

УДК 634.75: 57.085.23:57.085.1

Влияние регуляторов роста растений и способа вегетативного размножения на генеративную продуктивность растений – регенерантов земляники садовой

E.V. Амброс¹

¹ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, ул. Золотодолинская, 101, г. Новосибирск, Россия, botgard@csbg-nsk.ru

Аннотация

Актуальность исследования обусловлена необходимостью оптимизации технологии клonalного микроразмножения *Fragaria × ananassa* для получения качественного посадочного материала с высокой продуктивностью и сохранением сортовой идентичности. В работе изучено влияние цитокининов (6-бензиламинопурина и тидаизурана) на генеративную продуктивность растений-регенерантов сортов Солнечная полянка и Альфа в течение двух лет культивирования *in vivo*. Клональное микроразмножение способствовало ускоренному вступлению растений-регенерантов в генеративную фазу развития по сравнению с растениями, размноженными традиционным способом, обеспечивая плодоношение уже в первый год культивирования. Отмечено различное влияние регуляторов роста на компоненты генеративной продуктивности у исследуемых сортов: тидаизурун увеличивал количество плодов у сорта Солнечная полянка, а 6-бензиламинопурин – у сорта Альфа. Эффект регуляторов роста ослабевал на второй год, а их влияние на массу плодов также зависело от генотипа. У сорта Солнечная полянка 6-бензиламинопурин увеличивал массу плодов 1...2 порядка, в то время как у сорта Альфа тидаизурун, увеличивая массу плодов, снижал их общее количество. Разработка эффективных протоколов клonalного микроразмножения земляники садовой требует индивидуального подхода к каждому сорту с учетом генотипических особенностей для достижения максимальной продуктивности и сохранения сортовой идентичности.

Ключевые слова: земляника садовая, дочерние розетки, клональное микроразмножение, регуляторы роста, *in vivo*, генеративная продуктивность

Influence of plant growth regulators and method of vegetative propagation on the generative productivity of garden strawberry plantlets

E.V. Ambros¹

¹Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 630090, Zolotodolinskaya str., 101, Novosibirsk, Russia, botgard@csbg-nsk.ru

Abstract

The relevance of the study stems from the need to optimize the technology of clonal micropropagation *Fragaria × ananassa* to obtain high-quality planting material with high productivity and preservation of varietal identity. The study investigated the influence of cytokinins (6-benzylaminopurine and thidiazuron) on the generative productivity of the plantlets of the cvs. Solnechnaya Polyanka and Alfa during two years of *in vivo* conditions. Clonal micropropagation contributed to the accelerated entry of the plantlets into the generative phase of development compared to plants propagated using the traditional method, ensuring fruiting already in the first year of cultivation. The impact of growth regulators on the components of generative productivity in the studied cultivars varied: thidiazuron increased the number of fruits in the cv. Solnechnaya

Polyanka, and 6-benzylaminopurine increased it in the cv. Alpha. The effect of growth regulators decreased by the second year, and their effect on fruit weight also depended on genotype. In the cv. Solnechnaya Polyanka, 6-benzylaminopurine increased the weight of fruits of the 1st and 2nd order, while in the cv. Alpha, thidiazuron, increasing the weight of fruits, reduced their total number. The development of effective protocols for clonal micropropagation of garden strawberry requires an individualized approach to each cultivar, taking into account the genotypic characteristics to achieve maximum productivity and maintain varietal identity.

Key words: *Fragaria × ananassa*, daughter rosettes, clonal micropropagation, growth regulators, *in vivo*, generative productivity

Введение

Производство высококачественного посадочного материала является приоритетной задачей современного садоводства (Hernández-Martínez et al., 2023). В качестве альтернативы традиционным методам размножения ценных генотипов используется клональное микроразмножение, позволяющее получать вегетативное потомство трудно размножаемых видов и форм. К преимуществам размножения *in vitro* относится возможность массового производства посадочного материала, свободного от патогенной микрофлоры (Hasnain et al., 2022).

