Научная статья/Research Article
УДК 633.112
DOI: 10.36718/1819-4036-2024-2-89-99

Ишен Насанович Бесалиев[1], **Ринат Римович Абдрашитов**[2], **Сергей Сергеевич Акимов**[3]✉
[1]ФНЦ биологических систем и агротехнологий РАН, Оренбург, Россия
[2,3]Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
[1]orniish_tzk@mail.ru
[2]sort_semena@mail.ru
[3]sergey_akimov_work@mail.ru

ЦИРКУЛЯРНОСТЬ ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ КАК ВАЖНЕЙШАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕГО КАЧЕСТВА

Цель исследования – выявить сопряженную связь между формой зерна и его качественными показателями (содержание клейковины, индекс деформации клейковины и стекловидность) и провести ее оценку методами статистики. В исследовании использован экспериментальный материал оценки качественных характеристик различных сортов твердой и мягкой пшеницы, выращиваемой в условиях резко континентального климата центральной зоны. В целях определения качества зерна были выбраны три показателя: содержание клейковины, %; индекс деформации клейковины (ИДК), у.е; стекловидность зерна, %. Размерные характеристики включают в себя данные о длине и ширине зерна, которые объединены в обобщенный показатель – циркулярность. С целью обработки экспериментальных данных, систематизации показателей, выявления связей, определения зависимостей, вычисления значений коэффициентов линейной зависимости применялся пакет прикладных программ Statistica 12.0. При анализе циркулярности зерна в посортовом разрезе установлено, что она мало различается в зависимости от конкретных сортов пшеницы. Для проведения оценки, с целью выявления взаимосвязей, применялся коэффициент корреляции Пирсона, для обнаружения регрессионных зависимостей использован метод наименьших квадратов. Регрессионные уравнения составлены для каждого из показателей качества в зависимости от показателя циркулярности зерна. Проведенный анализ показал наличие связи между показателями качества зерна (содержанием клейковины, ИДК и стекловидностью) и показателем формы зерна – циркулярностью. Составленные регрессионные уравнения линейного типа для каждого из конкретных показателей качества позволяют прогнозировать содержание клейковины, ИДК и стекловидность зерна в зависимости от формы зерна.

Ключевые слова: *пшеница яровая, клейковина, ИДК, стекловидность, циркулярность зерна*

Для цитирования*: Бесалиев И.Н., Абдрашитов Р.Р., Акимов С.С.* Циркулярность зерна яровой пшеницы как важнейшая характеристика показателей его качества // Вестник КрасГАУ. 2024. № 2. С. 89–99. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-2-89-99.

***Благодарности*:** исследование выполнено в рамках выполнения темы Госзадания 0526-2022-0014.

Ishen Nasanovich Besaliev[1], **Rinat Rimovich Abdrashitov**[2], **Sergey Sergeevich Akimov**[3]✉
[1]FSC for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia
[2,3]Orenburg State University, Orenburg, Russia
[1]orniish_tzk@mail.ru
[2]sort_semena@mail.ru
[3]sergey_akimov_work@mail.ru

© Бесалиев И.Н., Абдрашитов Р.Р., Акимов С.С., 2024
Вестник КрасГАУ. 2024. № 2. С. 89–99.
Bulliten KrasSAU. 2024;(2):89–99.

CIRCULARITY OF SPRING WHEAT GRAIN AS A CRITICAL CHARACTERISTIC OF ITS QUALITY INDICATORS

The purpose of the study is to identify the conjugate relationship between the shape of the grain and its quality indicators (gluten content, gluten deformation index and glassiness) and evaluate it using statistical methods. The study used experimental material to assess the qualitative characteristics of various varieties of durum and soft wheat grown in the sharply continental climate of the central zone. In order to determine the quality of grain, three indicators were selected: gluten content, %; gluten deformation index (GDI), cu; glassiness of grain, %. Dimensional characteristics include data on the length and width of the grain, which are combined into a general indicator - circularity. In order to process experimental data, systematize indicators, identify relationships, determine dependencies, and calculate the values of linear coefficients, the Statistica 12.0 application package was used. When analyzing the circularity of grain in a varietal context, it was found that it varies little depending on specific varieties of wheat. To carry out the assessment, in order to identify relationships, the Pearson correlation coefficient was used, and the least squares method was used to detect regression dependencies. Regression equations are compiled for each of the quality indicators depending on the grain circularity indicator. The analysis showed a connection between grain quality indicators (gluten content, GDI and glassiness) and an indicator of grain shape – circularity. The compiled linear regression equations for each of the specific quality indicators make it possible to predict the gluten content, GDI and grain glassiness depending on the grain shape.

Keywords: *spring wheat, gluten, GDI, glassiness, grain circularity*

For citation: *Besaliev I.N., Abdrashitov R.R., Akimov S.S.* Circularity of spring wheat grain as a critical characteristic of its quality indicators // Bulliten KrasSAU. 2024;(2): 89–99. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-2-89-99.

***Acknowledgments*:** research has been carried out as part of the implementation of the theme of State Assignment 0526-2022-0014.

