

СОПРЯЖЕННОСТЬ ПРИЗНАКОВ КАЧЕСТВА ЗЕРНА, КРУПКИ И МАКАРОН У ПШЕНИЦЫ ТВЕРДОЙ ОЗИМОЙ

Н. Е. Самофалова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы твердой озимой, vniizk30@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2216-3164;

Н. П. Иличкина, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы твердой озимой, ORCID ID: 0000-0003-4041-0322;

Т. С. Безуглая, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы твердой озимой, mts0304@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2286-637x;

Н. С. Кравченко, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

А. С. Иванисова, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы твердой озимой; ORCID ID: 0000-0003-1466-250x;

Н. В. Кабанова, агроном лаборатории селекции и семеноводства пшеницы твердой озимой, ORCID ID: 0000-0001-8060-7512;

О. А. Дубинина, агроном лаборатории селекции и семеноводства пшеницы твердой озимой, ORCID ID: 0000-0003-2768-4935

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740 Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3, e-mail: vniizk30@mail.ru

Высокие требования, предъявляемые современными перерабатывающими предприятиями по изготовлению макаронных изделий, к качеству зерна *Triticum durum* как яровой, так и озимой, диктуют необходимость разработки новых методов, подходов по оценке селекционного материала и отбору высококачественных генотипов. Одним из них является корреляционный анализ, который позволяет выявить на практике положительные и отрицательные факторы, минимизировать наиболее неблагоприятные, ускоряет и повышает эффективность селекционного процесса.

Цель нашей работы – изучить корреляционные взаимосвязи между признаками качества у пшеницы твердой озимой и определить наиболее доступные и информативные для использования в качестве критериев отбора в процессе селекции.

Полевые и лабораторные (определение параметров качества зерна, реологических свойств теста и макарон) исследования проводили на базе ФГБНУ «АНЦ «Донской» с 2014 по 2020 годы. Материалом для исследований послужили сорта и линии конкурсного сортоиспытания ($n = 35$).

Представлены результаты корреляционного анализа по сопряженности признаков качества зерна, крупки, макарон у пшеницы твердой озимой. Установлены наиболее доступные информативно значимые признаки – содержание белка, качество клейковины (ИДК), активность альфа-амилазы (ЧП), оказывающие определяющее влияние на прочность, варочные свойства макарон, реологические свойства теста, которые можно использовать как критерии отбора в процессе селекции, в том числе и на ранних этапах. Так, содержание белка положительно коррелировало с прочностью макарон ($r = 0,73$), стойкостью и эластичностью теста ($r = 0,86$ и $r = 0,61$), валориметрической оценкой ($r = 0,55$); ИДК и ЧП – с прочностью макарон ($r = 0,69$ и $r = 0,57$), стойкостью ($r = 0,92$ и $r = 0,57$), эластичностью ($r = 0,75$ и $r = 0,50$). Взаимосвязь варочных свойств макарон с вышеуказанными признаками носила отрицательный характер (позитивная зависимость): разваримость по весу и объему с белком ($r = -0,60$ и $r = -0,71$), ИДК – ($r = -0,49$ и $r = 0,47$), ЧП – ($r = -0,48$ и $r = -0,56$), потери сухого вещества, соответственно, $r = -0,87$, $r = -0,85$, $r = -0,78$. Содержание каротиноидов и цвет макаронных изделий сопряжены средней положительной связью ($r = 0,46$). Выявлено, что информативно значимые признаки качества (белок, ИДК, ЧП, каротиноиды) позитивно сопряжены между собой от умеренных (белок с каротиноидами $r = 0,36$) до сильных (белок с ЧП $r = 0,94$) связей, но отрицательно с такими важными для озимой твердой пшеницы параметрами, как масса 1000 зерен и натура зерна. Поэтому при отборе селекционных форм и линий с повышенными значениями основных признаков нужно контролировать массу 1000 зерен и натуру или хотя бы один из них.

Ключевые слова: твердая пшеница, качество, зерно, макароны, корреляционный анализ, взаимосвязь, признак.

Для цитирования: Самофалова Н. Е., Иличкина Н. П., Безуглая Т. С., Кравченко Н. С., Иванисова А. С., Кабанова Н. В., Дубинина О. А. Сопряженность признаков качества зерна, крупки и макарон у пшеницы твердой озимой // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 4. С. 62–69. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-62-69.



CORRELATION BETWEEN QUALITY TRAITS OF KERNELS, HARD SEMOLINA, PASTA OF DURUM WINTER WHEAT

N. E. Samofalova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, vniizk30@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2216-3164;

N. P. Ilichkina, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0003-4041-0322;

T. S. Bezuglaya, Candidate of Agricultural Sciences, researcher of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, mts0304@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2286-637x;

N. S. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory for biochemical estimation of breeding material and grain quality, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

A. S. Ivanisova, junior researcher of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production; ORCID ID: 0000-0003-1466-250x;

N. V. Kabanova, agronomist of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0001-8060-7512;

O. A. Dubinina, agronomist of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0003-2768-4935

FSBSI "Agricultural Research Center "Donskoy",

347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The high requirements imposed by modern pasta processing enterprises on the grain quality of both spring and winter *Triticum durum* dictate the necessity to develop new methods, approaches for estimating breeding material and selecting high-quality genotypes. Correlation analysis, which makes it possible to identify practically positive and negative factors, minimize the most unfavorable ones, accelerate, and increase the efficiency of the breeding process, is one of them.

