

СРАВНЕНИЕ ФЕНОТИПИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОРТОВ И ЛИНИЙ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ ПО ЦВЕТОВЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЗЕРНА, КРУПЫ И МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Н. С. Кравченко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимической, технологической и агрохимической оценки, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

О. А. Костыленко, агроном лаборатории биохимической, технологической и агрохимической оценки, ORCID ID: 0000-0002-5060-0034;

Н. Г. Игнатьева, техник-исследователь лаборатории биохимической, технологической и агрохимической оценки, ORCID ID: 0000-0002-8506-8711;

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

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Приведены результаты изучения цветковых характеристик зерна сортов и линий озимой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.). Изучено влияние факторов («сорт», «год» и их взаимодействие) на выраженность основных селекционно значимых признаков, которые влияют на качество конечного продукта. Цель настоящего исследования заключалась в определении изменчивости фенотипических признаков зерна, связанных с количеством желтых пигментов в зерне, цветом манной крупы и готовых макаронных изделий, в исследовании взаимосвязей между показателями с помощью корреляционного анализа и выделения наиболее перспективных для дальнейшей работы. Полевые опыты проводили в научном севообороте лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской». Лабораторные и аналитические исследования выполнены в лаборатории биохимической, технологической и агрохимической оценки в соответствии с общепринятыми методами и ГОСТ. В результате проведенных исследований установлено, что основное влияние на такие признаки качества зерна озимой твердой пшеницы, как «общая стекловидность», «массовая доля белка в зерне» и «индекс цвета зерна б», оказывал фактор «год исследований» – на 67,0, 48,2 и 65,4 % соответственно. На «индекс цвета крупки б», «индекс цвета сухих макарон б» и визуальную оценку сухих макаронных изделий основное влияние оказывал фактор «генотип» – на 62,3, 82,5 и 48,3 % соответственно. Выраженность признака «содержание каротиноидных пигментов» зависело от всех факторов. Сорта и линии озимой твердой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» за годы исследований по цветовым характеристикам соответствовали международным требованиям, предъявляемым к зерну твердой пшеницы. В результате проведенных исследований сорта Графит и Каротинка выделились по нескольким изучаемым признакам, в связи с чем рекомендуем расширить производственные посевы этих сортов. Перспективные линии 1147/19 и 971/19 и сорт Солнцедар рекомендуем использовать в селекционном процессе в качестве источников с высокими цветовыми характеристиками зерна и макаронных изделий.

Ключевые слова: твердая пшеница (*Triticum durum* Desf.), каротиноиды, крупка, общая стекловидность зерна, индекс желтизны.

Для цитирования: Кравченко Н. С., Костыленко О. А., Игнатьева Н. Г., Иванисова А. С. Сравнение фенотипической изменчивости сортов и линий озимой твердой пшеницы по цветовым характеристикам зерна, крупы и макаронных изделий // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 1. С. 33–40. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-33-40.



COMPARISON OF PHENOTYPIC VARIABILITY OF WINTER DURUM WHEAT VARIETIES AND LINES ACCORDING TO THE COLOR CHARACTERISTICS OF GRAIN, CEREALS AND PASTA

N. S. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for biochemical, technological and agrochemical estimation, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

O. A. Kostylenko, agronomist of the laboratory for biochemical, technological and agrochemical estimation, ORCID ID: 0000-0002-5060-0034;

N. G. Ignatieva, research technician of the laboratory for biochemical, technological and agrochemical estimation, ORCID ID: 0000-0002-8506-8711;

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

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

There have been given the study results of grain color characteristics of winter durum wheat varieties and lines (*Triticum durum* Desf.). There has been studied the effect of factors ('variety', 'year' and their correlation) on the expression of the main breeding-valuable traits that affect the quality of the final product. The purpose of the current study

was to determine the variability of phenotypic characteristics of grain associated with the number of yellow pigments in grain, the color of semolina and finished pasta, to study the correlation between indicators and to identify the most promising ones for further work. Field trials were carried out in the scientific crop rotation laboratory of breeding and seed production of winter durum wheat of the FSBSI "ARC "Donskoy". Laboratory and analytical study was carried out in the laboratory of biochemical, technological and agrochemical estimation in accordance with generally accepted methods and GOST. As a result of the study, there has been established that the main effect on such characteristics of grain quality of winter durum wheat as 'general hardness', 'mass fraction of protein in grain' and 'grain color index b' was produced by the factor 'year of study' by 67.0 %, 48.2 % and 65.4 % respectively. The 'cereal color index b', 'dry pasta color index b' and visual estimation of dry pasta were mainly influenced by the factor 'genotype' by 62.3 %, 82.5 % and 48.3 %, respectively. The severity of the trait 'content of carotenoid pigments' depended on all factors. Over the years of the study, the winter durum wheat varieties and lines developed by the FSBSI "ARC "Donskoy" according to color characteristics met the international requirements for durum wheat grain. As a result, the varieties 'Grafit' and 'Karotinka' stood out according to several studied characteristics in connection with which we recommend expanding the production crops of these varieties. There can be recommended to use promising lines 1147/19 and 971/19 and the variety 'Solntsedar' in the breeding process as sources with high color characteristics of grain and pasta.

