

УДК 633.111.1+547.458.6

СОДЕРЖАНИЕ И КАЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ КРАХМАЛА В ОБРАЗЦАХ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

© *О.Г. Смирнова^{1*}, В.Г. Гольдштейн², Л.П. Носовская², Л.В. Адикаева², Л.А. Вассерман³,
А.В. Симонов¹, Т.А. Пшеничникова¹*

¹ *Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики
Сибирского отделения РАН, пр. Академика Лаврентьева, 10, Новосибирск,
630090, Россия*

² *Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала
и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал Федерального
исследовательского центра картофеля им. А.Г. Лорха, ул. Некрасова, 11,
Красково, 140051, Россия*

³ *Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, ул. Косыгина, 4,
Москва, 119334, Россия, planta@bionet.nsc.ru*

Крахмал является одним из основных компонентов эндосперма пшеницы и используется в производстве пищевых и непищевых продуктов. Состав и содержание крахмала во многом определяет качество муки в хлебопечении. Генотип и условия среды влияют на количество и качественный состав крахмала и на соотношение различных типов крахмальных гранул в эндосперме пшеницы. В данной работе было изучено качественное и количественное содержание клейковины, крахмала и его фракций в зерне твердозерных и мягкозерных образцов пшеницы для оценки вариабельности признаков. Цельносмолотая мука была разделена на клейковину, крахмал и пищевые волокна методом «завод на столе». Выделенный крахмал был разделен на фракции А и Б. Крахмальные гранулы были изучены с помощью лазерной сканирующей микроскопии для установления их размеров. Проведенный анализ показал, что донорами повышенного содержания крахмала А могут быть твердозерный сорт Новосибирская 67 и мягкозерный сорт Голубка, а крахмала Б – гибридные линии SSL-1, SSL-2 и Родина-М1. У изученных образцов доля мелких крахмальных гранул (<10 мкм) была связана со структурой эндосперма зерна.

Ключевые слова: пшеница, крахмал А, крахмал Б, амилоза, размер крахмальных гранул.

Для цитирования: Смирнова О.Г., Гольдштейн В.Г., Носовская Л.П., Адикаева Л.В., Вассерман Л.А., Симонов А.В., Пшеничникова Т.А. Содержание и качественный состав крахмала в образцах мягкой пшеницы // Химия растительного сырья. 2024. №1. С. 94–101. DOI: 10.14258/jcprm.20240113182.

Введение

Крахмал является одним из основных компонентов эндосперма пшеницы, на долю которого приходится 60–75% сухой массы зерна [1]. Уникальные свойства крахмала пшеницы используются в производстве пищевых и непищевых продуктов (клея, бумаги, текстиля, пластика, биотоплива). Полученная после отделения крахмала барда используется для получения богатого белком кормового продукта или перерабатываться в экологически чистое топливо – метан и биоэтанол. Состав и содержание крахмала во многом определяет качество муки в хлебопечении.

Сорта пшеницы различаются по содержанию крахмала в зерне. Показано, что регуляция работы генов синтеза крахмала оказывает влияние на массу тысячи зерен у пшеницы [2]. Крахмал пшеницы состоит из полисахаридов: линейной амилозы (15–30%) и разветвленного амилопектина (70–85%) [1, 3]. Количество амилозы значительно влияет на физико-химические и функциональные свойства крахмала [3]. В эндосперме пшеницы крахмал упакован в виде гранул, которые различаются по размеру, форме, времени возникновения

* Автор, с которым следует вести переписку.

и физико-химическим свойствам. У пшеницы выделяют крупные А-гранулы диаметром более 10 мкм диско-видной формы и мелкие Б-гранулы диаметром менее 10 мкм округлой формы [4]. Иногда гранулы размером менее 5 мкм выделяют как отдельный тип [5]. Гранулы А, Б и самые мелкие гранулы синтезируются на четвертый, десятый и двадцать первый день после начала цветения [6]. У озимых пшениц объем гранул трех типов составляет 75, 21 и 4% от общего объема гранул крахмала соответственно [3]. Соответствующие коэффициенты вариации составили 4, 14 и 11,8%, что указывает на большую генетическую изменчивость мелких гранул [3]. Твердозерная пшеница по сравнению с мягкозерной содержит больше мелких крахмальных гранул [7]. Обнаружена вариабельность по объемному % А-гранул среди сортов мягкой пшеницы [8] и по объемному % Б-гранул (23–50%) у родственных гексаплоидных видов [4], что указывает на перспективы генетических манипуляций по созданию образцов с определенным соотношением крахмальных гранул разного типа.

