пшеницы к переработке в процессе гидротермической обработки позволяют целенаправленно уменьшать и увеличивать концентрацию некоторых питательных веществ, например водорастворимых витаминов, в различных частях зерновки [4].

Анализ литературных источников показал, что сведения о пищевой ценности зерна твердой пшеницы белорусской селекции и продуктов его переработки отсутствуют. В связи с этим целью данной работы является изучение содержания незаменимых аминокислот, витаминов и минеральных веществ в зерне белорусской твердой пшеницы, круподунстовых продуктах и муке.

### Результаты исследований и их обсуждение

Содержание белковых веществ является одним из наиболее важных показателей качества зерна пшеницы, который определяет его биологическую ценность. Биологическая ценность белков пшеницы зависит от содержания и сбалансированности аминокислотного состава. Незаменимые кислоты лизин, метионин и триптофан являются лимитирующими для белков пшеницы. В зародыше пшеницы содержится лизина 4,4–5,6 %, а в белке эндосперма – 2,1 %; белки алейронового слоя содержат лизина в 2–3 раза больше, чем эндосперм; в белках отрубей лизина на 13 % больше, чем в целом зерне. Все это приводит к тому, что в отрубях содержание лизина выше, чем в муке, так как в процессе размола в отрубях отходят оболочки, зародыш и алейроновый слой [5]. В пределах эндосперма большее количество аминокислот содержится в периферийных частях (в среднем, % к массе белков): аргинин 2,9–4,5; цистин 1,5–1,9; лизин 1,9–2,6; метионин 1,1–1,4; триптофан 0,9–1,1; валин 3,6–4,0. Центральная

часть эндосперма богаче, чем периферийные его слои (в %): изолейцином 6,6–7,0; лейцином 8,0–9,1 и фенилаланином 3,4–3,9 [2].

Проводились исследования пищевой ценности зерна твердой пшеницы белорусской селекции и продуктов ее переработки. В качестве контрольного образца был взят сорт твердой пшеницы итальянской селекции Ириде, так как именно Италия является страной, на протяжении многих лет традиционно вырабатывающей макаронные изделия высокого качества только из зерна твердой пшеницы.

Объектом исследования являлось зерно твердой пшеницы белорусской селекции сортов Розалия, Дуняша и Валента, выращенное на опытных полях УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».

Определение аминокислотного состава белка осуществляли по общепринятым методикам на жидкостном хроматографе Agilent 1200. Результаты определения содержания незаменимых аминокислот в белке зерна твердой пшеницы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание незаменимых аминокислот в зерне твердой пшеницы

Содержание аминокислот, мг/100 г	Ириде	Розалия	Дуняша	Валента
Треонин	362,5± 81,7	437,9±98,8	432,2±97,5	650,9±146,8
Валин	668,9±148,1	555,8±123,1	781,7±173,1	650,4±144,0
Метионин	176,4±38,7	114,8±25,2	233,9±51,3	176,2±38,7
Лейцин	480,1±97,7	1081,1±220,1	846,6±172,4	586,9±119,5
Изолейцин	932,1±189,8	540,9±110,1	1294,4±263,5	1020,8±207,8
Фенилаланин	751,4±165,2	696,7±153,1	1048,8±230,5	770,4±169,3
Лизин	378,8±83,8	281,8±62,3	439,7±97,3	427,7±94,6
Суммарное количество	3750,2±805	3709±1012,2	5077,3±1085,6	4283,3±920,7

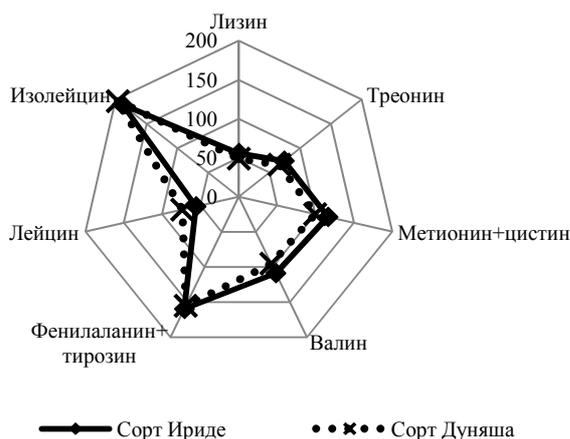
Результаты исследований, представленные в таблице 1, показали, что по суммарному количеству аминокислот в зерне твердая пшеница сортов Дуняша и Валента белорусской селекции превосходит твердую пшеницу итальянской селекции в среднем на 20 %, а зерно сорта Розалия содержит примерно одинаковое количество незаменимых аминокислот (разница 1,1 %).

