

ВЕСТНИК

БЕЛОРУССКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ

Научно-методический журнал
Издается с января 2003 г.
Периодичность издания – 4 раза в год

2019 № 1

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь журнал включен в перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по сельскохозяйственному, техническому (сельскохозяйственное машиностроение) и экономическому (агропромышленный комплекс) наукам

СОДЕРЖАНИЕ

АГРАРНАЯ ЭКОНОМИКА

Б. М. Шундалов. Тенденции производства и факторы снижения материалоемкости продукции зерновых культур.....	5
Н. Н. Минина. Концептуальная (информационная) модель устойчивого развития сельскохозяйственной организации.....	11
А. А. Гайдуков. Факторы эффективного функционирования личных подсобных хозяйств.....	16
Л. А. Таптунов. Логистические затраты сельскохозяйственной организации и амортизационные отчисления: экономическая сущность взаимосвязи, тенденции формирования, направления оптимизации.....	21
О. В. Лёвкина. Оценка конкурентоспособности соевого шрота при использовании его в рационах различных видов сельскохозяйственных животных и птицы.....	28
Е. В. Грузинская. Дифференциация сельских территорий по уровню развития.....	34
Ал. В. Колмыков. Современное состояние устойчивого социально-экономического развития административных районов Могилевской области Беларуси.....	39
Р. К. Ленькова. Механизм реализации агросервисных услуг в сельхозпредприятиях.....	45
М. М. Волков, Ал. В. Колмыков, В. И. Буць. Основные направления устойчивого развития агропромышленного комплекса Мстиславского района Беларуси.....	49

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, РАСТЕННЕВОДСТВО

Т. Г. Товстановская, М. Н. Ягло. Ценность генофонда льна масличного по хозяйственным признакам и создание на его основе сортов в условиях южной Степи Украины.....	55
Н. А. Дуктова, Е. М. Минина. Влияние метеорологических факторов на микроструктуру и технологические свойства зерна твердой пшеницы.....	60
А. Л. Исакова, А. В. Исаков, В. Н. Прохоров, Е. В. Феськова. Характеристика сорта искра нигеллы дамасской (<i>Nigella damascena</i> L.).....	66
С. В. Егоров, О. А. Порхунцова. Оценка генотипов льна масличного по критериям внутренней структуры на основе молекулярных маркеров семян.....	70
Ю. С. Малышкина, Е. В. Равков. Результаты оценки перспективных образцов желтого люпина на скороспелость и урожайность семян в условиях северо-востока Беларуси.....	75

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МИКРОСТРУКТУРУ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗЕРНА ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ

Н. А. ДУКТОВА, Е. М. МИНИНА

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: duktova@tut.by

(Поступила в редакцию 15.10.2018)

Проведено изучение микроструктуры зерна сортов яровой твердой пшеницы белорусской и итальянской селекции, выращенных в условиях северо-восточной части Беларуси. Выявлены сортовые различия в толщине оболочек и структуре алейронового слоя и установлена их изменчивость под влиянием метеорологических условий периода вегетации. Установлено, что в наибольшей степени микроструктура зерна детерминирована уровнем влагообеспеченности ($r = 0,94-0,99$), нежели тепловым режимом ($r = 0,37$); снижение температуры и увеличение количества выпавших осадков в весенне-летний период выращивания зерна, приводит к увеличению толщины покровных тканей и снижению содержанию эндосперма. Определена массовая доля эндосперма в сортах твердой пшеницы и установлена положительная корреляция между его содержанием и выходом макаронной муки ($r = +0,78$). Получены достоверные математические модели ($R^2 > 0,75$) линейной зависимости, которые можно использовать на практике для прогнозирования результатов исследований выхода макаронной муки в зависимости от микроструктуры оболочек и алейронового слоя зерна (коэффициент корреляции $0,88...-0,98$). Конфигурация петли и глубина бороздки генетически детерминированы и являются сортоспецифичными. Выявлена отрицательная корреляция между показателем отношения глубины бороздки к толщине зерна твердой пшеницы и выходом макаронной муки ($r = -0,69$).

