

УДК 631.8

СОДЕРЖАНИЕ Fe, Zn И S В ЗЕРНЕ ПОПУЛЯЦИИ ДИГАПЛОИДНЫХ ЛИНИЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ CHINESE SPRING × SQ1

© 2012 г. А.И. Аbugалиева^{1,5}, С.И. Аbugалиева², С.А. Кворри³,
Е.К. Турусбеков², И. Чакмак⁴, Т.В. Савин⁵, В.А. Ганеев⁶

¹ Казахский НИИ земледелия и растениеводства, пос. Алмалыбак, Республика Казахстан,
e-mail: kiz_abugalieva@mail.ru;

² Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Республика Казахстан,
e-mail: absaule@yahoo.com; yerlant@yahoo.com;

³ Джон Инесс Центр, Норвич, Великобритания;

⁴ Университет Сабанчи, Стамбул, Турция;

⁵ Казахский Национальный Аграрный Университет, Алматы, Республика Казахстан;

⁶ НПО «Фитон», пос. Карабалык, Республика Казахстан

Поступила в редакцию 25 ноября 2011 г. Принята к публикации 23 апреля 2012 г.

Картирующая популяция, состоящая из 95 дигаплоидных линий (ДГЛ) мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L., созданных с участием сорта Chinese Spring (CS) и линии SQ1, исследованных по признакам качества зерна в условиях полива и богары юго-востока Казахстана (1998–2008 гг., КазНИИЗиР), охарактеризована по содержанию Fe, Zn и S в зерне. Установлена амплитуда изменчивости этих элементов в зерне пшеницы популяции CS × SQ1, предоставляющая реальную возможность для определения локусов количественных признаков питательных свойств (Zn и Fe), в дополнение к анализу агрономических показателей и засухоустойчивости (Quaggié *et al.*, 2005), технологических показателей качества зерна (Abugaliev *et al.*, 2008). Выделены линии со стабильно высоким содержанием Fe и Zn на богаре и поливе, перспективные для биофортификационного сырья из зерна яровой пшеницы в условиях Казахстана. Выявлены коэффициенты корреляции между содержанием Zn и белка в зерне, имеющие агрономическое значение.

Ключевые слова: мягкая пшеница, Fe, Zn, S, дигаплоидные линии.

В середине 1990-х гг. рядом международных организаций в странах Центральной Азии и в Казахстане впервые были проведены медико-демографические исследования, которые выявили высокий уровень железодефицитной анемии среди населения (38–60 %). Казахстан ежегодно теряет до 1,2 % своего ВВП из-за проблемы дефицита железа и йода (источник: UNICEF/Micronutrient Initiative 2004).

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), около 2 млрд населения испытывает дефицит ключевых микроэлементов, таких, как Zn и Fe, который может быть восполнен за счет ежедневного потребления полноценных продуктов (Welch, 2002). Одним из источников этих важных элементов является

зерно пшеницы (Graham *et al.*, 2001) определенного технологического качества. Известен статус S (содержание S и соотношение N:S) как важного фактора, влияющего на хлебопекарные качества муки, находящегося в лимите на втором месте после N. Уровень Fe и Zn в современных сортах относительно невысок (Савин и др., 2007; Morgunov *et al.*, 2007). Проблема может быть разрешима на основе использования современных молекулярно-генетических подходов по идентификации генов, контролирующей регуляцию содержания данных питательных элементов и соответственно качества зерна.

Цель данной работы – изучить дигаплоидные линии мягкой пшеницы по содержанию Fe, Zn, и S в качестве источников биофортификационного

и технологичного сырья как основы генетического анализа содержания Fe, Zn и S.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал исследований – популяция, состоящая из 95 дигиплоидных линий (ДГЛ) мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L., созданных с участием сорта Chinese Spring (CS) и линии SQ1 (Quarrie, 1987), изучаемых по признакам качества зерна в условиях полива и богары юго-востока Казахстана (1998–2008 гг., КазНИИЗиР). Изучаемые линии высевали в 2007 и 2008 гг. на селекционном участке НПФ «Фитон» в Карабалыкском районе Костанайской области (селекционер В.А. Ганеев) по черному пару в оптимальный для зоны срок – 20 мая. Делянки трехрядные, длиной 1,5 м и шириной междурядий 60 см, повторность двукратная. Стандарт – сорт Любава 5 (Фитон 156).