The purpose of the current work was to study the correlation between quality traits of winter durum wheat and to determine the most accessible and informative ones as selection criteria in the breeding process.

The field and laboratory (determination of grain quality parameters, rheological properties of dough and pasta) study was carried out on the basis of the FSBSI "ARC "Donskoy", from 2014 to 2020. The material for the study were the varieties and lines of Competitive Variety Testing ($n = 35$).

There have been presented the analysis results of a correlation between quality traits of kernels, hard semolina, pasta of winter durum wheat. There have been identified the most accessible, informative and significant traits, such as protein percentage, gluten quality (GDI), alpha-amylase (FN) activity, which have a decisive effect on the strength, cooking properties of pasta, rheological properties of the dough, which can be used as selection criteria in the breeding process, including at the early stages. Thus, protein percentage has positively correlated with pasta strength ($r = 0.73$), dough durability and elasticity ($r = 0.86$ and $r = 0.61$), valorimetric estimation ($r = 0.55$); GDI and FN have correlated with pasta strength ($r = 0.69$ and $r = 0.57$), durability ($r = 0.92$ and $r = 0.57$), elasticity ($r = 0.75$ and $r = 0.50$). The correlation between cooking properties of pasta and the above-mentioned traits was negative (positive correlation): digestibility by weight and volume with protein percentage ($r = -0.60$ and $r = -0.71$), GDI ($r = -0.49$ and $r = 0.47$), FN ($r = -0.48$ and $r = -0.56$), dry matter losses, respectively, $r = -0.87$, $r = -0.85$, $r = -0.78$. The content of carotenoids and the color of pasta are characterized with a mean positive correlation ($r = 0.46$). There has been found that informatively significant quality traits (protein, GDI, FN, carotenoids) are positively correlated with each other from moderate (protein with carotenoids $r = 0.36$) to strong (protein with FN $r = 0.94$) links, but negatively with such important parameters for winter durum wheat as 1000-kernel weight and grain unit. Therefore, when selecting breeding forms and lines with increased values of the main traits, it is necessary to control 1000-kernel weight and grain unit, or at least one of them.

Keywords: durum wheat, quality, grain, pasta, correlation analysis, relationship, trait.

Введение. Высокие требования, предъявляемые современными перерабатывающими предприятиями по изготовлению макаронных изделий, к качеству зерна *Triticum durum* как яровой, так и озимой, диктуют необходимость разработки новых методов, подходов по оценке селекционного материала и отбору высококачественных генотипов. Один из таких методов, занявший в современной селекции и генетике растений важное место, – это генетико-корреляционный анализ.

Корреляционный анализ позволяет выявить на практике положительные и отрицательные факторы и обратить внимание на минимализацию наиболее неблагоприятных из них, упрощает отбор, ускоряет и повышает эффективность селекционного процесса. Кроме того, определение сопряженности признаков

нужно для уточнения направления отбора. Позитивная величина коррелируемых признаков свидетельствует о совместимости возрастающих величин, негативная – о противоположной связи (Кротова, 2015). Положительные корреляции дают возможность с помощью отбора по одному признаку вывести на новый уровень другие сопряженные величины (Владимирова, 2020).

В практических исследованиях в области селекции растений генетико-корреляционный анализ выполняет две группы задач: прогнозирование зависимости одних признаков от других и выделение наиболее существенных, легко измеряемых, но гарантированно информативных (Тороп, 2019). Анализ коэффициентов корреляционных плеяд дает возможность определять диагностические признаки

для раннего и менее трудоемкого отбора, оценивать связи между разнообразными параметрами на генотипическом и фенотипическом уровнях, изучать их взаимодействие с условиями среды, выявлять закономерности передачи признаков родительских форм потомству (Пушкарев и др., 2018).

Селекция на улучшение какого-либо одного признака может сопровождаться ограничением на изменение других (не менее ценных). Задача селекционера – найти такое сочетание, чтобы сохранить их или хотя бы не ухудшить в связи с усилением других. Поэтому необходимо знать и учитывать в практической работе характер и тесноту генотипических взаимосвязей между контролируемыми в процессе селекции характеристиками. Это касается и такого сложного свойства, состоящего из большого количества признаков, как качество зерна.

Цель исследований. Изучить корреляционные взаимосвязи между признаками качества у пшеницы твердой озимой и определить наиболее доступные и информативные для использования в качестве критериев отбора в процессе селекции.

Материалы и методы исследований.

Исследования были выполнены в 2014–2020 гг. на базе ФГБНУ «АНЦ «Донской», расположенного в южной зоне Ростовской области.

