

Научная статья

УДК 635.21: 631.53.01: 58.084.1

doi: <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i1pp32-38>

**Концентрация и соотношение ИУК и гиббереллиновой кислоты  
как факторы эффективности микроклонального размножения картофеля**

**Светлана Юрьевна Луговцова, Валентина Юрьевна Ступко**

Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФИЦ КНИЦ СО РАН, г. Красноярск, Россия  
e-mail: [stupko@list.ru](mailto:stupko@list.ru)

**Аннотация.** Проведено сравнение влияния питательных сред, различающихся концентрацией и соотношением ИУК и гиббереллиновой кислоты (ГК3), на скорость клонирования микрорастений картофеля *in vitro*. Объектом служили микрорастения сорта Ред Скарлет. В качестве контрольной использовалась безгормональная среда Мурасиге-Скуга (МС). Общий срок культивирования составил 49 суток. Показано увеличение скорости роста и формирования междоузлий в 1,5 раза на средах с фитогормонами уже на первой неделе культивирования. С 35-х суток до момента окончания наблюдений количество междоузлий на средах И1Г2 (1 мг/л ИУК и 2 мг/л ГК3) и И15Г3 (1,5 мг/л ИУК, 3 мг/л ГК3) превышало значения, полученные в контроле, на 20 %. По массе и длине растения на данных средах превосходили контроль на 20–30 %. При снижении концентрации гормонов до 0,5 и 1 мг/л соответственно такого увеличения не наблюдалось. Соотношение ИУК к ГК3 1:2 независимо от уровня гормонов в 2 раза снижало скорость ризогенеза (14 суток вместо 7) и на треть – скорость роста корней (21 сутки вместо 14) в сравнении с контролем. При этом частота формирования каллусов на раневой поверхности черенка на этих средах возрастала в 4–8 раз, а скорость образования каллусов в 1,5–2 раза в сравнении с контролем, параллельно увеличению абсолютных значений концентрации фитогормонов. Среда И05Г2 (0,5 мг/л ИУК, 2 мг/л ГК3) и Г3 (3 мг/л ГК3) не оказывали стимулирующего влияния на рост и развитие микрорастений. В связи с тем, что в процессе массового клонирования картофеля *in vitro* проблемой каллусогенеза и замедленного ризогенеза можно пренебречь, а также из соображений минимизации расхода реактивов наиболее эффективной среди исследованных сред является И1Г2.

**Ключевые слова:** *Solanum tuberosum*; ГК3; ИУК; междоузлия; *in vitro*

**Для цитирования:** Луговцова С. Ю., Ступко В. Ю. Концентрация и соотношение ИУК и гиббереллиновой кислоты как факторы эффективности микроклонального размножения картофеля // Аграрный научный журнал. 2024. № 1. С. 32–38. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i1pp32-38>.

AGRONOMY

Original article

**Concentration and ratio of IAA and gibberellic acid as factors to affect the effectiveness  
of potato micropropagation**

**Svetlana Yu. Lugovtsova, Valentina Yu. Stupko**

Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, Krasnoyarsk, Russia  
e-mail: [stupko@list.ru](mailto:stupko@list.ru)

**Abstract.** Nutrient media differed in the concentration and ratio of IAA and gibberellic acid (GA3) were compared concerning their effect on the rate of cloning of potato microplants *in vitro*. Microplants of the Red Scarlet variety served as the object. Hormone-free Murashige-Skoog medium (MS) was used as a control. The total cultivation period was 49 days. The rate of shoot growth and the internode formation was higher by 1.5 times on the media with phytohormones already in the first week of cultivation. From the 35th day until the end of the observations, the number of internodes on I1G2 media (1 mg/l IAA and 2 mg/l GA3) and I15G3 (1.5 mg/l IAA, 3 mg/l GA3) exceeded the values obtained in the control by 20 %. In terms of weight and length, the plants on these media were 20–30 % higher and heavier than the control ones. With a decrease in the concentration of hormones to 0.5 and 1 mg/l, respectively, such an increase was not observed. The ratio of IAA to GA3 1:2, regardless of the level of hormones, reduced the rate of rhizogenesis by half (14 days instead of 7) and decreased the root growth rate by a third (21 days instead of 14) compared with the control. At the same time, the frequency of



