

УДК 664.769:581.192.4

# Формирование композиции биологически активных соединений и антиоксидантной активности микрозелени злаковых культур при выращивании на гидрогеле

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Л. П. Нилова, С. М. Малютенкова, О. В. Федорук

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Нилова Людмила Павловна

E-mail: nilova\_l\_p@mail.ru

## ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Нилова, Л.П., Малютенкова, С.М., & Федорук, О.В. (2023). Формирование композиции биологически активных соединений и антиоксидантной активности микрозелени злаковых культур при выращивании на гидрогеле. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 82-94. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.477>

ПОСТУПИЛА: 01.03.2023

ПРИНЯТА: 15.09.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Микрозелень становится все более популярной благодаря содержанию биологически активных соединений. В питании эффективно использовать свежесрезанные ростки, которые можно выращивать на различных субстратах в индустрии питания и домашних условиях. Выращивание микрозелени на гидрогеле промышленного производства обеспечивает свободный доступ семян к воде без регулярного полива, что может привести к более эффективному росту растений и синтезу в них биологически активных соединений.

**Цель:** изучение возможности выращивания на гидрогеле зерна злаковых культур на примере пшеницы, ячменя, овса для получения микрозелени, как источника биологически активных соединений и антиоксидантов.

**Материалы и методы:** Для получения микрозелени использовали зерно пшеницы, ячменя и овса, которое выращивали на гидрогеле в течение 10 суток с ежедневным измерением высоты ростков. В микрозелени на 5-е, 7-е и 9-е сутки роста определяли количество хлорофиллов, каротиноидов, флавоноидов, витамин С и антиоксидантную активность методом FRAP и кулонометрическим титрованием.

**Результаты:** Микрозелень достигла оптимальной высоты 9–13 см на 7-е сутки выращивания на гидрогеле. В процессе роста микрозелени синтез биологически активных соединений происходил по-разному. Содержание хлорофиллов и каротиноидов увеличивалось в течение всего периода роста, интенсифицируясь на 9-е сутки. Хлорофиллы преобладали в микрозелени пшеницы, каротиноиды – в микрозелени овса на всех стадиях роста. Содержание флавоноидов в процессе роста микрозелени увеличивалось, но на 9-е сутки скорость их синтеза замедлилась. В течение всего периода роста содержание флавоноидов преобладало в ячмене. Количество витамина С в микрозелени увеличивалось только до 7-ми суток роста, а затем резко снизилось до значений 5-ти суточных ростков и ниже. Витамин С преобладал в микрозелени овса. Все виды микрозелени обладали антиоксидантной активностью, максимальные значения которых зафиксированы на 7-е сутки роста.

**Выводы:** Выращивание злаковых культур на гидрогеле позволяет получать микрозелень оптимальной высоты с максимальной антиоксидантной активностью на 7-е сутки.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

микрозелень, пшеница, ячмень, овес, выращивание, гидрогель, биологически активные соединения, антиоксидантная активность

# Formation of the Composition of Biologically Active Compounds and Antioxidant Activity of Cereal Microgreens when Grown on Hydrogel

Liudmila P. Nilova, Svetlana M. Malyutenkova, Oksana V. Fedoruk

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

## CORRESPONDENCE:

**Ludmila P. Nilova**

E-mail: nilova\_lp@mail.ru

## FOR CITATIONS:

Nilova, L.P., Malyutenkova, S.M., & Fedoruk, O.V. (2023). Formation of the composition of biologically active compounds and antioxidant activity of cereal microgreens when grown on Hydrogel. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 82-94.

<https://doi.org/10.36107/spfp.2023.477>

RECEIVED: 01.03.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



## ABSTRACT

**Background:** Cereal microgreens are becoming increasingly popular due to the content of biologically active compounds. It is most effective to use freshly cut microgreen sprouts in your diet. Storage and transportation of microgreens leads to a decrease in their quality and loss of biologically active compounds. You can use the hydrogel to grow microgreens in the food industry and at home. The easiest way to grow microgreens is to select a substrate and grow them indoors. The use of industrially produced hydrogel as a substrate allows seeds to have free access to water without regular watering, which can lead to more efficient plant growth and the synthesis of biologically active compounds in them. Currently, hydrogel is not used for growing cereal microgreens.

**Purpose:** The purpose is to study the possibility of growing cereal grains on a hydrogel using the example of wheat, barley, oats to obtain microgreens as a source of biologically active compounds and antioxidants.

**Materials and Methods:** To obtain microgreens, grains of wheat, barley, and oats were used, which were grown on a hydrogel for 10 days with daily measurement of the height of the sprouts. The amount of chlorophylls, carotenoids, flavonoids, vitamin C, and antioxidant activity in microgreens was determined by FRAP and coulometric titration on the 5th, 7th, and 9th days of growth.

**Results:** Microgreens reached an optimal height of 9–13 cm on the 7th day of cultivation on a hydrogel. During the growth of microgreens, the synthesis of biologically active compounds occurred in different ways. The content of chlorophylls and carotenoids increased during the entire period of growth, intensifying on the 9th day. Chlorophyll predominated in wheat microgreens, carotenoids dominated in oat microgreens at all stages of growth. The content of flavonoids increased during the growth of microgreens, but on the 9th day the rate of their synthesis slowed down. During the entire period of growth, the content of flavonoids prevailed in barley. The amount of vitamin C in microgreens increased only up to the 7th day of growth, and then sharply decreased to the values of 5-day-old sprouts and below. Vitamin C was predominant in oat microgreens. All types of microgreens had antioxidant activity, the maximum values of which were recorded on the 7th day of growth.

**Conclusion:** Growing cereal crops on a hydrogel allows you to get microgreens of optimal height with maximum antioxidant activity on the 7th day.

## KEYWORDS

microgreens, wheat, barley, oats, cultivation, hydrogel, biologically active compounds, antioxidant activity

## ВВЕДЕНИЕ

Проростки и микрозелень являются новыми функциональными источниками пищи с большим потенциалом для разнообразия и улучшения рациона питания человека и решения проблемы дефицита питательных веществ (Ebert, 2022; Partar et al., 2023). Изучению содержания биологически активных соединений и антиоксидантной активности различных видов микрозелени при разных условиях выращивания и их пользы для здоровья посвящено множество работ, которые обобщены в ряде обзорных статей (Galieni, et al., 2020; Aloo et al., 2021; Teng et al., 2021; Zhang et al., 2021). При одинаковых условиях выращивания содержание природных антиоксидантов — фенольных соединений, антоцианов и витамина С может колебаться в широких пределах в зависимости от вида микрозелени. Микрозелень красной капусты и проса накапливала больше фенольных соединений, чем другие изученные виды микрозелени, тогда как общее содержание антоцианов было выше в микрозелени красной редьки и проса (Dhaka et al., 2023). Исследования *in vitro* и *in vivo* показали, что микрозелень обладает противовоспалительными, противораковыми, антибактериальными и антигиперлипемическими свойствами (Zhang et al., 2021), а микрозелень овса может способствовать снижению артериального давления (Liska et al., 2022).

