

УДК 635.65:641.11

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ ЗЕЛЕННОЙ ЧЕЧЕВИЦЫ МЕТОДОМ ПРОРАЩИВАНИЯ И ОЦЕНКА ЕЁ АНТИОКСИДАНТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ**Илияскызы Маржан ¹, Калиева Анар Н ¹, Сартаева Акмарал А ¹, Укибаев Рустам Ж ¹, Темирхан Бахытжан Т ¹***НАО «Казахский национальный женский педагогический университет», институт естествознания, кафедра биологий. г. Алматы, Алмалинский район, ул. Богенбай батыра, 142, индекс: A05B8X7;**Адрес электронной почты ответственного автора (alybayeva_m@mail.ru)**Место работы для всех авторов - НАО «Казахский национальный женский педагогический университет», институт естествознания, кафедра биологий.***АННОТАЦИЯ**

Проращивание является перспективным биотехнологическим подходом к улучшению функциональных и питательных свойств растительных ингредиентов за счет активации метаболических процессов и накопления биологически активных соединений. Целью данного исследования было оценить влияние продолжительности проращивания на химический состав и антиоксидантные свойства зеленой чечевицы (*Lens culinaris*) и оценить ее потенциал в качестве функционального ингредиента для мясных технологий. В ходе исследования, семена зеленой чечевицы проращивали в течение 36 и 48 часов, в качестве контроля использовали непророщенные семена. В образцах определяли содержание белка, антиоксидантов, полифенолов и витаминов А, С и Е. Сравнительный анализ показал, что среди исследованных вариантов наиболее выраженные положительные изменения параметров, связанных с антиоксидантным потенциалом, наблюдались после 36 ч проращивания: содержание водорастворимых антиоксидантов увеличилось на 12,8 % (с 0,47 до 0,53 мг /г), полифенолов — на 7,0 % (с 1,28 до 1,37 % GAE), витамина Е — на 61,0 % (с 53,36 до 85,90 мг /кг), а витамина С — более чем в три раза (с 18,60 до 56,58 мг /кг). Продление процесса до 48 ч сопровождалось частичным снижением данных показателей, хотя их уровень сохранялся выше контрольного. Массовая доля белка снизилась с 13,16 % до 11,18 % на 36 ч и восстановилась до 13,30 % на 48 ч. Витамин А находился ниже предела обнаружения (LOD < 0,01 мг /кг) во всех образцах. Полученные результаты показывают, что 36 ч проращивания обеспечивают наилучшие показатели накопления биоактивных веществ среди изученных режимов, а полученная чечевичная мука представляет потенциальный интерес в качестве натурального антиоксидантного ингредиента для мясной промышленности.

Ключевые слова: *Lens culinaris*, зеленая чечевица, проращивание, антиоксиданты, полифенолы, витамин С, витамин Е, функциональный ингредиент, мясные технологии.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы разработка функциональных мясных продуктов стала одним из приоритетных направлений в пищевой промышленности. Потребители все больше интересуются продуктами питания, которые не только обеспечивают базовое питание, но и обладают дополнительными преимуществами для здоровья. В этом отношении функциональные ингредиенты играют значимую роль в современной мясной промышленности, обогащая питательный состав, улучшая текстуру продукта и продлевая срок хранения, при этом снижая необходимость использования химических консервантов и добавок. Такие ингредиенты отвечают современному запросу потребителей на продукты с «чистой этикеткой» (clean label), одновременно улучшая влагоудерживающую и влагосвязывающую способность и снижая производственные затраты [1].

Окислительные процессы являются одним из основных факторов, ограничивающих качество и срок хранения мясных продуктов. Во время хранения происходит окисление липидов и белков, что негативно сказывается на вкусе, цвете, текстуре и пищевой ценности мясных продуктов. Кроме того, образуются нежелательные соединения, снижающие качество продукции и ее потребительскую привлекательность. В результате, окисление может

способствовать ухудшению качества и сокращению срока годности мясных изделий [2].

Для контроля этих процессов мясная промышленность традиционно использует синтетические антиоксиданты и химические консерванты. Однако растущий потребительский спрос на натуральные и безопасные продукты питания создал необходимость поиска альтернативных натуральных ингредиентов с антиоксидантными свойствами. Природные антиоксиданты широко изучаются как эффективные соединения, способные замедлять окислительные процессы в пищевых продуктах. Они помогают повысить стабильность и продлить срок хранения мясных продуктов. Многие растительные продукты содержат полифенолы, витамины и другие биологически активные соединения с выраженной антиоксидантной активностью. Эти компоненты могут способствовать улучшению качества продукции, повышению окислительной стабильности и снижению потребности в химических консервантах при переработке мяса [3].

Интерес к использованию растительных белков в производстве колбас возник из-за стремления снизить себестоимость продукции, улучшить технологические свойства фарша и адаптировать товары под запросы сторонников здорового питания и «зеленых» технологий. В большинстве случаев соя и продукты ее переработки, та-

кие как разновидности пищевой соевой муки, используются в качестве дополнительного компонента при производстве колбас [4].

