

ПОДХОДЫ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ ДИЕТОТЕРАПИИ НАСЕЛЕНИЯ С ГЛЮТЕНОВОЙ ЭНТЕРОПАТИЕЙ

С.П. Меренкова, И.Ю. Потороко, Ю.С. Контонистова, Т.Ю. Фомина

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Целиакия – мультифакторное заболевание, при котором важна как генетическая предрасположенность, так и организация рационального питания. Разработка технологий производства безглютеновой продукции с использованием новых видов сырья относится к актуальным исследовательским задачам, решение которых позволит расширить линейку специализированных продуктов питания. Цель исследования – совершенствование методологии создания безглютеновых мучных смесей с оптимальными технологическими свойствами, заданным количеством и соотношением физиологически ценных нутриентов. Материалами для исследования являлись образцы мучных смесей, полученные из безглютеновой муки (льняная, миндальная, кунжутная и амарантовая), кондитерские изделия, изготовленные на основе оптимизированных мучных смесей. В результате анализа расчетных данных установили, что модельные смеси обогащены эссенциальными компонентами, – содержание белка, незаменимых аминокислот, витаминов В₁ и Е, минеральных компонентов позволяет удовлетворить суточную потребность в нутриентах более, чем на 30 %. При анализе технологических свойств оптимизированных смесей установили их высокую водопоглощающую способность, повышение вязкости мучной суспензии с увеличением пропорции льняной муки в рецептуре. Модельные образцы кондитерских изделий соответствовали стандартизированным требованиям – обладали приятными вкусовыми свойствами, равномерной пористостью и эластичным мякишем, имели ровную поверхность и характерный цвет. Содержание белка в готовых изделиях коррелировало с содержанием белка в мучной смеси и колебалось в пределах от 14,8 до 17,9 %. Рекомендуемая методология создания безглютеновых мучных смесей для изготовления кондитерских изделий позволяет расширить рацион питания лиц с непереносимостью глютена. Оптимизированные мучные смеси обладают удовлетворительными технологическими свойствами, отвечают нормам рационального питания по количеству и соотношению белков, аминокислот, витаминов, макро- и микроэлементов. Кондитерские изделия, изготовленные из модельных смесей, характеризуются высокими потребительскими свойствами, являются источником эссенциальных компонентов.

Ключевые слова: безглютеновые продукты, целиакия, оптимизированные мучные смеси, технологические свойства, пищевая ценность, структурно-механические свойства.

Актуальность проблемы

Целиакией называется чувствительная к глютену энтеропатия, для которой характерна стойкая непереносимость специфических белков зерновых культур с развитием гиперрегенеративной атрофии слизистой оболочки тонкого кишечника и ассоциированного с ней синдрома мальабсорбции. Распространенность целиакии среди взрослого населения составляет 1–3 %, но в подавляющем большинстве заболевание протекает латентно, имитируя различные функциональные расстройства пищеварительной, нервной, эндокринной системы, опорно-двигательного аппарата [1].

На сегодняшний день целиакия – одно из самых распространенных заболеваний тонко-

го кишечника, в основе которого лежит патологический иммунный ответ ее слизистой оболочки на действие этиологического фактора, – белка глиадина, который содержится в злаковых культурах: пшенице, ячмени, ржи, овсе [2].

Существует три основные нозологические патологии, связанные с непереносимостью глютена (рис. 1) [3].

Целиакия поражает не только тонкий кишечник, но и другие системы. Кроме того, она значительно повышает риск возникновения опасных для жизни патологических состояний: кишечной лимфомы, рак различных отделов пищеварительного канала и кишечные кровотечения [4].



Рис. 1. Характеристика патологий, связанных с непереносимостью глютена

Целиакия относится к мультифакторным заболеваниям, при которых имеют значения как генетическая предрасположенность, так и различные факторы внешней среды. В ходе многочисленных исследований доказана ассоциация целиакии с антигенами главного комплекса гистосовместимости человека HLA DQ2 и HLA DQ8, расположенными на хромосоме 6p21. Гетеродимер DQ2 обнаруживается у 90–95 % больных, DQ8 – у 5–10 %. Данные антигены обуславливают предрасположенность человека к данному заболеванию [5, 6].

На вероятность развития целиакии оказывает влияние состав кишечной микрофлоры, сбалансированность рациона питания. У младенцев грудное вскармливание и поздний ввод глютеносодержащего прикорма оказывают протективный эффект на развитие целиакии [7].

Клинические проявления целиакии достаточно полиморфны, а заболевание встречается в следующих клинических формах: типичной, атипичной, стертой, латентной и рефрактерной. К типичным симптомам целиакии относят диарею, вздутие и дискомфорт в области живота, понижение аппетита и массы тела, поражение слизистой оболочки ротовой полости [4, 8]. Диагностика целиакии включает обобщение результатов эзофагогастродуоденоскопии с биопсией слизистой оболочки ки-

шечника в сочетании с положительными результатами серологического анализа (выявления антител к глиадину и тканевой трансглутаминазе) [1, 9].

При длительном течении целиакии, без применения соответствующей диеты, у больных, помимо повреждений желудочно-кишечного тракта, обнаруживают патологии в других органах и системах, – ревматоидный артрит, недостаточность надпочечников, кишечные язвы, инсулинозависимый сахарный диабет, аутоиммунный гастрит, стоматит, тиреозит [10]. Авторами установлено, что целиакия приводит к дефициту железа, кальция и калия в организме пациентов в связи с нарушением всасывания питательных компонентов [11].

Единственным средством лечения целиакии и профилактики ее осложнений является строгая безглютеновая диета. Она заключается в полном исключении из рациона продуктов, содержащих глютен или его следов. Особое внимание следует уделять продуктам, содержащим «скрытый» глютен, который добавляется в процессе производства, – колбасным изделиям, консервам, соусам и майонезам, пищевым концентратам [12].

В соответствии с пищевыми стандартами Codex Alimentarius, принятыми международной комиссией; ТР ТС 027/2012, принятым в

Российской Федерации, – безглютеновыми считаются продукты, в которых содержание глютена не превышает 20 мг/кг, для продукции с маркировкой «с низким содержанием глютена» уровень глютена должен составлять не более 100 мг/кг [13, 14].

