

Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 1. С. 239-247.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2023. Vol. 106, no 1. P. 239-247.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья
УДК 633.2
doi: 10.33284/2658-3135-106-1-239

Исследование каллусных культур *O. basilicum*

**Анастасия Михайловна Гвоздиков¹, Святослав Валерьевич Лебедев²,
Михаил Юрьевич Чередниченко³, Оксана Борисовна Поливанова⁴**

^{1,2}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

^{3,4}Российский государственный аграрный университет-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

¹anastasiapov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7981-7245>

²lsv74@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-7010>

³<https://orcid.org/0000-0002-7856-9454>

⁴polivanovaoks@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3992-5452>

Аннотация. Получены каллусы из листовых и стеблевых эксплантов растений базилика *O. basilicum* сортов Русский гигант зелёный (РГЗ) и Русский гигант фиолетовый (РГФ) на питательной среде Мурасиге и Скуга (MS) с 2,4 дихлорфеноксиуксусной кислотой (2,4-Д) в концентрациях 1, 2 и 3 мг/л 2,4-Д и смесью 0,3 мг/л индол-3-уксусной кислоты (ИУК) с 3 мг/л бензиламинопурина (БАП). Оптимальным для инициации каллусогенеза в стеблевых эксплантах базилика явился вариант среды с ауксином 2,4-Д в концентрации 2 мг/л (MS+2 мг/л 2,4-Д). В исследовании определялись содержание хлорофилла (Хл) *a* и *b*, а также их соотношение в каллусах. Почти во всех случаях количество Хл *b* преобладало над Хл *a*, но, по визуальной оценке, у каллуса не было замечено угнетения роста. Максимальное содержание хлорофиллов было зарегистрировано при использовании эксплантов из листьев на среде MS+1 мг/л 2,4-Д (для сорта РГЗ) и среде MS+3 мг/л БАП+0,3 мг/л ИУК (для сорта РГФ).

Ключевые слова: каллус, фотосинтетические пигменты, базилик, антиоксиданты, ауксины, цитокинин, хлорофилл

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2022-2024 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0526-2022-0014).

Для цитирования: Исследование каллусных культур *O. basilicum* / Гвоздиков А.М., Лебедев С.В., Чередниченко М.Ю., Поливанова О.Б. // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 1. С. 239-247. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-1-239>

GEOPONICS AND CROP PRODUCTION

Original article

Study of callus cultures of *O. basilicum*

Anastasia M Gvozdikova¹, Svyatoslav V Lebedev², Mikhail Yu Cherednichenko³, Oksana B Polivanova⁴

^{1,2}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

^{3,4}Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia

¹anastasiapov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7981-7245>

²lsv74@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-7010>

³<https://orcid.org/0000-0002-7856-9454>

⁴polivanovaoks@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3992-5452>

Abstract. Calluses were obtained from leaf and stem explants of *O. basilicum* basil plants of Russian giant green (RGG) and Russian giant violet (RGV) varieties on Murashige and Skoog (MS) nutrient

substratum with 2,4 dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) in 2,4-D concentrations of 1, 2 and 3 mg/l and a mixture of 0.3 mg/l indole-3-acetic acid (IAA) with 3 mg/l benzylaminopurine (BAP). The substratum variant with auxin 2,4-D at a concentration of 2 mg/l (MS+2 mg/l 2,4-D) was optimal for the initiation of callusogenesis in basil stem explants. The study determined the content of chlorophyll (Chl) *a* and *b*, as well as their ratio in calluses. In almost all cases, the amount of Chl *b* prevailed over Chl *a*, but callus showed no growth inhibition according to visual assessment. The maximum content of chlorophylls was recorded when using explants from leaves on MS+1 mg/l 2,4-D substratum (for RGG variety) and MS+3 mg/l BAP+0,3 mg/l IAA substratum (for RGV variety).

Keywords: callus, photosynthetic pigments, basil, antioxidants, auxins, cytokinin, chlorophyll

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2022-2024 FSBRI FRC BST RAS (No. 0526-2022-0014).

Для цитирования: Gvozdikova AM, Lebedev SV, Cherednichenko MYu, Polivanova OB. Study of callus cultures of *O. basilicum*. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(1):239-247. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-1-239>

Введение.