Ключевые слова: *Triticum durum*, анатомическая структура зерновки, метеорологические условия, выход муки.

We have conducted research into the microstructure of grain of varieties of spring durum wheat of Belarusian and Italian breeding grown in the north-eastern part of Belarus. We have established varietal differences in the shell thickness and the structure of the aleurone layer and their variability under the influence of meteorological conditions of the growing season. It has been established that the grain microstructure is determined to the greatest extent by the level of moisture supply ($r = 0.94-0.99$), rather than by the thermal regime ($r = 0.37$); a decrease in temperature and an increase in the amount of precipitation in the spring-summer period of grain cultivation leads to an increase in the thickness of covering tissues and a decrease in the endosperm content. The mass fraction of endosperm in varieties of durum wheat was determined and a positive correlation was established between its content and the yield of pasta flour ($r = +0.78$). Valid mathematical models ($R^2 > 0.75$) of linear dependence were obtained, which can be used in practice to predict the results of studies of the output of pasta flour depending on the microstructure of shells and the aleurone grain layer (correlation coefficient $-0.88...-0.98$). The loop configuration and the groove depth are genetically determined and are species-specific. We have established a negative correlation between the ratio of the groove depth to the thickness of the grain of durum wheat and the yield of macaroni flour ($r = -0.69$).

Key words: *Triticum durum*, grains anatomical structure, meteorological conditions, flour output.

Введение

Твердая пшеница (*Triticum durum* Desf.) – новая зерновая культура для Беларуси. Основное направление ее применения – это получение продовольственного зерна, используемого в макаронной и крупяной промышленности. Макароны в Республике Беларусь в основном вырабатываются из муки пшеницы мягкой и относятся к группе В, что не позволяет им конкурировать с высококачественными изделиями группы А, изготавливаемыми из крупки пшеницы твердой [2]. Изменения в последние годы климата показало возможность и актуальность выращивания твердой пшеницы на территории нашей республики и в настоящее время в Беларуси районированы три сорта отечественной селекции (УО БГСХА): Розалия, Валента (яровые) и Славица (озимый). Производственные испытания, проведенные нами в ОАО «Минский комбинат хлебопродуктов» в 2016 и 2017 гг. доказали пригодность зерна отечественных сортов для выработки высококачественных макарон группы А. В то же время для широкого внедрения культуры в производство необходимы исследования по особенностям формирования показателей качества зерна *durum* в почвенно-климатических условиях Беларуси. Это позволит скорректировать технологический процесс с переработки на мелькомбинатах, обосновать эффективные технологии производства макаронной муки из твердой пшеницы белорусской селекции, что расширит рынок производимых в республике макаронных изделий и решит проблему импортозамещения дорогостоящего сырья.

Ввиду отсутствия опыта возделывания пшеницы твердой в Беларуси среди сельхозпроизводителей бытует ошибочное мнение о возможности замены в макаронном производстве крупки *durum* мукой высокостекловидной мягкой пшеницы. Данное мнение не находит отклика среди технологов, осуществляющих переработку зерна. Это связано с тем, что твердая и мягкая пшеница отличаются не столько величиной показателей качества зерна (стекловидность, содержание клейковины и белка), сколько структурой зерновки, обуславливающей эти признаки. Так, в зерновке пшеницы твердой алейроновый слой более развит, чем в зерновке пшеницы мягкой. Содержит более крупные шаровид-

ные полупрозрачные алейроновые зерна, плотно сомкнутые между собой. Эндосперм *durum* представлен мелкими пластидными и хондриосомными зернами крахмала, погруженными в белковый матрикс. Такая структура образует твердое стекловидное зерно, которое при помоле не размалывается в муку, а крошится с образованием крупки – семолины. Эндосперм пшеницы мягкой, состоящий из крупных крахмальных зерен, не охваченных полностью белковыми тяжами, при помоле легко разрушается с образованием мелкодисперсной муки. В результате указанных особенностей макаронные изделия, изготовленные из семолины пшеницы твердой, при варке сохраняют форму и текстуру, а изделия из пшеницы мягкой, даже высокостекловидной, характеризуются более низким качеством и при варке теряют форму, становясь тестообразными [2].