callus formation on the wound surface of the cutting on these media increased by 4–8 times, and the rate of callus formation increased by 1.5–2 times, in comparison with the control, in parallel with an increase in the absolute values of the phytohormones concentration. Media I05G2 (0.5 mg/l IAA, 2 mg/l GA3) and G3 (3 mg/l GA3) had no stimulating effect on the growth and development of microplants. Since in the process of mass cloning of potato *in vitro*, the problem of callusogenesis and delayed rhizogenesis can be neglected, and also from the considerations of minimizing the consumption of reagents, I1G2 is the most effective among the studied media.

**Keywords:** *Solanum tuberosum*; GA3; IAA; internodes; *in vitro*

**For citation:** Lugovtsov S. Yu., Stupko V. Yu. Concentration and ratio of IAA and gibberellic acid as factors to affect the effectiveness of potato micropropagation. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(1):32–38. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i1pp32-38>.

**Введение.** Получение свободных от болезней, особенно от вирусов, растений и их вегетативное размножение *in vitro* становится все более востребованным направлением в системах семеноводства картофеля. Немаловажной в этой связи является задача повышения эффективности микроклонального размножения – получение максимального числа микрорастений за минимальный срок [6]. Для стимуляции роста стеблей и формирования корней в исследованиях используются различные сочетания ауксинов (ИУК, НУК, ИБК), цитокининов (БАП, кинетин, рибозид зеатина), гиббереллиновой (ГКЗ) и жасмоновой кислот [2, 11]. За годы исследований в этой области появлялись работы, показывающие превосходство безгормональной среды над любыми подходами, включающими добавление фитогормонов в питательные среды [3, 9]. Однако имеется большое количество исследований, подтверждающих положительное влияние фитогормонов на эффективность микроклонального размножения картофеля. В ряде работ задействованы среды, содержащие только ауксины [8]. В свою очередь Z.A. Farhatullah, J.S. Abbas [5] утверждают, что максимально эффективной является концентрация ГКЗ 0,248 мг/л. Имеются исследования, демонстрирующие превосходство сред с комбинацией фитогормонов над моногормональными средами [10]. При добавлении к ГКЗ ауксинов концентрации последних могут быть как в 2–4 раза выше, чем ГКЗ, так и в 10–25 раз ниже [13]. По-прежнему отсутствует единый подход к подбору комплекса фитогормонов при массовом клонировании микрорастений картофеля *in vitro*.

Цель настоящей работы – сравнение эффективности сред, различающихся соотношением и уровнем ИУК и ГКЗ, при тиражировании микрорастений картофеля *in vitro*.

**Материалы и методы.** Объектом исследования служили микрорастения картофеля сорта Ред Скарлет. Одноузловые сегменты помещали на среду Мурасиге-Скуга с различным соотношением ИУК и ГКЗ (табл. 1), а также содержащую 100 мг/л мезоинозита, 0,1 мг/л тиамин, 0,5 мг/л пиридоксин, 0,5 мг/л никотиновой кислоты и 3 % сахарозы. Среда автоклавировали при 120 °С 20 мин (Tuttnauer 5050EL, Бреда, Голландия). Биологическая повторность опыта трехкратная, количество образцов на каждом варианте среды 39–49. Растения культивировали в условиях светокультуры с длительностью дня 16 ч и температурой 22–26 °С днем и 18–22 °С ночью.

**Таблица 1. Комбинации концентраций фитогормонов в средах для микроклонального размножения картофеля**

**Table 1. Combinations of phytohormone concentrations in media for micropropagation of potatoes**

Наименование среды	Концентрация фитогормонов, мг/л	
	ИУК	ГКЗ
И05Г1	0,5	1
И05Г2	0,5	2
И1Г2	1	2
И15Г3	1,5	3
Г3	0	3
Контроль	0	0





Каждые 7 дней с момента пересадки фиксировали число междоузлий, признаки каллусообразования и ризогенеза. Также отмечали сроки, в которые длина корней достигала 30 мм (пронизывала всю толщ питательной среды, и кончик корня касался дна пробирки). По окончании культивирования, на 49-е сутки, растения извлекали из пробирок, очищали от агаризованной среды и оценивали длину и массу корней и стеблей, а также массу целого растения.