При целиакии рекомендованы мука и крахмалы, полученные из безглютенового сырья растительного происхождения (безглютеновые зерновые, бобовые культуры, семена масличных культур, орехи, корнеплоды). Существует множество разработок, направленных на расширение ассортимента безглютеновых мучных изделий. В качестве заменителей глютенсодержащего сырья используются разнообразные виды муки, такие как рисовая, гречневая, льняная, кукурузная, амарантовая, реже – кунжутная, каштановая, соевая, нутовая, чечевичная, киноа, мука из семян чиа. Данные виды муки рекомендованы к использованию в различных соотношениях, позволяющих получить безглютеновые продукты высокого качества, обладающие заданными потребительскими свойствами [15–20].

Однако на рынке продуктов без глютена преобладают изделия, полученные из однообразного сырья, включающего рисовую или кукурузную муку в сочетании с крахмалом. Большинство наименований безглютеновой продукции, вырабатываемых промышленностью, имеют существенные недостатки, связанные с нехарактерной структурой, непривлекательным внешним видом, пониженной пищевой и биологической ценностью. Не оптимизированные технологические свойства мучных смесей приводят к необходимости применения структурообразующих добавок.

Разработка инновационных технологий производства безглютеновой продукции, в том числе за счет использования новых видов глютена не содержащего сырья, относится к актуальным научно-исследовательским задачам, решение которых позволит оптимизировать подходы к расширению линейки специализированных продуктов питания, улучшить качество жизни больных с непереносимостью глютена [21, 22].

Целью данного исследования являлось совершенствование методологии создания безглютеновых мучных смесей с оптимальными технологическими свойствами, заданным количеством и соотношением физиологически ценных нутриентов.

Материалы и методы исследований

Материалами для исследования являлись образцы мучных смесей, полученные из различных видов безглютеновой муки, а также кондитерские изделия (бисквиты), изготовленные на основе оптимизированных мучных смесей.

Для моделирования составов мучных смесей были выбраны четыре вида безглютеновой муки:

Льняная мука (ООО НПО «Компас Здоровья», г. Новосибирск), состав: семена льна измельченные. Мука содержит (г на 100 г) – белков – 32,4; жиров – 8,8; углеводов – 6,9; энергетическая ценность – 236 ккал.

Амарантовая мука (ООО «Специалист», г. Бийск), состав: семена амаранта измельченные. Содержит (г на 100 г) – белков – 16,0; жиров – 3,0; углеводов – 67,0; энергетическая ценность – 350 ккал.

Миндальная мука (ИП Сафронов С.В., г. Тверь), состав: бланшированный миндаль 100 %. Содержит (г на 100 г) – белков – 23,5; жиров – 30,0; углеводов – 16,0; энергетическая ценность – 442 ккал.

Кунжутная мука (ООО «Эркон», г. Новосибирск), состав: мука пищевая кунжутная 100 %. Мука содержит (г на 100 г) – белков – 29,0; жиров – 18,4; углеводов – 18,0; энергетическая ценность – 353 ккал.

Выбранные виды муки характеризуются значительным содержанием белка, растворимых пищевых волокон, полиненасыщенных жирных кислот, а также витаминов группы В, микро- и макроэлементов. Стоит отметить существенное количество компонентов с антиоксидантными и иммуномодулирующими свойствами: сквалена, токоферолов, биофлавоноидов и фитостероидов.

Эксперимент включал несколько этапов.

1. Моделирование состава безглютеновых мучных смесей осуществляли с использованием программы Microsoft Excel, надстройки «Поиск решения».

2. Анализ технологических свойств мучных смесей (определение вязкости, содержания влаги и водопоглощающей способности смесей).

3. Изготовление модельных образцов кондитерских изделий (бисквит «Основной») по оптимизированным рецептурам с последующим анализом органолептических и физико-механических свойств (деформационных характеристик, содержания влаги и белка).

При проведении исследований применялись общепринятые стандартизированные органолептические и физико-химические методы анализа.

Вязкость оптимизированных мучных смесей определяли на вибрационном вискозиметре SV-10 в течение 120 секунд. Предварительно готовили суспензии мучных смесей с водой (в соотношении 1:6) при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Исследование деформационных характеристик мякиша кондитерских изделий проводили на структурометре СТ-2 путем сжатия его индентором «Цилиндр Ø36» при следующем режиме работы прибора: усилие касания ($F_k = 7$ г); скорость деформации ($V_d = 0,5$ мм/с); внедрение индентора в пробу продукта до усилия $F_{\max} = 500$ г.

Водопоглотительную способность (ВПС) мучной смеси определяли по установленному количеству муки.

Определение массовой доли влаги в образцах мучных смесей и кондитерских изделий производилось методом высушивания при температуре 130°C до получения постоянно сухой массы.

Определение содержания белка в образцах изделий основано на определении массовой доли общего азота после минерализации исследуемого образца концентрированной серной кислотой в присутствии катализатора.

Измерения проводились в трех последовательных опытах, после чего вычисляли среднее арифметическое значение и стандартное отклонение.

Анализ органолептических свойств готовых изделий проводили дегустационной оценкой по показателям: внешний вид (форма, цвет корки, поверхность), вид на разрезе (цвет, пористость), состояние мякиша, аромат, вкус. Исследуемые показатели были оценены по пятибалльной шкале с использованием коэффициента значимости (КЗ), учитывающем весомость каждого показателя для потребителя, по шкале от 1 (абсолютно не важен) до 5 (очень важен). Для каждого образца была рассчитана общая органолептическая оценка по формуле:

$$X = \frac{100 \cdot (k_1 \cdot x_1 + k_2 \cdot x_2 + \dots + k_n \cdot x_n)}{N_{\max}}, \quad (1)$$

где $k_{1,2,n}$ – коэффициент значимости для выбранной характеристики; $x_{1,2,n}$ – оценка по пятибалльной шкале конкретного образца; N_{\max} – максимально возможная сумма баллов

при высших оценках по всем характеристикам.