Установленные видовые различия в строении зерна твердых и мягких пшениц оказывают решающее влияние на организацию и ведение технологических процессов производства муки, в результате чего подготовка и измельчение зерна данных видов принципиально различны. Таким образом, при внедрении твердой пшеницы в производство особую актуальность приобретают вопросы изучения особенностей микроструктуры зерна, обеспечивающих его технологические свойства. В связи с этим целью наших исследований является анализ анатомического строения зерновки пшеницы твердой, выращенной в условиях Беларуси, и установление взаимосвязи микроструктуры с технологическими свойствами зерна.

Основная часть

Исследования проводились в 2013–2016 гг. в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» путем постановки полевых опытов и лабораторных анализов. В качестве объектов исследований выступали сорта отечественной селекции – Розалия (контроль), Валента, Дуняша и сорт итальянской селекции Ириде, также районированный в Беларуси. Сорта выращивали по методике конкурсного сортоиспытания на опытном участке «Тушково» УНЦ «Опытные поля БГСХА». Определение микроструктуры зерна твердой пшеницы, размаха и глубины бороздки зерна твердой пшеницы, толщины оболочек и алейронового слоя, размера крахмальных гранул эндосперма осуществляли на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 (JEOL, Япония).

В анатомическом строении зерновки пшеницы выделяют четыре составные части – зародыш, прилегающий к нему эндосперм, окруженный алейроновым слоем и оболочки (плодовые и семенные) (рис. 1).

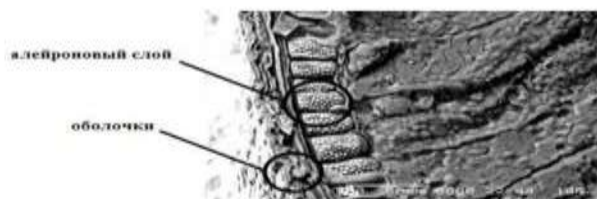


Рис. 1. Поперечный срез зерна твердой пшеницы

Соотношение масс анатомических частей зерна определяет потенциальный выход муки и технологические свойства. Так, толщина оболочек и алейронового слоя зерна имеет важное значение при установлении режимов его переработки. Зерно пшеницы с более развитыми оболочками содержит меньше эндосперма, который труднее от них отделить, а зерно с клетками алейронового слоя примерно одинаковыми по форме и размерам (особенно толщине) хорошо вымалывается. Толщина плодовых и семенных оболочек пшеницы находится в пределах 55–90 мкм, толщина алейронового слоя – от 30 до 70 мкм [3].

Анализ микрофотографии наглядно показывает, что толщина алейронового слоя зерна твердой пшеницы в среднем на 35,5 % больше. В алейроновом слое содержится много белка и липидов, что свидетельствует о его высокой пищевой ценности. Однако, присутствие липидов в муке приводит к резкому уменьшению сроков ее хранения, а оболочки зерна содержат в основном неусваиваемую организмом человека клетчатку. В связи с этим оболочки зерна вместе с алейроновым слоем удаляются при его размоле в отруби [4]. В результате монолитной анатомической структуры высокостекловидного зерна пшеницы твердой при его размоле часть алейронового слоя откалывается от оболочек и вместе с крахмальными гранулами попадает в размольную партию, что обеспечивает большую зольность макаронной муки, в сравнении с хлебопекарной. На толщину оболочек и их содержание существенное влияние оказывают условия произрастания и год урожая [6].

Вегетационные периоды 2013–2016 годов существенно различались по гидротермическому режиму (табл. 1) [5].

Вегетационный период 2013 г. в первой половине вегетации (май–июнь) характеризовался повышенными температурами воздуха с типичным для зоны количеством осадков. Во второй половине вегетации (июль и первая декада августа) отмечен близкий к среднегодовым данным температурный режим с недостаточным выпадением осадков (43 % от нормы). Гидротермический коэффициент за вегетационный период составил 0,94.