Земляника садовая (*Fragaria × ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier) представляет собой широко культивируемый вид ягодных культур, характеризующийся скороплодностью, высокой экономической эффективностью, богатым биохимическим составом, ценными пищевыми и диетическими свойствами плодов, а также высоким адаптивным потенциалом. В системе производства посадочного материала земляники широко применяется клональное микроразмножение. Известно, что включение методов *in vitro* в технологию производства посадочного материала перспективных сортов земляники повышает рентабельность производства по сравнению с традиционными методами примерно в 1,5 раза (Беликова и др., 2011). В настоящее время накоплен значительный объем данных по культивированию земляники садовой в условиях *in vitro*. Реализация морфогенетического потенциала *F. × ananassa* *in vitro* определяется генотипом, типом экспланта, составом питательной среды и концентрацией экзогенных регуляторов роста (Boxus, 1974; Mir et al., 2010; Munir et al., 2015; Palei et al., 2015; Cappelletti et al., 2016; Jhajhra et al., 2018; Mir et al., 2019; Rukh et al., 2023; Popescu et al., 1997; Biswas et al., 2009; Karim et al., 2015; Rajan, Singh, 2021).

Среди регуляторов роста эффективными индукторами органогенеза у эксплантов с уже существующими меристемами являются цитокинины (Smeringa et al., 2023). Цитокинины позволяют снять эффект апикального доминирования и добиться пролиферации побегов за счет активации пазушных меристем. Цитокинины определяют коэффициент размножения, высоту побегов, а также частоту возникновения генетических вариаций. Сохранение исходных признаков микроклонов является одной из основных задач биотехнологии (Manchanda et al., 2025). В связи с этим при клональном микроразмножении растений необходимо при одновременном увеличении коэффициента размножения минимизировать вероятность появления генетической вариабельности.

Наиболее часто используемым цитокинином при микроразмножении земляники садовой является 6-бензиламинопурин. Определены его оптимальные концентрации, а также изучен механизм действия. Оптимальный диапазон концентраций 6-бензиламинопурина для исследуемых нами сортов земляники, составляет от 2,0 до 3,3 мкМ/л и позволяет получать в среднем по 5...7 микропобегов на экспланта (Амброс и др., 2017). С целью оптимизации технологии клонального микроразмножения ведется поиск цитокининов, повышающих

меристематическую активность клеток и пролиферацию побегов. В последние годы в качестве эффективного триггера органогенеза изучается синтетический регулятор роста – тидаизурон. Обнаружено, что тидаизурон обладает мощной цитокинин-подобной активностью. В наших исследованиях тидаизурон, по сравнению с цитокининами аминопуринового ряда, при более низких концентрациях (от 0,05 до 0,1 мкМ/л) способствует пазушному побегообразованию, позволяя получить в среднем 13...15 микропобегов на эксплант (неопубликованные данные). Нами показано, что эффект снятия апикального доминирования и закладка пазушных почек сохранялись в течение последующих субкультивирований регенерантов на безгормональных средах. Предполагается, что стимуляция развития побегов может быть связана со способностью тидаизурина изменять метаболизм эндогенных цитокининов, увеличивая накопление пурина в тканях растений, а также ингибируя действие цитокининоксидазы (Murthy et al., 1998). Учитывая, что тидаизурон значительно усиливает способность клеток к пролиферации, дальнейшее изучение его влияния на сортовые признаки растений-регенерантов земляники представляет собой важное направление исследований. Кроме того, в настоящее время существует дефицит комплексных исследований, посвященных влиянию способа вегетативного размножения (клонального микроразмножения и традиционного) и регуляторов роста, применяемых *in vitro*, на генеративную продуктивность растений земляники садовой в условиях *in vivo*.

В связи с этим, оценка стабильности сортовых признаков у растений-регенерантов земляники садовой относится к важным направлениям исследований. Целью данной работы является определение влияния способа размножения (клонального микроразмножения и традиционного) и регуляторов роста цитокининового ряда (6-бензиламинопурина и тидаизурина), применяемых при микроразмножении, на генеративную продуктивность растений-регенерантов земляники садовой сортов Солнечная полянка и Альфа в условиях *in vivo*.

Материалы и методы

В качестве объектов для исследования использовали сорта земляники садовой – Альфа (ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» Отдел «Научно-исследовательский институт садоводства Сибири имени М.А. Лисавенко», г. Барнаул) и Солнечная полянка (СХА «Сады Сибири», Новосибирская обл., пос. Ленинский). Изучаемые сорта характеризуются высокими показателями основных хозяйствственно ценных признаков в условиях Западной Сибири.