Несмотря на широкое применение соевых белков в мясной промышленности, их использование сопровождается рядом ограничений, которые включают: аллергенность, высокая стоимость высокоочищенных белковых изолятов и настороженность части потребителей в отношении ГМО [5].

В связи с этим все больше интереса вызывают альтернативные зернобобовые культуры, включая горох, фасоль, нут и чечевица которые отличаются высокой пищевой ценностью и функциональными свойствами. Белок этих культур богат незаменимыми аминокислотами, особенно аргинином, содержание которого в чечевице в 1,5 раза выше, чем в сое. Чечевица богата свободными аминокислотами, содержит глутамин и аспарагиновую кислоту, а также большое количество тирозина [6].

Среди растительного сырья чечевица считается перспективным функциональным ингредиентом. Чечевица является альтернативным источником белка, не уступающим соевым бобам по своему химическому составу и функциональным свойствам. Благодаря высокому содержанию белка и биологически активных соединений чечевица рассматривается как перспективное сырье для получения функциональных ингредиентов, способных заменить традиционные соевые компоненты в мясных технологиях [7].

Чечевица богата белками, витаминами, полифенолами и другими биологически активными соединениями, обладающими антиоксидантными свойствами. Благодаря своему богатому химическому составу чечевица обладает значительным потенциалом в качестве функционального ингредиента в пищевых технологиях [8].

Биотехнологические методы обработки, такие как проращивание, могут дополнительно улучшить питательные и функциональные свойства чечевицы. В процессе проращивания повышается ферментативная активность, одновременно возрастает содержание свободных фенольных соединений, флавоноидов и других антиоксидантных метаболитов, что способствует повышению антиоксидантной активности проросших семян [9].

Несмотря на многочисленные исследования, которые посвящены проращиванию зернобобовых культур, влияние продолжительности процесса проращивания зеленой чечевицы на формирование антиоксидантного потенциала муки, предназначенной для использования в мясных технологиях, изучено недостаточно. В связи с этим изучение

проросшей чечевицы как биоактивированного растительного ингредиента представляет значительный научный и практический интерес. Определение оптимального времени проращивания представляет практический интерес для разработки натуральных функциональных ингредиентов с высокой биологической активностью [10].

Целью данного исследования было определение влияния продолжительности проращивания (36 и 48 ч) зеленой чечевицы (*Lens culinaris*) на её химический состав и антиоксидантный профиль, а также оценка потенциальной перспективы использования полученной муки в качестве функционального ингредиента в технологии мясных продуктов.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1 Исходное сырье

В качестве объекта исследования использовали товарную партию семян зеленой чечевицы (*Lens culinaris*) урожая 2025 года (ТМ «Zhenil», ТОО «Quantum Tech Solutions», Казахстан). Исходное сырье имело начальную влажность ($11,2 \pm 0,4$ %), лабораторную всхожесть (95 ± 1 %) и энергию проращивания (94 ± 2 %). Перед проведением экспериментов семена очищали от примесей и поврежденных зерен.

2.2. Процесс проращивания и подготовка образцов

Для обеспечения независимой биологической повторяемости эксперимента проращивание проводили в трех параллельных технологических линиях ($n = 3$ биологических повторов). Навески семян массой по (200 ± 1) г промывали дистиллированной водой и замачивали в питьевой воде в гидромодуле 1:3 (по массе) при температуре (20 ± 2) °C в течение 8 ч. После замачивания воду сливали, семена промывали и раскладывали в три неглубоких пластиковых контейнера (20×30 см) слоем не более 1,5–2,0 см.

Проращивание осуществляли в климатической камере в полной темноте (освещенность 0 лк) при температуре (21 ± 1) °C и относительной влажности воздуха (85 ± 5 %). Для поддержания влажности и предотвращения микробиологической порчи семена каждые 8 ч промывали стерильной дистиллированной водой.

Процент проросших семян (всхожесть/энергия проращивания) определяли путем подсчета количества зерен с наклюнувшимся корешком из контрольной аликвоты (100 шт.); к 36 часам проращивания он составил (94 ± 2 %, к 48 часам — 97 ± 1 %). Морфологически проростки характеризовались развитым белым корешком: через 36 часов



(А) Семена непроросшей зеленой чечевицы



(Б) после 36 ч проращивания



(В) после 48 ч проращивания

Рисунок 1. Семена зеленой чечевицы на различных этапах проращивания.

длина корешка составляла 1,5–2,0 см, через 48 часов — 2,0–2,5 см, без формирования сформированных зеленых семядолей и проростка листочков. Через 36 ч из каждой ёмкости отбирали аликвоту проросших семян. Оставшуюся часть семян проращивали до 48 ч. Контролем служили сухие непророщенные семена (0 ч).

Образцы высушивали при температуре $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 36 ч при постоянной вентиляции, с последующей досушкой в сушильном шкафу при 40°C в течение 2 ч до остаточной влажности $(10 \pm 1)\%$. Высушенные образцы измельчали на лабораторной мельнице до размера частиц менее 0,5 мм.

2.3. Определение белка и водорастворимых антиоксидантов

Массовую долю белка определяли методом Кьельдаля по ГОСТ 25011-2017 с коэффициентом пересчета $N \times 6,25$. Суммарную концентрацию водорастворимых антиоксидантов определяли амперометрическим методом согласно ГОСТ Р 54371-2010 на приборе «Цвет Яуза-01-АА» и выражали в мг/г сухого вещества.