Материалом для исследований послужили сорта и линии озимой твердой пшеницы собственной селекции ($n = 35$), изучаемые в конурсных испытаниях.

Полевые опыты размещали по предшественнику сидеральный пар. Учетная площадь делянки – 10 м², повторность – шестикратная, норма высева – 5 млн. всхожих семян на 1 га. Учеты, наблюдения и оценки в период вегетации проводили по Методике государственного сортоиспытания (2019). Пробы зерна для определения параметров качества отбирали после уборки урожая с трех несмежных повторений. Показатели качества зерна (стекловидность, натура, содержание белка и клейковины, качество клейковины, число падения) и макарон (цвет, прочность, разваримость, потери сухого вещества при варке) определяли по методикам, изложенным в изданиях «Методы оценки технологических качеств зерна» (1971, 1977), SDS-седиментацию – по методике Васильчука (2009) для яровой твердой пшеницы с градацией для озимой твердой пшеницы (Самофалова и др., 2014). Каротиноиды выполняли путем экстрагирования сатурированным Н-бутанолом с последующим колориметрированием на ФЭК-60, их содержание – по общепринятому методу с дополнениями и изменениями, разработанными в «АНЦ «Донской» (1987). Реологические свойства теста – по методике НИИСХ Юго-Востока (Васильчук, 2009).

Корреляционный анализ между признаками качества зерна, крупки, макарон проводили по Б. А. Доспехову (2014): $r < 0,3$ – корреляционная зависимость между величинами слабая, $r = 0,3–0,7$ – средняя, $r = > 0,7$ – сильная.

Годы проведения исследований характеризовались различными метеоусловиями в период от колошения до уборки, что способствовало более объективной и разносторонней оценке селекционного материала по комплексу признаков качества и определению общих закономерностей по направлению и силе взаимодействия их между собой. Так, условия среды 2014 г. были благоприятными для формирования качества зерна (среднесортное содержание белка составило 13,65 %, клейковины – 24,4 %, SDS-седиментация – 36 мл, число падения – 395 с, урожайность – 8,28 т/га) и обеспечивались оптимальными температурами и осадками (ГТК = 1,08), отсутствием полегания и болезней.

Условия вегетации в мае–июне 2015 и 2016 гг. практически были идентичными как по температурному режиму (19,2 и 19,1 °C), так и повышенному количеству осадков в сравнении со среднемноголетней на 61,1 и 58,0 мм, что привело к значительному полеганию большинства сортов и линий озимой твердой пшеницы, щуплости зерна, снижению некоторых показателей качества. Среднесортное содержание белка было на уровне 15,40 и 14,20 %, клейковины – 25,5 и 22,8 %, SDS-седиментация – 33 и 33 мл, число падения – 391 и 405 с, урожайность – 7,50 и 6,70 т/га.

В 2017 г. периоды формирования, налива и созревания зерна проходили при пониженных температурах и повышенном количестве осадков (18,3 °C и 142,9 мм, среднемноголетняя – 18,5 °C и 122,6 мм, ГТК – 1,28), что позволило по большинству признаков качества получить хорошие показатели. Среднесортное содержание белка составило 14,30 %, клейковины – 24,2 %, SDS-седиментация – 40 мл, число падения – 405 с, урожайность – 9,6 т/га.

На фоне сильнейшей засухи не только в период колошения – созревание, но и активной вегетации в 2018 г. отмечалось резкое снижение качества зерна. Среднесортное содержание белка понизилось до 12,6 %, клейковины – до 24,1 %, SDS-седиментация – до 30 мл, число падения до 379 с. Лимитирующими факторами снижения показателей качества были: отсутствие осадков (май–июнь 16,9 мм, норма 122,6 мм); высокие температуры (22,1 °C, норма 18,5 °C); ГТК – 0,13.

Формирование качества в 2019 г. произошло в условиях недостаточного увлажнения, особенно в июне (10,8 мм, норма 71,3 мм) и повышенных температур (в мае на 2,5 °C, в июне на 4,7 °C) в сравнении со среднемноголетними. Среднесортное содержание белка было 15,01 %, клейковины – 25,7 %, SDS-седиментация – 34 мл, число падения – 414 с, урожайность – 5,56 т/га.

Период формирования качества зерна в 2020 г. характеризовался большим количеством осадков в мае (155,7 % к норме) и оптимальной температурой (15,4 °C), которые были благоприятными для роста и развития твердой озимой пшени-

цы до уборки, несмотря на недобор осадков (54,4 % к норме) и повышенный температурный режим на 2,6 °C в июне. Среднесортное содержание белка в зерне – 14,52 %, клейковины – 26,8 %, SDS-седиментация – 38 мл, число падения – 440 с, урожайность – 7,18 т/га.

Результаты и их обсуждение. Качество озимой, как и яровой твердой пшеницы складывается из целого ряда признаков, которые можно подразделить на физико-химические

свойства зерна, реологические свойства крупки (теста) и потребительские свойства макарон. В связи с тем, что главное назначение зерна пшеницы durum – производство макарон, за основные селекционные признаки качества приняты их потребительские свойства: цвет, прочность, разваримость, потери сухого вещества, которые объединяются в один результирующий (интегральный) – «общая оценка макарон» (табл. 1).