Таблица 1. Характеристика погодных условий в годы исследований (по данным Горецкой агрометеостанции)

Показатель	Вегетационный период (1 декада мая–1 декада августа)			
	2013	2014	2015	2016
Сумма осадков, мм	175,5	208,6	104,6	302,7
Сумма эффективных температур ($5 < ^\circ\text{C}$)	1856,0	1771,1	1660,6	1756,0
Гидротермический коэффициент (ГТК)	0,94	1,18	0,63	1,72

Сезон 2014 г. являлся наиболее благоприятным для возделывания пшеницы. Начало вегетационного периода (май) характеризовалось повышенными температурами (+2,4 °C) и количеством выпавших осадков (+20 мм). В дальнейшем в июне отмечен близкий к норме температурный режим с недостаточным количеством осадков (57 % от нормы). Вторая половина вегетации характеризовалась типичным количеством осадков на фоне повышенной температуры воздуха в июле (+2,3 °C). Гидротермический коэффициент за вегетационный период составил 1,18, что характеризует период как нормально увлажненный.

Таким образом, гидротермический режим вегетационных периодов 2013 и 2014 гг. был близок к среднегодовым данным, что позволило изучить особенности анатомического строения зерна пшеницы твердой в типичных условиях.

Вегетационный период 2015 г. характеризовался близким к среднегодовым данным температурным режимом на фоне недостаточного выпадения осадков на протяжении всего периода вегетации пшеницы. В результате ГТК Селянинова составил лишь 0,63, что свидетельствует о недостаточном увлажнении. Это позволило получить высокостекловидное зерно твердой пшеницы и изучить влияние засухи на микроструктуру зерновки.

В отличие от 2015 года, за вегетационный период (май–1 декада августа) 2016 года выпало 302,7 мм осадков к 104,6 мм в 2015 году. Среднесуточные температуры воздуха на протяжении всего периода вегетации превышали среднегодовые данные. Гидротермический коэффициент за вегетационный период составил 1,72, что характеризует сезон как избыточно увлажненный, с количеством выпавших осадков, превышающих среднегодовые данные в мае (+52,6 мм) и июле (+31,2 мм).

Различающиеся метеорологические условия в период проведения исследований позволили всесторонне изучить их влияние на микроструктуру и технологические свойства зерна пшеницы твердой, выращенной в условиях северо-восточной части Беларуси.

На рис. 2 представлена диаграмма зависимости суммарной толщины оболочек и алейронового слоя от средних значений температуры и количества выпавших осадков за вегетационный период 2013–2016 гг.

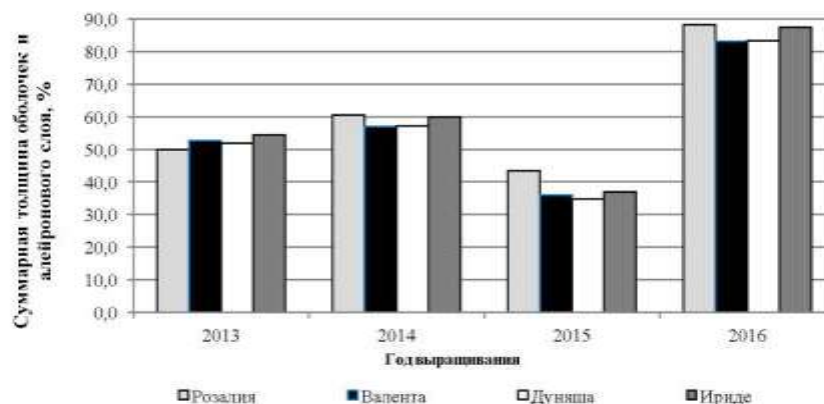


Рис. 2. Влияние гидротермического режима вегетационного периода на суммарную толщину оболочек и алейронового слоя зерна твердой пшеницы

Анализируя влияние погодных-климатических условий выращивания твердой пшеницы на анатомическое строение зерна, в частности на толщину оболочек и алейронового слоя, можно отметить, что снижение температуры и увеличение количества выпавших осадков в весенне–летний период выращивания зерна, приводит к увеличению толщины покровных тканей и снижению содержанию эндосперма.