2.4. Определение полифенольных соединений

Общее содержание полифенолов определяли спектрофотометрическим методом с реактивом Фолина–Чокальтеу (ГОСТ ISO 14502-1-2010). Навеску муки $(1,000 \pm 0,001)$ г экстрагировали 70 %-ным этанолом на электронной водяной бане при 70°C в течение 30 мин. К 1,0 мл фильтрата добавляли 5,0 мл 10 %-го реактива Фолина–Чокальтеу и 4,0 мл 7,5 %-го Na_2CO_3 . Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре Jenway при $\lambda = 765$ нм против контрольного раствора. Расчет проводили по калибровочной кривой галловой кислоты (0–100 мкг/мл). Результаты выражали в процентах эквивалентов галловой кислоты (% GAE).

2.5. Определение витаминов методом ВЭЖХ и титрованием

Содержание витамина Е определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в соответствии с ГОСТ EN 12822-2020 (СТ РК 2397-2013). Анализ проводили на хроматографе Agilent 1200 (Agilent Technologies, США), с диодно-матричным и флуоресцентным детекторами. Навеску муки $(2,0 \pm 0,001)$ г подвергали щелочному омылению раствором КОН в присутствии аскорбиновой кислоты при $(75 \pm 5)^\circ\text{C}$ в течение 30 минут. Неомыляемую фракцию экстрагировали n-гексаном, вытяжку промывали водой до нейтральной реакции, высушивали над Na_2SO_4 , упаривали на ротаторном испарителе при 40°C и перерастворяли сухой остаток в подвижной фазе. Условия хроматографирования: Колонка *Zorbax SIL* ($250 \times 4,6$ мм, 5 мкм); подвижная фаза — n-гексан : изопропанол (98,5 : 1,5 по объему), изократический режим; скорость потока — 1,0 мл/мин; объем инъекции — 20 мкл. Детектирование: Флуоресцентный детектор (FLD) при длине волны возбуждения $\lambda_{\text{ex}} = 295$ нм и эмиссии $\lambda_{\text{em}} = 330$ нм. Количественный расчет проводили методом внешнего стандарта по градуировочным графикам α -токоферола. Результаты выражали в мг/кг продукта.

Содержание витамина С определяли титриметрическим методом в соответствии с ГОСТ 24556-89. Навеску муки $(5,0 \pm 0,01)$ г гомогенизировали с экстрагирую-

щей смесью метафосфорной и уксусной кислот. Экстракт фильтровали. Аликвоту фильтрата (10 мл) титровали стандартизованным раствором 2,6-дихлорфенолиндифенолята натрия ($\sim 0,001$ моль/дм³) до появления устойчивой светло-розовой окраски (30–60 с). Массовую долю аскорбиновой кислоты вычисляли с учетом расхода титранта на холостую пробу и выражали в миллиграммах на 100 грамм продукта (мг / 100 г). Содержание витамина С рассчитывали с учетом расхода титранта на холостую пробу и выражали в мг/кг продукта по формуле:

где, V_1 — объем раствора титранта, израсходованный

$$X = \frac{(V_1 - V_0) T \cdot V \cdot 100}{m \cdot V_2}$$

на титрование исследуемого образца, мл;

V_0 — объем титранта в холостом опыте, мл;

T — титр раствора 2,6-дихлорфенолиндифенолята натрия по аскорбиновой кислоте, мг/мл;

V — общий объем экстракта, мл;

V_2 — объем аликвоты, взятой для титрования, мл;

m — масса навески, г.

Результаты выражали в мг/кг продукта.

Содержание витамина А (ретинола) определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в соответствии с ГОСТ EN 12823-1-2014 на хроматографе Agilent 1200 (Agilent Technologies, США). Пробу муки $(5,0 \pm 0,01)$ г подвергали щелочному гидролизу (50 % КОН, этанол, аскорбиновая кислота) при рефлюксе (85°C , 30 мин). Неомыляемые вещества экстрагировали n-гексаном, промывали, упаривали и растворяли остаток в подвижной фазе. Условия хроматографирования: Колонка *Zorbax SIL* $250 \times 4,6$ мм, 5 мкм; подвижная фаза — n-гексан : 2-пропанол (98,5 : 1,5); скорость потока — 1,0 мл/мин. Детектирование проводили с использованием FLD-детектора ($\lambda_{\text{ex}} = 325$ нм, $\lambda_{\text{em}} = 470$ нм) и DAD-детектора ($\lambda = 325$ нм). Количественную оценку проводили методом внешнего стандарта по all-trans-ретинолу. Результаты анализа, в которых содержание ретинола находилось ниже предела обнаружения прибора, фиксировали как «ниже предела обнаружения» (менее 0,01 мг / кг).