Объем аналитического материала позволил оценить генетический потенциал качества зерна по индексу твердозерности, составу ВМС и НМС (высоко- и низкомолекулярных субъединиц) глютеина и наличию 1В/1R транслокации, как описано ранее (Abugalieva, Pena, 2010), и состояние протеинового комплекса по всем линиям популяции. Качество муки и хлеба оценены по композитным образцам для каждой линии с достаточным объемом материала для 73 из 95 ДГЛ.

Индекс твердозерности определяли на приборе SKCS 4100 *Perten Instrument*; содержание протеина, глиаина и глютеина в зерне определяли методом Кьельдаля, в том числе на ИК-анализаторе по разработанным нами уравнениям (Абугалиева А.И., Абугалиева С.И., 2006); показатель седиментации муки оценивали по коэффициенту набухания в 2 %-й уксусной кислоте. Идентификация линий осуществлена по компонентному составу глиаина и составу субъединиц глютеина (Перуанский и др., 1996; Abugalieva, Pena, 2010).

Содержание клейковины и ее качество определяли согласно ИСО 7495, 1990 и ГОСТ 13586.1-68; белизну муки – согласно ГОСТ РФ 26361-84; содержание амилозы – йодометрическим методом (Перуанский и др., 1996); физические свойства муки и теста – по данным приборов «Alveolink» (Shopen) – ГОСТ 28795-90 и

фаринографа (Brabender). Хлебопекарная оценка осуществлена по данным выпечки безопасным методом. Математическая обработка данных осуществлена методом кластерного анализа, анализа ГС-взаимодействий и вычислением интегральной оценки с использованием программных средств, описанных В.Н. Савиным с соавт. (1998) по алгоритму С.П. Мартынова.

Содержание элементов в зерне и в муке определены методами атомной адсорбции и спектральным – индуктивно плазменно-атомной эмиссионной спектрометрии (ICP-AES, Varian) на базе Сабанчи Университета г. Стамбул, Турция (Сакмак, 1999).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание Fe в зерне дигиплоидных линий варьировало в пределах 40–70 мг/кг в условиях полива, 42–72 мг/кг в условиях богары (КИЗ, 1998–2008) и 36–64 мг/кг богары (Костанай, 2007–2008); содержание Zn от 34 до 74 мг/кг на поливе против 35–56 мг/кг (КИЗ, богара) и 38–68 мг/кг (Костанай) соответственно. Содержание S варьировало в большей степени на поливе от 1522 до 2616 мг/кг и в очень близких значениях для богары разных регионов: от 1642 до 2160 мг/кг в условиях КИЗа и от 1612 до 2171 мг/кг в условиях Костаная (табл. 1).

В целом в условиях полива около 52 % линий характеризовались содержанием Fe в зерне от 51 до 60 мг/кг, а свыше 61 мг/кг отмечено для 19 % ДГЛ линий (рис. 1). Согласно результатам исследований по биофортификации пшеницы программы «Hurvest Plus», целевой уровень содержания Fe и Zn составляет 60 мг/кг (Welch, 2002).

Данные линии представляют собой ценный исходный материал для биофортификационного сырья, особенно линии, стабильно формирующие содержание Fe как в условиях полива, так и богары: ДГЛ-1 (70 и 60 мг/кг); ДГЛ-3 (63 и 60 мг/кг); ДГЛ-9 (63 и 61 мг/кг); ДГЛ-41 (61 и 69 мг/кг); ДГЛ-54 (67 и 60 мг/кг). Линии с высоким содержанием Fe в зерне, полученном в условиях полива, ДГЛ-20 (69 мг/кг); ДГЛ-40 (72 мг/кг); ДГЛ-44 (65 мг/кг); ДГЛ-64 (65 мг/кг) и ДГЛ-61 (64 мг/кг) отнесены к перспективным для интенсивного типа. Напротив, для условий богары выделены линии ДГЛ-46 и ДГЛ-41, характеризующиеся повышенным содержанием

Таблица 1

Диапазон изменчивости содержания микро- и макроэлементов
линий популяции CS × SQ1 в условиях полива и богары

| | Полив, КИЗ (1998–2008) | | | Богара, КИЗ (1998–2008) | | | Костанай (2007–2008) | | |
|----|---------------------------|------|---------|----------------------------|------|---------|-------------------------|------|---------|
| | min | max | среднее | min | max | среднее | min | max | среднее |
| S | 1522 | 2616 | 1954 | 1642 | 2160 | 1914 | 1612 | 2171 | 1925 |
| Fe | 40 | 70 | 54 | 42 | 72 | 51 | 36 | 64 | 51 |
| Zn | 34 | 74 | 55 | 35 | 56 | 45 | 38 | 68 | 52 |