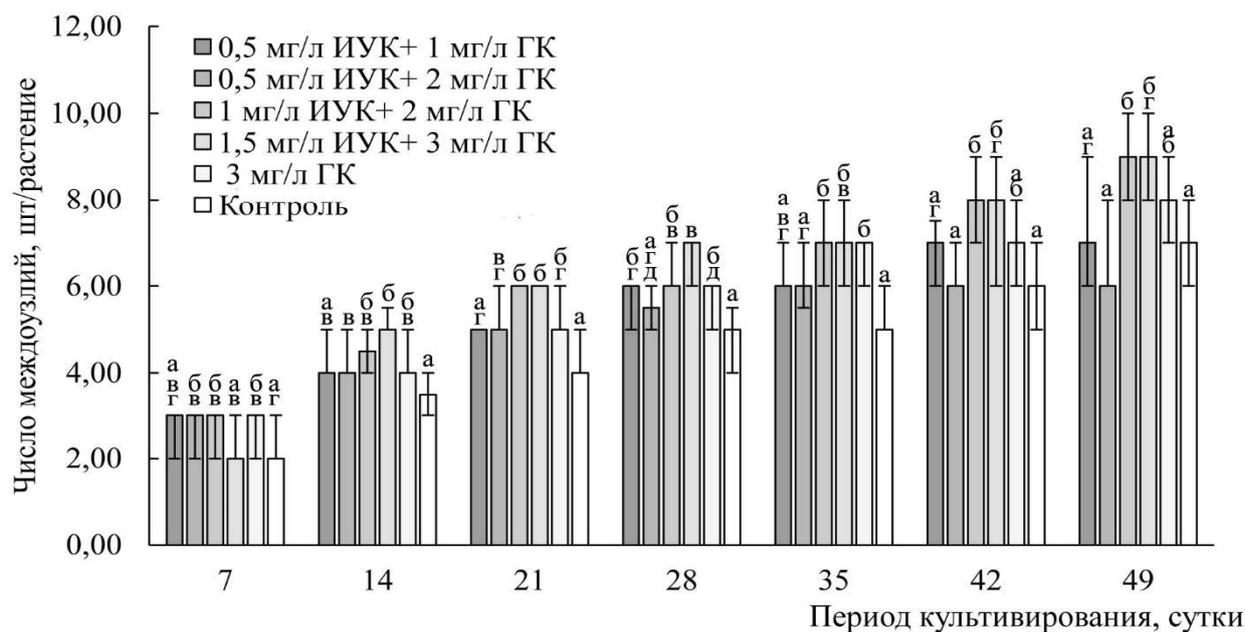
Статистическую обработку данных проводили с использованием статистического пакета R 4.0.4 в среде разработки RStudio 1.4.1103 (2009-2021 RStudio, PBC). Распределение данных в соответствии с нормальным оценивали тестом Шапиро – Уилка, гомогенность дисперсий – по критерию Левина.

Достоверность различий между средами по числу междоузлий, длине и массе стеблей у микрорастений определяли с использованием теста Краскелла – Уоллеса. Однофакторный дисперсионный анализ применяли для оценки степени влияния состава сред на среднюю длину и суммарную массу корней, а также массу целого растения.

Частотный анализ доли образцов с каллусогенезом проводили с использованием критерия Фишера для двупольных таблиц с поправкой Бонферони – Холма для множественных парных сравнений.

Динамику инициации каллусообразования и ризогенеза, а также достижения корнями дна пробирки оценивали с применением метода Каплана – Мейера. В качестве времени наступления события использовали срок культивирования с момента черенкования до дня появления каллусных структур, корней или достижения ими дна пробирки. Достоверность различий между уровнями фактора «состав среды» определяли критерием Гехана – Вилкоксона.

