



Оценка использования светодиодного освещения в сочетании с применением γ -PGA SAP пептида на рост и развитие растений мяты перечной в условиях закрытой биосистемы

О. В. Шелепова¹, Е. Н. Баранова¹, К. А. Судариков^{2,3},
Л. С. Олехнович¹, Л. Н. Коновалова¹, В. В. Латушкин^{2,3},
А. А. Гулевич⁴, П. А. Верник²

¹ Главный ботанический сад Н. В. Цицина Российской академии наук, Москва, Россия.

² АНО Институт стратегии развития, Москва, Россия.

³ Московская сельскохозяйственная академия имени Тимирязева Российский государственный аграрный университет, Москва, Россия.

⁴ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, Москва, Россия.

В статье исследована возможность регуляции биомассы и продуктивности *Mentha piperita* L. при выращивании в условиях закрытой системы Синерготрон. Приведены результаты модуляции световых параметров культивирования и использование обработок низкими концентрациями пептида за счет изменения интенсивности роста и формирования вегетативной массы. Установлено, что закрытая система позволяет выявлять тонкие механизмы изменения растений и их морфологии и метаболизма при применении вегетационных индексов GLI, EXG, VARI и традиционных критериев продуктивности, открывая новые возможности в разработке современных подходов в биотехнологии эфиромасличных растений.

Evaluation of the Use of LED Lighting in Combination with the Use of γ -PGA SAP Peptide on the Growth and Development of Peppermint Plants in a Closed Biosystem

O. V. Shelepova¹, E. N. Baranova¹, K. A. Sudarikov^{2,3},
L. S. Olekhovich¹, L. N. Konovalova¹, V. V. Latushkin²,
P. A. Vernik², A. A. Gulevich⁴

¹ Main Botanical Garden of N. V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

² ANO Institute for Development Strategy, Moscow, Russia.

³ Timiryazev Moscow Agricultural Academy Russian State Agrarian University, Moscow, Russia.

⁴ All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia.

The article shows the possibility of regulating the biomass and productivity of *Mentha piperita* L. when grown in a closed Synergotron system. The results of the influence of modulation of light cultivation parameters and the use of treatments with low concentrations of the peptide due to changes in the intensity of growth and the formation of vegetative mass are presented. It has been established that the closed system makes it possible to identify subtle mechanisms of changes in plants and their morphology and metabolism when using the vegetation indices GLI, EXG, VARI and traditional criteria for assessing productivity, opening up new opportunities in the development of modern approaches in the biotechnology of essential oil plants.

Key words: LED lighting, vegetation indices, image processing, *Mentha piperita* L.

Article received: 09.07.2024

Article accepted: 05.08.2024



Ключевые слова: светодиодное освещение, вегетационные индексы, обработка изображений, *Mentha piperita* L.

Статья получена: 09.07.2024

Статья принята: 05.08.2024

ВВЕДЕНИЕ

Мята перечная (мята английская, мята холодная) (*Mentha piperita* L.) – многолетнее травянистое растение семейства яснотковых (*Lamiaceae*), ценное эфиромасличное и лекарственное растение. Из свежесобранной надземной массы получают эфирное масло, которое обладает успокаивающим и спазмолитическим действием и используется как освежающее и антисептическое средство. Из эфирного масла выделяют ментол – обезболивающее средство, входящее в состав многих комплексных препаратов, используемых в виде масляных и спиртовых настоек [1]. Кроме того, листья и соцветия мяты перечной широко применяются в кондитерской и ликероводочной промышленности, а также в кулинарии многих народов как пряно-ароматическое и пряно-вкусовое растение. Входящие в ее состав физиологически активные вещества улучшают вкусовые качества продуктов и усиливают их усвояемость, благоприятно влияют на обмен веществ, деятельность нервной и сердечно-сосудистой систем человека [2]. Наиболее крупными производителями мяты перечной и продуктов ее переработки являются аграрии Индии, Китая, Японии, Северной Кореи, США, Парагвая, Таиланда, Тайваня и Вьетнама. Лидером в производстве эфирного масла является Индия. Прогнозируемый рост производства масла мяты и связанных с ним продуктов, спрос на которые неуклонно растет, будет увеличиваться в пределах 3–5% в год [3].

Для обеспечения круглогодичного потребления свежей зеленой массы мяты в большинстве регионов Российской Федерации оптимальным является выращивание растений в условиях защищенного грунта, благодаря развитию современных агротехнологий и использованию специального оборудования с контролируемым микроклиматом по параметрам освещения, влажности, подачи питательного раствора и углекислого газа, надлежащей аэрации и т. д. [4]. При этом важнейшим лимитирующим фактором остается освещение, влияющее как на продуктивность, так и на качественные характеристики. Установлен ряд фундаментальных положений о роли спектра и интен-