Для характеристики биологической ценности белка вычислили аминокислотный скор по содержанию в белке незаменимых аминокислот [2]. Аминокислотный скор может быть больше или меньше 100 %. Аминокислота, для которой аминокислотный скор меньше 100 %, называется лимитирующей.

Расчетные значения аминокислотного сора рассмотрим на примере сорта твердой пшеницы белорусской селекции Дуняша и сорта итальянской селекции Ириде. Результаты по определению аминокислотного сора (%) представлены на рисунке 1.

Для зерна твердой пшеницы сорта Ириде лимитирующими являются такие аминокислоты, как лизин, лейцин и треонин. В зерне твердой пшеницы сорта Дуняша лизина меньше на 12,6 %, треонина – на 10,6 %, метионина+цистина – на 14,2 % и валина – на 12,4 % по сравнению с зерном сорта Ириде. Аминокислота лейцин для зерна сорта Дуняша является лимитирующей, но ее аминокислотный скор на 24,1 % больше, чем для зерна твердой пшеницы контрольного образца.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что белок зерна твердой пшеницы является неполноценным по аминокислоте лизин. Лимитирующими аминокислотами для зерна твердой пшеницы являются также треонин, метионин+цистин, валин и лейцин.



**Рисунок 1 – Аминокислотный скор для зерна твердой пшеницы сортов Дуняша и Ириде**

Витамины зерна представляют собой органические соединения, необходимые для нормальной жизнедеятельности и развития организма человека в небольших количествах. Зерно твердой пшеницы и продукты его переработки являются основными источниками витаминов группы В, РР и Е. Содержащиеся в зерне каротины позволяют в организме человека образовывать витамин А, а витамин С образовывается в зерне только при его прорастании [4].

Результаты исследований содержания витаминов Е, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub> и РР в зерне твердой пшеницы, выращенном в Республике Беларусь, представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Содержание витаминов Е, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub> и РР в зерне твердой пшеницы**

Содержание витамина, мг/100 г	Наименование сорта твердой пшеницы			
	Ириде	Розалия	Дуняша	Валента
Витамин Е	1,74	2,22	0,82	1,07
Витамин В <sub>1</sub>	0,24	0,19	0,08	0,20
Витамин В <sub>2</sub>	0,024	0,023	0,025	0,020
Витамин В <sub>6</sub>	0,325	0,240	0,262	0,267
Витамин РР	2,1	3,1	3,4	3,4

Содержание витамина Е в зерне твердой пшеницы, выращенном на территории Республики Беларусь, находится в пределах, характерных для данной культуры (0,67–2,73 мг на 100 г продукта [3]). Высокие значения содержания витамина Е (2,22 мг на 100 г продукта) свидетельствуют о большем содержании жира в зерне сорта Розалия – на 20 % выше по сравнению с сортом Ириде. Однако витамин Е является сильным антиокислителем и препятствует окислению и прогорканию жиров, поэтому зерно с высоким содержанием токоферола будет более стойким при хранении.

По содержанию витаминов В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub> и В<sub>6</sub> зерно твердой пшеницы сорта Ириде превышает все белорусские сорта в среднем на 25 %. Так как основное количество этих витаминов сосредоточено в оболочках, алейроновом слое и зародыше, следовательно, при переработке зерна в сортовую макаронную муку витамины группы В будут почти полностью удалены вместе с отрубями.

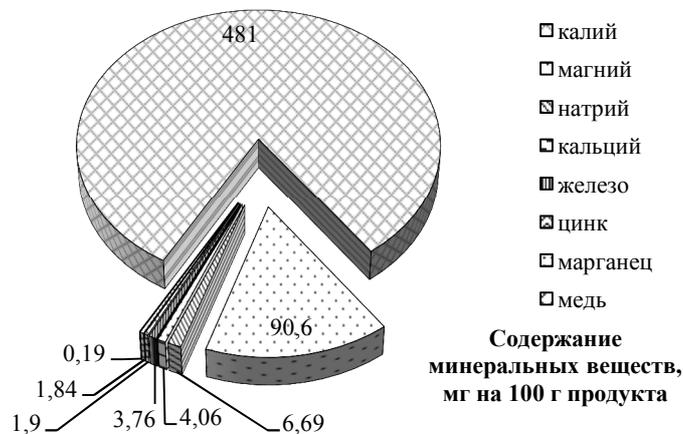
Витамин РР (никотиновая кислота) для исследованных сортов твердой пшеницы белорусской селекции находится примерно в одинаковом количестве (3,1–3,4 мг на 100 г продукта) и превышает содержание в зерне сорта Ириде на 36 %. Витамин РР содержится в основном в алейроновом слое и меньше – в эндосперме. При переработке зерна эндосперм и значительная часть алейронового слоя попадают в муку, что позволяет сохранить значительную часть этого витамина при размоле зерна.