Keywords: durum wheat (*Triticum durum* Desf.), carotenoids, semolina, general grain hardness, yellowness index.

Введение. Твердая пшеница (*Triticum durum* Desf.) – важная продовольственная культура, мировое производство которой составляет около 40 млн т, а площадь – более 15 млн га (Boussakouran at al., 2023; Tabbita at al., 2023).

В Российской Федерации суммарное производство зерна твердой пшеницы оценивается на уровне 650–700 тыс. т, при этом годовая потребность, по оценкам специалистов, составляет около 2 млн т зерна. В Ростовской области, как и в РФ, нет статистических данных по учету посевных площадей, производству и урожайности по культуре твердой пшеницы. По ориентировочным данным, озимая и яровая твердая пшеница занимают около 15–20 тыс. га (Кравченко и др., 2020).

Зерно твердой пшеницы является ценным сырьем для изготовления высококачественных макаронных изделий. Также производимое зерно должно иметь достаточное качество, чтобы оно могло быть принято перерабатывающей промышленностью, что в случае твердых сортов связано с высоким содержанием белка, клейковины и ярко-желтым цветом манной крупы.

Качество озимой твердой пшеницы складывается из целого ряда признаков, которые можно подразделить на физико-химические свойства зерна, реологические свойства крупки (теста) и потребительские свойства макарон (Самофалова и др., 2022).

Многие иностранные (Boussakouran at al., 2023; Fu at al., 2018; Magallanes-López at al., 2017) и отечественные (Мальчиков и др., 2021; Васенев и др., 2019) исследователи отмечают, что наиболее важными из них для твердой пшеницы являются содержание белка и каротиноидных пигментов, а также стекловидный эндосперм, которые в значительной степени определяются выраженностью признаков и зависят от сорта пшеницы, окружающей среды и взаимодействия генотипа и условий выращивания (Schulthess at al., 2013; Ficco at al., 2014).

В странах ЕС, США, Турции и многих других желтизна по данным Lab является наиболее часто используемым параметром для выведения сортов с ярко выраженным желтым цветом в программах селекции твердой пшеницы (Kaplan, 2022). В Германии мукомольные

предприятия предъявляют требования к зерну твердых сортов по содержанию белка в зерне (> 14 %), коэффициенту «b» (> 22) и стекловидности (> 75 %). Следовательно, широко выращиваются только сорта, отвечающие этим требованиям, и селекционерам приходится постоянно проводить отбор по этим признакам (Sieber at all, 2015).

В нашей стране один из наиболее важных параметров для производства пасты «Индекс цвета b», или «Индекс желтизны b» (Минолта), не регулируется российским законодательством и почти не принимается во внимание при регистрации нового сорта. Поэтому большинство производителей твердой пшеницы в России практически не знакомы с этими параметрами, что отрицательно влияет на интерес к российской твердой пшенице на мировом рынке (Digesu at al., 2009).

Несмотря на то что урожайность остается главной целью селекционных программ, существует растущий спрос на специализированные цели по улучшению качества, чтобы удовлетворить требования к четким и разнообразным качественным характеристикам различных видов продуктов на основе твердой пшеницы.

Цель настоящего исследования – определение изменчивости фенотипических признаков зерна, связанных с количеством желтых пигментов в зерне, цветом манной крупы и готовых макаронных изделий, исследование взаимосвязей между показателями с помощью корреляционного анализа и выделение наиболее перспективных для дальнейшей работы.

Материалы и методы исследований. Исследования были проведены в 2020–2022 гг. в научном севообороте лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской», расположенного в южной зоне Ростовской области.

Материалом для исследований послужили сорта и линии озимой твердой пшеницы собственной селекции (n = 29), изучаемые в конкурсных испытаниях.

Полевые опыты размещали по предшественнику сидеральный пар. Учетная площадь делянки – 10 м², норма высева – 5 млн всхожих семян на 1 га. Учеты, наблюдения и оценки в период вегетации проводили по Методике госу-

дарственного сортоиспытания (2019). В качестве стандарта использовали сорт Кристелла.