**Результаты исследований.** В присутствии ИУК и ГКЗ значительно быстрее происходит формирование и развитие корневой системы, а также формируются более крупные растения, чем на безгормональной среде МС [1]. Достоверное увеличение числа междоузлий – 8 шт. на одно растение за 28 дней при 6 междоузлиях в контроле – зафиксировано на среде, содержащей 1 мг/л ИУК и 2 мг/л ГКЗ. Причем обратное соотношение фитогормонов не оказывало какого-либо значимого эффекта на рост микрорастений. В данной работе указанные концентрации (среда И1Г2) приводили к тому, что уже на 7-е сутки число междоузлий в два раза превосходило контроль (рис. 1).

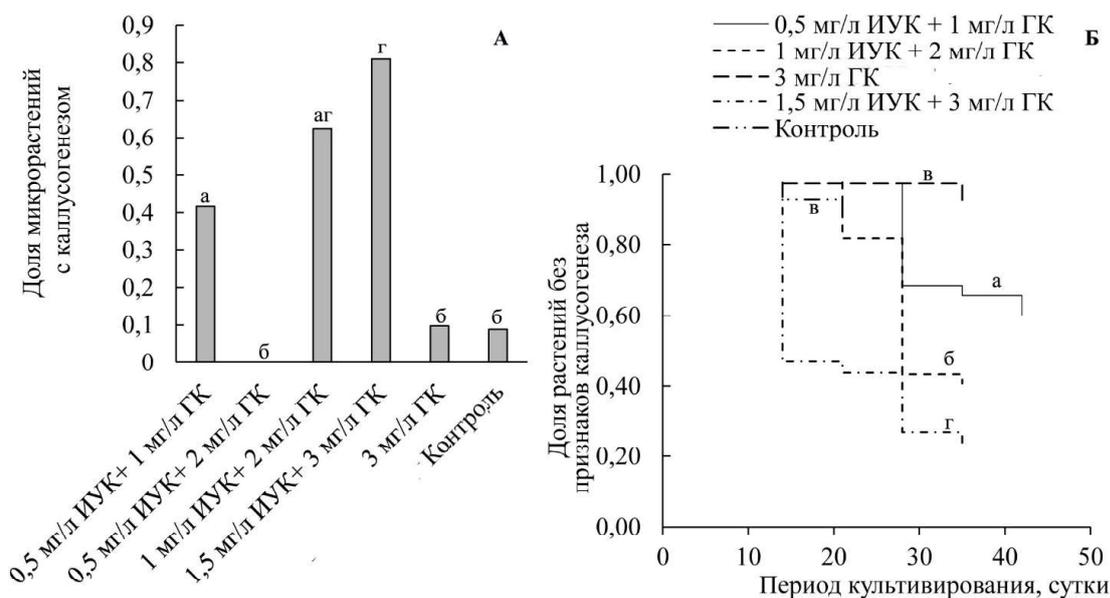


**Рис. 1. Динамика формирования междоузлий микрорастений картофеля на различных питательных средах (медиана [25/75]). Одинаковыми буквами отмечены значения, не отличающиеся в пределах одних суток, при  $p < 0,05$  (здесь и далее)**  
**Rice. 1. Dynamics of the formation of internodes of potato microplants on various nutrient media (median [25/75]). Identical letters indicate values that do not differ within one day at  $p < 0.05$  (hereinafter)**



К 21-м суткам культивирования микрорастения на среде И1Г2 имели на треть больше междоузлий, чем в контрольных условиях. Увеличение концентрации ИУК и ГК3 до 1,5 и 3 мг/л соответственно не приводило к увеличению числа междоузлий на протяжении всего периода культивирования в сравнении со средой И1Г2. При этом среды И05Г1 и И15Г3, начиная с 35-х суток, не различались по числу междоузлий. Близкие значения этого параметра фиксировались на средах И1Г2, И15Г3 и Г3 вплоть до 49 суток. По окончании периода наблюдения, на 49-й день, статистически значимо от контрольного варианта по числу междоузлий на одно микрорастение отличались лишь среды И1Г2 и И15Г3.

