

3. Ozherel'eva Z.E., Prudnikov P.S., Zubkova M.I. i dr. Opre-
delenie morozostojkosti zemlyaniki sadovoj v kontroliruemyh
usloviyah. Orel, 2019. 25 s.
4. Prudnikov P.S., Ozherel'eva Z.E. Fiziologo-biohimicheskie
metody diagnostiki ustojchivosti plodovyh kul'tur k zasuhe i
gipertermii. Orel: VNIISPK, 2019. 46 s.
5. Turkina M.V., Sokolova C.B. Izuchenie membrannogo trans-
porta saharozy v rastitel'noj tkani // Fiziologiya rastenij. 1972.
T. 19. № 5. S. 912–919.
6. Ali O., Ramsubhag A., Jayaraman J. Biostimulant properties
of seaweed extracts in plants: implications towards sustainable
crop production // Plants. 2021. № 10.
<https://doi.org/10.3390/plants10030531>
7. Bulgari R., Franzoni G., Ferrante A. Biostimulants applica-
tion in horticultural crops under abiotic stress conditions // *Agronomy*. 2017. V. 9. № 6.
<https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>
8. Franzoni G., Bulgari R., Ferrante A. Maceration time affects
the efficacy of borage extracts as potential biostimulant on
rocket salad // *Agronomy*. 2021. № 11.
<https://doi.org/10.3390/agronomy1111218>.
9. Franzoni G., Cocetta G., Prinsi B. et al. Biostimulants on
crops: Their impact under abiotic stress conditions // *Horti-
culturae*. 2022. V. 8. № 3. 189.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae8030189>
10. Krasova N., Ozherelieva Z., Galasheva A. et al. Gene pool as-
sessment in terms of apple tree generative organs resistance of
different ploidy to spring frost // *E3S Web of Conferences*. 2020.
V. 176. 03017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017603017>
11. Lau S.E., Teo W.F.A., Teoh E.Y., Tan B.C. Microbiome engi-
neering and plant biostimulants for sustainable crop improve-
ment and mitigation of biotic and abiotic stresses // *Discover
Food*. 2022. № 2. <https://doi.org/10.1007/s44187-022-00009-5>
12. Ozherelieva Z., Prudnikov P., Nikitin A. et al. Adaptogenic
Preparations Enhance the Tolerance to Spring Frosts, Yield
and Quality of Apple Fruits // *Horticulturae*. 2023. V. 9.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae9050591>
13. Rouphael Y., De Micco V., Raimondi G. et al. Effect of Eck-
lonia maxima seaweed extract on yield, mineral composition,
gas exchange and leaf anatomy of zucchini squash grown under
saline conditions // *Journal of Applied Phycology*. 2017. V. 29.
P. 459–470. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0937-x>
14. Rouphael Y., Colla G. Editorial: Biostimulants in agricul-
ture // *Frontiers in Plant Science*. 2020. V. 11. № 40.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
15. Sangiorgio D., Cellini A., Donati I. et al. Facing climate change:
Application of microbial biostimulants to mitigate stress in hor-
ticultural crops // *Agronomy*. 2020. V. 10. № 6. 794.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10060794>
16. Zulfiqar F., Casadesús A., Brockman H., Munné-Bosch S.
An overview of plant-based natural biostimulants for sustain-
able horticulture with a particular focus on moringa leaf ex-
tracts // *Plant Science*. 2020. V. 295. 110194.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110194>

Поступила в редакцию 25.07.2024
Принята к публикации 08.08.2024

УДК 634.72:581.143.6

DOI: 10.31857/S2500208225010057, EDN: CTZWCM

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДИКИ КЛОНАЛЬНОГО МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ СМОРОДИНЫ КРАСНОЙ (*RIBES RUBRUM* L.) С УЧЕТОМ ГЕНОТИПИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ

Нелли Васильевна Ряго, аспирант

Татьяна Михайловна Хромова, кандидат биологических наук

Лариса Владимировна Ташматова, кандидат сельскохозяйственных наук

Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур,

д. Жилина, Орловская обл., Россия

E-mail: ryago@orel.vniispk.ru

Аннотация. В статье рассмотрена эффективность микроклонального размножения смородины красной в зависимости от срока изоляции меристем, генотипических особенностей сортов и органического состава питательной среды на различных этапах культивирования. Исследования проводили в 2022–2023 годах на базе лаборатории биотехнологии ФГБНУ ВНИИСПК. Объект изучения – сорта селекции ВНИИСПК (Валентиновка, Вика, Газель). Изоляцию меристем осуществляли в два периода – апрель и июнь. Испытаны три среды на основе макро- и микросолей Murashige – Skoog с добавлением 0,2 мг/л 6-БАП, 10 мг/л аскорбиновой кислоты, тройного содержания хелата железа и разного содержания витаминов: 1) B_1 (0,5 мг/л), B_6 (0,5 мг/л), PP (0,5 мг/л) (контроль, MS); 2) B_1 (0,1 мг/л), B_6 (0,5 мг/л), PP (0,5 мг/л) (MS₁); 3) B_1 (10,0 мг/л), B_6 (10,0 мг/л), PP (5,0 мг/л) (MS₂). Наиболее существенное влияние на результат введения в культуру *in vitro* оказали сроки изоляции эксплантов и соответствующие им климатические условия, а также генотипические особенности сортов. Более высокую приживаемость при введении в апреле имели экспланты сортов Газель и Вика. Летний период введения для всех изучаемых сортов характеризовался ростом доли некроза и заражения эксплантов, вплоть до их гибели (Валентиновка). Изменение концентрации витаминов не существенно помогло приживаемости эксплантов на этапе инициации в культуре *in vitro*, культивированию микрорастений смородины красной на питательных средах, содержащих 6-БАП 0,8 мг/л (MS₃) и 6-БАП 0,5 мг/л, ИМК 0,1 мг/л, ГК 0,1 мг/л (MS₄) – на коэффициент размножения. Добавление в состав питательной среды низких концентраций цитокининов, ауксинов и гибберелловой кислоты способствовало увеличению высоты микропобегов смородины красной Газель.

Ключевые слова: витамины, приживаемость, контаминация, некроз, сроки введения, стимулятор роста

OPTIMIZATION OF THE CLONAL MICROPROPAGATION METHODOLOGY ELEMENTS OF RED CURRANT (*RIBES RUBRUM* L.) TAKING INTO ACCOUNT GENOTYPIC FEATURES

N.V. Ryago, PhD Student

T.M. Khromova, PhD in Biological Sciences

L.V. Tashmatova, PhD in Agricultural Sciences

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina, Oryol region, Russia

E-mail: ryago@orel.vniispk.ru

Abstract. The purpose of the research is to study the effectiveness of microclonal reproduction of red currant depending on the period of isolation of meristems, genotypic characteristics of varieties and the organic composition of the nutrient medium at various stages of cultivation. The studies were conducted in 2022–2023 at the Biotechnology Laboratory of the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding. The following varieties bred by the Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding were selected as the objects of the research. Meristems were isolated in two periods: April and June. Three media were tested based on Murashige – Skoog macro- and microsalts with the addition of 0.2 mg/l 6-BAP, 10 mg/l ascorbic acid, triple iron chelate content and different vitamin content: 1) B₁ (0.5 mg/l), B₆ (0.5 mg/l), PP (0.5 mg/l) (control, MS); 2) B₁ (0.1 mg/l), B₆ (0.5 mg/l), PP (0.5 mg/l) (MS₁); 3) B₁ (10.0 mg/l), B₆ (10.0 mg/l), PP (5.0 mg/l) (MS₂). The most significant effect on the result of introduction into *in vitro* culture was exerted by the terms of explant isolation and the corresponding climatic conditions, as well as the genotypic characteristics of the varieties. Explants of the Gazel and Vika varieties had a higher survival rate when introduced in April. The summer period of introduction for all the studied varieties was characterized by an increase in the proportion of necrosis and infection of explants, up to their death (Valentinovka variety). Changing the concentration of vitamins did not have a significant effect on the survival rate of explants at the initiation stage in *in vitro* culture. Cultivation of red currant microplants on nutrient media containing 6-BAP 0.8 mg/l (MS₃) and 6-BAP 0.5 mg/l, IMC 0.1 mg/l, GA 0.1 mg/l (MS₄) did not have a significant effect on the multiplication coefficient. Addition of low concentrations of cytokinins, auxins and gibberellic acid to the nutrient medium contributed to an increase in the height of red currant microshoots of the Gazel variety.

Keywords: vitamins, survival rate, contamination, necrosis, timing of administration, growth stimulator

Производство конкурентоспособного посадочного материала сельскохозяйственных культур в промышленных масштабах затруднительно без применения метода микроклонального размножения. Успешность технологии связана с физиологическими особенностями исходного материала, генотипом, минеральным составом питательной среды, содержанием витаминов. [19]

Выбор срока введения в культуру *in vitro* остается открытым, поскольку нет единого мнения о том, какой период может обеспечить наиболее высокий процент выхода стерильных жизнеспособных растений. Важно учитывать сезонность ростовых процессов в растениях, поэтому стоит корректировать сроки извлечения меристем для каждого вида и сорта индивидуально. [1, 17] Для многих ягодных культур эффективная регенерация эксплантов отмечается при введении в фазе активного роста. [4, 15] Некоторые исследователи выбирают фазу вынужденного покоя со спящими почками или почки в осенний период, когда ростовые процессы замедляются. [6, 9, 10, 15]

Питательная среда служит основным источником минералов, витаминов и других компонентов для функционирования микрорастений в культуре *in vitro*. Асептическая изоляция и культивирование ограничивает пути получения нужных растениям нутриентов, поэтому культуральная среда должна включать все необходимое для полноценного развития экспланта.