Из проведенных исследований можно сделать вывод, что зерно твердой пшеницы, выращенное в Республике Беларусь, наиболее богато витаминами Е и РР и в наименьшей степени витаминами группы В. Однако витамины группы В могут выдерживать высокие температуры обработки, поэтому мука может быть обогащена этими витаминами, что позволит повысить питательную ценность готовых изделий.

Зерно пшеницы богато минеральными веществами, которые входят в состав золы, образующейся в результате полного сгорания продукта при высокой температуре. Зола составляет от 1,5 до 3,0 % от массы зерна. Главными элементами зерна пшеницы являются калий и фосфор, поэтому около 60 % золы составляет фосфорный ангидрид, около 30 % – оксид калия. Затем следует магний, сера и кремний. Эти элементы называются макроэлементами и содержатся в зерне от десятков до сотых долей процента. Микроэлементы – железо, цинк, марганец, медь и др. – содержатся в зерне в очень небольших количествах (от тысячных до сотых долей процента) [3].

Минеральные вещества в небольших количествах содержатся в эндосперме зерна пшеницы по сравнению с оболочками, зародышем и алейроновым слоем. Сосредоточение большого количества минеральных веществ в алейроновом слое свидетельствует о том, что зольность муки в решающей степени зависит от их количества, перешедшего в готовую продукцию. Количество минеральных веществ в зерне твердой пшеницы колеблется в широких пределах (в 100 г продукта): калия 293 мг, натрия 13 мг, кальция 32 мг, магния 135 мг, меди 0,48 мг, цинка 2,73 мг, железа 4,25 мг и марганца 3,84 мг [2].

Определение содержания макро- и микроэлементов в зерне твердой пшеницы белорусской селекции проводили методом атомно-адсорбционной спектрометрии на приборе novAA 300 в лаборатории РУП «Институт рыбного хозяйства» НАН Беларуси. Результаты исследования рассмотрим на примере сорта твердой пшеницы Дуняша (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Содержание макро- и микроэлементов в зерне твердой пшеницы сорта Дуняша**

Результаты исследований показали, что содержание макро- и микроэлементов в зерне твердой пшеницы сорта Дуняша находится в диапазоне от 0,19 мг меди до 481 мг калия на 100 г продукта. Содержание минеральных веществ в зерне сорта Дуняша ниже значений, характерных для данной культуры, за исключением калия, содержание которого на 39 % выше.

Содержание минеральных веществ в большой степени зависит от сортовых особенностей зерна, почвенно-климатических условий выращивания и применяемых удобрений. В связи с этим дальнейшие исследования сортов твердой пшеницы белорусской селекции позволят выявить наиболее перспективные сорта по содержанию макро- и микроэлементов в зависимости от почвенно-климатических условий республики, а также позволят уделить внимание применяемым при выращивании твердой пшеницы минеральным удобрениям.

Следующим этапом работы было определение оптимальных режимов гидротермической

обработки зерна твердой пшеницы белорусской селекции с целью получения максимального выхода круподунстовых продуктов с минимальной их зольностью. Для планирования эксперимента использовали метод центрального композиционного ротатабельного планирования полного факторного эксперимента ПФЭ  $2^2$  со звездными точками. В качестве основных факторов, влияющих на оптимизацию процесса гидротермической обработки зерна, были выбраны:

- 1) время отволаживания;
- 2) конечная влажность зерна.

Пределы варьирования факторов были определены на основании литературных данных [6] и проведенных ранее лабораторных помолов зерна твердой пшеницы.

В соответствии с планом эксперимента размол зерна твердой пшеницы проводили на лабораторной мельнице CD2. Определяли выход и зольность круподунстовых продуктов. Анализ полученных результатов проводился с помощью компьютерной системы планирования эксперимента STATGRAPHICS Centurion for Windows.