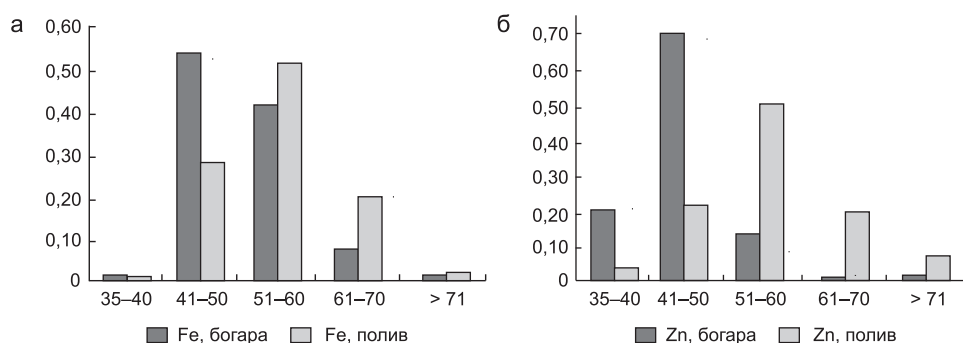


Рис. 1. Распределение ДГЛ по содержанию Fe (а) и Zn (б) в условиях богары и полива.

Fe в сравнении с данными по поливу (62 мг/кг и 69 мг/кг соответственно).

Стабильно пониженным содержанием Fe в зерне характеризовались линии ДГЛ-35 (45–47 мг/кг); ДГЛ-37 (46–47 мг/кг); ДГЛ-38 (40–45 мг/кг); ДГЛ-51 (45–44 мг/кг); ДГЛ-57 (46–48 мг/кг) и ДГЛ-70 (42–45 мг/кг).

В условиях Костанайской области диапазон изменчивости содержания Fe в зерне оказался на близком уровне с линиями, выращенными в Алматинской области – 36–64 мг/кг против 40–72 мг/кг соответственно. На уровне > 60 мг/кг Fe в зерне выявлено 4 линии: ДГЛ-16, ДГЛ-3, ДГЛ-39 и ДГЛ-35. Линия ДГЛ-3 подтверждает высокие и стабильные значения по содержанию Fe, выявленные нами ранее в условиях Алматинской области. Вся коллекция характеризовалась высоким фоном содержания Fe на уровне 46 мг/кг против 36–38 мг/кг для сорта-стандарта Любава с очень высокой долей генотипов (79 % из всех исследованных генотипов) с селективно значимым содержанием Fe > 50 мг/кг.

Содержание Zn в условиях полива также было высоким у 25 % всех линий, у которых

значения этого показателя превышали 61 мг/кг (рис. 1). Среди них выделены линии с устойчиво высоким содержанием – ДГЛ-61 (72–52 мг/кг) и ДГЛ-63 (62–52 мг/кг); устойчиво низким содержанием Zn – ДГЛ-38 (34–37 мг/кг) и стабильным содержанием – ДГЛ-5 (56–54 мг/кг), ДГЛ-35 (57–51 мг/кг) и ДГЛ-46 (52–55 мг/кг).

В условиях полива по содержанию Zn доминировали линии ДГЛ-1; ДГЛ-3; ДГЛ-20; ДГЛ-44; ДГЛ-60 и ДГЛ-64 (65–70 мг/кг). Стабильно низкое содержание Zn было характерно для ДГЛ-38 (34–37 мг/кг), синхронно с низким содержанием Fe и протеина (табл. 2).

Дисперсионный анализ взаимодействий «генотип–среда» позволил выявить детерминированность содержания Fe генотипом на 46–69 % в условиях богара/регион и полив/богара в одном регионе (табл. 3) и взаимодействием генотип–среда 18–50 % соответственно.

