

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МАССЫ И ПЛОЩАДИ ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

Бесалиев Ишен Насанович¹, доктор сельскохозяйственных наук, зав. отделом технологий зерновых и кормовых культур

Акимов Сергей Сергеевич², старший преподаватель

¹ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук

460000, Оренбургская область, г. Оренбург, ул. 9 Января д. 29, e-mail: orniish_tzk@mail.ru

²ФГБОУ ВО Оренбургский государственный университет

460018, Оренбургская область, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13, e-mail: sergey_akimov_work@mail.ru

Ключевые слова: пшеница яровая, показатели качества зерна, размерные характеристики, множественная полиномиальная регрессия.

В работе приведена оценка влияния размерных характеристик зерна пшеницы на показатели его качества. Цель работы – выявить и математически описать связи между массой и размером зерна с показателями его качества. В качестве зерновой культуры выбрана яровая пшеница, зерно которой используется в большом количестве современных продуктов. Качество зерна охарактеризовано содержанием клейковины, показателем ИДК и стекловидностью. Размерные характеристики включают в себя данные по площади зерна и массы 1000 зёрен. Для проведения оценки, с целью выявления взаимосвязей применялся коэффициент корреляции Пирсона, для обнаружения регрессионных зависимостей использован метод наименьших квадратов. Регрессионные уравнения составлены как для каждого из факторов-предикторов, так и для их суммарного влияния на показатели качества зерна пшеницы. Проведённый анализ показал наличие связи между показателями качества зерна (содержанием клейковины и стекловидностью) и факторами-предикторами (масса 100 зёрен и площадь зерновки). Связь подтверждена коэффициентами корреляции Пирсона и характеризуется в диапазоне от заметной до сильной (по шкале Чеддока). Составленные регрессионные уравнения линейного и полиномиального вида для каждого сочетания «показатель качества/фактор-предиктор» позволяют прогнозировать соответствующие показатели качества зерна в зависимости от одного из предикторов. Дальнейшее сопоставление показателей позволило построить множественную полиномиальную регрессионную модель, в которой каждый из показателей качества определяется обоими факторами-предикторами. Полученные модели позволяют более точно оценивать и прогнозировать качество зерновой продукции, основываясь на показателях массы и площади зерна.

Работа выполнена в рамках темы Госзадания 0526 — 2022 — 0014.

Введение

Важнейшей стратегической задачей в вопросах обеспечения продовольственной безопасности, с точки зрения государства, является контроль за качественным использованием сельскохозяйственных угодий и обеспечение контроля над выращиванием важнейших зерновых культур [1]. Решение основных задач продовольственной безопасности в настоящее время невозможно без обеспечения комплексного развития собственного сельского хозяйства, базирующегося на современных исследованиях в области возделывания сельскохозяйственных культур. Одной из ключевых зерновых культур России является яровая пшеница, выращиваемая в значительном объёме в Оренбургской области. Зерно яровой пшеницы используется в большом количестве современных продуктов и является незаменимой мировой культурой [2].

Формирование зерна представляет собой сложный физиолого-биохимический процесс, определяемый условиями произрастания, видовыми и сортовыми особенностями культуры, погодными факторами периода налива. При этом процесс формирования зерна затрагивает одновременно его внешние, размерные характеристики и качественный состав. Качество зерна характеризуется такими показателями, как содержание клейковины, показатель ИДК и стекловидность. Размерные характеристики включают в себя данные по площади зерна и массе 100 зёрен [3].

В ряде работ прослеживаются попытки определения взаимосвязи данных показателей либо через выражение объединённого показателя качества [4], либо через влияние выбранных показателей на урожайность зерна [5]. В работе [6] приведены прогностические модели оценки

качества и размера зерна пшеницы при оценке климатических характеристик.

По оценке Gegas, V. C., et. al. [7], размер и форма зерна пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в значительной степени являются независимыми признаками у современных сортов, так и у диких её форм. Крупные сферические зерна, как установлено, являются оптимальной морфологией зерна, определяющей выход и качество муки.

По данным Kumar, A., et. al. [8] признаки, формы и размеры зерна яровой пшеницы (длина зерна, её 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. Более значительная роль показателей морфологии зерна принадлежит повышению урожайности пшеницы.