Почва опытного поля – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый. Содержание в пахотном слое почвы: гумуса – 3,2 %; pH – 7,0; P_2O_5 – 18,5–20,0; K_2O – 342–360 мг/кг почвы.

Климат зоны характеризуется полусухим жарким летом и умеренно мягкой зимой. Сумма положительных температур за период вегетации в среднем составляет 3450 °С, среднегодовая температура 9,7 °С, среднегодовое количество осадков – 588,8 мм, в том числе за вегетацию озимой пшеницы 480,5 мм (Сухарев и Овсянникова, 2020).

Период формирования качества зерна в 2020 г. характеризовался большим количеством осадков в мае (155,7 % к норме) и оптимальной температурой (15,4 °С), которые были благоприятными для роста и развития озимой твердой пшеницы до уборки, несмотря на недобор осадков (54,4 % к норме) и повышенный температурный режим (на 2,6 °С) в июне.

Весна и лето 2021 г. отличались обилием осадков. Весной выпало 243,9 мм (185,1 %), летом 179,6 мм (103,1 %). Сложившиеся погодные условия были неблагоприятны для формирования стекловидности зерна.

Весна 2022 г. характеризовалась температурным режимом в пределах среднегодовых значений и обилием осадков (125,5 % от нормы). Период созревания зерна протекал при повышенном температурном режиме: в июне 23,2 °С (+2,7 °С к норме), в июле – 24,1 °С (+1,0 °С к норме). За летний сезон выпало 104,0 мм (59,7 % от нормы).

Исследования по определению цветковых характеристик зерна, крупки и макаронных изделий проводили в лаборатории биохимической, технологической и агрохимической оценки. Общую стекловидность зерна определяли в соответствии с требованиями ГОСТ Р 70629-2023 (Пшеница. Определение стекловидности оптическим методом, 2023.). Цвет сухих макарон оценивали визуально (по пятибалльной шкале) в соответствии с Методическими указаниями по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур (1988). Индекс цвета «b» измеряли с помощью колориметра Konica Minolta CR-410, работа которого основана на измерении коэффициента отра-

жения, оснащенного импульсной ксеноновой дуговой лампой (Ficco et al., 2014). Цветовая координата «L» характеризует изменение цвета от белого к черному, «a» – от зеленого к красному, «b» – от желтого к синему. Значение b представляет изменение интенсивности желтого цвета. С помощью данного прибора измеряли индекс цвета «b» зерна, крупки и готовых сухих макаронных изделий (2021–2022 гг.) в соответствии с ГОСТ 32197-2013 (Изделия макаронные. Методы определения цвета и потемнения на трехкоординатном колориметре, 2023). Кроме того, определяли количество каротиноидных пигментов в зерне методом экстракции всех пигментов в водонасыщенном n-бутаноле с последующим спектрофотометрическим количественным определением оптической плотности спиртового экстракта при 435,5 нм (длина волны максимального поглощения лютеина, доминирующего каротиноида в твердой пшенице).

Корреляционный анализ был проведен с помощью программы STATISTICA 10, коэффициенты корреляции значимы на 5%-м уровне и выделены знаком «*». Взаимосвязи между изучаемыми признаками устанавливались впервые, в связи с этим приведены все значения коэффициентов корреляции (даже незначимые), так как это имеет большое значение для дальнейшей селекционной работы по созданию сортов озимой твердой пшеницы с высокими цветковыми характеристиками и пищевой ценностью.

Результаты исследований и обсуждение. Чтобы вывести высококачественные сорта, необходимо оценить фенотипическую изменчивость, вызванную генотипом, окружающей средой и их взаимодействием.

Для определения доли влияния факторов (А – генотип, В – год исследования и их взаимодействия А х В) на признаки качества зерна и цветковые характеристики зерна крупки и макаронных изделий озимой твердой пшеницы был проведен двухфакторный дисперсионный анализ.

В результате проведенного анализа было установлено, что основной вклад в формирование стекловидности зерна, содержание белка и индекса цвета b (зерна) вносит влияние фактора В (год), взаимодействие факторов АВ (генотип х год исследований) и фактора А (генотип) было достоверным ($F_{\text{факт}} < F_{\text{та}}$) и практически равносильным (табл. 1).