Содержание Zn для данного растительного материала также в большей степени (на 54–64 %) определяется генотипом и изменением водного режима, чем изменением региона (28 % и 5 % соответственно). Как и в случае с содержанием

Таблица 2

Максимальные значения для первых 10 ДГЛ с самым высоким уровнем содержания Fe и Zn

| Ранг | Содержание Fe | | | | | | Содержание Zn | | | | | |
|------|---------------|-------|----------------|-------|------------------|-------|---------------|-------|----------------|-----------|------------------|-------|
| | Полив, Алматы | | Богара, Алматы | | Богара, Костанай | | Полив, Алматы | | Богара, Алматы | | Богара, Костанай | |
| | ДГЛ | мг/кг | ДГЛ | мг/кг | ДГЛ | мг/кг | ДГЛ | мг/кг | ДГЛ | мг/кг | ДГЛ | мг/кг |
| 1 | 1 | 70 | 40 | 72 | 16 | 64 | 54 | 74 | 54 | 56 | 3 | 68 |
| 2 | 20 | 69 | 41 | 69 | 3 | 63 | 61 | 72 | 46 | 55 | 39 | 64 |
| 3 | 54 | 67 | 46 | 62 | 39 | 61 | 52 | 71 | 5 | 54 | 35 | 62 |
| 4 | 64 | 65 | 9 | 61 | 35 | 60 | 44 | 70 | 105 | 52 | 16 | 61 |
| 5 | 44 | 65 | 3 | 60 | 19 | 59 | 20 | 66 | 61 | 52 | 2 | 59 |
| 6 | 61 | 64 | 54 | 60 | 12 | 58 | 64 | 66 | 63 | 52 | 87 | 59 |
| 7 | 3 | 63 | 1 | 59 | 2 | 57 | 1 | 65 | 35 | 51 | 28 | 58 |
| 8 | 9 | 63 | 5 | 57 | 28 | 55 | 3 | 65 | 3 | 50 | 19 | 57 |
| 9 | 41 | 61 | 14 | 54 | 128 | 55 | 60 | 63 | 14 | 50 | 33 | 54 |
| 10 | 56 | 61 | 32 | 54 | 17 | 52 | 63 | 62 | 94 | 50 | 12 | 52 |

Fe, по Zn значительно влияние взаимодействия генотипа и среды (16–28 %).

Линии 14, 32, 34, 46 и 94 по содержанию Zn и Fe, соответствующие 1–10-му рангу в условиях богары, характеризовались наивысшим содержанием клейковины (Абугалиева А.И., Абугалиева С.И., 2006); линии ДГЛ 34 и ДГЛ 63 – самым высоким качеством клейковины; линии ДГЛ-14, ДГЛ-32, ДГЛ-34 вошли в первую десятку по седиментации; линии ДГЛ-64 и ДГЛ-46 – по амилозе (в условиях богары и полива); линии ДГЛ-64, ДГЛ-105 и ДГЛ-9 – по белизне муки; линии ДГЛ-94, ДГЛ-32, ДГЛ-56, ДГЛ-54 – по водопоглотительной способности; ДГЛ-32, ДГЛ-34, ДГЛ-94 – по разжижению теста; линии ДГЛ-9, ДГЛ-32 – по смесиленной ценности; линия ДГЛ-56 – P/L (табл. 4).

Известно, что содержание белка в зерне и его качество в значительной степени подвержены изменчивости в зависимости от условий выращивания. По данным анализа взаимодействий генотип–среда (ГС) содержание белка в зерне детерминировано генотипом на 22 %; средой – 6 % и их взаимодействием – 72 % (Абугалиева, Буць, 2010). В связи с этим селективную значимость имеют образцы не просто с максимальным проявлением признаков качества, но и их стабильностью. При этом

основополагающий для качества зерна вопрос о количестве и качества белка связан также со стабильностью его формирования в различных условиях года вегетации. Ранее продемонстрировано распределение генотипов ДГЛ по зонам стабильности формирования протеина (Абугалиева А.И., Абугалиева С.И., 2006). Как и в случае с урожайностью, линии распределились по границе параболы, представляя собой весь спектр изменчивости по содержанию протеина и его стабильности. В качестве стабильно высокопластичных можно выделить лишь сорт CS и линию ДГЛ-47 без учета левой границы достоверности по λ и дополнительно линии 28, 61, 90, 96.

