

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕГО ПРЕПАРАТА НА МОРФОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ *IN VITRO*

Научная статья

Уромова И.П.<sup>1,\*</sup>, Козлов А.<sup>2</sup>, Штырлина О.В.<sup>3</sup>, Семерикова М.<sup>4</sup><sup>1</sup> ORCID : 0000-0003-1000-3603;<sup>2</sup> ORCID : 0000-0003-3034-6566;<sup>1,3</sup> Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина, Нижний Новгород, Российская Федерация<sup>2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация<sup>4</sup> ООО "Элитхоз", Нижний Новгород, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (uromova2012[at]yandex.ru)

**Аннотация**

В лабораторном опыте изучено влияние кремнийсодержащего препарата Мивал-агро на морфолого-физиологические показатели растений раннего сорта Винета в условиях *in vitro*. В опыте установлено увеличение исследуемых морфологических параметров, таких как высота растений (на 18,5%), количество междоузлий (на 15,6%), длина корней (на 45,7%) и площадь листьев (на 52,9%), по сравнению с контролем. Выявлено также, что содержание хлорофилла *a* было выше, чем в контрольном варианте на 31,4%. Однако содержание хлорофилла *b* увеличилось незначительно, по сравнению с контролем (на 2,9%). Содержание каротиноидов в листьях опытного варианта оказалось меньше, чем в контроле (на 17,4%). Таким образом, добавление кремнийсодержащего препарата Мивал-агро в дозе 0,5 мг/л в питательную среду Мурасиге-Скуга в условиях *in vitro* обеспечивает получение качественного посадочного материала и увеличивает коэффициент размножения в культуре *in vitro*, что особенно актуально и перспективно на данный момент времени.

**Ключевые слова:** картофель, *in vitro*, Мивал-агро, биометрические показатели, фотосинтетические пигменты.

INFLUENCE OF A SILICA-CONTAINING DRUG ON THE MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF POTATO PLANTS UNDER *IN VITRO* CONDITIONS

Research article

Uromova I.P.<sup>1,\*</sup>, Kozlov A.<sup>2</sup>, Shtirlina O.<sup>3</sup>, Semerikova M.<sup>4</sup><sup>1</sup> ORCID : 0000-0003-1000-3603;<sup>2</sup> ORCID : 0000-0003-3034-6566;<sup>1,3</sup> Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation<sup>2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation<sup>4</sup> LLC "Elithoz", Nizhny Novgorod, Russian Federation

\* Corresponding author (uromova2012[at]yandex.ru)

**Abstract**

In a laboratory experiment, the effect of the silica-containing preparation Mival-agro on the morphological and physiological parameters of plants of early cultivar Vineta under *in vitro* conditions was studied. The following morphological parameters were increased in the experiment: plant height (by 18,5%), number of internodes (by 15,6%), root length (by 45,7%) and leaf area (by 52,9%) compared to control. It was also found that chlorophyll *a* content was 31.4% higher than in the control variant. However, the content of chlorophyll *b* increased slightly, compared with the control (by 2,9%). The content of carotenoids in the leaves of the experimental variant was lower than in the control (by 17,4%). Thus, the addition of the silicon-containing preparation Mival-agro at a dose of 0.5 mg/l into the Murasige-Scuga nutrient medium under *in vitro* conditions provides high-quality planting material and increases the multiplication factor of *in vitro* culture, which is particularly relevant and promising at this time.

**Keywords:** potatoes, *in vitro*, Mival-agro, biometrics, photosynthetic pigments.

**Введение**

Одной из главных задач размножения микрорастений картофеля в условиях *in vitro* является получение максимального количества эксплантов для дальнейшего размножения культуры. Существенное влияние на органогенез оздоровленного материала картофеля оказывает состав питательной среды [1], [13], [7]. В данном случае, условия *in vitro* представляют собой адекватную биологическую модель для изучения влияния регуляторов роста с точки зрения морфологических и физиологических параметров растения, что в дальнейшем отражается на урожае и его качестве в закрытом или открытом грунте.