Введение. Одной из важнейших задач современных технологий земледелия является оценка качественных характеристик продукции выращиваемых сельскохозяйственных культур. Показатели качества продукции урожая в значительной степени влияют на степень потребления, что является полноценным вкладом в продовольственную безопасность страны, концепция которой на сегодня является главным ориентиром развития отрасли. Качественный состав выращиваемого зерна дает основу для различий продукции зерновой переработки, что характеризует определенные возможности дальнейшего использования зерна для хозяйственных нужд.

Зерно яровой пшеницы, возделываемой в условиях Оренбургской области, отличается высокими показателями качества. Особенно большим спросом пользуется зерно твердой пшеницы, производимой в регионе. Погодные условия последних лет характеризуются нарастанием засушливости в период вегетации яровой пшеницы, что в значительной мере отражается на ее урожайности и качестве зерна. Формирование размеров и качественных характеристик зерна является результатом влияния взаимодействия условий среды с видовыми и сортовыми особенностями культуры.

При этом процесс формирования зерна затрагивает одновременно его внешние, размерные характеристики и качественный состав. Качество зерна, как правило, характеризуется такими показателями, как содержание клейковины, индекс деформации клейковины (ИДК) и стекловидность. Размерные характеристики включают в себя характеристики длины и ширины зерна, а также степень округлости (циркулярности).

В отдельных работах предпринимаются попытки выявления взаимосвязи указанных данных показателей либо через выражение единого показателя качества [1], либо через влияние выбранных показателей на урожайность зерна [2]. В исследовании [3] отмечено, что форма зерна определяется количественными показателями, такими как ее длина, ширина, толщина и отношение длины к ширине. Исследованием [4] установлено, что генотипические различия между синтетическими линиями гексаплоидной пшеницы в разные годы в условиях Западной Сибири оказались недостоверными для показателей ширины и циркулярности зерновки. В ра-

боте [5] приведены прогностические модели оценки качества и размера зерна пшеницы при оценке климатических характеристик.

В исследованиях L. Chen et al. [6] по рису получена существенная корреляционная зависимость между формой зерна и меловостью. При этом процент меловости зерна и степень его меловости положительно коррелировали с шириной зерна, его округлостью и размером площади зерна. По оценке V.C. Gegas et al. [7], форма и размер зерна пшеницы в значительной степени являются независимыми признаками как у современных сортов, так и у диких ее форм. Крупные сферические зерна, как установлено, являются оптимальной морфологией зерна, определяющей выход и качество муки. Согласно данным В.А. Гунькина и А.С. Сорокина [8], натура зерна ржи зависит от его длины и она ниже у более длинного зерна.

Установлена средняя положительная корреляционная связь длины зерновки яровой твердой пшеницы с массой 1000 семян и содержанием клейковины (r = +0,63 и r =+0,57), а также толщины зерновки с массой тысячи семян (r = 0,53) в исследованиях Ф.В. Тугаревой [9]. В статье И.В. Пахотиной и Ю.В. Колмакова [10] указывается на умеренно отрицательную сопряженность длины зерновки (r = –0,38 и –0,43) с содержанием белка в зерне.

По данным A. Kumar et al., 2019 [11], признаки, формы и размеры зерна яровой пшеницы (длина зерна, ее ширина и площадь, а также масса 1000 зерен и отборная масса зерна), хотя и коррелируют с признаками качества, но не имеют ярко выраженной сильной связи. Кроме того, размер зерна твердой пшеницы может существенно влиять на качество манной крупы и макаронных изделий [12]. Крупа, размолотая из мелких зерен, при более высоком содержании белка и желтого пигмента отличается повышенной зольностью.

Таким образом, проведенный анализ работ показал наличие влияния формы зерна на его качество.

Цель исследования – выявить сопряженную связь между формой зерна и его качественными показателями, выраженными через характеристики – содержание клейковины, ИДК и стекловидность, и провести ее оценку методами статистики.

Материалы и методы. Как правило, одним из наиболее значимых показателей качества зерна пшеницы в большинстве исследований является стекловидность зерна. В ряде работ указывается, что не меньшую значимость представляют ИДК и содержание в зерне клейковины.

Данные для анализа получены в результате полевых опытов с сортами яровой мягкой и твердой пшеницы, проведенных на опытном участке ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН» в условиях центральной зоны Оренбургской области. Закладка опытов, наблюдения и исследования проведены по методике Б.А. Доспехова [13], а также с использованием «Методики государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» [14]. В исследовании использован экспериментальный материал оценки качественных характеристик различных сортов твердой и мягкой пшеницы, выращиваемой в условиях резко континентального климата центральной зоны.

В целях определения качества зерна были выбраны три показателя: содержание клейковины, %; ИДК, у.е; стекловидность зерна, %. Определение данных показателей качества проводилось в Центре коллективного пользования ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН согласно действующим ГОСТам. Исследования охватывают период с 2019 по 2022 г., количество повторностей опыта – 6. Количество измерений в опыте по каждому сорту составляло 100. Показатели размера зерна определяются его длиной и шириной. Длина и ширина зерновки измерялись штангенциркулем. Однако существует комплексный показатель, который не только включает в себя два указанных выше, но и является характеристикой формы зерна, – циркулярность. Циркулярность приближенно характеризует форму зерна: чем меньше циркулярность – тем более зерно вытянуто и, наоборот, чем более зерно округлой формы, тем больше ее циркулярность.