Известно, что качество белка зависит от содержания дисульфидных связей и в целом от содержания серы (Randall, Wrigley, 1986; Абугалиева и др., 1987). Анализ ДГЛ-линий позволил выявить повышенное содержание S (более 2000 мг/кг) в сравнении с районированными сортами яровой пшеницы в Казахстане (Абугалиева и др., 2010). Причем выявлены линии, стабильно формирующие высокий уровень S (ДГЛ-9; ДГЛ-54) во всех условиях. Линия ДГЛ-128 характеризовалась высокими значениями содержания S только в условиях богары (табл. 5). Проведенный анализ взаи-

Таблица 3

Влияние факторов генотипа, условий среды и их взаимодействий на содержание Fe и Zn в зерне ДГЛ

| Статистические показатели | КИЗ | | Богара | |
|--|----------|-----------|--------|-------------|
| | полив Fe | богара Zn | КИЗ Fe | Костанай Zn |
| Для фактора А (генотип) | | | | |
| Доля участия фактора, % | 68,806 | 54,127 | 46,133 | 63,995 |
| Ошибка опыта, мг/кг | 0,690 | 0,618 | 0,613 | 0,620 |
| Относительная ошибка опыта (точность опыта), % | 1,283 | 1,199 | 1,185 | 1,233 |
| Ошибка разности средних, мг/кг | 0,975 | 0,874 | 0,867 | 0,876 |
| НСР (НСР-95 %), мг/кг | 1,912 | 1,712 | 1,717 | 1,735 |
| НСР (НСР-95 %), % | 3,557 | 3,325 | 3,317 | 3,452 |
| Для фактора В (условия) | | | | |
| Доля участия фактора, % | 11,0 | 28,274 | 0,804 | 5,455 |
| Ошибка опыта, ц/га | 0,184 | 0,165 | 0,189 | 0,191 |
| Относительная ошибка опыта (точность опыта), % | 0,343 | 0,321 | 0,366 | 0,381 |
| Ошибка разности средних, ц/га | 0,261 | 0,233 | 0,268 | 0,270 |
| НСР (НСР-95 %), ц/га | 0,511 | 0,458 | 0,530 | 0,535 |
| НСР (НСР-95 %), % | 0,951 | 0,889 | 1,024 | 1,065 |
| Для взаимодействия АВ | | | | |
| Доля участия взаимодействия | 17,705 | 16,050 | 50,250 | 27,715 |
| Ошибка опыта, ц/га | 0,975 | 0,874 | 0,867 | 0,876 |
| Относительная ошибка опыта (точность опыта), % | 1,815 | 1,696 | 1,675 | 1,744 |
| Ошибка разности средних, ц/га | 1,379 | 1,235 | 1,226 | 1,239 |
| НСР (НСР-95 %), ц/га | 2,703 | 2,421 | 2,428 | 2,454 |
| НСР (НСР-95 %), % | 5,031 | 4,702 | 4,691 | 4,883 |

модействий генотип–среда показал, что вклад генетического фактора в содержание S в зерне достигал 94 % (табл. 5).

Таким образом, амплитуда изменчивости содержания Fe и Zn в зерне пшеницы популяции CS × SQ1 предоставила реальную возможность для определения локусов количественных признаков по данным показателям, в дополнение к агрономическим, засухоустойчивости (Quarrie *et al.*, 2005) и качеству зерна (Abugaliev *et al.*, 2008).

Генетическое картирование обнаруженных вариаций содержания Fe, Zn, S, твердозерности и др. показателей позволит осуществлять (MAS)

маркерную селекцию злаковых на питательные и технологические качества.

Селекционная ценность ДГЛ по урожайности и качеству зерна детально охарактеризована в условиях Алматинской области при разных водных режимах (Аbugалиева А.И., Аbugалиева С.И., 2006; Abugalijeva S.I. *et al.*, 2007). Основной ареал возделывания яровой пшеницы в Казахстане – Северный регион, в связи с чем изучен материал в условиях Костанайской области, ТОО «Фитон». Наиболее адаптивным при общей селекционной оценке оказался образец ДГЛ-33 (высокостебельный, с хорошим кущением и средним по крупности