Регуляторы роста – это вещества, как правило, органического происхождения, которые в низких концентрациях способны регулировать морфолого-физиологические параметры. Данные изменения в дальнейшем способны стимулировать выработку у растений собственного иммунитета, который проявляется в индукции устойчивости к различным неблагоприятным факторам.

К регуляторам роста относится кремнийсодержащий препарат Мивал-агро, действующим веществом которого является кремний – органическое соединение, состоящее из двух компонентов – силатранов и фитогормона из группы ауксинов. Механизм действия препарата Мивал-агро состоит в том, что Мивал (аналог гетероауксина) индуцирует

ростовые процессы в клетках и тканях растений, а силатраны регулируют процессы обмена веществ и нормализуют внутриклеточный транспорт питательных элементов. Данный механизм, по мнению некоторых исследователей [6], обеспечивает получение качественного посадочного материала и увеличивает коэффициент размножения в культуре *in vitro*, что особенно актуально и перспективно на данный момент времени. Исходя из данного положения, цель исследования состоит в изучении влияния Мивал-агро на морфолого-физиологические показатели растений картофеля в условиях *in vitro*. Для выполнения цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) изучить влияние Мивал-агро на биометрические показатели меристемных растений *in vitro*;
- 2) изучить влияние Мивал-агро на фотосинтетические показатели меристемных растений *in vitro*.

#### Методы и принципы исследования

Исследования проводились в лаборатории биотехнологии предприятия «Элитхоз» в Нижегородской области и лаборатории физиологии растений и сельского хозяйства кафедры БХЭиМО НГПУ им. К. Минина в 2022 г.

В лабораторном опыте использовали оздоровленный меристемный материал картофеля сорта Винета, ранней группы спелости, немецкой селекции (Europlant Pflanzenzucht GmbH).

Схема опыта включала следующие варианты: 1 (контроль) – стандартная питательная среда Мурасиге и Скуга (Murashige, Skoog, 1962) (МС); 2 – МС + Мивал-агро (0,05 мг/л).

Морфо-биометрические параметры (высоту растений, число междоузлий) определяли на 7, 14 и 21 день, длину корней на 21 день культивирования микрорастений [9]. Площадь листовой поверхности определяли на 21 день культивирования математическим методом [8]. Фотосинтетические пигменты из листьев меристемных растений картофеля определяли на 21 день культивирования [10], [15].

Оптическую плотность фотосинтетических пигментов определяли на спектрофотометре ПЭ-5400В. Фотосинтетические пигменты определяли в 70% этиловом спирте с длинами волн для хлорофилла *a* – 665 нм, для хлорофилла *b* – 649 нм, для каротиноидов – 441,5 нм в 10-кратной повторности.

Концентрации хлорофиллов в вытяжке рассчитывали по формуле Вернона, каротиноидов по формуле Веттштейна [10], [15]. Количественное содержание (мг/л) рассчитывали по формуле:  $A = V \cdot C / 1000 \cdot P$ , где *C* – концентрация пигментов, мг/л; *V* – объем вытяжки, мл; *P* – навеска материала, г.

Полученные результаты обрабатывались статистически с использованием компьютерных программ Microsoft Excel [9].

#### Основные результаты и обсуждение

В данном исследовании препарат Мивал-агро в концентрации 0,05 мг/л способствовал увеличению биометрических показателей меристемных растений сорта Винета (таблица 1).

Таблица 1 - Влияние препарата Мивал-агро на биометрические показатели растений сорта Винета в условиях *in vitro* 2022 г.

