

Использование регуляторов роста и экспериментального светодиодного фитооблучателя в клональном микроразмножении земляники садовой (*Fragaria × ananassa*, Duchesne ex Weston)

© 2019. М. Г. Маркова✉, Е. Н. Сомова

Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – структурное подразделение Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, п. Первомайский, Удмуртская Республика, Российская Федерация

Приведены экспериментальные данные 2017-2018 гг. по влиянию регуляторов роста и экспериментального светодиодного фитооблучателя на пролиферацию и укоренение перспективных сортов земляники садовой (*Fragaria ananassa*) в условиях *in vitro*. Объект исследований – микрочеренки земляники садовой сортов Корона и Брайтон. Микрочеренки земляники культивировали под люминесцентными лампами в контрольном варианте, изучаемым был программируемый светодиодный комбинированный мигающий фитооблучатель. Изучено совместное влияние цитокинина и гибберелловой кислоты путем добавления их в питательную среду Мурасиге-Скуга, а также регуляторов роста Силиплант и ЭкоФус на микроразмножение земляники. Установлено, что при культивировании земляники садовой сорта Корона увеличение коэффициента размножения обеспечило совместное применение Силипланта и ЭкоФуса при освещении экспериментальным светодиодным фитооблучателем, коэффициент составил 5,0 шт/эксплант, что в 1,7 раза выше контрольного (3,0 шт/эксплант), НСР₀₅ 1,4 шт/эксплант. Максимальный коэффициент размножения земляники ремонтантной сорта Брайтон получен в варианте с применением Силипланта и светодиодного фитооблучателя и составил 4,9 шт/эксплант (4,2 шт/эксплант в контроле), НСР₀₅ 1,5 шт/эксплант. Независимо от освещения, применение Рибав-Экстра во всех изучаемых концентрациях увеличило укореняемость микрочеренков земляники садовой сорта Корона с 92,8 до 99,1%, НСР₀₅ 6,1%. Применение экспериментального светодиодного фитооблучателя, в сравнении с люминесцентным (94,3%), способствовало значительному увеличению укореняемости микрочеренков земляники садовой сорта Корона до 98,1%, независимо от применяемых регуляторов роста, НСР₀₅ 3,5%. Совместное применение разработанного светодиодного фитооблучателя и регулятора роста Рибав-Экстра в концентрации 1,0 мг/л и 1,5 мг/л способствовало укореняемости микрочеренков земляники садовой сорта Корона до 100%. Независимо от регулятора роста, применение экспериментального светодиодного фитооблучателя, в сравнении с люминесцентным (88,9%), способствовало значительному увеличению укореняемости микрочеренков земляники Брайтон до 97,2%, НСР₀₅ 4,6%. Укореняемость микрочеренков земляники ремонтантной сорта Брайтон составила 100% в варианте с применением Рибав-Экстра в концентрации 1,0 мг/л и экспериментального светодиодного фитооблучателя через 20 дней после высадки на укоренение.

Ключевые слова: микрочеренки земляники садовой, питательная среда, освещенность, регуляторы роста

Благодарности: научное исследование выполнено в рамках Государственного задания ФГБУН Удмуртский ФИЦ УрО РАН (тема №0427-2018-0010).

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Маркова М. Г., Сомова Е. Н. Использование регуляторов роста и экспериментального светодиодного фитооблучателя в клональном микроразмножении земляники садовой (*Fragaria ananassa*). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(4):324-333. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.324-333>

Поступила: 15.05.2019

Принята к публикации: 01.07.2019

Опубликована онлайн: 30.08.2019

Use of growth regulators and experimental LED phytoirradiator in clonal micropropagation of garden strawberry (*Fragaria × ananassa*, Duchesne ex Weston)

© 2019. Marina G. Markova✉, Elena N. Somova

Udmurt Research Institute of Agriculture – Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Pervomaisky village, Udmurt Republic, Russian Federation

The article provides experimental data of 2017-2018 study on the effect of growth regulators and LED phytoirradiator on the proliferation and rooting of promising garden strawberry (*Fragaria ananassa*) varieties *in vitro*. Micro-shoots of Korona and Brighton strawberry varieties were taken as the object of the research. Strawberry micro-shoots were cultivated under fluorescent lamps in the control variant. A programmable combined blinking LED phytoirradiator was under study. The combined effect of cytokinin and gibberellic acid by adding them to the Murashige and Skoog nutrient medium, as well as the impact of Siliplant and EcoFus growth regulators on strawberry micropropagation has been studied. It was established that in the cultivation of Korona variety the combined use of Siliplant and EcoFus under illumination with LED

phytoirradiator provided an increase in the reproduction factor. The coefficient was 5.0 pcs./explant that was 1.7 times higher than the control (3.0 pcs/explant), the LSD_{05} 1.4 pcs/explant. The maximum reproduction factor of remontant strawberry Brighton variety was obtained in the variant with the use of Siliplant and LED phytoirradiator and amounted to 4.9 pcs./explant (4.2 pcs./explant in the control), the LSD_{05} was 1.5 pcs./explant. Regardless of the lighting, the use of Ribav-Extra in all variants under study increased the rooting rate of the strawberry Korona micro-shoots from 92.8 to 99.1%, the LSD_{05} 6.1%. The use of LED phytoirradiator in comparison with the luminescent one (94.3%) provided a significant increase in the rooting rate of the strawberry Korona micro-shoots to 98.1% regardless of the growth regulators used, the LSD_{05} 3.5%. The combined use of LED phytoirradiator and Ribav-Extra growth regulator in concentrations of 1.0 and 1.5 mg/l resulted in rooting of strawberry Korona micro-shoots up to 100%. Regardless of the growth regulator used, the use of LED phytoirradiator in comparison with the luminescent one (88.9%) provided a significant increase in the rooting rate of the strawberry Brighton micro-shoots to 97.2%, the LSD_{05} 4.6%. The rooting rate of the remontant strawberry Brighton micro-shoots was 100% in the variant with the use of Ribav-Extra in the concentration of 1.0 mg/l combined with LED phytoirradiator 20 days after transplanting for rooting.