Базилик *Ocimum basilicum* L. (род *Ocimum* L., семейство *Lamiaceae*) относится к числу дорогостоящих, наиболее культивируемых растений из-за большого содержания в них вторичных метаболитов, в частности, эфирных масел и фенольных соединений (ФС) (Hakim FL et al., 2007; Yoshikawa M et al., 2018; Efferth T, 2019). Особенно перспективно получение биотехнологически ценных характеристик *O. basilicum* в оптимизированных (контролируемых) условиях на каллусных культурах *in vitro* (Adil M et al., 2019; Kozai T et al., 2019; Nazir S et al., 2020).

Внесение в среду регуляторов роста растений (элиситоров) – фитогормонов в культуру растительных клеток *O. basilicum* позволяет значительно ускорить индукцию синтеза целевых метаболитов с выраженной антиоксидантной активностью (Açikgöz MA, 2021; Jakovljević D et al., 2021). Wongsen W et al. (2015) показали увеличение количества антиоксидантных соединений в мозоли, полученной из листьев уже через 7 дней после индукции каллуса *O. basilicum* L. Хотя изучение биоэлиситоров на основе гормонов и механизмов вызываемого ими иммунного ответа у растений базилика продолжается, роль данных соединений в функционировании их фотосинтетического аппарата до сих пор мало изучена, что, несомненно, определяет актуальность подобных исследований. Всесторонний обзор возможных механизмов защитных или стрессовых реакций, связанных с фитогормонами, особенно теми, которые связаны с фотосинтезом, должен обеспечить лучшее понимание некоторых из менее понятных аспектов этой важной группы регуляторов роста растений.

Цель исследования.

Установление закономерностей воздействия различных концентраций и соотношений фитогормонов на ростовые процессы и реакции фотосинтетического аппарата каллусов из листовых и стеблевых эксплантов растений различных сортов базилика.

Материалы и методы исследования.

Объект исследований. Асептические растения *O. basilicum*, полученные из семян сортов базилика Русский гигант зелёный (РГЗ) и Русский гигант фиолетовый (РГФ) («Гавриш», Россия), и каллусы, полученные из эксплантов листьев и стеблей растений этих сортов.

Схема эксперимента. Асептические растения и каллусы выращивали в климатической комнате для *in vitro* на питательной среде по прописи Мурасиге и Скуга (MS) в отдельной стерильной комнате на стеллажах с люминесцентными лампами, подключёнными к реле времени с установленным фотопериодом (16 ч свет/8 ч темнота, интенсивность освещения – 3000 лк). Для соблюдения условий асептики работу по введению эксплантов в изолированную культуру выполняли в ламинарном боксе. Культивирование асептических растений проводили в течение двух пассажей с герметизацией пробирок ватно-марлевой пробкой. Культивирование каллусов проводили в течение 30 суток (1 пассаж) на четырёх вариантах питательных сред, различавшихся по содержанию ауксинов и цитокининов:

1. MS+2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д) в концентрации 1 мг/л;
2. MS+2 мг/л 2,4-Д;
3. MS+3 мг/л 2,4-Д;
4. MS+0,3 мг/л индол-3-уксусной кислоты (ИУК)+3 мг/л бензиламинопурина (БАП).

После 1-го пассажа фиксировали результаты по активности ростовых процессов каллусной ткани – по индексу роста (по сырой и сухой биомассе) и жизнеспособности (окрашивание клеток синькой Эванса в камере Горяева и подсчёт мертвых и жизнеспособных клеток). Индекс роста рассчитывали по следующей формуле:

$$I=(W_t-W_0)/W_0,$$

где: W_0 – начальная масса каллуса, г;

W_t – масса каллуса в конце цикла выращивания, г.

Фотосинтетическую активность асептических растений и каллусов *O. basilicum* определяли по содержанию фотосинтетических пигментов (ФП) хлорофиллов. Для этого навеску свежего растительного материала или каллуса измельчали в фарфоровой ступке с добавлением $CaCO_3$ (для нейтрализации кислот клеточного сока и предотвращения феофитинизации пигментов) и спирта и растирали. После измельчения полученную дисперсию дважды фильтровали с помощью бумажных фильтров. Полученный фильтрат доводили до объёма 10 мл спиртом и определяли содержание Хл *a* и *b* спектрофотометрически при длине волны 649 нм и 665 нм соответственно. Измерения проводили в 5-кратной повторности (Мазец Ж.Э. и Судейная С.В., 2009). Концентрацию ФП (С, мг/л) рассчитывали по следующим уравнениям (по Винтерманс-Де Мотс):