Вариант	Высота растений, мм			Количество междоузлий, шт			Длина корней, мм	Листовая площадь, см <sup>2</sup>
	7 день	14 день	21 день	7 день	14 день	21 день		
Контроль (МС)	23,6	44,4	64,3	2,6	4,03	6,4	20,1	2,19
МС+Мивал-агро (0,05 мг/л)	23,8	47,1	76,2	2,7	5,53	7,4	29,3	3,35
НСР <sub>0,5</sub>	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3

Наблюдения за процессом морфогенеза показали, что при добавлении препарата Мивал-агро в питательную среду способствовало увеличению высоты растений по дням фиксирования незначительно, в пределах ошибки опыта, в сравнении с контрольным вариантом. Только к 21 дню культивирования расхождение по высоте между контрольным вариантом и опытным достоверно увеличилось на 18,5%.

Наибольшее число междоузлий сформировали растения на 21 день развития. Достоверная прибавка от применения препарата составила 15,6%. В этом случае важно отметить, что в процессе пассирования растений желательно получить большее количество эксплантов с более длинными междоузлиями для дальнейшего размножения. В опыте экспланты имели одинаковый размер междоузлий.

Препарат Мивал-агро оказал значительное влияние на ассимиляционную поверхность листьев картофеля *in vitro*. Данный биометрический показатель является очень важным, так как отдельные сегменты растений при последующем черенковании, не имея сформированных корней, фотосинтезируют за счет имеющегося листового аппарата [3], [14]. Поэтому растения с большей листовой поверхностью быстрее адаптируются к новым условиям. После образования корней экспланты начинают получать дополнительное питание, в виде углерода из сахарозы. Наибольшая поверхность листьев отмечена на среде с Мивал-агро, ее площадь увеличилась на 52,9%, по сравнению с контрольным вариантом.

В ходе эксперимента отмечено, что микрочеренки, имеющие большую листовую поверхность формируют более длинные корни, что способствует образованию более развитой корневой системы. Наибольшая длина корней отмечена в опытном варианте. Превышение составило 45,7%, в сравнении с контролем. По мнению некоторых авторов [11], [12], развитая корневая система играет значительную роль в процессе адаптации меристемных растений при посадке в

закрытый грунт, поэтому можно рекомендовать добавление в питательную среду кремнийсодержащего препарата Мива-агро в дозе 0,05 мг/л на последнем этапе черенкования.

Одним из значимых физиологических параметров является, содержание пигментов в листьях микрорастений.

Результаты по оценке содержания пигментов из листьев растений картофеля в условиях *in vitro*, представлены на рисунке 1.

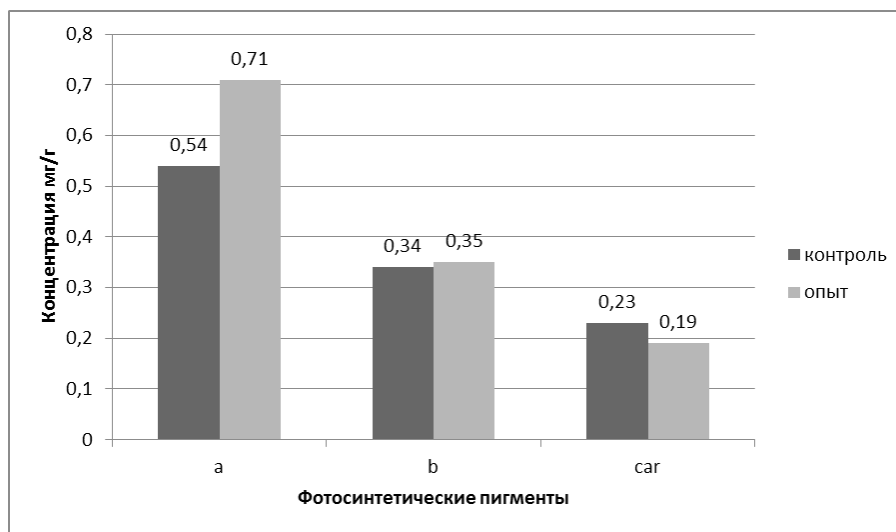


Рисунок 1 - Влияние препарата Мивал-агро на фотосинтетические пигменты растений сорта Винета в условиях *in vitro*

В опытном варианте содержание хлорофилла *a* было выше, чем в контрольном варианте на 31,4%. Однако, содержание хлорофилла *b* увеличилось незначительно, по сравнению с контролем (на 2,9%), но выявленные отличия были несущественными. Содержание каротиноидов в листьях опытного варианта оказалось меньше, чем в контроле (на 17,4%).