Таблица 1. Доли влияния факторов на формирование признаков качества зерна и цветковые характеристики сортов и линий озимой твердой пшеницы (2020–2022 гг.)
Table 1. Shares of the effect of factors on formation of grain quality traits and color characteristics of winter durum wheat varieties and lines (2020–2022)

Признак качества	Влияние фактора А (генотип), %	Влияние фактора В (год исследований), %	Влияние взаимодействия факторов АВ, %
Общая стекловидность, %	16,9	67,0	14,5
Массовая доля белка в зерне, %	21,1	48,2	21,2
Содержание каротиноидных пигментов, Мкг/%	25,8	37,9	26,3
Индекс «b» зерна, единиц прибора Konica Minolta	18,4	65,4	13,3
Индекс «b» крупки, единиц прибора Konica Minolta	62,3	9,9	19,3
Индекс «b» сухих макарон, единиц прибора Konica Minolta	82,5	0,7	8,8
Цвет сухих макарон (визуальная оценка), балл	48,3	1,0	27,5

На выраженность индекса цвета «b» крупки, сухих макарон и визуальную оценку цвета готовых изделий основное влияние оказывал фактор А (генотип), взаимодействие факторов А х В и затем фактор В (год).

Влияние факторов А, В и их взаимодействие (А х В) было практически равным на формирование каротиноидных пигментов – 25,8, 37,9 и 26,3 % соответственно.

Массовая доля белка в зерне – один из первостепенных признаков качества, от выраженности которого зависят другие важные признаки: количество клейковины, содержание каротиноидных пигментов, а также питательная ценность макаронных изделий.

У изучаемых сортов и линий выявлено варьирование количества белка в зерне от 13,63 (536/19) до 15,48 % (Яхонт).

Достоверного превышения стандарта не установлено ($HCP_{05} = 0,6\%$) в связи с тем, что сорт Кристелла (стандарт) сформировал высокое содержание белка (15,28 %) на уровне требований, предъявляемых к первому классу качества.

Максимальная выраженность массовой доли белка в зерне ($>15,00\%$) выявлена у сортов Яхонт (15,48 %), Кристелла (15,28 %), Диона (15,13 %), Юбиларка (15,09 %), Динас (15,03 %) и линий 461/16 (15,02 %), 483/17 (15,42 %) и 1321/19 (15,02 %) (табл. 2).

Таблица 2. Выраженность признаков качества зерна сортов и линий озимой твердой пшеницы (2020–2022 гг.)
Table 2. The severity of grain quality traits of winter durum wheat varieties and lines (2020–2022)

Сорт/линия	Массовая доля белка в зерне, %	Стекловидность зерна, %	Содержание каротиноидных пигментов, Мкг/%
Кристелла, st	15,28	87	614
Диона	15,13	79	644
Яхонт	15,48	85	584
Юбиларка	15,09	84	569
Янтарина	14,88	81	691
Услава	14,67	77	635
Лакомка	14,64	85	673
Динас	15,03	83	639
Солнцедар	14,90	79	711
Алмаз Дона	14,79	84	652
Эллада	14,87	74	617
Хризолит	14,57	77	637
Придонье	14,79	80	632
461/16	15,02	71	595
483/17	15,42	84	608
1037/17	14,70	78	582
561/18	14,53	88	646
Каротинка	14,95	91	628
951/18	14,97	90	621
969/18	14,91	78	572
536/19	13,63	79	603
953/19	14,33	76	651
971/19	14,63	73	693
1174/19	14,47	91	585
1147/19	14,39	91	711
Графит	14,21	94	733
1264/19	13,83	83	581
1273/19	14,41	75	551
1321/19	15,05	91	545
HCP_{05}	0,6	5,0	76,4

Проведенный корреляционный анализ между изучаемыми признаками позволил установить, что признак «массовая доля белка в зерне» отрицательно коррелировал со всеми изучаемыми признаками, кроме признака «стекловидность» ($r = 0,05 \pm 0,19$).

Были выявлены слабые отрицательные связи с содержанием каротиноидных пигментов ($r = -0,16 \pm 0,19$), с индексом цвета зерна «b» ($r = -0,06 \pm 0,19$), с индексом цвета крупки «b»

($r = -0,39 \pm 0,17$), с индексом цвета макарон «b» ($r = -0,46 \pm 0,17$) и визуальной оценкой цвета макарон ($r = -0,21 \pm 0,18$).

Стекловидность зерна является основным определяющим фактором сорта твердой пшеницы из-за ее влияния на производительность помола манной крупы и качество конечного продукта (Коваленко и др., 2021).

В соответствии с ГОСТ 9353-2016 к стекловидности зерна твердой пшеницы предъ-

являются требования не менее 85 % (для 1 и 2 классов качества). В результате проведенных исследований был выделен сорт Графит, у которого выявлено достоверное превышение над стандартом признака «стекловидность зерна» (94 %).

Так как стандартный сорт Кристелла сформировал высокую стекловидность зерна (87 %), то к выделившимся можно отнести сорта Кристелла (87 %), Яхонт (85 %), Лакомка (85 %), Каротинка (91 %) и линии 561/18 (88 %), 951/18 (90 %), 1174/19 (91 %), 1147/19 (91 %) и 1321/19 (91 %), у которых отмечены значения стекловидности зерна на уровне и выше требований, предъявляемых ГОСТ 9353-2016.