Расчет пищевой, энергетической ценности, степени удовлетворения основных эссенциальных веществ проводили путем сравнения химического состава разработанных продуктов с формулой сбалансированного питания [23].

Результаты исследования и их обсуждение

Исследуемые образцы муки были проанализированы по содержанию белков, жиров, углеводов, витаминов, минеральных веществ и аминокислот, при этом была использована информация производителя о химическом составе продукта (табл. 1).

Соотношение ингредиентов в безглютеновых мучных смесях моделировалось с помощью программы Microsoft Excel, надстройки «Поиск решения». Данная надстройка позволяет найти оптимальные соотношения в изменяемых ячейках для достижения заданного значения одного из показателей.

Используя цифровые данные показателей пищевой ценности разных видов муки, были смоделированы шесть вариантов безглютеновых смесей, оптимизированных по следующим параметрам:

- максимальному содержанию белка;
- по оптимальному количеству витаминов V_1 и E .
- по оптимальному содержанию ВСАА аминокислот и минеральных веществ.

Для оптимизированных мучных смесей была выбрана кодировка (табл. 2).

Расчетным методом была проанализирована степень удовлетворения суточной потребности человека в макро- и микронутриентах для модельных мучных смесей. В результате анализа расчетных данных установили, что безглютеновые смеси обогащены эссенциальными компонентами вследствие оптимального соотношения предложенных видов муки.

Мучные смеси АМЛ-3 и АКЛ-3 отличаются наибольшим количеством белка, в связи с максимальным количеством высокобелковой льняной муки. Содержание белка в остальных образцах составляло не менее 25 г на 100 г мучной смеси.

Максимальное количество кальция установлено в образцах АМЛ-1 и АМЛ-3 (23–24 % от суточной потребности), магния –

Таблица 1

Пищевая ценность разных видов муки

Вид муки	Содержание, г на 100 г муки			Содержание минеральных веществ и витаминов, мг на 100 г муки							
	Белки	Жиры	Углеводы	Ca	Mg	Zn	K	P	Fe	B ₁	E
Амарантовая	16	3	67	159	248	2,9	508	557	7,6	0,1	1,2
Миндальная	23,5	30	16	269	270	3,1	733	481	3,7	0,2	25,6
Кунжутная	29	18,4	18	159	361	10,7	423	242	15,2	2,7	1,7
Льняная	32,4	8,8	6,9	247	392	4,3	813	376	5,3	1,6	0,3
Суточная потребность	75	84	310	1000	400	11	4700	700	10	1,2	14,6

Таблица 2

Соотношение разных видов муки в модельных образцах

№ п/п	Код образца	Амарантовая мука, %	Миндальная мука, %	Кунжутная мука, %	Льняная мука, %
1	АКЛ-1	30	–	30	40
2	АКЛ-2	20	–	30	50
3	АКЛ-3	20	–	15	65
4	АМЛ-1	30	20	–	50
5	АМЛ-2	30	10	–	60
6	АМЛ-3	15	20	–	65

АМЛ-3, АКЛ-3 (87–90 % от суточной потребности), цинка и железа – в образцах АКЛ-1; АКЛ-2; АКЛ-3, что связано с наиболее высоким содержанием цинка и железа в кунжутной муке по сравнению с остальными видами.

Оптимизированные мучные смеси, содержащие кунжутную муку, отличаются максимальной концентрацией витамина В₁; смеси, содержащие миндальную муку – токоферола. Все образцы содержат высокое количество ВСАА аминокислот (комплекс незаменимых аминокислот – лейцина, изолейцина и валина) – 31–40 % суточной потребности (рис. 2).

Исследование технологических свойств безглютеновых мучных смесей проводили путем анализа влажности, водопоглотительной способности (ВПС) и вязкостных характеристик. ВПС муки зависит от соотношения и гидрофильных свойств белков и полисахаридов, а также размеров гранул муки (рис. 3).

Разработанные безглютеновые смеси характеризуются незначительными колебаниями по содержанию влаги от 7,90 до 8,81 %, отличаются высокой водопоглотительной способностью. При этом стандартная ВПС муки пшеничной высшего сорта составляет около 50 %, а разработанные модели мучных смесей характеризуются значением показате-

ля от 96 до 120 %. Выявленная тенденция объясняется значительным содержанием слизи и пентозанов с выраженными гидрофильными свойствами в льняной муке.

Многочисленными исследованиями доказано, что полисахариды льняной муки набухают в воде, образуют вязкие растворы даже при небольших концентрациях [24, 25]. Способность льняной муки удерживать воду сопоставима с хорошо известными гидроколлоидами: гуаровой камедью и гуммиарабиком [26, 27]. Соответственно, водопоглотительная способность оптимизированных мучных смесей возрастает пропорционально увеличению концентрации льняной муки.

В результате исследований отмечается прямо пропорциональная зависимость изменения показателей ВПС мучных смесей и массовой доли влаги в готовых изделиях. Кондитерские изделия, полученные из мучных смесей АМЛ-2; АМЛ-3; АКЛ-3, – содержащих более 60 % льняной муки, – характеризуются наибольшей влажностью – 29,4–31,5 %.

Структурно-механические свойства оптимизированных мучных смесей существенно влияют на деформационные характеристики готовых изделий (рис. 4).

