

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.46.3>

**ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ НА РАЗВИТИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ
ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ, ВЫРАЩЕННОЙ НА ГИДРОПОННОЙ УСТАНОВКЕ**

Научная статья

Коротченко И.С.¹, Первышина Г.Г.²*

¹ORCID : 0000-0002-9099-9537;

²ORCID : 0000-0001-5880-5395;

¹Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Российская Федерация

²Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (gpervyshina[at]sfu-kras.ru)

Аннотация

В статье рассматривается влияние регуляторов роста растений на примере «Янтарной кислоты» и «Эпин-экстра» на основные показатели роста и развития земляники садовой сортов Кокетка и Любаша, а также биохимический состав ягод. Использование препарата «Янтарная кислота» привело к повышению всхожести семян и биометрических показателей (высота растения, динамика ассимиляционной активности, урожайность) в случае рассматриваемых сортов. Использование регулятора «Эпин-экстра» оказывает аналогичное влияние только на сорт Любаша. Установлено, что с точки зрения содержания хлорофилла и каротиноидов в листьях земляники садовой сортов Кокетка и Любаша использование стимуляторов роста эффективно. Применение регулятора роста растений «Эпин-экстра» улучшает товароведно-потребительское качество ягоды вследствие изменения их биохимического состава: зафиксировано наиболее высокое содержание растворимых сухих веществ, сахаров и витамина Р в ягодах сорта Кокетка; витамина С и сахарокислотного показателя у сорта Любаша.

Ключевые слова: земляника, гидропоника, биохимический состав, регулятора роста растений, янтарная кислота, Эпин-экстра.

**INFLUENCE OF PLANT GROWTH REGULATORS ON DEVELOPMENT AND BIOCHEMICAL COMPOSITION
OF GARDEN STRAWBERRIES GROWN ON HYDROPONIC UNIT**

Research article

Korotchenko I.S.¹, Pervishina G.G.²*

¹ORCID : 0000-0002-9099-9537;

²ORCID : 0000-0001-5880-5395;

¹Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russian Federation

²Siberian Federal university, Krasnoyarsk, Russian Federation

* Corresponding author (gpervyshina[at]sfu-kras.ru)

Abstract

The article examines the effect of plant growth regulators on the example of "Amber acid" and "Epin-extra" on the main indicators of growth and development of garden strawberry varieties Koketka and Lyubasha, as well as the biochemical composition of berries. The use of the drug 'Amber acid' led to an increase in seed germination and biometric indicators (plant height, dynamics of assimilative activity, yield) in the case of the studied varieties. The use of regulator "Epin-extra" has a similar effect only on the variety Lyubasha. It was found that from the point of view of chlorophyll and carotenoids content in the leaves of garden strawberry varieties Koketka and Lyubasha the use of growth stimulants is effective. Application of plant growth regulator "Epin-extra" improves commodity and consumer quality of berries due to changes in their biochemical composition: the highest content of soluble solids, sugars and vitamin P in berries of Koketka variety; vitamin C and sugar-acid index in Lyubasha variety was registered.

Keywords: strawberries, hydroponics, biochemical composition, plant growth regulator, succinic acid, Epin-extra.

Введение

Ведущей системообразующей сферой экономики Красноярского края является агропромышленный комплекс, который формирует продовольственный рынок и безопасность региона. В то же время климатические ресурсы существенно ограничивают возможность развития на территории края как садоводства в целом, так и ягодоводства в частности. Это приводит к существенной зависимости уровня потребления населением региона ягодных культур от импорта, в то время как Федеральная служба государственной статистики фиксирует данную величину в 2020–2022 в количестве 73 кг/год на человека. Вышеуказанные факты свидетельствуют о необходимости расширения исследований основных элементов промышленной технологии выращивания ягод и посадочного материала земляники садовой в защищенном грунте [1]. При этом особое внимание следует обратить на возможность реализации рассматриваемого процесса в условиях теплиц с малообъемной гидропоникой [1], [2], а также обоснованию применения регуляторов роста растений [3].

Цель работы – оценка влияния различных видов регуляторов роста на всхожесть, рост, развитие и биохимический состав ягод земляники садовой с использованием технологии выращивания в гидропонной установке.