Микрозелень получают при выращивании различных семян — овощных, зерновых, бобовых и других культур (Елисеева и др., 2020; Niroula et al., 2021; Corrado et al., 2022; Dhaka et al., 2023). В отличие от проростков, которые культивируют не более 10 дней в темноте без использования почвы и дополнительных питательных веществ, микрозелень выращивают от 7 до 21 дней в присутствии света и среды для выращивания без агрохимикатов. В результате образуются растения длиной около 10 см с полностью развитыми семядолями с одним или двумя настоящими листьями (Aloo et al., 2021; Kaur et al., 2021; Niroula et al., 2021; Bhaswant et al., 2023). При одинаковой продолжительности культивирования в микрозелени пшеницы накапливается в 2 и более раз больше фенольных соединений, чем в проростках, что оказывает влияние на их антиоксидантную активность ( $R^2 > 0,92$ ) (Niroula et al.,

2019). Зеленая пигментация микрозелени связана с синтезом хлорофиллов, который считается одним из наиболее распространенных фитохимических веществ в природе. Несмотря на то, что хлорофиллы являются одними из наиболее распространенных липофильных биологически активных соединений в природе и, возможно, в рационе человека, они часто игнорируются в исследованиях в области питания, поскольку долгое время считалось, что они не могут усваиваться из пищи. Однако недавние исследования показали, что способность хлорофиллов модулировать окислительный стресс (Koničková et al., 2014) и улавливать мутагены путем ограничения их биодоступности (Pietrzak et al., 2008) способствует профилактике онкологических заболеваний. В России установлен адекватный уровень потребления хлорофилла в составе пищевых продуктов в количестве 100 мг в сутки<sup>1</sup>.

Проростки и микрозелень можно производить в городских и пригородных условиях в ограниченном пространстве с коротким циклом роста и минимальным использованием внешних питательных веществ для выращивания. Их считают источником биологически активных соединений и могут употреблять в свежем виде при приготовлении кулинарных блюд в индустрии питания или использовать как ингредиент в производстве пищевых продуктов (Бережная и др., 2015; Galieni, et al., 2020; Ghooora et al., 2020; Данильчук с соавт., 2020; Peñaranda, 2021).

Проращивание семян рассматривают как эффективную стратегию, позволяющую управлять составом биологически активных соединений в ростках, таким образом, улучшая их пользу для здоровья (Fortună et al., 2018; Islam et al., 2019; Науменко и др., 2019; Galieni, et al., 2020; Зенькова & Акулич, 2021; Dhaka et al., 2023). Количественный и качественный состав биологически активных соединений антиоксидантной направленности проростков и микрозелени зависит, прежде всего, от вида семян. В пророщенной пшенице повышение антиоксидантной активности происходит преимущественно за счет синтеза фенольных соединений (Niroula et al., 2019), в частности фенольных кислот (Złotek et al., 2019; Padalia et al., 2010;), в пророщенной гречихе — флавонолов (Kuznetsova et al., 2018; Ling et al., 2018).

<sup>1</sup> МР 2.3.1.1915–04. (2004). *Методические рекомендации «Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ»*. <https://docs.cntd.ru/document/1200037560>

Важными факторами регулирования синтеза биологически активных соединений в ростках являются условия проращивания (вид почвы, свет, температура, доступность воды и питательных веществ), правильный подбор которых может привести к получению микрорзелени с антиоксидантной активностью, превышающую некоторые свежие овощи (Kulkarni et al., 2006). Микрорзелень пшеницы, полученная с использованием гидропонных технологий, содержит больше, чем выращенная на почве из букового леса, хлорофиллов на 78%, фенольных соединений — на 5,7%, флавоноидов — на 34,9%, антирадикальная активность (DPPH-тест) увеличивается на 62,1% (Fortunã et al., 2018). При выращивании пшеницы на кокосовом торфе в микрорзелени накапливается больше фенольных кислот и флавоноидов (катехина, рутина), а на почве — общих фенольных соединений, что повышает их антиоксидантную активность (Kaur et al., 2021). Увеличение доли синего излучения в светодиодах до 33% при выращивании семян приводит к более интенсивному синтезу хлорофиллов и каротиноидов, а снижение синего излучения до 16% — увеличивает синтез токоферолов (Samuolienė et al., 2017; Li et al., 2022).

Усилить антиоксидантные свойства ростков может полив их растворами минеральных солей, модифицированными питательными растворами или опрыскивание их растворами арахионовой или жасмоновой кислотами (Волошин с соавт., 2015; Złotek et al., 2019; Islam et al., 2020; Kaur et al., 2021; Елисеева с соавт., 2020; Corrado et al., 2022). Полив ростков родниковой водой, содержащей больше солей калия, кальция и магния, чем артезианская вода, не только повышает в них содержание минералов, но и стимулирует синтез хлорофиллов на 39%, фенольных соединений — на 9,7%, флавоноидов — на 73,3% (Fortunã et al., 2018). Использование для полива зерна пшеницы раствора хлорида натрия ( $12,5 \text{ ммоль/дм}^3$ ), приводит к увеличению в ростках фенольных соединений, хлорофиллов и каротиноидов. Повышение в растворе концентрации хлорида натрия ( $25 \text{ ммоль/дм}^3$ ), уменьшает содержание вышеперечисленных биологически активных соединений в ростках до исходного количества и ниже, но увеличивает синтез антоцианов (Islam et al., 2019).

Микрорзелень имеет короткие циклы роста, низкую скорость фиксации биомассы (низкое потребле-

ние кислорода и низкое образование углекислого газа), высокую эффективность урожая на единицу площади (с почвой или без нее), времени и объема (Fortunã et al., 2018; Galieni, et al., 2020; Niroula et al., 2021; Corrado et al., 2022). Преимуществом ее производства в промышленных масштабах или домашнем хозяйстве является сбор микрорзелени в свежем виде перед употреблением, что обеспечивает максимальную антиоксидантную активность продукта по сравнению с таблетированными аналогами (Kulkarni et al., 2006).

