

МРНТИ: 65.33.03

Г.Д. Акшораева*, М.М. Какимов, А.Б. Нуртаева, Н.Б. Утарова, Н.С. Машанова
 Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина,
 010011, Республика Казахстан, город Астана, пр. Женис 62
 *e-mail: gaukhar_01.88@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕИНОВОГО ТЕСТА И ЕГО КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Аннотация: Поскольку в безглютеновом тесте отсутствует структурирующий глютен, его необходимо заменить гидроколлоидами или другими водосвязывающими соединениями, например, гуаровой камедью, ксантаном или гидроксипропилметилцеллюлозой. Обычно рецепт безглютенового хлеба содержит большее количество крахмала и обрабатывается с большим количеством воды по сравнению с пшеничным и ржаным тестом, что приводит к консистенции жидкого теста. Как следствие, в целом пищевая ценность этих хлебов недостаточно сбалансирована. Они богаты углеводами и не содержат пищевых волокон. Зеин является уникальным заменителем глютена в безглютеновой системе из-за его вязкоупругих свойств, аналогичных глютену. Проламин кукурузного зерна, зеин, показал некоторую перспективность в поведении как пшеничная клейковина, поскольку он может образовывать вязкоупругую белковую сеть, когда белок удерживается и смешивается при 35° С и больше, что выше его температуры стеклования (T_g). Зеин (проламин кукурузы) может проявлять вязкоупругую функциональность, аналогичную клейковине в системах водного теста, при нагревании выше температуры стеклования (T_g). Эти зеиновые теста демонстрируют волокнистую сеть, которая также демонстрирует характеристики, аналогичные характеристикам клейковинного теста. Однако такое тесто на основе зеина имеет ограниченную способность удерживать газ и значительно более растяжимо, чем тесто на основе глютена. В данной работе мы исследуем реологические свойства зеинового теста и его качественные показатели.

Ключевые слова: кукурузный глютен, проламин кукурузного зерна, зеин, экстракция, безглютеновый продукт, клейковина.

Введение

Кукуруза является культурой экономического значения с распространением по всему миру. Кукуруза, которая произрастает в Северной и Южной Америке и в настоящее время широко распространена в США, Китае, Бразилии и других странах, является важной продовольственной культурой в мире (рис.1) [1].

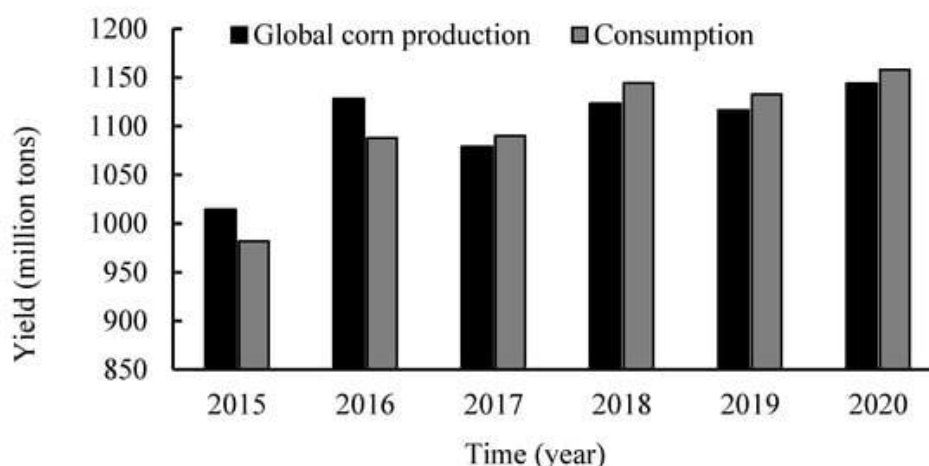


Рисунок 1 – Карта мирового производства кукурузы.

В Казахстане в 2021 под кукурузу было занято 43% всех орошаемых площадей страны, под рис 26%. Урожайность кукурузы на орошении составила 66 ц/га, что сравнимо с показателями Бразилии и Аргентины в 2021/22 маркетинговом году (рис. 2) [2]. В Казахстане побочные продукты кукурузы в основном используются в качестве корма для животных с низкой экономической ценностью, что очень расточительно. Хотя по питательным свойствам кукуруза в основном состоит из крахмала, белка и жира, которые богаты микроэлементами, такими как витамин А, витамин Е и микроэлемент селен.

Валовые сборы зерновых, тыс. тонн

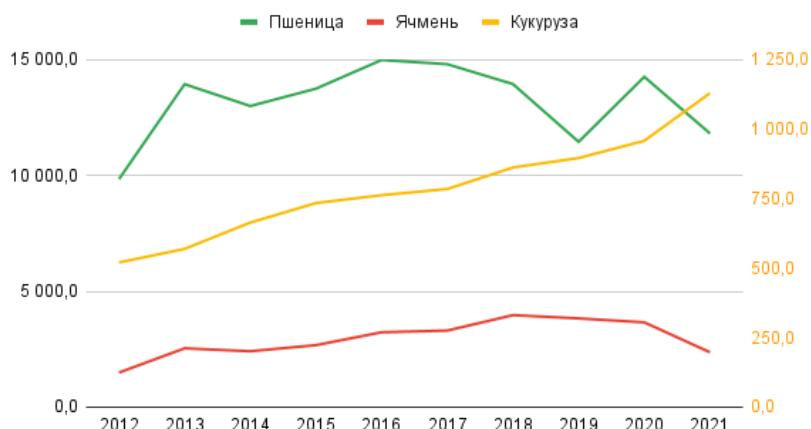


Рисунок 2 – Валовые сборы зерновых Республики Казахстан

В зависимости от степени обработки кукурузного сырья переработку кукурузы можно разделить на первичную переработку и глубокую переработку побочных продуктов. Первоначальная обработка кукурузы включала простую обработку, такую как очистка, замачивание, дробление, разделение и обезвоживание. Глубокая переработка побочных продуктов кукурузы – это процесс использования первого обработанного кукурузного продукта в качестве сырья, а затем использования внешней технологии для выполнения вторичной обработки на нем и превращения его в конечный продукт. От одного первичного продукта кукурузы до производства все большего количества производных кукурузы и ее побочных продуктов, перерабатывающие сорта кукурузы постоянно обогащаются, осуществляется диверсификация переработки побочных продуктов кукурузы, а производственная цепочка еще больше расширяется.