Таблица 1. Макароны свойства сортов и линий озимой твердой пшеницы с 2014 по 2020 г. (средние значения)

Table.1. Pasta properties of winter durum wheat varieties and lines from 2014 to 2020 (mean values)

Признак	Единица измерения	Годы							
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	среднее
Цвет	балл	4,2	4,3	4,2	4,5	4,5	4,2	4,3	4,3
Прочность	г	945	813	830	704	670	820	815	799
Разваримость по весу	коэффициент	3	3,4	3,4	3,6	3,6	3,2	3,1	3,3
Разваримость по объему	коэффициент	3,9	4,3	4,4	4,9	4,8	3,9	4,2	4,3
Сухой остаток	%	5,4	6,2	6,8	6,6	8,0	6,3	5,5	6,4
Общая оценка	балл	4,4	3,7	3,4	2,9	2,5	4,0	4,1	3,6

Макароны свойства в среднем за годы исследований соответствуют критериям, определенным Государственной комиссией по испытанию и охране селекционных достижений: хорошая прочность у макарон с сопротивлением на излом от 800 до 899 г, отличная – от 900 г; лучший коэффициент разваримости – 3–4,5; потери сухих веществ – от 5,9 до 7,0 % (по данным мирового рынка не должны превышать 7 %); цвет макарон по 5-балльной шкале – 5 баллов (лимонно-желтый), 4 – кремовый, 3 – светло-кремовый с буроватым оттенком, 2 – желтый

с коричневым оттенком, 1 – белый с сероватым оттенком. Плохое качество макарон в период исследований отмечалось в 2017 и 2018 гг., хорошее – в 2014, 2019 и 2020 гг., удовлетворительное – в 2015 и 2016 гг. с общей оценкой 2,9; 2,5; 4,4; 4,0; 4,1; 3,7 и 3,4 баллов соответственно.

Корреляционный анализ показал, что селекционные признаки вносят равноценный вклад (с некоторым преобладанием варочных свойств) в результирующий признак «общая оценка макарон» (рис. 1).

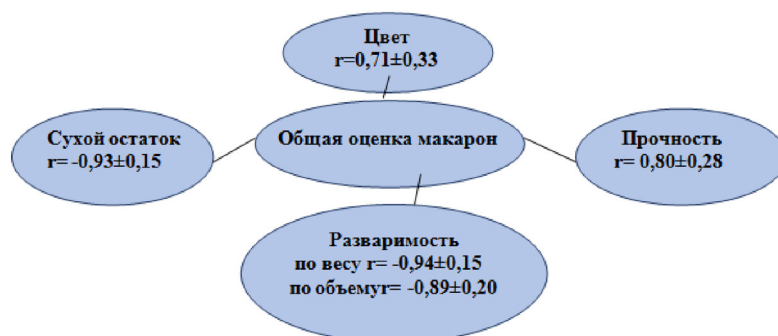


Рис. 1. Взаимосвязь признаков макаренных свойств с их общей оценкой
Fig.1. Correlation between pasta traits and their general cooking assessment

Между общей оценкой макарон и этими признаками установлена высокая как положительная, так и отрицательная позитивная корреляционная связь: с прочностью ($r = 0,80$), цветом ($r = 0,71$), разваримостью ($r = -0,94$ и $-0,89$), потерями сухого вещества при варке ($r = -0,93$).

Признаки качества макарон также находятся в тесной сильной значимой корреляционной связи и между собой. С прочностью макарон связаны варочные свойства: разваримость

по весу ($r = -0,79$), по объему ($r = -0,92$); потери сухого вещества ($r = -0,72$), то есть с повышением прочности макарон улучшаются варочные свойства. Разваримость по весу и объему положительно коррелирует с сухим остатком и цветом ($r = 0,79$, $r = 0,72$ и $r = 0,52$) и т. д.

Макароны свойства, и в первую очередь варочные, в значительной степени определяются реологическими свойствами теста, что доказывается коэффициентами корреляции (табл. 2).

Таблица 2. Взаимосвязь (r) макаронных свойств с реологическими показателями теста
Table. 2. Correlation (r) between pasta traits and rheological properties of dough

Коррелируемые признаки	Цвет	Прочность	Коэффициент разваримости		Сухой остаток после варки
			весовой	объемный	
ВПС	0,14±0,48	-0,23±0,45	0,37±0,42	0,45±0,40	0,42±0,40
Устойчивость теста к замесу	-0,64±0,35	0,82±0,26	-0,77±0,29	-0,73±0,30	-0,98±0,09
Разжижение теста	0,02±0,50	-0,18±0,46	0,61±0,35	0,46±0,40	0,60±0,37
Валориметрическая оценка	0,07±0,49	0,25±0,45	-0,64±0,35	-0,52±0,39	-0,61±0,37
Эластичность	-0,20±0,45	0,40±0,42	0,07±0,49	0,10±0,49	-0,45±0,40

Сильные и средние взаимосвязи варочных свойств (разваримости по весу, объему, сухому остатку после варки) выявлены с устойчивостью теста к замесу ($r = -0,77$ / $r = -0,73$ и $r = -0,98$), разжижением теста ($r = 0,61$ / $r = 0,46$ и $r = 0,60$), валориметрической оценкой ($r = -0,64$ / $r = -0,52$ и $r = -0,61$). Высокая положительная связь прослеживается между прочностью макарон и устойчивостью теста к замесу ($r = 0,82$).