Рассмотрим влияние времени отволаживания и конечной влажности твердой пшеницы сорта Дуняша на выход круподунстовых продуктов и их зольность.

В результате статистической обработки данных было получено уравнение регрессии, адекватно описывающее зависимость выхода круподунстовых продуктов от времени отволаживания и конечной влажности зерна:

$$V = -164,525 + 3,767 \cdot \tau + 25,604 \cdot W - 0,098 \cdot \tau^2 - 0,025 \cdot \tau W - 0,775 \cdot W^2,$$

где  $V$  – выход круподунстовых продуктов, %;

$W$  – конечная влажность зерна, %;

$\tau$  – время отволаживания, ч.

Анализ карты Парето показал, что все факторы значимы и наибольшее влияние на выход круподунстовых продуктов оказывает время отволаживания зерна твердой пшеницы.

Анализ контурной диаграммы показал, что максимальный выход круподунстовых продуктов – 75,5 % – получен в диапазоне конечной влажности 15,5–16,9 % и времени отволаживания 15–19,5 часов.

В ходе дальнейших исследований было получено уравнение регрессии, адекватно описывающее зависимость зольности круподунстовых продуктов от выбранных факторов (времени отволаживания и конечной влажности зерна):

$$Z = -4,605 + 0,012 \cdot \tau + 0,667 \cdot W - 0,001 \cdot \tau^2 + 0,001 \cdot \tau W - 0,020 \cdot W^2,$$

где  $Z$  – зольность круподунстовых продуктов, %.

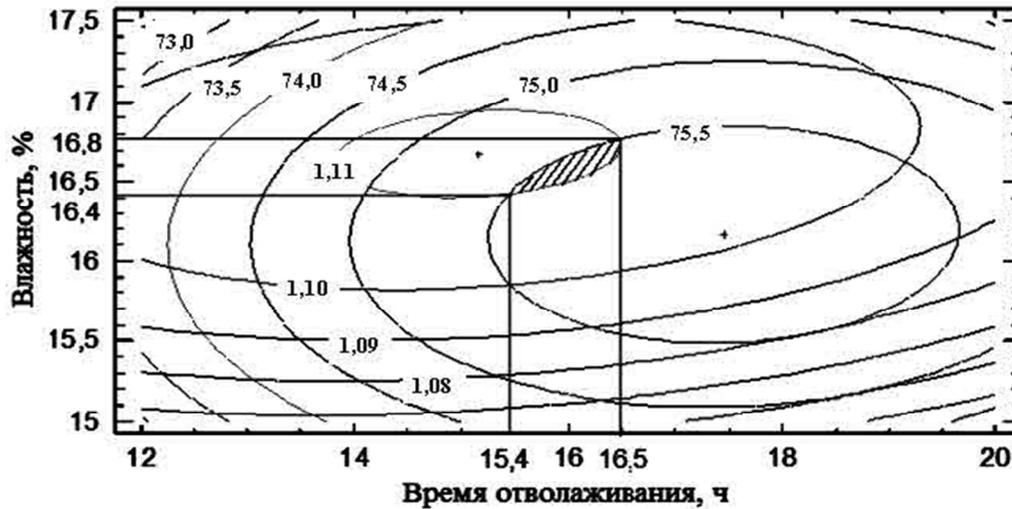
Анализ карты Парето показал, что все факторы значимы и наибольшее влияние на зольность круподунстовых продуктов оказывает конечная влажность зерна твердой пшеницы.

Анализ контурной диаграммы показал, что снижение средневзвешенной зольности круподунстовых продуктов до 1,11 % происходило при увеличении времени отволаживания от 14 до 16,5 часов и изменении конечной влажности от 16,4 % до 17,0 %.

Для определения оптимальных режимов гидротермической обработки зерна твердой пшеницы применили графический метод, который заключается в изучении выхода и зольности круподунстовых продуктов в области эксперимента с помощью кривых равного уровня. Полученные результаты представлены на рисунке 3.

Анализируя полученные значения выхода и средневзвешенной зольности круподунстовых продуктов в области изменения факторов, определили оптимальные режимы гидротермической обработки зерна твердой пшеницы: время отволаживания зерна 15,4–16,5 часа и конечная влажность зерна 16,4–16,8 %. При этом средневзвешенная зольность круподунстовых

продуктов составила 1,11 %, а выход круподунстовых продуктов – 75,5 %.