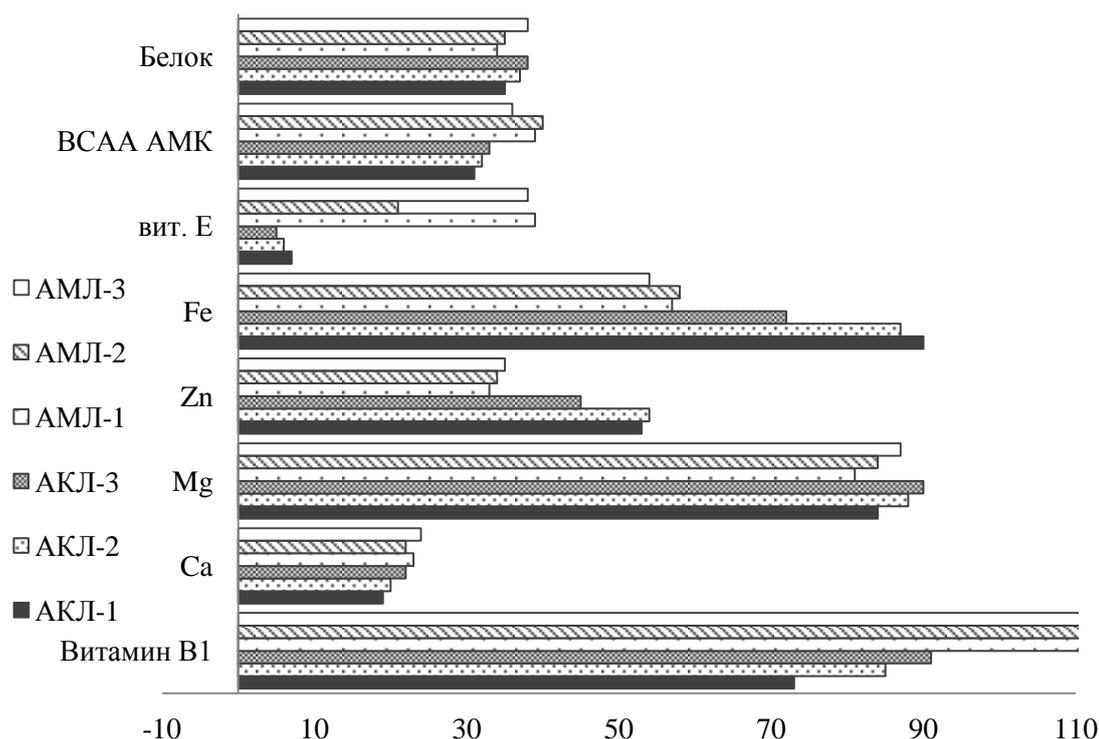


Рис. 2. Удовлетворение суточной потребности в питательных компонентах, % на 100 г мучной смеси (АМЛ-1; АМЛ-2; АМЛ-3 – образцы, содержащие амарантовую, миндальную и льняную муку в соотношениях: 30/20/50; 30/10/60; 15/20/65. АКЛ-1; АКЛ-2; АКЛ-3 – образцы, содержащие амарантовую, кунжутную и льняную муку в соотношениях: 30/30/40; 20/30/50; 20/15/65)

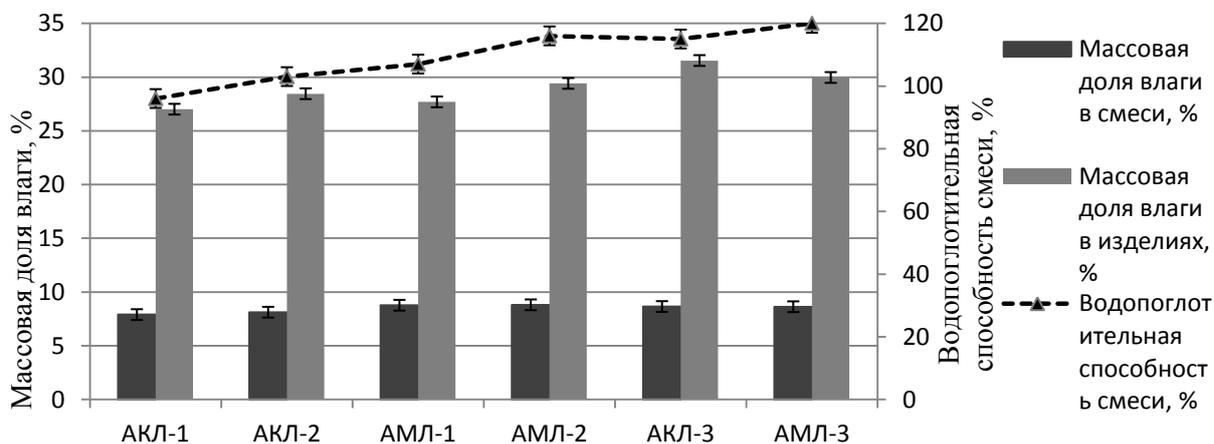


Рис. 3. Зависимость влажности изделий от водопоглощательной способности мучных смесей (АМЛ-1; АМЛ-2; АМЛ-3 – образцы, содержащие амарантовую, миндальную и льняную муку в соотношениях: 30/20/50; 30/10/60; 15/20/65. АКЛ-1; АКЛ-2; АКЛ-3 – образцы, содержащие амарантовую, кунжутную и льняную муку в соотношениях: 30/30/40; 20/30/50; 20/15/65)

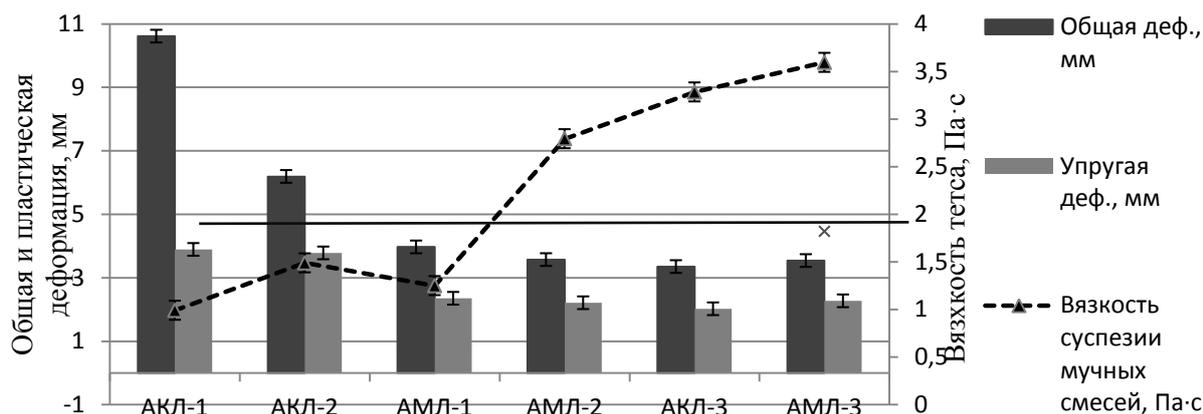


Рис. 4. Зависимость деформационных характеристик кондитерских изделий от вязкости суспензий мучных смесей