В последние годы среди садоводов для проращивания и получения рассады различных овощей в домашних условиях популярно использование гидрогеля промышленного производства, рекомендованного для использования в сельском хозяйстве. Выращивание микрорзелени злаковых и овощных культур на гидрогеле позволило бы круглогодично получать свежую съедобную микрорзелень, содержащую природные антиоксиданты, что может стать дополнением к рациону питания, обеспечивая его полноценность.

Цель данного исследования: изучение возможности выращивания на гидрогеле зерна злаковых культур на примере пшеницы, ячменя, овса для получения микрорзелени, как источника биологически активных соединений и антиоксидантов. В работе исследовали динамику роста микрорзелени по высоте ростков, синтез биологически активных соединений — хлорофиллов, каротиноидов, флавоноидов, витамина С и антиоксидантную активность микрорзелени методами FRAP и кулонометрическим титрованием.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Объекты исследования

Объектами исследований явилась микрорзелень пшеницы, ячменя и овса: пшеница «Аратай» производитель товарищество на вере «Пугачевское», Пензенская область; ячмень «Naturale» производитель ИП Салахутдинов, г. Москва; овес «Волшебное зернышко» производитель ООО «Мирас М», Республика Башкортостан. Выращивание микрорзелени проводилось на гранулированном гидрогеле «Green Square» (почвенный кондиционер В-415К) с содер-

жанием солей калия (не менее 21 %), производитель ООО «Акрипол», Россия, г. Москва.

## Оборудование

Спектрофотометр «UNICO-2800», США, стеклянные кюветы с толщиной слоя 1 см.

Кулонометр «Эксперт-006-антиоксиданты», Россия.

Шкаф сушильный РА-50/350, Россия.

## Методы

В микрозелени разной длины определяли массовую долю влаги методом высушивания навески до постоянной массы при температуре 105°C по ГОСТ 28561–90<sup>2</sup>.

Содержание пигментов — хлорофиллов (a + b), суммы каротиноидов определяли спектрофотометрически одновременно в одной пробе (Sumanta et al., 2014). Около 0,5 г микрозелени гомогенизировали в присутствии 10 мл диметилсульфоксида, а затем полученную смесь в течение 15 минут центрифугировали при 10 000 об/мин. 0,5 мл надосадочной жидкости смешивали с 4,5 мл диметилсульфоксида и анализировали на спектрофотометре UNICO–2800. Для расчета хлорофилла формы a ( $X_{л_a}$ ), хлорофилла формы b ( $X_{л_b}$ ), суммы каротиноидов (K) использовали значения оптической плотности при длинах волн, нм: 470 ( $A_{470}$ ); 649 ( $A_{649}$ ) и 664 ( $A_{664}$ ), и рассчитывали по следующим формулам:

$$X_{л_a} = 13,36 \times A_{664} - 5,19 \times A_{649}; \quad (1)$$

$$X_{л_b} = 27,43 \times A_{649} - 8,12 \times A_{664}; \quad (2)$$

$$K = \frac{1000 \times A_{470} - 2,13 \times X_{л_a} - 97,63 \times X_{л_b}}{209} \quad (3)$$

Общее содержание флавоноидов определяли спектрофотометрически по реакции с хлоридом алюминия при длине волны 420 нм по ГОСТ Р 55312–2012<sup>3</sup>

после предварительной гомогенизации 1 г микрозелени с 60 %-ным этанолом и центрифугировании в течение 3 минут при 3000 об/мин. Калибровочную кривую строили по рутину.

Определение витамина С проводили титриметрическим методом с раствором 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия по ГОСТ 24556–89<sup>4</sup>. Подготовка пробы заключалась в растирании 5 г микрозелени с 2 %-м раствором соляной кислоты до получения однородной кашицы, фильтровании, доведении дистиллированной водой до нужного объема. Полученный раствор оттитровывали 0,250 г/дм<sup>3</sup> раствором 2,6-дихлорфенолиндофенола.

Антиоксидантную активность определяли: спектрофотометрически методом FRAP с хлоридом железа в присутствии о-фенантролина при длине волны 505 нм (Рогожин & Рогожина, 2016)<sup>5</sup>; кулонометрическим титрованием (КМТ) на кулонометре «Эксперт-006-антиоксиданты» с электрогенерированным бромом. Калибровочную кривую строили по аскорбиновой кислоте.

## Процедура исследования

Выращивание зерна осуществляли в течение 10 суток в пластиковых лотках, которые заполняли набухшим гидрогелем (соотношение гранулированного гидрогеля и фильтрованной воды 10 г/1,75 л) с толщиной слоя 5 см. Зерно трижды промывали в водопроводной воде и сразу высевали при плотности 3 зерна на см<sup>2</sup>. В период роста микрозелени соблюдали световой режим 10/14 день/ночь. После трех суток роста микрозелени ежедневно измеряли высоту каждого растения. На 5-е, 7-е и 9-е сутки микрозелень срезали ножницами из нержавеющей стали и сразу использовали для определения биологически активных соединений и влажности.

## Анализ данных

Исследования проводились в трехкратной повторности каждого образца микрозелени на разных ста-

<sup>2</sup> ГОСТ 28561–90. (2008). *Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги*. М.: Стандартинформ.

<sup>3</sup> ГОСТ Р 55312–2012. (2012). *Прополис. Методы определения флавоноидных соединений*. М.: Стандартинформ.

<sup>4</sup> ГОСТ 24556–89. (2009). *Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С*. М.: Стандартинформ.

<sup>5</sup> Рогожин, В. В., & Рогожина, Т. В. (2016). *Практикум по биохимии сельскохозяйственной продукции*. СПб.: ГИОРД.

дях роста. После измерения высоты каждого растения рассчитывали среднее значение, стандартное отклонение и коэффициент вариации, как соотношение стандартного отклонения к среднему арифметическому. Статистический анализ содержания биологически активных соединений, влажности и антиоксидантной активности проводился на основании трех измерений образцов из трех контейнеров и был выражен как среднее арифметическое, стандартное отклонение. Оценка достоверности результатов проводилась с использованием t-критерия Стьюдента. Различия считали достоверными при вероятности 95%. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием Microsoft Excel 2010.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Зерно всех исследуемых злаковых культур прорастало не одновременно, поэтому в течение всего периода роста высота ростков была неравномер-

ной, особенно после 3-х суток роста (Таблица 1). В этот период высота ростков колебалась от 1 до 8 мм со средним значением около 5 мм и была наиболее выражена у зерна ячменя. Постепенно в процессе дальнейшего роста высота ростков выравнивалась, о чем свидетельствует снижение коэффициента вариации в 2–3 раза, значения которого для всех злаковых культур, начиная с 4-х суток роста, не превышали 20% (среднее рассеяние).