2.6. Статистическая обработка

Все физико-химические испытания выполняли для трех независимых биологических проб ($n = 3$), каждая из которых анализировалась в трех технических повторностях. Статистический анализ проводили в программе MS Excel 2016. Данные представлены как среднее арифметическое $\pm$ стандартное отклонение ($M \pm SD$). Для оценки достоверности различий между вариантами (0, 36 и 48 ч) применяли однофакторный дисперсионный анализ (One-way ANOVA) с post hoc-критерием Тьюки (Tukey's HSD test). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Внешний вид семян чечевицы на различных этапах проращивания представлен на Рисунке 1 (в основном тексте статьи).

Таблица 1. Физико-химические показатели и содержание биоактивных веществ в чечевичной муке в зависимости от продолжительности проращивания ($M \pm SD$, $n = 3$)

Показатель	Контроль (0 ч)	36 ч	48 ч
Массовая доля белка, %	13,16 $\pm$ 0,07 ^a	11,18 $\pm$ 0,12 ^b	13,30 $\pm$ 0,14 ^a
Водорастворимые антиоксиданты, мг/г	0,47 $\pm$ 0,001 ^a	0,53 $\pm$ 0,012 ^b	0,52 $\pm$ 0,001 ^b
Полифенолы, % GAE	1,28 $\pm$ 0,007 ^a	1,37 $\pm$ 0,01 ^b	1,30 $\pm$ 0,01 ^a
Витамин А (ретинол), мг/кг	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Витамин Е (α -токоферол), мг/кг	53,36 $\pm$ 0,80 ^a	85,90 $\pm$ 1,02 ^b	70,17 $\pm$ 1,01 ^c
Витамин С (аскорбиновая кислота), мг/кг	18,60 $\pm$ 0,09 ^a	56,58 $\pm$ 0,61 ^b	37,35 $\pm$ 0,40 ^c

Примечание: Данные представлены как $M \pm SD$. Разные латинские буквы (a, b, c) в одной строке обозначают статистически значимые различия между вариантами ($p < 0,05$ по критерию Тьюки). Значение «<0,01» указывает на то, что содержание ретинола находится ниже предела обнаружения прибора ($LOD = 0,01$ мг/кг).

Физико-химические показатели и динамика биоактивных веществ в процессе проращивания приведены в Таблице 1.

Массовая доля белка в контроле составила 13,16 %. На этапе 36 ч отмечено достоверное снижение показателя до 11,18 % ($p < 0,05$), однако к 48 ч показатель восстановился до 13,30 %, не имея статистических различий с контролем ($p > 0,05$).

Содержание водорастворимых антиоксидантов достоверно возросло к 36 ч на 12,8 % (до 0,53 мг / г, $p < 0,05$) и сохранялось практически на том же уровне к 48 ч (0,52 мг/г). Уровень полифенолов достиг максимального значения на 36 ч (1,37 GAE, $p < 0,05$ по сравнению с контролем 1,28 %), после чего снизился до 1,30 % GAE на 48 ч, не отличаясь статистически от контроля.

Наиболее выраженный прирост продемонстрировали витамины Е и С. Содержание α -токоферола возросло на 61,0 % к 36 ч (до 85,90 мг / кг, $p < 0,05$), снизившись к 48 ч до 70,17 мг/кг. Концентрация аскорбиновой кислоты увеличена к 36 ч более чем в 3 раза (до 56,58 мг / кг, $p < 0,05$), со снижением на этапе 48 ч до 37,35 мг / кг. Витамин А во всех пробах не превышал LOD.

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдаемая динамика белкового состава согласуется с данными Dueñas et al. [12]. Первоначальное снижение массовой доли белка на этапе 36 ч обусловлено интенсивным гидролизом запасных белков протеазами для обеспечения роста зародыша. Восстановление относительной доли белка к 48 ч объясняется расходом углеводов резервов семени на дыхание [11].

Рост концентрации антиоксидантных соединений и витаминов отражает адаптивную физиологическую реакцию семени на стресс прорастания [14]. Мы предположили, что повышение содержания полифенолов связано с возможной активацией ключевого фермента фенилаланин-аммиак-липазы (PAL), а рост витаминов С и Е — с защитой биомембран проростка от окислительного повреждения [13, 15, 17]. Однако следует подчеркнуть, что энзиматическая активность в рамках данной работы напрямую не измерялась, и эти механизмы рассматриваются как гипотетические.

Среди исследованных точек (36 и 48 ч) наилучшие по-

казатели накопления антиоксидантного комплекса установлены на этапе 36 ч. Частичное снижение витаминов С, Е и полифенолов к 48 ч может быть связано с их вовлечением в метаболизм растущего проростка [13].

Следует отметить, что в данном исследовании оценивалась одна коммерческая партия зерна конкретного региона происхождения. Учитывая сортовые различия, а также влияние агроклиматических условий выращивания на исходный биохимический состав семян, выявленные количественные закономерности накопления витаминов и полифенолов могут варьировать для других генотипов зелёной чечевицы.