(АМЛ-1; АМЛ-2; АМЛ-3 – образцы, содержащие амарантовую, миндальную и льняную муку в соотношениях: 30/20/50; 30/10/60; 15/20/65. АКЛ-1; АКЛ-2; АКЛ-3 – образцы, содержащие амарантовую, кунжутную и льняную муку в соотношениях: 30/30/40; 20/30/50; 20/15/65)

Полученные результаты, позволяют заключить, что увеличение пропорции льняной муки в безглютеновой смеси способствует повышению вязкости суспензии. Так, наибольшей вязкостью обладали мучные смеси АМЛ-3 и АКЛ-3, содержащие 65 % льняной муки. Наименьшая вязкость была зафиксирована у образцов АКЛ-1; АКЛ-2 и АМЛ-1, в состав которых входит льняная мука в коли-

честве 40 и 50 % соответственно.

Общая и упругая деформация образцов изделий с добавлением миндальной муки (АМЛ-1; АМЛ-2 и АМЛ-3) не имела существенных различий, несмотря на различные значения вязкости суспензий и колебалась в пределах 3,5–4,0 мм – для общей деформации и 2,2–2,4 мм – для упругой деформации. При этом образцы с высоким содержанием кун-

Таблица 3
Органолептическая оценка образцов кондитерских изделий с учетом коэффициента значимости

Характеристика	K3	АМЛ-1	АМЛ-2	АМЛ-3	АКЛ-1	АКЛ-2	АКЛ-3
1. Внешний вид							
– форма	4	4	4	4	5	4	4
– цвет корки	3	4	4	4	4	4	4
– поверхность	4	4	4	4	5	4	4
2. Вид на разрезе							
– цвет мякиша	3	5	4	4	5	4	4
– состояние мякиша	4	4	3	2	4	4	3
– пористость	3	5	5	5	5	5	5
3. Аромат	5	5	5	5	5	5	4
4. Вкус	5	3	5	4	5	4	3
Общая оценка (макс. 100)	–	83,9	85,8	80,0	95,5	85,2	76,1

Примечание. АМЛ-1; АМЛ-2; АМЛ-3 – образцы, содержащие амарантовую, миндальную и льняную муку в соотношениях: 30/20/50; 30/10/60; 15/20/65. АКЛ-1; АКЛ-2; АКЛ-3 – образцы, содержащие амарантовую, кунжутную и льняную муку в соотношениях: 30/30/40; 20/30/50; 20/15/65.

жутной муки (АКЛ-1 и АКЛ-2) характеризовались наибольшими показателями деформации, что коррелировало с наименьшей вязкостью суспензий данных мучных смесей. Наличие значительного количества липидов в кунжутной муке препятствовало образованию устойчивого геля белков и полисахаридов с молекулами воды, что создавало пластичную структуру готовых изделий, легко подвергающихся деформационным воздействиям.

Анализ органолептических свойств готовых изделий проводился по показателям: внешний вид, вид на разрезе, состояние мякиша, аромат, вкус, – с учетом коэффициента значимости (табл. 3).

На основе данных исследований установили, что все образцы кондитерских изделий соответствовали требованиям, предъявляемым к бисквитным полуфабрикатам, – имели правильную форму, характерный подъем, были равномерно пропечены, не имели повреждений, следов непромеса. По показателям цвет, вкус и аромат все образцы соответствовали видам муки, использованным при их производстве. Лучшими органолептическими свойствами обладали кондитерские изделия, изготовленные из мучных смесей АМЛ-2 и АКЛ-1. Они обладали приятными вкусовыми свойствами, равномерной пористостью и эластичным мякишем, имели наименьшее количество изломов, наиболее ровную поверхность и светлый цвет.

Результаты физико-химических исследований образцов бисквитных полуфабрикатов позволили заключить, что содержание белка в готовых изделиях коррелировало с содержанием белка в мучной смеси, на основе которой они изготовлены и колебалось в пределах

от 14,8 до 17,9 %. Наибольшее количество белка установлено в изделиях, изготовленных на основе безглютеновых смесей АМЛ-3; АКЛ-2 и АКЛ-3 (табл. 4).

Заключение

Рекомендуемая методология создания безглютеновых мучных смесей для изготовления кондитерских изделий позволяет расширить рацион питания лиц с непереносимостью глютена. Оптимизированные мучные смеси обладают приемлемыми технологическими свойствами, отвечают нормам рационального питания по количеству и соотношению белков, аминокислот, витаминов, макро- и микроэлементов. Кондитерские изделия, изготовленные из модельных безглютеновых смесей, характеризуются высокими потребительскими свойствами, являются источником эссенциальных компонентов.

Литература

1. Мясина, Ю.Н. Целиакия: насколько сложно поставить диагноз? / Ю.Н. Мясина, Т.А. Тихонова // *Бюллетень медицинских интернет-конференций*. – 2014. – Т. 4, № 8. – С. 998–999.
2. Фарбер, А.В. Целиакия. От патогенеза к лечению / А.В. Фарбер, Е.Л. Никонов // *Доказательная гастроэнтерология*. – 2014. – Т. 3, № 4. – С. 22–29.
3. Белоусова, О.Ю. Целиакия: эволюция взглядов на классификацию и подходы к диагностике / О.Ю. Белоусова // *Педиатрия. Восточная Европа*. – 2017. – Т. 5, № 3. – С. 331–341.
4. Губская, Е.Ю. Целиакия – клиника, диагностика, лечение // *Внутренняя медицина*. Киев – 2008. – № 3 (9). – С. 12–14.
5. Sollid, L. *Molecular basis of celiac dis-*