$$C_{\text{хла}}, \text{ мг/л} = 13,70 \cdot D_{665} - 5,76 \cdot D_{649},$$

$$C_{\text{хлб}}, \text{ мг/л} = 25,80 \cdot D_{649} - 7,60 \cdot D_{665},$$

$$C_{\text{хла+б}}, \text{ мг/л} = 6,10 \cdot D_{665} + 20,04 \cdot D_{649},$$

где: $C_{\text{хла}}$, $C_{\text{хлб}}$, $C_{\text{хла+б}}$ – концентрации Хл *a* и *b*, соответственно, и их суммы, мг/л.

Затем вычисляли содержание ФП (А, мг/г) в растительном материале (мг/г):

$$A = \frac{V \times C}{1000 \times m}$$

где: V – объём вытяжки, мл;

C – концентрация пигментов, мг/л;

1000 – коэффициент перевода л в мл;

m – навеска растительного материала, г.

Оборудование и технические средства. Все исследования на этапе культивирования растений и каллусов базилика проводились на базе лаборатории биотехнологии РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева. Фотосинтетическая активность асептических растений и каллусов *O. Basilicum* определялась в лаборатории биологических испытаний и экспертиз ЦКП БСТ РАН <http://цкп-бст.рф>.

Статистическая обработка. Математическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью статистических функций приложения «Microsoft Office Excel» («Microsoft», США). Результаты представлены в виде среднего (M) и стандартной ошибки среднего (m). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента.

Результаты исследования.

Образцом для выбора оптимальной гормональной среды для культивирования служил каллус, полученный из эксплантов стеблей сорта РГФ. Установлено, что среди протестированных питательных сред вариант с ауксином 2,4-Д в дозе 2 мг/л является наиболее подходящим: отмечались высокие значения индекса роста (по сырой биомассе) и жизнеспособности эксплантов (в 96 % случаев происходило каллусообразование) (табл. 1).

Таблица 1. Показатели каллусной культуры, полученной из растений *O. basilicum* сорта РГФ при культивировании с 2,4-Д

Table 1. Indicators of callus culture obtained from *O. basilicum* plants of the RGV variety during cultivation with 2,4-D

| Гормональный состав питательной среды / <i>Hormonal composition of the nutrient substratum</i> | Сырая биомасса, г / <i>Crude biomass, g</i> | Сухая биомасса, г / <i>Dry biomass, g</i> | Индекс роста / <i>Growth index</i> | Жизнеспособность клеток, % / <i>Cell viability, %</i> |
|--|---|---|------------------------------------|---|
| MS+1 мг/л 2,4-Д / <i>MS+1 mg/l 2,4-D</i> | 1,21±0,03 | 0,07±0,04 | 2,83 | 72,00±9,00 |
| MS+2 мг/л 2,4-Д / <i>MS+2 mg/l 2,4-D</i> | 1,27±0,02 | 0,08±0,02 | 2,85 | 83,16...96,85 |
| MS+3 мг/л 2,4-Д / <i>MS+3 mg/l 2,4-D</i> | 1,20±0,06 | 0,08±0,02 | 2,82 | 75,00±5,00 |
| MS+3 мг/л БАП+0,3 мг/л ИУК / <i>MS+3 mg/l BAP+0.3mg/l IAA</i> | 1,17±0,09 | 0,05±0,03 | 2,79 | 72,00±7,00 |

На рисунке 1 видны изменения когезии и структуры поверхности каллусов *O. basilicum*: мозоль в присутствии 2,4-Д была твёрдой, а структура поверхности – узловато-подобной. Наиболее интенсивный цвет (фиолетовый) наблюдался в мозолистой ткани, полученной из эксплантов сорта РГФ; при этом экспланты сорта РГЗ образовывали каллусы светло-зелёного цвета с неоднородными коричневыми вкраплениями (рис. 1).



Рис. 1 – Асептические растения и каллусная культура *O. basilicum*: 1 – РГЗ, 2 – РГФ, 3 – РГЗ на среде MS+1 мг/л 2,4-Д, 4 – РГФ на среде MS+2 мг/л 2,4-Д

Figure 1 – Aseptic plants and callus culture of *O. basilicum*: 1 - RGG, 2 - RGV, 3 - RGG on MS+1 mg/L 2,4-D substratum, 4 - RGV on MS+2 mg/L 2,4-D substratum

Наиболее низкие значения показателей были характерны для каллусной культуры, культивируемой с ИУК и БАП (табл. 1); фиксировалось ослабление структуры поверхности мозоли, заметное разрыхление ткани с небольшой долей твёрдых секторов.