В работе Лещенко М.А. [9] представлены комплексные результаты корреляционного анализа между индексом седиментации SDS и основными показателями качества зерна; эксперимент проведён на зёрнах озимой пшеницы твёрдых сортов. Корреляционный анализ показал, что существует достоверная заметная связь между седиментацией SDS и стекловидностью, а также содержанием клейковины.

В исследованиях Остапенко Н. В. и др. [10] выявлено, что масса 1000 зерен у риса имеет тесную связь с крупностью зерновок и отражается на качестве зерна; при этом показатели влияния массы и площади на качество не приведены.

В работе Yang J et. al. [11] определено, что повышение урожайности зерна возможно за счет улучшения ряда показателей, связанных с архитектурой зерна, под которой понимаются массовые и размерные характеристики, а также форма зерен. Для выявленных характеристик предложены математические модели оценивания с достаточно высоким уровнем достоверности.

Весьма эффективной с точки зрения Tshikunde NM, et. al. [12] может быть селекция с целью увеличения массы 1000 зёрен. В связи с этим авторами подчёркивается важность понимания генетической основы признаков, связанных с архитектурой зерна. Высокая масса 1000 зёрен обеспечивает силу проростков и их всхожесть [13], а также более высокий выход муки [14]; крупные и сферические зерна через оптимизацию морфологии зерна повышают эффективность измельчения [15].

Таким образом, необходимо подчеркнуть, что значительное число работ прямо или косвенно указывают на наличие взаимосвязи между показателями качества зерна и его размерными

характеристиками.

Как правило, ключевым показателем качества зерна пшеницы в большинстве исследований принимается содержание клейковины в зерне. Однако, не меньшую значимость представляет показатель ИДК и стекловидность зерна. Цель работы – выявить и математически описать связи между массой и размером зерна с показателями его качества.

Материалы и методы исследований

Материалом для анализа послужили данные исследований, полученные в полевых опытах, проведённых в ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН» в 2019 – 2022 гг. Закладка опытов проведена по методике Б. А. Доспехова [16], а также с применением «Методики государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» [17].

В исследовании использован экспериментальный материал оценки показателей качества различных сортов яровой твёрдой и мягкой пшеницы. В целях изучения математических зависимостей из показателей качества зерна были выбраны три: содержание клейковины, %; показатель ИДК, у.е.; стекловидность зерна, % [18].

Определение данных показателей качества проводилось в Центре коллективного пользования ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН согласно действующих ГОСТов. В качестве предикторов, оказывающих влияние на показатели качества, были выбраны показатели массы на 1000 зёрен (г) и площадь зерновки (мм²). С целью обработки экспериментальных данных, систематизации показателей, выявления связей, определения зависимостей, вычисления значений коэффициентов линейной и нелинейной корреляции и корреляционного отношения применялся пакет прикладных программ Statistica 12.0.

Стартовый этап исследования представлял собой проверку соответствия нормальному закону распределения показателей-предикторов. Для этих целей применены критерии Колмогорова, Лиллиефорса и Шапиро-Уилка, а также визуальный анализ диаграммы распределения. Решение о принадлежности исследуемых величин нормальному распределению принималось на основе совокупного результата всех критериев. Полученный результат предопределил использование параметрических процедур для проведения дальнейшего анализа.

Регрессионный анализ выполнялся методом наименьших квадратов, типы зависимости – линейная и полиномиальная (второй степени).

Анализ проведён посредством построения поля корреляции с отображением тренда, также приведены расчёты коэффициентов корреляции (коэффициент Пирсона) и детерминации, позволяющие численно оценить точность подобранных регрессионных уравнений. Сила связи оценивалась с применением шкалы Чеддока. Показатели, имеющие слабую взаимную корреляцию (<0,3), из рассмотрения исключались.

Результаты исследования

Результаты проверки показателей-предикторов на соответствие нормальному закону распределения приведены на рисунках 1 и 2.