Согласно отчетам об исследованиях, на каждую тонну переработанного сиропа кукурузного крахмала можно произвести около 180 кг кукурузной глютенной муки (КГМ). Содержание белка в КГМ достигает около 60%, в основном состоящих из зеина, глобуллинов и глютелинов, которые являются очень высококачественными источниками растительного белка [3]. КГМ содержит высокий процент гидрофобных аминокислот, а остальная часть состава состоит в основном из воды, клетчатки и жира (табл. 1).

Клейковина состоит из глютелинов и глиадинов. Последний содержит цистеиновые остатки, которые существуют в виде внутримолекулярные дисульфидные связи, которые спрятаны внутри белка глютена и поэтому не участвуют в сульфгидрил-дисульфидных связях. Поэтому они не участвуют в реакциях сульфгидрильно-дисульфидного обмена с другими белками. В пшеничном тесте, глиадины остаются компактными и способствуют текучести теста, так как оно растяжимое и вязкое, но не очень эластичной. Это объясняет, почему глиадины придают клейковине вязкостные свойства, что было показано при изготовлении теста в процессе смешивания изолированных глиадинов и крахмала. Это было показано на примере приготовления теста путем смешивания изолированных глиадинов и крахмала. Тесто было вязким, а не вязкоупругим. С другой стороны, глютелины состоят как из высоко-, так и низкомолекулярных белков, соединенных поперечными связями молекулярных белков, соединенных поперечными связями.

Таблица 1 – Основные компоненты, технологический метод, функции и основные результаты кукурузной глютенной муки

Компонент	Технологический метод	Функция	Основные выводы
Пищевые волокна	В настоящее время экстракция пищевых волокон в основном основана на методах химической подготовки, включая мембранное разделение, ферментативный гидролиз и ферментацию	Пищевые волокна обладают сильной связывающей и обменной способностью с катионами и поглощают глюкозу	Может обмениваться ионами натрия и калия в кишечном тракте и способствовать выведению ионов Na^+ и K^+ с мочой и калом
Полисахариды	Полисахариды в кукурузной шелухе обычно экстрагируются кислотой, щелочным или органическим растворителем, экстракцией с помощью ферментов, ультразвуковой экстракцией и другими методами	Полисахариды обладают значительной функциональной активностью, такой как иммунная регуляция, антиоксидантная, противоопухолевая и снижающая артериальное давление функции	Полисахариды могут улучшать иммунитет, влияя на морфологию, фагоцитоз, секрецию цитокинов и другие аспекты макрофагов или увеличивая объем макрофагов
Белок	Методом экстракции этанола и потопления щелочной кислоты	Основным белком кукурузной шелухи является зеин. Зеин содержит гидрофобные и гидрофильные группы, которые обладали хорошей амфифильностью	Белок зеина быстро извлекается из раствора этанола, и частицы белка зеина связываются вместе, образуя волокнистую структуру, и может образовываться разлагаемая пленка зеина
Масло из кукурузной шелухи	Традиционные методы приготовления масла из кукурузной шелухи в основном включают метод прессования и метод экстракции органическим растворителем.	Масло кукурузной шелухи также богато фитостеролами, которые играют решающую роль в поддержании баланса холестерина, борьбе с окислением и омоложением в организме человека.	Они являются основными компонентами клеточных мембран и предшественниками витамина D и различных гормонов. Поскольку человеческий организм не может синтезировать стероиды самостоятельно, пища является единственным источником стероидов.

Эти компоненты глютеинов интенсивно полимеризуются через реакцию сульфгидрильно-дисульфидного обмена в процессе приготовления теста. В пшеничном тесте глютеины разворачиваются и растягиваются, они эластичны, но не очень растяжимы. Именно поэтому глютеины отвечают за эластичные свойства клейковины. Кроме того, водородная связь между амидными и гидроксильными группами обуславливает вязкоупругие свойства пшеничного теста. Для того чтобы улучшить качество безглютеновых хлебов (сделать их более похожими на пшеничные), для придания тесту большей эластичности в рецептуру может быть добавлен кукурузный зеин [4].

Зеин – это проламиновый белок из зерен кукурузы, который потенциально может быть использован в производстве безглютенового хлеба. При хранении зеина при температуре выше температуры стеклования $\sim 28^{\circ}C$ он образует вязкоупругое тесто.

Зеин является уникальным заменителем глютена в безглютеновой системе из-за его вязкоупругих свойств, аналогичных глютену. Вязкоупругость является важнейшим свойством клейковины, которое позволяет удерживать углекислый газ, образующийся во время брожения теста [5].

Зеин (проламин кукурузы) может проявлять вязкоупругую функциональность, аналогичную клейковине в системах водного теста, при нагревании выше температуры стеклования (T_g). Эти зеиновые теста демонстрируют волокнистую сеть, которая также демонстрирует характеристики, аналогичные характеристикам клейковинного теста. Однако такое тесто на основе зеина имеет ограниченную способность удерживать газ и значительно более растяжимо, чем тесто на основе глютена. Было обнаружено, что гидроколлоиды, такие как гидроксипропилметилцеллюлоза, стабилизируют структуру волокнистого зеина в тесте, что позволяет производить хлеб хорошего качества [6]. Например, вместо того, чтобы лепить безглютеновое тесто, его обычно выливают в формы для хлеба. Хлеб и булочки подового типа, как правило, не могут быть изготовлены из них. Из-за отсутствия агрегированной клейковинной сети, консистенции теста, похожей на тесто, и жесткой текстуры готовых буханок этот хлеб сравнивают с пирожными.