Таблица 4

Максимальные значения для первых 10 ДГЛ
с самым высоким уровнем признаков качества (технологического и питательного)

| 1–10 ранг | Клейковина | | ИДК | | Седиментация | | Амилоза | | Белизна | |
|--------------|------------|------|-----|-----|--------------|-----|---------|------|---------|------|
| | ДГЛ | % | ДГЛ | ед. | ДГЛ | мл. | ДГЛ | % | ДГЛ | ед. |
| 1 | 14 | 68,8 | 39 | 55 | 10 | 88 | 36 | 26,4 | 33 | 69,8 |
| 2 | 58 | 64,0 | 34 | 60 | 13 | 86 | 23 | 26,4 | 64 | 69,0 |
| 3 | 32 | 63,2 | 67 | 70 | 32 | 84 | 43 | 25,1 | 36 | 68,7 |
| 4 | 46 | 62,8 | 86 | 70 | 33 | 85 | 2 | 24,8 | 11 | 68,3 |
| 5 | 34 | 62,0 | 90 | 70 | 58 | 84 | 64 | 24,4 | 87 | 67,6 |
| 6 | 47 | 62,0 | 96 | 70 | 90 | 82 | 15 | 23,6 | 17 | 67,3 |
| 7 | 94 | 62,0 | 10 | 75 | 14 | 80 | 19 | 23,6 | 90 | 67,2 |
| 8 | 17 | 60,8 | 23 | 75 | 99 | 79 | 21 | 23,6 | 105 | 67,0 |
| 9 | 92 | 60 | 63 | 75 | 34 | 85 | 46 | 23,1 | 9 | 66,8 |
| 10 | 51 | 60 | – | – | 105 | 79 | – | – | 71 | 66,2 |

Таблица 5

Максимальные значения для первых 10 ДГЛ
с самым высоким уровнем содержания S в зерне

| Ранг 1–10 | Полив, Алматы | | Богара, Алматы | | Богара, Костанай | |
|-----------|---------------|------|----------------|-------|------------------|------|
| | ДГЛ | S | ДГЛ | S | ДГЛ | S |
| 1 | 56 | 2616 | 54 | 2160 | 39 | 2171 |
| 2 | 23 | 2590 | 128 | 2137 | 35 | 2123 |
| 3 | 54 | 2223 | 9 | 2123 | 128 | 2105 |
| 4 | 29 | 2158 | SQ 1 | 21110 | 9 | 2059 |
| 5 | 62 | 2150 | 34 | 2083 | 54 | 2022 |
| 6 | 53 | 2142 | 94 | 2070 | 2 | 1972 |
| 7 | 39 | 2111 | 14 | 2066 | 16 | 1965 |
| 8 | 15 | 2099 | 41 | 2063 | 3 | 1961 |
| 9 | 44 | 2098 | 63 | 2042 | | |
| 10 | | | 40 | 2038 | | |

колосом). Далее можно выделить линии ДГЛ-2 (среднестебельная с рыхлым колосом), ДГЛ-3 (короткостебельная с хорошим кущением), ДГЛ-90 (достаточно высокая с крупным колосом, но поздняя), ДГЛ-128 (короткостебельная с тонкой соломиной, хорошим кущением, но с мелким колосом и жестким обмолом). Кроме ДГЛ-128 они представлены разновидностью *eritrospermum*.

По результатам изучения линий в 2008 г. в НПФ ТОО «Фитон» выделены ДГЛ-3, ДГЛ-90, ДГЛ-28 и ДГЛ-33. Для линии ДГЛ-90 подтверждается главный недостаток для возделывания на севере республики – более длинный вегетационный период по сравнению с другими образцами.

Образец ДГЛ-2, один из лучших по габитусу, оказался склонным к сильному осыпанию зерна