Соотношение между типами крахмальных гранул непосредственно влияет на качество помола зерна, качество теста и выпечки [7, 9]. Как правило, А-гранулы имеют более высокое содержание амилозы и более низкую температуру начала желатинизации, тогда как Б-гранулы имеют более высокое содержание липидов и водопоглощающую способность [10]. Добавление крахмальных Б-гранул в муку с разным содержанием белка улучшало реологические свойства теста [11].

Распределение гранул крахмала по размерам между сортами и содержание амилозы являются важным фактором, влияющим на качество многих конечных продуктов. Мука, полученная из сортов пшеницы, не содержащих амилозу, не подходит для выпечки хлебобулочных изделий. Хлеб из нее отличается низким удельным объемом и липкой структурой мякиша. В то же время использование пшеничной муки с пониженным содержанием амилозы замедляет процесс очерствения хлеба [12].

Цель настоящей работы – изучить качественное и количественное содержание крахмала и его фракций в зерне твердозерных и мягкозерных образцов пшеницы для оценки вариабельности признаков и выделения перспективных для селекции доноров.

Экспериментальная часть

В работе использованы четыре яровых сорта и пять искусственно полученных линий (F8–F9) мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Сорт Новосибирска 67 (Н67) имеет твердозерный эндосперм и высокие физические свойства муки и теста. Лютесценс 62 и Голубка – стародавние сорта с мягкозерным эндоспермом и невысокими физическими свойствами муки и теста. Скороспелый сортообразец Чайниз Спринг (ЧС (*T. spelta* 5A)) создан на основе китайской яровой поздней пшеницы ЧС с мягкозерным эндоспермом путем интрогрессии хромосомы 5A из *Triticum spelta*. Яровые линии SSL-1, 2 и 3 получены от скрещивания озимой линии 84/98^w из коллекции «Арсенал» [13] с сортом Чайниз Спринг. Озимая линия 84/98^w получена от скрещивания ярового сорта Родина и диплоидного злака *Aegilops speltoides* Tausch. Линии Родина-М1 и Родина-М24 получены от скрещивания озимой линии 84/98^w и яровой линии 76/00ⁱ из коллекции «Арсенал». Все пять линий являются мягкозерными. Образцы были выращены в 2020 г. в полевых условиях вблизи г. Новосибирск при содействии ЦКП ИЦиГ СО РАН «Селекционно-генетическая лаборатория».

Для получения цельносмолотой муки зерна пшеницы размалывали на лабораторной мельнице ЛЗМ-1 до полного прохода через сито с ячейками 180 мкм. В цельносмолотой муке и продуктах ее переработки определяли массовые доли влаги (воздушно-тепловым методом, ГОСТ 13586), белка (по методу Кьельдаля на приборе К-424, ГОСТ 10842), крахмала (поляриметрическим методом Эверса с использованием поляриметра Polartronic-N, ГОСТ 10845).

Цельносмолотую муку перерабатывали на крахмал методом «завод на столе», разработанном во ВНИИК. Навеску 100 г муки смешивали с водой в соотношении весовых частей мука:вода 1:0,81 при температуре 41°C и pH 6,5. Продолжительность отлежки теста – 35 мин [14]. Клейковину отмывали от крахмала на металлическом сите с диаметром отверстий 1 мм до отрицательной йодной пробы. Клейковину высушивали при температуре 50°C. В сухой клейковине определяли массовую долю белка по методу Кьельдаля. Суспензию, полученную после промывания клейковины, пропускали через сито с капроновой сеткой №70. Отцеженные на сите пищевые волокна промывали от свободного крахмала до исчезновения йодной пробы. Пищевые волокна высушивали при температуре 48°C и определяли выход и массовую долю крахмала. Крахмально-белковую суспензию, полученную в результате отделения клейковины и пищевых волокон, разделяли на крахмал А и крахмал Б на наклонном желобе длиной 2 м. Крахмал А отличается от крахмала Б размерами гранул. Осажденный на желобе крахмал А смывали дистиллированной водой, отфильтровывали, высушивали

при 45 °С и определяли выход крахмала А, массовую долю амилозы в крахмале и динамическую вязкость 3% крахмального клейстера. Отделенную от крахмала А на желобе крахмало-белковую суспензию (крахмал Б) отфильтровывали, высушивали при 45 °С и определяли выход крахмала Б и массовую долю белка [15].