В данной статье рассматриваются факторы, влияющие на формирование вязкоупругого теста из зеина, включая роль вторичной структуры белка, методы улучшения формирования зеинового теста, а также производство хлеба из зеинового вязкоупругого теста.

2. Материалы и методы

Чтобы углубить наше понимание реологических изменений безглютенового теста в процессе расстойки, в этой работе исследовали роль вторичной структуры белка, методы улучшения формирования зеинового теста; затем мы изучили реологические изменения безглютенового теста в макроскопическом масштабе, влияние смешивания разных ингредиентов зеинового теста.

Эта работа может способствовать пониманию реологических изменений, происходящих в процессе замешивания теста и способствовать разработке хлеба с улучшенным качеством и консистенцией.

Для начала в лабораторных условиях был извлечен зеин для исследования. Приведена технологическая схема извлечения зеина из кукурузного глютена. [7]. Кукурузный глютен был приобретен из Южного Казахстана ТОО «АзияАгроФуд», завода по производству крахмала и патоки. Глютен имеет специфический запах, консистенции порошка с крупным помолом. В нашем случае мы извлекли методом экстракции зеин в лабораторных условиях. Тем самым определили состав зеина.

По технологической схеме на этапе экстракции используется экстрагент более низкой концентрации. Концентрация этанола в диапазоне 60-90% в воде была признана эффективной, и предпочтительным является раствор экстрагента 70% этанола, 30% воды. Температура экстракции должна составлять 25-65° С. Время экстракции должно составлять 10-120 минут. На этапе фильтрации отделяются другие твердые частицы кукурузы для переработки, если это необходимо. Например, отделенные твердые частицы кукурузы с этапа фильтрации подвергаются этапу обессоливания для удаления этанола, который может быть адсорбирован в твердых частицах кукурузы. Обессоливание твердых веществ кукурузы обеспечивает необходимое сырье для производства обычного этанола. Фильтрат, содержащий масло, этанол и соэкстрагированные компоненты, такие как небольшое количество масла, которое может быть растворимым при определенных концентрациях этанола, затем обрабатывается на стадии мембранной ультрафильтрации, чтобы задержать зеин, позволяя этанолу проходить через него. Белки зеина имеют молекулярную массу около 12 000-40 000 дальтонов.

С этого момента для дальнейшего концентрирования и очистки зеина могут быть использованы альтернативные этапы. Первым альтернативным этапом является этап выпаривания и сушки. Вторым альтернативным этапом заключается в направлении потока зеина и этанола на этап осаждения, где зеин выпадает в осадок. Добавление холодной воды для снижения концентрации этанола ниже 40% приводит к выпадению зеина в осадок. Затем на этапе фильтрации получают зеин (рис. 3).

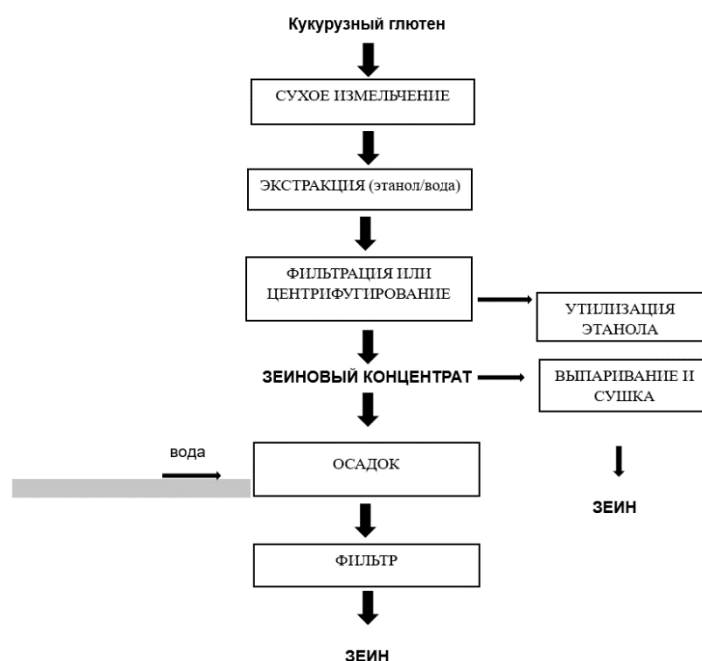


Рисунок 3 – Технологическая схема экстракции зеина

2.1 Температура

Известно, что зеин обладает способностью образовывать вязкоупругое тесто со свойствами, аналогичными свойствам пшеничной клейковины, в течение многих лет. Профессор Лоутон опубликовал подробную информацию о формировании вязкоупругого теста с использованием коммерческого изолята зеина и смеси кукурузного крахмала, подчеркнув влияние температуры смешивания, что представляет собой ключевой интерес для исследователей. Важным выводом этих ранних исследований было то, что зеин может образовывать вязкоупругое тесто при смешивании выше температуры стеклования (T_g), но не при смешивании ниже T_g . При растяжении вручную зеиновое тесто, замешанное при температуре выше T_g демонстрирует свойства, схожие с пшеничным тестом. Относительно условий формирования теста, T_g зеина, по некоторым данным, составляет $\sim 25-30^\circ\text{C}$, что выше обычной комнатной температуры [9]. Он предположил, что при смешивании коммерческих изолятов зеина при повышенной температуре, белковые волокна зеина, похожие по внешнему виду на те, которые образованные белками пшеничной клейковины, развиваются и приводят к вязкоупругому поведению зеинового теста. Впоследствии многие исследователи подтвердили образование фибрилл зеина и исследовали свойства и взаимодействие этих волокон в способности зеина формировать вязкоупругое тесто [10]. После того как при охлаждении ниже T_g происходят быстрые изменения вторичной структуры белка с потерей β -листных вторичных структур, образовавшихся во время смешивания. Тесто, замешанное при температуре выше T_g , но выдержанное при температуре замеса также отличается по растяжимости от теста, испытанного сразу после смешивания. Однако, когда тесту давали охладиться ниже T_g , волокна зеина не исчезали, но механическая обработка теста привела к тому, что видимая белковая сеть распалась на мелкие кусочки которые не восстанавливались в белковую сеть при повторном нагревании до температуры выше T_g [11]. Таким образом, тепло необходимо как для формирования зеинового вязкоупругого теста, так и для поддержания его вязкоупругих свойств [12].