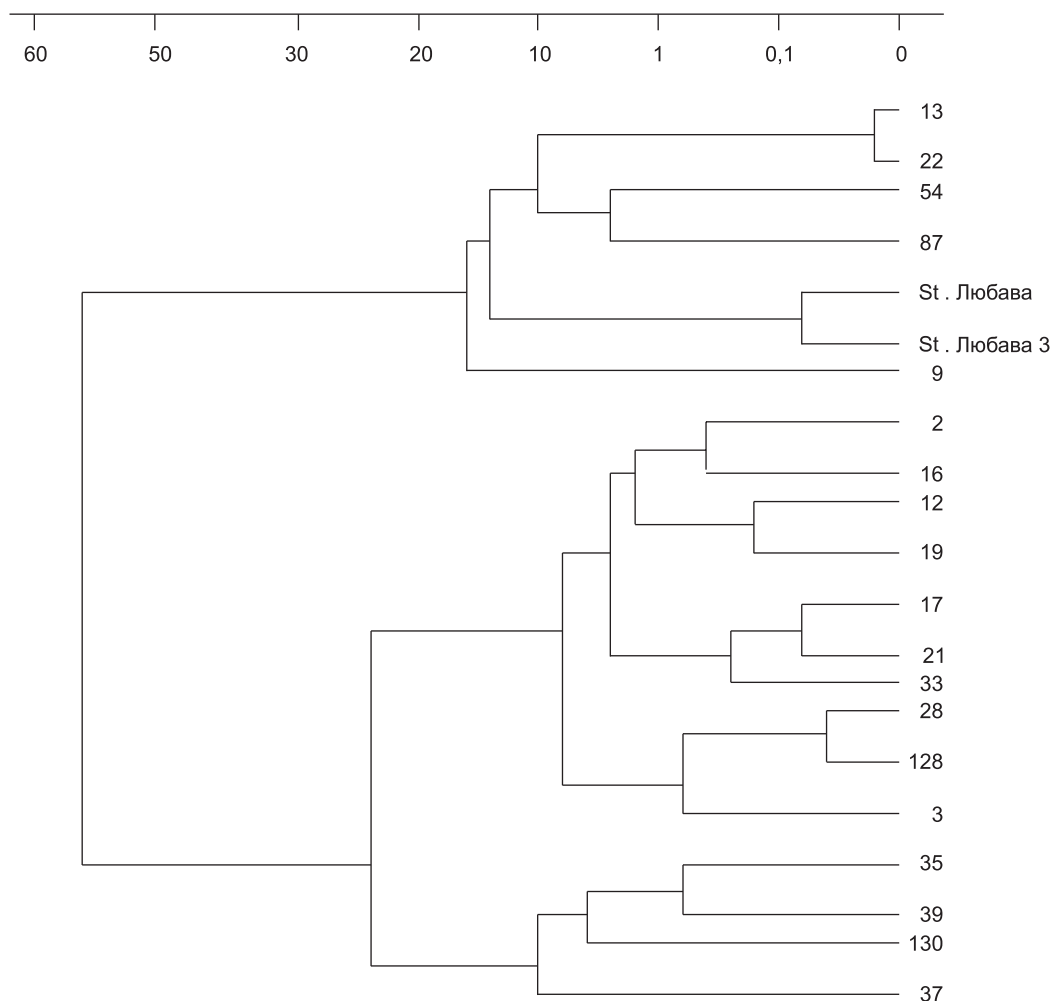


Рис. 2. Дендрограмма сходства–различий дигиплоидных линий CS × SQ1 по минеральному составу зерна (Костанай, 2008).

на корню. Учитывая установленную биофортификационную значимость данного материала (Abugaliev *et al.*, 2008), важно продолжить изучение выделенных образцов, которые по минеральному составу (рис. 2) в большей степени отличаются от стандартных для данного региона сортов (кластер 1).

Таким образом, обнаруженная амплитуда вариабельности содержания Fe, Zn и S в зерне мягкой пшеницы CS × SQ1 позволяет определить локусы количественных признаков по данным показателям с учетом специфичности их формирования в различных условиях водообеспеченности.

Выделены линии со стабильно высоким содержанием Fe и Zn на богаре и поливе, перспективные для биофортификационного сырья из зерна яровой мягкой пшеницы в условиях Казахстана.

ЛИТЕРАТУРА

- Аbugалиева А.И., Аbugалиева С.И. Качество зерна, муки и хлеба дигиплоидных линий мягкой пшеницы // Биотехнология. 2006. № 3. С. 47–58.
- Аbugалиева А.И., Буць А.А. Содержание протеина в зерне сортов яровой мягкой пшеницы Казахстана: процент, диапазон и класс // Вестник с.-х. наук Казахстана. 2010. № 6. С. 5–7.
- Аbugалиева А.И., Надиров Б.Т., Перуанский Ю.В. Сходство и различие биотипов пшеницы по содержанию дисульфидных связей в глиадине // Изв. АН КазССР. Сер. Биол. Алма-Ата, 1987. № 3. С. 35–37.
- Перуанский Ю.В., Аbugалиева А.И., Савин В.Н. Методы биохимической оценки коллекционного и селекционного материала / Под ред. Ю.В. Перуанского. Алматы, 1996. 123 с.
- Савин В.Н., Аbugалиев И.А., Аbugалиева А.И. Оптимизация аналитических исследований в растениеводстве // Докл. РАСХН. 1998. № 2. С. 13–15.
- Савин Т.В., Аbugалиева А.И., Чакмак И. Характеристика зерна и муки озимой мягкой пшеницы по содержанию