INTRODUCTION

Peppermint (English mint, cold mint) (*Mentha piperita* L.) is a perennial herbaceous plant of the *Lamiaceae* family, a valuable essential oil and medicinal plant. From the freshly collected above-ground mass, essential oil is obtained, which has a soothing and antispasmodic effect and is used as a refreshing and antiseptic. Menthol is extracted from essential oil, which is an anesthetic and is part of many complex preparations used in the form of oil and alcohol tinctures [1]. In addition, the leaves and inflorescences of peppermint are widely used in the confectionery and alcoholic beverage industries, as well as in the cooking of many nations as a spicy-aromatic and spicy-flavoring plant. The physiologically active substances included in its composition improve the taste of products and enhance their digestibility, have a beneficial effect on metabolism, the activity of the human nervous and cardiovascular systems [2]. The largest producers of peppermint and its processed products are farmers from India, China, Japan, North Korea, the USA, Paraguay, Thailand, Taiwan and Vietnam. India is the leader in essential oil production. The projected growth in the production of mint oil and related products, the demand for which is steadily growing, will be 3–5% per year [3].

To ensure year-round consumption of fresh mint green mass in most regions of the Russian Federation, growing plants in protected soil conditions is optimal. The development of modern agricultural technologies and the use of special equipment makes it possible to control the microclimate in terms of lighting, humidity, supply of nutrient solution and carbon dioxide, proper aeration, etc. [4]. At the same time, lighting remains the most important limiting factor, affecting both the productivity and quality characteristics of cultivated plants. A number of fundamental provisions have been established on the role of the spectrum and intensity of photosynthetically active radiation in the formation of the most important components of the production process [5,6]. The quantity and quality of light irradiation (especially intensity, spectral composition and photoperiod) affect the manifestation of the properties of a particular genotype, the expression of its genes, plant growth and metabolism, and the biosynthesis of secondary metabolites. And these indicators, in interaction with other important parameters of the cultivation environment, determine the physiological state and productivity of plants [1,7].

In the controlled conditions of closed phytotron systems, the imitation of the solar spectrum is car-



сивности фотосинтетически активной радиации в формировании наиболее важных составляющих продукционного процесса [5, 6]. Количество и качество света (в особенности интенсивность, спектральный состав и фотопериод) влияют на проявление свойств определенного генотипа, экспрессию его генов, рост и метаболизм растений, биосинтез вторичных метаболитов и во взаимодействии с другими важными параметрами среды культивирования определяют физиологическое состояние и продуктивность растений [1, 7].

В контролируемых условиях закрытых систем фитотронов имитацию солнечного спектра осуществляют за счет использования специальных фитоламп, спектральный состав которых обладает максимальным фотосинтетическим воздействием на растения и способствует активации адаптационного потенциала растений, регуляции метаболизма, что в конечном итоге приводит к оптимизации продукционного процесса [8]. Также следует отметить, что световое модулирование может повысить биомассу и улучшить пищевую ценность потребляемой человеком продукции [9]. Минимальным требованием для выращивания зеленых культур считается смесь синего (B) и красного (R) света с длинами волн 660 и 450 нм [10]. Однако длительное освещение исключительно красным светом может привести к «синдрому красного света», который характеризуется понижением фотосинтетической активности, низким максимальным квантовым выходом флуоресценции хлорофилла (F_v/F_m) и нарушением накопления содержания углеводов, приводящим к снижению роста [11]. Добавление синего спектра может эффективно предотвращать такие нарушения [12]. Таким образом, красный и синий спектры взаимодополняют друг друга, способствуя формированию высокопродуктивных растений. Красный свет благоприятствует вегетативным процессам, тогда как синий усиливает синтез различных фитохимических веществ, таких как полифенолы, антоцианы, витамин С и другие метаболиты [13]. В настоящее время в промышленных светодиодных фитосветильниках в качестве основных используются светодиоды синего и красного света, что считается экономически наиболее выгодным [14]. Тем не менее мнение специалистов о том, какие технологии освещения и длины волн света лучше всего подходят для выращивания растений пока не окончательно сформировано. Вероятно, это вызвано тем, что исследования фотобиологии, изучающие влияние различных длин волн света

ried out through the use of special phytolamps, the spectral composition of which has a maximum photosynthetic effect on plants and promotes the activation of the adaptive potential of plants, regulation of metabolism, which ultimately leads to optimization of the production process. [8]. It should also be noted that light modulation can increase biomass yield and improve the nutritional value of human consumption [9]. The minimum requirement for growing green crops is a mixture of blue (B) and red (R) light with wavelengths of 660 and 450 nm [10]. However, long-term illumination with exclusively red light can lead to “red light syndrome,” which is characterized by decreased photosynthetic activity, low maximum chlorophyll fluorescence quantum yield (F_v/F_m), and impaired carbohydrate accumulation leading to reduced growth [11]. The addition of blue spectrum can effectively prevent such disorders [12]. Thus, the red and blue spectra complement each other, contributing to the formation of highly productive plants. Red light favors vegetative processes, while blue light enhances the synthesis of various phytochemicals such as polyphenols, anthocyanins, vitamin C and other metabolites [13]. Currently, industrial LED phytolamps use blue and red LEDs as the main ones, which are considered the most economically advantageous [14]. However, the opinion of experts on which lighting technologies and light wavelengths are best suited for growing plants has not yet been fully formed. This is likely because photobiology studies examining the effects of different wavelengths of light on plant productivity have produced conflicting results for several decades [15].