Ограничения исследования: Настоящая работа ограничена использованием одной коммерческой партии семян, небольшим количеством временных точек (36 и 48 ч) и проведением анализов исключительно *in vitro*, в связи с чем экстраполяция полученных количественных значений на все генотипы и урожаи *Lens culinaris* требует дальнейшего валидационного изучения на расширенном спектре сортов.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что проращивание является эффективным биотехнологическим методом повышения антиоксидантного потенциала зеленой чечевицы. Продолжительность процесса оказывала выраженное влияние на изученные химические и биохимические показатели. Среди исследованных временных вариантов (36 и 48 ч) наибольшие значения водорастворимых антиоксидантов, общего содержания полифенолов, а также витаминов Е и С были зарегистрированы после 36 ч проращивания. При увеличении продолжительности обработки до 48 ч значения большинства антиоксидантных показателей снижались, однако сохранялись на уровне, превышающем контрольный. Массовая доля белка после временного снижения на этапе 36 ч восстанавливалась к 48 ч до значений, сопоставимых с контролем ($p > 0,05$).

Вместе с тем настоящее исследование носит предварительный характер и ограничено анализом фиксированных временных интервалов (0, 36 и 48 ч), использованием одной партии сырья и аналитической повторностью измерений. На основании полученных данных 36 ч проращивания установлены как наиболее благоприятный режим

среди изученных вариантов, однако определение точного технологического оптимума требует построения более подробного временного ряда (с шагом 6–12 часов, включая точки 24, 30 и 42 ч).

Полученная чечевичная мука (36 ч проращивания) характеризуется повышенным уровнем антиоксидантных компонентов и представляет потенциальный практический интерес для использования в технологии продуктов питания. Однако вывод о возможности ее эффективного применения в качестве натурального антиоксиданта в мясных системах на данном этапе носит гипотетический характер, так как в работе не проводились испытания на модельных мясных фаршах (исследование показателей TBARS, окисления белков, влагоудерживающей способности, цвета и органолептики).

Дальнейшие исследования авторов будут направлены на ввод различных дозировок пророщенной чечевичной муки в модельные мясные системы с целью оценки ее влияния на окислительную порчу липидов, текстурно-микроструктурные характеристики и сроки годности готовых мясных изделий в сравнении с синтетическими антиоксидантами и непророщенным контролем.

ВКЛАД АВТОРОВ

Маржан Илияскызы — разработка концепции и дизайна исследования; организация и проведение экспериментальной работы; сбор, обработка и анализ экспериментальных данных; подготовка и написание рукописи; доработка рукописи с учетом замечаний рецензентов.

Анар Калиева — научное консультирование по методологии исследования, выбору аналитических показателей и методов их определения, а также применяемых нормативных документов (ГОСТ); участие в научной интерпретации полученных результатов; научное редактирование рукописи.

Акмарал Сартаева — научное консультирование по проведению аналитических исследований и выбору соответствующих методик; консультирование по оформлению и содержанию раздела «Материалы и методы»; редактирование рукописи.

Рустам Укибаев — участие в проведении лабораторных анализов и получении экспериментальных данных; поиск и подбор научных публикаций для сопоставления полученных результатов.

Бахытжан Темірхан — участие в лабораторной работе; проверка и техническое редактирование текста рукописи; участие в доработке рукописи после замечаний рецензентов; поиск дополнительных научных публикаций по теме исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Afify A. M. R., El-Beltagi H. S., Abd El-Salam S. M., Omran A. A. Protein solubility, digestibility and fractionation after germination of sorghum varieties // PLoS ONE. – 2012. – Т. 7, № 2. – С. e31154. – DOI: 10.1371/journal.pone.0031154.
2. Alvarez-Jubete L., Arendt E. K., Gallagher E. Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients // International Journal of Food Sciences and Nutrition. – 2009. – Т. 60, № Suppl. 4. – С. 240–257. – DOI: 10.1080/09637480902950597.
3. Greiner R., Muzquiz M., Burbano C., Cuadrado C., Pedrosa M. M., Goyoaga C. Purification and characterization of a phytate-degrading enzyme from germinated faba beans (*Vicia faba* var. Alameda) // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2001. – Т. 49, № 5. – С. 2234–2240. – DOI: 10.1021/jf0100806.
4. Kalpanadevi V., Mohan V. R. Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of the underutilized legume, *Vigna unguiculata* (L.) Walp subsp. *unguiculata* // LWT – Food Science and Technology. – 2013. – Т. 51, № 2. – С. 455–461. – DOI: 10.1016/j.lwt.2012.09.030.
5. Khattak A. B., Zeb A., Bibi N., Khalil S. A., Khattak M. S. Influence of germination techniques on phytic acid and polyphenols content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts // Food Chemistry. – 2007. – Т. 104, № 3. – С. 1074–1079. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.01.022.
6. Gharachorloo M., Ghiassi Tarzi B., Baharinia M. The effect of germination on phenolic compounds and antioxidant activity of pulses // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 2013. – Т. 90, № 3. – С. 407–411. – DOI: 10.1007/s11746-012-2170-3.
7. Meda A., Lamien C. E., Romito M., Millogo J., Nacoulma O. G. Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Faso honey, as well as their radical scavenging activity // Food Chemistry. – 2005. – Т. 91, № 3. – С. 571–577. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.10.006.
8. Narsih, Yunianta, Harijono. The study of germination and soaking time to improve nutritional quality of sorghum seed // International Food Research Journal. – 2012. – Т. 19, № 4. – С. 1429–1432.
9. Uppal V., Bains K. Effect of germination periods and hydrothermal treatments on in vitro protein and starch digestibility of germinated legumes // Journal of Food Science and Technology. – 2012. – Т. 49, № 2. – С. 184–191. – DOI: 10.1007/s13197-011-0273-8.
10. López A., El-Naggar T., Dueñas M., Ortega T., Estrella I., Hernández T., Gómez-Serranillos M. P., Palomino O. M., Carretero M. E. Influence of Processing in the Phenolic Composition and Health-Promoting Properties of Lentils (*Lens culinaris* L.) // Journal of Food Processing and Preservation. – 2017. – Т. 41, № 5. – e13113. – DOI: 10.1111/jfpp.13113.
11. Fouad A. A., Ali Rehab F. M. A. Effect of germination time on proximate analysis, bioactive compounds and antioxidant activity of lentil (*Lens culinaris* Medik.) sprouts // Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. – 2015. – Т. 14, № 3. – С. 233–246. – DOI: 10.17306/J.AFS.2015.3.25.
12. Dueñas M., Sarmiento T., Aguilera Y., Benitez V., Mollá E., Esteban R. M., Martín-Cabrejas M. A. Impact of cooking and germination on phenolic composition and dietary fibre fractions in dark beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and lentils (*Lens culinaris* L.) // LWT – Food Science and Technology. – 2016. – Т. 66. – С. 72–78. – DOI: 10.1016/j.lwt.2015.10.025.
13. Dueñas M., Hernández T., Estrella I. Assessment