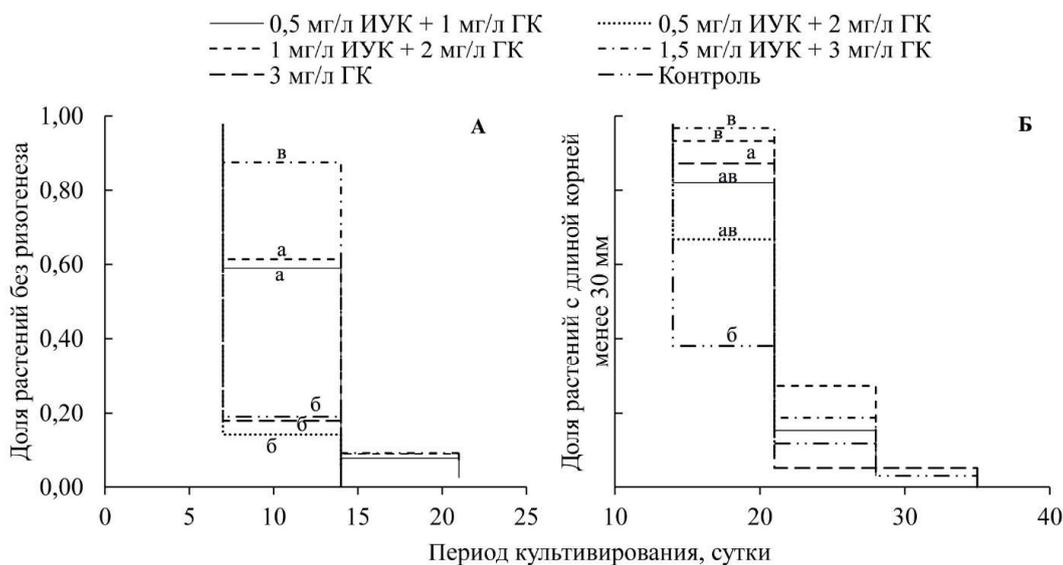
При увеличении соотношения ИУК к ГК3 до 1:4 (И05Г2) эффект стимуляции ростовых функций не проявлялся. Значение параметра на этой среде было близко к контрольному значению, начиная с 28-го дня экспозиции. Однако на данной среде отсутствовали образцы с признаками каллусогенеза (рис. 2А).



**Рис. 2. Влияние состава сред на частоту (А) и скорость (Б) каллусообразования в культуре микрорастений картофеля**  
**Rice. 2. The influence of media composition on the frequency (A) and rate (B) of callus formation in potato microplant culture**

При соотношении 1:2 доля микрорастений с каллусогенезом увеличивалась параллельно с увеличением концентрации фитогормонов, так же как и скорость их формирования (рис. 2Б). На среде И15Г3 большая часть каллусов начала формироваться уже к 14-м суткам культивирования (рис. 2Б). На безгормональной среде и среде, содержащей только ГК3, уровень каллусогенеза был низким, как и на среде И05Г2 (рис. 2А). На этих средах каллусы формировались в основном ближе к концу периода наблюдения, в то время как на средах с соотношением ИУК:ГК3 1:2 первые признаки каллусогенеза фиксировали уже на второй неделе культивирования (рис. 2Б). ГК3 является основным гормоном, регулирующим деление клеток и рост растяжения в растениях, усиливая рост междоузлий [7]. При этом ауксины усиливают чувствительность к ГК3. Активация деления клеток, вероятно, вызвала и формирование каллусных глобул в районе раневой поверхности сегмента, помещенной в питательную среду. Образование каллусной массы нежелательно при формировании микрорастений для дальнейшего их использования в получении миниклубней *in vivo* или *in situ*. Соответственно указанные среды нежелательно использовать на финальном этапе культивирования. Однако при черенковании для целей клонального размножения этим фактором можно пренебречь.

Оказывая стимулирующее влияние на недифференцированное деление клеток, соотношение ИУК к ГК3 1:2 в свою очередь способствовало тому, что момент инициации ризогенеза имел отложенный характер (рис. 3А). В отличие от контрольной среды и вариантов Г3 и И05Г2, где большинство образцов имели визуально заметные корни уже на 7-е сутки культивирования.