Минеральную основу среды подбирают индивидуально для вида и сорта растения, по этой причине не стоит исключать влияние генотипа. Специфическая реакция на состав среды может быть связана с генетическим контролем метаболизма гормонов в растении. [17] Каждый вид имеет свой состав элементов, поэтому его можно использовать для подбора среды и перекрытия дефицита тех или иных соединений. [16] В качестве минеральной основы применяют среду по прописи Murashige-Skoog (MS) (1962), модифицируя ее в зависимости от этапа культивирования. Сравне-

ние среды MS с элементным составом побегов хорошо растущих растений показало низкое содержание катионов Ca²⁺, Cu²⁺, P⁵⁺, Mg²⁺ и высокое анионов Cl⁻ и Mo⁶⁺. Большое количество неорганического азота в данной питательной среде способствовало формированию органов микрорастения. Помимо среды MS, существуют опыты с применением других минеральных основ для культивирования *in vitro*: McCown (WPM) (1981), Anderson (1984), Lee и de Fossard, Quorin–Lepoivre (1977) и другие.

Приживаемость и рост эксплантов зависит не только от солевого состава питательной среды, но и регуляторов роста, в основном цитокинов и ауксинов. [2] Наиболее подходящие условия для получения высоких побегов смородины красной были созданы на MS с минеральным составом 1/2 концентрации и содержанием БАП 0,4 мг/л, ИМК 0,02 мг/л и ГК 0,2 мг/л. [19]

Преодолеть критические моменты при воспроизводстве микрорастений помогает использование биологически активных веществ. [8] Витамины вместе с другими составляющими среды влияют на онтогенез растения, включая образование корней, формирование и рост каллуса, способность адаптироваться к стрессовым условиям. [12, 18] Доказано, что витамины работают как индукторы устойчивости к болезням, что привлекает внимание производителей из-за безопасности и экономической эффективности при их применении. [13] Дефицит витаминов, передозировка или дисбаланс — проблема для растений. [20]

В исследованиях по микроклональному размножению нет точных данных о концентрации витаминов в среде, которая бы обеспечила эксплантам полноценное развитие. В большинстве опытов по культивированию *in vitro* в состав питательной среды вносят витамины группы В (B₁, B₆, B₈, B₁₂), аскорбиновую кислоту (витамин С), никотиновую кислоту (PP). [7, 11]

Цель работы — изучение эффективности микроклонального размножения смородины красной в за-

висимости от срока изоляции меристем, генотипических особенностей сортов и органического состава питательной среды на различных этапах культивирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2022–2023 годах согласно общепринятым методикам на базе лаборатории биотехнологии ВНИИ селекции плодовых культур (ВНИИСПК). [3, 6, 15]

Объект изучения – сорта смородины красной селекции ВНИИСПК (табл. 1).

Выводили в культуру *in vitro* в два периода – апрель и июнь. Характеристику климатических условий осуществляли с использованием данных метеонаблюдений с января 2022 года по декабрь 2023, полученных на метеорологической станции ВНИИСПК (рис. 1).

Исходный материал в весенний период (выход из покоя) – почки однолетних одревесневших побегов. Для стимуляции процесса выхода из состояния покоя побеги помещали в сосуд с водой и выдерживали при температуре 22...24°C до появления зеленого конуса. В летний период источниками эксплантов служили почки растущих зеленых побегов.

Перед введением в культуру *in vitro* была ступенчатая стерилизация растительного материала с применением ртути двухлористой (HgCl₂) в концентрации 0,1% с экспозицией 10 мин. [9]

Для культивирования полученных из почек меристематических верхушек использовали варианты питательной среды MS с разным соотношением биологических активных веществ, дополненные аскорбиновой кислотой (10 мг/л) и тройным количеством хелата железа:

1) этап инициации культуры: MS + 6-БАП (0,2 мг/л) + витамины B₁ (0,5 мг/л), B₆ (0,5 мг/л), PP (0,5 мг/л) – контроль (MS); MS₁ + 6-БАП (0,2 мг/л) + витамины B₁ (0,1 мг/л), B₆ (0,5 мг/л), PP (0,5 мг/л) (MS₁); MS₂ + 6-БАП (0,2 мг/л) + витамины B₁ (10,0 мг/л), B₆ (10,0 мг/л), PP (5,0 мг/л) (MS₂).