В работе [15] отмечается, что отбор на увеличение циркулярности, тесно связанного с натурой зерна, для пырея сизого может иметь определенное значение при селекции на зерновое производство. Циркулярность вычисляется как отношение длины и ширины, поэтому измеряется в коэффициентах (мм/мм). Циркулярность зерновки изучали с использованием программы Smart Grain v. 1.2.

На рисунке 1 отображены примеры зерен пшеницы с высокой и низкой циркулярностью.

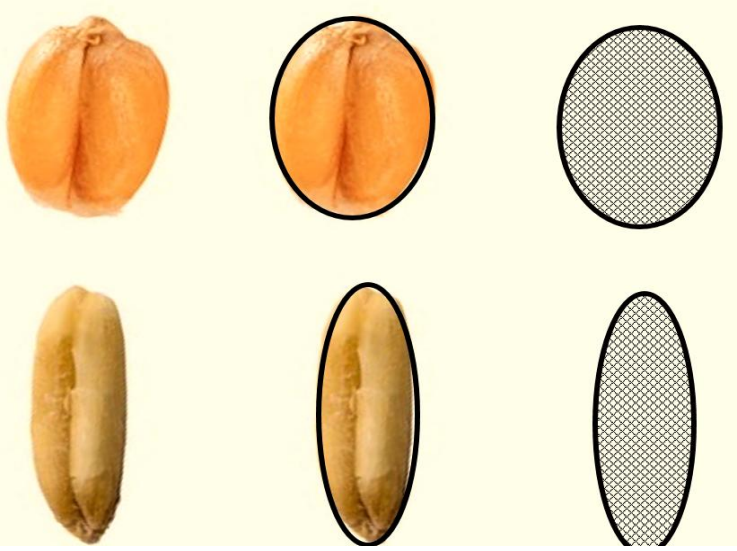

Рис. 1. Зерно с высокой (сверху; ≈0,9) и низкой (снизу; ≈0,5) циркулярностью

Взаимосвязь циркулярности с показателями длины и ширины зерна отображена на рисунке 2. С целью обработки экспериментальных данных, систематизации показателей, выявления связей, определения зависимостей, вычисления значений коэффициентов линейной зависимости применялся пакет прикладных программ Statistica 12.0.

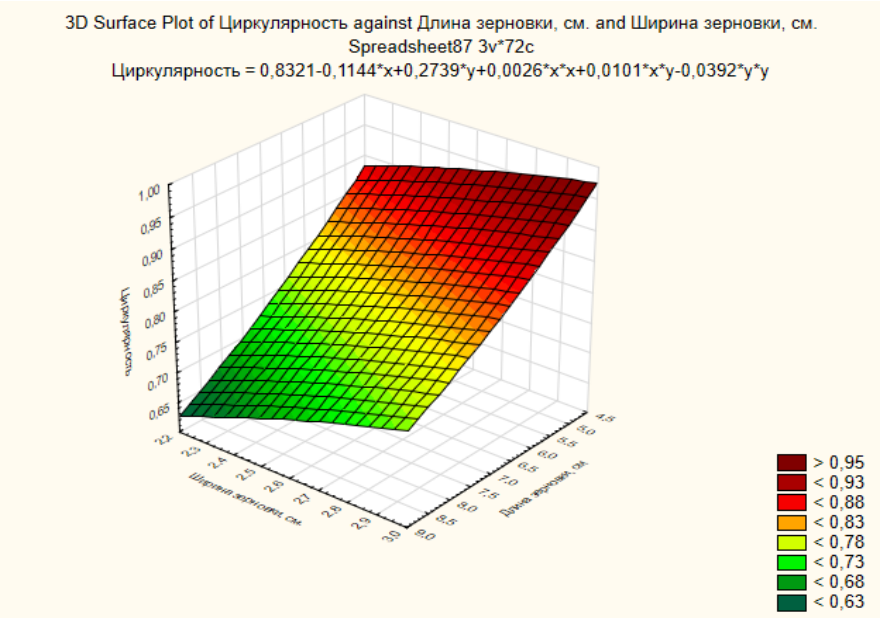

Рис. 2. Зависимость циркулярности зерна от длины и ширины зерновки

Начальный этап исследования включал в себя анализ циркулярности и показателей качества для пшеницы различных сортов; оценка проводилась по средним значениям с учетом ошибки.

Дальнейший этап исследования предполагал приведение характеристики показателя циркулярности по базовым дескриптивным статистикам, в том числе с оцениванием средних значений (совокупно, вне зависимости от сорта), обобщенного разброса, отклонения и принадлежности нормальному закону распределения.

Определение минимального количества измерений выполнялось по формуле оценки доверительного интервала и соответствует 70 значениям. Основной этап исследования заключался в расчете влияния показателя циркулярности на выбранные характеристики качества: содержание клейковины, ИДК и стекловидности.

Регрессионный анализ выполнялся методом наименьших квадратов, зависимость – линейная. Анализ проведен посредством построения поля корреляции с отображением тренда (также приведены расчеты коэффициентов корреляции (коэффициент Пирсона)), позволяющего численно оценить точность подобранных регрессионных уравнений.