Каждый из вышеуказанных признаков «реологических свойств», оказывающих влияние на основные признаки макарон, можно использовать как критерии отбора. Однако определение как макаронных, так и реологических свойств трудоемко, затратно, требует дорогостоящего оборудования, наличия большого ко-

личества зерна и возможно только на последних этапах селекции. Для более раннего диагностического прогнозирования качества макарон лучше подойдут качественные характеристики зерна (физико-химические свойства).

Учитывая, что набор признаков качества зерна большой, нашей задачей в ходе исследований по культуре озимая твердая пшеница являлось выявление наиболее информативных, значимых.

Расчеты корреляционных связей макаронных свойств с показателями качества зерна показали, что к признакам, оказывающим определяющее действие на прочность и варочные свойства, относятся содержание белка в зерне, его качество, амилолитическая активность (ЧП) (табл. 3).

Таблица 3. Взаимосвязь (r) макаронных свойств с признаками качества зерна
Table. 3. Correlation (r) between pasta traits and quality traits of kernels

Коррелируемые признаки	Макаронные свойства				
	цвет	прочность	разваримость, коэффициент		потери сухого вещества при варке
			весовой	объемный	
Масса 1000 зерен	0,61±0,35	-0,76±0,29	0,48±0,39	0,73±0,30	0,60±0,37
Стекловидность	0,07±0,49	-0,19±0,44	-0,44±0,40	-0,29±0,43	-0,67±0,34
Натура	0,53±0,38	-0,68±0,34	0,67±0,34	0,69±0,34	0,62±0,35
Белок	-0,54±0,38	0,73±0,30	-0,60±0,37	-0,71±0,32	-0,87±0,25
Клейковина	0,19±0,41	-0,14±0,47	-0,01±0,50	-0,14±0,47	0,04±0,50
Качество клейковины (ИДК)	-0,52±0,39	0,69±0,34	-0,49±0,39	-0,47±0,39	-0,85±0,25
SDS-седиментация	0,15±0,47	0,05±0,50	-0,20±0,45	0,08±0,49	-0,63±0,35
Число падения	-0,40±0,42	0,57±0,38	-0,48±0,39	-0,56±0,38	-0,78±0,29
Каротиноиды	0,46±0,39	0,04±0,50	-0,15±0,46	0,01±0,50	-0,16±0,47

Так, прочность макарон находилась в прямой средней и сильной взаимосвязи с содержанием белка ($r = 0,73$), ИДК ($r = 0,69$), ЧП ($r = 0,57$). Разваримость по весовому и объемному коэффициенту, сухой остаток после варки – в обратной (положительная зависимость): с белком – $r = -0,60$; $r = -0,71$ и $r = -0,87$; с ИДК – $r = -0,49$; $r = -0,47$ и $r = -0,85$; с ЧП – $r = -0,48$; $r = -0,56$ и $r = -0,78$ соответственно.

Негативная, как отрицательная, так и положительная корреляционная связь наблюдалась между вышеуказанными показателями макаронных свойств и крупностью зерна (масса 1000), его выполненностью (натурный вес): с прочностью макарон – $r = -0,76$ и $r = -0,68$;

разваримостью по весу – $r = 0,48$ и $r = 0,73$ и объему – $r = 0,67$ и $r = 0,69$; сухим остатком – $r = 0,60$ и $r = 0,62$, то есть с увеличением массы 1000 зерен варочные свойства макарон ухудшаются.

Практически те же закономерности по направлению и силе корреляционных связей сохраняются между содержанием белка, качеством клейковины, числом падения с такими признаками реологических свойств, как стойкость, эластичность теста. А вот разжижение теста, валориметрическая оценка, водопоглотительная способность больше зависимы от содержания клейковины, чем от ее качества (табл. 4).

Таблица 4. Корреляционные связи реологических свойств сортов и линий озимой твердой пшеницы с признаками качества зерна
Table 4. Correlation between rheological properties of winter durum wheat varieties and lines and quality traits of kernels