В результате корреляционного анализа было установлено, что признак «общая стекловидность» положительно коррелировал с индексом цвета зерна b ($r = 0,38 \pm 0,17$), определенного с помощью колориметра Konica Minolta.

Желтый цвет определяется накоплением каротиноидов в эндосперме, которые обладают провитаминными свойствами и являются природными антиоксидантами (Мальчиков и Мясникова, 2020).

Высокое содержание каротиноидов в зерне повышает не только качество макаронных изделий, но и их пищевую ценность. Каротиноиды уменьшают окислительное повреждение биологических мембран путем удаления пероксирадикалов, таких, как те, которые участвуют в некоторых заболеваниях человека и в процессах старения и поэтому являются ценным питательным компонентом макаронных изделий.

Итальянские ученые выявили высокую наследуемость этого признака, который в значительной степени контролируется аддитивными генетическими эффектами и имеет сильный генотипический компонент и слабое взаимодействие генотип $\times$ окружающая среда. Тем не менее, несмотря на относительно высокий генетический вес, некоторые факторы окружающей среды могут влиять на конечную выраженность цвета манной крупы.

В среднем за годы исследований общее содержание каротиноидных пигментов варьировало от 545 (1321/19) до 733 Мкг/% (Графит). Достоверно превысили стандарт по этому признаку сорта Графит (733 Мкг/%), Янтарина (691 Мкг/%), Солнцедар (711 Мкг/%) и линии 971/19 (693 Мкг/%) и 1147/19 (711 Мкг/%) ($НСР_{05} = 76,4$ Мкг/%).

В результате проведенного корреляционного анализа было установлено, что признак «содержание каротиноидных пигментов» положительно коррелирует с индексом цвета зерна ($r = 0,21 \pm 0,18$), с индексом цвета круп-

ки ($r = 0,41 \pm 0,17$), с индексом цвета макарон ($r = 0,53 \pm 0,16$) и с визуальной оценкой макарон ($r = 0,55 \pm 0,16$).

В странах Европейского Союза в процессе селекции твердой пшеницы индексу цвета зерна «b» твердой пшеницы уделяют большое внимание и предъявляют определенные требования, согласно которым этот индекс для зерна должен быть >22 единиц прибора Konica Minolta. Индекс цвета «b» характеризует востребованный на рынке желтовато-золотистый цвет зерна и в определенной мере коррелирует с его технологическим качеством. В нашей стране ученые установили, что индекс цвета зерна является основным лимитирующим показателем при интегральной оценке качества исследуемых сортов (Васенев и др., 2019).

В условиях южной зоны Ростовской области изучаемые сорта и перспективные линии озимой твердой пшеницы превысили требования, предъявляемые к европейским сортам. Значения данного признака варьировали от 22,56 единицы прибора (Алмаз Дона) до 25,41 единицы прибора (Каротинка), что свидетельствует о высоких цветовых характеристиках зерна. Достоверно превысили стандарт по этому признаку сорта Хризолит (25,04 единицы прибора) и Каротинка (25,41 единицы прибора), которые характеризовались максимальной выраженностью индекса цвета зерна «b».

Значения индекса цвета крупки «b» варьировали от 27,59 единицы прибора (Юбилярка) до 41,29 единицы прибора (971/19). Достоверно превысили стандарт по этому признаку ($НСР_{05} = 3,2$ единицы прибора) новые сорта: Придонье (36,79 единицы прибора), Графит (36,33 единицы прибора), Каротинка (34,94 единицы прибора) и перспективные линии: 951/18 (34,70 единицы прибора), 971/19 (41,29 единицы прибора) и 1147/19 (38,08 единицы прибора).

Корреляционный анализ позволил установить, что индекс цвета «b» крупки положительно коррелировал с индексом цвета «b» макарон ($r = 0,77 \pm 0,12$) и с визуальной оценкой цвета макарон ($r = 0,46 \pm 0,17$).

Выраженность индекса цвета «b» готовых макаронных изделий озимой твердой пшеницы изменялась от 31,75 единицы прибора (Юбилярка) до 42,43 единицы прибора (971/19).

Достоверно превысили стандарт ($НСР_{05} = 2,0$ единицы прибора) по этому признаку почти все изучаемые сорта и линии, исключение составили Диона (33,48 единицы прибора), Юбилярка (31,75 единицы прибора), Эллада (33,43 единицы прибора) и линия 1037/17 (33,54 единицы прибора) (табл. 3).