2) этап размножения: MS + 6-БАП 0,8 мг/л (MS₃); MS + 6-БАП 0,5 мг/л, ИМК 0,1мг/л, ГК 0,1мг/л (MS₄) (варианты сред на фоне витаминов B₁ (0,5 мг/л), B₆ (0,5 мг/л), PP (0,5 мг/л).

Степень влияния сорта, климатических условий периода введения на физиологическое состояние исходного материала, состава питательной среды на результативность инициации культуры *in vitro* оценивали с использованием коэффициента вариации показателя (CV): ≤ 10% – слабая вариабельность; при 10%...20% – средняя; более 20% – высокая. Для оценки уровня значимости показателя применяли t-критерий Стьюдента (Student's t-tests, T) при P ≤ 0,05. [4]

Результаты статистически обрабатывали с помощью компьютерной программы Microsoft Excel 2016.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Эффективность введения эксплантов в культуру *in vitro* определяется в большей степени сроками их получения. При изоляции меристем в апреле доля прижившихся эксплантов зависит от генотипических особенностей сорта и метеоусловий в период образования растительного материала. Число жизнеспособных эксплантов сортов среднераннего срока созревания (*Газель*, *Вика*) было больше, чем у позднего *Валентиновка*, что объясняется их более ранним выходом из состояния глубокого покоя (рис. 2).

Таблица 1.
Объекты исследования и их характеристика

Сорт	Происхождение	
	генетическое	видовое
Валентиновка	<i>Rote Spatlese</i> × <i>Jonkheer Van Tets</i>	<i>R. rubrum</i> L. <i>R. multiflorum</i> Kit.
Вика	<i>Чулковская</i> × <i>Red Lake</i>	<i>R. vulgare</i> Lam.
Газель	<i>Чулковская</i> × <i>Maarses Prominent</i>	<i>R. vulgare</i> Lam.

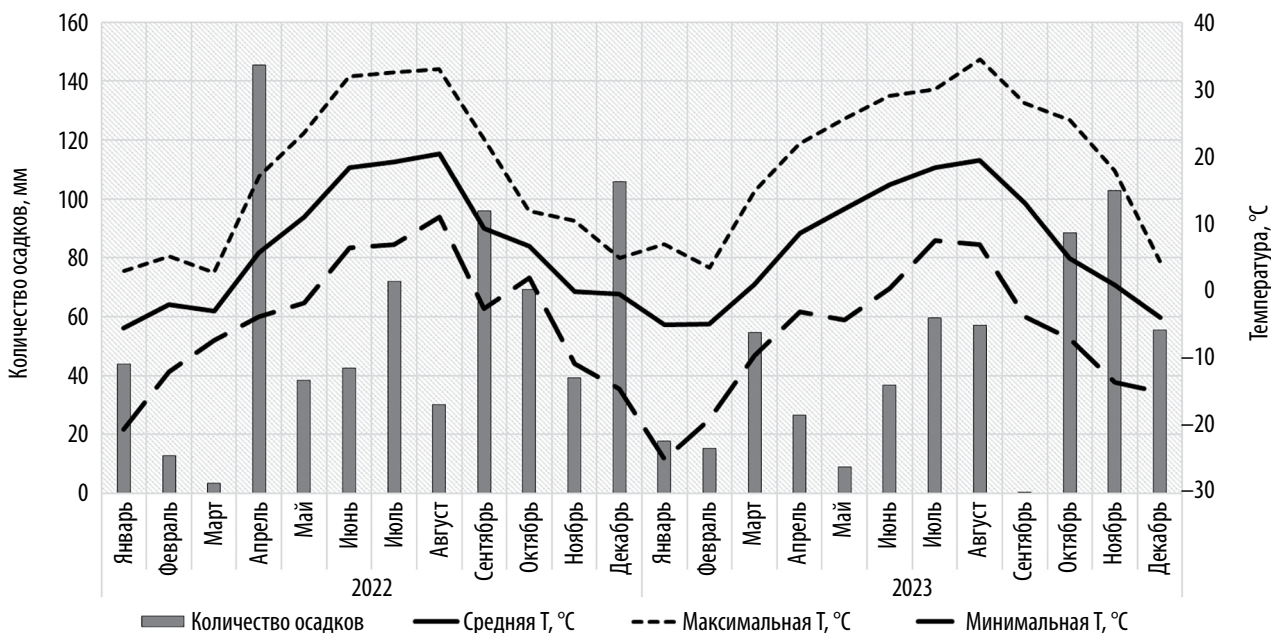


Рис. 1. Климатические условия в годы проведения исследований.