Согласно рисунку, данные обоих исследуемых показателей распределены нормально. Это следует как из визуального анализа гистограммы (соответствие колоколообразной форме с небольшими отклонениями в столбцах гистограммы), так из рассчитанных коэффициентов, достоверность которых для показателя массы 1000 зёрен составила во всех случаях $p > 0,2$, аналогично и для показателя площади зерновки, за исключением коэффициента Лиллиефорса, достоверность которого составила $p < 0,1$. Тем не менее по общей совокупности критериев показатель данные по площади зерновки отнесены к распределенным нормально. Следующим этапом анализа стало изучение корреляции между исследуемыми показателями (таблица 1).

Согласно таблице 1 показатель содержания клейковины в зерне имеет умеренную отрицательную связь с массой 1000 зёрен и высокую отрицательную связь с площадью зерновки. Стекловидность заметно коррелирует с массой 1000 зёрен, корреляция с площадью зерновки умеренная, положительная.

Среди всех показателей качества только показатель ИДК имеют слабую или не имеют вообще корреляции с показателями - предикторами. В этой связи необходимо исключить данный по-

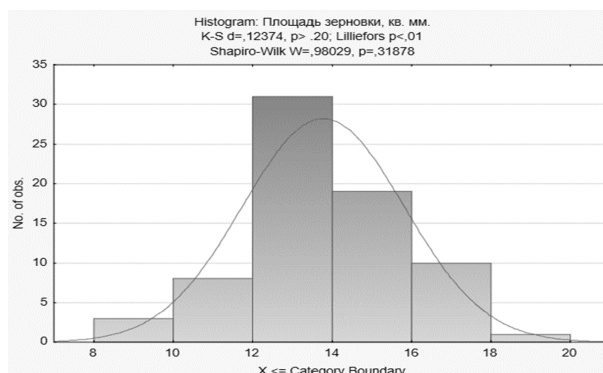


Рис. 1 – Проверка на соответствие нормальному закону распределения массы 1000 зёрен

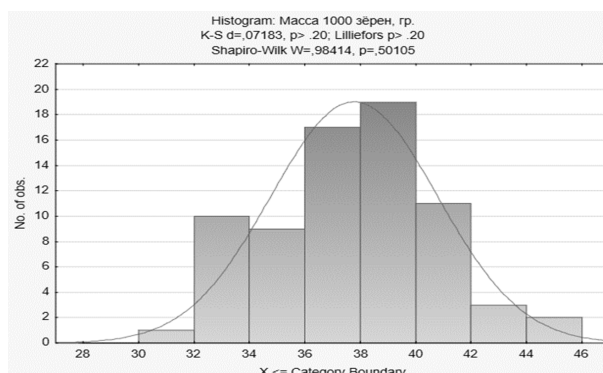


Рис. 2 – Проверка на соответствия нормальному закону распределения площади зерновки

казатель из дальнейшего рассмотрения, так как его анализ посредством выбранных факторов не представляется возможным.

Далее необходимо установить регрессионные зависимости для оставшихся в рассмотрении показателей качества – содержания клейковины и стекловидности. Поля корреляции с тенденцией изменения для показателя содержания клейковины приведено на рисунках 3-4.

Таблица 1

Корреляционная матрица изучаемых показателей

Показатели	Содержание клейковины, %	Показания ИДК (у. ед.)	Стекловидность, %	Масса 1000 зёрен, гр.	Площадь зерновки, кв. мм.
Содержание клейковины, %	1	0,191	-0,597	-0,395	-0,776
Показания ИДК (у. ед.)	0,191	1	-0,11	0,004	-0,195
Стекловидность, %	-0,597	-0,11	1	0,318	0,66
Масса 1000 зёрен, гр.	-0,395	0,004	0,318	1	0,393
Площадь зерновки, кв. мм.	-0,776	-0,195	0,66	0,393	1

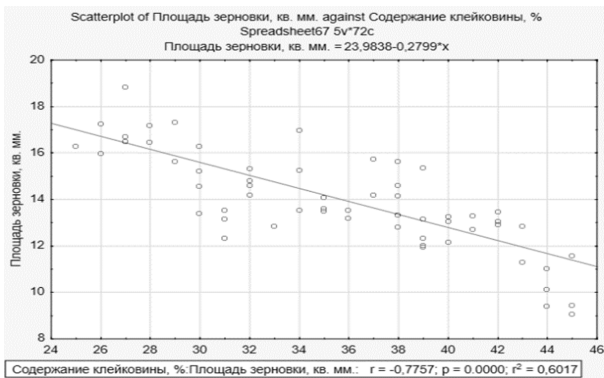


Рис. 3 – Поле корреляции и трендовые модели зависимости содержания клейковины от массы 1000 зёрен