Для приготовления крахмального клейстера 50 мл 3% водной суспензии крахмала А нагревали на водяной бане до 95 °С, выдерживали при постоянном перемешивании в течение 3 мин и охлаждали до 20 °С. Динамическую вязкость приготовленного 3% крахмального клейстера измеряли на ротационном вискозиметре Хепплера с падающим шариком диаметром 10 мм. Измерения вязкости проводили одновременно в трех повторностях, результаты усреднялись. Количественное определение амилозы в крахмале А проводили с использованием фотометра КФК-3 [16].

Микрофотографии гранул крахмалов получены с помощью сканирующего электронного микроскопа Mira3 LMU (Tescan, Брно, Чехия) при комнатной температуре в условиях высокого вакуума с ускоряющим напряжением 500 V. Гранулометрические параметры гранул крахмалов оценивали с помощью программы «Altami Studio» (версия 3.4.0). Каждый параметр представляет среднее значение измерений 100–200 гранул.

Обсуждение результатов

Содержание общего крахмала в зерне изученных генотипов пшеницы варьировало от 59.8% для Родина-М24 до 66.9% для сорта Н67 (табл. 1). Высокая массовая доля крахмала более 66% установлена для сортов Н67, Лютесценс 62 и Голубка. Таким образом, твердозерный сорт Н67 и мягкозерные сорта Голубка и Лютесценс 62 не различались по данному признаку. Линии ЧС (*T. spelta* 5A), Родина-М1 и Родина-М24 показали наименьший уровень крахмала, около 60%. Среди близкородственных линий SSL-1, 2 и 3 наблюдалось разнообразие по этому признаку. Линия SSL-2 содержала около 65% общего крахмала, а линии SSL-1 и SSL-3 – на 2.5% и 3.9% меньше соответственно.

Образцы с наименьшими значениями общего крахмала, Родина-М1, Родина-М24 и ЧС (*T. spelta* 5A) характеризовались повышенным содержанием общего белка: 17.9, 19.2 и 19.3%, соответственно (табл. 1). В то же время, три сорта пшеницы Н67, Лютесценс 62 и Голубка, которые содержали больше всего общего крахмала, показали более низкое содержание общего белка. Среди линий SSL большее количество общего белка обнаружено у линии SSL-3 – 17.4%. Линии Родина-М1 и Родина-М24 различались на 1.3%.

Наиболее высокое извлечение крахмала А отмечено для сортов Н67, Голубка и Лютесценс 62: 47,6%, 46.9 и 45.8% от сухого веса, соответственно (табл. 2). Ни одна из линий пшеницы не показала такого результата. Наименьшее значение, 41.2%, было обнаружено у линии ЧС (*T. spelta* 5A). Динамика содержания в образцах крахмала А совпадает с динамикой содержания общего крахмала. Это объясняется тем, что гранулы А-типа составляют около 75% общего объема крахмала [3].

Среди сортов пшеницы наблюдается полиморфизм по содержанию крахмала Б (табл. 2). Наименьший выход отмечен для сорта Лютесценс 62, а наибольший – для сорта Голубка. Интересно, что среди близкородственных линий также наблюдается полиморфизм по данному признаку. Содержание крахмала Б у линии SSL-3 было на 21.5% ниже, чем у линий SSL-1 и SSL-2. Содержание крахмала Б у линии Родина-М24 было на 18.1% ниже, чем у линии Родина-М1. По содержанию крахмала А перечисленные линии не отличались. Вероятно, разный уровень крахмала Б контролируется генетически, что может быть использовано при создании новых образцов.

Таблица 1. Содержание общего крахмала и белка в сухом веществе (СВ) цельносмолотой муки из сортов и линий мягкой пшеницы

Генотипы	Массовая доля СВ, %	Массовая доля общего крахмала, % к СВ	Массовая доля общего белка*, % к СВ	Массовая доля белка в клейковине**, %
Новосибирская 67	91.4±0.2	66.9±0.7	16.6±1.0	89.3±1.9
Лютесценс 62	92.4±0.3	66.8±0.5	17.4±1.1	83.9±2.2
Голубка	91.8±0.3	66.2±0.5	16.8±0.8	90.1±1.3
ЧС (<i>T. spelta</i> 5A)	92.2±0.1	60.5±0.4	19.3±0.9	90.3±2.0
SSL-1	91.5±0.3	63.3±0.7	15.9±1.0	89.8±2.0
SSL-2	92.7±0.1	64.7±0.6	15.4±0.9	86.5±2.3
SSL-3	92.1±0.3	62.2±0.9	17.4±1.1	79.6±2.1
Родина-М1	92.3±0.3	60.3±0.7	17.9±1.0	84.2±2.2
Родина-М24	92.1±0.2	59.8±0.6	19.2±1.0	93.3±2.0

* Общий белок зерна, включая клейковину, зародыш и оболочку; ** % к сухому весу клейковины.