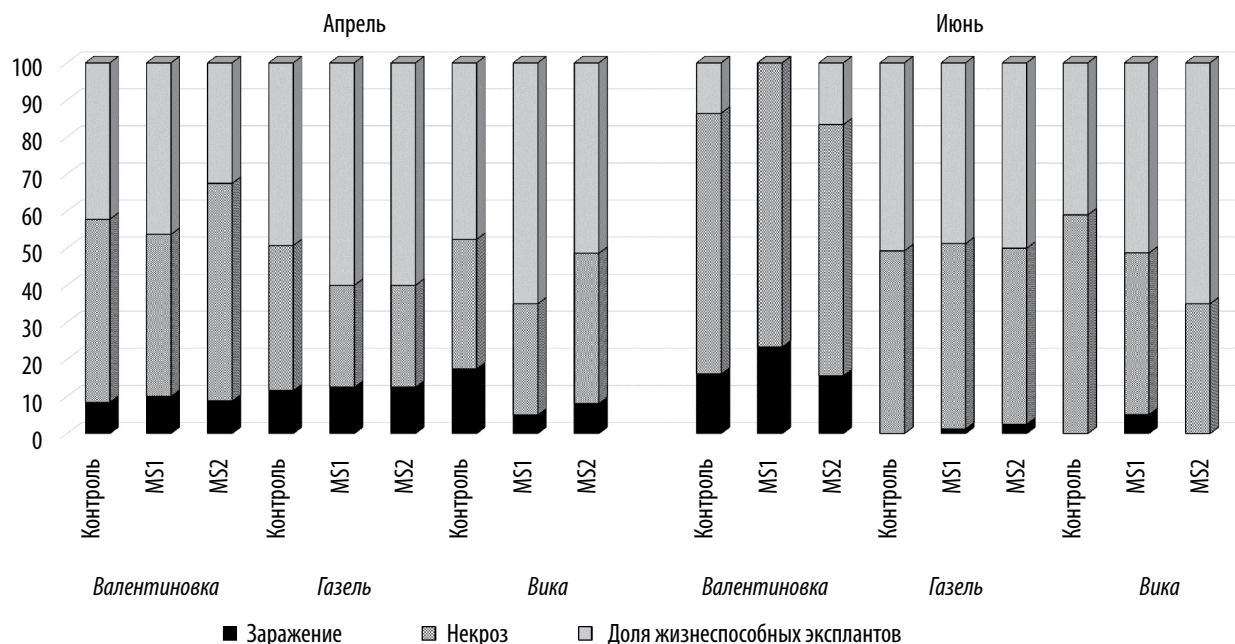


Рис. 2. Показатели жизнеспособности эксплантов смородины красной на этапе инициации культуры *in vitro*.

Таблица 2.

Показатели жизнеспособности эксплантов смородины красной на этапе инициации культуры

Год	Питательная среда	Показатели жизнеспособности (% общего числа введенных меристем)			Год	Питательная среда	Показатели жизнеспособности (% общего числа введенных меристем)		
		зараже- ние	некроз*	доля жизнеспособных эксплантов**			зараже- ние	некроз*	доля жизнеспособных эксплантов**
Апрель					Июнь				
Валентиновка					Валентиновка				
2022	MS (контроль)	5,41	78,38	16,22	2022	MS (контроль)	20,00	80,00	0
	MS ₁	17,50	55,00	27,50		MS ₁	30,00	70,00	0
	MS ₂	12,50	87,50	0		MS ₂	18,00	82,00	0
Газель					Газель				
	MS (контроль)	30,43	69,57	0		MS (контроль)	0	45,00	55,00
	MS ₁	20,00	22,50	57,50		MS ₁	0	45,00	55,00
	MS ₂	20,00	25,00	55,00		MS ₂	2,50	47,50	50,00
Вика					Вика				
	MS (контроль)	27,78	43,48	69,57		MS (контроль)	0	57,50	42,50
	MS ₁	—***	—	—		MS ₁	5,00	45,00	50,00
	MS ₂	14,71	12,50	60,00		MS ₂	0	25,00	75,00
Валентиновка					Валентиновка				
2023	MS (контроль)	10,87	26,09	63,04	2023	MS (контроль)	9,68	54,84	35,48
	MS ₁	2,50	32,50	65,00		MS ₁	15,00	85,00	0
	MS ₂	5,00	30,00	65,00		MS ₂	12,50	50,00	37,50
Газель					Газель				
	MS (контроль)	2,17	23,91	73,91		MS (контроль)	0	54,84	45,16
	MS ₁	5,00	32,50	62,50		MS ₁	2,50	55,00	42,50
	MS ₂	5,00	30,00	65,00		MS ₂	2,50	47,50	50,00
Вика					Вика				
	MS (контроль)	3,70	26,09	30,43		MS (контроль)	0,00	74,19	48,39
	MS ₁	5,00	30,00	65,00		MS ₁	5,26	40,00	50,00
	MS ₂	2,50	62,50	35,00		MS ₂	0	45,00	55,00
CV, Валентиновка		7,46	12,22	14,31	CV, Валентиновка		19,42	5,21	71,81
% Газель		3,50	17,47	8,96	% Газель		81,65	2,15	1,62
Вика		51,97	12,25	13,67	Вика		141,42	21,63	18,73
Т (для показателя 1)		T _{MSконтр.–MS1} = 1,1	T _{MSконтр.–MS2} = 0,1	T _{MS1–MS2} = 0,8	Т (для показателя 1)		T _{MSконтр.–MS1} = 0,2	T _{MSконтр.–MS2} = 0,5	T _{MS1–MS2} = 0,8
Т (для показателя 2)		T _{MSконтр.–MS1} = 1,8	T _{MSконтр.–MS2} = 0,9	T _{MS1–MS2} = 0,2	Т (для показателя 2)		T _{MSконтр.–MS1} = 0,1	T _{MSконтр.–MS2} = 0,5	T _{MS1–MS2} = 0,5