Таблица 4

Содержание белка в образцах кондитерских изделий

Наименование образца	Содержание белка в мучной смеси, %	Содержание белка в образцах бисквита, %
АМЛ-1 (30/20/50)	25,7 ± 0,11	14,82 ± 0,06
АМЛ-2 (30/10/60)	26,59 ± 0,12	15,95 ± 0,07
АМЛ-3 (15/20/65)	28,16 ± 0,14	17,43 ± 0,07
АКЛ-1 (30/30/40)	26,46 ± 0,12	15,76 ± 0,06
АКЛ-2 (20/30/50)	28,1 ± 0,13	17,44 ± 0,07
АКЛ-3 (20/15/65)	28,61 ± 0,14	17,94 ± 0,08

Примечание. АМЛ-1; АМЛ-2; АМЛ-3 – образцы, содержащие амарантовую, миндальную и льняную муку в соотношениях: 30/20/50; 30/10/60; 15/20/65. АКЛ-1; АКЛ-2; АКЛ-3 – образцы, содержащие амарантовую, кунжутную и льняную муку в соотношениях: 30/30/40; 20/30/50; 20/15/65.

ease / L. Sollid // *Annu Rev Immunol.* – 2000. – No. 18. – P. 53–81. DOI: 10.1146/annurev.immunol.18.1.53

6. Tollefsen, S. HLA DQ2 and DQ8 signatures of gluten T cell epitopes in celiac disease / S. Tollefsen, H. Arentz-Hansen, B. Fleckenstein et al. // *Clin Invest.* – 2006. – № 116 (8). – P. 2226–2236. DOI: 10.1172/JCI27620

7. Ivarsson, A. Epidemic of coeliac disease in Swedish children / A. Ivarsson, L. Persson, L. Nystrom et al. // *Acta Paediatr.* – 2000. – No. 89 (2). – P. 165–167.

8. Горгун, Ю.В., Портянко А.С. Клинико-морфологическая диагностика целиакии // *Медицинские новости.* – 2007. – № 10. – С. 31–35.

9. Захарова, И.Н. Целиакия: базовые сведения / И.Н. Захарова, Т.Э. Боровик, Е.А. Рославцева и др. // *Педиатрия. Приложение к журналу Consilium medicum.* – 2014. – № 2. – С. 31–35.

10. Ревнова, М.О. Целиакия как аутоиммунное заболевание / М.О. Ревнова, Н.С. Шаповалова // *Вопросы детской диетологии.* – 2015. – № 3. – С. 33–39.

11. Климов, Л.Я. Взаимосвязь между антропометрическими показателями и дефицитом железа у детей в периоде клинической манифестации целиакии / Л.Я. Климов, М.В. Стоян, В.А. Курьянинова и др. // *Педиатрия. Приложение к журналу Consilium medicum.* – 2016. – № 2. – С. 92–97.

12. Дзедисова, Ф.С. Вопросы патогенеза, диагностики и лечения целиакии / Ф.С. Дзедисова, Т.Т. Бораева, У.В. Матвеева и др. // *Фундаментальные исследования.* – 2014. – № 7–5. – С. 940–944.

13. TP TC 027/2012. О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания. Принят решением Совета Евразийской экономической комиссии № 34 от 15.06.2012.

14. Capriles, V. Novel Approaches in Gluten-Free Breadmaking: Interface between Food Science, Nutrition, and Health / Vanessa D. Capriles, José Alfredo G. Arêas // *Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety.* – 2013. – Vol. 13, Issue 5. – P. 871–890.

15. Урубков, С.А. Содержание основных нутриентов в продуктах переработки безглютеновых зерновых культур при производстве продукции для детского питания / С.А.

Урубков, С.С. Хованская, С.О. Смирнов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии».* – 2019. – Т. 7, № 4. – С. 32–38. DOI: 10.14529/food190404

16. Гофман, В.С. Особенности применения гречневой муки как ингредиента безглютеновых изделий / В.С. Гофман, О.М. Соболева // *Агропромышленному комплексу – новые идеи и решения: сб. трудов конференции.* – Кемерово. – 2018. – С. 182–188.

17. Звягин, А.А. Потенциальные возможности амарантовой муки как безглютенового продукта / А.А. Звягин, И.А. Бавыкина, И.М. Жаркова, Л.А. Мирошниченко // *Вопросы детской диетологии.* – 2015. – Т. 13, № 2. – С. 46–51.

18. Корнева, О.А. Обоснование применения кунжутной и льняной муки в производстве безглютеновых продуктов / О.А. Корнева, К.Ф. Котелевская, Т.В. Чакрян // *Инновации в индустрии питания и сервисе: сб. материалов конференции.* – Краснодар: Издательство Кубанский государственный технологический университет, 2014. – С. 249–251.

19. Курбанова, К.Х. Изучение хлебопекарных свойств рисовой муки и гречишной как сырья для безглютеновых пищевых продуктов / К.Х. Курбанова, О.Б. Иванченко // *Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции – Санкт-Петербург: Издательство ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»*, 2018. – С. 26–29.

20. Резниченко, И.Ю. Современные подходы для создания инновационных технологий безглютеновых продуктов питания / И.Ю. Резниченко, Д.М. Бородулин, Н.С. Пикулина // *Актуальные вопросы создания функциональных продуктов птицеводства и других отраслей пищевой промышленности: сб. тр. научной конференции.* – Ржавки: Издательство ВНИИПП, 2018. – С. 120–123.

21. Тиунов, В.М. Обоснование рецептурного состава и технологических особенностей производства сухих смесей для производства безглютеновых мучных кулинарных изделий / В.М. Тиунов, О.В. Чугунова, Н.В. Заборохина // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии.* – 2018. – Т. 6, № 1. – С. 23–31. DOI: 10.14529/food180103

22. Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением Пра-

вительства РФ от 29.07.2016. №1364-р. – <http://static.government.ru/media/files/9JUDtBOrqmoAatAhvT2wJ8UPT5Wq8qIo.pdf>

23. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ. Методические рекомендации МР 2.3.1.2432-08 / под рук. В.А. Тутельяна. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 38 с.