Key words: strawberry micro-shoots, nutrient medium, lighting, growth regulators

Acknowledgement: the research was carried out within the state assignment of the Federal State Budgetary Institution of Science Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme 0427-2018-0010).

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Markova M. G., Somova E. N. Use of growth regulators and experimental LED phytoirradiator in clonal micropropagation of garden strawberry (*Fragaria ananassa*). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(4):324-333. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.324-333>

Received: 15.05.2019

Accepted for publication: 01.07.2019 Published online: 30.08.2019

На современном этапе развития садоводства важной задачей является выращивание экономически выгодных культур, конкурентоспособных в условиях рынка, пользующихся высоким спросом. Всем этим требованиям отвечает земляника садовая – наиболее рентабельная среди ягодных культур, на долю которой приходится более 70% общемирового производства ягод [1].

Актуальность исследований обусловлена большой ценностью земляники садовой в садоводстве нашей страны и за рубежом [2]. Она скороплодна, имеет высокие вкусовые качества, а также богатый биохимический состав и лечебные свойства.

Основным фактором, обуславливающим эффективность возделывания ягодных культур по интенсивным технологиям, является высокопродуктивный оздоровленный посадочный материал, для получения которого наиболее перспективным методом является культура изолированных тканей. Этот метод позволяет не только ускорить производство посадочного материала, отвечающего требованиям современного садоводства, но и получать трудно-размножаемые сорта и гибриды [3, 4].

Для большинства ягодных культур метод клонального микроразмножения разработан достаточно эффективно. Однако в связи с изменяющимся сортиментом и генотипическими особенностями культивирования *in vitro* уже разработанные технологии не всегда приемле-

мы и требуют постоянного совершенствования и корректировки [5, 6].

Традиционно работы по повышению эффективности клонального микроразмножения растений сводятся к оптимизации питательной среды и условий культивирования, к которым в том числе относятся световые воздействия [7, 8]. Поиск эффективных регуляторов роста для разработки технологий размножения и регенерации растений в культуре *in vitro* является актуальным для ремонтантных сортов земляники [9].

Для культивирования земляники садовой *in vitro* используют питательную среду с минеральной основой по прописи Мурасиге и Скуга¹ (МС), которая содержит цитокинин 6-бензиламинопурин (6-БАП). Гибберелловая кислота добавляется с целью удлинения микрочеренков земляники [10]. Для укоренения эксплантов, полученных в культуре *in vitro*, используют половину макро- и микросолей питательной среды Мурасиге-Скуга (МС ½) и индуктор ризогенеза индолил-3-масляную кислоту. С целью повышения технологичности процесса ризогенеза земляники садовой можно использовать препарат отечественного производства Рибав-Экстра [11]. Практический интерес представляет оптимизация состава питательной среды для укоренения такими регуляторами роста, как Силиплант и ЭкоФус, изученными ранее на этапе адаптации микро-растений земляники садовой [12].

¹Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 1962;5(95):473-497.

Силиплант – хелатное микроудобрение марки «Универсальный», разработчик и изготовитель – ННПП «НЭСТ М» (г. Москва). Основное действующее вещество – биоактивный кремний (7,0%), содержит также жизненно необходимые микроэлементы в хелатной форме (железо, магний, марганец, медь, кобальт, цинк и бор)². ЭкоФус – органоминеральное удобрение из водорослей, разработчик и изготовитель – ННПП «НЭСТ М». Произведен на основе морской водоросли из акватории Белого моря фукуса пузырчатого, обладает иммуностимулирующим, противовирусным, антибактериальным и фунгицидным свойствами, содержит более 40 микроэлементов (йод, селен, кремний и др.), белки, аминокислоты, углеводы, витамины, клетчатку, органические кислоты, ферменты, каротиноиды, природные антибиотики и другие биологически активные вещества³. Рибав-Экстра – универсальный регулятор роста, корнеобразователь, в том числе трудноукореняемых растений. Содержит природный комплекс биологически активных веществ, продуцируемый микоризными грибами, выделенными из корня женьшеня, аминокислоты, липиды, пептиды, ферменты, витамины⁴.

В условиях *in vitro* большое влияние на процессы регенерации и ризогенеза растений оказывает спектральный состав света, являясь одним из факторов их биопродуктивности. Обычно для выращивания растений используются люминесцентные лампы, недостатками которых являются относительно небольшой срок эксплуатации и сильный нагрев. Этих недостатков лишены современные светодиодные облучатели. Использование светодиодных облучателей позволяет резко сократить энергозатраты на выращивание растений за счет их высокой светоотдачи, длительного рабочего ресурса и возможности регулирования спектра излучения. Спектральный состав их световых потоков соответствует фотосинтетической активности растений (ФАР) [13, 14, 15].

В связи с этим представляет интерес реакция микрочеренков земляники садовой

в культуре *in vitro* на облучение их экспериментальным программируемым светодиодным комбинированным мигающим фитооблучателем в сочетании с использованием регуляторов роста. Фитооблучатель, взятый для проведения исследований, является экспериментальной разработкой аспирантов кафедры автоматизированного электропривода Ижевской ГСХА.

Цель исследований – изучить влияние регуляторов роста при их различном сочетании в питательной среде и светодиодного фитооблучателя на прохождение этапов пролиферации и укоренения эксплантов земляники садовой в клональном микроразмножении.