Примечание. * Показатель 1, ** Показатель 2, *** — нет данных.

Показатели приживаемости эксплантов сортов *Газель* и *Вика* по годам (43,66 и 67,46%, 57,14 и 50,47% соответственно) не имели достоверных отличий. Для *Валентиновки* более высокие положительные температуры в марте и плавный ход температур зимой 2023 года определили более ранний выход почек из состояния покоя и, как следствие, лучшую приживаемость меристем (64,29%), чем в 2022 (14,53%) (рис. 1). Дифференциация почек по цветочному типу и небольшие размеры меристем у всех сортов затруднили выделение меристематических верхушек и определили высокий процент погибших эксплантов.

В летний период приживаемость сортов *Газель* и *Вика* была ниже, чем весной. Существенного различия между показателями приживаемости меристем по годам (53,33 и 45,95%, 55,83 и 49,14% соответственно) при этом не отмечено. Приживаемость меристем сорта *Валентиновка* в 2023 году была низкой, в 2022 экспланты полностью погибли (рис. 2). Низкая приживаемость меристем при введении в культуру в июне связана с большой долей отмерших и зараженных побегов, что может быть вызвано более активным развитием сапрофитной микрофлоры в летний период и токсичным воздействием стерилизующего агента на ткани экспланта.

В исследованиях для культивирования полученных из почек меристематических верхушек использовали три варианта питательной среды с разным соотношением фитогормонов. Установлено, что изменение состава питательной среды не оказывало существенного влияния на приживаемость эксплантов на этапе инициации культуры *in vitro* (табл. 2). Таким образом, экспланты смородины красной неотзывчивы на изменения концентрации гормонов и для их культивирования при введении в культуру подходят все варианты питательной среды.

На этапе пролиферации было два варианта питательных сред (MS_3 , MS_4). Объект изучения — сорта *Газель* и *Вика*. В связи с гибелью большей части эксплантов сорта *Валентиновка* его исключили из опыта.

Отметили влияние генотипа на параметры развития эксплантов. Изменение гормонального состава питательной среды не оказало существенного влияния на пролиферативную активность эксплантов сорта *Вика*. Введение в питательную среду комплекса гормонов разной направленности действия и снижение концентрации цитокинина привело к снижению коэффициента размножения эксплантов сорта *Газель*, вместе с тем доля микрорастений высотой менее 5 мм снизилась почти в два раза. Количество микропобегов,

образующих дополнительные почки, уменьшилось в три раза, по сравнению со средой MS_3 (табл. 3).