Исходным материалом послужили растения сортов Солнечная полянка и Альфа, размноженные традиционным способом из дочерних розеток, а также растения-регенеранты, полученные *in vitro* под действием 3,3 мкМ/л 6-бензиламинопурина (6-БАП), 0,05 мкМ/л и 0,1 мкМ/л тидаизурина (ТДЗ). Концентрации регуляторов роста определены в предыдущих экспериментах как оптимальные для индукции пазушного побегообразования на этапе собственно размножение *in vitro* (Амброс и др., 2017; неопубликованные данные). Сравнивали следующие группы растений:

- растения-регенеранты первого (2022 г.) и второго года культивирования (2023 г.);
- растения, размноженные традиционным способом, также первого (2022 г.) и второго года культивирования (2023 г.).

Растения высаживали в открытый грунт по односторонней схеме посадки: 0,60 × 0,25 м на экспериментальный участок лаборатории биотехнологии ЦСБС СО РАН ($54^{\circ}49'9.87''N$ и $83^{\circ}6'6.95''E$). Участок имеет ровную поверхность, без заметного склона. Почвы серые лесные, развивающиеся на породах, контактирующих с отложениями древней террасы реки Оби с объемным весом в слое 0...20 см $0.8...1.18\text{ g/cm}^3$, в иллювиальном горизонте $1.38...1.68\text{ g/cm}^3$. По механическому составу почвы на участке среднесуглинистые с большим количеством фракций крупной пыли, бесструктурные, со слабой воздухопроницаемостью и

водопроницаемостью, быстрой осадкой и уплотнением после обработки, склонные к заплыванию и образованию корки. Реакция слабокислая, pH 6,3...6,9. В слое почвы от 0 до 20 см содержится 2...4% гумуса, на глубине 50...60 см – не более 0,8%. Общие естественные запасы питательных веществ низкие, поэтому проводилось внесение перегноя в лунки при посадке растений. Срок посадки рассады – третья декада апреля – первая декада мая 2021 г.

Повторность опыта трехкратная, в каждой повторности по 10 растений, число учетных растений – 30 шт. в каждом варианте.

Учитывали компоненты генеративной продуктивности у растений: число цветоносов на растение (шт.), плодов на цветонос (шт.), плодов на растение (шт.), массу плодов 1...2 и последующих порядков (г). Учеты проводили в течение всего периода с начала цветения до окончания плодоношения.

Учет урожая проводили весовым способом. Из-за неодновременности созревания плодов, урожай собирали и учитывали через 1...2 дня. Для определения средней массы одного плода по всем сборам общую массу делили на их количество.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью компьютерных программ Microsoft Excel 2007 и Statistica 12.0. Данные представлены в виде средних значений и стандартных ошибок ($M \pm m$). Для сравнения средних значений независимых выборок использовали дисперсионный анализ ANOVA и тест Дункана.

Результаты и их обсуждение

Влияние способа вегетативного размножения на формирование компонентов генеративной продуктивности растений

Продуктивность – один из основных показателей, характеризующих ценность сорта, которая определяется генотипом и в значительной степени зависит от действия всех факторов, оказывающих влияние на растения во время их роста и развития (Lapshin et al., 2021). Генеративная продуктивность растения земляники слагается из количества цветоносов на растении, числа плодов и их массы по всем сборам (Дахно, Дахно, 2020).

При сравнении влияния способа размножения на показатели генеративной продуктивности сортов выявлены существенные различия в характере плодоношения у растений первого года культивирования (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели генеративной продуктивности растений земляники садовой сорта Солнечная полянка за 2022...2023 гг. в зависимости от способа размножения

Способ размножения	Год культивирования	Количество цветоносов на растение, шт.	Количество плодов на цветонос, шт.	Количество плодов на растение, шт.	Масса плодов, г	
		1-2 порядок	3-4 порядок			
Солнечная полянка						
KM*	1	3,67±0,64b	5,76±0,28a	18,04±4,09b	7,89±0,21a	4,06±0,29a
	2	10,60±1,41a	7,89±0,21a	78,89±5,29a	19,85±0,78c	7,49±0,13b
TP**	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2	13,43±1,48a	7,70±0,44a	73,69±4,15a	10,85±0,34b	3,87±0,39a
Альфа						
KM*	1	2,12±0,36b	6,84±0,40a	7,09±1,75a	6,74±0,31b	3,90±0,15a
	2	7,67±0,38a	6,04±0,17a	46,11±2,38b	12,51±0,24a	4,80±0,09b
TP**	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	2	5,67±0,46a	6,14±0,20a	34,33±2,37c	11,13±0,23a	5,33±0,20b

Примечания:

Данные представлены в виде $M \pm m$.

Значения в столбцах для каждого сорта, за которыми следуют разные буквы, имеют значимые отличия друг от друга в соответствии с тестом Дункана при $p \leq 0,05$.