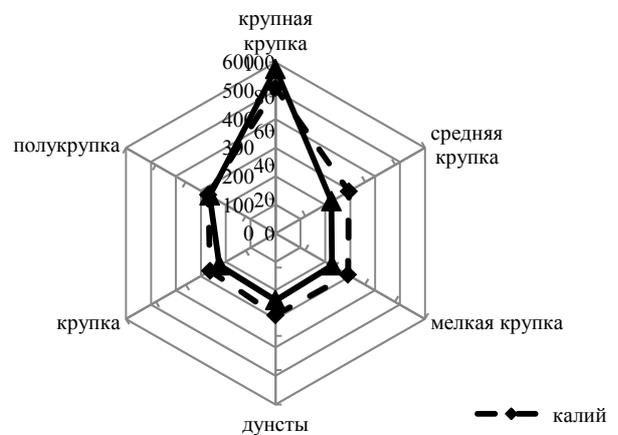
**Рисунок 3 – Совмещенные контурные диаграммы выхода и средневзвешенной зольности круподунстовых продуктов**

Как отмечалось ранее, зольность составных частей зерновки различна. Наибольшая зольность характерна для оболочек, а наименьшая – для эндосперма (разница более чем в 20 раз). Следовательно, высокое содержание минеральных веществ в продуктах размола зерна твердой пшеницы будет свидетельствовать о количестве оболочечных частиц и зародыша, перешедших в круподунстовые продукты и муку.

Анализ литературных данных показал, что зольность эндосперма мягкой пшеницы в среднем составляет 0,42 %, а зольность оболочек вместе с алейроновым слоем – в среднем 9,65 %. Зольность эндосперма зерна твердой пшеницы выше, чем мягкой, и в среднем составляет 0,46 %, а зольность оболочек с алейроновым слоем меньше, чем у мягкой пшеницы, – в среднем 8,72 % [2, 5].

Определили содержание макро- и микроэлементов в круподунстовых продуктах и макаронной муке высшего (крупка) и первого (полукрупка) сортов, полученных из зерна твердой пшеницы белорусской селекции. Полученные результаты рассмотрим на примере сорта Дуныша.

Содержание макроэлементов калия и магния в круподунстовых продуктах и муке представлено на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Содержание калия и магния в круподунстовых продуктах и муке**

Результаты исследований, представленные на рисунке 4, показали, что в круподунстовых продуктах содержание калия и магния снижается по мере уменьшения крупности продукта от крупной крупки до дунстов в 2–2,5 раза, что свидетельствует о снижении в этих продуктах содержания оболочечных частиц. Содержание золообразующих элементов в макаронной муке высшего сорта ниже на 3–15 %, чем в муке первого сорта, что может свидетельствовать о попадании в полукрупку большего количества высокозольного алейронового слоя.

Содержание микроэлементов цинка, марганца и железа в круподунстовых продуктах и муке представлено на рисунке 5.