Наибольший рост микрорзелени фиксировался с 3-х до 4-х суток, высота ростков возросла в 8–10 раз, наиболее интенсивно у пшеницы. Затем скорость роста замедлилась, прибавляя в среднем 23–29 мм с 4 на 5 сутки и в среднем 24 мм — с 5 на 6 сутки. После 6-ти суток прирост микрорзелени незначительно увеличился и составил 33–35 мм, а после 8-ти суток замедлился — прирост за сутки составил около 16–20 мм. Наиболее интенсивно в этот период росла микрорзелень пшеницы, высота которой на 10-е сутки превысила высоту микрорзелени ячменя и овса на 3,5 и 7,5 мм, соответственно. Но

**Таблица 1**

Динамика роста микрорзелени злаковых культур на гидрогеле

Высота микрорзелени, мм	Продолжительность роста, сутки							
	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Микрорзелень пшеницы</i>								
Min	2	32	44	56	89	104	120	140
Max	7	50	78	117	153	197	225	245
Mean	4,76	40,67	63,86	88,27	121,95	154,25	174,72	195,72
SD	1,60	4,65	8,95	16,40	18,59	26,56	27,14	29,14
V, %	33,63	11,44	14,02	18,58	15,24	17,22	15,54	14,89
<i>Микрорзелень ячменя</i>								
Min	2	30	47	61	97	112	122	133
Max	8	52	90	124	160	205	222	240
Mean	5,18	41,11	70,67	95,09	130,26	162,23	178,68	192,14
SD	1,85	5,50	11,33	16,79	17,05	24,47	27,96	28,77
V, %	35,64	13,39	16,03	17,65	13,09	15,08	15,65	14,97
<i>Микрорзелень овса</i>								
Min	1	27	38	50	87	107	115	130
Max	7	44	80	117	151	201	217	238
Mean	4,32	36,93	61,45	84,84	119,16	150,84	167,17	188,24
SD	1,83	4,45	11,34	19,22	18,75	26,68	26,34	30,72
V, %	42,42	12,06	18,46	22,66	15,74	17,69	15,75	16,32

*Примечание.* min, max — минимальные и максимальные измеренные значения; mean — среднее арифметическое; SD — стандартная ошибка среднего; V — коэффициент вариации (%).

нежной и сочной микрозелень злаковых культур была только до 9-ти суток роста, а на 10-е сутки становилась жесткой. Это подтверждают значения влажности микрозелени, которые уже на 9-е сутки роста имели тенденцию к снижению на 1,9–2,67 % (Таблица 2).

В процессе роста микрозелень постепенно приобретала более выраженный зеленый оттенок, что связано с синтезом хлорофиллов (таблица 2). С 5 по 9 сутки их количество увеличилось в 2 раза у микрозелени пшеницы и ячменя и в 1,6 раза у микрозелени овса. Интенсивный синтез хлорофиллов происходил с 7-е по 9-е сутки роста независимо от вида зерна для выращивания. В микрозелени пшеницы сумма хлорофиллов в этот период увеличилась на 75%, в то время как с 5-е по 7-е сутки только на 22,2%. Такая же тенденция была характерна для микрозелени ячменя и овса. Содержание хлорофиллов с 5-е по 7-е сутки роста увеличилось на 20,6 и 21,3% и на 68,0 и 32,2% с 7-е по 9-е сутки, соответственно для микрозелени ячменя и овса. На всех стадиях роста микрозелени содержание хлорофиллов в зависимости от вида зерна распределилась следующим образом: пшеница > овес > ячмень. На 9-е сутки микрозелень пшеницы содержала хлорофиллов больше в 1,6 и 1,4 раза, чем микрозелень

ячменя и овса, соответственно. В составе хлорофиллов всех видов микрозелени преобладал хлорофилл а, на долю которого приходилось более 60 %.

Распределение количества каротиноидов между микрозеленью из разных злаковых культур отличалось от хлорофиллов. Каротиноиды преобладали в микрозелени овса на всех стадиях роста. На 7-е сутки их количество увеличилось на 18,1%, на 9-е сутки — еще на 41,8%. Микрозелень пшеницы на 5-е сутки содержала каротиноидов меньше в 1,8 раза, чем микрозелень овса, но их синтез при дальнейшем росте микрозелени был более интенсивным. На 7-е сутки их количество увеличилось на 36,9%, а на 9-е сутки — на 44,9%, фактически постепенно ускоряясь со временем роста. Микрозелень ячменя содержала меньше всех каротиноидов, как в начале роста, так и в конце.

Содержание флавоноидов в микрозелени злаковых культур носило иной характер, хотя, также как для хлорофиллов и каротиноидов, их количество увеличивалось в течение всего периода роста (Таблица 3). Флавоноиды преобладали в микрозелени ячменя на всех стадиях роста. Их количество было больше, чем в микрозелени пшеницы и овса на 5-е сутки на 34,5% и 17,0%; на 7-е сутки — на 37,1

**Таблица 2**

Содержание пигментов (хлорофиллов, каротиноидов) и влажность микрозелени злаковых культур при выращивании на гидрогеле

Продолжительность роста, сутки	Хлорофилл, мг / 100 г			Каротиноиды, мг/100 г	Влажность, %
	хлорофилл а	хлорофилл b	сумма		
<i>Микрозелень пшеницы</i>					
5	13,66 ± 0,46	8,17 ± 0,28	21,83 ± 0,37	1,30 ± 0,04	84,96 ± 1,15
7	17,13 ± 0,20	9,54 ± 0,24	26,67 ± 0,20	1,78 ± 0,05	86,77 ± 1,20
9	28,48 ± 0,62	18,23 ± 0,30	46,71 ± 0,41	2,58 ± 0,05	84,10 ± 1,20
<i>Микрозелень ячменя</i>					
5	8,90 ± 0,40	5,14 ± 0,20	14,04 ± 0,26	0,99 ± 0,04	88,91 ± 1,00
7	10,23 ± 0,30	6,70 ± 0,22	16,93 ± 0,26	1,19 ± 0,03	90,22 ± 0,90
9	18,20 ± 0,30	10,25 ± 0,18	28,45 ± 0,23	1,72 ± 0,06	88,32 ± 0,95
<i>Микрозелень овса</i>					
5	12,34 ± 0,51	8,10 ± 0,35	20,44 ± 0,42	2,37 ± 0,06	86,12 ± 1,10
7	14,93 ± 0,50	9,87 ± 0,40	24,80 ± 0,43	2,80 ± 0,07	87,31 ± 0,92
9	20,86 ± 0,38	11,93 ± 0,32	32,79 ± 0,35	3,97 ± 0,05	85,36 ± 1,10