* – клonalное микроразмножение.

** – традиционное размножение.

Растения, полученные традиционным способом, не вступали в фазу плодоношения в первый год вегетации. Растения, полученные с помощью технологии клонального микроразмножения (индуктор органогенеза *in vitro* – 6-БАП в концентрации 3,3 мкМ/л), характеризовались активным плодоношением уже в первый год культивирования, что выражалось в формировании цветоносов и плодов на растениях. На второй год культивирования растения обеих групп вступили в генеративный период развития, проявив способность к формированию репродуктивных органов. Статистический анализ выявил преимущества клонального микроразмножения у сорта Солнечная полянка по показателю «масса плодов», которая увеличивалась на 83,0% у плодов 1...2 порядка и 93,5% у плодов 3...4 порядка по сравнению с традиционным способом ($p \leq 0,05$). При этом различия в числе цветоносов и плодов на растение не были статистически значимыми. Для сорта Альфа различия отмечены для «количество плодов на растение». Этот показатель был выше на 34,31% ($p \leq 0,05$) у растений, полученных методом клонального микроразмножения, чем у растений, размноженных традиционным способом. Для остальных показателей различия были статистически незначимы.

Результаты свидетельствуют о том, что клональное микроразмножение обеспечивает ускоренное вступление земляники в генеративную фазу и положительно влияет на массу плодов у растений второго года вегетации. Данный эффект, вероятно, обусловлен эпигенетическими изменениями, возникающими в результате модификации экспрессии генетической информации. Изменения в паттернах метилирования ДНК и/или модификациях гистонов, индуцированные микроразмножением, могут оказывать влияние на транскрипцию генов (Miguel, Marum, 2011). В противоположность этому, традиционные методы размножения, требующие значительного времени для развития корневой системы и вегетативной массы, приводят к задержке начала плодоношения.

Влияние ТДЗ и 6-БАП на продуктивность растений-регенерантов земляники садовой

В первый год культивирования растения-регенеранты сорта Солнечная полянка, полученные под действием ТДЗ в условиях *in vitro* образовали большее количество плодов на растение по сравнению с регенерантами, культивируемыми на средах с 6-БАП, независимо от порядка их формирования на цветоносе (в 2,2 раза, $p \leq 0,05$). При этом, статистически значимых различий в массе плодов между растениями с ТДЗ и 6-БАП не наблюдалось (таблица 2).

Для сорта Альфа отмечена противоположная тенденция. Применение 6-БАП *in vitro* приводило к статистически значимому увеличению количества плодов на растение по сравнению с ТДЗ (в 3,4 раза, $p \leq 0,05$), в то время как статистически значимых различий в массе плодов между растениями, размноженными под действием ТДЗ и 6-БАП также не выявлено.

Во второй год культивирования, по сравнению с первым, определены значимые изменения в продуктивности растений-регенерантов под влиянием регуляторов роста. Для обоих сортов (Солнечная полянка и Альфа) отмечено увеличение количества плодов на растениях, выращенных с использованием 6-БАП, на 17% и 25% соответственно, относительно первого года культивирования (таблица 3).

Влияние регуляторов роста на массу плодов 1...2 порядка во второй год культивирования зависело от генотипа. На регенеранты сорта Солнечная полянка ТДЗ оказывал негативное влияние, снижая массу плодов по сравнению с 6-БАП на 24% ($p \leq 0,05$). На массу плодов 1...2 порядка растений сорта Альфа ТДЗ оказывал положительное влияние, увеличивая ее на 11,5%, по сравнению с 6-БАП ($p \leq 0,05$). Для плодов других порядков (3...4 и последующие) существенных различий в массе между регуляторами роста не обнаружено.

Таблица 2 – Влияние регуляторов роста на продуктивность растений-регенерантов первого года культивирования (2022 г.) земляники садовой сорта Солнечная полянка и Альфа

Сорт	Регулятор роста	Характеристика плодов	Масса плодов, г	Количество плодов на растение, шт.
Солнечная полянка	6-БАП*	1-2 порядок	7,92±0,54c	
		3-4 порядок	4,06±0,29b	
		последующие	2,99±0,19a	11,10± 2,83a
	ТДЗ**	1-2 порядок	8,26±0,34c	
		3-4 порядок	5,32±0,19b	24,18± 6,44b
		последующие	3,50±0,21a	
Альфа	6-БАП*	1-2 порядок	6,74±0,31c	
		3-4 порядок	3,90±0,15b	7,09± 1,75c
		последующие	2,01±0,12a	
	ТДЗ***	1-2 порядок	6,65±0,54c	
		3-4 порядок	4,02±0,16b	2,10 ± 0,90d
		последующие	2,22±0,41a	

Примечания:

Данные представлены в виде $M \pm m$.