**Рис. 3. Динамика ризоге­не­за (А) и раз­ви­тия кор­невой си­сте­мы (Б) микро­ра­стений карто­феля на раз­ных пи­та­тель­ных сре­дах (кривые Кап­ла­на – Мейера)**  
**Rice. 3. Dynamics of rhizogenesis (A) and develop­ment of the root system (B) of potato microplants on different nutrient media (Kaplan–Meier curves)**

Корни достигали дна пробирки в среднем к 21-м суткам на всех гормонсодержащих средах (рис. 3Б). Их рост был статистически значимо медленнее, чем на безгормональной среде, где это событие наступало у большинства микро­ра­стений к концу второй недели. При этом масса корневой системы на 49-е сутки была близка к значениям на контрольной среде на всех использованных вариантах сред (табл. 2). Средняя длина корней превышала контрольный вариант на средах И05Г1 и И15Г3. На среде И1Г2, как и в предыдущем эксперименте [1], различий по длине корней с безгормональной средой не выявлено. При использовании малых концентраций (менее 0,5 мг/л) ауксина НУК и ГКЗ [12] увеличение концентрации фитогормонов в 2 раза, с 0,2 мг/л ГКЗ и 0,02 мг/л НУК до 0,4 мг/л ГКЗ и 0,04 мг/л НУК, при сохранении соотношения 1:10, снижало сырую массу побегов и число междоузлий. Возможно, стимулирующий эффект фитогормонов имеет нелинейную зависимость от их концентрации. Соотношение фитогормонов является еще одним важным фактором.

**Таблица 2. Морфометрические параметры микро­ра­стений на 49-е сутки куль­ти­ви­рования**  
**Table 2. Morphometric parameters of microplants on the 49th day of cultivation**

Питательная среда	Масса микро­ра­стения, мг (ср.±ст.ош.)	Масса корней, мг (ср.±ст.ош.)	Длина корней, мм (ср.±ст.ош.)	Масса стебля, мг (медиана[25/75])	Длина стебля, мм (медиана [25/75])
И05Г1	216,0±13,7 <sup>бв</sup>	93,3±8,26 <sup>аб</sup>	110,5±3,76 <sup>а</sup>	116,0 [86,0/148,0] <sup>абв</sup>	85,0 [74,0/100,0] <sup>бв</sup>
И05Г2	205,7±15,5 <sup>бв</sup>	94,3±8,32 <sup>аб</sup>	102,6±3,15 <sup>аб</sup>	98,5 [76,0/143,0] <sup>а</sup>	75,0 [55,0/85,0] <sup>аб</sup>
И1Г2	265,8±19,1 <sup>ав</sup>	94,5±10,6 <sup>аб</sup>	98,0±4,88 <sup>аб</sup>	167,0 [109,0/229,0] <sup>бв</sup>	116,0 [88,0/130,0] <sup>в</sup>
И15Г3	304,3±26,1 <sup>а</sup>	121,8±12,2 <sup>а</sup>	115,5±4,96 <sup>а</sup>	175,0 [119,0/217,0] <sup>б</sup>	108,0 [88,0/140,0] <sup>в</sup>
Г3	200,5±15,2 <sup>бв</sup>	75,7±8,76 <sup>б</sup>	92,1±4,78 <sup>б</sup>	113,0 [96,0/147,0] <sup>абв</sup>	90,0 [78,0/100,0] <sup>в</sup>
Контроль	181,1±11,8 <sup>б</sup>	87,6±7,13 <sup>аб</sup>	88,6±4,34 <sup>б</sup>	83,5 [67,0/114,5] <sup>а</sup>	58,5 [50,0/69,5] <sup>а</sup>

Примечание: одинаковыми буквами отмечены значения, не отличающиеся при  $p < 0,05$ .

Микро­ра­стения с максимальной массой сформировались на среде И15Г3. Близкую массу имели образцы на среде И1Г2 (см. табл. 2). Обе среды обеспечивали формирование растений статистически значимо с большей массой, чем на среде без фитогормонов. Наиболее близкое к зафиксированному на среде МС без гормонов значение массы растений и стеблей, а также их длины отмечено на среде с соотношением фитогормонов 1:4. Моносреда с ГКЗ обеспечивала





минимальный набор массы корневой системы, вероятно, за счет малой длины корней (см. табл. 2). Таким образом, можно говорить о тенденции увеличения массы и длины стеблей в ряду сред Контроль – Г3 – И05Г2 – И05Г1 – И1Г2 – И15Г3. Минимальные значения были зафиксированы на безгормональной среде.