**Таблица 3**

Содержание флавоноидов, витамина С и антиоксидантная активность микрорзелени злаковых культур при выращивании на гидрогеле

Продолжительность роста, сутки	Флавоноиды, мг рутина / 100 г	Витамин С, мг /100 г	Антиоксидантная активность, мг АК/100 г	
			FRAP	KMT
<i>Микрорзелень пшеницы</i>				
5	4,60 ± 0,18	6,02 ± 0,12	30,36 ± 1,20	69,53 ± 2,95
7	7,41 ± 0,22	7,45 ± 0,15	39,28 ± 1,50	80,80 ± 3,20
9	7,58 ± 0,20	5,18 ± 0,20	28,47 ± 1,00	62,06 ± 2,60
<i>Микрорзелень ячменя</i>				
5	6,19 ± 0,14	5,73 ± 0,16	44,99 ± 1,80	76,96 ± 2,76
7	10,16 ± 0,15	6,92 ± 0,16	55,19 ± 2,01	91,70 ± 3,34
9	12,40 ± 0,20	4,97 ± 0,18	45,01 ± 2,10	69,50 ± 2,86
<i>Микрорзелень овса</i>				
5	5,29 ± 0,19	6,88 ± 0,25	36,58 ± 1,65	79,17 ± 3,00
7	8,83 ± 0,24	8,05 ± 0,20	44,51 ± 1,50	99,56 ± 2,56
9	9,57 ± 0,18	5,69 ± 0,15	35,60 ± 1,00	68,68 ± 2,80

и 15,1%; на 9-е сутки — на 63,6 и 29,6%, соответственно. Наиболее интенсивный синтез флавоноидов происходил с 5-е по 7-е сутки роста, увеличиваясь на 61,1–66,9% в этот период, что наиболее было выражено в микрорзелени овса. На 9-е сутки роста зафиксировано снижение скорости синтеза флавоноидов для всех видов микрорзелени. Их количество для микрорзелени пшеницы, ячменя и овса на 9-е сутки увеличилось на 2,3; 22,0; 8,4%, соответственно, по сравнению с 7-ми сутками роста.

В отличие от хлорофиллов, каротиноидов и флавоноидов, для которых в процессе роста микрорзелени было характерно увеличение их количества, то увеличение содержания витамина С происходило только до 7-ми суток роста (Таблица 3). С 5-ти до 7-ми суток роста количество витамина С в микрорзелени возросло от 17,0% (микрорзелень овса) до 23,7% (микрорзелень пшеницы). На 9-е сутки количество витамина С уменьшилось у всех видов микрорзелени, в большей степени у микрорзелени пшеницы — на 43,8%, а у остальных на 39,2 и 41,4%. Витамин С преобладал в микрорзелени овса на всех стадиях роста.

Микрорзелень злаковых культур обладала антиоксидантными свойствами, о чем свидетельствуют

значения антиоксидантной активности, определенные двумя методами, на всех стадиях роста (Таблица 3). Увеличение значений антиоксидантной активности в процессе роста микрорзелени независимо от ее вида происходило только до 7-ми суток. С 5 по 7-е сутки значения антиоксидантной активности возросли на 21,6–29,3% (FRAP) и на 14,6–25,7% (KMT). На 9-е сутки роста антиоксидантная активность микрорзелени существенно снизилась: на 8,4–27,5% (FRAP) и на 24,2–31,0% (KMT), и была меньше или на уровне 5-ти суточной микрорзелени. Причем по данным FRAP-теста в большей степени уменьшилась антиоксидантная активность у микрорзелени ячменя, а по данным KMT — у микрорзелени овса. В результате максимальной антиоксидантной активностью обладала микрорзелень на 7-е сутки роста и в зависимости от вида используемых злаковых культур по данным FRAP имела ряд: ячмень > овес > пшеница, а по данным KMT: овес > ячмень > пшеница.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Использование гидрогеля в качестве субстрата для выращивания микрозелени злаковых культур приводило к более интенсивному росту ростков по сравнению с другими технологиями. Уже на 7-е сутки выращивания зерна пшеницы, ячменя и овса на гидрогеле микрозелень достигла оптимальной высоты 9–12 см за счет свободного доступа растений к воде. По сравнению с гидропонной технологией с проливом водой (Волошин и др., 2015) высота ростков на гидрогеле через 7 суток была больше в 1,5–1,9 раз. Свободный доступ к воде оказал большее влияние на интенсивность роста микрозелени, чем освещение. Увеличение светового дня до 12 часов при выращивании микрозелени в гидропонной системе потребовало более длительного периода для достижения высоты ростков 10 см (Islam, et al., 2020), что на 3-е суток больше, чем при выращивании на гидрогеле.

Ограничение доступа к воде зерна за счет двухразового полива даже при использовании субстрата в виде экологически чистой органической почвы (35% кокосовый торф, 25% гранит, 25% грибная культура, 7,4% перлит, 5% цеолит, 2,5% вермикулит, 0,1% гуано) приводит к достижению высоты микрозелени пшеницы 9–12 см через 8 дней (Islam et al., 2019). Микрозелень пшеницы и ячменя, выращенные на почве с двухразовым поливом, достигают такой высоты на 10 и 13 день роста, соответственно (Niroula et al., 2019). Аналогичные результаты были получены при выращивании семян фасоли маш и чечевицы на питательной среде из смеси кокосового торфа, вермикулита и песка в соотношении 1,5:1,5:1, длина ростков которых достигла 7–14 и 8–12 см, соответственно, на 9 сутки (Dhaka et al., 2023).

В процессе роста микрозелени независимо от технологии выращивания происходит синтез биологически активных соединений, интенсивность которого зависит от вида зерна и условий и продолжительности выращивания. При выращивании микрозелени злаковых культур на гидрогеле синтез биологически активных соединений происходил по-разному в зависимости от вида семян, но на 7-е сутки значительно уступал другим технологиям только по количеству флавоноидов.