Материал и методы. Исследования проведены на базе меристемной лаборатории Удмуртского НИИСХ. Объект исследований – микрочеренки земляники садовой сорта Корона и ремонтантной сорта Брайтон на этапах пролиферации и укоренения. Микрочеренки культивировали при освещенности 75-85 мМоль/м²*сек⁻¹, 6500 К, температуре 22...25°C, относительной влажности воздуха 70-75% и 16-часовом фотопериоде.

Введенные в культуру ткани апексы культивировали на питательной среде Мурасиге-Скуга с половинной дозой макро- и микро-солей (МС½) с содержанием цитокинина 6-БАП в концентрации 0,5 мг/л при освещении люминесцентным облучателем. На этапе пролиферации изучали влияние регуляторов роста Силиплант, ЭкоФус и совместного их применения путем добавления в питательную среду МС. Гибберелловую кислоту в концентрации 0,2 мг/л добавляли с целью удлинения микрочеренков земляники и исключения этапа элонгации во всех изучаемых вариантах.

На этапе укоренения, где питательная среда имеет половинную дозу макро- и микро-элементов, исключены из изучения варианты с Силиплантом и ЭкоФусом как содержащие все макроэлементы и более 40 микроэлементов. Изучали влияние регулятора роста Рибав-Экстра в концентрации 0,5 мг/л путем добавления в питательную среду помимо индуктора ризогенеза индолил-3-масляной кислоты (ИМК).

²Рекомендации о транспортировке, применении и хранении препарата Силиплант марки «Универсальный». URL: <https://superurozhay.ru/mineralnye-udobreniya/kak-primenyat-siliplant-dlya-uvelicheniya-urozhajnosti.html>

³Рекомендации о транспортировке, применении и хранении препарата ЭкоФус. URL: <https://www.yaeco.ru/zashhita-rastenij/udobreniya/ekofus>

⁴Рекомендации о применении препарата. URL: <http://selhozservis.ru/katalog/33-ribav-ekstra.html>

Используемый в эксперименте фитооблучатель состоит из двух светильников по шестнадцать светодиодов на каждом, последовательно связанных между собой с освещенностью, идентичной люминесцентному, $75-85 \text{ мМоль/м}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$, 6500 К. Основным узлом схемы является программируемый микроконтроллер. Генератором импульсов является кварцевый генератор. В схеме используется

минимум компонентов: один цифровой инвертор, один резистор, два конденсатора и кристалл кварца, который действует как высокоизбирательный элемент фильтра (рис. 1, 2). Для реализации необходимого алгоритма используется схемное решение на микросхеме низкой интеграции серии K561. Для преобразования напряжения использован понижающий однофазный трансформатор ОСМ 1-0.063.

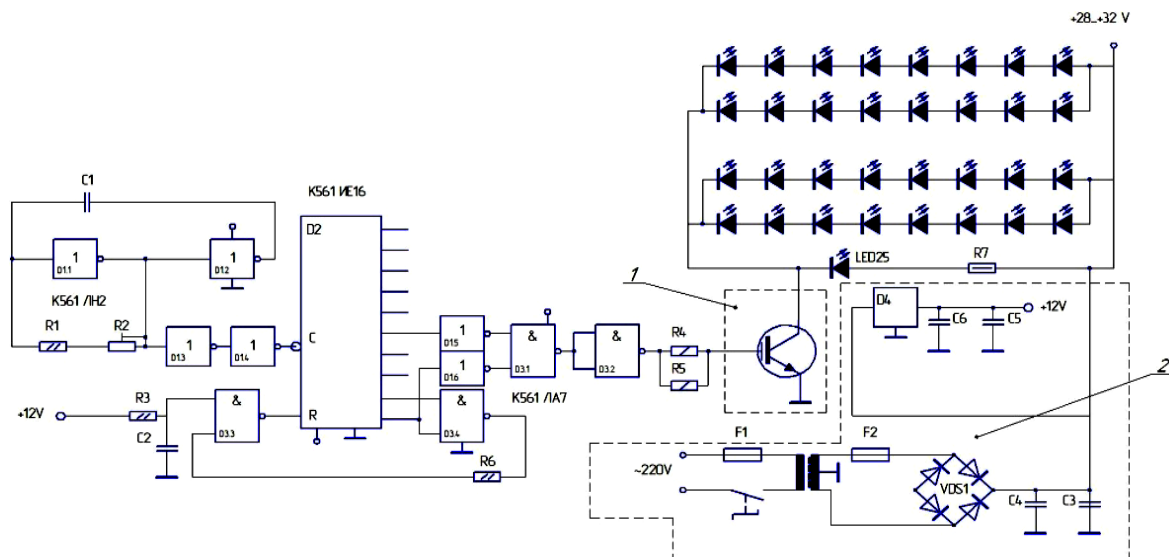
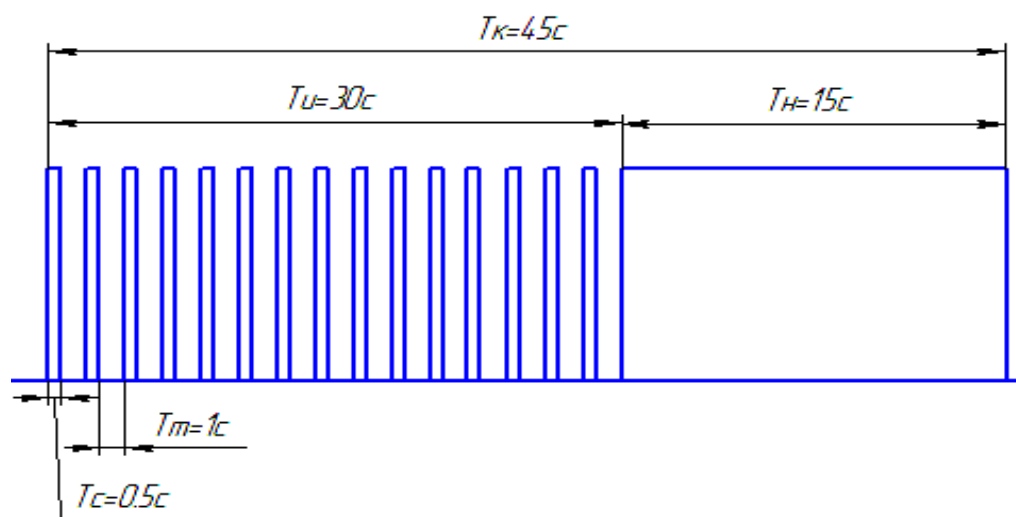