Сила связи оценивалась с применением шкалы Чеддока. Показатели, имеющие слабую взаимную корреляцию (<0,3), из дальнейшего рассмотрения исключались.

Результаты и их обсуждение. Анализ показателя циркулярности зерна для пшеницы различных сортов приведен в таблице.

Показатели качества и циркулярность зерна в посортовом разрезе зерна

Сорт	Внешний вид	Содержание клейковины, %	ИДК, у.ед.	Стекловидность, %	Циркулярность, мм/мм
Яровая мягкая пшеница					
Альбидум 2030		39±3,9	92±4,5	54±6,5	0,76±0,09
Альбидум 32		32±4,8	92±3,2	59±6	0,79±0,16
Краснозерка		35±2,1	96±6,7	53±4,4	0,83±0,28
Лютеция		32±2,8	91±4,9	58±6,8	0,81±0,29
Саратовская 29		34±1,1	78±8,3	59±3,6	0,84±0,26
Саратовская 42		41±2,4	92±6,3	57±5,4	0,83±0,32
Яровая твердая пшеница					
Кремень		44±3,6	98±5ё,9	45±3,5	0,83±0,22
Оренбургская 10		35±3,7	90±7,7	56±6,9	0,78±0,18
Твердыня		40±2,8	108±7,4	47±6,1	0,78±0,2
Харьковская 46		37±1,7	98±5,5	56±7,1	0,76±0,12

Согласно данным таблицы 1, показатели качества и циркулярность отличаются в различных сортах пшеницы по абсолютным значениям. Данное обстоятельство предопределяет проведение дальнейших исследований по всей совокупности данных без учета сортовых различий.

Результаты характеристики циркулярности по базовым дескриптивным статистикам, включающим в себя основные статистические показатели, такие как среднее значение, минимальное и максимальное значение, стандартное отклонение, плотность распределения данных на 100 образцах, приведены на рисунке 3.

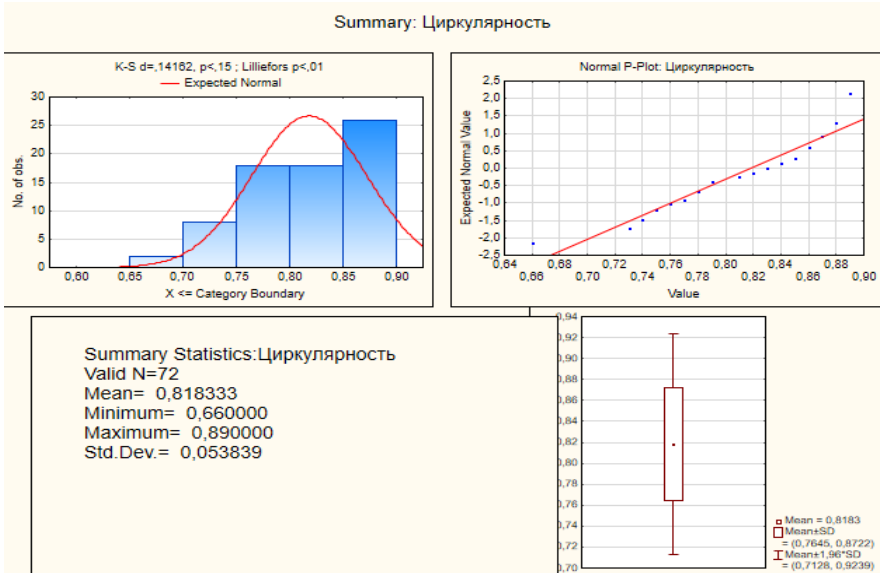

Рис. 3. Характеристика показателя циркулярности: плотность распределения, соответствие нормальному распределению, средние значения, разброс, стандартное отклонение

Согласно рисунку 3, данные показателя распределены приближенно к нормальному распределению. Это следует как из визуального анализа гистограммы (соответствие форме нормального распределения с отклонениями в столбцах гистограммы), так и из рассчитанных коэффициентов, определяющих соответствие экспериментального распределения данному. Следующим этапом анализа стало изучение корреляции между исследуемыми показателями (рис. 4).