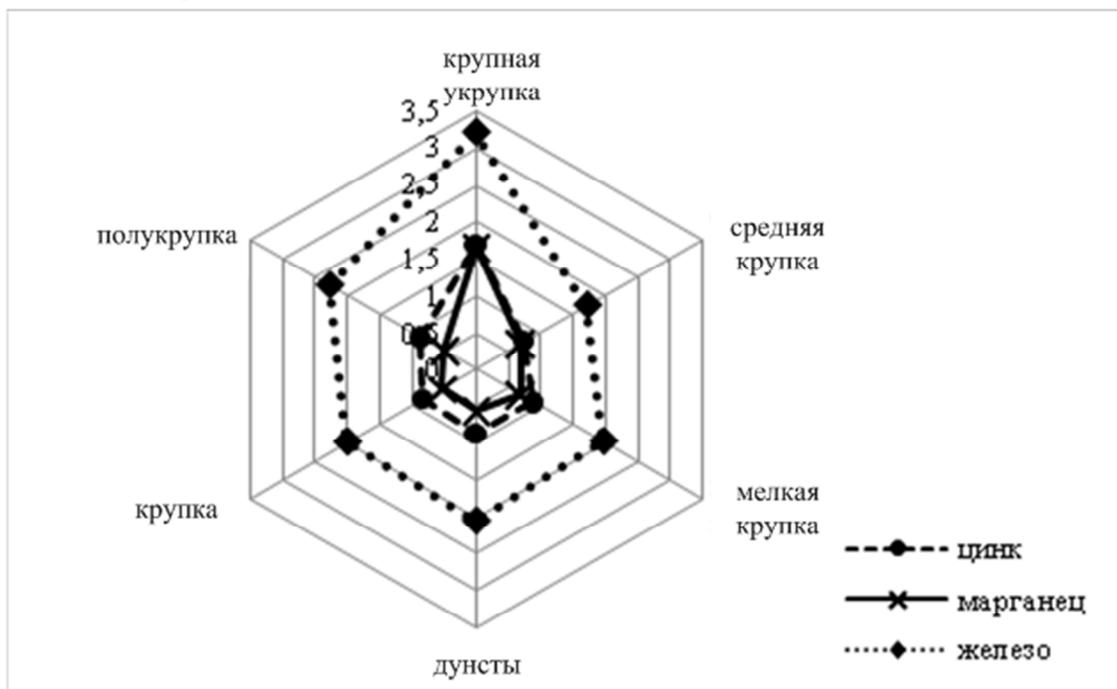


Рисунок 5 – Содержание цинка, марганца и железа в круподунстовых продуктах и муке

Представленные на рисунке 5 результаты исследований показали, что в круподунстовых продуктах высокие значения цинка, марганца и железа характерны для крупной крупки и находятся в пределах 1,67 %, 1,64 % и 3,19 % соответственно. Содержание этих элементов в средней и мелкой крупке и дунстах примерно в 1,5 раза ниже, что может свидетельствовать о снижении в этих продуктах содержания золы. Содержание микроэлементов цинка, марганца и железа в крупке и полукрупке находятся примерно в одинаковых пределах (разница 7 %).

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что значительное количество минеральных веществ зерна твердой пшеницы сосредоточено в эндосперме, а не только в зародыше, оболочках и алейроновом слое, которые в процессе размола попадают в отруби. Содержание макро- и микроэлементов в крупной крупке практически соответствует количеству элементов в целом зерне, что говорит о высоком содержании оболочечных частиц. Снижение содержания этих элементов в средней и мелкой крупке, дунстах и муке почти в 1,5–2,5 раза, по сравнению с зерном, свидетельствует о том, что почти треть всех минеральных веществ зерна сосредоточена в эндосперме.

### Заключение

Проведенные исследования показали, что белок зерна твердой пшеницы белорусской селекции является неполноценным по аминокислоте лизин. Лимитирующими аминокислотами для твердой пшеницы являются также треонин, метионин+цистин, валин и лейцин. По содержанию витаминов зерно твердой пшеницы наиболее богато витаминами Е и РР и в наименьшей степени витаминами группы В. Выявлено, что содержание минеральных веществ в зерне белорусской твердой пшеницы в основном ниже значений, характерных для

данной культуры, что связано с сортовыми особенностями зерна твердой пшеницы, почвенно-климатическими условиями выращивания и применяемыми удобрениями. Определено, что оптимальными режимами проведения гидротермической обработки зерна твердой пшеницы являются время отволаживания зерна 15,4–16,5 часа и конечная влажность зерна 16,4–16,8 %. Значительное количество минеральных веществ зерна твердой пшеницы белорусской селекции сосредоточено в эндосперме, так как продукты его переработки содержат примерно треть всех макро- и микроэлементов зерна. При дальнейшей переработке зерна твердой пшеницы белорусской селекции пищевая ценность макаронных изделий может быть повышена за счет внесения в макаронную муку белков бобовых или масличных культур, витаминно-минеральных премиксов, фруктовых или овощных порошков, проведения минерализации воды и др.

### Литература

- 1 Егоров, Г.А. Технология муки. Технология крупы / Г.А. Егоров – М.: КолосС, 2005. – 296 с.
- 2 Казаков, Е.Д. Биохимия зерна и хлебопродуктов / Е.Д. Казаков, Г.П. Карпиленко. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 512 с.
- 3 Кретович, В.Л. Биохимия зерна и хлеба / В.Л. Кретович. – М.: Наука, 1991. – 136 с.
- 4 Казаков, Е.Д. Биохимия зерна и продуктов его переработки / Е.Д. Казаков, В.Л. Кретович. – М.: Агропромиздат, 1989. – 368 с.
- 5 Зверев, С.В. Физические свойства зерна и продуктов его переработки / С.В. Зверев, Н.С. Зверев – М.: ДеЛипринт, 2007. – 176 с.

*Поступила в редакцию 31.10.2017*