Известно [2], что состав пигментного комплекса отражает способность растений картофеля к фотосинтезу. Однако, в условиях *in vitro*, особенно в первый период после черенкования растения получают питательные вещества, чаще всего, из питательной среды, так как для них характерен гетеротрофный тип питания. Следовательно, использование регуляторов роста в питательной среде вызывает изменения в пигментном составе, которые приводят к корректировке фотосинтеза. Есть мнение [4], что значительное содержание хлорофилла *a* и отношение *a/b* свидетельствует о высоком фотосинтетическом потенциале картофеля, который отражается соотношением 2:1 или 3:1.

В опыте на контрольном варианте отмечена диспропорция в соотношении хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* (< 2), а в опытном варианте это соотношение больше 2.

Таким образом, более высокое содержание хлорофиллов обеспечивает высокую пластичность растений и более активный рост на питательной среде и, следовательно, больший коэффициент размножения.

#### Заключение

Применение кремнийорганического препарата Мивал-агро вызывает увеличение морфолого-биометрических параметров, таких как высота растений (на 18,5%), количество междоузлий (на 15,6%), длина корней (на 45,7%) и площадь листьев (на 52,9%), по сравнению с контролем.

Установлено, что содержание хлорофилла *a* было выше, чем в контрольном варианте на 31,4%. Однако, содержание хлорофилла *b* увеличилось незначительно, по сравнению с контролем (на 2,9%), но выявленные отличия были несущественными. Содержание каротиноидов в листьях опытного варианта оказалось меньше, чем в контроле (на 17,4%).

Таким образом, добавление кремнийсодержащего препарата Мивал-агро в дозе 0,5 мг/л в питательную среду Мурасиге-Скуга в условиях *in vitro* обеспечивает получение качественного посадочного материала и увеличивает коэффициент размножения в культуре *in vitro*, что особенно актуально и перспективно на данный момент времени.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

#### Список литературы / References

1. Артюхова С.И. Модификация питательной среды с использованием биотехнологических методов микроклонального размножения картофеля для культивирования в Омской области / С.И. Артюхова, И.В. Киргизова // Омский научный вестник. — 2014. — № 2. — С.188.