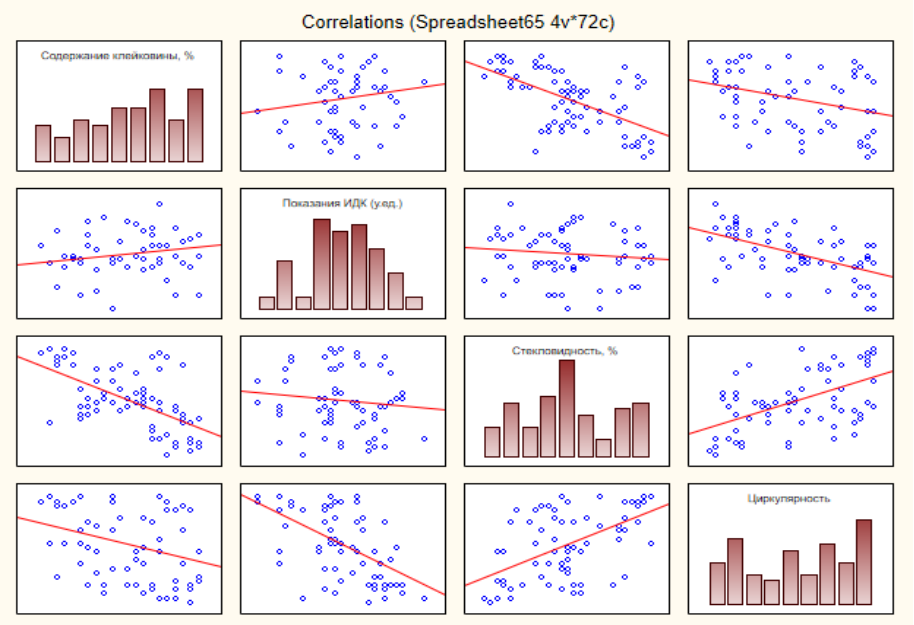

Рис. 4. Показатели корреляции изучаемых показателей

Наибольшую информативность в рисунке 4 представляют поля корреляции, определяющие взаимные связи между циркулярностью и показателями качества. Все три сочетания имеют определенную тенденцию, менее выраженную у показателя содержания клейковины и более выраженную у показателей ИДК и стекловидности. При этом содержание клейковины и ИДК имеют отрицательную корреляционную зависимость, тогда как стекловидность – положительную.

Ввиду того, что все показатели так или иначе имеют определенную взаимосвязь с циркулярностью, все они нуждаются в более четком описании степени связи. Для этих целей необходимо установить регрессионные зависимости для оставшихся в рассмотрении показателей качества – содержание клейковины, ИДК и стекловидность. Поле корреляции с тенденцией изменения, гистограммой распределения и основными дескриптивными статистиками для показателя содержания клейковины приведено на рисунке 5.

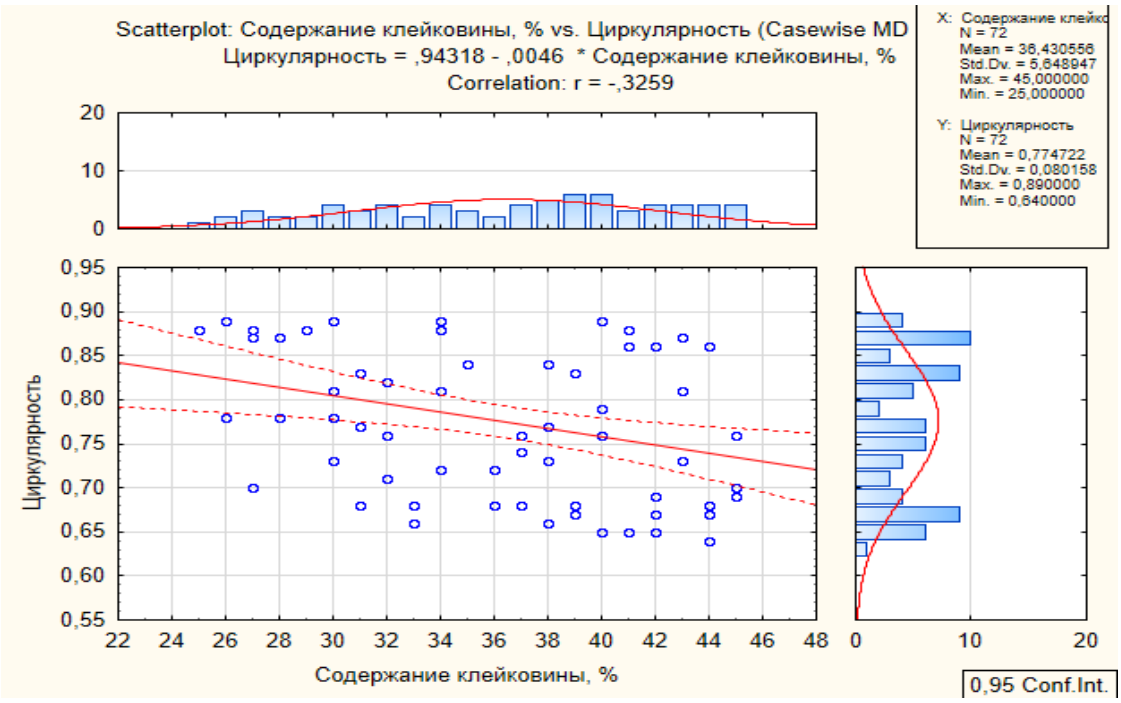

Рис. 5. Взаимосвязь циркулярности и содержания клейковины в зерне

Таким образом, согласно приведенным рисункам, в указанных факторах есть определенная зависимость. Так, зависимость содержания клейковины в зерне от циркулярности может быть выражена в виде линейной функции, регрессионное уравнение будет иметь вид

$$y_{ск(ц)} = -22,9647x_ц + 54,2219, \quad (1)$$

где $y_{ск(ц)}$ – показатель содержания клейковины в зависимости от циркулярности; $x_ц$ – показатель циркулярности.

Коэффициент корреляции при этом r = -0,326 с общей достоверностью p = 0,0052. Следующий показатель качества – ИДК. Поле корреляции с тенденцией изменения, гистограммой распределения и основными дескриптивными статистиками для ИДК приведено на рисунке 6.