В процессе роста микрозелени синтез пигментов — хлорофиллов и каротиноидов происходит с различной скоростью в зависимости от вида семян, которая максимально увеличивается между 7–10 днями у пшеницы и между 10–13 днями у ячменя (Niroula et al., 2019). Результаты исследований выращивания микрозелени пшеницы и ячменя на гидрогеле подтверждают эту тенденцию. Во время роста на гидрогеле через 7 и 9 дней микрозелень ячменя содержала меньше хлорофиллов и каротиноидов в 1,6 и 1,5 раз, соответственно, чем микрозелень пшеницы. При дальнейшем росте микрозелени синтез пигментов продолжался, но с меньшей скоростью, что привело к выравниванию количества хлорофиллов и каротиноидов между микрозеленью злаков. По данным Niroula et al. отсутствие различий в содержании хлорофиллов и каротиноидов между ростками пшеницы и ячменя не установлено через 12–13 дней выращивания (Niroula et al., 2019; Niroula et al., 2021). Несмотря на отсутствие питательных веществ, кроме собственных, при выращивании семян злаковых культур на гидрогеле, микрозелень имела тот же порядок значений хлорофиллов и каротиноидов, что и при выращивании на искусственных почвах. На 7-е и 9-е сутки микрозелень пшеницы на гидрогеле содержала мг/100г в пересчете на сухое вещество (СВ) хлорофиллов 201,59 и 293,77, соответственно. Микрозелень пшеницы, в эти же периоды роста на кокосовом торфе, содержала хлорофиллов 269,29 и 385,15 мг/100г СВ (Niroula et al., 2021), что больше на 33,5 и 31,1%, соответственно, чем на гидрогеле. В то же время, количество хлорофиллов в микрозелени пшеницы, выращенной на гидропонике, было меньше, чем на гидрогеле на 38,5%, а каротиноидов, наоборот, больше в 2,2 раза (Islam et al., 2020). Содержание хлорофилла формы а при выращивании микрозелени пшеницы на гидрогеле на 9-е сутки составило 28,48 мг/100 г, а на гидропонике только на 14-е сутки — 30,17 мг / 100 мл (Fortunã et al., 2018).

Синтез флавоноидов при выращивании микрозелени злаковых культур на гидрогеле носил другой характер, и на 9-е сутки роста затормаживался. По сравнению с микрозеленью пшеницы, выращенной на гидропонике, их количество в исследуемой микрозелени пшеницы было в 6 раз меньше, а на почве с двухразовым поливом — меньше в 1,8 раз (Islam et al., 2019; Islam et al., 2020). Это может быть обусловлено ботаническим сортом пшеницы, используемой для проращивания. По данным

Kaur et al. (Kaur et al., 2021), разница в содержании флавоноидов микрорзелени из четырех сортов пшеницы составляет 63,4–72,6% в зависимости от условий выращивания. Несмотря на снижение синтеза флавоноидов в микрорзелени злаковых культур во время роста на гидрогеле, их количество продолжало возрастать. Возможность дальнейшего синтеза флавоноидов в процессе роста ростков подтверждают исследования Li, et al. (Li et al., 2022). При выращивании мягкой озимой пшеницы на гидропонике в течение 43 дней содержание флавоноидов увеличивается преимущественно в листьях до 1,5–1,8 мг/г, а в стеблях их количество в 3 раза меньше.

Количество витамином С в ростках злаковых культур зависит от условий и продолжительности выращивания, но его синтез активизируется на начальных стадиях роста в результате активации фермента L-галактоно-1,4-лактондегидрогеназа (Melino Soole, & Ford, 2009). В ростках пшеницы при проращивании в течение 3-х суток на фильтровальной бумаге, которую смачивали 10 мл дистиллированной воды, количество витамина С составляло 3,8 мг / 100 г СВ, но уже на 4-е сутки снизилось в 1,8 раз, что авторы объясняют его участием в оксидазных и пероксидазных реакциях при прорастании зерна (Рогожина & Рогожин, 2010). В проростках мягкой пшеницы длиной 2 мм через 48 часов роста с неограниченным доступом воды и периодической аэрацией содержание витамина С составляло 1,45–3,32 мг / 100 г (Зенькова с соавт., 2020). По данным Бережной (Бережная с соавт., 2015) через 48 часов в проростках пшеницы количество витамина С составило около 16 мг/100 г. Через 5 суток его количество увеличилось только на 2 мг/100 г или на 12,5%. В то же время содержание витамина С в микрорзелене, выращенной на гидропонике со светодиодами в течение 10 суток, составило 6,4 мг /100 мл (Islam et al., 2020), на органической почве в течение 8 суток — 2,51 мг / 100 мл (Islam et al., 2019), что в 1,64 и 2,97 раз меньше, соответственно, чем при проращивании на гидрогеле на 7-е сутки.

Ряд исследований показывает, что микрорзелень злаковых культур обладает антиоксидантной активностью, которая зависит от условий выращивания (Calzuola & Marsili, 2004; Kulkarni et al., 2006; Fortună et al., 2018; Islam et al., 2020; Kaur et al., 2021; Niroula et al., 2021; Li et al., 2022; Dhaka et al., 2023).

Антиоксидантная активность микрорзелени пшеницы в зависимости от условий выращивания имеет ряд: в воде < в растворе питательных веществ < в почве с поливом водой < в почве с поливом питательными веществами (Kulkarni et al., 2006; Kaur et al., 2021). Причем на 7-е сутки роста антиоксидантная активность микрорзелени возрастает, на 8-е сутки — снижается, а затем снова возрастает, и на 15-е сутки достигает или превышает значения 7-суточной микрорзелени (Kulkarni et al., 2006). Чем больше световой период при выращивании, тем выше антиоксидантная активность микрорзелени. У микрорзелени ячменя антиоксидантная активность выше, чем у микрорзелени пшеницы, достигая максимальных значений между 9 и 12 сутками роста на кокосовом торфе (Niroula et al., 2021), на 13-е сутки роста на почве (Niroula et al., 2019). Влияние ботанических сортов зерна на антиоксидантную активность не столь значительно. По данным Kaur с соавторами (Kaur et al., 2021) различия антиоксидантной активности микрорзелени пшеницы из 4-х ботанических сортов не превышают 6,5–18,9%.

## ВЫВОДЫ

Для выращивания микрорзелени пшеницы, ячменя и овса можно использовать гидрогель, который обеспечивает свободный доступ растений к воде и позволяет через 7-м суток роста получить микрорзелень с содержанием биологически активных соединений, обеспечивающих максимальную антиоксидантную активность.

Микрорзелень пшеницы, ячменя и овса при выращивании на гидрогеле, содержащем соли калия (по информации производителя в маркировке) достигает оптимальной высоты на 7-е сутки роста, что на 3-е суток быстрее, чем при использовании гидропонной технологии или на 3–6 суток, чем при выращивании на почве с двухразовым поливом.