Таблица 3. Выраженность цветовых характеристик зерна, крупки и макаронных изделий сортов и линий озимой твердой пшеницы (2020–2022 гг.)
Table 3. The severity of color characteristics of grain, semolina and pasta of winter durum wheat varieties and lines (2020–2022)

Сорт/линия	Индекс цвета «b» зерна, единицы прибора	Индекс цвета «b» крупки, единицы прибора	Индекс цвета «b» макарон, единицы прибора	Цвет макарон (глазомерная оценка), балл
Кристелла, st	24,61	31,46	32,09	3,8
Диона	23,59	30,54	33,48	4,0
Яхонт	22,75	29,84	35,16	4,8
Юбиларка	22,96	27,59	31,75	3,7
Янтарина	23,43	28,48	34,87	4,0
Услава	24,17	30,15	34,48	4,7
Лакомка	23,88	30,93	34,77	5,0
Динас	23,44	28,19	35,83	4,3
Солнцедар	23,29	31,47	37,38	5,0
Алмаз Дона	22,56	31,45	36,94	4,8
Эллада	22,81	29,07	33,43	4,3
Хризолит	25,04	34,30	35,47	4,7
Придонье	24,00	36,79	38,86	4,8
461/16	23,49	27,96	35,80	4,3
483/17	23,52	30,22	35,63	4,5
1037/17	22,68	31,82	33,54	3,7
561/18	23,60	34,20	35,09	4,7
Каротинка	25,41	34,94	38,59	5,0
951/18	24,35	34,70	36,77	4,2
969/18	23,35	33,78	34,35	4,0
536/19	23,14	31,64	36,99	4,5
953/19	23,02	35,61	38,97	4,8
971/19	24,30	41,29	42,43	4,8
1174/19	24,56	33,67	35,96	4,0
1147/19	23,96	38,09	40,57	5,0
Графит	24,59	36,33	41,56	5,0
1264/19	23,48	32,56	37,86	4,5
1273/19	23,73	31,16	35,97	4,0
1321/19	23,85	31,10	36,20	4,7
НСР ₀₅	0,7	3,2	2,0	0,6

Максимальной выраженностью признака «индекс цвета b макарон» характеризовались сорт Графит (41,56 единицы прибора) и линии 971/17 (42,43 единицы прибора), 1147/19 (40,57 единицы прибора).

Визуальная оценка цвета макаронных изделий широко применяется в селекционной практике при оценивании цвета готовых сухих изделий, однако она весьма субъективна и зависит от опыта исследователя, оценивающего материал. Значения цвета изучаемых сортов варьировали от 3,8 до 5 баллов. Достоверно превысили стандарт (НСР₀₅ = 0,6 балла) сорта Лакомка (5 баллов), Услава (4,7 балла), Солнцедар (5 баллов), Алмаз Дона (4,8 балла), Хризолит (4,7 балла), Придонье (4,8 балла), Графит (5 баллов), Каротинка (5 баллов) и линии 483/17 (4,5 балла), 561/18 (4,7 балла), 536/19 (4,5 балла), 953/19 (5 баллов), 971/19 (5 баллов), 1147/19 (5 баллов), 1264/19 (4,5 балла) и 1321/19 (4,7 балла).

В результате проведенного корреляционного анализа выявлена достоверная положительная средняя взаимосвязь между визуальной оценкой цвета макарон и индексом цвета b макарон ($r = 0,69^* \pm 0,14$).

Выводы. Проведенные исследования позволили установить, что цвет крупки и готовых макаронных изделий в значительной степени зависит от генотипа. На формирование общей стекловидности зерна, определяемый с помощью Konica Minolta, основное влияние оказывают условия выращивания. Выраженность признака «содержание каротиноидных пигментов» зависит и от генотипа, и от года исследований, и от взаимодействия этих факторов.

Рекомендуем расширение производственных посевов сортов озимой твердой пшеницы Графит и Каротинка. Особенно хочется выделить новый сорт Графит, который выделился по стекловидности зерна (94 %), содержанию каротиноидных пигментов (733 Мкг/%), цвету зерна «b» (24,59), крупы «b» (36,33) и макаронных изделий «b» (41,56).

Перспективные линии 971/19 и 1147/19 и сорт Солнцедар рекомендуем использовать в селекционном процессе в качестве источников высоких цветовых характеристик зерна, крупы и макаронных изделий.

Библиографические ссылки.