Значения в столбцах для каждого сорта, за которыми следуют разные буквы, имеют значимые отличия друг от друга в соответствии с тестом Дункана при $p \leq 0,05$.

* – 6-бензиламинопурин в концентрации 3,3 мкМ/л.

** – тидаизурон в концентрации 0,1 мкМ/л.

*** – тидаизурон в концентрации 0,05 мкМ/л.

Таблица 3 – Влияние регуляторов роста на продуктивность растений-регенерантов второго года культивирования (2023 г.) земляники садовой сортов Солнечная полянка и Альфа

Сорт	Регулятор роста	Характеристика плодов	Масса плодов, г	Количество плодов на растение, шт.
Солнечная полянка	6-БАП*	1-2 порядок	19,85±0,78b	
		3-4 порядок	7,49±0,13c	78,89±5,29b
		последующие	3,71±0,78d	
	ТДЗ**	1-2 порядок	15,07±0,86a	
		3-4 порядок	6,91±0,08c	65,03±4,09a
		последующие	3,22±0,07d	
Альфа	6-БАП*	1-2 порядок	12,51±0,24a	
		3-4 порядок	4,86±0,09d	46,11±2,38c
		последующие	3,66±0,51d	
	ТДЗ***	1-2 порядок	13,95±0,32b	
		3-4 порядок	5,22±0,28d	34,33±2,38d
		последующие	4,30±0,43d	

Примечания:

Данные представлены в виде $M \pm m$.

Значения в столбцах для каждого сорта, за которыми следуют разные буквы, имеют значимые отличия друг от друга в соответствии с тестом Дункана при $p \leq 0,05$.

* – 6-бензиламинопурин в концентрации 3,3 мкМ/л.

** – тидаизурон в концентрации 0,1 мкМ/л.

*** – тидаизурон в концентрации 0,05 мкМ/л.

Среднее количество плодов на растение во второй год культивирования было выше, но разница между группами 6-БАП и ТДЗ была менее выраженной, чем в первый год.

Выводы

- Метод клonalного микроразмножения позволил получить растения *F. × ananassa*, способные к цветению и плодоношению уже в первый год культивирования *in vivo*, что является преимуществом по сравнению с традиционным вегетативным размножением растений дочерними розетками.

2. Применение 6-бензиламинопурина в протоколе клонального микроразмножения сорта Солнечная полянка приводило к статистически значимому увеличению массы плодов 1...2 порядков (на 40%) во второй год культивирования по сравнению с традиционным способом вегетативного размножения.

3. Регуляторы роста тидаизурон и 6-бензиламинопурин оказывали дифференцированное влияние на характеристики плодов земляники садовой, зависящее от генотипа. Для сорта Солнечная полянка тидаизурон стимулировал увеличение количества плодов на растение, в то время как для сорта Альфа 6-бензиламинопурин стимулировал увеличение количества плодов на растение. Статистически значимых различий в первый год культивирования в массе плодов между тидаизуроном и 6-бензиламинопурином для сортов не выявлено. Во второй год культивирования различия в массе плодов отмечены для плодов 1...2 порядков, для плодов других порядков существенных различий не обнаружено.

4. Во второй год культивирования наблюдалось ослабление влияния регуляторов роста на продуктивность растений-регенерантов обоих сортов. Для сортов Солнечная полянка и Альфа сохранялась тенденция к увеличению количества плодов на растениях, полученных под действием 6-бензиламинопурина, по сравнению с тидаизуроном.

5. Полученные результаты подчеркивают необходимость индивидуального подбора протоколов размножения и применения регуляторов роста *in vitro* для каждого сорта земляники садовой, учитывая его генотипические особенности.

Благодарности

Для проведения исследований использованы материалы биоресурсной научной коллекции Центрального сибирского ботанического сада СО РАН «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте», УНУ № USU 440534.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Центрального сибирского ботанического сада СО РАН № АААА-А21-121011290025-2 по проекту «Анализ биоразнообразия, сохранение и восстановление редких и ресурсных видов растений с использованием экспериментальных методов».