Методы и принципы исследования

Объекты исследования – 2 ремонтантных сорта земляники садовой: Любаша и Кокетка [4]. В качестве стимуляторов роста растений были выбраны препараты различных видов: препарат, стимулирующий корнеобразование (янтарная кислота – 0,02%-ный раствор) и препарат, повышающий иммунную устойчивость растений (Эпин-экстра (24-эпибрасинолид) – 0,025 г/л) [5], [6].

Лабораторно – вегетационный опыт был поставлен согласно методике, изложенной Федяевым В. В. [7]. В исследовании выращивали землянику садовую методом системы питательного слоя в лабораторных условиях:

1) установка: ящик темного цвета (во избежание процесса цветения воды) объемом 18 л, заполненный раствором на 10 л;

2) система аэрации: 2 минеральных распылителя, шланг и переходник для соединения двух распылителей между собой, компрессор;

3) для посадки растений использовались пластиковые стаканы объемом 200 мл;

4) субстрат: керамзит размером 4-8мм и плотностью 0,5 г/см³, предварительно обеззараженный в течение 24 ч в растворе марганцовки; на 1 стакан – 50 г;

5) температурный интервал – 18-24°C, для отслеживания которого использовался термометр с выносным зондом.

Оценку всхожести семян проводили по ГОСТ 12038-84 визуальным методом путем подсчета всходов (результаты представлены в процентах). Биометрические особенности согласно [8], [9] (длина стебля, количество листьев, площадь листа) изучали путем замера 70 растений через 60 дней после посадки. Массовую долю хлорофиллов и каротиноидов определяли спектрофотометрическим методом на спектрофотометре КФК-ЗКМ по изменению оптической плотности экстракта пигментов при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения хлорофиллов «а» (663 нм) и «b» (645 нм), а также максимуму поглощения каротиноидов (440,5 нм) с последующим расчетом концентрации пигментов по уравнениям Ветштейна и Хольма для 100 %-го ацетона [10]. Определение чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) проводили согласно [9] отбором проб растений с определением их сухой массы. Нетто-ассимиляцию рассчитывали по формуле:

$$\text{ЧПФ} = (B2 - B1) / 0,5 * (L2 + L1) * n, \quad (1)$$

где B1 и B2 – сухая масса растений в начале и в конце учетного периода;

L1 и L2 – площади листьев в начале и в конце периода, м²;

n – период между двумя наблюдениями, который составлял в данном случае 60 дней.

При анализе биохимического состава ягод земляники садовой определяли: растворимые сухие вещества (ГОСТ 28561-90), сумму сахаров [11], кислотность (ГОСТ 750-2013), витамины: С (ГОСТ 24556-89), Р (ГОСТ 50479-93). Повторность вариантов – пятикратная.

Урожайность учитывали весовым методом по количеству, определяя при этом стандартность продукции.

Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием надстройки «Пакет анализа» в программном обеспечении Microsoft Office Excel 2010 и Statistica 6,0 for Windows.

Основные результаты

Данные, представленные в таблицах 1 и 2, позволяют судить о положительном воздействии такого регулятора роста растений, как янтарная кислота на всхожесть семян земляники садовой сортов Любаша и Кокетка и биометрические показатели: увеличения линейных размеров растений, количества листьев и площади одного листа.

Таблица 1 - Влияние регуляторов роста на всхожесть семян земляники

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.46.3.1>

Вариант опыта	Контроль (вода), %	Янтарная кислота, 0,02%, %	Эпин-экстра, 0,025 г/л, %
Любаша	54,1	62,5	45,8
Кокетка	47,8	56,3	56,5

Наилучший процент всхожести семян был зарегистрирован при использовании в качестве регулятора роста янтарной кислотой для сорта Любаша (всхожесть семян увеличилась на 8,4% по сравнению с контролем), при этом следует отметить снижение данного показателя в случае использования «Эпин-экстра» на 15,3%. Для сорта Кокетка оба стимулятора показали результаты лучше, чем в контроле в среднем на 15,3%.