of in vitro antioxidant capacity of the seed coat and the cotyledon of legumes in relation to their phenolic contents // Food Chemistry. – 2006. – T. 98, № 1. – C. 95–103. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.05.052.

14. Alkaltham M. S., Özcan M. M., Uslu N., Salamatullah A. M., Hayat K. Changes in antioxidant activity, phenolic compounds, fatty acids, and mineral contents of raw, germinated, and boiled lentil seeds // Journal of Food Science. – 2022. – T. 87, № 4. – C. 1639–1649. – DOI: 10.1111/1750-3841.16099.

15. López-Amorós M. L., Hernández T., Estrella I. Effect of germination on legume phenolic compounds and their antioxidant activity // Journal of Food Composition and Analysis. – 2006. – T. 19, № 4. – C. 277–283. – DOI: 10.1016/j.jfca.2004.06.012.

16. Rico D., Peñas E., García M. del C., Rai D. K., Martínez-Villaluenga C., Frias J., Martín-Diana A. B. Development of Antioxidant and Nutritious Lentil (*Lens culinaris*) Flour Using Controlled Optimized Germination as a Bioprocess // Foods. – 2021. – T. 10, № 12. – 2924. – DOI: 10.3390/foods10122924.

17. Ghallab D. S., Ghareeb D. A., Shawer E. E., Othman A. A., Elattar M. M. Microbial biopriming and germination cooperatively remodel brown lentil seeds (*Lens culinaris* L.) metabolome and antidiabetic functionality // npj Science of Food. – 2026. – T. 10. – 160. – DOI: 10.1038/s41538-026-00824-5.

18. Świeca M., Surdyka M., Gawlik-Dziki U., Złotek U., Baraniak B. Antioxidant potential of fresh and stored lentil sprouts affected by elicitation with temperature stresses // International Journal of Food Science & Technology. – 2014. – T. 49, № 8. – C. 1811–1817. – DOI: 10.1111/ijfs.12489.

REFERENCES

1. Afify A. M. R., El-Beltagi H. S., Abd El-Salam S. M., Omran A. A. Protein solubility, digestibility and fractionation after germination of sorghum varieties // PLoS ONE. – 2012. – Vol. 7, No. 2. – P. e31154. – PMID: 22319611. – DOI: 10.1371/journal.pone.0031154.

2. Alvarez-Jubete L., Arendt E. K., Gallagher E. Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients // International Journal of Food Sciences and Nutrition. – 2009. – Vol. 60, No. Suppl. 4. – P. 240–257. – PMID: 19462323. – DOI: 10.1080/09637480902950597.

3. Greiner R., Muzquiz M., Burbano C., Cuadrado C., Pedrosa M. M., Goyoaga C. Purification and characterization of a phytate-degrading enzyme from germinated faba beans (*Vicia faba* var. Alameda) // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2001. – Vol. 49, No. 5. – P. 2234–2240. – PMID: 11368582. – DOI: 10.1021/jf0100806.

4. Kalpanadevi V., Mohan V. R. Effect of processing on antinutrients and in vitro protein digestibility of the underutilized legume, *Vigna unguiculata* (L.) Walp subsp. *unguiculata* // LWT – Food Science and Technology. – 2013. – Vol. 51, No. 2. – P. 455–461. – DOI: 10.1016/j.lwt.2012.09.030.

5. Khattak A. B., Zeb A., Bibi N., Khalil S. A., Khattak

M. S. Influence of germination techniques on phytic acid and polyphenols content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts // Food Chemistry. – 2007. – Vol. 104, No. 3. – P. 1074–1079. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.01.022.