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Амброс Е.В., Зайцева Ю.Г., Красников А.А., Новикова Т.И. Оптимизация систем регенерации микропобегов генотипов *Fragaria × ananassa* (Rosaceae), перспективных для сибирского региона // Растительный мир Азиатской России. 2017. 4. 73-80. <https://elibrary.ru/yousee>
2. Беликова Н.А., Белякова Л.В., Высоцкий В.А., Алексеенко Л.В. Экономическая эффективность выращивания рассады земляники с использованием биотехнологических приемов. Садоводство и виноградарство. 2011. 5. 45-48. <https://elibrary.ru/ohryuyx>
3. Дахно Т.Г., Дахно О.А. Генеративная и вегетативная продуктивность земляники крупноплодной *Fragaria ananassa* при применении биостимуляторов из морских гидробионтов камчатского шельфа // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2020. 53. 81-92. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2020-53-81-92>
4. Biswas M.K., Dutt M., Roy U.K., Islam R., Hossain M. Development and evaluation of *in vitro* somaclonal variation in strawberry for improved horticultural traits // Scientia Horticulturae. 2009. 122, 3. 409-416. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.06.002>

5. Boxus P.H. The production of strawberry plants by *in vitro* micropropagation // Journal of Horticultural Sciences. 1974. 49, 3. 209-210. <https://doi.org/10.1080/00221589.1974.11514571>
6. Cappelletti R., Sabbadini S., Mezzetti B. The use of TDZ for the efficient *in vitro* regeneration and organogenesis of strawberry and blueberry cultivars // Scientia Horticulturae. 2016. 207. 117-124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.05.016>
7. Hasnain A., Naqvi S.A.H., Ayesha S.I., Khalid F., Ellahi M., Iqbal S., Hassan M.Z., Abbas A., Adamski R., Markowska D., Baazeem A., Mustafa G., Moustafa M., Hasan M.E., Abdelhamid M.M.A. Plants *in vitro* propagation with its applications in food, pharmaceuticals and cosmetic industries; current scenario and future approaches // Frontiers in Plant Science. 2022. 13. 1009395. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1009395>
8. Hernández-Martínez N.R., Blanchard C., Wells D., Salazar-Gutiérrez M.R. Current state and future perspectives of commercial strawberry production: A review // Scientia Horticulturae. 2023. 312. 111893. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111893>
9. Jhajhra S., Dashora L.K., Singh J., Bhatnagar P., Kumar A., Arya C.K. *In vitro* propagation of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2018. 7, 10. 3030-3035. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.710.353>
10. Karim R., Ahmed F., Krishna Roy U., Ara T., Islam R., Hossain M. Varietal improvement of strawberry (*Fragaria × ananassa* Dutch.) through somaclonal variation using *in vitro* techniques // Journal of Agricultural Science and Technology. 2015. 17, 4. 977-986. <http://hdl.handle.net/123456789/3926>
11. Lapshin V., Yakovenko V., Shcheglov S. Genotypic assessment of productivity and quality of berries of strawberry varieties // BIO Web of Conferences. 2021. 34. 02004. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213402004>
12. Manchanda P., Sharma D., Kaur G., Kaur H., Vanshika. Exploring the significance of somaclonal variations in horticultural crops // Molecular Biotechnology. 2025. 67. 2185-2203. <https://doi.org/10.1007/s12033-024-01214-6>
13. Miguel C., Marum L. An epigenetic view of plant cells cultured *in vitro*: somaclonal variation and beyond // Journal of Experimental Botany. 2011. 62, 11. 3713-3725. <https://doi.org/10.1093/jxb/err155>
14. Mir J.I., Ahmed N., Rashid R., Wani S.H., Mir H., Sheikh M.A. Micropropagation of Strawberry (*Fragaria × ananassa*) // Crop Improvement. 2010. 37, 2. 153-156. <https://icarcith.easio.in/DownloadAttachments/2010-CI-strawberry23173261.pdf>
15. Mir H., Rani R., Ahmad F., Sah A.K., Prakash S., Kumar V. Phenolic exudation control and establishment of *in vitro* strawberry (*Fragaria × ananassa*) cv. Chandler // Current Journal of Applied Science and Technology. 2019. 33, 3. 1-5. <https://doi.org/10.9734/cjast/2019/v33i330071>
16. Munir M., Iqbal S., Baloch J.U.D., Khakwani A.A. *In vitro* explant sterilization and bud initiation studies of four strawberry cultivars // Journal of Applied Horticulture. 2015. 17, 3. 192-198. <https://doi.org/10.37855/jah.2015.v17i03.36>
17. Murthy B.N.S., Murch S.J., Saxena P.K. Thidiazuron: A potent regulator of *in vitro* plant morphogenesis // In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant. 1998. 34. 267-275. <https://doi.org/10.1007/BF02822732>
18. Palei S., Das A.K., Rout G.R. *In vitro* studies of strawberry – an important fruit crop: a review // Journal of Plant Science and Research. 2015. 31, 2. 115-131.
19. Popescu A.N., Isac V.S., Coman M.S., Radulescu M.S. Somaclonal variation in plants regenerated by organogenesis from callus culture of strawberry (*Fragaria × ananassa*) // Acta Horticulturae. 1997. 439, 89-96. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.439.8>