1. Васенев И.И., Бесалиев И.Н., Мальчиков П.Н., Шутарева Г.И., Джанчаров Т.М., Морев Д.В., Ярославцев А.М., Курашов М.Ю. Анализ лимитирующих агроэкологических факторов урожайности и качества твердой пшеницы в засушливых условиях // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33, № 12. С. 30–37. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11206
2. Коваленко С.А., Кадушкина В.П., Бирюкова О.В. Стекловидность зерна яровой твердой пшеницы в условиях севера Ростовской области // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 1(37). С. 99–104. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-1-99-104
3. Кравченко Н.С., Самофалова Н.Е., Олдырева И.М., Макарова Т.С. Характеристика сортов озимой твердой пшеницы по качеству зерна и макаронным свойствам // Зерновое хозяйство России. 2020. № 3(69). С. 26–31. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-69-3-26-31
4. 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. Т. 24, № 5. С. 501–511. DOI: 10.18699/VJ20.642
5. Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г., Чахеева Т.В. Стекловидность зерна твердой пшеницы в связи с селекцией в Среднем Поволжье // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16, № 4(64). С. 30–36. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-30-36
6. Самофалова Н.Е., Иличкина Н.П., Безуглая Т.С., Кравченко Н.С., Иванисова А.С., Кабанова Н.В., Дубинина О.А. Соприженность 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
7. Сухарев А.А., Овсянникова Г.В. Сроки внесения аммиачной селитры при возделывании мягкой озимой пшеницы Краса Дона в южной зоне Ростовской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21, № 6. С. 743–751. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.743-751
8. Boussakouran A., El Mohamed Y., El Hassan S., Taghouti M., Rharrabti Y. Quality attributes associated with breeding progress in Moroccan durum wheat released between 1984 and 2007 // Genetic Resources and Crop Evolution. 2023. Vol. 70, P. 815–824. DOI: 10.1007/s10722-022-01464-w
9. Digesù A. M., Platani C., Cattivelli L., Mangini G., Blanco A. Genetic variability in yellow pigment components in cultivated and wild tetraploid wheats // Journal of Cereal Science. 2009. Vol. 50(2), P. 210–218. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.05.002
10. Ficco D.B.M., Mastrangelo A.M., Trono D., Borrelli G.M., De Vita P., Fares C., Beleggia R., Platani C., Papa R. The colours of durum wheat: A review // Crop. Pasture Science. 2014. Vol. 65, P. 1–15. DOI: 10.1071/CP13293
11. Fu B.X., Wang K., Dupuis B., Taylor D., Nam S. Kernel vitreousness and protein content: Relationship, interaction and synergistic effects on durum wheat quality // Journal of Cereal Science. 2018. Vol. 79, P. 210–217. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.09.003
12. Kaplan Evlice, A. The effect of durum wheat genotypes on cooking quality of pasta // Eur Food Res Technol. 2022. Vol. 248, P. 815–824. DOI: 10.1007/s00217-021-03899-4
13. Magallanes-López A. M., Ammar K., Morales-Dorantes A., González-Santoyo H., Crossa J., Guzmán C. Grain quality traits of commercial durum wheat varieties and their relationships with drought stress and glutenins composition // Journal of Cereal Science. 2017. Vol. 75, P. 1–9. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.03.005
14. Schulthess A., Matus I., Schwember A. R. Genotypic and environmental factors and their interactions determine semolina color of elite genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) grown in different environments of Chile // Field Crops Research. 2013. Vol. 149, P. 234–244. DOI: 10.1016/j.fcr.2013.05.001
15. Sieber A.-N., Würschum T., Friedrich H. C. Longin Vitreosity, its stability and relationship to protein content in durum wheat // Journal of Cereal Science. 2015. Vol. 61, P. 71–77. DOI: 10.1016/j.jcs.2014.10.008
16. Tabbita F., Ortiz-Monasterio I., Piñera-Chavez F. J., Ibba M. I., Guzmán C. On-farm assessment of yield and quality traits in durum wheat // Science of Food and agriculture. 2023. Vol. 103(10), DOI: 10.1002/jsfa.12580

References

1. Vasenev I.I., Besaliev I.N., Mal'chikov P.N., Shutareva G.I., Dzhancharov T.M., Morev D.V., Yaroslavtsev A.M., Kurashov M.Yu. Analiz limitiruyushchikh agroekologicheskikh faktorov urozhainosti i kachestva tverdoi pshenitsy v zasushlivykh usloviyakh [Analysis of limiting agroecological factors of productivity and quality of durum wheat in arid conditions] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2019. T. 33, № 12. S. 30–37. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11206
2. Kovalenko S.A., Kadushkina V.P., Biryukova O.V. Steklovidnost' zerna yarovoi tverdoi pshenitsy v usloviyakh severa Rostovskoi oblasti [Spring durum wheat grain hardness in the north of the Rostov region] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2021. № 1(37). S. 99–104. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-1-99-104
3. Kravchenko N. S., Samofalova N. E., Oldyreva I. M., Makarova T. S. Kharakteristika sortov ozimoi tverdoi pshenitsy po kachestvu zerna i makaronnym svoystvam [Characteristics of winter durum wheat varieties according to grain quality and pasta properties] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 3(69). S. 26–31. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-69-3-26-31
4. Mal'chikov P. N., Myasnikova M. G., Soderzhanie zheltykh pigmentov v zerne tverdoi pshenitsy (*triticum durum* desf.): biosintez, geneticheskii kontrol', markernaya selektsiya [Content of yellow pigments in durum wheat grain (*triticum durum* desf.): biosynthesis, genetic control, marker selection] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2020. T. 24, № 5. S. 501–511. DOI: 10.18699/VJ20.642