Таблица 2. Выход продуктов переработки цельнозерновой муки в лабораторных условиях на установке «завод на столе» (в % к СВ)

Генотипы	Крахмал А	Крахмал Б	Пищевые волокна	Клейковина	СВ в процессовой воде
Новосибирская 67	47.6±1.9	14.0±1.3	11.4±0.4	11.7±1.2	15.3±0.2
Лютесценс 62	45.8±1.5	13.2±0.9	11.7±0.8	16.5±1.0	12.8±0.5
Голубка	46.9±1.4	16.1±1.7	11.8±0.9	11.5±0.9	13.7±0.2
ЧС (<i>T. spelta</i> 5A)	41.2±1.7	16.8±1.4	13.5±0.7	16.3±1.0	12.2±0.4
SSL-1	44.5±1.7	17.5±1.2	12.8±0.5	13.1±1.0	12.1±0.3
SSL-2	43.4±1.9	17.9±1.0	12.0±0.7	11.6±1.0	15.1±0.2
SSL-3	43.9±1.3	13.9±1.2	12.2±0.5	14.7±1.1	15.3±0.3
Родина-М1	44.7±1.8	18.2±1.2	9.5±0.7	13.9±1.1	13.7±0.2
Родина-М24	44.2±1.9	14.9±1.0	11.0±0.4	16.2±1.0	13.7±0.4

Поскольку гранулы крахмала Б имеют сложный химический состав и содержат много фосфопротеинов, была изучена массовая доля крахмала в крахмале Б. Размах изменчивости составил от 70 до 75% (табл. 3). Пищевые волокна – ценный пищевой продукт, обладающий высокой влагоудерживающей способностью. Для сортов Новосибирская 67, Лютесценс 62 и Голубка наблюдается высокое содержание крахмала в пищевых волокнах – более 19% (табл. 3). Интересно, что эти сорта характеризуются и наибольшим выходом общего крахмала и крахмала А (табл. 1). Линии значительно отличались от сортов более низким содержанием крахмала в пищевых волокнах, что наблюдалось на фоне более низкого содержания общего крахмала и крахмала А (табл. 1). Внутри близкородственных линий был обнаружен полиморфизм. Показатель был снижен у линий SSL-2 и Родина-М24.

Обнаружен довольно большой размах изменчивости по содержанию амилозы в крахмале А (17,0-24,9%) (табл. 4). Среди сортов Н67 показала максимальное значение – 24,9%, и только 17,5% было обнаружено у сорта Лютесценс 62. Среди линий SSL различия были небольшие. Содержание амилозы у линии SSL-3 было на 2,6% выше, чем у линий SSL-1 и SSL-2. А вот две близкородственные линии Родина-М1 и Родина-М24 различались значительно. Содержание амилозы у линии Родина-М24 составило 23,4%, что на 4,8% выше, чем у линии Родина-М1 (табл. 4) и сравнимо с сортом Н67. Интересно, что повышение содержания амилозы у линий SSL-3 и Родина-М24 было сопряжено со снижением содержания крахмала Б.

У изученных образцов не обнаружено корреляции между содержанием амилозы и вязкостью крахмального клейстера. Сорт Н67 и линия Родина-М24 имели наибольшее содержание амилозы и самую высокую вязкость. Однако есть и исключения – линии SSL-1 и SSL-2 показали наименьшую долю амилозы, однако имели сопоставимую с Н67 и Родина-М24 вязкость. Ранее было показано, что на физические свойства пшеничного крахмала в большей степени влияет длина разветвленной цепи амилопектина, а не содержание амилозы [17]. В исследовании, проведенном на 30 образцах пшеницы из Восточного Китая, была обнаружена положительная корреляция между пиковой, минимальной и конечной вязкостью крахмала и средним размером крахмальных гранул [18].

Морфология крахмальных гранул была изучена с помощью сканирующей электронной микроскопии. Микрофотографии гранул крахмала сортов Новосибирская 67, Лютесценс 62 и линии Родина М1 представлены на рисунке 1.