24. Singer, F.A.W. Preparation of mucilage/protein products from flaxseed / F.A.W. Singer, F.S. Taha, S.S. Mohamed, A. Gibriel, M. El-Nawawy // *American Journal of Food Technology*. – 2011. – Iss. 6. – P. 260–278. DOI:10.3923/ajft.2011.260.278

25. Liu, W.Y. Influence of flaxseed gum and NaCl concentrations on the stability of oil-in-water emulsions / W.Y. Liu, M.Q. Feng, M. Wang, P. Wang, J. Sun, X.L. Xu et al. // *Food Hydrocolloids*. – 2018. – Vol. 79. – P. 371–381. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.01.010

26. Barbary, O.M. Extraction, composition and physicochemical properties of flaxseed mucilage / O.M. Barbary, S.A. Al-Sohaimy, M.A. El-Saadani, A.M.A. Zeitoun // *J. Adv. Agric. Rec.* – 2009. – Vol. 14(3). – P. 605–621.

27. Цыганова, Т.Б. / Полисахариды семян льна: практическое применение Т.Б. Цыганова, И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2019. – № 2. – С.24–36.

Меренкова Светлана Павловна, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), merenkovasp@susu.ru

Потороко Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), potorokoiy@susu.ru

Контонистова Юлия Сергеевна, магистрант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), syberian3001@mail.ru

Фомина Татьяна Юрьевна, аспирант кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), thkimi@mail.ru

Поступила в редакцию 11 октября 2019 г.

DOI: 10.14529/food200110

APPROACHES IN FOOD PRODUCTION TECHNOLOGY FOR DIET THERAPY OF POPULATION WITH GLUTEN ENTEROPATHY

S.P. Merenkova, I.Yu. Potoroko, Yu.S. Kontonistova, T.Yu. Fomina

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Celiac disease is a multifactorial disease in which both a genetic predisposition and the organization of a balanced diet are important. Development of gluten-free products technologies using new types of plant raw materials is a relevant research problem, the solution of which will allow to expand the range of specialized nutrition products. The aim of the study was to improve the methodology of designing gluten-free flour compositions with optimal technological properties and the adjusted ratio of physiologically valuable nutrients. The materials for the study were four gluten-free compositions from flaxseed, almond, sesame and amaranth flour and samples of cakes from optimized flour mixtures. As a result of the calculated data analysis, it was found that the optimized compositions are enriched with essential components – the content of protein, essential amino acids, vitamins B₁ and E, as well as mineral components can satisfy daily requirements in nutrients by more than 30 %. When analyzing the technological properties of optimized flour formulas. their high water-absorbing capacity and an increase in the viscosity of suspension with

a significant content of flaxseed flour in the formulation were established. Model cake samples met standardized requirements - they were distinguished by enjoyable taste, uniform porosity and elastic crumb had a smooth surface and a specific color. The protein content in the finished products correlated with the component content in the flour formulations and ranged from 14.8 to 17.9 %. The recommended methodology of designing gluten-free flour compositions allows expanding the diet of people with gluten intolerance. Optimized flour compositions have satisfactory technological properties; meet the standards of rational nutrition in terms of the amount and ratio of proteins, amino acids, vitamins, macro - and microelements. Cakes made from flour formulations are a resource of essential components they are characterized by high consumer properties.

Keywords: gluten-free products, celiac disease, optimized flour compositions, technological properties, nutritional value, structural and mechanical properties.

References

1. Myalina Yu.N., Tikhonova T.A. [Celiac disease: how difficult is it to make a diagnosis?]. *Byulleten' meditsinskikh internet-konferentsiy* [Bulletin of medical Internet conferences], 2014. vol. 4, no. 8. pp. 998–999. (in Russ.)
2. Farber A.V., Nikonov E.L. [Celiac Disease. From pathogenesis to treatment]. *Dokazatel'naya gastroenterologiya* [Evidence-based gastroenterology], 2014, vol. 3, no. 4. pp. 22–29. (in Russ.)
3. Belousova O.Yu. [Celiac disease: evolution of views on classification and approaches to diagnosis]. *Pediatrics. Vostochnaya Evropa* [Pediatrics. Eastern Europe]. 2017, vol. 5, no. 3. pp. 331–341. (in Russ.)
4. Gubskaya E.Yu. [Celiac disease-clinic, diagnosis, treatment]. *Vnutrennyaya meditsina* [Internal medicine], 2008, no. 3 (9), pp. 12–14. (in Russ.)
5. Sollid L. Molecular basis of celiac disease. *Annu Rev Immunol*, 2000, no. 18. pp. 53–81. DOI: 10.1146/annurev.immunol.18.1.53
6. Tollefsen S., Arentz-Hansen H., Fleckenstein B. et al. HLA DQ2 and DQ8 signatures of gluten T cell epitopes in celiac disease. *Clin Invest.*, 2006, no. 116 (8), pp. 2226–2236. DOI: 10.1172/JCI27620
7. Ivarsson A., Persson L., Nystrom L. et al. Epidemic of coeliac disease in Swedish children. *Acta Paediatr.*, 2000, no. 89 (2), pp. 165–167.
8. Gorgun Yu.V., Portyanko A.S. [Clinical and morphological diagnostics of celiac disease]. *Meditsinskie novosti* [Medical news], 2007, no. 10, pp. 31–35. (in Russ.)
9. Zakharova I.N. [Celiac disease: basic information / I.N. Zakharova, T.E. Borovik, E.A. Roslavtseva and others]. *Pediatrics. Prilozhenie k zhurnaluu Consilium medicum* [Pediatrics. The Supplement to the journal Consilium medicum], 2014, no. 2, pp. 31–35. (in Russ.)
10. Revnova M.O., Shapovalova N.S. [Celiac disease as an autoimmune disease]. *Voprosy detskoy dietologii* [Questions of child nutrition], 2015, no. 3, pp. 33–39. (in Russ.)
11. Klimov L.Ya., Stoyan M.V., Kuryaninova V.A. et al. [Relationship between anthropometric indicators and iron deficiency in children in the period of clinical manifestation of celiac disease]. *Pediatrics. Prilozhenie k zhurnaluu Consilium medicum* [Pediatrics. The Supplement to the journal Consilium medicum], 2016, no. 2, pp. 92–97. (in Russ.)
12. Dzebisov F.S., Baraeva T.T., Matveev W.V. et al. [Pathogenesis, diagnosis and treatment of celiac disease]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental study], 2014, no. 7–5, pp. 940–944. (in Russ.)
13. TR TS 027/2012. *O bezopasnosti otdel'nykh vidov spetsializirovannoy pishchevoy produkcii, v tom chisle dieticheskogo lechebnogo i dieticheskogo profilakticheskogo pitaniya. Prinyat resheniem Soveta Evraziyskoy ekonomicheskoy komissii N 34 ot 15.06.2012* [TR CU 027/2012. On the safety of certain types of specialized food products, including dietary therapeutic and dietary preventive nutrition. Adopted by the decision of the Council of the Eurasian economic Commission N 34 of 15.06.2012].
14. Capriles V., José Alfredo G. Arêas, Novel Approaches in Gluten-Free Breadmaking: Interface between Food Science, Nutrition, and Health. [Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety], 2013, vol. 13, iss. 5. pp. 871–890. DOI: 10.1111/1541-4337.12091