Использованное соотношение 1:4 при уровнях фитогормонов, равных задействованным и в других исследованных средах, оказывало минимальное влияние на рост и развитие микрорастений. Аналогично, в работе [4], показано формирование максимального числа междоузлий, длины корней и стеблей на среде с 1 мг/л НУК (ауксин) и 2 мг/л ГКЗ. В то время как сочетание 1 мг/л НУК и 4 мг/л ГКЗ оказывало ингибирующий эффект на параметры культуры. По итоговой длине стеблей среда И05Г2 была единственным вариантом, не отличающимся от контроля.

**Заключение.** Исследования показали, что число междоузлий увеличивалось под влиянием повышения концентрации ИУК и ГКЗ при сохранении соотношения 1:2. Близкую эффективность в отношении этого параметра демонстрировала высокая концентрация ГКЗ (3 мг/л) в моногормональной среде вплоть до 35 суток. Однако большая масса органов на среде И1Г2 при близких их линейных размерах к полученным на среде И15Г3 свидетельствует о более сформированном габитусе и большей толщине, например, побегов. Это способствует быстрой акклиматизации при пассировании черенка на следующую среду. Уже к 28-м суткам эти среды обеспечили увеличение в сравнении с безгормональной средой числа междоузлий на 17 и 29 % соответственно, итоговой массы растений в 1,5 раза, массы стеблей – в 2 раза.

Учитывая, что статистически значимые различия для данных сред показаны только для параметров скорости инициации ризогенеза и каллусогенеза эффективнее будет использовать для массового клонирования среду с меньшей концентрацией гормонов – И1Г2.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки Российской Федерации в рамках Государственного задания № FWES-2023-0012.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луговцова С. Ю., Ступко В. Ю., Помыткин Н. С. Концентрации ауксинов и гиббереллиновой кислоты как факторы эффективности микрклонального размножения картофеля // Роль аграрной науки в обеспечении продовольственной безопасности Сибири: материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Красноярск. 2022. С. 158–162. DOI: 10.52686/9785604525029\_158.
2. Ходаева В. П., Куликова В. И. Размножение сортов картофеля в культуре in vitro на различных питательных средах // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 10. С. 66–68.
3. Bostan H., Demirel E. Obtaining PVX, PVY and PLRV-free micro tuber from Granola, Pasinler 92 and Casper potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars // Pak. J. Biol. Sci. 2004. Vol. 7. P. 1135–1139.
4. Effect of combined growth regulators on in vitro multiplication of recalcitrant potato varieties / M. Cioloca et al. // Romanian Agricultural Research. 2021. No. 38. P. 109–116.
5. Farhatullah Z. A., Abbas J. S. In vitro effects of gibberellic acid on morphogenesis of potato explant // Int. J. Agri. Biol. 2007. Vol. 9. P. 181–182.
6. Cardoso J. C., Sheng G. L.T., da Silva J. A. T. Micropropagation in the Twenty-First Century // Plant Cell Culture Protocols, 4th edition: Methods in Molecular Biology. Vol. 1815. New York: Humana Press; 2018. P. 17–46.
7. Crosstalk between auxin and gibberellin during stalk elongation in flowering Chinese cabbage / E. Kou et al. // Sci. Rep. 2021. Vol. 11. Article ID 3976. DOI: 10.1038/s41598-021-83519-z.
8. Ghaffoor A., Shah G.-B., Waseem K. In vitro response of potato (*Solanum tuberosum* L.) to various growth regulators. Biotechnology. 2003;2:191–197.
9. Hussey G., Stacey N. J. In vitro propagation of potato (*Solanum tuberosum* L.) // Annals of Botany. 1981. Vol. 48. P. 787–796.
10. Kumlay A. M. Combination of the Auxins NAA, IBA, and IAA with GA3 Improves the Commercial Seed-Tuber Production of Potato (*Solanum tuberosum* L.) under In Vitro Conditions // BioMed Research International. 2014. Vol. 2014. Article ID 439259. DOI: 10.1155/2014/439259.
11. Kumlay A. M., Kaya C., Yildirim B. Different Plant Growth Regulators on Improvement of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Micropropagation // J. Inst. Sci. Technol. 2021. Vol. 11. P. 1603–1615. DOI: 10.21597/jist.873537.