2. Астахов Н.В. Длительное микроклональное размножение растений картофеля изменяет морфометрические характеристики хлоропластов / Н.В. Астахов, А.Н. Дерябин, М.С. Синькевич и др. // Материалы II Всеросс. научно-практ. конф. «Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира. Волгоград. — 2010. — С. 21.
3. Бутенко Р.Г. Некоторые физиологические проблемы при культивировании *in vitro* картофеля / Р.Г. Бутенко // Регуляция роста и развития картофеля. — М.: Наука, 1990. — С. 88-97.
4. Гончарик М.Н. Хлоропласты и содержание пигментов / М.Н. Гончарик, С.С. Кручинина // Физиология сельскохозяйственных растений. — М.: Изд-во МГУ, 1971. — Т. 12. — С. 108.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. — М.: ИД Альянс, 2011. — С. 165-202.
6. Козлов А.В. Влияние кремнийсодержащих стимуляторов роста на биологическую продуктивность и показатели качества озимой пшеницы и картофеля / А.В. Козлов, И.П. Уромова, А.Х. Куликова // Вестник Минского университета. — 2016. — №1-1(13). — С. 31.
7. Лебедева Н.В. Применение витаминов при ускоренном размножении картофеля / Н.В. Лебедева, Ю.Н. Федорова // Вестник российского государственного аграрного заочного университета. — 2014. — С. 15-17.
8. Марковская Е.Ф. Математический метод определения некоторых биометрических показателей у растений / Е.Ф. Марковская, М.И. Сысоева, С.А. Трофимова [и др.] — Петрозаводск, 1988. — 35 с.
9. Методика исследований по культуре картофеля. — М.: НИИКХ, 1967. — 167 с.
10. Трифонов С.В. Определение содержания основных пигментов фотосинтетического аппарата в листьях высших растениях: методические указания / С.В. Трифонов. — Красноярск. — 2011. — С. 13.
11. Уромова И.П. Влияние brassinosterоидов на продуктивность микрорастений картофеля в защищенном грунте / И.П. Уромова, Т.Г. Грибановская // Вестник Минского университета. — 2015. — № 2 (10). — С. 24.
12. Уромова И.П. Агробиологическое и экологическое обоснование приемов возделывания картофеля, полученного методом апикальной меристемы, в условиях Волго-Вятского региона: дисс. на соискание ученой степени докт. с.-х. наук / И.П. Уромова. — Брянская государственная сельскохозяйственная академия, Нижний Новгород, 2009. — С. 118.
13. Ходаева В.П. Размножение сортов картофеля в культуре *in vitro* на различных питательных средах / В.П. Ходаева, В.И. Куликова // Достижения науки и техники АПК. — 2016. — Т. 30. — № 10. — С. 66.
14. Чайлахян М.Х. Механизм клубнеобразования у растений / М.Х. Чайлахян // Регуляция роста и развития картофеля. — М.: Наука. — 1990. — С. 48-62.
15. Шлык А.А. Содержание хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А.А. Шлык // Биохимические методы в физиологии растений // под ред. О.А. Павлиновой. — М.: Наука, 1971. — С. 154-170.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Artyukhova S.I. Modifikaciya pitatel'noj sredy s ispol'zovaniem biotekhnologicheskikh metodov mikroklonal'nogo razmnozheniya kartofelya dlya kul'tivirovaniya v Omskoj oblasti [Modification of the Nutrient Medium Using Biotechnological Methods of Microclonal Reproduction of Potatoes for Cultivation in the Omsk Region] / S.I. Artyukhova, I.V. Kirgizova // Omskij nauchnyj vestnik [Omsk Scientific Bulletin]. — 2014. — No. 2. — p. 188 [in Russian].
2. Astakhov N.V. Dlitel'noe mikroklonal'noe razmnozhenie rastenij kartofelya izmenyaet morfometricheskie harakteristiki hloroplastov [Prolonged Microclonal Reproduction of Potato Plants Changes Morphometric Characteristics of Chloroplasts] / N.V. Astakhov, A.N. Deryabin, M.S. Sinkevich [et al.] // Materialy II Vseross. nauchno-prakt. konf. «Biotekhnologiya kak instrument sohraneniya bioraznoobraziya rastitel'nogo mira [Materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference. "Biotechnology as a Tool for Preserving the Biodiversity of the Plant World". Volgograd. — 2010. — p. 21 [in Russian].
3. Butenko R.G. Nekotorye fiziologicheskie problemy pri kul'tivirovanii *in vitro* kartofelya [Some Physiological Problems in the Cultivation of Potatoes in Vitro] / R.G. Butenko // Regulyaciya rosta i razvitiya kartofelya [Regulation of Potato Growth and Development]. — М.: Nauka, 1990. — p. 88-97 [in Russian].
4. Goncharik M.N. Hloroplasty i sodержanie pigmentov [Chloroplasts and the Content of Pigments] / M.N. Goncharik, S.S. Kruchinina // Fiziologiya sel'skohozyajstvennyh rastenij [Physiology of Agricultural Plants]. — Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1971. — Vol.12. — P. 108 [in Russian].
5. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of Field Experience (with the basics of statistical processing of research results)] / B.A. Dospekhov. — М.: Alliance Publishing House, 2011. — p. 165-202 [in Russian].
6. Kozlov A.V. Vliyanie kremnijsoderzhashchih stimulyatorov rosta na biologicheskuyu produktivnost' i pokazateli kachestva ozimoy pshenicy i kartofelya [Influence of Silicon-containing Growth Stimulants on Biological Productivity and Quality Indicators of Winter Wheat and Potatoes] / A.V. Kozlov, I.P. Uromova, A.H. Kulikova // Vestnik Minskogo universiteta [Bulletin of Minsk University]. — 2016. — №1-1(13). — p. 31 [in Russian].
7. Lebedeva N.V. Primenenie vitaminov pri uskorennom razmnozhenii kartofelya [The Use of Vitamins in Accelerated Reproduction of Potatoes] / N.V. Lebedeva, Yu.N. Fedorova // Vestnik rossijskogo gosudarstvennogo agrarnogo zaocnogo universiteta [Bulletin of the Russian State Agrarian Correspondence University]. — 2014. — p. 15-17 [in Russian].
8. Markovskaya E.F. Matematicheskij metod opredeleniya nekotoryh biometricheskikh pokazatelej u rastenij [Mathematical Method for Determining Some Biometric Indicators in Plants] / E.F. Markovskaya, M.I. Sysoeva, S.A. Trofimova [et al.]. — Petrozavodsk, 1988. — 35 p. [in Russian]
9. Metodika issledovaniy po kul'ture kartofelya [Methods of Research on Potato Culture]. — М.: НИИХ, 1967. — 167 p. [in Russian]