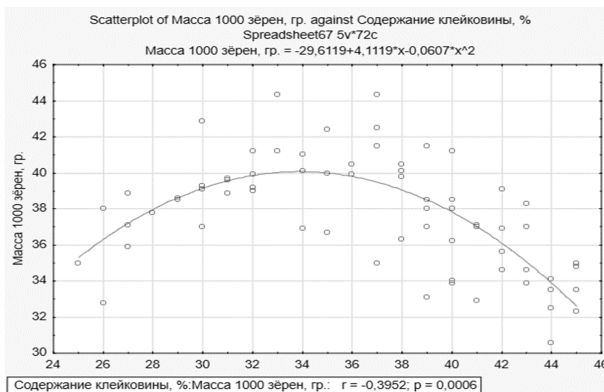


Рис. 4 – Поле корреляции и трендовые модели зависимости содержания клейковины площади зерновки

Таким образом, согласно приведённым рисункам в указанных факторах есть определённая зависимость. Так, зависимость содержания клейковины в зерне от массы 1000 зёрен может быть выражена в виде полинома второй степени, регрессионное уравнение будет иметь вид:

$$y_{ск(М)} = -0,0607x_M^2 + 4,1119x_M - 29,61, \quad (1)$$

где $y_{ск(М)}$ – показатель содержания клейковины в зависимости от массы зёрен;

x_M – показатель массы 1000 зёрен.

Коэффициент корреляции при этом $r = -0,395$ с достоверностью $p = 0,0006$.

Зависимость содержания клейковины в зерне от площади зерновки более точно описывается линейным регрессионным уравнением, имеющим вид:

$$y_{ск(n)} = -0,2799x_n + 23,9838, \quad (2)$$

где $y_{ск(n)}$ – показатель содержания клейковины в зависимости от площади зерновки;

x_n – показатель площади зерновки.

При этом корреляция $r = -0,776$ с досто-

верностью $p < 0,0001$, коэффициент детерминации $r^2 = 0,602$.

Аналогичным образом проведена также оценка влияния показателей предикторов на стекловидность зерна (рисунки 5–6).

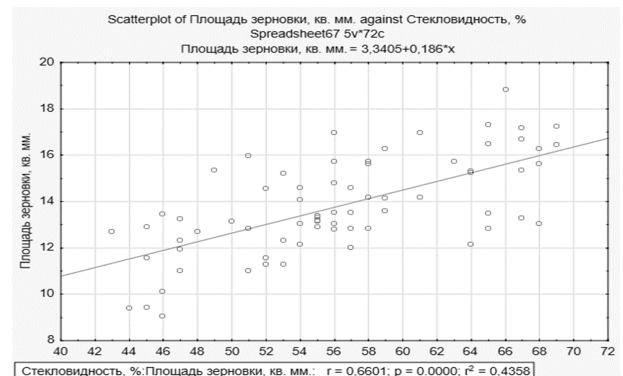


Рис. 5 – Поле корреляции и трендовые модели зависимости стекловидности от массы 1000 зёрен

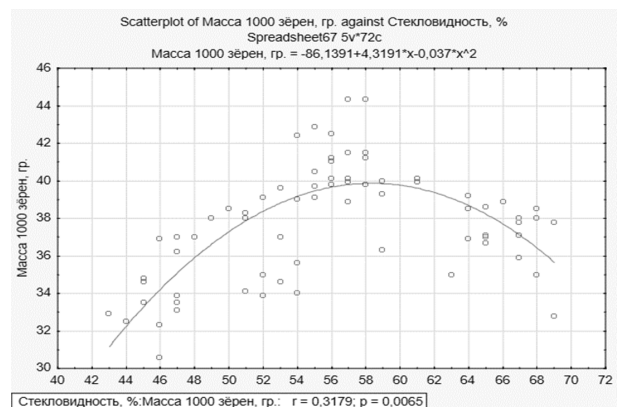


Рис. 6 – Поле корреляции и трендовые модели зависимости стекловидности от площади зерновки