Выводы. Из исследуемых факторов культивирования при введении в культуру *in vitro* смородины красной наиболее сильное воздействие оказывают сроки изоляции эксплантов и соответствующие им климатические условия, а также генотипические особенности сортов. Благоприятный период для изоляции меристем смородины красной — весна (апрель). Изменение состава питательной среды, в частности, концентрации витаминов, не сильно повлияло на приживаемость эксплантов на этапе введения в культуру *in vitro*. При микроразмножении проявлялась сортоспецифичная реакция на внесение в состав питательной среды цитокининов, ауксинов и гибберелловой кислоты в низких концентрациях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Бунцевич Л.Л., Беседина Е.Н., Костюк М.А., Макаркина М.В. Разработка составов питательных сред для интродукции в культуру *in vitro* эксплантов сортов малины и крыжовника // Плодоводство и виноградарство юга России. 2014. № 28(04). С. 46–55.
- Гусева К.Ю. Клональное микроразмножение смородины черной (*Ribes nigrum* L.) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2020. № 19 (2). С. 5–10. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2020064>
- Джигадло Е.Н., Джигадло М.И., Голышкина Л.В. Методические рекомендации по использованию биотехнологических методов в работе с плодовыми, ягодными и декоративными культурами. Орел: ВНИИСПК, 2005. 51 с.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) // М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- Кузьмина Т.И., Кузнецова А.П., Федорович С.В. Повышение экономической эффективности клонального микроразмножения плодовых культур путём оптимизации периода интродукции *in vitro* эксплантов // Вестник Университета Российской академии образования. 2020. № 5. С. 51–58.
- Кухарчик Н.В., Кастрицкая М.С., Семенов С.Э. и др. Размножение плодовых и ягодных растений в культуре *in vitro*. Минск: Беларуская навука, 2016. 208 с.
- Тимофеева С.Н., Смолькина Ю.В., Апанасова Н.В., Юдакова О.И. Технологии микроразмножения *in vitro*: учебно-методическое пособие. Саратов: СГУ имени Н.Г. Чернышевского, 2016. 38 с.
- Усков А.И. Воспроизводство оздоровленного исходного материала для семеноводства картофеля: 3. Размножение исходных растений // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 12. С. 17–20.
- Хромова Т.М., Ташматова Л.В., Мацнева О.В., Шахов В.В. Некоторые аспекты введения в культуру *in vitro* сортов смородины черной селекции ВНИИСПК // Вестник аграрной науки. 2020. № 4 (85). С. 31–36.
- Шахов В.В., Ташматова Л.В., Мацнева О.В. Сравнительная характеристика сроков введения эксплантов черной смородины (*Ribes nigrum* L.) в культуру *in vitro* // Современное садоводство. 2017. № 4 (24). С. 102–105.
- Abrahamian P., Kantharajah A. Effect of vitamins on *in vitro* organogenesis of plant // American journal of plant Sciences. 2011. Vol. 2. No. 05. P. 669–674. <https://doi.org/10.4236/ajps.2011.25080>
- Asensi-Fabado M.A., Munné-Bosch S. Vitamins in plants: occurrence, biosynthesis and antioxidant function // Trends in plant science. 2010. Vol. 15. No. 10. P. 582–592. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.07.003>

Таблица 3.
Результаты культивирования микропобегов сортов смородины красной на питательных средах с различным гормональным составом

Сорт	Коэффициент размножения		Число, %			
			пролиферирующих эксплантов		микропобегов менее 5 мм	
	MS_3	MS_4	MS_3	MS_4	MS_3	MS_4
<i>Газель</i>	$2,0 \pm 0,1$	$1,5 \pm 0,1$	90,0	27,2	88,0	42,8
<i>Вика</i>	$1,4 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,1$	31,0	25,4	77,8	76,4
НСР ₀₅	1,17	0,18	1,62	8,04	7,9	10,2
	$F_\phi < F_{0,5}$	$F_\phi < F_{0,5}$	$F_\phi > F_{0,5}$	$F_\phi < F_{0,5}$	$F_\phi > F_{0,5}$	$F_\phi > F_{0,5}$