На основании проведенных исследований была выявлена корреляционная связь между климатическими характеристиками и толщиной покровных тканей зерна пшеницы твердой: коэффициент кор-

реляция для температуры воздуха в среднем составил 0,37, а для количества выпавших осадков – 0,94–0,99. Полученные результаты позволяют сделать о том, что наибольшее влияние на микроструктуру оболочек и алейронового слоя зерна твердой пшеницы оказывает увеличение количества осадкой в период созревания, чем температура воздуха.

Проводимые Е. А. Танайловой исследования показали, что толщина оболочек зерна твердой пшеницы является сортовым признаком, так как в одних и тех же участках зерновки различных сортов толщина может иметь разные размеры и неодинаковую степень развития [7]. Увеличение толщины оболочек и алейронового слоя приводит к снижению выхода муки за счет уменьшения содержания эндосперма.

Нами был проведен регрессионно-корреляционный анализ для выявления зависимости выхода макаронной муки от толщины покровных тканей зерна твердой пшеницы. Результаты анализа (табл. 2) подтвердили, что с увеличением толщины оболочек и алейронового слоя выход макаронной муки снижается.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции и детерминации влияния микроструктуры зерна на выход макаронной муки

Сорт твердой пшеницы	Средние значения выхода макаронной муки, %	Средние значения толщины оболочек и алейронового слоя, мкм	r	R^2
Розалия	43,25	59,70	-0,88	0,77
Дуняша	46,38	56,80	-0,96	0,92
Валентга	44,78	57,25	-0,98	0,96
Ириде	42,25	60,53	-0,93	0,86

Для сортов твердой пшеницы белорусской и итальянской селекции были получены достоверные математические модели ($R^2 > 0,75$) линейной зависимости, которые можно использовать на практике для прогнозирования результатов исследований выхода макаронной муки в зависимости от микроструктуры оболочек и алейронового слоя зерна. Коэффициент корреляции для исследованных сортов зерна твердой пшеницы находился в диапазоне от -0,88 до -0,98, что свидетельствует о сильной отрицательной корреляционной зависимости.

На основании исследований влияния климатических условий выращивания и сортовых особенностей твердой пшеницы на микроструктуру зерна можно сделать вывод, что наилучшими анатомическими свойствами обладает зерно твердой пшеницы белорусской селекции сорта Дуняша, сорта Розалия и Валента занимают промежуточное значение, а сорт итальянской селекции Ириде уступает отечественным сортам.

При получении сортовой муки размолу подвергается только эндосперм, а оболочки, алейроновый слой и зародыш удаляются в отруби. Увеличение содержания эндосперма приводит к увеличению выхода муки. Для определения содержания эндосперма в зерне пшеницы существуют различные методы: прямой, расчетно-аналитический, упрощенный и др. Прямой метод определения массовой доли эндосперма является самым затруднительным. Расчетно-аналитический и упрощенный методы определения содержания эндосперма проводится по формулам с учетом линейных размеров, площади внешней поверхности и объема зерна. На основе экспериментальных данных разных исследователей были получены среднearифметические значения толщины оболочек с алейроновым слоем (0,065 мм) и массы зародыша (2,5 %) для зерна пшеницы [3].

Для определения массовой доли эндосперма в зерне твердой пшеницы исследованных сортов использовался расчетно-аналитический метод. Толщина оболочек с алейроновым слоем была получена экспериментальным путем и в среднем составила 58,6 мкм, рассчитанный объем покровных тканей находился в диапазоне 3,72–4,01 мм³, масса зародыша была принята в соответствии с рекомендациями 2,5 %.

На рис. 3 показано корреляционное поле и линия регрессии зависимости выхода макаронной муки от массовой доли эндосперма в зерне твердой пшеницы. Коэффициент корреляции составил 0,78.