Фоновый уровень зелёных ФП хлорофиллов в асептических растениях *O. basilicum* был максимальным в 1-м пассаже: Хл *a* (у сорта РГЗ) и Хл *b* (у сорта РГФ) (табл. 2). В свою очередь соотношение Хл *a/b* было выше у сорта РГЗ, чем у сорта РГФ.

Таблица 2. Содержание хлорофиллов в асептических растениях *O. basilicum* сортов РГЗ и РГФ
 Table 2. The chlorophylls content in *O. basilicum* aseptic plants of RGG and RGV varieties

| Сорт / <i>Variety</i> | Содержание ФП, мг/г / <i>PhP content, mg/g</i> | | |
|-----------------------|--|----------------------------|--------------------------------|
| | Хл <i>a</i> / <i>Chl a</i> | Хл <i>b</i> / <i>Chl b</i> | Хл <i>a/b</i> / <i>Chl a/b</i> |
| | 1-й пассаж / <i>1st passage</i> | | |
| РГЗ / <i>RGG</i> | 0,61±0,09 | 0,19±0,02 | 3,17±0,34 |
| РГФ / <i>RGV</i> | 0,56±0,18 | 0,27±0,11 | 2,21±0,24 |
| | 2-й пассаж / <i>2nd passage</i> | | |
| РГЗ / <i>RGG</i> | 0,48±0,17 | 0,16±0,08 | 3,23±0,62 |
| РГФ / <i>RGV</i> | 0,51±0,21 | 0,24±0,08 | 2,07±0,26 |

Однако в каллусах обоих сортов *O. basilicum* (РГЗ и РГФ) был установлен недостаточный уровень освещения, поскольку во всех случаях количество Хл *b* преобладало над Хл *a*, но визуаль-но у каллуса не было угнетения роста (рис. 1).

Из таблицы 3 видно, что содержание хлорофиллов для сорта РГЗ при использовании листь-ев на среде MS+1 мг/л 2,4-Д было значительно выше, чем на среде MS+3 мг/л 2,4-Д. Для каллусной культуры, полученной из листовых эксплантов сорта РГФ, была выявлена среда (MS+3 мг/л БАП+0,3 мг/л ИУК), на которой наблюдалось самое высокое содержание хлорофиллов по сравне-нию с другими средами (22±9 мкг/г Хл *a* и 56±20 мкг/г Хл *b*) (табл. 3).

Таблица 3. Содержание хлорофиллов в каллусах *O. basilicum* сортов РГЗ и РГФ
Table 3. The chlorophylls content in *O. basilicum* calluses of RGG and RGV varieties

| Гормональный состав питательной среды / Hormonal composition of nutrient substratum | Тип экспланта / Explant type | Содержание ФП, мкг/г / PhP content, mcg/g | | | | Соотношение Хл <i>a/b</i> / Chl <i>a/b</i> ratio | |
|---|------------------------------|---|-----------|----------------------------|-----------|--|-----------|
| | | Хл <i>a</i> / Chl <i>a</i> | | Хл <i>b</i> / Chl <i>b</i> | | | |
| | | РГЗ / RGG | РГФ / RGV | РГЗ / RGG | РГФ / RGV | РГЗ / RGG | РГФ / RGV |
| MS+1 мг/л 2,4-Д / MS+1 mg/l 2,4-D | листья / leaves | 11±2 | - | 42±16 | - | 0,31±0,11 | - |
| | стебли / stems | 12±9 | - | 20±12 | - | 0,95±0,23 | - |
| MS+2 мг/л 2,4-Д / MS+2 mg/l 2,4-D | листья / leaves | - | 5±2 | - | 6±4 | - | 0,91±0,44 |
| | стебли / stems | - | 6±4 | - | 7±3 | - | 0,92±0,63 |
| MS+3 мг/л 2,4-Д / MS+3 mg/l 2,4-D | листья / leaves | 7±4 | - | 5±3 | - | 1,18±0,38 | - |
| | стебли / stems | 4±3 | - | 3±2 | - | 1,69±0,96 | - |
| MS+3 мг/л БАП+ 0,3 мг/л ИУК / MS+3 mg/l BAP+ 0.3mg/l IAA | листья / leaves | - | 22±9 | - | 56±20 | - | 0,43±0,26 |

Обсуждение полученных результатов.