2.2 Влияние смешивания

Зеин перемешивался при повышенных температурах для получения вязкоупругого теста с помощью различных приборов/методов, включая: фаринограф, штыревой миксер, ручное смешивание, миксер Kitchen Aid с чашей для смешивания с водяной рубашкой. Очевидно, что наряду с теплом для формирования белковых структур, необходимых для зеина, требуется энергия (сдвиг) белковых структур, необходимых зеину для развития вязкоупругих свойств. В недозамешанном тесте с зеином наблюдалось слабое развитие белковых волокон зеина, и полученное тесто не обладало вязкоупругими свойствами, в то время как зеин, перемешанный до точки максимального сопротивления, показал образование

волокон зеина и вязкоупругие свойства. Количество воды в зеиновом тесте также может влиять на время и энергию ингредиенты [13]. Например, профессор из Федеричи и др. (2020) обнаружили, что зеин и картофельный крахмал не могут быть эффективно перемешаны в миксографе из-за недостаточной эластичности и для создания теста из зеина необходим миксер с более эффективным перемешиванием. В некоторых случаях перемешивание зеина вручную может не обеспечить достаточного количества энергии для оптимального развития теста, что может повлиять на формирование зеиновых образований волокон. Смешивание смесей зеина и казеина вручную также считалось источником вариативности в исследованиях, посвященных вязкоупругим материалам [14]. Недостаточная энергия перемешивания может не обеспечивать достаточного сдвига для изменения вторичной структуры белка зеина или уменьшить возможности для белковых взаимодействий. Интересно, вязкоупругое тесто из зеина не всегда имеет признаки разрушения во время замеса [15]. Это может быть связано с вторичными структурами белков. Разрушение теста может быть связано с количеством зеина, присутствующего в тесте и других ингредиентов. Андерссон и др. (2011) показали, что тесто разрушается, когда при смешивании теста с зеином и крахмалом-ГПМЦ в миксографе, а Акин и др. (2020) обнаружили, что мука сорго с зеином и танином разрушается при смешивании в фаринографе. Возможно, что ингредиенты влияют на вторичную структуру белка и способствуют разрушению теста. Например, в этом случае смешивание муки сорго с зеином и танином привело к разрушению теста, поскольку танины, как известно, прочно связываются с белками и, как сообщается, влияют на свойства пшеничного теста. Дополнительные исследования взаимодействия зеина и танина могут быть полезны для манипулирования вязкоупругими свойствами зеина. Исследования изменений, происходящих во вторичной структуре зеина во время смешивания, когда не происходит расщепления теста, и когда оно происходит может дать дополнительную информацию о роли вторичных структур белка, таких как β -листы в формировании теста из коммерческого зеина. Развитие зеинового теста в процессе смешивания, вероятно, зависит от нескольких факторов, таких как затраты энергии, время замеса и состав теста. и состав замешиваемого теста. Дополнительные исследования влияния смешивания (сдвига) на образование зеиновых волокон, свойства теста и качество конечного продукта могут оказаться полезными и позволят найти новые практические решения по включению вязкоупругого зеина в хлебобулочные изделия [16]. Тип используемого смешивания, возможно, необходимо учитывать при сравнении результатов различных исследований по формированию и свойствам зеинового теста (рис. 4).

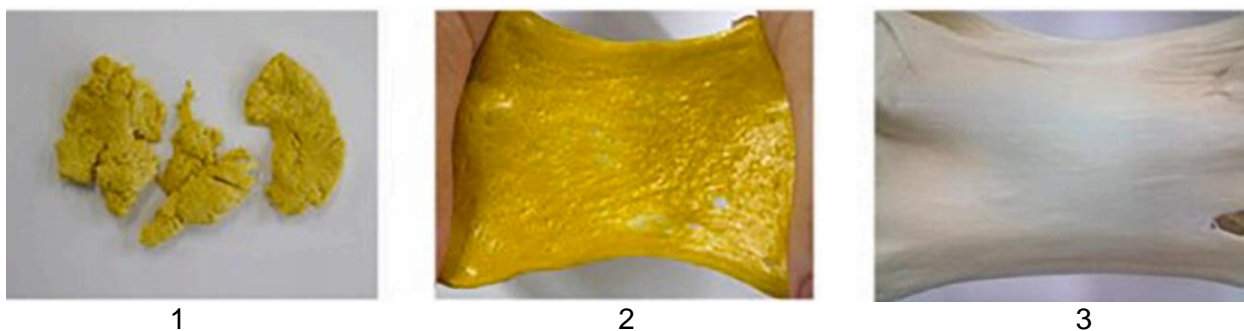


Рисунок 4 – Сравнение замеса теста с зеином ниже температуры стеклования (1) и выше температуры стеклования (2) по сравнению с пшеничным тестом (3)

2.3 Крахмал и мука

В большинстве исследований по формированию зеинового теста использовались смеси зеина и изолированного крахмала, как правило, кукурузного [17]. Однако, как отмечают [15], что тип крахмала влияет на свойства теста из пшеничной клейковины и, следовательно, может влиять на вязкоупругие свойства теста из зеина. Чтобы исследовать этот вопрос, смешивали экструдированный коммерческий зеин с кукурузным, картофельным и рисовым крахмалами (15% зеина к 85% крахмала) и исследовали формирование теста и его функциональные свойства. Было обнаружено, что тесто на основе зеина и рисового крахмала обладает большей эластичностью, чем тесто, приготовленное на основе зеина с кукурузным