6. Gharachorloo M., Ghiassi Tarzi B., Baharinia M. The effect of germination on phenolic compounds and antioxidant activity of pulses // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 2013. – Vol. 90, No. 3. – P. 407–411. – DOI: 10.1007/s11746-012-2170-3.

7. Meda A., Lamien C. E., Romito M., Millogo J., Nacoulma O. G. Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Faso honey, as well as their radical scavenging activity // Food Chemistry. – 2005. – Vol. 91, No. 3. – P. 571–577. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.10.006.

8. Narsih, Yunianta, Harijono. The study of germination and soaking time to improve nutritional quality of sorghum seed // International Food Research Journal. – 2012. – Vol. 19, No. 4. – P. 1429–1432.

9. Uppal V., Bains K. Effect of germination periods and hydrothermal treatments on in vitro protein and starch digestibility of germinated legumes // Journal of Food Science and Technology. – 2012. – Vol. 49, No. 2. – P. 184–191. – PMID: 23572840. – DOI: 10.1007/s13197-011-0273-8.

10. López A., El-Naggar T., Dueñas M., Ortega T., Estrella I., Hernández T., Gómez-Serranillos M. P., Palomino O. M., Carretero M. E. Influence of Processing in the Phenolic Composition and Health-Promoting Properties of Lentils (*Lens culinaris* L.) // Journal of Food Processing and Preservation. – 2017. – Vol. 41, No. 5. – e13113. – DOI: 10.1111/jfpp.13113.

11. Fouad A. A., Ali Rehab F. M. A. Effect of germination time on proximate analysis, bioactive compounds and antioxidant activity of lentil (*Lens culinaris* Medik.) sprouts // Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. – 2015. – Vol. 14, No. 3. – P. 233–246. – PMID: 28068031. – DOI: 10.17306/J.AFS.2015.3.25.

12. Dueñas M., Sarmiento T., Aguilera Y., Benitez V., Mollá E., Esteban R. M., Martín-Cabrejas M. A. Impact of cooking and germination on phenolic composition and dietary fibre fractions in dark beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and lentils (*Lens culinaris* L.) // LWT – Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 66. – P. 72–78. – DOI: 10.1016/j.lwt.2015.10.025.

13. Dueñas M., Hernández T., Estrella I. Assessment of in vitro antioxidant capacity of the seed coat and the cotyledon of legumes in relation to their phenolic contents // Food Chemistry. – 2006. – Vol. 98, No. 1. – P. 95–103. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.05.052.

14. Alkaltham M. S., Özcan M. M., Uslu N., Salamatullah A. M., Hayat K. Changes in antioxidant activity, phenolic compounds, fatty acids, and mineral contents of raw, germinated, and boiled lentil seeds // Journal of Food Science. – 2022. – Vol. 87, No. 4. – P. 1639–1649. – PMID: 35279839. – DOI: 10.1111/1750-3841.16099.

15. López-Amorós M. L., Hernández T., Estrella I. Effect of germination on legume phenolic compounds and their antioxidant activity // Journal of Food Composition and Analysis. – 2006. – Vol. 19, No. 4. – P. 277–283. – DOI:

10.1016/j.jfca.2004.06.012.

16. Rico D., Peñas E., García M. del C., Rai D. K., Martínez-Villaluenga C., Frias J., Martín-Diana A. B. Development of Antioxidant and Nutritious Lentil (*Lens culinaris*) Flour Using Controlled Optimized Germination as a Bioprocess // Foods. – 2021. – Vol. 10, No. 12. – 2924. – DOI: 10.3390/foods10122924.

17. Ghallab D. S., Ghareeb D. A., Shawer E. E., Othman A. A., Elattar M. M. Microbial biopriming and germination cooperatively remodel brown lentil seeds (*Lens culinaris* L.)

metabolome and antidiabetic functionality // npj Science of Food. – 2026. – Vol. 10. – 160. – DOI: 10.1038/s41538-026-00824-5.

18. Świeca M., Surdyka M., Gawlik-Dziki U., Złotek U., Baraniak B. Antioxidant potential of fresh and stored lentil sprouts affected by elicitation with temperature stresses // International Journal of Food Science and Technology. – 2014. – Vol. 49, No. 8. – P. 1811–1817. – DOI: 10.1111/ijfs.12489.

ЖАСЫЛ ЖАСЫМЫҚТЫ ӨНДІРУ ӘДІСІМЕН БИОТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІРУ ЖӘНЕ ОНЫҢ ЕТ ӨНІМДЕРІ ТЕХНОЛОГИЯСЫНДА ҚОЛДАНЫЛУЫ ҮШІН АНТИОКСИДАНТТЫҚ ӘЛЕУЕТІН БАҒАЛАУ

Ілиясқызы Маржан ¹., Қалиева Анар Н ¹., Сартаева Ақмарал А ¹., Укибаев Рустам Ж ¹., Темірхан Бахытжан Т ¹

КЕАҚ «Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті», жаратылыстану институты, биология кафедрасы.

Алматы қ, Алмалы ауданы, Бөгенбай батыр к-сі 142, индекс: А05В8Х7;

Жауапты автордың электрондық пошта мекенжайы (alybayeva_m@mail.ru)

Барлық авторлар үшін жұмыс орны - КЕАҚ «Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті», жаратылыстану институты, биология кафедрасы.