Определяющими факторами питательной среды, эффективно регулирующими активность ростовых процессов и индукцию каллусогенеза у растений *in vitro*, являются ауксины и цитокинины (Sreelatha VR et al., 2015). Применение экзогенных фитогормонов также влияет на концентрацию эндогенных ферментов в растении, тем самым влияя на цвет, текстуру и характер мозолей (Sreelatha VR et al., 2015). Исследования на эксплантах из листьев и стеблей базилика после внесения различных концентраций гормональных препаратов показали переменные изменения структуры и когезии каллусов.

Ауксин 2,4-Д в основном запускал процесс клеточного деления и дифференциации, причём каллус из эксплантов РГФ был более насыщенного цвета, чем из эксплантов РГЗ. Аналогично Rajaram R с коллегами (2012) получили зелёный компактный каллус в среде MS с добавлением 2,4-Д.

Необходимо подчеркнуть, что добавление в питательную среду 2 мг/л 2,4-Д приводило к существенному росту каллусной ткани, что согласуется с данными других исследователей (Sreelatha VR et al., 2015). Выявленного стимулирующего эффекта на каллусогенез в случае с 1 и 3 мг/л 2,4-Д выявлено не было, что делает нецелесообразным внесение данного препарата в состав питательной среды для культивирования культуры базилика *in vitro*.

Гормональные препараты растительной природы способны увеличивать интенсивность фотосинтеза (Chen X et al., 2017; Ahmed HA et al., 2020; Nazir S et al., 2020) за счёт увеличения эффективности работы фотосистем I и II, что опосредует поглощение световой энергии для роста растений (Chutimanukul P et al., 2021). Особенно интересен в этом плане баланс между Хл *a* и *b*, который ясно демонстрирует стрессоустойчивость растений вследствие взаимопревращения этих форм хлорофилла (Лебедев С.В. и др., 2014).

Хл *a* используется фотосинтезирующими организмами для преобразования энергии света в химическую энергию, Хл *b* является вспомогательным пигментом. Содержание Хл *a* у большинства высших растений в 3 раза больше содержания Хл *b* и обычно уменьшается при адаптации к недостатку освещения (Korotkova AM et al., 2017). По каллусам обоих сортов *O. basilicum* (РГЗ и РГФ) нами был установлен недостаточный уровень освещения, поскольку во всех случаях количество Хл *b* преобладало над Хл *a*. В свою очередь в асептических растениях *O. basilicum* соотношение Хл *a/b* было выше у сорта РГЗ, чем у сорта РГФ.

Увеличение уровня ФП в каллусах из эксплантов сорта РГЗ происходило под действием тестируемого гормонального вещества 2,4-Д в концентрации 1 мг/л, что свидетельствует о значительной роли данных метаболитов в накоплении хлорофилла обеих форм (Nguyen TK et al., 2021).

Несмотря на отсутствие заметного влияния на содержание хлорофиллов при выращивании каллусов в среде 2 мг/л 2,4-Д, накопление биомассы в этом случае было выше по сравнению с таковым у каллусов, выращиваемых на других средах (Nguyen TK et al., 2021).

Вместе с тем заметное увеличение уровня хлорофиллов (22 ± 9 мкг/г – Хл *a* и 56 ± 20 мкг/г – Хл *b*) у каллусов из сорта РГФ в среде БАП+ИУК не реализовалось в таком же повышении накопления биомассы и жизнеспособности. Данный факт, вероятно, связан с действием цитокинина, являющегося основным гормоном в регуляции метаболизма хлорофилла (Akula R and Mukherjee S, 2020).

Таким образом, при внесении в среду фитогормонов значимый ответ со стороны физиологических показателей каллусной культуры либо вовсе отсутствует (ауксин 2,4-Д), либо негативные последствия касаются только ростовых процессов, не затрагивая функционирования пигментной системы фотосинтетического аппарата (БАП+ИУК).