5. Mal'chikov P.N., Myasnikova M.G., Chakheeva T.V. Steklovidnost' zerna tverdoi pshenitsy v svyazi s selektsiei v Srednem Povolzh'e [Durum wheat grain hardness in connection with breeding in the Middle Volga region] // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. T. 16, № 4 (64). S. 30–36. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-30-36
6. Samofalova N.E., Ilichkina N.P., Bezuglaya T.S., Kravchenko N.S., Ivanisova A.S., Kabanova N.V., Dubinina O.A. Sopryazhennost' priznakov kachestva zerna, krupki i makaron u pshenitsy tverdoi ozimoi [Conjugation of quality traits of grain, semolina, and pasta in winter durum wheat] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 4. S. 62–69. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-62-69
7. Sukharev A.A., Ovsyannikova G.V. Sroki vneseniya ammiachnoi selitry pri vozdeleyvanii myagkoi ozimoi pshenitsy Krasa Dona v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti [Dates of application of ammonium nitrate when cultivating winter common wheat 'Krasa Dona' in the southern part of the Rostov region] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2020. T. 21, № 6. S. 743–751. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.6.743-751
8. Boussakouran A., El Mohamed Y., El Hassan S., Taghouti M., Rharrabti Y. Quality attributes associated with breeding progress in Moroccan durum wheat released between 1984 and 2007 // Genetic Resources and Crop Evolution. 2023. Vol. 70, P. 815–824. DOI: 10.1007/s10722-022-01464-v
9. Digesù A. M., Platani C., Cattivelli L., Mangini G., Blanco A. Genetic variability in yellow pigment components in cultivated and wild tetraploid wheats // Journal of Cereal Science. 2009. Vol. 50(2), P. 210–218. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.05.002
10. Ficco D.B.M., Mastrangelo A.M., Trono D., Borrelli G.M., De Vita P., Fares C., Beleggia R., Platani C., Papa R. The colours of durum wheat: A review // Crop. Pasture Science. 2014. Vol. 65, P. 1–15. DOI: 10.1071/CP13293
11. Fu B.X., Wang K., Dupuis B., Taylor D., Nam S. Kernel vitreousness and protein content: Relationship, interaction and synergistic effects on durum wheat quality // Journal of Cereal Science. 2018. Vol. 79, P. 210–217. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.09.003
12. Kaplan Evlice A. The effect of durum wheat genotypes on cooking quality of pasta // Eur Food Res Technol. 2022. Vol. 248, P. 815–824. DOI: 10.1007/s00217-021-03899-4
13. Magallanes-López A. M., Ammar K., Morales-Dorantes A., González-Santoyo H., Crossa J., Guzmán C. Grain quality traits of commercial durum wheat varieties and their relationships with drought stress and glutenins composition // Journal of Cereal Science. 2017. Vol. 75, P. 1–9. DOI: 10.1016/j.jcs.2017.03.005
14. Schulthess A., Matus I., Schwember A. R. Genotypic and environmental factors and their interactions determine semolina color of elite genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) grown in different environments of Chile // Field Crops Research. 2013. Vol. 149, P. 234–244. DOI: 10.1016/j.fcr.2013.05.001
15. Sieber A.-N., Würschum T., Friedrich H. C. Longin Vitreosity, its stability and relationship to protein content in durum wheat // Journal of Cereal Science. 2015. Vol. 61, P. 71–77. DOI: 10.1016/j.jcs.2014.10.008
16. Tabbita F., Ortiz-Monasterio I., Piñera-Chavez F. J., Ibba M. I., Guzmán C. On-farm assessment of yield and quality traits in durum wheat // Science of Food and agriculture. 2023. Vol. 103(10), DOI: 10.1002/jsfa.12580

Поступила: 27.11.23; доработана после рецензирования: 05.02.24; принята к публикации: 05.02.24.

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. Кравченко Н.С., Костыленко Н.С. – концептуализация исследования, подготовка опыта; Игнатьева Н.Г., Иванисова А.С. – выполнение полевых/лабораторных опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация; Кравченко Н.С. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.