12. Meenakshi, Singh V., Jain D. K. Effect of growth regulators (GA3 and NAA) on growth and development of microplant of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties Kufri Bahar and Kufri Surya // *Biotech Today An International Journal of Biological Sciences*. 2016. Vol. 6. P. 54–57. DOI: 10.5958/2322-0996.2016.00026.0

13. Priyadarshani P. M., Batra V. K. Tissue Culture of Potato (*Solanum tuberosum* L.): A review // *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*. 2017. Vol. 6. P. 489–495. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.604.058.

## REFERENCES

1. Lugovtsova S. Yu., Stupko V. Yu., Pomytkin N. S. Auxin and gibberellic acid concentrations as efficiency factors for potato micropropagation. The role of agrarian science in ensuring the food security of Siberia: materials of the All-Russian conference with international participation. Krasnoyarsk; 2022. P. 158–162. (In Russ.). DOI: 10.52686/9785604525029\_158.

2. Khodaeva V. P., Kulikova I. V. Reproduction of potato cultivars in vitro on different nutrient media. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2016;10(30):66–68. (In Russ.).

3. Bostan H., Demirel E. Obtaining PVX, PVY and PLRV-free micro tuber from Granola, Pasinler 92 and Casper potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. *Pak. J. Biol. Sci.* 2004;7:1135–1139.

4. Effect of combined growth regulators on in vitro multiplication of recalcitrant potato varieties / M. Cioloca et al. *Romanian Agricultural Research*. 2021;(38):109–116.

5. Farhatullah Z. A., Abbas J. S. In vitro effects of gibberellic acid on morphogenesis of potato explant. *Int. J. Agri. Biol.* 2007;9:181–182.

6. Cardoso J. C., Sheng G. L.T., da Silva J. A. T. Micropropagation in the Twenty-First Century. In: *Plant Cell Culture Protocols, 4th edition: Methods in Molecular Biology*. Vol. 1815. New York: Humana Press; 2018. P. 17–46.

7. Crosstalk between auxin and gibberellin during stalk elongation in flowering Chinese cabbage / E. Kou et al. *Sci. Rep.* 2021;11:3976. DOI: 10.1038/s41598-021-83519-z.

8. Ghaffoor A., Shah G.-B., Waseem K. In vitro response of potato (*Solanum tuberosum* L.) to various growth regulators. *Biotechnology*. 2003;2:191–197.

9. Hussey G., Stacey N. J. In vitro propagation of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Annals of Botany*. 1981;48:787–796.

10. Kumlay A. M. Combination of the Auxins NAA, IBA, and IAA with GA3 Improves the Commercial Seed-Tuber Production of Potato (*Solanum tuberosum* L.) under In Vitro Conditions. *BioMed Research International*. 2014;2014:439259. DOI: 10.1155/2014/439259.

11. Kumlay A. M., Kaya C., Yildirim B. Different Plant Growth Regulators on Improvement of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Micropropagation. *J. Inst. Sci. Technol.* 2021;11:1603–1615. DOI: 10.21597/jist.873537.

12. Meenakshi, Singh V., Jain D. K. Effect of growth regulators (GA3 and NAA) on growth and development of microplant of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties Kufri Bahar and Kufri Surya. *Biotech Today An International Journal of Biological Sciences*. 2016;6:54–57. DOI: 10.5958/2322-0996.2016.00026.0.

13. Priyadarshani P. M., Batra V. K. Tissue Culture of Potato (*Solanum tuberosum* L.): A review. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*. 2017;6:489–495. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.604.058.

Статья поступила в редакцию 16.06.2023; одобрена после рецензирования 25.07.2023; принята к публикации 31.07.2023.

The article was submitted 16.06.2023; approved after reviewing 25.07.2023; accepted for publication 31.07.2023.