Совместное культивирование каллусной ткани с фитогормонами, способными продуцировать хлорофиллы, может стать одним из возможных путей управления морфогенезом и процессами регенерации базилика *in vitro*, что позволит получать растения-регенеранты с целевыми признаками в количествах, соответствующих задачам практической селекции. Дополнительным преимуществом индукции синтеза хлорофилла может стать повышение устойчивости растений к заболеваниям, в т. ч. к хлорозу.

Заключение.

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что оптимальным для роста каллусной культуры является вариант среды с гормоном 2,4-Д в концентрации 2 мг/л. Уменьшение количества ауксина в среде приводило к снижению ростовых показателей. Апликация 2,4-Д в дозе 2 мг/л достоверно увеличивала индукцию мозолей и рост каллусов. Таким образом, данный вариант среды может быть рекомендован для инициации каллусогенеза в стеблевых эксплантах базилика и дальнейшего наращивания каллусной биомассы.

Список источников

1. Лебедев С.В., Короткова А.М., Осипова Е.А. Оценка влияния наночастиц железа Fe^0 , наночастиц магнетита Fe_3O_4 и сульфата железа (II) $FeSO_4$ на содержание фотосинтетических пигментов *Triticum Vulgare* // Физиология растений. 2014. Т. 61. № 4. С. 603-608. [Lebedev SV, Korotkova AM, Osipova EA. Influence of Fe^0 nanoparticles, magnetite Fe_3O_4 nanoparticles, and iron (II) sulfate ($FeSO_4$) solutions on the content of photosynthetic pigments in *Triticum Vulgare*. Russian Journal of Plant Physiology. 2014;61(4):564-569. (In Russ.)]. doi: 10.7868/S0015330314040125 doi: 10.1134/S1021443714040128

2. Мазец Ж.Э., Судейная С.В. Практикум по физиологии растений. Ч. I: учеб.-метод. пособие. Минск: БГПУ, 2009. 64 с. [Mazets ZhE, Sudeynaya SV. Praktikum po fiziologii rastenij. Chast' I: ucheb.-metod. posobie. Minsk: BGPU; 2009:64 p. (In Russ.)].