Зависимость обнаруживается и при сравнении сочетания данных показателей. Так, зависимость стекловидности зерна от массы 1000 зёрен лучше всего может быть выражена в виде полинома второй степени, регрессионное уравнение будет иметь вид:

$$y_{ст(М)} = -0,037x_M^2 + 4,3191x_M - 86,1391, \quad (3)$$

где $y_{ст(М)}$ – показатель стекловидности в зависимости от массы зёрен.

Коэффициент корреляции при этом $r = 0,318$ с достоверностью $p = 0,0065$.

Зависимость стекловидности зерна от площади зерновки с высокой точностью описывается линейным регрессионным уравнением, имеющим вид:

$$y_{ст(n)} = 0,186x_n + 3,3405, \quad (4)$$

где $y_{ст(n)}$ – показатель стекловидности в зависимости от площади зерновки.

При этом корреляция $r = 0,66$ с достоверностью $p < 0,0001$, коэффициент детерминации $r^2 = 0,4358$.

Следующий шаг анализа заключается в оценке влияния сразу двух предикторов на каждый из показателей качества зерна. Для этого необходимо построить объёмную диаграмму («парус»), который позволяет визуализировать изменения показателей качества в зависимости от влияющих на них предикторов. Диаграммы приведены на рисунке 7 - 8

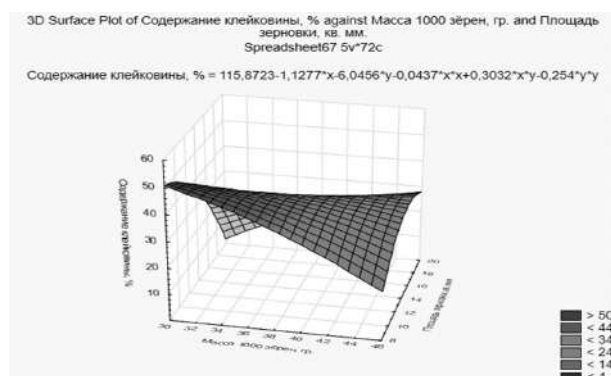


Рис. 7 – Оценка суммарной зависимости от массы 1000 зёрен и площади зерновки показателя содержания клейковины

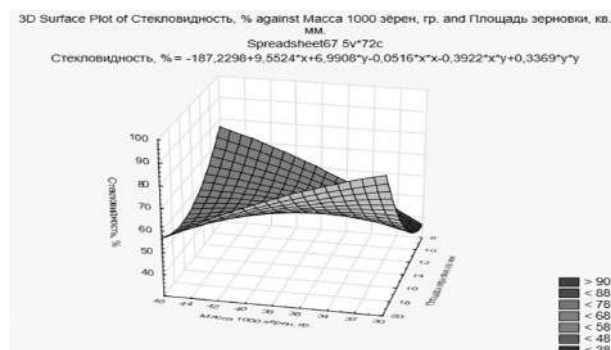


Рис. 8 – Оценка суммарной зависимости от массы 1000 зёрен и площади зерновки показателя стекловидности

Полученный рисунок подтверждает сделанные ранее выводы о взаимной зависимости показателей содержания клейковины и стекловидности от массы 1000 зёрен и площади зерновки. В результате анализа получены регрессионные уравнения зависимости для обоих показателей качества. Для содержания клейковины в зерне уравнение имеет вид:

$$y_{СК} = -1,1277x_M - 6,0456x_n - 0,0437x_M^2 + 0,3032x_Mx_n -$$

$$- 0,254x_n^2 + 115,8723 \quad (5)$$

Уравнение для оценки стекловидности от влияющих факторов имеет следующий вид:

$$y_{ст} = 9,5524x_M + 6,9908x_n - 0,0516x_M^2 - 0,3922x_Mx_n + 0,3369x_n^2 - 187,2298 \quad (6)$$

Подобранные уравнения отличаются высокой достоверностью ($p < 0,05$) и позволяют проводить оценку показателей содержания клейковины и стекловидности, используя только размерные и массовые характеристики зерна

Обсуждение

Помимо совокупного выхода зерна маловажным является, также, его качество. Качественные характеристики необходимо определять для отнесения зерна к определенному классу, что в свою очередь необходимо для определения экспортной ценности.