20. Rajan R.P., Singh G. A review on application of somaclonal variation in important horticulture crops // *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2021. 22, 35-36. 161-175. <https://www.ikpress.org/index.php/PCBMB/article/view/6319>
21. Rukh S., Kazmi A., Nabi G., Irshad M., Ali A., Muhammad S., Mashwani Z.-ur-R., Sultana T. Improvement of *in vitro* regeneration frequency, polyphenolic and antioxidant profile of strawberry (*Fragaria ananassa* Cv. Chandler) via indirect organogenesis // *Journal of Pure and Applied Agriculture*. 2023. 8, 1. <https://ojs.aiou.edu.pk/index.php/jpaa/article/view/1392>
22. Smerringai J., Schrumpfova P.P., Pernisova M. Cytokinins – regulators of de novo shoot organogenesis // *Frontiers in Plant Science*. 2023. 14, 1239133. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1239133>

References

1. Ambros, E.V., Zaytseva, Yu.G., Krasnikov, A.A., & Novikova, T.I. (2017). Optimization of microshoots regeneration systems of *Fragaria × ananassa* (Rosaceae) genotypes perspectived for Siberian region. *Rastitel'nyj Mir Aziatskoj Rossii*, 4, 73-80. <https://elibrary.ru/youcee>. (In Russian, English abstract)
2. Belikova, N.A., Belyakova, L.V., Vysockij, V.A., & Alekseenko, L.V. (2011). Economic efficiency of growing strawberry seedlings using biotechnological techniques. *Horticulture and Viticulture*, 5, 45-48. <https://elibrary.ru/ohryyx>. (In Russian, English abstract)
3. Dakhno, T.G., Dakhno, O.A. (2020). Generative and vegetative productivity of large-fruited strawberry *Fragaria ananassa* when using biostimulants from marine hydrobionts of Kamchatka. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 53, 81-92. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2020-53-81-92>. (In Russian, English abstract)
4. Biswas, M.K., Dutt, M., Roy, U.K., Islam, R., & Hossain, M. (2009). Development and evaluation of *in vitro* somaclonal variation in strawberry for improved horticultural traits. *Scientia Horticulturae*, 122(3), 409-416. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.06.002>
5. Boxus, P.H. (1974). The production of strawberry plants by *in vitro* micropropagation. *Journal of Horticultural Sciences*, 49(3), 209-210. <https://doi.org/10.1080/00221589.1974.11514571>
6. Cappelletti, R., Sabbadini, S., & Mezzetti, B. (2016). The use of TDZ for the efficient *in vitro* regeneration and organogenesis of strawberry and blueberry cultivars. *Scientia Horticulturae*, 207, 117-124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.05.016>
7. Hasnain, A., Naqvi, S.A.H., Ayesha, S.I., Khalid, F., Ellahi, M., Iqbal, S., Hassan, M.Z., Abbas, A., Adamski, R., Markowska, D., Baazeem, A., Mustafa, G., Moustafa, M., Hasan, M.E., & Abdelhamid, M.M.A. (2022). Plants *in vitro* propagation with its applications in food, pharmaceuticals and cosmetic industries; current scenario and future approaches. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1009395. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1009395>
8. Hernández-Martínez, N.R., Blanchard, C., Wells, D., & Salazar-Gutiérrez, M.R. (2023). Current state and future perspectives of commercial strawberry production: A review. *Scientia Horticulturae*, 312, 111893. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111893>
9. Jhajhra, S., Dashora, L.K., Singh, J., Bhatnagar, P., Kumar, A., & Arya, C.K. (2018). *In vitro* propagation of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(10) 3030-3035. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.710.353>
10. Karim, R., Ahmed, F., Krishna, Roy, U., Ara, T., Islam, R., Hossain, M. (2015). Varietal improvement of strawberry (*Fragaria × ananassa* Dutch.) through somaclonal variation using *in vitro* techniques. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(4), 977-986. <http://hdl.handle.net/123456789/3926>
11. Lapshin, V., Yakovenko, V., & Shcheglov, S. (2021). Genotypic assessment of productivity and quality of berries of strawberry varieties. *BIO Web of Conferences*, 34, 02004. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213402004>
12. Manchanda, P., Sharma, D., Kaur, G., Kaur, H., & Vanshika. (2025). Exploring the significance of somaclonal variations in horticultural crops. *Molecular Biotechnology*, 67, 2185-2203. <https://doi.org/10.1007/s12033-024-01214-6>