или картофельным крахмалом. меньший размер гранул рисового крахмала, как полагают, сыграл свою роль в улучшении свойств теста на основе зеина и рисового крахмала, возможно, за счет того, что во время замеса теста образуется более непрерывная белковая фаза [18]. Тип крахмала также влиял на замес теста, картофельный крахмал не может быть смешан с зеином в миксографе из-за физических свойств теста. Помимо чистых крахмалов, зеин также смешивали с различными мукой для получения теста, включая рисовую муку, сорговую муку [8] и кукурузную муку [19]. Свойства этих ингредиентов в разной степени повлияли на формирование и функциональность зеинового теста. Например, варьирование содержания амилозы в смеси зеина и рисовой муки (95 % рисовая мука и 5% зеина) показало, что более высокое содержание амилозы приводит к более эластичное тесто, а более низкое содержание амилозы приводит к более высокому водопоглощению. Уменьшение количества рисовой муки, смешанной с зеином (95 % рисовой муки с 5 % зеина), также увеличило эластичные свойства теста, хотя это в большей степени зависело от водопоглощения и пастообразных свойств самой рисовой муки. Увеличение концентрации зеина с 5 до 10 % в смеси зеина с рисовой мукой увеличило водопоглощение, стабильность теста и устойчивость к растяжению [20]. Смешивание зеина с сорговой мукой приводило к существенной задержке развития теста и снижению прочности теста. Увеличение концентрации зеина с начальных уровней 20-30 % улучшило тесто из зеина с сорговой мукой за счет сокращения время замеса и увеличив прочность теста. Аналогичным эффектам, обезжиривание сорго муки перед смешиванием зеина с фаринографом оказало лишь незначительное влияние на развитие зеинового теста, что говорит о том, что липиды (или, возможно, воск) в сорговой муке могут играть очень незначительную роль в развитии зеинового теста при механическом смешивании. Смешивание зеина с другими видами муки и крахмала - это область, в которой необходимы дополнительные исследования особенно для улучшения питательных качеств хлебобулочных изделий на основе зеина, а также для определения того, как различные ингредиенты, смешанные с зеином, влияют на конечное качество конечного продукта и его восприятие потребителем.

Заключение

В то время как большинство исследований зеинового теста было сосредоточено на свойствах самого теста, ограниченное количество исследований было проведено для оценки хлебобулочных изделий, изготовленных из зеинового теста. С практической точки зрения, критическое ограничение работы, рассмотренной в разделе 2 выше, заключается в следующем как улучшение свойств зеинового теста фактически приводит к улучшению хлебобулочных изделий на основе зеина. Наиболее сложным продуктом для производства хлебобулочных изделий из непшеничных материалов, несомненно, является хлеб из-за сильной потребности в удержании газа. Как отмечают вышеуказанные ученые, газоудержание - это сложное явление, связанное с множеством различных факторов и взаимосвязей со свойствами теста, и поэтому является важной областью, в которой необходимы дополнительные исследования. Ранние исследования хлеба на основе зеина показали, что вязкоупругое тесто, приготовленное только из α -зеина, плохо удерживало газ, но другие исследователи обнаружили, что добавление ГПМЦ в тесто из α -зеина улучшает удельный объем буханки и форму получаемых хлебов. Улучшение качества зеинового хлеба, приготовленного с использованием ГПМЦ, объясняется в первую очередь поверхностной активности КМЧ и стабилизации теста. Также было обнаружено, что ГПМЦ обеспечивает более значительные улучшения в хлебе из кукурузной клейковины, чем гуаровая камедь, включая лучшие характеристики черствения [21]. Было обнаружено, что обезжиривание влияет на качество хлеба из одной партии коммерческого (α) зеина. Экстракция липидов с помощью хлороформа привела к улучшению удельного объема булочек, изготовленных из α -зеина - кукурузный крахмал - ГПМЦ вязкоэластичного теста. Как упоминалось ранее, известно, что коммерческий зеин отличается от партии к партии, и то, как это может повлиять на качество продукта и свойства теста, требующая дополнительных исследований. Кроме того, необходимо провести исследование того, как различные типы липидов могут влиять на качество выпечки, приготовленной из теста с α -зеином.

Увеличение содержания зеина с 20 до 30 % привело к примерно 12 % увеличению удельного объема буханки в коммерческих смесях муки из цельного сорго с зеином. Несмотря на небольшое увеличение, это подтверждает выводы о том, что вязкоупругий зеин сам по себе не хорошо удерживает газ. Добавление этанола увеличило удельный объем буханки

хлеба с зеином и сорго с 1,4 см³/г до 2,0 см³/г. Хотя точное влияние низких уровней этанола на зеиновое тесто неизвестно, эти результаты позволяют предположить, что изменения могут привести к улучшению удержания газа в зеиновых сетях или изменению вязкости и образованию пузырьков. Качество хлеба улучшилось относительно незначительно. Эти результаты свидетельствуют о необходимости проведения исследований, направленных не только на улучшение свойств теста, но и качества конечного продукта, а также дальнейших исследований, выявляющих взаимосвязь между свойствами теста и качеством конечного продукта.