Возможность прогнозирования качественных характеристик зерна на ранней стадии и без лишних усилий, затрачиваемых на определение состава зерна. Наличие доказанной корреляционной связи между показателями качества и массой зерна, а также площади зерновки, позволяет получить регрессионные модели, призванные определять качественный состав зерна [20].

Полученные модели имеют высокую степень достоверности и удобны для составления прогнозов по качественному составу урожая, что позволяет выполнять планы по производству зерна определенного качества и вовремя их корректировать.

Заключение

Проведённый анализ показал наличие связи между показателями качества зерна (содержанием клейковины и стекловидностью) и факторами-предикторами (масса 100 зёрен и площадь зерновки). Связь подтверждена коэффициентами корреляции Пирсона и характеризуется в диапазоне от заметной до сильной. Составленные регрессионные уравнения линейного и полиномиального вида для каждого сочетания «показатель качества/фактор-предиктор» позволяют прогнозировать соответствующие показатели качества зерна в зависимости от одного из предикторов. Дальнейшее сопоставление показателей позволило построить множественную полиномиальную регрессионную модель, в которой каждый из показателей качества определяется обоими факторами-предикторами. Полученные модели позволяют более точно оценивать и прогнозировать качество зерновой продукции, основываясь на показателях массы и площади зерна.

Библиографический список

1. Оценка продовольственной безопасности России / И. Н. Сафиуллин, Б. Г. Зиганшин, Э. Ф. Амирова [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16. – № 2(62). – С. 124-132.
2. Современное состояние зернового производства в Российской Федерации / Д. И. Файзрахманов, А. Р. Валиев, Б. Г. Зиганшин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16. – № 2(62). – С. 138-142.
3. Васин В.Г. Структура урожая яровой пшеницы при применении удобрений и стимулирующих препаратов / В.Г. Васин, Н.Г. Михалкин, Н.В. Васина, В.Э. Ким, Е.С. Фадеева // Нива Поволжья. – 2022. – № 1 (61). – С. 1011.
4. Cumulative indicator of quality of grain for strong wheat for conditions of strongly continental climate / G. N. Sandakova, I. N. Besaliev, A. L. Panfilov, S. S. Akimov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 апреля 2019 года. – Kurgan : IOP Publishing Ltd, 2019. – P. 012098.
5. Influence of agrometeorological factors on wheat yields / G. N. Sandakova, I. N. Besaliev, A. L. Panfilov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 апреля 2019 года. – Kurgan : IOP Publishing Ltd, 2019. – P. 012022.
6. Application of regression models to assess and predict the qualitative composition of the crop / I. N. Besaliev, D. I. Parfenov, I. P. Bolodurina, S. S. Akimov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Tashkent, 12–14 мая 2021 года. – Tashkent, 2021. – P. 012024.
7. A genetic framework for grain size and shape variation in wheat / V. C. Gegas, S. Griffiths, J. Simmonds [et al.] // Plant Cell. – 2010. – Vol. 22, No 4. – P. 1046-1056.
8. 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, E. E. Mantovani, S. Simsek [et al.] // PLoS ONE. – 2019. – Vol. 14, No 9. – P. e0221826.
9. Лещенко, М. А. Взаимосвязь показателя SDS-седиментации с основными признаками качества зерна твердой озимой пшеницы / М. А. Лещенко // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29, № 1. – С. 20-23.
10. Динамика изменчивости качественных характеристик зерна риса сорта Анаит / Н. В. Остапенко, Р. Р. Джамирзе, Т. Н. Лоточникова, Н. Н. Чинченко // Рисоводство. – 2017. – № 3(36). – С. 6-15.
11. Molecular characterization of a novel TaGL3-5A allele and its association with grain length in wheat (*Triticum aestivum* L.) / J. Yang, Y. J. Zhou, Q. H. Hong [et al.] // TAG Theoretical and Applied Genetics. – 2019. – Vol. 132, No. 6. – P. 1799-1814.
12. Agronomic and Physiological Traits, and Associated Quantitative Trait Loci (QTL) Affecting Yield Response in Wheat (*Triticum aestivum* L.): A Review / N. M. Tshikunde, J. Mashilo, H. Shimelis, A. Odindo // Frontiers in Plant Science. – 2019. – Vol. 10, No JAN. – P. 1428.
13. Пахотина, И. В. Признаки морфологии зерновки и её размеры при оценке качества зерна твёрдой пшеницы / И. В. Пахотина, Ю. В. Колмаков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 4(90). – С. 17-19.
14. Wiersma, J. J. Recurrent selection for kernel weight in spring wheat / J. J. Wiersma. – 1996. – 1 p.
15. Millar, S. J. Image analysis: the prediction and assessment of wheat quality and milling properties / S. J. Millar, M. B. Whitworth, A. D. Evers. – Manhattan : Grain Industry Alliance, 1997. – P. 141-151.
16. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 351с.
17. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – Москва : Колос, 1975. – Вып. 2. – 239 с.
18. Улучшение качества клейковины сортов яровой твердой пшеницы в омском АНЦ / В.С. Юсов, М.Г. Евдокимов, И.В. Пахотина, М.Н. Кирьякова // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – №36(9). – С.55-59
19. Research in regression models for the dependence of grain quality indicators on agrobiological factors / I. N. Besaliev, D. I. Parfenov, I. P. Bolodurina, S. S. Akimov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, Western Siberia, 04–05 июля 2020 года. – Omsk City, Western Siberia, 2021. – P. 012061.
20. Структура урожая и продуктивность сортов озимой пшеницы при выращивании на планируемую урожайность / В.Г. Васин, А.В. Васин, С.В. Фадеев, Е.С. Фадеева // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 4. – С.3-8.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF MASS AND AREA OF SPRING WHEAT GRAIN ON QUALITY PARAMETERS