3. Морфофизиологические изменения у пшеницы (*Triticum vulgare* L.) под влиянием наночастиц металлов (Fe, Cu, Ni) и их оксидов (Fe₃O₄, CuO, NiO) / А.М. Короткова, С.В. Лебедев, Ф.Г. Каюмов, Е.А. Сизова // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 1. С. 172-182. [Korotkova AM, Lebedev SV, Kayumov FG, Sizova EA. Biological effects of wheat (*Triticum vulgare* L.) under the influence metal nanoparticles (Fe, Cu, Ni) and their oxides (Fe₃O₄, CuO, NiO). Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2017;52(1):172-182. doi: 10.15389/agrobiol.2017.1.172rus doi: 10.15389/agrobiol.2017.1.172eng]
4. Açıkgöz MA. Effects of sorbitol on the production of phenolic compounds and terpenoids in the cell suspension cultures of *Ocimum basilicum* L. *Biologia*. 2021;76(1):395-409. doi: 10.2478/s11756-020-00581-0
5. Adil M, Abbasi BH, ul Haq I. Red light controlled callus morphogenetic patterns and secondary metabolites production in *Withania somnifera* L. *Biotechnol Rep*. 2019;24:e00380. doi: 10.1016/j.btre.2019.e00380
6. Ahmed HA, Yu-Xin T, Qi-Chang Y. Optimal control of environmental conditions affecting lettuce plant growth in a controlled environment with artificial lighting: A review. *South Afr J Botany*. 2020;130:75-89. doi: 10.1016/j.sajb.2019.12.018
7. Akula R, Mukherjee S. New insights on neurotransmitters signaling mechanisms in plants. *Plant Signal. Behav*. 2020;15(6):1737450. doi: 10.1080/15592324.2020.1737450
8. Chen X, Song W, Wang L, Guo W, Xue X. Growth and nutritional properties of lettuce affected by different alternating intervals of red and blue LED irradiation. *Scientia Horticulturae*. 2017;223:44-52. doi: 10.1016/j.scienta.2017.04.037
9. Chutimanukul P, Saputro TB, Mahaprom P, Plaimas K, Comai L, Buaboocha T, et al. Combining genome and gene Co-expression network analyses for the identification of genes potentially regulating salt tolerance in rice. *Front. Plant Sci*. 2021;12:704549. doi: 10.3389/fpls.2021.704549
10. Efferth T. Biotechnology applications of plant callus cultures. *Engineering*. 2019;5(1):50-59. doi: 10.1016/j.eng.2018.11.006
11. Hakkim FL, Shankar CG, Girija S. Chemical composition and antioxidant property of holy basil (*Ocimum sanctum* L.) leaves, stems, and inflorescence and their in vitro callus cultures. *J Agric Food Chem*. 2007;55(22):9109-9117. doi: 10.1021/jf071509h
12. Jakovljević D, Momčilović J, Bojović B, Stanković M. The short-term metabolic modulation of basil (*Ocimum basilicum* L. cv. 'Genovese') after exposure to cold or heat. *Plants*. 2021;10(3):590. doi: 10.3390/plants10030590
13. Kozai T, Niu G, Takagaki M, editors. *Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production*. 2nd ed. London, UK: Academic press; 2019: 516 p.
14. Nazir S, Jan H, Tungmunnithum D, Drouet S, Zia M, Hano C, Abbasi BH. Callus culture of Thai basil is an effective biological system for the production of antioxidants. *Molecules* 2020;25(20):4859. doi: 10.3390/molecules25204859
15. Nguyen TK, Cho KM, Lee HY, Cho DY, Lee GO, et al. Effects of white LED lighting with specific shorter blue and/or green wavelength on the growth and quality of two lettuce cultivars in a vertical farming system. *Agronomy*. 2021;11(11):2111. doi: 10.3390/agronomy11112111
16. Rajaram R, Priya D, Sudarshana DV, Suresh KP. *In vitro* regeneration of *Caralluma fimbriata* wall. by organogenesis: a potent medicinal plant. *A.J.C.S.* 2012;6(1):41-45.
17. Sreelatha VR, Thippeswamy M, Pullaiah T. *In vitro* callus induction and plant regeneration from intermodal explants of *Caralluma stalagmifera* fischer. *Intl J Adv Res*. 2015;3(2): 472-478.
18. Wongsan W, Bodhipadma K, Noichinda S, Leung DWM. Influence of different 2,4-D concentrations on antioxidant contents and activities in sweet basil leaf-derived callus during proliferation. *Int Food Res J*. 2015;22(2):638-664.
19. Yoshikawa M, Luo W, Tanaka G, Konishi Y, Matsuura H, Takahashi K. Wounding stress induces phenylalanine ammonia lyases, leading to the accumulation of phenylpropanoids in the model liverwort *Marchantia polymorpha*. *Phytochemistry*. 2018;155:30-36. doi: 10.1016/j.phytochem.2018.07.014