Таблица 2 - Влияние регуляторов роста на биометрические показатели земляники

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.46.3.2>

Вариант опыта	Высота растения, см	Контроль (вода)	Янтарная кислота, 0,02%	Эпин-экстра, 0,025 г/л
		Любаша	4,5±0,1	5,1±0,2
	Кокетка	5,3±0,2	6,2±0,2	4,7±0,1

Динамика ассимиляционной деятельности	Количество листьев на растении, шт	Любаша	4,36±0,2	6,34±0,4	6,18±0,3
		Кокетка	4,48±0,2	6,54±0,4	5,78±0,3
	Площадь одного листа, см ²	Любаша	8,8±0,8	15,0±1,2	12,8±0,9
		Кокетка	9,0±0,8	15,5±1,2	11,7±0,9
Урожайность, г/сосуд		Любаша	228±3,0	325±1,2	333±1,6
		Кокетка	284±3,2	327,4±1,4	270±1,5

Из данных, приведенных в таблице 2, видно, что сорт Любаша благоприятно реагирует на обработку исследуемыми регуляторами роста, поскольку зафиксировано увеличение в обоих случаях высоты растений, количества листьев, площади листа и урожайности. В случае сорта Кокетка более высокие показатели фиксируются при использовании янтарной кислоты, в то время как «Эпин-экстра» приводит к снижению высоты растения и урожайности. Обнаружен статистически значимый ($p < 0,05$) эффект взаимодействия факторов «обработка» и «сорт»: сорт Кокетка имеет лучшие показатели при обработке янтарной кислотой, а сорт Любаша – «Эпин-экстра». Показатель силы влияния для взаимодействия составляет 45,5%.

Как известно [12], [13], [14] изменения в пигментном составе листьев могут быть вызваны параметрами окружающей среды: влажностью, световым и температурным режимами. В рассматриваемых условиях значительных колебаний, приведенных выше параметров, не было, поэтому можно утверждать, что содержание хлорофилла в массе листа варьируется в сортовом отношении (табл. 3).

Таблица 3 - Влияние регуляторов роста на содержание хлорофилла, каротиноидов в листьях земляники и чистой продуктивности фотосинтеза

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.46.3.3>

Вариант опыта		Контроль (вода)	Янтарная кислота, 0,02%	Эпин-экстра, 0,025 г/л
Хлорофилл «а», мг/100г	Любаша	108,52±1,15	113,34±1,1	113,12±0,9
	Кокетка	95,34±1,7	100,12±0,5	99,43±0,81
Хлорофилл «b», мг/100г	Любаша	68,84±1,8	69,43±0,9	69,38±0,06
	Кокетка	63,53±0,2	64,17±1,07	63,72±0,4
Каротиноиды, мг/100г	Любаша	31,16±0,6	46,31±1,04	45,28±0,9
	Кокетка	38,56±1,8	47,50±0,19	42,60±0,9
ЧПФ, г/м ² сутки	Любаша	9,8	9,9	9,2
	Кокетка	6,2	6,3	6,4

Зафиксировано положительное влияние использования рассматриваемых регуляторов роста на содержание хлорофилла и каротиноидов в листовых пластинах земляники садовой сортов Любаша и Кокетка, при этом применение янтарной кислоты приводит к большему увеличению содержания пигментов в листьях по сравнению с «Эпин-экстра».

Важной характеристикой величины биологического урожая является чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), рост которой наблюдается в случае использования в качестве регулятора роста янтарной кислоты для обоих рассматриваемых сортов и «Эпин-экстра» для сорта Кокетка.

Значительного влияния рассматриваемых регуляторов роста на ускорение развития образовавшихся ягод установлено не было – средние сроки созревания плодов у сорта Кокетка составили 72-74 дня от фазы 3-4 настоящих листьев, у сорта Любаша – 74-77 дней, при этом средняя продолжительность созревания плодов составила 20 дней.

Исследование биохимического состава ягод земляники садовой показало увеличение в них содержания растворимых сухих веществ, суммы сахаров, витаминов С и Р, антоцианов в случае использования рассматриваемых регуляторов роста (табл. 4).