В процессе роста всех видов микрорзелени на гидрогеле до 7-ми суток происходит постепенное увеличение количества исследуемых биологически активных соединений. Дальнейший рост микрорзелени до 9-ти суток интенсифицирует синтез хлорофиллов и каротиноидов, синтез флавоноидов затормаживается, а количество витамина С снижается до уровня 5-ти суточных ростков и ниже. Микрорзелень злаковых культур различалась содер-

жанием биологически активных соединений. В микрозелени пшеницы преобладали хлорофиллы, микрозелени ячменя — флавоноиды, микрозелени овса — каротиноиды и витамин С. Все виды микрозелени обладали антиоксидантной активностью, максимальные значения которых зафиксированы на 7-е сутки роста.

Проведенные исследования ограничивались использованием для набухания гидрогеля воды. Дальнейшие исследования могут быть направлены на использование растворов солей, как питательных веществ, что позволит интенсифицировать синтез биологически активных соединений в микрозелени при выращивании на гидрогеле.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Нилова Людмила Павловна:** концептуализация; проектирование методологии; проведение исследования; верификация данных; создание черновика и редактирование рукописи; визуализация; ресурсное обеспечение.

**Малютенкова Светлана Михайловна:** концептуализация; проектирование методологии; проведение исследования; верификация данных; создание

черновика и редактирование рукописи; визуализация; ресурсное обеспечение.

**Федорук Оксана Витальевна:** концептуализация; проектирование методологии; проведение исследования; верификация данных; создание черновика и редактирование рукописи; визуализация; ресурсное обеспечение.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Бережная, О. В., Дубцов, Г. Г., & Войно, Л. И. (2015). Проростки пшеницы — ингредиент для продуктов питания. *Пищевая промышленность*, (5), 26–29.
- Berezhnaya, O. V., Dubtsov, G. G., & Voino, L. I. (2015). Wheat sprouts are an ingredient for food. *Food Industry*, (5), 26–29. (In Russ.)
- Волошин, М. В., Андреева, Ю. В., Колесова, О. В., Маслова, В. В., Люшина, Г. А., & Солодников, С. Ю. (2015). Минеральные добавки и гидропонная технология в производстве сока из ростков пшеницы. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. *Химическая технология и биотехнология*, (2), 21–52.
- Voloshin, M. V., Andreeva, Yu. V., Kolesova, O. V., Maslova, V. V., Lyushina, G. A., & Solodnikov, S. Yu. (2015). Mineral additives and hydroponic technology in the production of juice from wheat germ. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Chemical Technology and Biotechnology* (2), 21–52. (In Russ.)
- Данильчук, Т. Н., Ефремова, Ю. Г., & Корыстина, И. В. (2020). Напитки на основе молочной сыворотки и сублиматов проростков растений. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 69–81. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.305>
- Danil'chuk, T. N., Efremova, Yu. G., & Korystina, I. V. (2020). Drinks based on whey and sublimates of plant seedlings. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 69–81. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.305>
- Елисеева, Л. Г., Осман, А. Д., Евдокимова, О. В., Зеленков, В. Н., Латушкин, В. В., Иванова, М. И., & Герасимова, Л. К. (2020). Сравнительная характеристика пищевой ценности микрозелени и традиционного салата, выращенного в условиях фитотрона городского типа ИСР 0.1. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, (6), 63–73. <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2020-65-6-63-73>
- Eliseeva, L. G., Osman, A. D., Evdokimova, O. V., Zelenkov, V. N., Latushkin, V. V., Ivanova, M. I., & Gerasimova, L. K. (2020). Comparative characteristics of the nutritional value of microgreens and traditional lettuce grown in the conditions of an urban-type phytotron ISR 0.1. *Technology and Commodity Science of Innovative Food Products*, (6), 63–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2020-65-6-63-73>
- Зенькова, М. Л., Акулич, А. В., & Мельникова, Л. А. (2020). Исследование нутриентного профиля пророщенного зерна мягкой пшеницы, выращенной в Беларуси. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 58–68. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.339>
- Zen'kova, M. L., Akulich, A. V., & Mel'nikova, L. A. (2020). Study of the nutrient profile of sprouted soft wheat grown in Belarus. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 58–68. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.339>
- Зенькова, М. Л., & Акулич, А. В. (2021). Влияние процесса проращивания зерен злаковых культур на их пищевую