Рис.1. Схема работы прибора комбинированного излучения
Fig.1. Scheme of operation of the combined radiation device



T_c – длительность импульса излучения

T_m – длительность темновой паузы

T_U – длительность импульсного облучения

T_H – длительность непрерывного облучения

T_k – период комбинированного режима облучения

T_c – radiation pulse duration

T_m – dark pause duration

T_U – pulse irradiation duration

T_H – continuous exposure duration

T_k – period of the combined mode of radiation

Рис. 2. График комбинированного режима облучения /
Fig. 2. Chart of the combined mode of radiation

Каждый вариант насчитывал 10 эксплантов, повторность эксперимента четырехкратная. Культуральным сосудом на этапе пролиферации служила колба круглая плоскодонная объемом 250 мл, в которую высаживали пять эксплантов. На этапе укоренения использовали пробирки биологические П2-21-200. Ростовые параметры микрорастений определяли согласно ГОСТ Р 54051-2010⁵. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа⁶.

Результаты и их обсуждение. При культивировании земляники садовой сорта Корона

(табл. 1), независимо от освещения, высокий коэффициент размножения получен при добавлении в питательную среду регуляторов Силиплант и ЭкоФус в концентрациях 0,5 мл/л и составил 4,3 шт/эксплант, что достоверно выше, чем в контрольном варианте (3,4 шт/эксплант) при НСР₀₅ 0,9 шт/эксплант. Применение разработанного светодиодного фитооблучателя, в сравнении с люминесцентным (3,0 шт/эксплант), также способствовало значительному увеличению коэффициента размножения до 3,8 шт/эксплант, независимо от применяемых регуляторов роста при НСР₀₅ 0,8 шт/эксплант.

Таблица 1. Коэффициент размножения земляники садовой сорта Корона в зависимости от регуляторов роста и спектрального состава света в условиях *in vitro*, шт/эксплант /
Table 1. The reproduction factor of garden strawberry Korona variety depending on growth regulators and spectral composition of light *in vitro*, pcs./explants

Регулятор роста (фактор А) / Growth regulator (factor A)	Облучатель (фактор В) / Irradiator (factor B)		Среднее по фактору А / Average for factor A
	люминесцентный (контроль) / luminescent (control)	светодиодный / LED light	
МС + 6-БАП 0,5 мг/л + ГК 0,2 мг/л (контроль) / MS + 6-BAP 0.5 mg/l + GA 0.2 mg/l (control)	3,0	3,9	3,4
МС + 6-БАП 0,5 мг/л + ГК 0,2 мг/л + Силиплант 1,0 мл/л / MS + 6-BAP 0.5 mg/l + GA 0.2 mg/l + Siliplant 1.0 ml/l	3,0	3,7	3,3
МС + 6-БАП 0,5 мг/л + ГК 0,2 мг/л + ЭкоФус 1,0 мл/л / MS + 6-BAP 0.5 mg/l + GA 0.2 mg/l + EcoFus 1.0 ml/l	2,4	2,8	2,6
МС + 6-БАП 0,5 мг/л + ГК 0,2 мг/л + Силиплант 0,5 мл/л + + ЭкоФус 0,5 мл/л / MS + 6-BAP 0.5 mg/l + GA 0.2 mg/l + + Siliplant 0.5 ml/l + EcoFus 0.5 ml/l	3,6	5,0	4,3
Среднее по фактору В / Average for factor B	3,0	3,8	-
НСР ₀₅ частных различий 1,4 / LSD ₀₅ of particular differences 1.4 НСР ₀₅ по фактору А 0,9 / LSD ₀₅ in factor A 0.9; НСР ₀₅ по фактору В 0,8 / LSD ₀₅ in factor B 0.8			
Условные обозначения:		Legend:	
МС – питательная среда Мурасиге-Скуга;		MS – Murashige and Skoog nutrient medium;	
6-БАП – 6-бензиламинопурин;		6-BAP – 6-benzylaminopurine;	
ГК – гибберелловая кислота.		GA – gibberellic acid.	

Максимальный коэффициент размножения земляники садовой сорта Корона получен в варианте совместного применения Силипланта и ЭкоФуса при освещении экспериментальным светодиодным фитооблучателем и составил 5,0 шт/эксплант. Продолжительность субкультивирования составила 20 дней, так как конгломераты к этому сроку заняли весь объем культурального сосуда (колбы) и подлежали пересадке на укоренение.

При культивировании земляники ремонтантной сорта Брайтон (табл. 2), независимо от освещения, максимальный коэффициент размножения получен при добавлении в питательную среду регулятора Силиплант в концентрации 1,0 мл/л и составил 4,9 шт/эксплант, что выше, чем в контрольном варианте (4,6 шт/эксп.) при НСР₀₅ 0,9 шт/эксплант, но незначительно.

⁵ГОСТ Р 54051-2010 Плодовые и ягодные культуры. Стерильные культуры и адаптированные микрорастения. Технические условия.

⁶Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 352 с.

Применение изучаемого светодиодного фитооблучателя, в сравнении с люминесцентным (4,1 шт/эксп.), способствовало увеличению коэффициента до 4,5 шт/эксп., независимо от

применяемых регуляторов роста, при НСР₀₅ 0,4 шт/эксп. Спустя 20 дней с начала субкультивирования конгломераты были расчерченкованы и высажены на укоренение.