Список литературы

1. Роуз Д.Дж., Инглет Г.Е., Лю С.Х. Использование кукурузных отрубей и кукурузного волокна в производстве пищевых компонентов. *J. Sci. Food agric.* – 2010. – 90. – С. 915-924.
2. ҚР агробизнес 2022 инфографикалық анықтамасы [Электрон.ресурс] – 2023.
3. Янь Цзяо, Хаодун Чэнь, Хэ Хань, Ин Чан. Разработка и утилизация побочных продуктов переработки кукурузы: обзор.
4. Фаркас А., Дретчану Г., Поп Т.Д., Энару Б., Сокач С., Дьяконеаса З. Побочные продукты переработки зерновых культур как богатые источники фенольных соединений и их потенциальная биологическая активность // Питательные вещества. – 2021. – 13, 3934.
5. Lawton J.W. Зеин: история обработки и использования. *Cereal Chem.* – 2002. – 79. – С. 1-18.
6. Шобер Т.Дж., Бин С.Р., Тилли М., Смит Б.М., Иоегрер Б.П. Влияние различных процедур изоляции на функциональность зеина и кафирина. *J. Cereal. Sci.* – 2011. – 54. – С. 241-249.
7. Акин П.А., Бин С.Р., Смит Б.М., Тилли М. Факторы, влияющие на формирование теста и качество хлеба из смесей муки зеина и сорго. *J. Food Sci.* – 2019. – 84. – С. 3522-3534.
8. Патент на полезную модель. МЕТОД ЭКСТРАКЦИИ КУКУРУЗНОГО МАСЛА И БЕЛКА. US20020183490 Метод экстракции кукурузного масла и белка (wipo.int)
9. Кинг Б.Л., Тейлор Ж., Тейлор Ж.Р.Н., Формирование вязкоупругого теста из изолированного общего зеина (α -, β - и γ -зеина) с помощью обработки ледяной уксусной кислотой. *J. Cereal.* – 2016. – Sci. 71. – С. 250-257.
10. Smith B.M., Bean S.R., Selling G., Sessa J.D., Aramouni F. Влияние нековалентных взаимодействий в зеиново-крахмальном тесте и качестве хлеба. *J. Food Sci.* – 2017. – 82. С. 613-621.
11. Taylor J.R.N., Taylor J., Campanella O.H., Hamaker B.R. Функциональность белков хранения в безглютеновых зерновых и псевдозерновых культурах в тестовых системах. *J. Cereal. Sci.* – 2016. – 67. – С. 22-34.
12. Mejia C.D., Gonzalez D.C., Mauer L.J., Campanella O.H., Hamaker B.R. Увеличение и стабилизация β -листовой структуры кукурузного зеина приводит к улучшению его реологических свойств. *J. Agric. Food Chem.* – 2012. – 60. – С. 2316-2321.
13. Akin P.A., Bean S.R., Smith B.M., Tilley M. Факторы, влияющие на формирование теста и качество хлеба из смесей муки зеина и сорго. *J. Food Sci.* – 2019. – С. 84.
14. Эрикссон, Д.П., Озтюрк, О.К., Селлинг, Г., Чен, Ф., Кампанелла, О.Х., Хамакер, Б.Р. Кукурузный зеин претерпевает конформационные изменения в сторону увеличения содержания β -листа во время самосборки в все более гидрофильном растворителе. *Ж. Биол. Macromol.* – 2020. – 157. – С. 232-239.
15. Smith B.M., Ramsay S.A., Roe A., Ferrante M.J., Brooks S.W. Уменьшение визуальных различий в цельнозерновом хлебе, приготовленном из твердой красной и твердой белой пшеницы: применение для сенсорных исследований. *J. Food Sci.* – 2019. – 84. – Р. 2325-2329.
16. Federici E., Jones O.G., Selling G.W., Tagliasco M., Campanella O.H. Влияние экструзии зеина и типа крахмала на реологическое поведение безглютенового теста. *J. Cereal. Sci.* – 2020. – 91. – С. 102866.
17. Federici E., Selling G.W., Campanella O.H., Jones O.G. Термическая обработка сухого зеина для улучшения реологических свойств безглютенового теста. Пищевые гидроколлоиды. – 2021. – С. 1066629.
18. Слай А.К., Тейлор Дж. Улучшение характеристик зеинового теста с помощью разбавленных органических кислот. *J. Cereal. Sci.* – 60. – С. 157-163.

19. Khuzwayo T.A., Taylor J.R.N., Taylor J. Влияние тестовой заготовки, предварительной желатинизации муки и включения зеина на функциональность кукурузного теста для хлеба. *LWT - Food Sci. Technol. (Lebensmittel-Wissenschaft-Technol.)*. – 2020. – 121. – P. 108993.
20. Jeong S., Kim M., Yoon M.-R., Lee S. Приготовление и характеристика безглютенового листового теста и лапши с использованием зеина и рисовой муки с различным содержанием амилозы. *J. Cereal. Sci.* – 2017. – 75. – P. 138-142.
21. Озтюрк О.К., Мерт Б. Влияние микрофлюидизации на реологические и текстурные свойства безглютеновых кукурузных хлебцев. *Food Res. Int.* – 2018. – 105. – С. 782-792.