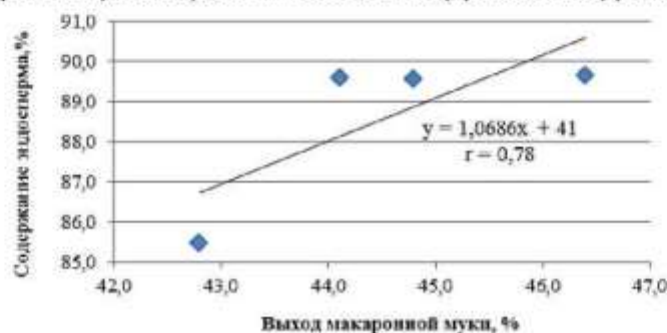


Рис. 3. Корреляционное поле и линия регрессии зависимости выхода макаронной муки от массовой доли эндосперма в зерне твердой пшеницы

Увеличение объема покровных тканей зерновки твердой пшеницы приводит к уменьшению содержания эндосперма, а следовательно, и снижению выхода муки.

Для зерновки пшеницы характерно наличие бороздки, конфигурация которой оказывает большое влияние на организацию процесса размола зерна и выход макаронной муки. Можно выделить четыре разновидности конфигурации петли бороздки: тип 1 – щелевидная петля бороздки, внедряющаяся в центральную часть эндосперма в направлении спинки; тип 2 – петля правильной округлой формы с незначительной воздушной полостью; тип 3 – сплюснутая двузязычная петля бороздки, внедряющаяся в щечечную часть эндосперма; тип 4 – развитая петля бороздки с большим размахом и высотой петли, т. е. с большой воздушной полостью [1].

Форма петли бороздки зерновки твердой пшеницы представлена на рис. 4.