Таблица 2. Коэффициент размножения земляники ремонтантной сорта Брайтон в зависимости от регуляторов роста и спектрального состава света в условиях *in vitro*, шт/эксплант /

Table 2. The reproduction factor of remontant strawberry Brighton variety depending on growth regulators and spectral composition of light *in vitro*, pcs./explants

Регулятор роста (фактор А) / Growth regulator (factor A)	Облучатель (фактор В) / Irradiator (factor B)		Среднее по фактору А / Average for factor A
	люминесцентный (контроль) / luminescent (control)	светодиодный / LED light	
МС + 6-БАП 0,5 мг/л + ГК 0,2 мг/л (контроль) / MS + 6-BAP 0.5 mg/l + GA 0.2 mg/l (control)	4,2	5,0	4,6
МС + 6-БАП 0,5 мг/л + ГК 0,2 мг/л + Силиплант 1,0 мл/л / MS + 6-BAP 0.5 mg/l + GA 0.2 mg/l + Siliplant 1.0 ml/l	4,9	4,9	4,9
МС + 6-БАП 0,5 мг/л + ГК 0,2 мг/л + ЭкоФус 1,0 мл/л / MS + 6-BAP 0.5 mg/l + GA 0.2 mg/l + EcoFus 1.0 ml/l	3,6	4,0	3,8
МС + 6-БАП 0,5 мг/л + ГК 0,2 мг/л + Силиплант 0,5 мл/л + + Экофус 0,5 мл/л / MS + 6-BAP 0.5 mg/l + GA 0.2 mg/l + + Siliplant 0.5 ml/l + EcoFus 0.5 ml/l	3,9	4,2	4,1
Среднее по фактору В / Average for factor B	4,1	4,5	-
НСР ₀₅ частных различий 1,5 / LSD ₀₅ of particular differences 1.5			
НСР ₀₅ по фактору А 0,9 / LSD ₀₅ in factor A 0.9; НСР ₀₅ по фактору В 0,4 / LSD ₀₅ in factor B 0.4			
Условные обозначения:		Legend:	
МС – питательная среда Мурасиге-Скуга;		MS – Murashige and Skoog nutrient medium;	
6-БАП – 6-бензиламинопурина;		6-BAP – 6-benzylaminopurine;	
ГК – гибберелловая кислота.		GA – gibberellic acid.	

На укореняемость земляники садовой сорта Корона положительное влияние оказал как регулятор роста Рибав-Экстра, так и экспериментальный светодиодный фитооблучатель (табл. 3). Независимо от освещения, применение Рибав-Экстра во всех применяемых концентрациях увеличило укореняемость микрочеренков земляники с 92,8 до 99,1%, но при НСР₀₅ 6,1% данный показатель достоверен лишь в варианте с применением Рибав-Экстра в концентрации 1,5 мл/л. Независимо от применяемых концентраций регулятора роста, использование разработанного светодиодного фитооблучателя, в сравнении с люминесцентным (94,3%), способствовало значительному увеличению укореняемости до 98,1% при НСР₀₅ 3,5%. Укореняемость микрочеренков земляники садовой сорта Корона составила 100% в вариантах с применением Рибав-Экстра в концентрациях 1,0 и 1,5 мл/л при освещении экспериментальным светодиодным фитооблучателем через 10 дней после посадки на укоренение.

На укореняемость земляники ремонтантной сорта Брайтон также положительное влияние оказали как регулятор роста Рибав-Экстра, так и изучаемый светодиодный фитооблучатель (табл. 4, рис. 3). Независимо от освещения, применение Рибав-Экстра во всех изучаемых концентрациях увеличило укореняемость микрочеренков земляники. Но, в сравнении с контролем (89,3%), показатель укореняемости микрочеренков 96,2% достоверен только в варианте с концентрацией регулятора Рибав-Экстра 1,0 мл/л при НСР₀₅ 6,2%. Применение экспериментального светодиодного фитооблучателя, в сравнении с люминесцентным (88,9%), способствовало увеличению укореняемости микрочеренков земляники ремонтантной до 97,2%, независимо от применяемого регулятора роста, при НСР₀₅ 4,6%.

Укореняемость микрочеренков земляники Брайтон составила 100% в варианте с применением Рибав-Экстра в концентрации 1,0 мл/л при освещении экспериментальным светодиодным фитооблучателем через 20 дней после высадки на укоренение.

Таблица 3. Укореняемость земляники садовой сорта Корона в зависимости от регулятора роста и освещения в условиях *in vitro*, % /

Table 3. The rooting rate of garden strawberry Korona variety depending on growth regulator and lighting *in vitro*, %

Регулятор роста (фактор А) / Growth regulator (factor A)	Облучатель (фактор В) / Irradiator (factor B)		Среднее по фактору А / Average for factor A
	люминесцент- ный (контроль) / luminescent (control)	светоди- одный / LED light	
МС (контроль) + ИМК 0,5 мг/л / MS (control) + IBA 0.5 mg/l	90,0	95,6	92,8
МС + ИМК 0,5 мг/л + Рибав-Экстра 0,5 мл/л / MS + + IBA 0.5 mg/l + Ribav-Extra 0.5 ml/l	92,5	96,8	94,6
МС + ИМК 0,5 мг/л + Рибав-Экстра 1,0 мл/л / MS + + IBA 0.5 mg/l + Ribav-Extra 1.0 ml/l	96,4	100	98,2
МС + ИМК 0,5 мг/л + Рибав-Экстра 1,5 мл/л / MS + + IBA 0.5 mg/l + Ribav-Extra 1.5 ml/l	98,2	100	99,1
Среднее по фактору В / Average for factor B	94,3	98,1	-
НСР ₀₅ частных различий 9,5 / LSD ₀₅ of particular differences 9.5			
НСР ₀₅ по фактору А 6,1 / LSD ₀₅ in factor A 6.1			
НСР ₀₅ по фактору В 3,5 / LSD ₀₅ in factor B 3.5			
Условные обозначения:		Legend:	
МС – питательная среда Мурасиге-Скуга		MS – Murashige and Skoog nutrient medium	
ИМК – индолил-3-масляная кислота		IBA – Indole-3-butyric acid	