15. Urubkov S.A., Khovanskaya S.S., Smirnov S.O. The Content of the Main Macronutrients in the Products of Gluten-Free Grain Crops in the Production of Products for Baby Food. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2019, vol. 7, no. 4, pp. 32–38. (in Russ.) DOI: 10.14529/food190404
16. Gofman V.S., Sobolev O.M. [Features of the use of buckwheat flour as an ingredient in gluten-free products]. *Agropromyshlennomu kompleksu – novye idei i resheniya* [Agriculture – new ideas and solutions: proceedings of the conference]. Kemerovo, 2018, pp. 182–188. (in Russ.)
17. Zvyagin A.A., Bavykina I.A., Zharkova I.M., Miroshnichenko L.A. [Potential of amaranth flour as a gluten-free product]. *Voprosy detskoy dietologii* [Questions of children's nutrition], 2015, vol. 13, no. 2, pp. 46–51. (in Russ.)
18. Korneva O.A., Kotelevskaya K.F., Chakryan T.V. [The rationale for the use of sesame and flax flour in the production of gluten-free products]. *Innovatsii v industrii pitaniya i servise* [Innovations in the food industry and service: Sat. conference materials]. Krasnodar, 2014, pp. 249–251. (in Russ.)
19. Kurbanova K.Kh., Ivanchenko O.B. [Studying the baking properties of rice flour and buckwheat as a raw material for gluten-free foods]. *Nedelya nauki SPbPU: materialy nauchnoy konferentsii* [SPbPU Science Week: Materials of a Scientific Conference]. St. Petersburg, 2018, pp. 26–29. (in Russ.)
20. Reznichenko I.Yu., Borodulin D.M., Pikulina N.S. [Modern approaches for creating innovative technologies for gluten-free food]. *Aktual'nye voprosy sozdaniya funktsional'nykh produktov ptitsevodstva i drugikh otrasley pishchevoy promyshlennosti* [Actual problems of creating functional products of poultry farming and other branches of the food industry]. Rust, 2018, pp. 120–123. (in Russ.)
21. Tiunov V.M., Chugunova O.V., Zavorokhina N.V. Feasibility of the Recipe Composition and Technological Features of Dry Mixtures Production for Gluten-Free Flour Culinary Products. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2018, vol. 6, no. 1, pp. 23–31. (in Russ.) DOI: 10.14529/food180103
22. *Strategiya povysheniya kachestva pishchevoy produktsii v Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda* [Strategy for improving the quality of food products in the Russian Federation until 2030]. Approved by order of the Government of the Russian Federation of June 29, 2016 No. 1364-p. Available at: <http://static.government.ru/media/files/9JUDtBOPqmoAatAhvT2wJ8UPT5Wq8qIo.pdf>.
23. *Ratsional'noe pitanie. Normy fiziologicheskikh potrebnostey v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya RF. Metodicheskie rekomendatsii MR 2.3.1.2432-08* [Rational nutrition. Norms of physiological requirements in energy and food substances for various population groups of the Russian Federation. Methodical recommendations Mr 2.3.1.2432-08]. Moscow, 2009. 38 p.
24. Singe F.A.W., Taha F.S., Mohamed S.S., Gibriel A., El-Nawawy M. Preparation of mucilage/protein products from flaxseed. *American Journal of Food Technology*, 2011, iss. 6, pp. 260–278. DOI: 10.3923/ajft.2011.260.278
25. Liu W.Y., Feng M.Q., Wang M., Wang P., Sun J., Xu X.L. et al. Influence of flaxseed gum and NaCl concentrations on the stability of oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 2018, vol. 79, pp. 371–381. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.01.010
26. Barbary O.M., Al-Sohaimy S.A., El-Saadani M.A., Zeitoun A.M.A. Extraction, composition and physicochemical properties of flaxseed mucilage. *J. Adv. Agric. Rec.*, 2009, vol. 14(3), pp. 605–621.
27. Tsyganova T.B., Minevich I.E., Osipova LL. [Polysaccharides of flax seeds: practical application]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials], 2019, no. 2, pp. 24–36. (in Russ.)

Svetlana P. Merenkova, Candidate of Sciences (Veterinary), Associate Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, merenkovasp@susu.ru

Irina Yu. Potoroko, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, irina_potoroko@mail.ru

Yulia S. Kontanistova, master's student of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University (Chelyabinsk), syberian3001@mail.ru

Tatyana Yu. Fomina, post-graduate student of the Department of Food Technology and Biotechnology, South Ural State University (Chelyabinsk), thkimi@mail.ru

Received October 11, 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Подходы в технологии производства продуктов питания для диетотерапии населения с глютеновой энтеропатией / С.П. Меренкова, И.Ю. Потороко, Ю.С. Контонистова, Т.Ю. Фомина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2020. – Т. 8, № 1. – С. 81–93. DOI: 10.14529/food200110

FOR CITATION

Merenkova S.P., Potoroko I.Yu., Kontanistova Yu.S., Fomina T.Yu. Approaches in Food Production Technology for Diet Therapy of Population with Gluten Enteropathy. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2020, vol. 8, no. 1, pp. 81–93. (in Russ.) DOI: 10.14529/food200110