- ценность. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 26–53. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.207>
- Zen'kova, M. L., & Akulich, A. V. (2021). The influence of the process of germination of cereal grains on their nutritional value. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 26–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.207>
- Науменко, Н. В., Потороко, И. Ю., Малинин, А. В., & Цатуров, А. В. (2019). Оптимизация условий процесса прорастивания зерна пшеницы. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 151, 200–210.
- Naumenko, N. V., Potorocho, I. Yu., Malinin, A. V., & Tsaturov, A. V. (2019). Optimization of the conditions of the wheat grain germination process. *Polythematic Online Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University*, 151, 200–210. (In Russ.)
- Рогожина, Т. В., & Рогожин, В. В. (2010). Роль компонентов антиоксидантной системы в механизмах прорастания зерен пшеницы. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, (11), 31–38.
- Rogozhina, T. V., & Rogozhin, V. V. (2010). The role of the components of the antioxidant system in the mechanisms of germination of wheat grains. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*, (11), 31–38. (In Russ.)
- Aloo, S. O., Ofosu, F. K., Kilonzi, S. M., Shabbir, U., & Oh, D. H. (2021). Edible plant sprouts: Health benefits, trends, and opportunities for novel exploration. *Nutrients*, 13, Article 2882. <https://doi.org/10.3390/nu13082882>
- Bhaswant, M., Shanmugam, D. K., Miyazawa, T., Abe, C., & Miyazawa, T. (2023). Microgreens — a comprehensive review of bioactive molecules and health benefits. *Molecules*, 28(2), Article 867. <https://doi.org/10.3390/molecules28020867>
- Calzuola, I., & Marsili, G. L. (2004). Synthesis of antioxidants in wheat sprouts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(16), 5201–5206. <https://doi.org/10.1021/jf0307752>
- Corrado, G., Pannico, A., Zarrelli, A., Kyriacou, M. C., De Pascale, S., & Roupheal, Y. (2022). Macro and trace element mineral composition of six hemp varieties grown as microgreens. *Journal of Food Composition and Analysis*, 114, Article 104750. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104750>
- Galieni, A., Falcinelli, B., Stagnari, F., Datti, A., & Benincasa, P. (2020). Sprouts and microgreens: Trends, opportunities, and horizons for novel research. *Agronomy*, 10(9), Article 1424. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091424>
- Ghoora, M. D., Haldipur, A. C., & Srividya, N. (2020). Comparative evaluation of phytochemical content, antioxidant capacities and overall antioxidant potential of select culinary microgreens. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, Article 100046. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100046>
- Dhaka, A. S., Dikshit, H. K., Mishra, G. P., Tontang, M. T., Meena, N. L., Kumar, R. R., Ramesh, S. V., Narwal, S., Aski, M., & Thimmegowda, V. (2023). Evaluation of growth conditions, antioxidant potential, and sensory attributes of six diverse microgreens species. *Agriculture*, 13(3), Article 676. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030676>
- Fortună, M.-E., Vasilache, V., Ignat, M., Sillion, M., Vicol, T., Patraș, X., Miron, I., & Lobiuc, A. (2018). Elemental and macromolecular modifications in *Triticum aestivum* L. plantlets under different cultivation conditions. *PLoS ONE*, 13(8), Article e0202441. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202441>
- Islam, M. Z., Park, B.-Ju., & Lee, Yo.-T. (2019). Effect of salinity stress on bioactive compounds and antioxidant activity of wheat microgreen extract under organic cultivation conditions International. *Journal of Biological Macromolecules*, 140, 631–636. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.090>
- Islam, M. Z., Park, B.-Ju., Kang, Ho-M., & Lee, Yo.-T. (2020). Influence of selenium biofortification on the bioactive compounds and antioxidant activity of wheat microgreen extract. *Food Chemistry*, 309, Article 125763. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125763>
- Kaur, N., Singh, B., Kaur, A., Yadav, M. P., Singh, N., Ahlawat, A. K., & Singh, A. M. (2021). Effect of growing conditions on proximate, mineral, amino acid, phenolic composition and antioxidant properties of wheatgrass from different wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Food Chemistry*, 341, Article 128201. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128201>
- Koníčková, R., Vaňková, K., Vaníková, J., Váňová, K., Muchová, L., Subhanová, I., & Vítek, L. (2014). Anti-cancer effects of blue-green alga *Spirulina platensis*, a natural source of bilirubin-like tetrapyrrolic compounds. *Annals of Hepatology*, 13(2), 273–283. [https://doi.org/10.1016/s1665-2681\(19\)30891-9](https://doi.org/10.1016/s1665-2681(19)30891-9)
- Kulkarni, S. D., Tilak, J. C., Acharya, R., Rajurkar, N. S., Devasagayam, T. P. A., & Reddy, A. V. R. (2006). Evaluation of the antioxidant activity of wheatgrass (*Triticum aestivum* L.) as a function of growth under different conditions. *Phytotherapy Research*, 227, 218–227. <https://doi.org/10.1002/ptr.1838>
- Kuznetsova, E., Klimova, E., Bychkova, T., Zomitev, V., Motyleva, S., & Brindza, J. (2018). Alteration of biochemical parameters and microstructure of *Fagopyrum esculentum* Moench grain in process of germination. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1), 687–693. <https://doi.org/10.5219/932>
- Li, Ju., Guo, X., Zhang, S., Zhang, Yi., Chen, L., Zheng, W., & Xue, X. (2022). Effects of light quality on growth, nutritional characteristics, and antioxidant properties of winter wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 13, Article 978468. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.978468>
- Ling, A., Li, X., Hu, X., Ma, Zh., Wu, K., Zhang, H., Hao, M., & Wei, S. (2018). Dynamic changes in polyphenol compounds, antioxidant activity, and PAL gene expression in different tissues of buckwheat during germination. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5723–5730. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9119>

- Liska, D. J., Dioum, E., Chu, Y., & Mah, E. (2022). Narrative review on the effects of oat and sprouted oat components on blood pressure. *Nutrients*, *14*(22), Article 4772. <https://doi.org/10.3390/nu14224772>
- Melino, V. J., Soole, K. L., & Ford, C. M. (2009). Ascorbate metabolism and the developmental demand for tartaric and oxalic acids in ripening grape berries. *BMC Plant Biology*, *9*(1), 145. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-9-145>
- Niroula, A., Khatri, S., Timilsina, R., Khadka, D., Khadka, A., & Ojha, P. (2019). Profile of chlorophylls and carotenoids of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) microgreens. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(5), 2758–2763. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03768-9>
- Niroula, A., Amgain, N., Rashmi, K. C., Adhikari, S., & Acharya, J. (2021). Pigments, ascorbic acid, total polyphenols and antioxidant capacities in deetiolated barley (*Hordeum vulgare*) and wheat (*Triticum aestivum*) microgreens. *Food Chemistry*, *354*, Article 129491. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129491>
- Padalia, S., Drabu, S., Raheja, I., Gupta, A., & Dhamija, M. (2010). Multitude potential of wheatgrass juice (Green Blood): An overview. *Chronicles of Young Scientists*, *1*(2), 23–28.
- Peñaranda, J. D., Bueno, M., Álvarez, F., Pérez, P. D., & Perezábad, L. (2021) Sprouted grains in product development. Case studies of sprouted wheat for baking flours and fermented beverages. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, *25*, Article 100375. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100375>
- Pietrzak, M., Halicka, H. D., Wieczorek, Z., Wieczorek, J., & Darzynkiewicz, Z. (2008). Attenuation of acridine mutagen ICR-191 – DNA interactions and DNA damage by the mutagen interceptor chlorophyllin. *Biophysical Chemistry*, *135*(1–3), 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.bpc.2008.03.004>
- Samuolienė, G., Viršilė, A., Brazaitytė, A., Jankauskienė, J., Sakalauskienė, S., Vaštakaitė, V., Novičkovas, A., Viškeliene, A., Sasnauskas, A., & Pavelas, A. (2017) Duchovskis blue light dosage affects carotenoids and tocopherols in microgreens. *Food Chemistry*, *228*, 50–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.144>
- Sumanta, N., Haque, C. I., Nishika, J., & Suprakash, R. (2014). Spectrophotometric analysis of chlorophylls and carotenoids from commonly grown fern species by using various extracting solvents. *Research Journal of Chemical Sciences*, *4*, 63–69. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1340072>
- Teng, J, Liao, P., & Wang, M. (2021). The role of emerging micro-scale vegetables in human diet and health benefits-an updated review based on microgreens. *Food & Functional*, *12*(5), 1914–1932. <https://doi.org/10.1039/d0fo03299a>
- Zhang, Y., Xiao, Z., Ager, E., Konga, L., & Tan, L. (2021). Nutritional quality and health benefits of microgreens, a crop of modern agriculture. *Journal of Future Foods*, *1*(1), 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.07.001>
- Złotek, U., Szymanowska, U., Jakubczyk, A., Sikora, M., & Świeca, M. (2019). Effect of arachidonic and jasmonic acid elicitation on the content of phenolic compounds and antioxidant and anti-inflammatory properties of wheatgrass (*Triticum aestivum* L.). *Food Chemistry*, *288*, 256–261. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.124>