Таблица 4. Укореняемость земляники ремонтантной сорта Брайтон в зависимости от регулятора роста и освещения в условиях *in vitro*, % /

Table 4. The rooting rate of remontant strawberry Brighton variety depending on the growth regulator and lighting *in vitro*, %

Регулятор роста (фактор А) / Growth regulator (factor A)	Облучатель (фактор В) / Irradiator (factor B)		Среднее по фактору А / Average for factor A
	люминесцент- ный (контроль) / luminescent (control)	светоди- одный / LED light	
МС (контроль) + ИМК 0,5 мг/л / MS (control) + IBA 0.5 mg/l	85,0	93,5	89,3
МС + ИМК 0,5 мг/л + Рибав-Экстра 0,5 мл/л / MS + IBA 0.5 mg/l + Ribav-Extra 0.5 ml/l	89,6	96,7	93,1
МС + ИМК 0,5 мг/л + Рибав-Экстра 1,0 мл/л / MS + IBA 0.5 mg/l + Ribav-Extra 1.0 ml/l	92,4	100	96,2
МС + ИМК 0,5 мг/л + Рибав-Экстра 1,5 мл/л / MS + IBA 0.5 mg/l + Ribav-Extra 1.5 ml/l	88,7	98,6	93,6
Среднее по фактору В / Average for factor B	88,9	97,2	-
НСР ₀₅ частных различий 9,3 / LSD ₀₅ of particular differences 9.3			
НСР ₀₅ по фактору А 6,2 / LSD ₀₅ in factor A 6.2			
НСР ₀₅ по фактору В 4,6 / LSD ₀₅ in factor B 4.6			
Условные обозначения:		Legend:	
МС – питательная среда Мурасиге-Скуга		MS – Murashige and Skoog nutrient medium	
ИМК – индолил-3-масляная кислота		IBA – Indole-3-butyric acid	

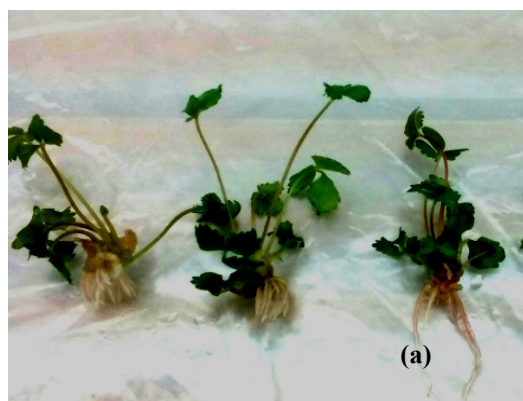


Рис. 3. Укорененные микрорастения земляники ремонтантной сорта Брайтон под люминесцентным (а) и светодиодным (б) фитооблучателями с применением Рибав-Экстра 1,0 мл/л /

Fig. 3. Rooted micro-plants of remontant strawberry Brighton variety under the luminescent (a) and LED (b) phytoirradiator using Ribav-Extra 1.0 ml/l

Выводы

1. Культивирование микрочеренков земляники садовой (*Fragaria ananassa*) сорта Корона на питательной среде с добавлением Силипланта и ЭкоФуса в концентрациях 0,5 мл/л при освещении экспериментальным светодиодным фитооблучателем обеспечило максимальный коэффициент размножения 5,0 шт/эксплант, что в 1,7 раза выше, чем на контрольной питательной среде (3,0 шт/эксплант) при использовании люминесцентного облучателя.

2. Максимальный коэффициент размножения земляники ремонтантной сорта Брайтон отмечен при культивировании на питательной среде с добавлением Силипланта в концентрации 1,0 мл/л при освещении обоими облучателями. Применение экспериментального светодиодного фитооблучателя, в сравнении с люминесцентным, способствовало существенному увеличению коэффициента размножения земляники ремонтантной сорта Брайтон до 4,5 шт/эксплант, независимо от применяемого регулятора роста.

3. Продолжительность последнего субкультивирования по обоим сортам Корона и

Брайтон сократилась и составила 20 дней. Этому способствовало добавление в питательную среду гибберелловой кислоты в концентрации 0,2 мг/л, регуляторов роста Силиплант и ЭкоФус в концентрациях 0,5 мл/л, а также освещение микрочеренков земляники садовой экспериментальным светодиодным фитооблучателем.

4. Ризогенез микрочеренков земляники садовой сорта Корона в варианте с применением регулятора роста Рибав-Экстра в концентрациях 1,0 и 1,5 мл/л и освещением экспериментальным светодиодным фитооблучателем существенно активировался, при этом укореняемость составила 100% (в контрольном варианте 90,0%) через 10 дней после высадки на укоренение.

5. Укореняемость микрочеренков земляники ремонтантной сорта Брайтон на питательной среде с применением регулятора роста Рибав-Экстра в концентрации 1,0 мл/л при освещении экспериментальным светодиодным фитооблучателем составила 100% через 20 дней после высадки на укоренение, что существенно выше, чем в контрольном варианте (85,0%).