13. Boubakri H., Gargouri M., Mliki A. et al. Vitamins for enhancing plant resistance // *Planta*. 2016. Vol. 244. P. 529–543. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2552-0>
14. Cárdenas M. J.S. Adaptación de protocolos de establecimiento in vitro de *Ribes rubrum* L., *Ribes nigrum* L. y *Ribes uva-crispa* L. Doctoral dissertation. Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2016. 41 p.
15. Dziedzic E., Jagła J. Micropropagation of *Rubus* and *Ribes* spp. // *Protocols for Micropropagation of Selected Economically-Important Horticultural Plants*. 2013. P. 149–160. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-074-8_11
16. George E.F., Hall M.A., Klerk G.J.D. The components of plant tissue culture media II: organic additions, osmotic and pH effects, and support systems. In *Plant propagation by tissue culture: vol. 1. The background*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2008. P. 115–173.
17. Isroilova S.J. Особенности микроклонального размножения плодовых культур в условиях in vitro // *Theoretical & Applied Science*. 2019. No. 5 (73). С. 531–535.
18. Pitzschke A., Fraundorfer A., Guggemos M., Fuchs N. Antioxidative responses during germination in quinoa grown in vitamin B-rich medium // *Food Science & Nutrition*. 2015. Vol. 3. No. 3. P. 242–251. <https://doi.org/10.1002/fsn3.211>
19. Ryago N.V. Features of micro clone reproduction of some currant representatives of the genus *Ribes* spp.: review // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023. Vol. 23. No. 10. P. 69–80. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-10-69-80>
20. Smith A.G., Croft M.T., Moulin M., Webb M.E. Plants need their vitamins too // *Current opinion in plant biology*. 2007. Vol. 10. No. 3. P. 266–275. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2007.04.009>
7. Timofeeva S.N., Smol'kina Yu.V., Apanasova N.V., Yudakova O.I. *Tekhnologii mikrorazmnozheniya in vitro: uchebno-metodicheskoe posobie*. Saratov: SGU imeni N. G. Chernyshevskogo, 2016. 38 s.
8. Uskov A.I. *Vosпроизводство ozdorovlennogo iskhodnogo materiala dlya semenovodstva kartofelya: 3. Razmnozhenie iskhodnyh rastenij* // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2009. № 12. S. 17–20.
9. Hromova T.M., Tashmatova L.V., Macneva O.V., Shahov V.V. Nekotorye aspekty vvedeniya v kul'turu in vitro sortov smorodiny chernoy selekcii VNIISPK // *Vestnik agrarnoy nauki*. 2020. № 4 (85). S. 31–36.
10. Shahov V.V., Tashmatova L.V., Macneva O.V. Sravnitel'naya harakteristika srokov vvedeniya eksplantov chernoy smorodiny (*Ribes nigrum* L.) v kul'turu in vitro // *Sovremennoe sadovodstvo*. 2017. № 4 (24). S. 102–105.
11. Abrahamian P., Kantharajah A. Effect of vitamins on in vitro organogenesis of plant // *American journal of plant Sciences*. 2011. Vol. 2. No. 05. P. 669–674. <https://doi.org/10.4236/ajps.2011.25080>
12. Asensi-Fabado M.A., Munné-Bosch S. Vitamins in plants: occurrence, biosynthesis and antioxidant function // *Trends in plant science*. 2010. Vol. 15. No. 10. P. 582–592. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.07.003>
13. Boubakri H., Gargouri M., Mliki A. et al. Vitamins for enhancing plant resistance // *Planta*. 2016. Vol. 244. P. 529–543. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2552-0>
14. Cárdenas M. J.S. Adaptación de protocolos de establecimiento in vitro de *Ribes rubrum* L., *Ribes nigrum* L. y *Ribes uva-crispa* L. Doctoral dissertation. Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2016. 41 p.
15. Dziedzic E., Jagła J. Micropropagation of *Rubus* and *Ribes* spp. // *Protocols for Micropropagation of Selected Economically-Important Horticultural Plants*. 2013. P. 149–160. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-074-8_11
16. George E.F., Hall M.A., Klerk G.J.D. The components of plant tissue culture media II: organic additions, osmotic and pH effects, and support systems. In *Plant propagation by tissue culture: vol. 1. The background*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2008. P. 115–173.
17. Isroilova S.J. Особенности микроклонального размножения плодовых культур в условиях in vitro // *Theoretical & Applied Science*. 2019. № 5 (73). С. 531–535.
18. Pitzschke A., Fraundorfer A., Guggemos M., Fuchs N. Antioxidative responses during germination in quinoa grown in vitamin B-rich medium // *Food Science & Nutrition*. 2015. Vol. 3. No. 3. P. 242–251. <https://doi.org/10.1002/fsn3.211>
19. Ryago N. V. Features of micro clone reproduction of some currant representatives of the genus *Ribes* spp.: review // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023. Vol. 23. No. 10. P. 69–80. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-10-69-80>
20. Smith A.G., Croft M.T., Moulin M., Webb M.E. Plants need their vitamins too // *Current opinion in plant biology*. 2007. Vol. 10. No. 3. P. 266–275. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2007.04.009>

REFERENCES

1. Buncevich L.L., Besedina E.N., Kostyuk M.A., Makarkina M.V. Razrabotka sostavov pitatel'nyh sred dlya introdukcii v kul'turu in vitro eksplantov sortov maliny i kryzhovnika // *Plodovodstvo i vinogradarstvo yuga Rossii*. 2014. № 28 (04). S. 46–55.
2. Guseva K.Yu. Klonal'noe mikrorazmnozhenie smorodiny chernoy (*Ribes nigrum* L.) // *Problemy botaniki Yuzhnoj Sibiri i Mongolii*. 2020. № 19 (2). S. 5–10. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2020064>
3. Dzhigadlo E.N., Dzhigadlo M.I., Golyshkina L.V. Metodicheskie rekomendacii po ispol'zovaniyu biotekhnologicheskikh metodov v rabote s plodovymi, yagodnymi i dekorativnymi kul'turami. Orel: VNIISPK, 2005. 51 s.
4. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) // M.: Agropromizdat, 1985. 351 s.
5. Kuz'mina T.I., Kuznecova A.P., Fedorovich S.V. Povyshenie ekonomicheskoy effektivnosti klonal'nogo mikrorazmnozheniya plodovyh kul'tur putyom optimizacii perioda introdukcii in vitro eksplantov // *Vestnik Universiteta Rossijskoy akademii obrazovaniya*. 2020. № 5. S. 51–58.
6. Kuharchik N.V., Kastrickaya M.S., Semenas S.E. i dr. Razmnozhenie plodovyh i yagodnyh rastenij v kul'ture in vitro. Minsk: Belaruskaya navuka, 2016. 208 s.

Поступила в редакцию 07.11.2024

Принята к публикации 21.11.2024