Besaliev I.N.¹ Akimov S. S.²

¹FSBEI HE Federal Scientific Center of Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences
460000, Orenburg region, Orenburg, 9 January st., 29.

E-mail: orniish_tzk/@mail.ru

²FSBEI HE Orenburg State University

460018, Orenburg region, Orenburg, ave. Pobedy, № 13).

E-mail: sergey_akimov_work@mail.ru

Keywords: spring wheat, grain quality parameters, size characteristics, multiple polynomial regression.

The work provides assessment of the influence of the dimensional characteristics of wheat grain on its quality parameters. The purpose of the work is to identify and mathematically describe the relationship between the mass and size of grain and its quality parameters. Spring wheat was chosen as the grain crop, the grain of which is used in a large number of modern products. Grain quality is characterized by gluten content, FDM index and glassiness. Dimensional characteristics include data on grain area and mass of 1000 grains. 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 were compiled both for each of the predictor factors and for their total influence on quality parameters of wheat grain. The analysis showed a relationship between grain quality parameters (gluten content and glassiness) and predictor factors (mass of 1000 grains and grain area). The relationship was confirmed by Pearson correlation coefficients and ranged from noticeable to strong (by Chaddock scale). The compiled linear and polynomial regression equations for each combination of "quality parameter/predictor factor" allow to predict the grain quality parameters depending on one of the predictors. Further comparison of parameters allowed us to build a multiple polynomial regression model in which each of the quality parameter is determined by both predictor factors. The obtained models let us accurately assess and predict the quality of grain products based on the mass and area of grain.