10. Trifonov S.V. Opredelenie sodержaniya osnovnyh pigmentov fotosinteticheskogo apparata v list'yah vysshih rasteniyah: metodicheskie ukazaniya [Determination of the Content of the Main Pigments of the Photosynthetic Apparatus in the Leaves of Higher Plants: methodological guidelines] / S.V. Trifonov. — Krasnoyarsk. — 2011. — p. 13 [in Russian].
11. Uromova I.P. Vliyaniye brassinosteroidov na produktivnost' mikrorastenij kartofelya v zashchishchennom grunte [The Influence of Brassinosteroids on the Productivity of Potato Micro-plants in Protected Soil] / I.P. Uromova, T.G. Gribanovskaya // Vestnik Minskogo universiteta [Bulletin of Minsk University]. — 2015. — № 2 (10). — P. 24 [in Russian].
12. Uromova I.P. Agrobiologicheskoe i ekologicheskoe obosnovaniye priemov vozdeleyvaniya kartofelya, poluchennogo metodom apikal'noj meristemy, v usloviyah Volgo-Vyatskogo regiona [Agrobiological and Ecological Justification of Potato Cultivation Techniques Obtained by the Apical Meristem Method in the Conditions of the Volga-Vyatka Region]: dis. of PhD in Agricultural Sciences / I.P. Uromova. — Bryansk State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, 2009. — p. 118 [in Russian].
13. Khodaeva V.P. Razmnozheniye sortov kartofelya v kul'ture in vitro na razlichnyh pitatel'nyh sredah [Reproduction of Potato Varieties of Culture in Vitro on Various Nutrient Media] / V.P. Khodaeva, V.I. Kulikova // Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of Science and Technology of the Agro-industrial Complex]. — 2016. — Vol. 30. — No. 10. — p. 66. [in Russian]
14. Chailakhyan M.H. Mekhanizm klubneobrazovaniya u rastenij [Mechanism of Tuber Formation in Plants] / M.H. Chailakhyan // Regulyaciya rosta i razvitiya kartofelya [Regulation of Potato Growth and Development]. — M.: Nauka, 1990. — p. 48-62 [in Russian].
15. Shlyk A.A. Soderzhanie hlorofillov i karotinoidov v ekstraktah zelenyh list'ev [The Content of Chlorophylls and Carotenoids in Extracts of Green Leaves] / A.A. Shlyk // Biohimicheskie metody v fiziologii rastenij [Biochemical Methods in Plant Physiology] // Edited by O.A. Pavlinova. — M.: Nauka, 1971. — p. 154-170 [in Russian].