Список литературы

1. Куликов И. М., Минаков И. А. Развитие садоводства в России: тенденции, проблемы, перспективы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(1):9-15. Режим доступа: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/ar-ticle/view/94>
2. Subin A., Tkalenko G., Boroday V., Likhanov A. Adaptation of regenerated strawberry plants to ex vitro using biological preparations. Агробіологія. 2016;(2 (128)):85-90. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28902855>
3. Плаксина Т. В., Бородулина И. Д., Ворохобова Л. С., Леонова А. В. Современный биотехнологический подход к производству посадочного материала садовых культур. Аграрная наука - сельскому хозяйству: материалы XII Междун. научн.-практ. конф. Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2017. С. 239-241. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29361815>
4. Маднева О. В., Ташматова Л. В., Орлова Н. Ю., Шахов В. В. Микрклональное размножение земляники садовой. Селекция и сорторазведение садовых культур. 2017;4(1-2):93-96. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29764741>
5. Бородулина И. Д., Плаксина Т. В. Микроразмножение земляники садовой сорта Московский деликатес. Агро-экологические аспекты устойчивого развития АПК: материалы XIV Междунар. научн. конф. Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2017. С. 642-645. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22578458>

6. Маркова М. Г., Сомова Е. Н. Влияние питательной среды и спектрального состава света на размножение земляники *in vitro*. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(2):35-41. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.63.2.35-41>
7. Князева И. В. Влияние состава питательной среды на эффективность размножения земляники садовой *in vitro*. Вестник ОрелГАУ. 2013;40(1):89-92. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25681581>
8. Кондратьева Н. П., Корепанов Р. И., Ильясов И. Р., Большин Р. Г., Краснолуцкая М. Г., Сомова Е. Н., Маркова М. Г. Эффективность микропроцессорной системы автоматического управления работой светодиодных облучательных установок. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018;(3):32-37. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-3-32-37>
9. Борисов А. Н., Сковородников Д. Н. Клональное микроразмножение ремонтантной земляники. Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодежи: материалы V Всеросс. научн.-практ. заочной конф. молодых ученых. Мин-во сельского хозяйства РФ; ФГБОУ ВПО "Курганская ГСХА им. Т. С. Мальцева". Лесниково: изд-во «Курганская ГСХА им. Т.С. Мальцева», 2014. С. 74-76. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26315913>
10. Сковородников Д. Н. Совершенствование клонального микроразмножения крыжовника. Вестник ОрелГАУ. 2012;(6):24-26. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18843074>
11. Шипунова А. А. Клональное микроразмножение плодовых и декоративных культур в условиях промышленного производства. Биотехнология как инструмент сохранения разнообразия растительного мира (физиолого-биохимические, эмбриологические, генетические и правовые аспекты): материалы VII Междунар. научн.-практ. конф., посвящ. 30-летию отдела биотехнологии растений Никитского ботанического сада. Симферополь: ООО «Издательство Типография «Ариал», 2016. С. 138-139. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27305480>
12. Амброс Е. В., Новикова Т. И., Ломовский О. И., Трофимова (Шаполова) Е. Г. Способ адаптации растений-регенерантов земляники: пат. № 2614261 Российская Федерация. №2015145363: заявл. 21.10.2015; опубл. 24.03.2017. Бюл. № 9. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=9850&DocNumber=2614261&TypeFile=html
13. Кондратьева Н. П., Краснолуцкая М. Г., Большин Р. Г. Использование прогрессивных электротехнологий электрооблучения меристемных растений. Биотехнология. Взгляд в будущее: материалы IV Междунар. научн. Интернет-конф. Казань, 2015. С. 52-56. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23658297>
14. Мартиросян Ю. Ц., Мартиросян В. В., Кособрюхов А. А. Современные технологии светокультуры растений – важнейший подход к повышению урожайности растений. Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2018;(13):301-303. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35359170>
15. Мартиросян Ю. Ц., Диловарова Т. А., Кособрюхов А. А. Современные технологии светокультуры растений – важнейший подход к повышению урожайности. Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2016;(12):244-246. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26324189>

References

1. Kulikov I.M., Minakov I. A. *Razvitie sadovodstva v Rossii: tendentsii, problemy, perspektivy*. [Development of horticulture in Russia: trends, problems, prospects]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(1):9-15. (In Russ.). URL: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/94>
2. Subin A., Tkalenko G., Boroday V., Likhonov A. Adaptation of regenerated strawberry plants to ex vitro using biological preparations. *Арпобіологія*. 2016;(2 (128)):85-90. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28902855>
3. Plaksina T. V., Borodulina I. D., Vorokhobova L. S., Leonova A. V. *Sovremennyy biotekhnologicheskii podkhod k proizvodstvu posadochnogo materiala sadovykh kul'tur*. [Modern biotechnological approach to the production of planting material of horticultural crops]. *Agrarnaya nauka - sel'skomu khozyaystvu: materialy XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Agrarian Science to Agriculture: Proceedings of the XIIth International scientific and practical Conference]. Barnaul: *Altayskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet*, 2017. pp. 239-241. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29361815>
4. Matsneva O. V., Tashmatova L. V., Orlova N. Yu., Shakhov V. V. *Mikro-klonal'noe razmnzhenie zemlyaniki sadovoy*. [Microclonal reproduction of garden strawberry]. *Selektsiya i sortorazvedenie sadovykh kul'tur*. 2017;4(1-2):93-96. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29764741>
5. Borodulina I. D., Plaksina T. V. *Mikrorazmnzhenie zemlyaniki sa-dovoy sorta Moskovskiy delikates*. [Micro-propagation of Moscow delicacy strawberry variety]. *Agroekologicheskie aspekty ustoychivogo razvitiya APK: materialy XIV Mezhdunar. nauchn. konf.* [Agroecological aspects of sustainable development of agriculture: Proceedings of the XIVth International scientific Conference]. Bryansk: *Bryanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet*, 2017. pp. 642-645. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22578458>
6. Markova M. G., Somova E. N. *Vliyanie pitatel'noy sredy i spek-tral'nogo sostava sveta na razmnzhenie zemlyaniki in vitro*. [The influence of the nutrient medium and spectral composition of light on the reproduction of strawberries *in vitro*]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(2):35-41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.63.2.35-41>
7. Knyazeva I. V. *Vliyanie sostava pitatel'noy sredy na effektivnost' razmnzheniya zemlyaniki sadovoy in vitro*. [Influence of the composition of the nutrient medium on the efficiency of reproduction of garden strawberry *in vitro*]. *Vestnik OrelGAU* = Vestnik OrelGAU. 2013;40(1):89-92. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25681581>
8. Kondrat'eva N. P., Korepanov R. I., Il'yasov I. R., Bol'shin R. G., Krasnolutsкая M. G., Somova E. N., Markova M. G. *Effektivnost' mikroprotessornoy sistemy avtomaticheskogo upravleniya rabotoy svetodiodnykh obluchatel'nykh ustanovok*. [Efficiency of microprocessor-based automatic control system for LED irradiation plants]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i*

tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies. 2018;(3):32-37. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-3-32-37>

9. Borisov A. N., Skovorodnikov D. N. *Klonal'noe mikrorazmnozhenie remontantnoy zemlyaniki*. [Clonal micropropagation of remontant strawberries]. *Razvitie nauchnoy, tvorcheskoy i innovatsionnoy deyatel'nosti molodezhi: materialy V Vseross. nauchn.-prakt. zaochnoy konf. molodykh uchennykh. Min-vo sel'skogo khozyaystva RF; FGBOU VPO "Kurganskaya GSKhA im. T.S. Mal'tseva"*. [Development of scientific, creative and innovative activity of youth: Proceedings of the Vth all-Russian scientific and practical conference of young scientists]. Lesnikovo: izd-vo «Kurganskaya GSKhA im. T.S. Mal'tseva». 2014. pp. 74-76. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26315913>

10. Skovorodnikov D. N. *Sovershenstvovanie klonal'nogo mikrorazmnozheniya kryzhovnika*. [Improving clonal gooseberry micropropagation]. *Vestnik OrelGAU = Vestnik OrelGAU*. 2012;(6):24-26. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18843074>

11. Shipunova A. A. *Klonal'noe mikrorazmnozhenie plodovykh i deko-rativnykh kul'tur v usloviyakh promyshlennogo proizvodstva*. [Clonal micropropagation of fruit and decorative crops in industrial production conditions]. *Biotehnologiya kak instrument sokhraneniya raznoobraziya rastitel'nogo mira (fiziologo-biokhimicheskie, embriologicheskie, geneticheskie i pravovye aspekty): materialy VII Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf., posvyashch. 30-letiyu otdela biotehnologii rasteniy Nikitskogo botanicheskogo sada*. [Biotechnology as an instrument for conservation of flora variety (physiological and biochemical, embryological, genetic and legal aspects): Proceedings of the VIIth International scientific and practical Conference on the 30th Anniversary of Plant Biotechnology Department of Nikitsky Botanical Garden]. Simferopol': OOO «Izdatel'stvo Tipografiya «Ariol», 2016. pp. 138-139. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27305480>

12. Ambros E. V., Novikova T. I., Lomovskiy O. I., Trofimova (Shapolova) E. G. The adaptation method of plants-regenerants of strawberries: Patent RF, no. 2614261. 2015. URL: http://www1.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=261&DocNumber=2614261&TypeFile=html

13. Kondrat'eva N. P., Krasnolutsкая M. G., Bol'shin R. G. *Ispol'zovanie progressivnykh elektrotekhnologiy elektrooblucheniya meristemnykh rasteniy*. [Use of progressive electro-technologies of electrical radiation of meristem plants]. *Biotehnologiya. Vzglyad v budushchee: materialy IV Mezhdunar. nauchn. Internet-konf.* [Biotechnology. Looking to the future: Proceedings of the IVth International Scientific Internet Conference]. Kazan', 2015. pp. 52-56. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23658297>

14. Martirosyan Yu. Ts., Martirosyan V. V., Kosobryukhov A. A. *Sovremen-nye tekhnologii svetokul'tury rasteniy – vazhneyshiy podkhod k povysheniyu urozhaynosti rasteniy*. [Modern technologies of plant photocultures are the most important approach to increasing the yield of plants]. *Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ikh ispol'zovaniya*. 2018;(13):301-303. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35359170>

15. Martirosyan Yu. Ts., Dilovarova T. A., Kosobryukhov A. A. *Sovremen-nye tekhnologii svetokul'tury rasteniy – vazhneyshiy podkhod k povysheniyu urozhaynosti*. [Modern technologies of plant photocultures are the most important approach to increasing the yield]. *Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ikh ispol'zovaniya*. 2016;(12):244-246. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26324189>

Сведения об авторах:

✉ **Маркова Марина Геннадьевна**, научный сотрудник Удмуртского научно-исследовательского института сельского хозяйства – структурного подразделения ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Ленина, 1, с. Первомайский, Завьяловский район, Удмуртская Республика, 427007, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9427-6766>,

Сомова Елена Николаевна, старший научный сотрудник Удмуртского научно-исследовательского института сельского хозяйства – структурного подразделения ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Ленина, 1, с. Первомайский, Завьяловский район, Удмуртская Республика, 427007, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7917-8738>

Information about the authors:

✉ **Marina G. Markova**, researcher, Udmurt Research Institute of Agriculture Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1, Lenin str., Pervomaisky village, Zavyalovsky district, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9427-6766>,

Elena N. Somova, senior researcher, Udmurt Research Institute of Agriculture Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1, Lenin str., Pervomaisky village, Zavyalovsky district, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, e-mail: ugniish-nauka@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7917-8738>

✉ - Для контактов / Corresponding author