Таблица 3. Массовая доля крахмала в крахмале Б и пищевых волокнах у сортов и линий мягкой пшеницы

Генотипы	Массовая доля крахмала в крахмале Б*	Массовая доля крахмала в пищевых волокнах**
Новосибирская 67	75.0±2.8	19.1±1.8
Лютесценс 62	70.0±2.6	19.1±1.4
Голубка	74.0±2.7	19.2±1.6
ЧС (<i>T. spelta</i> 5A)	74.6±2.4	13.5±1.3
SSL-1	75.5±2.8	13.5±1.4
SSL-2	72.6±2.3	11.9±1.6
SSL-3	72.5±2.9	14.5±1.2
Родина-М1	70.3±2.9	14.5±1.5
Родина-М24	72.5±2.6	11.4±1.2

* % к сухому весу крахмала Б, ** % к сухому весу пищевых волокон.

Результаты гранулометрических измерений всех изученных образцов представлены в таблице 5. Наименьший средний диаметр гранул имел твердозерный сорт Н67. При этом доля крахмала с гранулами меньше 10 мкм у него была наибольшая – 64%. Содержание крахмальных гранул А и Б у различных генотипов пшеницы хорошо иллюстрируется их соотношением (табл. 5). Эти данные согласуются с данными о более высоком количестве мелких гранул крахмала у твердозерных сортов [7]. Сорта Лютесценс 62 и Голубка мало различались по среднему диаметру гранул, однако у второго сорта доля мелких гранул была на 35% меньше. Среди линий SSL снова выделялась линия SSL-3. Она имела на 34% больше мелких гранул крахмала и наименьший их диаметр. Изучение линий пшеницы с мягкозерным эндоспермом зерна показало, что отбор на мягкозерность может сопровождаться снижением доли крахмальных гранул размером менее 10 мкм.

Таблица 4. Характеристики крахмала А у сортов и линий мягкой пшеницы

Генотипы	Массовая доля амилозы, % к СВ крахмала А	Вязкость 3% крахмального клейстера, мПа/сек
Новосибирская 67	24.9±0.3	34.9±1.5
Лютесценс 62	17.5±0.2	24.9±1.6
Голубка	20.4±0.4	31.5±1.4
ЧС (<i>T. spelta</i> 5A)	20.3±0.1	24.9±1.0
SSL-1	17.0±0.1	34.9±1.3
SSL-2	17.0±0.1	32.9±1.6
SSL-3	19.6±0.2	23.9±1.2
Родина-М1	18.6±0.2	30.5±1.2
Родина-М24	23.4±0.4	36.7±1.0

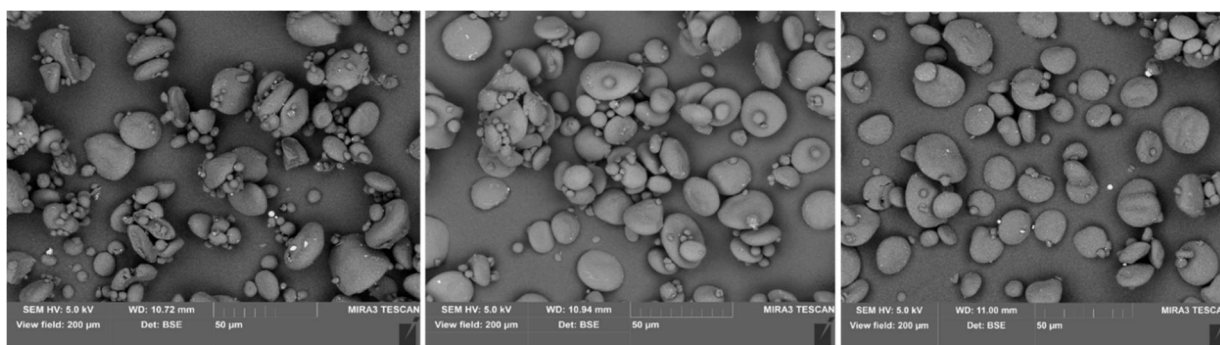


Рис. 1. Микрофотографии гранул крахмала сортов Новосибирская 67, Лютесценс 62 и линии Родина М1 (слева направо). Крупные гранулы – крахмал А, мелкие – крахмал Б