References

1. Lebedev SV, Korotkova AM, Osipova EA. Influence of Fe⁰ nanoparticles, magnetite Fe₃O₄ nanoparticles, and iron (II) sulfate (FeSO₄) solutions on the content of photosynthetic pigments in *Triticum Vulgare*. Russian Journal of Plant Physiology. 2014;61(4):564-569. doi: 10.7868/S0015330314040125 doi: 10.1134/S1021443714040128
2. Mazets ZhE, Sudeynaya SV. Workshop on plant physiology. Part I: educational and methodical manual. Minsk: BSPU; 2009:64 p.
3. Korotkova AM, Lebedev SV, Kayumov FG, Sizova EA. Biological effects of wheat (*Triticum vulgare* L.) under the influence metal nanoparticles (Fe, Cu, Ni) and their oxides (Fe₃O₄, CuO, NiO). Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2017;52(1):172-182. doi: 10.15389/agrobiology.2017.1.172eng
4. Açıkgoz MA. Effects of sorbitol on the production of phenolic compounds and terpenoids in the cell suspension cultures of *Ocimum basilicum* L. Biologia. 2021;76(1):395-409. doi: 10.2478/s11756-020-00581-0
5. Adil M, Abbasi BH, ul Haq I. Red light controlled callus morphogenetic patterns and secondary metabolites production in *Withania somnifera* L. Biotechnol Rep. 2019;24:e00380. doi: 10.1016/j.btre.2019.e00380
6. Ahmed HA, Yu-Xin T, Qi-Chang Y. Optimal control of environmental conditions affecting lettuce plant growth in a controlled environment with artificial lighting: A review. South Afr J Botany. 2020;130:75-89. doi: 10.1016/j.sajb.2019.12.018
7. Akula R, Mukherjee S. New insights on neurotransmitters signaling mechanisms in plants. Plant Signal. Behav. 2020;15(6):1737450. doi: 10.1080/15592324.2020.1737450
8. Chen X, Song W, Wang L, Guo W, Xue X. Growth and nutritional properties of lettuce affected by different alternating intervals of red and blue LED irradiation. Scientia Horticulturae. 2017;223:44-52. doi: 10.1016/j.scienta.2017.04.037
9. Chutimanukul P, Saputro TB, Mahaprom P, Plaimas K, Comai L, Buaboocha T, et al. Combining genome and gene Co-expression network analyses for the identification of genes potentially regulating salt tolerance in rice. Front. Plant Sci. 2021;12:704549. doi: 10.3389/fpls.2021.704549
10. Efferth T. Biotechnology applications of plant callus cultures. Engineering. 2019;5(1):50-59. doi: 10.1016/j.eng.2018.11.006
11. Hakkim FL, Shankar CG, Girija S. Chemical composition and antioxidant property of holy basil (*Ocimum sanctum* L.) leaves, stems, and inflorescence and their in vitro callus cultures. J Agric Food Chem. 2007;55(22):9109-9117. doi: 10.1021/jf071509h
12. Jakovljević D, Momčilović J, Bojović B, Stanković M. The short-term metabolic modulation of basil (*Ocimum basilicum* L. cv. 'Genovese') after exposure to cold or heat. Plants. 2021;10(3):590. doi: 10.3390/plants10030590
13. Kozai T, Niu G, Takagaki M, editors. Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production. 2nd ed. London, UK: Academic press; 2019: 516 p.
14. Nazir S, Jan H, Tungmunnithum D, Drouet S, Zia M, Hano C, Abbasi BH. Callus culture of Thai basil is an effective biological system for the production of antioxidants. Molecules 2020;25(20):4859. doi: 10.3390/molecules25204859
15. Nguyen TK, Cho KM, Lee HY, Cho DY, Lee GO, et al. Effects of white LED lighting with specific shorter blue and/or green wavelength on the growth and quality of two lettuce cultivars in a vertical farming system. Agronomy. 2021;11(11):2111. doi: 10.3390/agronomy11112111
16. Rajaram R, Priya D, Sudarshana DV, Suresh KP. *In vitro* regeneration of *Caralluma fimbriata* wall. by organogenesis: a potent medicinal plant. A.J.C.S. 2012;6(1):41-45.
17. Sreelatha VR, Thippeswamy M, Pullaiah T. *In vitro* callus induction and plant regeneration from intermodal explants of *Caralluma stalagmifera* fischer. Intl J Adv Res. 2015;3(2): 472-478.
18. Wongsan W, Bodhipadma K, Noichinda S, Leung DWM. Influence of different 2,4-D concentrations on antioxidant contents and activities in sweet basil leaf-derived callus during proliferation. Int Food Res J. 2015;22(2):638-664.

19. Yoshikawa M, Luo W, Tanaka G, Konishi Y, Matsuura H, Takahashi K. Wounding stress induces phenylalanine ammonia lyases, leading to the accumulation of phenylpropanoids in the model liverwort *Marchantia polymorpha*. *Phytochemistry*. 2018;155:30-36. doi: 10.1016/j.phytochem.2018.07.014

Информация об авторах:

Анастасия Михайловна Гвоздикова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 89822084220.

Святослав Валерьевич Лебедев, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-912-345-87-38.

Михаил Юрьевич Чередниченко, кандидат биологических наук, и.о. заведующего кафедрой биотехнологии, доцент, Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49.

Оксана Борисовна Поливанова, кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии, Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Тел.: 89689874703.

Information about the authors:

Anastasia M Gvozdikova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Biological Tests and Examinations, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 89822084220.

Svyatoslav V Lebedev, Dr. Sci. (Biology), Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Leading Researcher, Biological Tests and Examinations, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-912-345-87-38.

Mikhail Yu Cherednichenko, Cand. Sci. (Biology), Acting Head of the Department of Biotechnology, Associate Professor, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 49, Timiryazevskaya St., Moscow, 127434.

Oksana B Polivanova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Biotechnology, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 49, Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, tel.: 89689874703.

Статья поступила в редакцию 30.12.2022; одобрена после рецензирования 02.03.2023; принята к публикации 20.03.2023.

The article was submitted 30.12.2022; approved after reviewing 02.03.2023; accepted for publication 20.03.2023.