References

1. Rose D.J., Inglet G.E., Liu S.H. Use of corn bran and corn fiber in the production of food ingredients. *J. Sci. Food agric.* – 2010. – 90. – 915-924. (In Russian).
2. infographic analysis of RK agribusiness 2022. (In Russian).
3. Yan Jiao, Haodong Chen, He Han, Ying Chang. Development and utilization of corn by-products: a review. *Cereal. Sci.* – 67. – 22-34. (In Russian).
4. Farkas A.; Dretceanu G.; Pop T.D.; Enaru B.; Sokaci S.; Diaconeasa Z. Grain crop by-products as rich sources of phenolic compounds and their potential biological activity. *Nutrients.* – 2021. – 13, 3934. (In Russian).
5. Lawton J.W., Zein: a history of processing and utilization. *Cereal Chem.* – 2002. – 79, 1-18. (In Russian).
6. Schober T.J., Bean S.R., Tilley M., Smith B.M., Ioerger B.P. Effects of different isolation procedures on zein and kaffirin functionality. *J. Cereal. Sci.* – 2011. – 54. – 241-249. (In Russian).
7. Akin P.A., Bean S.R., Smith B.M., Tilley M. Factors affecting dough formation and bread quality of zein and sorghum flour blends. *J. Food Sci.* – 2019. – 84. – 3522-3534. (In Russian).
8. Utility model patent. A METHOD FOR EXTRACTING CORN OIL AND PROTEIN. US20020183490 Method for extraction of corn oil and protein (wipo.int). (In Russian).
9. King B.L., Taylor J., Taylor J.R.N. Formation of viscoelastic dough from isolated total zein (α -, β -, and γ -zein) using glacial acetic acid treatment. *J. Cereal. Sci.* – 2016. – 71. – 250-257. (In Russian).
10. Smith B.M., Bean S.R., Selling G., Sessa J.D., Aramouni F. Influence of non-covalent interactions in zein-starch dough and bread quality. *J. Food Sci.* – 2017. – 82. – 613-621. (In Russian).
11. Taylor J.R.N., Taylor J., Campanella O.H., Hamaker B.R. Functionality of storage proteins in gluten-free cereals and pseudograins in test systems. *J. Cereal. Sci.* – 2016. – 67. – 22-34. (In Russian).
12. Mejia C.D., Gonzalez D.C., Mauer L.J., Campanella O.H., Hamaker B.R. Increasing and stabilizing the β -sheet structure of maize zein leads to improved rheological properties. *J. Agric. Food Chem.* – 2012. – 60. – 2316-2321. (In Russian).
13. Akin P.A., Bean S.R., Smith B.M., Tilley M. Factors affecting dough formation and bread quality of zein and sorghum flour blends. *J. Food Sci.* – 2019. – 84. (In Russian).
14. Erickson D.P., Ozturk O.K., Selling G., Chen F., Campanella O.H., Hamaker B.R. Maize zein undergoes conformational changes toward increasing β -sheet content during self-assembly in an increasingly hydrophilic solvent. *J. Biol. Macromol.* – 2020. – 157. – 232-239. (In Russian).
15. Smith B.M., Ramsay S.A., Roe A., Ferrante M.J., Brooks S.W. Reducing visual differences in whole-grain bread made from hard red and hard white wheat: application to sensory research. *J. Food Sci.* – 2019. – 84. – 2325-2329. (In Russian).
16. Federici E., Jones O.G., Selling G.W., Tagliasco M., Campanella O.H. Effect of zein extrusion and starch type on the rheological behavior of gluten-free dough. *J. Cereal. Sci.* – 2020. – 91. – 102866. (In Russian).
17. Federici E., Selling G.W., Campanella O.H., Jones O.G. Thermal treatment of dry zein to improve the rheological properties of gluten-free dough. *Food Hydrocolloids.* – 2021. – 1066629. (In Russian).
18. Sly A.K., Taylor J. Improvement of zein dough characteristics using dilute organic acids. *J. Cereal. Sci.* – 60. – 157-163. (In Russian).
19. Khuzwayo T.A., Taylor J.R.N., Taylor J. Effect of dough preparation, flour pregelatinization and zein inclusion on the functionality of corn bread dough. *LWT – Food Sci. Technol. (Lebensmittel-Wissenschaft -Technol.)*. – 2020. – 121. – 108993. (In Russian).

20. Jeong S., Kim M., Yoon M.-R., Lee S. Preparation and characterization of gluten-free sheet dough and noodles using zein and rice flours with different amylose contents. J. Cereal. Sci. –2017. – 75. – 138-142. (In Russian).
21. Ozturk O.K., Mert B. Effect of microfluidization on rheological and textural properties of gluten-free cornbread. Food Res. Int. – 2018. – 105. – 782-792. (In Russian).

Г.Д. Акшораева*, М.М. Какимов, А.Б. Нуртаева, Б. Утарова, Н.С. Машанова
С. Сейфуллин атындағы Қазақ ғылыми-зерттеу агротехникалық университеті, Астана,
010011, Қазақстан Республикасы, Жеңіс даңғылы, 62.
*e-mail: gaukhar_01.88@mail.ru

ЗЕИН ҚАМЫРЫНЫҢ РЕОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЖӘНЕ ОНЫҢ САПАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Глютенсіз қамырда құрылымдық глютен болмағандықтан, оны гидроколлоидтармен немесе гуар сағызы, ксантан немесе гидроксипропилметилцеллюлоза сияқты суды байланыстыратын басқа қосылыстармен алмастыру керек. Әдетте, глютенсіз нан рецептерінде крахмал көп болады және бидай мен қара бидай қамырымен салыстырғанда көп сумен өңделеді, нәтижесінде қамыр сұйық консистенцияға ие болады. Нәтижесінде бұл нанның жалпы тағамдық құндылығы жеткілікті түрде төндестірілмеген. Олар көмірсуларға бай және диеталық талшықсыз. Зеин глютенге ұқсас тұтқыр серпімді қасиеттеріне байланысты глютенсіз жүйеде бірегей глютен алмастырғыш болып табылады. Жүгері дәндерінің проламині, зеин, бидай глютені сияқты әрекет етудің кейбір перспективаларын көрсетті, өйткені ол ақуыз 35°C немесе одан жоғары температурада қартайған және араласқан кезде тұтқыр серпімді ақуыз торын құра алады, бұл шыныдан (TG) жоғары. Зеин (жүгері проламині) шыны (TG) температурасынан жоғары қызған кезде су негізіндегі сынақ жүйелеріндегі глютенге ұқсас тұтқыр серпімді қасиеттерді көрсете алады. Бұл Зеин негізіндегі қамырдың талшықты торы бар, ол сонымен қатар глютен негізіндегі қамырға ұқсас сипаттамаларға ие. Дегенмен, мұндай Зеин негізіндегі қамырдың газ ұстау қабілеті шектеулі және глютен негізіндегі қамырға қарағанда айтарлықтай ұзағырақ. Бұл мақалада біз зеинге негізделген тесттің реологиялық қасиеттерін және оның сапа параметрлерін қарастырамыз.

Түйін сөздер: жүгері глютені, жүгері дәнінің проламині, зеин, экстракция, глютенсіз өнім, глютен.