13. Miguel, C., & Marum, L. (2011). An epigenetic view of plant cells cultured *in vitro*: somaclonal variation and beyond. *Journal of Experimental Botany*, 62(11), 3713-3725. <https://doi.org/10.1093/jxb/err155>
14. Mir, J.I., Ahmed, N., Rashid, R., Wani, S.H., Mir, H., & Sheikh, M.A. (2010). Micropropagation of strawberry (*Fragaria × ananassa*). *Crop Improvement*, 37, 2, 153-156. <https://icarcith.easio.in/DownloadAttachments/2010-CI-strawberry23173261.pdf>
15. Mir, H., Rani, R., Ahmad, F., Sah, A.K., Prakash, S., & Kumar, V. (2019). Phenolic exudation control and establishment of *in vitro* strawberry (*Fragaria × ananassa*) cv. Chandler. *Current journal of applied science and technology*, 33(3). 1-5. <https://doi.org/10.9734/cjast/2019/v33i330071>
16. Munir, M., Iqbal, S., Baloch, J.U.D., & Khakwani, A.A. (2015). *In vitro* explant sterilization and bud initiation studies of four strawberry cultivars. *Journal of Applied Horticulture*, 17(3), 192-198. <https://doi.org/10.37855/jah.2015.v17i03.36>
17. Murthy, B.N.S., Murch, S.J., & Saxena, P.K. (1998). Thidiazuron: A potent regulator of *in vitro* plant morphogenesis // *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*, 34, 267-275. <https://doi.org/10.1007/BF02822732>
18. Palei, S., Das, A.K., Rout, G.R. (2015). *In vitro* studies of strawberry – an important fruit crop: a review. *Journal of Plant Science and Research*, 31(2), 115-131.
19. Popescu, A.N., Isac, V.S., Coman, M.S., & Radulescu, M.S. (1997). Somaclonal variation in plants regenerated by organogenesis from callus culture of strawberry (*Fragaria × ananassa*). *Acta Horticulturae*, 439, 89-96. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.439.8>
20. Rajan, R.P., & Singh, G. (2021). A review on application of somaclonal variation in important horticulture crops. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 22(35-36), 161-175. <https://www.ikpress.org/index.php/PCBMB/article/view/6319>
21. Rukh, S., Kazmi, A., Nabi, G., Irshad, M., Ali, A., Muhammad, S., Mashwani, Z.-ur-R., & Sultana, T. (2023). Improvement of *in vitro* regeneration frequency, polyphenolic and antioxidant profile of strawberry (*Fragaria ananassa* Cv. Chandler) via indirect organogenesis. *Journal of Pure and Applied Agriculture*, 8, 1. <https://ojs.aiou.edu.pk/index.php/jpaa/article/view/1392>
22. Smeringai, J., Schrumpfova, P.P., & Pernisova, M. (2023). Cytokinins – regulators of de novo shoot organogenesis. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1239133. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1239133>

Автор:

Елена Валерьевна Амброс, к.б.н., зав. лабораторией биотехнологии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской Академии наук, ambros_ev@mail.ru
ORCID: 0000-0002-2119-6503
SPIN: 3036-6988

Author:

Elena V. Ambros, Phd in Biology, head of the laboratory of Biotechnology, Federal State Budgetary Scientific Institution Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ambros_ev@mail.ru
ORCID: 0000-0002-2119-6503
SPIN: 3036-6988

Отказ от ответственности: заявления, мнения и данные, содержащиеся в публикации, принадлежат исключительно авторам и соавторам. ФГБНУ ВНИИСПК и редакция журнала снимают с себя ответственность за любой ущерб людям и/или имуществу в результате использования любых идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в контенте.