Таблица 5. Гранулометрические параметры пшеничных крахмалов

Генотип	Диаметр, мкм	Доля гранул <10 мкм, %	Отношение А/Б
Новосибирская 67	11.4±7.5	64.3	3.4
Лютесценс 62	14.3±7.5	47.6	3.5
Голубка	15.5±7.3	30.9	2.9
ЧС (<i>T. spelta</i> 5A)	16.3±6.3	19.6	2.5
SSL-1	15.7±6.5	24.4	2.5
SSL-2	16.3±6.0	22.5	2.4
SSL-3	13.4±6.9	36.6	3.2
Родина-М1	16.3±7.0	28.3	2.5
Родина-М24	15.5±7.3	31.6	3.0

Заключение

Проведенный анализ показал, что твердозерный сорт Н67 и мягкозерный сорт Голубка могут быть донорами повышенного содержания крахмала А. Гибридные линии SSL-1, SSL-2 и Родина-М1 могут быть донорами повышенного содержания крахмала Б. Для селекции на увеличение содержания амилозы могут быть использованы сорт Н67 и линия Родина-М24. Полученные результаты дают представление о вариабельности изученных признаков среди различного генетического материала. Обнаруженные нами вариации могут быть полезны при изучении генетики качества зерна и могут быть использованы при создании новых форм пшеницы для технических и пищевых целей.

Финансирование

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FGGM-2022-0006, ВНИИ крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья-филиал ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» и тема № 122041300204-1, Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН) и бюджетным проектом № FWNR-2022-0017 (ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН).

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Кретович В.Л. Биохимия зерна и хлеба. М., 1991. 136 с.
2. Wang Y., Hou J., Liu H., Li T., Wang K., Hao C., Liu H., Zhang X. TaBT1, affecting starch synthesis and thousand kernel weight, underwent strong selection during wheat improvement // Journal of Experimental Botany. 2019. Vol. 70, no. 5. Pp. 1497–1511. DOI: 10.1093/jxb/erz032.
3. Rhazi L., Méléard B., Daaloul O., Grignon G., Branlard G., Aussenac T. Genetic and environmental variation in starch content, starch granule distribution and starch polymer molecular characteristics of French bread wheat // Foods. 2021. Vol. 10, no. 2. Pp. 205. DOI: 10.3390/foods10020205.
4. Stoddard F.L. Survey of starch particlesize distribution in wheat and related species // Cereal chemistry. 1999. Vol. 76, no. 1. Pp. 145–149.
5. Wilson J.D., Bechtel D.B., Todd T.C., Seib P.A. Measurement of wheat starch granule size distribution using image analysis and laser diffraction technology // Cereal chemistry. 2006. Vol. 83, no. 3. Pp. 259–268.
6. Bechtel D.B., Zayas I., Kaleikau L., Pomeranz Y. Size distribution of wheat starch granules during endosperm development // Cereal Chem. 1990. Vol. 67, no. 1. Pp. 59–63.
7. Park S.H., Wilson J.D., Seabourn B.W. Starch granule size distribution of hard red winter and hard red spring wheat: Its effects on mixing and breadmaking quality // Journal of Cereal Science. 2009. Vol. 49, no. 1. Pp. 98–105. DOI: 10.1016/j.jcs.2008.07.011.
8. Raeker M.Ö., Gaines C.S., Finney P.L., Donelson T. Granule size distribution and chemical composition of starches from 12 soft wheat cultivars // Cereal Chemistry. 1998. Vol. 75, no. 5. Pp. 721–728. DOI: 10.1094/CCHEM.1998.75.5.721.
9. Roman L., de la Cal E., Gomez M., Martinez M.M. Specific ratio of A-to B-type wheat starch granules improves the quality of gluten-free breads: Optimizing dough viscosity and pickering stabilization // Food Hydrocolloids. 2018. Vol. 82. Pp. 510–518. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.04.034.
10. Ao Z., Jane J. L. Characterization and modeling of the A-and B-granule starches of wheat, triticale, and barley // Carbohydrate polymers. 2007. Vol. 67, no. 1. Pp. 46–55. DOI: 10.1016/j.carbpol.2006.04.013.
11. Guo L., Wang Q., Chen H., Wu D., Dai C., Chen Y., Ma Y., Wang Z., Li H., Cao X., Gao X. Moderate addition of B-type starch granules improves the rheological properties of wheat dough // Food Research International. 2022. Vol. 160. Pp. 111748. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111748.
12. Leiberova N.V., Pankratyeva N.A. Amylose Quantity Influence on the Wheat Bread Quality Indicators While Storage // Индустрия питания/ Food Industry. 2019. Vol. 4, no. 2. Pp. 65–69. DOI: 10.29141/2500-1922-2019-4-2-9.
13. Lapochkina I.F. Genetic diversity of “Arsenal” collection and its use in wheat breeding // Abstr. Int. Appl. Sci. Conf. "Genetic Resources of Cultural Plants". St. Petersburg, 2001. Pp. 133–135.
14. Куликов Д.С., Гольдштейн В.Г., Страхова С.А. Технология производства клейковины и крахмала с учетом влияния технологических параметров // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2018. №3. С. 172–175.
15. Носовская Л.П., Адикаева Л.В., Гольдштейн В.Г. Изучение использования инновационной низкопентозанной озимой ржи как сырья для производства крахмала и крахмалопродуктов // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, №7. С. 83–85. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10720.
16. McGrance S.J., Cornell H.J., Rix C.J. A simple and rapid colorimetric method for the determination of amylose in starch products // Starch–Stärke. 1998. Vol. 50, no. 4. Pp. 158–163. DOI: 10.1002/(SICI)1521-379X(199804)50:4<158::AID-STAR158>3.0.CO;2-7.
17. Franco C.M., Wong K.S., Yoo S.H., Jane J.L. Structural and functional characteristics of selected soft wheat starches // Cereal Chemistry. 2002. Vol. 79, no. 2. Pp. 243–248. DOI: 10.1094/CCHEM.2002.79.2.243.