Зависимость показателя ИДК в зерне от циркулярности более точно описывается линейным регрессионным уравнением, имеющим вид

$$y_{ИДК(ц)} = -453935x_ц + 129,073, \quad (2)$$

где $y_{ИДК(ц)}$ – показания ИДК в зависимости от циркулярности.

При этом корреляция r = –0,5462 с достоверностью p < 0,0001.

Аналогичным образом проведена также оценка влияния циркулярности на стекловидность (рис. 7).

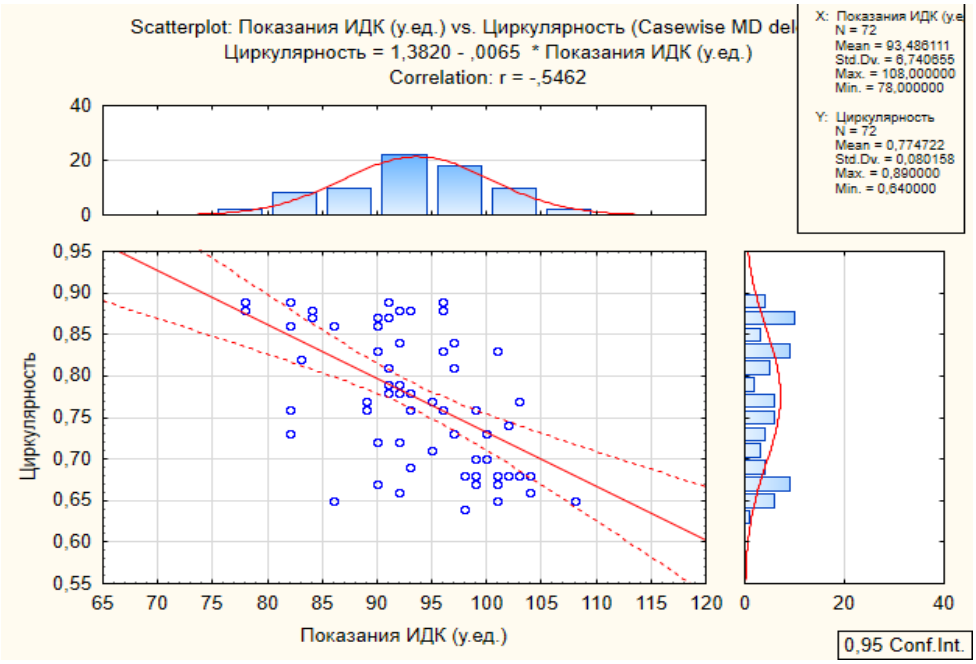

Рис. 6. Взаимосвязь циркулярности и показателя ИДК в зерне пшеницы

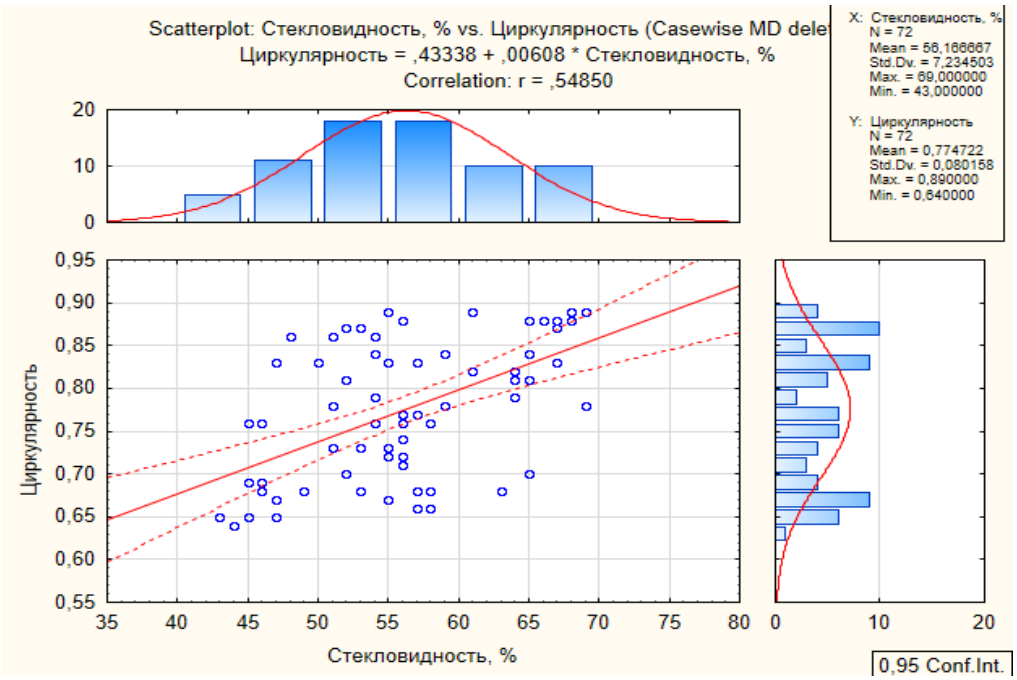

Рис. 7. Взаимосвязь циркулярности и стекловидности в зерне пшеницы

Зависимость обнаруживается и при сравнении сочетания данных показателей. Так, зависимость стекловидности зерна от циркулярности лучше всего может быть выражена в виде линейной функции, регрессионное уравнение будет иметь вид

$$y_{ст(ц)} = 49,5037x_ц + 17,815, \qquad (3)$$

где $y_{ст(ц)}$ – показатель стекловидности в зависимости от циркулярности.