Коррелируемые признаки	Водопоглощательная способность	Разжижение теста	Валориметрическая оценка	Стойкость	Эластичность
Масса 1000 зерен	0,51±0,39	0,35±0,42	-0,42±0,40	-0,65±0,35	-0,62±0,35
Стекловидность	-0,78±0,29	-0,76±0,29	0,63±0,35	0,50±0,39	0,08±0,49
Натура	0,04±0,50	0,41±0,40	-0,55±0,38	-0,65±0,35	-0,34±0,42
Белок	-0,66±0,35	-0,54±0,34	0,55±0,38	0,86±0,25	0,61±0,35
Клейковина	-0,85±0,25	-0,61±0,36	0,56±0,38	-0,17±0,47	-0,22±0,45
Качество клейковины (ИДК)	-0,06±0,49	-0,12±0,48	0,14±0,47	0,92±0,18	0,75±0,28
SDS-седиментация	0,03±0,50	-0,27±0,43	0,21±0,45	0,59±0,37	0,38±0,41
Число падения	-0,77±0,29	-0,53±0,38	0,47±0,40	0,75±0,28	0,50±0,49
Каротиноиды	0,06±0,49	0,15±0,47	-0,13±0,48	0,15±0,47	0,49±0,39

Цвет макаронных изделий по данным ряда исследователей по яровой твердой пшенице (Безуглая и др., 2022; Гапонов и др., 2018; Дорохова, 2018; Мальчиков, 2020) в значительной степени определяется содержанием каротиноидных пигментов. В наших исследованиях по озимой твердой пшенице связь между ними характеризовалась как средняя положительная ($r = 0,46$). Это означает, что цвет макарон зависит не только от содержания каротиноидов, но и других генетических систем, одна из которых контролирует синтез желтого пигмента, другая – активность окислительных ферментов. Было установлено, что главная роль в процессе окисления фенольных соединений

каротиноидов, вызывающих потемнение макарон, принадлежит пероксидазе. Между активностью пероксидазы и цветом макарон наблюдалась отрицательная связь ($r = -0,63$). Поэтому в селекции на улучшение цвета макарон с повышенным содержанием каротиноидов требуется контролировать и активность пероксидазы.

Выявленные информативные признаки, вносящие основной вклад в формирование конечного продукта (макарон), взаимосвязаны с другими качественными характеристиками зерна корреляциями различной степени – от слабых до средних и сильных, прямых и обратных (рис. 2).

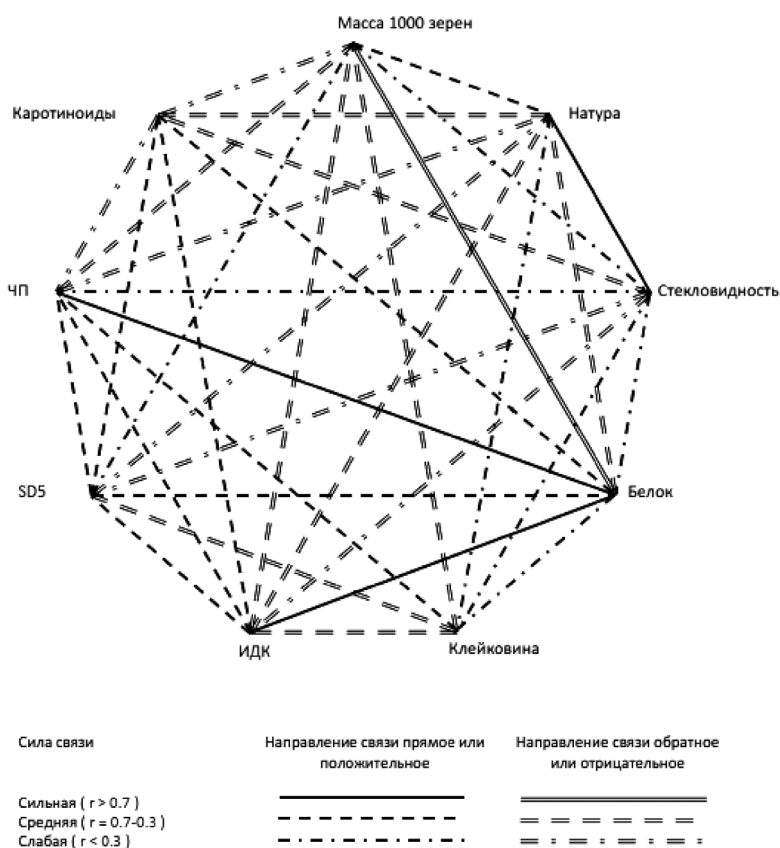


Рис. 2. Плеяда корреляционных связей признаков качества зерна у сортов и линий озимой твердой пшеницы
Fig. 2. A number of correlations between quality traits of kernels, hard semolina, pasta of durum winter wheat

Анализ плеяд корреляционных связей, представленных на рисунке 2, свидетельствует о том, что информативно значимые признаки качества (белок, качество клейковины, число падения, каротиноиды) положительно коррелируют между собой от умеренных (белок с каротиноидами – $r = 0,36$) до сильных (белок с числом падения – $r = 0,94$) связей. А вот с массой 1000 зерен, натурой у них прослеживалась негативная отрицательная связь. Коэффициенты корреляции составили: белок с массой 1000 зерен – $r = -0,86$, с натурой – $r = -0,53$; качество клейковины (ИДК) – $r = -0,53$ и $r = -0,48$; ЧП – $r = -0,65$ и $r = -0,21$; каротиноиды – $r = -0,26$ и $r = -0,58$ соответственно.