Таблица 4 - Влияние регуляторов роста на биохимический состав ягод земляники

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.46.3.4>

Вариант опыта		Контроль (вода)	Янтарная кислота, 0,02%	Эпин-экстра, 0,025 г/л
Растворимые сухие вещества, %	Любаша	8,8±0,3	9,4±0,07	8,9±0,12
	Кокетка	8,7±0,7	9,0±1,3	9,6±0,2
Сумма сахаров,	Любаша	6,8±0,11	7,3±1,6	7,0±0,5

%	Кокетка	6,6±0,2	7,1±0,4	7,6±0,4
Общая кислотность, %	Любаша	0,74±0,03	0,62±0,09	0,86±0,20
	Кокетка	0,77±0,07	0,75±0,06	0,84±0,11
Витамин С, мг/100 г	Любаша	52,8±2,5	57,6±0,2	65,7±2,1
	Кокетка	39,6±0,1	55,9±1,5	50,6±2,4
Витамин Р, мг/100 г	Любаша	57,2±1,5	72,8±1,4	86,2±2,3
	Кокетка	76,0±2,5	86,0±0,6	92,3±0,8
Антоцианы, мг/100 г	Любаша	55,9±2,6	64,1±1,8	60,5±2,8
	Кокетка	49,1±2,3	50,3±0,5	79,7±2,15

Содержание сухих растворимых веществ в ягодах земляники колеблется от 8,7 до 9,6%. Высокое значение данного показателя установлено у ягод сорта Кокетка в случае применения регулятора роста «Эпин-экстра» – 9,6% и сорта Любаша при использовании янтарной кислоты – 9,4%. Наилучшие показатели сахарокислотного индекса фиксируются в случае использования регулятора роста «Эпин-экстра» и составляют для сорта Любаша 9,2±0,9, для сорта Кокетка – 8,7±1,9, что свидетельствует о хороших десертных качествах ягод. Наибольшее содержание витаминов С (сорт Любаша) и Р (сорт Кокетка), а также антоцианов (сорт Кокетка) зафиксировано при обработке растений регулятором роста «Эпин-экстра».

Обсуждение

На основании проведенных исследований можно утверждать, что используемые регуляторы роста растений способствуют стимулированию физиологических процессов земляники садовой сортов Кокетка и Любаша за счет возможного развития антистрессовой активности [15].

Оценивая фенологические характеристики изучаемых сортов, следует отметить, что у сорта Кокетка все фазы развития начинались раньше в среднем на 20 дней ранее по сравнению с сортом Любаша, при этом не было зарегистрировано значительное влияние рассматриваемых регуляторов роста. Поскольку для увеличения периода потребления плодов важно иметь сорта разных сроков созревания, можно рекомендовать сочетание используемых сортов при переносе данной работы в условия тепличного хозяйства.

Было отмечено благоприятное влияние регуляторов роста на биохимический состав ягод земляники. Как известно, вкус плодов во многом определяется сахарокислотным коэффициентом [16]. В исследованиях было установлено варьирование данного показателя в пределах 6,7–9,2, при этом наибольшее значение фиксировалось в случае использования «Эпин-экстра».

Обнаружен статистически значимый эффект взаимодействия факторов «обработка» и «сорт»: сорт Кокетка имеет лучшие показатели в случае обработки регулятором роста «Янтарная кислота», а сорт Любаша – в случае использования «Эпин-экстра».

Заключение

Выявлено, что регуляторы роста «Янтарная кислота» и «Эпин-экстра» оказывают положительное влияние на всхожесть семян у сорта Кокетка, у сорта Любаша аналогичный эффект зарегистрирован только для янтарной кислоты.

Повышенные значения биометрических показателей выявлены у сорта Любаша при обработке обоими регуляторами роста растений. Для сорта Кокетка более эффективна обработка янтарной кислотой.

Обнаружено, что с точки зрения содержания хлорофилла и каротиноидов в листьях земляники садовой сортов Кокетка и Любаша использование стимуляторов роста эффективно, так как при этом отмечены наивысшие показатели концентраций пигментов. При этом повышение чистой продуктивности синтеза отмечено при применении янтарной кислоты.

Применение регулятора роста растений «Эпин-экстра» улучшает товароведно-потребительское качество ягоды в следствии изменения их биохимического состава: зафиксировано наиболее высокое содержание растворимых сухих веществ, сахаров и витамина Р в ягодах сорта Кокетка; витамина С и сахарокислотного показателя у сорта Любаша.