G.D. Akshorayeva*, M.M. Kakimov, A.B. Nurtayeva, N.B. Utarova, N.S. Mashanova
Kazakh Research Agrotechnical University named after S. Seifullin,
010011, Astana, Republic of Kazakhstan, 62 Zhenis Ave
*e-mail: gaukhar_01.88@mail.ru

INVESTIGATION OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF ZEIN DOUGH AND ITS QUALITATIVE INDICATORS

Since gluten-free dough lacks structuring gluten, it should be replaced by hydrocolloids or other water-binding compounds, such as guar gum, xanthan or hydroxypropylmethylcellulose. Typically, gluten-free bread recipes contain higher amounts of starch and are processed with more water compared to wheat and rye doughs, resulting in a liquid dough consistency. As a consequence, the overall nutritional value of these breads is not well balanced. They are rich in carbohydrates and lack dietary fiber. Zein is a unique substitute for gluten in a gluten-free system because of its viscoelastic properties similar to gluten. Corn grain prolamin, zein, has shown some promise in behaving like wheat gluten because it can form a viscoelastic protein network when the protein is held and mixed at 35°C or more, which is above its glass transition temperature (Tg). Zein (corn prolamine) can exhibit viscoelastic functionality similar to gluten in aqueous dough systems when heated above its glass transition temperature (Tg). These zein-based doughs exhibit a fibrous network that also exhibits characteristics similar to those of gluten-based doughs. However, such zein-based doughs have limited gas-holding capacity and are significantly more stretchable than

gluten-based doughs. In this paper, we investigate the rheological properties of zein-based dough and its quality parameters.

Key words: corn gluten, corn grain prolamine, zein, extraction, gluten-free product, gluten.

Сведения об авторах

Гаухар Дюсенгалиевна Акшораева – докторант кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств»; Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, город Астана, Республика Казахстан; e-mail: gaukhar_01.88@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4758-7059>.

Мухтарбек Муканович Какимов – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств»; Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, город Астана, Республика Казахстан; e-mail: muhtarbek@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-2195>.

Айнур Болатбековна Нуртаева – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств»; Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, город Астана, Республика Казахстан; e-mail: ainur_78.05@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3111-5316>.

Назира Бакытжановна Утарова – докторант кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств»; Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, город Астана, Республика Казахстан; e-mail: nazkon88@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3728-0280>.

Нурбиби Советовна Машанова – доктор технических наук, старший преподаватель кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств»; Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, город Астана, Республика Казахстан; e-mail: mashanovan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-2195>.

Авторлар туралы мәліметтер

Гаухар Дюсенгалиевна Акшораева – «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының докторанты; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті зерттеу, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: gaukhar_01.88@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4758-7059>.

Мухтарбек Муканович Какимов – техника ғылымдарының кандидаты, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының доценті; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті зерттеу, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: muhtarbek@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-2195>.

Айнур Болатбековна Нұртаева – техника ғылымдарының кандидаты, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының аға оқытушысы; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті зерттеу, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: ainur_78.05@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3111-5316>.

Назира Бакытжановна Утарова – «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының докторанты; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті зерттеу, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: nazkon88@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3728-0280>.

Нурбиби Советовна Машанова – техника ғылымдарының докторы, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының аға оқытушысы; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті зерттеу, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: mashanovan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-2195>.

Information about the authors

Gaukhar Dyusengalieva Akshorayeva – doctoral student of the Department "Technology of Food and Processing industries"; Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Astana, Republic of Kazakhstan; e-mail: gaukhar_01.88@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4758-7059>.

Mukhtarbek Mukanovich Kakimov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Food and Processing Industries; Kazakh

Agrotechnical Research University named after S.Seifullina, Astana city, Republic of Kazakhstan; e-mail: muhtarbek@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-2195>.

Ainur Bolatbekovna Nurtayeva – Candidate of Technical Sciences, Senior lecturer of the Department "Technology of Food and Processing Industries"; Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Astana city, Republic of Kazakhstan; e-mail: ainur_78.05@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3111-5316>.

Nazira Bakytzhanovna Utarova – doctoral student of the department "Technology of food and processing industries"; Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Astana, Republic of Kazakhstan; e-mail: nazkon88@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3728-0280>.

Nurbibr Sovetovna Mashanova – Doctor of Technical Sciences, Senior lecturer of the Department "Technology of Food and Processing Industries"; Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Astana city, Republic of Kazakhstan; e-mail: mashanovan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-2195>.

Материал поступил в редакцию 11.12.2023 г.

DOI: 10.53360/2788-7995-2023-4(12)-17

ISTIR: 68.35.71

B.A. Murzabaev¹, G.O. Kantureyeva^{*1}, Raisov B.O.²

¹NJSC "M. Auezov", South Kazakhstan Research University
160012, Republic of Kazakhstan, Shymkent, Tauke Khan Ave., 5

²NJSC "Kazakh National Agrarian Research University"
050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, Abai Ave., 8

*e-mail: kantureeva.g@mail.ru

JUSTIFICATION OF PROGRESSIVE TECHNOLOGY FOR DRYING VEGETABLES AND CORN

Abstract: *Today, from the industrial applications point of view, getting dry food products by infrared radiation is considered the most relevant and perspective. Such properties of any object as absorption and emission of radiation in the infrared spectrum give possibility to dry them at moderate temperatures and rapidly. This technology makes it possible to gain dry items with high shelf-life due to their resistance to microorganisms. Infrared drying of products reduces drying time several times. As a result, the quality of ready items is very high and in addition ecologically pure. Also the form of cutting of raw materials before drying has some influence on time of process. The objects of study were samples of vegetables and corn planted in the experimental plot Kainar Bulak (Shymkent). During the drying process, vegetables as carrot and beet which were broken in the form of shavings reached required moisture 12.30% and 11.50% accordingly in two and half hours. Samples in the form of cubes were dried to these numbers only in three hours. Additionally, performed experiments indicate that there is no need for preliminary heat treatment (blanching) of samples. Reducing the time and temperature of heat treatment for corn also gave positive results. Thus, drying chopped vegetables and corn for further use in the food industry using infrared radiation is promising and cost-effective.*

Key words: *drying; vegetables; corn; cutting; form; preliminary; treatment; infrared.*

Introduction

Current requirements for optimal drying parameters for fruit and vegetable preservation should be cost effective, decrease process time and without any destruction of the product [1]. Drying of food products may be performed by ordinary sun or wind ways and advanced drying techniques with infrared spectrum, vacuum, microwave and freeze. Various advanced drying methods are considered optimal to get high-value products in short duration and with prolonged storage time [2].

The quality of dried products depends to a large extent on the preliminary preparation of the raw material for drying. In this aspect brief heat treatment to inactivate enzymes, eliminate