Следовательно, при отборе селекционных форм и линий озимой твердой пшеницы по содержанию белка, его качеству, амилолитической активности, каротиноидным пигментам нужно учитывать и эти признаки (масса 1000 зерен, натура) или хотя бы один из них. Кроме этого, селекция озимой твердой пшеницы на повышенное содержание белка, улучшение его качества, число падения сопряжена с трудностью преодоления отрицательной зависимости с урожайностью. В наших исследованиях коэффициенты корреляции урожайности с вышеуказанными признаками были следующими: с белком – $r = -0,71$, с ИДК – $r = -0,75$, с ЧП – $r = -0,64$.

Исходя из этого, дальнейшая селекционная работа по озимой твердой пшенице должна быть направлена на сохранение всех признаков на приемлемом уровне, обеспечивающем высокое качество макаронных изделий в процессе селекции высокопродуктивных сортов.

Выводы. Проведенные исследования по изучению качества макарон, крупки (теста) и зерна у пшеницы твердой озимой и корреляционных связей между ними позволили выявить

информативно значимые и доступные в определении признаки, которые можно использовать в качестве критериев отбора в процессе селекции, в том числе и на ранних этапах. К таким признакам, вносящим основной вклад в формирование конечного продукта – макарон, относятся содержание белка в зерне, его качество, амилолитическая активность (ЧП), содержание каротиноидов. Прочность макарон положительно коррелировала с содержанием белка в зерне ($r = 0,73$), ИДК ($r = 0,69$), ЧП ($r = 0,57$). Варочные свойства – отрицательно (позитивная зависимость): разваримость по весовому и объемному коэффициенту с белком ($r = -0,60$ и $r = -0,71$), ИДК ($r = -0,49$ и $r = -0,47$), ЧП ($r = -0,48$ и $r = -0,56$), сухой остаток – $r = -0,87$; $r = -0,85$ и $r = -0,78$ соответственно. Между цветом макарон и содержанием каротиноидов отмечалось средняя положительная корреляция ($r = 0,46$).

Корреляционный анализ информативно значимых признаков качества показал, что они положительно коррелируют между собой от умеренных (белок с каротиноидами $r = 0,36$) до сильных (белок с числом падения $r = 0,94$) связей. В то же время установлена негативная отрицательная взаимосвязь их с массой 1000 зерен, натурой. Коэффициенты корреляции составили: с белком – $r = -0,86$, с массой 1000 зерен, ИДК – $r = -0,53$, ЧП – $r = -0,65$, с натурой – $r = -0,53$, $r = -0,48$ и $r = -0,21$ каротиноидами – $r = -0,26$ и $r = -0,58$ соответственно. Поэтому при отборе селекционных форм и линий озимой твердой пшеницы на повышенное содержание белка, его качество, ЧП, каротиноидов необходимо контролировать признаки «масса 1000 зерен» и «натура зерна» или хотя бы один из них, сохраняя их на приемлемом уровне, обеспечивающем высокое качество макаронных изделий.

Библиографические ссылки

1. Безуглая Т. С., Самофалова Н. Е., Иличкина Н. П., Иванисова А. С., Кабанова Н. В., Копусь М. М. Перспективные сорта пшеницы твердой озимой и их семеноводство // Зерновое хозяйство России. 2022. № 2(14). С. 17–23. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-80-2-17-23>.
2. Васильчук Н. С., Гапонов С. Н. Оценка прочности клейковины в процессе селекции твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf) // Аграрный вестник Юго-Востока. 2009. № 3. С. 34–40.
3. Владимирова Е. С. Корреляционный анализ исходного материала для селекции мягкой яровой пшеницы в условиях Центральной Якутии // Вестник Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 5(85). С. 31–37. DOI: 10.37670/2073–0853-2020-85-5-31-37.
4. Гапонов С. Н., Попова В. М., Шутарева Г. И., Цетва Н. М., Паршикова Т. М., Шукин С. А. 25 лет сорту Саратовская золотистая // Зерновое хозяйство России. 2018. № 5(59). С. 57–60. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-51-56.
5. Дорохова Д. П., Копусь М. М. Исходный материал и достижения в селекции озимой твердой пшеницы по содержанию каротиноидов в зерне сортов ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2018. № 1(55). С. 3–5. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-55-1-3-5.
6. Кротова Л. А., Белецкая Е. А. Отбор в популяциях озимо-яровых гибридов пшеницы на основе фенотипических корреляций // Актуальные проблемы биологии и методики ее преподавания в школе и вузе: Материалы III междунар. науч.-практич. заоч. конф. М., 2015. С. 26–30.
7. Мальчиков П. Н., Мясникова М. Г. Содержание желтых пигментов в зерне твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.): биосинтез, генетический контроль, маркерная селекция // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. № 24(5). С. 501–511. DOI: 10.18699/VJ20.642.
8. Пушкарев Д. В., Чурсин А. С., Кузьмин О. Г., Краснова Ю. С., Каракоз И. И., Шаманин В. П. Корреляция урожайности с элементами продуктивности сортов яровой мягкой пшеницы в условиях степной зоны Омской области // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2018. № 3. С. 26–35.
9. Самофалова Н. Е., Копусь М. М., Скрипка О. В., Марченко Д. М., Самофалов А. П., Иличкина Н. П., Гричанникова Т. А. SDS-седиментация в поэтапной оценке селекционного материала озимой пшеницы по качеству зерна. Ростов: ЗАО «Книга», 2014. 32 с.