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

- Егорова Е. М. Применение биологически активных веществ для повышения эффективности культивирования ремонтантной земляники в условиях гидропоники / Е. М. Егорова, Ф. Д. Таумурзаева, Е. И. Степанян и др. // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. — 2022. — № 4(38). — С. 7–14.
- Галиулина А. А. Влияние регуляторов роста растений на рост и развитие земляники / А. А. Галиулина // Вестник Оренбургского государственного университета. — 2008. — № 87. — С. 11–13.

3. Ступина А. Ю. Особенности регуляции продукционного процесса земляники садовой / А. Ю. Ступина // Современное садоводство. — 2018. — № 4. — С. 54–60.
4. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорты растений (по состоянию на 23.05.2023 г.) // Государственная Комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений (ФГБУ «Госсорткомиссия»). — 2023. — URL: <https://gossortrf.ru/publication/reestry.php> (дата обращения: 25.04.2024).
5. Шаповал О. А. Регуляторы роста растений в агротехнологиях / О. А. Шаповал, И. П. Можарова, А. А. Коршунов // Защита и карантин растений. — 2014. — № 6. — С. 16–20.
6. Зацепина И. В. Воздействие стимулятора роста растений янтарной кислоты на укореняемость сортов и форм груши в условиях искусственного тумана / И. В. Зацепина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. — 2022. — № 4(68). — С. 96–104.
7. Пат. 2597859 Российская Федерация, МПК2015104357 A01G31/02 МПК. Устройство для выращивания растений *Arabidopsis thaliana* l. методом гидропонии / Федяев В. В. — № 2015104357; заявл. 2015-02-10; опубл. 2016-09-20, Российская Федерация. — 6 с.
8. Третьяков Н. Н. Практикум по физиологии растений / Н. Н. Третьяков, Т. В. Карнаухова, Л. А. Паничкин. — Москва : Агропромиздат, 1990. — 269 с.
9. Воробьев В. Н. Практикум по физиологии растений : учебно-методическое пособие / В. Н. Воробьев, Ю. Ю. Невмержицкая, Л. З. Хуснетдинова и др. — Казань : Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2013. — 80 с.
10. Смирнов Е. В. Пищевые красители / Е. В. Смирнов. — Санкт-Петербург : Профессия, 2009. — 348 с.
11. Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений / Б. П. Плешков. — Москва : Колос, 1985. — 249 с.
12. Esteban R. Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: a meta-analytical approach / R. Esteban, O. Barrutia, U. Artetxe et al. // *New Phytologist*. — 2015. — № 206. — P. 268–276.
13. Zunzunegui M. Season-dependent and independent responses of Mediterranean scrub to light conditions / M. Zunzunegui, M. C. Diaz-Barradas, J. Jauregui et al. // *Plant Physiology and Biochemistry*. — 2016. — № 102. — P. 80–91.
14. Lambers H. Plant physiological ecology / H. Lambers, F. S. Chapin, T. L. Pons. — New York : Springer, 2008. — 536 p.
15. Копылов В. И. Земляника : учебное пособие для вузов / В. И. Копылов, В. В. Николенко. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 387 с.
16. Арефьева З. И. Взаимосвязь химического состава и вкусовых качеств ягод земляники / З. И. Арефьева, А. В. Смыков // Бюллетень государственного Никитского ботанического сада. — 2021. — № 140. — С. 52–59.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Egorova E. M. Primenenie biologicheski aktivnykh veshchestv dlja povysheniya effektivnosti kultivirovaniya remontannoj zemljaniki v usloviyah gidroponiki [Application of biologically active substances to increase the efficiency of cultivation of remontan strawberry in hydroponics] / E. M. Egorova, F. D. Taumurzaeva, E. I. Stepanjan et al. // *Izvestija Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V. M. Kokova* [News of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov]. — 2022. — № 4(38). — P. 7–14. [in Russian]
2. Galiulina A. A. Vlijanie reguljatorov rosta rastenij na rost i razvitie zemljaniki [The influence of plant growth regulators on the growth and development of strawberries] / A. A. Galiulina // *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State University]. — 2008. — № 87. — P. 11–13. [in Russian]
3. Stupina A. Ju. Osobennosti reguljatsii produkcionnogo protsessu zemljaniki sadovoj [Features of regulation of the strawberry production process] / A. Ju. Stupina // *Sovremennoe sadovodstvo* [Modern gardening]. — 2018. — № 4. — P. 54–60. [in Russian]
4. Gosudarstvennyj reestr selekcionnykh dostizhenij, dopuschennykh k ispol'zovaniju. Tom 1. Sorta rastenij (po sostojaniju na 23.05.2023 g.) [State register of selection achievements approved for use. Volume 1. Plant varieties (as of May 23, 2023)] // Gosudarstvennaja Komissija Rossijskoj Federacii po ispytaniu i ohrane selekcionnykh dostizhenij (FGBU «Gossortkomissija») [State Commission of the Russian Federation for Testing and protection of selection achievements (Federal State Budgetary Institution “State Variety Commission”)]. — 2023. — URL: <https://gossortrf.ru/publication/reestry.php> (accessed: 25.04.2024). [in Russian]
5. Shapoval O. A. Reguljatory rosta rastenij v agrotehnologijah [Plant growth regulators in agricultural technologies] / O. A. Shapoval, I. P. Mozharova, A. A. Korshunov // *Zashhita i karantin rastenij* [Plant protection and quarantine]. — 2014. — № 6. — P. 16–20. [in Russian]
6. Zatssepina I. V. Vozdejstvie stimuljatora rosta rastenij jantarnoj kisloty na ukorenjaemost' sortov i form grushi v usloviyah iskusstvennogo tumana [The effect of the plant growth stimulator succinic acid on the rooting of pear varieties and forms under conditions of artificial fog] / I. V. Zatssepina // *Izvestija Nizhnevolzhskego agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyshee professional'noe obrazovanie* [News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education]. — 2022. — № 4(68). — P. 96–104. [in Russian]
7. Pat. 2597859 Russian Federation, МПК2015104357 A01G31/02 МПК. Ustrojstvo dlja vyraschivaniya rastenij *Arabidopsis thaliana* l. metodom gidroponiki [Device for growing *Arabidopsis thaliana* l. plants. hydroponics method] / Fedjaev V. V. — № 2015104357; appl. 2015-02-10; publ. 2016-09-20, Rossijskaja Federatsija. — 6 p. [in Russian]
8. Tret'jakov N. N. Praktikum po fiziologii rastenij [Workshop on plant physiology] / N. N. Tret'jakov, T. V. Karnauhova, L. A. Panichkin. — Moscow : Agropromizdat, 1990. — 269 p. [in Russian]