- Fe и Zn // Исследования, результаты. Алматы, 2007. № 3. С. 14–20.
- Abugalieva A., Pena R.J. Grain quality of spring and winter wheat in Kazakhstan // *J. Asian and Austral. Plant Sci. Biotech.* V. 4. (Special Issue 1). 2010. P. 87–90.
- Abugalieva A.I., Abugalieva S.I., Quarrie S.A. *et al.* The content of the microelements in DHL of CS Ч SQ1 under the two water regiments in South-East of Kazakhstan / Eds R. Apells, R. Eastwood, E. Lagudah *et al.* // Proc. of the 11th Intern. Wheat Genet. Symp. 24–29 August 2008, Brisbane QLD, Australia, 373.
- Abugalijeveva S.I., Quarrie S., Abugalijeveva A.I., Turuspekov Ye.K. Identification of QTLs for grain quality traits in bread wheat // *Plant and Anim. Genomes XV Conf.*, San-Diego, USA, 13–17 January 2007. P. 171.
- Chakmak I. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways // *Plant Soil.* 1999. V. 247. P. 3–24.
- Graham R.D., Welch R.M., Bouis H.E. Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: principles, perspectives and knowledge gaps // *Adv. Agron.* 2001. V. 70. P. 77–142.
- Morgunov A.I., Gomez-Becerra H.F., Abugalieva A.I. *et al.* Iron and Zinc grain density in common wheat grown in Central Asia // *Euphytica.* 2007. V. 155. P. 193–203.
- Quarrie S.A. Use of genotypes in endogenous abscisic acid levels in studies on physiology and development // Eds G.V. Hoad, J.R. Lenton, M.B. Jackson, R.K. Atkin. *A Critical Appraisal.* Butterworths, London, 1987. P. 89–105.
- Quarrie S.A., Steed A., Calestani C. *et al.* A high-density genetic map of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) from the cross *Chinese Spring* × *SQ1* and its use to compare QTLs for grain yield across a range of environments // *Theor. Appl. Genet.* 2005. V. 110. P. 865–880.
- Randall P.J., Wrigley C.W. Effects of sulfur supply on the yield, composition, and quality of grain from cereals, oilseeds, and legumes // *Adv. Cereal Sci. Technol.* 1986. V. 8. P. 171–206.
- Welch R.M. The impact of mineral nutrients in food crops on global human health // *Plant Soil.* 2002. V. 247. P. 83–90.

Fe, Zn AND S CONTENT IN DOUBLED HAPLOID LINES OF CHINESE SPRING × SQ1 WHEAT POPULATION

A.I. Abugalieva^{1,5}, S.I. Abugalieva², S.A. Quarrie³, E.K. Turuspekov²,
I. Chakmak⁴, T.V. Savin⁵, V.A. Ganeev⁶

¹ Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Industry, Almalybak, Kazakhstan,
e-mail: kiz_abugalieva@mail.ru;

² Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: absaule@yahoo.com, yerlant@yahoo.com;

³ John Inness Center, Norwich, United Kingdom;

⁴ Sabanchi University, Istanbul, Turkey;

⁵ Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan;

⁶ NPO Fiton, Karabalyk v., Kazakhstan

Summary

A mapping population of 95 doubled haploid lines of wheat *Triticum aestivum* L., raised by crosses between cultivar Chinese Spring (CS) and line SQ1, was grown in irrigated and rainfed conditions of South-East Kazakhstan (1998–2008 years), studied for grain quality traits, and characterized for Fe, Zn, and S content in grains. In addition to previous studies associated with grain productivity and drought stress tolerance (Quarrie *et al.*, 2005) and grain quality traits (Abugalieva *et al.*, 2008), the range of variation in micronutrient contents in wheat grains of the CS × SQ1 doubled haploid population provides an excellent opportunity for identification of quantitative trait loci that control the amounts of Fe, Zn, and S in grains. Doubled haploid lines with stable high content of Fe and Zn grown in irrigated and rainfed conditions were obtained on the base of the referred work. The lines can be used in biofortification of spring wheat in Kazakhstan. The results reveal significant correlation indices between Zn and protein contents in grains. They may be important in local breeding programs for the improvement of productivity and grain quality.

Key words: common wheat, Fe, Zn, S, doubled haploid lines.