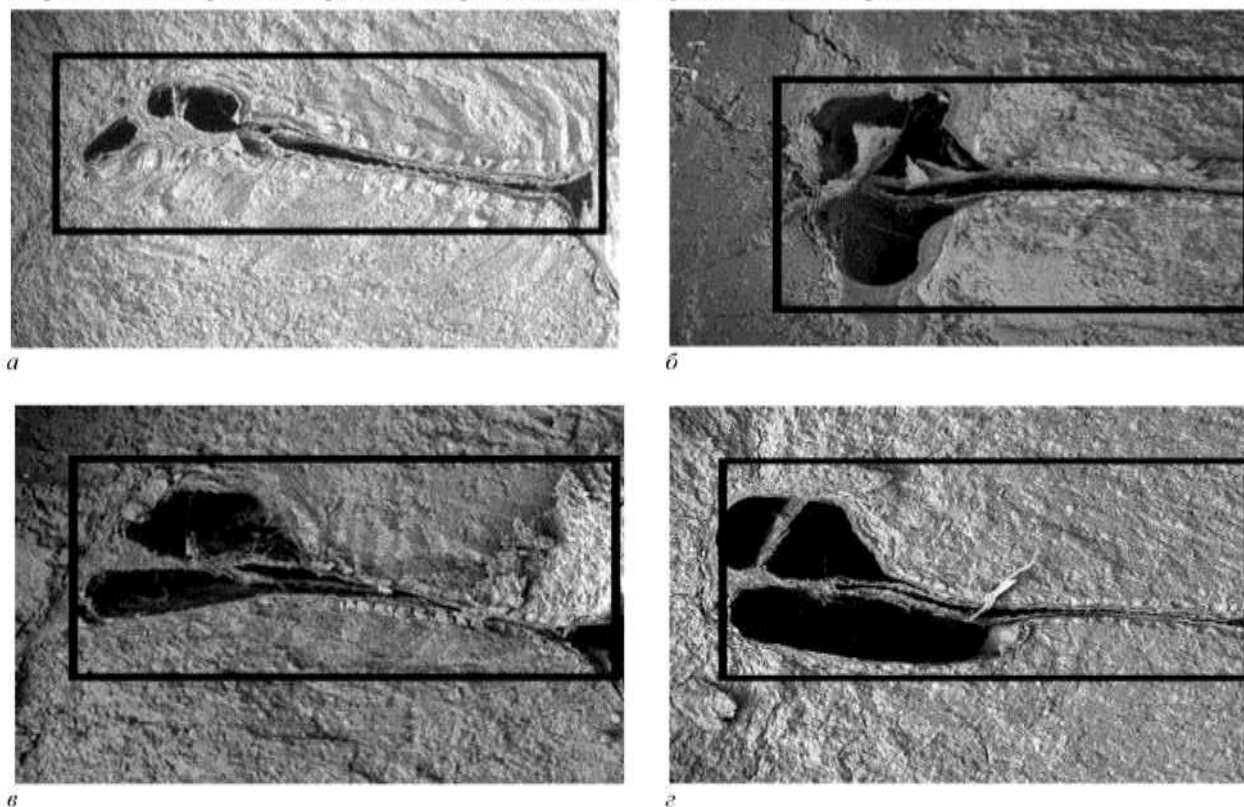


Рис. 4. Конфигурация петли бороздки зерновки различных сортов твердой пшеницы:
a – Розалия; *б* – Ириде; *в* – Дуняша; *z* – Валента

На рис. видно, что петля у зерна сорта Розалия правильной округлой формы с незначительной воздушной полостью. Такая же округлая петля характерна для зерна итальянской селекции сорта Ириде. Петля у зерна твердой пшеницы сортов Дуняша и Валента развитая, с большим размахом и высотой петли, т. е. с большой воздушной полостью. Для зерна твердой пшеницы белорусской селекции вариация глубины бороздки составила 273 мкм.

Глубина и размах петли бороздки оказывают существенное влияние на мукомольные свойства зерна. С повышением отношения глубины бороздки к толщине зерна выход макаронной муки снижается [8].

Отношение глубины петли бороздки к толщине зерна твердой пшеницы колебалось от 37,1 % до 49,7 %. Была выявлена обратная корреляционная зависимость между этим показателем и выходом макаронной муки: $r = -0,69$.

Заключение

Проведенные исследования показали, что на толщину оболочек и алейронового слоя зерна твердой пшеницы большое влияние оказывают метеорологические условия периода вегетации. При этом в наибольшей степени микроструктура зерна детерминирована уровнем влагообеспеченности, нежели тепловым режимом. Определена массовая доля эндосперма в исследованных сортах твердой пшеницы и установлена положительная корреляционная зависимость между его содержанием и выходом макаронной муки ($r = +0,78$). Выявлена отрицательная корреляционная зависимость между показателем отношения глубины бороздки к толщине зерна твердой пшеницы и выходом макаронной муки ($r = -0,69$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Беркутова, Н. С. Микроструктура пшеницы / Н. С. Беркутова, И. А. Швецова. – М.: Колос, 1977. – 127 с.
2. Дуктова, Н. А. Твердая пшеница (*Triticum durum* Desf.) – новая зерновая культура в Беларуси: проблемы и перспективы / Н. А. Дуктова, В. П. Дуктов, В. В. Павловский // Известия НАН Беларуси. – 2015. – № 3. – С. 85–92.
3. Егоров, Г. А. Технология муки. Технология крупы / Г. А. Егоров. – М.: Колос, 2005. – 296 с.
4. Егоров, Г. А. Технология переработки зерна / Г. А. Егоров. – М.: Колос, 1977. – 376 с.
5. Климатические характеристики [Электронный ресурс] / Республиканский гидрометеоцентр. – Режим доступа: <http://www.pogoda.by/> – Дата доступа: 15.10.2018.
6. Моисеева, А. И. Технологические свойства пшеницы / А. И. Моисеева. – М.: Колос, 1975. – 112 с.
7. Танайлова, Е. А. Анатомо-морфологическая характеристика зерновок яровой пшеницы сортов *Triticum durum*: автореферат диссертации ... канд. биол. наук: 03.00.05 / Е. А. Танайлова; Саратов. гос. ун-т им. Н.Г. Чернышевского. – Саратов, 2009. – 20 с.
8. Федотов, В. А. Связь морфолого-анатомических характеристик зерна пшеницы с технологическими свойствами / В. А. Федотов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 12 (66), часть 5. – С. 175–178.