9. Vorob'ev V. N. Praktikum po fiziologii rastenij [Workshop on plant physiology] : educational and methodological manual / V. N. Vorob'ev, Ju. Ju. Nevmerzhitskaja, L. Z. Husnetdinova et al. — Kazan' : Kazanskij (Privolzhskij) federal'nyj universitet, 2013. — 80 p. [in Russian]
10. Smirnov E. V. Pischevye krasiteli [Food colorings] / E. V. Smirnov. — Sankt-Peterburg : Professija, 2009. — 348 p. [in Russian]
11. Pleshkov B. P. Praktikum po biohimii rastenij [Workshop on plant biochemistry] / B. P. Pleshkov. — Moscow : Kolos, 1985. — 249 p. [in Russian]
12. Esteban R. Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: a meta-analytical approach / R. Esteban, O. Barrutia, U. Artetxe et al. // *New Phytologist*. — 2015. — № 206. — P. 268–276.
13. Zunzunegui M. Season-dependent and independent responses of Mediterranean scrub to light conditions / M. Zunzunegui, M. C. Diaz-Barradas, J. Jauregui et al. // *Plant Physiology and Biochemistry*. — 2016. — № 102. — P. 80–91.
14. Lambers H. Plant physiological ecology / H. Lambers, F. S. Chapin, T. L. Pons. — New York : Springer, 2008. — 536 p.
15. Kopylov V. I. Zemljanika [Strawberries] : textbook for universities / V. I. Kopylov, V. V. Nikolenko. — Moscow : Izdatel'stvo Jurajt, 2024. — 387 p. [in Russian]
16. Aref'eva Z. I. Vzaimosvjaz' himicheskogo sostava i vkusovyh kachestv jagod zemljaniki [The relationship between the chemical composition and taste of strawberries] / Z. I. Aref'eva, A.V. Smykov // *Bjulleten' gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden]. — 2021. — № 140. — P. 52–59. [in Russian]