Bibliography:

1. Assessment of food security in Russia / I. N. Safiullin, B. G. Ziganshin, E. F. Amirova [et al.] // Vestnik of Kazan State Agrarian University. – 2021. – V. 16. – № 2(62). – P. 124-132.
2. Current state of grain production in the Russian Federation / D. I. Faizrahmanov, A. R. Valiev, B. G. Ziganshin [et al.] // Vestnik of Kazan State Agrarian University. – 2021. – V. 16. – № 2(62). – P. 138-142.
3. Vasin V.G. Yield structure of spring wheat when using fertilizers and stimulants / Vasin V.G., Mikhalkin N.G., Vasina N.V., Kim V.E., Fadeeva E.S. // Niva of the Volga region. – 2022. – № 1 (61). – P. 1011.
4. Cumulative indicator of quality of grain for strong wheat for conditions of strongly continental climate / G. N. Sandakova, I. N. Besaliev, A. L. Panfilov, S. S. Akimov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, April 18–19, 2019. – Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. – P. 012098.
5. Influence of agrometeorological factors on wheat yields / G. N. Sandakova, I. N. Besaliev, A. L. Panfilov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, April 18–19, 2019 of the year. – Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. – P. 012022.
6. Application of regression models to assess and predict the qualitative composition of the crop / I. N. Besaliev, D. I. Parfenov, I. P. Bolodurina, S. S. Akimov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Tashkent, May 12–14, 2021. – Tashkent, 2021. – P. 012024.
7. A genetic framework for grain size and shape variation in wheat / V. C. Gegas, S. Griffiths, J. Simmonds [et al.] // Plant Cell. – 2010. – Vol. 22, № 4. – P. 1046-1056.
8. 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, E. E. Mantovani, S. Simsek [et al.] // PLoS ONE. – 2019. – Vol. 14, № 9. – P. e0221826.
9. Relationship between the SDS sedimentation parameter and the main characteristics of grain quality of hard winter wheat / M. A. Leshchenko // Achievements of science and technology of the agroindustrial complex. – 2015. – V. 29, № 1. – P. 20-23.
10. Dynamics of variability of quality characteristics of rice grain of Anait variety / N.V. Ostapenko, R.R. Dzhamirze, T.N. Lotochnikova, N.N. Chinchenko // Rice growing. – 2017. – № 3(36). – P. 6-15.
11. Molecular characterization of a novel TaGL3-5A allele and its association with grain length in wheat (*Triticum aestivum* L.) / J. Yang, Y. J. Zhou, Q. H. Hong [et al.] // TAG Theoretical and Applied Genetics. - 2019. – Vol. 132, № 6. – P. 1799-1814.
12. Agronomic and Physiological Traits, and Associated Quantitative Trait Loci (QTL) Affecting Yield Response in Wheat (*Triticum aestivum* L.): A Review / N. M. Tshikunde, J. Mashilo, H. Shimelis, A. Odindo // Frontiers in Plant Science. – 2019. – Vol. 10, No JAN. – P. 1428.
13. Pakhotina, I. V. Signs of grain morphology and its size when assessing the quality of hard wheat grain / I. V. Pakhotina, Yu. V. Kolkov // Vestnik of Altai State Agrarian University. – 2012. – № 4(90). – P. 17-19.
14. Wiersma, J. J. Recurrent selection for kernel weight in spring wheat / J. J. Wiersma. - 1996. – 1 p.
15. Millar, S. J. Image analysis: the prediction and assessment of wheat quality and milling properties / S. J. Millar, M. B. Whitworth, A. D. Evers. – Manhattan: Grain Industry Alliance, 1997. – P. 141-151.
16. Dospheov, B. A. Methods of field experiment (with the basics of statistical processing of research results) / B. A. Dospheov. - 5th ed., revised. and upgr. – Moscow: Agropromizdat, 1985. – 351 p.
17. Methodology for state variety testing of agricultural crops. – Moscow: Kolos, 1975. – Issue. 2. – 239 p.
18. Improvement of gluten quality of spring hard wheat varieties in Omsk ASC / Yusov V.S., Evdokimov M.G., Pakhotina I.V., Kiryakova M.N. // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. – 2022. – № 36(9). – P.55-59.
19. Research in regression models for the dependence of grain quality indicators on agrobiological factors / I. N. Besaliev, D. I. Parfenov, I. P. Bolodurina, S. S. Akimov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, Western Siberia, July 04–05, 2020 of the year. – Omsk City, Western Siberia, 2021. – P. 012061.
20. Harvest structure and productivity of winter wheat varieties when cultivated for planned yield / V.G. Vasin, A.V. Vasin, S.V. Fadeev, E.S. Fadeeva // Izvestia of Samara State Agricultural Academy. – 2022. – № 4. – P.3-8.