АННОТАЦИЯ

Өну-метаболикалық процестерді белсендіру және биологиялық белсенді қосылыстардың жинақталуы арқылы өсімдік ингредиенттерінің функционалдық және коректік қасиеттерін жақсартудың перспективалы биотехнологиялық тәсілі. Бұл зерттеудің мақсаты жасыл жасымықтың (*Lens culinaris*) химиялық құрамы мен антиоксиданттық қасиеттеріне өну ұзақтығының әсерін анықтау және оның ет технологиясының функционалды ингредиенті ретіндегі әлеуетін бағалау болды. Зерттеу барысында жасыл жасымық тұқымдары 36 және 48 сағат ішінде өніп шықты, бақылау ретінде өнбеген тұқымдар пайдаланылды. Ақуыздың, антиоксиданттардың, полифенолдардың, сондай-ақ А, С және Е дәрумендерінің құрамы анықталды. Өну барысында зерттелген параметрлер мөлшерінің айқын өзгеруі орын алды. Жасыл жасымық дөңдері 36 сағат өнгеннен кейін антиоксиданттардың мөлшері 0,47 мг /г – нан 0,53 мг /г– ға дейін (12,8 %), полифенолдар-1,28 %- дан 1,37 %- ға дейін (7,0 %), Е дәрумені-53,36 мг /кг-дан 85,90 мг /кг-ға дейін (61,0 %), ал С дәрумені - 18,60 мг / кг-нан 56,58 мг /кг-ға дейін, бұл үш еседен астам өсу динамикасын көрсетті. 48 сағаттық өнуден кейін бұл параметрлердің мәндері 36 сағатпен салыстырғанда төмендеді, бірақ бақылау деңгейінен жоғары болды. Ақуыз мөлшері 36 сағаттан кейін 13,16 % - дан 11,18 % - ға дейін төмендеді және 48 сағаттан кейін 13,30 % - ға дейін өсті. А дәрумені үлгілердің ешқайсысында табылған жоқ. Осы зерттеу жағдайында 36 сағаттық өну антиоксиданттармен байланысты зерттелген параметрлердің ең жоғары мәндерін көрсетті. Біздің зерттеу нәтижелеріміз өнгіштікті биоактивті қосылыстармен байытылған жасыл жасымық ұнын алу үшін перспективалық биотехнологиялық тәсіл ретінде пайдалануға болатынын көрсетеді, және ет технологиясында функционалды ингредиент ретінде қолдану әлеуетіне ие.

Түйін сөздер: жасыл жасымық, өну, антиоксиданттар, полифенолдар, С дәрумені, Е дәрумені, функционалды ингредиент, ет технологиясы.

BIOTECHNOLOGICAL ACTIVATION OF GREEN LENTILS BY GERMINATION AND EVALUATION OF THEIR ANTIOXIDANT POTENTIAL FOR APPLICATION IN MEAT PRODUCT TECHNOLOGY

Iliyaskyzy Marzhan ¹., Kaliyeva Anar ¹., Sartayeva Akmaral ¹., Ukibayev Rustam ¹., Temirkhan Bakhytzhhan ¹

NJSC “Kazakh National Women’s Teacher Training University”, Institute of Natural Sciences, Department of Biology.

Almaty, st. Bogenbai batyry, 142, A05B8X7;

Email address of the corresponding author (alybayeva_m@mail.ru)

Place of work for all authors: NJSC «Kazakh National Women’s Teacher Training University», Institute of Natural Sciences, Department of Biology.

ABSTRACT

Sprouting is a promising biotechnological approach to improving the functional and nutritional properties of green lentil flour by activating metabolic processes and accumulating bioactive compounds. The aim of this study was to evaluate the effect of sprouting time on the chemical composition and antioxidant properties of green lentils (*Lens culinaris*) and assess their potential as a functional ingredient for meat applications. During the study, green lentil seeds were sprouted for 36 and 48 hours, with unsprouted seeds serving as a control. The content of protein, antioxidants, polyphenols, and vitamins A, C, and E was determined. During sprouting, the studied parameters changed considerably. After 36 hours of sprouting, the total antioxidant content increased from 0.47 mg /g to 0.53 mg /g (12.8 %), the polyphenol content increased from 1.28 % to 1.37 % (7.0%), vitamin E content increased from 53.36 mg /kg to 85.90 mg /kg (61.0 %), and vitamin C from 18.60 mg /kg to 56.58 mg /kg, representing a more than threefold increase. After 48 hours of sprouting, the values of these parameters decreased compared with those observed after 36 hours, but remained above the control levels. Protein content decreased from 13.16 % to 11.18% after 36 hours and increased to 13.30 % after 48 hours. Vitamin A was not detected in any of the samples. Under the conditions of this study, 36 hours of sprouting resulted in the highest levels of the studied bioactive compounds and antioxidant-related parameters. The results of our study demonstrate that sprouting can be used as a promising biotechnological approach to producing green lentil flour enriched with bioactive compounds, with potential use as a functional ingredient in meat processing.

Keywords: green lentil, sprouting, antioxidants, polyphenols, vitamin C, vitamin E, functional ingredient, meat processing.