Коэффициент корреляции при этом r = 0,5485 с достоверностью p < 0,0001.

Подобранные регрессионные уравнения зависимости показателей качества отличаются высокой достоверностью (p < 0,05) и позволяют проводить оценку показателей содержания клейковины, ИДК и стекловидности, используя только данные о циркулярности зерна.

По данным авторов [16] установлено, что для увеличения выхода помола зерно пшеницы должно иметь сферическую форму, то есть такую, которая в нашей работе обозначается как циркулярность. В исследованиях авторов [17, 18] отмечено, что при одинаковой скорости извлечения муки из полусферического зерна растений выход муки выше, чем из более вытянутого зерна. Это позволяет предположить в будущем селекцию или генную инженерию сортов круглозерной пшеницы, способствующих увеличению урожайности пшеницы за счет увеличения скорости извлечения муки. Возможно, на каком-то этапе роста зерновки ее форма будет критерием целесообразности проведения подкормки растений азотом с целью повышения качества зерна.

Заключение. Проведенный анализ показал наличие связи между показателями качества зерна (содержание клейковины, ИДК и стекловидность) и показателем формы зерна – циркулярностью. При анализе циркулярности в посортовом разрезе определено, что циркулярность зерна мало различается в зависимости от конкретных сортов пшеницы. Связь подтверждена коэффициентами корреляции Пирсона и характеризуется в диапазоне от заметной до умеренной. Составленные регрессионные уравнения линейного типа для каждого из конкретных показателей качества позволяют прогнозировать содержание клейковины, ИДК и стекловидность зерна в зависимости от формы зерна. Полученные модели позволяют оценивать и прогнозировать качество зерновой продукции с высокой надежностью оценки, при достоверности p <0,05, основываясь на показателе циркулярности.

Список источников

1. Cumulative indicator of quality of grain for strong wheat for conditions of strongly continental climate / *G.N. Sandakova* [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 апреля 2019 г. Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012098.
2. Influence of agrometeorological factors on wheat yields / *G.N. Sandakova* [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 апреля 2019 г. Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012022.
3. Genetic dissection of rice grain shape using a recombinant inbred line population derived from two contrasting parents and fine mapping a pleiotropic quantitative trait locus qGL7 / *X. Ba* [et al.] // BMC Genet. 2010. Vol. 11. P. 16.
4. Phenotypic and genotypic evaluation of synthetic hexaploid wheat lines (AABBDD) for grain parameters under the conditions of Western Siberia / *I.V. Pototskaya* [et al.] // Agricultural Biology. 2020. Vol. 55. № 1. P. 15–26.
5. Development of a digital model for assessing the influence of agroecological factors on the productivity of wheat grains / *I.N. Besaliev* [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, Western Siberia, 04–05 июля 2020 г. Omsk City, Western Siberia, 2021. P. 012214.
6. High-resolution QTL mapping for grain appearance traits and co-localization of chalkiness-associated differentially expressed candidate genes in rice / *L. Chen* [et al.] // Rice (N Y). 2016. Vol. 9(1). P. 48.
7. A genetic framework for grain size and shape variation in wheat / *V.C. Gegas* [et al.] // Plant Cell. 2010. Vol. 22. № 4. P. 1046–1056.
8. *Гунькин В.А., Сорокин А.С.* Влияние формы зерна ржи на ее натуру // Хранение и переработка сельхозсырья. 2009. № 3. С. 28–29.
9. *Тугарева Ф.В.* Биохимические свойства зерна и размеры зерновок яровой твердой пшеницы и межвидовых гибридов // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 2 (38). С. 137–143.
10. *Гунькин В.А., Сорокин А.С.* Признаки морфологии зерновки и ее размеры при оценке качества зерна твердой пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 4 (90). С. 17–19.
11. Genome wide genetic dissection of wheat quality and yield related traits and their relationship with grain shape and size traits in an elite × non-adapted bread wheat cross / *A. Kumar* [et al.] // PLoS ONE. 2019. Vol. 14. № 9. P. e0221826.
12. *Wang K., Fu B.X.* Inter-relationships between test weight, thousand kernel weight, kernel size distribution and their effects on durum wheat milling, semolina composition and pasta processing quality // Foods. 2020. № 9. P. 1308.

13. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
14. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1975. Вып. 2. 239 с.
15. Крупнозерный сорт пырея сизого (*Thinopyrum intermedium*) Сова как альтернатива многолетней пшенице / *В.П. Шаманин* [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56, № 3. С. 450–464.
16. *Marshall D.R., Ellison F.W., Mares D.J.* Effects of grain shape and size on milling yields in wheat. I. Theoretical analysis based on simple geometric models // Australian Journal of Agricultural Research. 1984. № 35. P. 619–630. DOI: 10.1071/AR9840619.
17. *Hughes P. William* Round Effects: *Tasg-D1* Is Responsible for Grain Shape in Indian Dwarf Wheat // The Plant Cell. 2020. Vol. 32. № 4. P. 789–790. DOI: 10.1105/tpc.20.00110.
18. A Genetic Framework for Grain Size and Shape Variation in Wheat / *Gegas Vasilis C.* [et al.] // The Plant Cell. 2010. Vol. 22. № 4. P. 1046–1056. DOI: 10.1105/tpc.110.074153.

References

1. Cumulative indicator of quality of grain for strong wheat for conditions of strongly continental climate / *G.N. Sandakova* [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 aprelya 2019 г. Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012098.
2. Influence of agrometeorological factors on wheat yields / *G.N. Sandakova* [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 aprelya 2019 г. Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012022.
3. Genetic dissection of rice grain shape using a recombinant inbred line population derived from two contrasting parents and fine mapping a pleiotropic quantitative trait locus qGL7 / *X. Ba* [et al.] // BMC Genet. 2010. Vol. 11. P. 16.
4. Phenotypic and genotypic evaluation of synthetic hexaploid wheat lines (AABBDD) for grain parameters under the conditions of Western Siberia / *I.V. Pototskaya* [et al.] // Agricultural Biology. 2020. Vol. 55. № 1. P. 15–26.
5. Development of a digital model for assessing the influence of agroecological factors on the productivity of wheat grains / *I.N. Besaliev* [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, Western Siberia, 04–05 июля 2020 г. Omsk City, Western Siberia, 2021. P. 012214.
6. High-resolution QTL mapping for grain appearance traits and co-localization of chalkiness-associated differentially expressed candidate genes in rice / *L. Chen* [et al.] // Rice (N Y). 2016. Vol. 9(1). P. 48.
7. A genetic framework for grain size and shape variation in wheat / *V.C. Gegas* [et al.] // Plant Cell. 2010. Vol. 22. № 4. P. 1046–1056.
8. *Gun'kin V.A., Sorokin A.S.* Vliyanie formy zerna rzhi na ee naturu // Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya. 2009. № 3. S. 28–29.
9. *Tugareva F.V.* Biohimicheskie svojstva zerna i razmery zernovok yarovoj tverdoj pshenicy i mezhvidovyh gibridov // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2021. № 2 (38). S. 137–143.
10. *Gun'kin V.A., Sorokin A.S.* Priznaki morfologii zernovki i ee razmery pri ocenke kachestva zerna tverdoj pshenicy // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. № 4 (90). S. 17–19.
11. Genome wide genetic dissection of wheat quality and yield related traits and their relationship with grain shape and size traits in an elite × non-adapted bread wheat cross / *A. Kumar* [et al.] // PLoS ONE. 2019. Vol. 14. № 9. P. e0221826.
12. *Wang K., Fu B.X.* Inter-relationships between test weight, thousand kernel weight, kernel size distribution and their effects on durum wheat milling, semolina composition and pasta processing quality // Foods. 2020. № 9. P. 1308.
13. *Dospehov B.A.* Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij). 5-e izd., dop. i pererab. M.: Agropromizdat, 1985. 351 s.
14. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur. M.: Kolos, 1975. Vyp. 2. 239 s.
15. Krupnozernyj sort pyreya sizogo (*Thinopyrum intermedium*) Sova kak al'ternativa mnogoletnej pshenice / *V.P. Shamanin* [i dr.] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2021. T. 56, № 3. S. 450–464.

16. *Marshall D.R., Ellison F.W., Mares D.J.* Effects of grain shape and size on milling yields in wheat. I. Theoretical analysis based on simple geometric models // Australian Journal of Agricultural Research. 1984. № 35. P. 619–630. DOI: 10.1071/AR9840619.
17. *Hughes P. William* Round Effects: *Tasg-D1* Is Responsible for Grain Shape in Indian Dwarf Wheat // The Plant Cell. 2020. Vol. 32. № 4. P. 789–790. DOI: 10.1105/tpc.20.00110.
18. A Genetic Framework for Grain Size and Shape Variation in Wheat / *Gegas Vasilis C.* [et al.] // The Plant Cell. 2010. Vol. 22. № 4. P. 1046–1056. DOI: 10.1105/tpc.110.074153.

Статья принята к публикации 05.07.2023 / The article accepted for publication 05.07.2023.

Информация об авторах:

Ишен Насанович Бесалиев[1], заведующий отделом технологии зерновых и кормовых культур, доктор сельскохозяйственных наук
Ринат Римович Абдрашитов[2], научный сотрудник отдела технологии зерновых и кормовых культур, кандидат сельскохозяйственных наук
Сергей Сергеевич Акимов[3], старший преподаватель кафедры управления и информатики в технических системах

Information about the authors:

Ishen Nasanovich Besaliev[1], Head of the Department of Grain and Forage Crops Technology, Doctor of Agricultural Sciences
Rinat Rimovich Abdrashitov[2], Researcher, Department of Grain and Forage Crops Technology, Candidate of Agricultural Sciences
Sergey Sergeevich Akimov[3], Senior Lecturer at the Department of Management and Informatics in Technical Systems