18. Hou H.X., Dong H.Z., Zhang H., Song X.Q. Relationships between some structures and functionalities of starches from wheat cultivars grown in East China // *Cereal chemistry*. 2008. Vol. 85, no. 2. Pp. 252–256. DOI: 10.1094/CCHEM-85-2-0252.

Поступила в редакцию 30 июня 2023 г.

После переработки 9 июля 2023 г.

Принята к публикации 28 августа 2023 г.

Smirnova O.G.^{1*}, Goldshtein V.G.², Nosovskaya L.P.², Adikaeva L.V.², Wasserman L.A.³, Simonov A.V.¹, Pshenichnikova T.A.¹ THE CONTENT AND QUALITATIVE COMPOSITION OF STARCH IN BREAD WHEAT SAMPLES

¹ Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Lavrentieva av., 10, Novosibirsk, 630090, Russia

² All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, Nekrasova st., 11, Kraskovo, 140051, Russia

³ Emanuel Institute Biochemical Physics of Russian Academy of Sciences, Kosygina st., 4, Moscow, 119334, Russia, e-mail: planta@bionet.nsc.ru

Starch is one of the main components of wheat endosperm and is used in the production of food and non-food products. The composition and content of starch largely determines quality of flour in breadmaking. The genotype and environmental conditions affect the quantity and qualitative composition of starch and the ratio of different types of starch granules in wheat endosperm. In this work, the qualitative and quantitative content of gluten, starch and starch fractions in the grain of wheat samples with hard and soft endosperm was studied to assess variability of traits. Wholemeal flour was separated into gluten, starch and dietary fiber by the "plant on the table" method. The isolated starch was separated into fractions A and B. Starch granules were examined using laser-scanning microscopy to determine their size. The analysis showed that the hard-grain variety Novosibirskaya 67 and the soft-grain variety Golubka could be the donors of high content of starch A. The hybrid lines SSL-1, SSL-2 and Rodina-M1 can be the donors of high content of starch B. For the studied samples, the proportion of small starch granules (<10 µm) was associated with grain endosperm structure.

Keywords: wheat, starch A, starch B, amylose, starch granule size.

For citing: Smirnova O.G., Goldshtein V.G., Nosovskaya L.P., Adikaeva L.V., Wasserman L.A., Simonov A.V., Pshenichnikova T.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 1, pp. 94–101. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprn.20240113182.