10. Тороп Е. А., Тороп А. А., Чайкин В. В. Анализ корреляций между урожайностью озимой ржи и ее элементами // Селекция, семеноводство и генетика. 2019. № 4(28). С. 20–23.

References

1. Bezuglaya T. S., Samofalova N. E., Ilichkina N. P., Ivanisova A. S., Kabanova N. V., Kopus' M. M. Perspektivnye sorta pshenitsy tverdoi ozimoi i ikh semenovodstvo [Promising winter durum wheat varieties and their seed production // Grain Economy of Russia] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. № 2(14). S. 17–23. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-17-23.
2. Vasil'chuk N. S., Gaponov S. N. Otsenka prochnosti kleikoviny v protsesse selektsii tverdoi pshenitsy (Triticum durum Desf) [Estimation of the gluten strength in the process of durum wheat breeding (Triticum durum Desf)] // Agrarnyi vestnik Yugo-Vostoka. 2009. № 3. S. 34–40.
3. Vladimirova E. S. Korrelyatsionnyi analiz iskhodnogo materiala dlya selektsii myagkoi yarovoi pshenitsy v usloviyakh Tsentral'noi Yakutii [Correlation analysis of the basic material for spring soft wheat selection under conditions of Central Yakutia] // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo Agrarnogo universiteta. 2020. № 5(85). S. 31–37. DOI: 10.37670/2073-0853-2020-85-5-31-37.
4. Gaponov S. N., Popova V. M., Shutareva G. I., Tsetva N. M., Parshikova T. M., Shchukin S. A. 25 let sortu Saratovskaya zolotistaya [The variety 'Saratovskaya zolotistaya' is 25] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 5(59). S. 57–60. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-51-56.
5. Dorokhova D. P., Kopus' M. M. Iskhodnyi material i dostizheniya v selektsii ozimoi tverdoi pshenitsy po sodержaniyu karotinoidov v zerne sortov FGBNU «ANTs «Donskoi» [The initial material and the achievements in winter durum wheat breeding in a content of carotenoids in the grain of ARC "Donskoy"] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 1(55). S. 3–5. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-55-1-3-5.
6. Krotova L. A., Beletskaya E. A. Otbor v populyatsiyakh ozimo-yarovykh gibridov pshenitsy na osnove fenotipicheskikh korrelyatsii [Selection in the populations of winter-spring wheat hybrids based on phenotypic correlations] // Aktual'nye problemy biologii i metodiki ee prepodavaniya v shkole i vuze: Mater. III mezhdunar. nauch.-praktich. zaoch. konf. M., 2015. S. 26–30.
7. Mal'chikov P. N., Myasnikova M. G. Soderzhanie zheltых pigmentov v zerne tverdoi pshenitsy (Triticum durum Desf.): biosintez, geneticheskii kontrol', markernaya selektsiya [The content of yellow pigments in durum wheat (Triticum durum Desf.) grains: biosynthesis, genetic control, marker selection] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2020. № 24(5). S. 501–511. DOI: 10.18699/VJ20.642.
8. Pushkarev D. V., Chursin A. S., Kuz'min O. G., Krasnova Yu. S., Karakoz I. I., Shamanin V. P. Korrelyatsiya urozhainosti s elementami produktivnosti sortov yarovoi myagkoi pshenitsy v usloviyakh stepnoi zony Omskoi oblasti [Correlation of yield with elements of productivity of varieties of spring soft wheat in the conditions of the steppe zone of the Omsk region] // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. № 3. S. 26–35.
9. Samofalova N. E., Kopus' M. M., Skripka O. V., Marchenko D. M., Samofalov A. P., Ilichkina N. P., Grichannikova T. A. SDS-sedimentatsiya v poetapnoi otsenke selektsionnogo materiala ozimoi pshenitsy po kachestvu zerna [SDS-sedimentation in the stage-by-stage estimation of winter wheat breeding material for grain quality]. Rostov: ZAO «Kniga», 2014. 32 s.
10. Torop E. A., Torop A. A., Chaikin V. V. Analiz korrelyatsii mezhdu urozhainost'yu ozimoi rzi i ee elementami [Analysis of correlations between winter rye productivity and its yield structure elements] // Seleksiya, semenovodstvo i genetika. 2019. № 4(28). S. 20–23.

Поступила: 03.08.22; доработана после рецензирования: 06.08.22; принята к публикации: 09.08.22.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Самофалова Н. Е. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Н. П. Иличкина, Т. С. Безуглая, Н. В. Кabanова, А. С. Иванисова – подготовка и проведение полевых опытов, обработка данных, Н. Е. Самофалова – общее руководство, финальная доработка текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.