References

1. Kretovich V.L. *Biokhimiya zerna i khleba*. [Biochemistry of grain and bread]. Moscow, 1991, 136 p. (in Russ.).
2. Wang Y., Hou J., Liu H., Li T., Wang K., Hao C., Liu H., Zhang X. *Journal of Experimental Botany*, 2019, vol. 70, no. 5, pp. 1497–1511. DOI: 10.1093/jxb/erz032.
3. Rhazi L., Méléard B., Daaloul O., Grignon G., Branlard G., Aussenac T. *Foods*, 2021, vol. 10, no. 2, pp. 205. DOI: 10.3390/foods10020205.
4. Stoddard F.L. *Cereal chemistry*, 1999, vol. 76, no. 1, pp. 145–149.
5. Wilson J.D., Bechtel D.B., Todd T.C., Seib P.A. *Cereal chemistry*, 2006, vol. 83, no. 3, pp. 259–268.
6. Bechtel D.B., Zayas I., Kaleikau L., Pomeranz Y. *Cereal Chem.*, 1990, vol. 67, no. 1, pp. 59–63.
7. Park S.H., Wilson J.D., Seabourn B.W. *Journal of Cereal Science*, 2009, vol. 49, no. 1, pp. 98–105. DOI: 10.1016/j.jcs.2008.07.011.
8. Raeker M.Ö., Gaines C.S., Finney P.L., Donelson T. *Cereal Chemistry*, 1998, vol. 75, no. 5, pp. 721–728. DOI: 10.1094/CCHEM.1998.75.5.721.
9. Roman L., de la Cal E., Gomez M., Martinez M.M. *Food Hydrocolloids*, 2018, vol. 82, pp. 510–518. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.04.034.
10. Ao Z., Jane J.L. *Carbohydrate polymers*, 2007, vol. 67, no. 1, pp. 46–55. DOI: 10.1016/j.carbpol.2006.04.013.
11. Guo L., Wang Q., Chen H., Wu D., Dai C., Chen Y., Ma Y., Wang Z., Li H., Cao X., Gao X. *Food Research International*, 2022, vol. 160, pp. 111748. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111748.
12. Leiberova N.V., Pankratyeva N.A. *Food Industry*, 2019, vol. 4, no. 2, pp. 65–69. DOI: 10.29141/2500-1922-2019-4-2-9.
13. Lapochkina I.F. Genetic diversity of "Arsenal" collection and its use in wheat breeding: Abstr. Int. Appl. Sci. Conf. "Genetic Resources of Cultural Plants". St. Petersburg, 2001, pp. 133–135.

* Corresponding author.

14. Kulikov D.S., Goldshtein V.G., Strakhova S.A. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, no. 3, pp. 172–175. (in Russ.).
15. Nosovskaya L.P., Adikayeva L.V., Gol'dshteyn V.G. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2018, vol. 32, no. 7, pp. 83–85. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10720. (in Russ.).
16. McGrance S.J., Cornell H.J., Rix C.J. *Starch–Stärke*, 1998, vol. 50, no. 4, pp. 158–163. DOI: 10.1002/(SICI)1521-379X(199804)50:4<158::AID-STAR158>3.0.CO;2-7.
17. Franco C.M., Wong K.S., Yoo S.H., Jane J.L. *Cereal Chemistry*, 2002, vol. 79, no. 2, pp. 243–248. DOI: 10.1094/CCHEM.2002.79.2.243.
18. Hou H.X., Dong H.Z., Zhang H., Song X.Q. *Cereal chemistry*, 2008, vol. 85, no. 2, pp. 252–256. DOI: 10.1094/CCHEM-85-2-0252.

Received June 30, 2023

Revised July 9, 2023

Accepted August 28, 2023

Сведения об авторах

Смирнова Ольга Григорьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, planta@bionet.nsc.ru

Гольдштейн Владимир Георгиевич – кандидат технических наук, заведующий отделом, 6919486@mail.ru

Носовская Лилия Петровна – старший научный сотрудник, vniik@arrisp.ru

Адикаева Лариса Владимировна – научный сотрудник, csvniik@yandex.ru

Вассерман Любовь Александровна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, lwasserma@mail.ru

Симонов Александр Владимирович – кандидат биологических наук, научный сотрудник, SiAlexander@bionet.nsc.ru

Пшеничникова Татьяна Алексеевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, доцент, wheatpsh@bionet.nsc.ru

Information about authors

Smirnova Olga Grigorievna – candidate of biological sciences, senior researcher, planta@bionet.nsc.ru

Goldstein Vladimir Georgievich – candidate of technical sciences, head of department, 6919486@mail.ru

Nosovskaya Liliya Petrovna – senior researcher, vniik@arrisp.ru

Adikaeva Larisa Vladimirovna – research fellow, csvniik@yandex.ru

Wasserman Lyubov Aleksandrovna – candidate of chemical sciences, senior researcher, lwasserma@mail.ru

Simonov Alexander Vladimirovich – candidate of biological sciences, researcher, SiAlexander@bionet.nsc.ru

Pshenichnikova Tatyana Alekseevna – candidate of biological sciences, senior researcher, associate professor, wheatpsh@bionet.nsc.ru