It is believed that the most favorable results can be achieved by correcting or expanding the spectral range, using white light and a combination of R (red), B (blue), G (green) and FR (far red) [16]. Thus, the addition of 730 nm FR radiation before harvesting increases the growth rate and content of antioxidants, and the synthesis of other biologically active compounds [17]. Broad spectrum irradiation extending on the green (G) wavelength range is made possible by the use of white LEDs to increase the efficiency of photosynthesis, while UV-A radiation stimulates the production of bioactive molecules and reduces nitrates [18]. White light with complementary red light is a promising light spectrum for enhancing the photosynthetic efficiency of crops, given the key role of red light in plant growth and signaling functions. Thus, growing cabbage plants using white LEDs is more efficient than using standard blue-red LEDs [19]. A study on green onions showed that adding 3:1 blue light to white light was more effective

на продуктивность растений, в течение нескольких десятилетий давали противоречивые результаты [15].

Считается, что наиболее благоприятные результаты могут быть достигнуты за счет коррекции или расширения спектрального диапазона, использования белого света и сочетания R, B, G и FR [16]. Так, добавление FR-излучения 730 нм перед сбором урожая увеличивает скорость роста и содержание антиоксидантов, синтез других биологически активных соединений [17]. Широкий спектр облучения, распространяющийся на зеленый (G) диапазон волн, становится возможен в связи с использованием белых светодиодов для повышения эффективности фотосинтеза, а УФ-А излучение стимулирует выработку биоактивных молекул и снижает содержание нитратов [18]. Белый свет с дополнительным красным светом является перспективным световым спектром для повышения эффективности фотосинтеза сельскохозяйственных культур, учитывая ключевую роль красного света в обеспечении роста и сигнальных функций растений. По данным [19] выращивание растений капусты с использованием белых светодиодов более эффективно, чем со стандартными синекрасными светодиодами. Исследования [20] по выращиванию зеленого лука показали, что добавление к белому свету синего в пропорции 3:1 более эффективно, чем освещение только белым светом, тогда как монохроматический синий значительно снизил скорость фотосинтеза и фенестрированный слой ткани. В целом вопрос об оптимальном спектральном составе и видах освещения (белый свет, полнспектральное освещение, комбинация разных видов монохроматического излучения) с учетом индивидуальных особенностей разных культур и сортов все еще остается открытым и требует глубокого изучения.

Другим способом повышения урожайности является применение биостимуляторов. Поли- γ -глутаминовая кислота (γ -PGA) и poly- γ -glutamic acid super absorbent polymer (γ -PGA SAP) представляют собой полипептид, полученный путем микробной ферментации. Предыдущие исследования сообщили о положительном влиянии использования γ -PGA и γ -PGA SAP на растения пшеницы, кукурузы, шпината. Их использование увеличило урожайность культур и повысило выживаемость растений в условиях абиотического стресса [21–23]. Однако применение γ -PGA SAP при выращивании эфиромасличных культур остается ограниченным, а информация об их относительной эффективности отсутствует.

than white light alone, while monochromatic blue significantly reduced photosynthetic rate and fenestrated tissue layer [20]. In general, the issue of the optimal spectral composition and types of lighting (white light, full-spectrum lighting, a combination of different types of monochromatic radiation), taking into account the individual characteristics of different crops and varieties, still remains open and requires in-depth study.

Another way to increase productivity is the use of biostimulants. Poly- γ -glutamic acid (γ -PGA) and poly- γ -glutamic acid super absorbent polymer (γ -PGA SAP) are polypeptides produced by microbial fermentation. Previous studies have reported the positive effects of using γ -PGA and γ -PGA SAP on wheat, corn, and spinach plants. Their use increased crop yields and increased plant survival under conditions of abiotic stress [21–23]. However, the use of γ -PGA SAP in essential oil crops remains limited and information on their relative effectiveness is lacking.

The aim of this study was to evaluate the effect of lighting in combination with the additional use of a biostimulant on the pigment composition of mint leaves, productivity and, as a consequence, the yield of essential oil of peppermint plants of the Aromatnoe Naslazhdenie cultivar.

MATERIALS AND METHODS

Plants of *Mentha piperita* L. cultivar Aromatnoe Naslazhdenie were grown in containers under two types of lighting: white light (W I and W II, respectively, with and without treatment with the γ -PGA SAP peptide) and narrow-band spectral light simulating natural light (F I and F II – with and without treatment with γ -PGA SAP peptide) with daylight hours of 16/8 and temperature conditions of 26/22 °C using the Synergotron ISR11.02.140 module (ISR, Moscow) (fig. 1, 2).

To obtain a graph of the spectral component of the lighting used, the Spectral PAR Meter PG100N was used – A portable meter that measures the range of light sources in several modes, you can create a detailed spectrum test report that will help optimize the plant growth environment through effective lighting control. With its help, the PFD, PFD and IRR indices were obtained.

During the tests of the lamp, we identified the main characteristics of the consecration affecting photosynthesis.

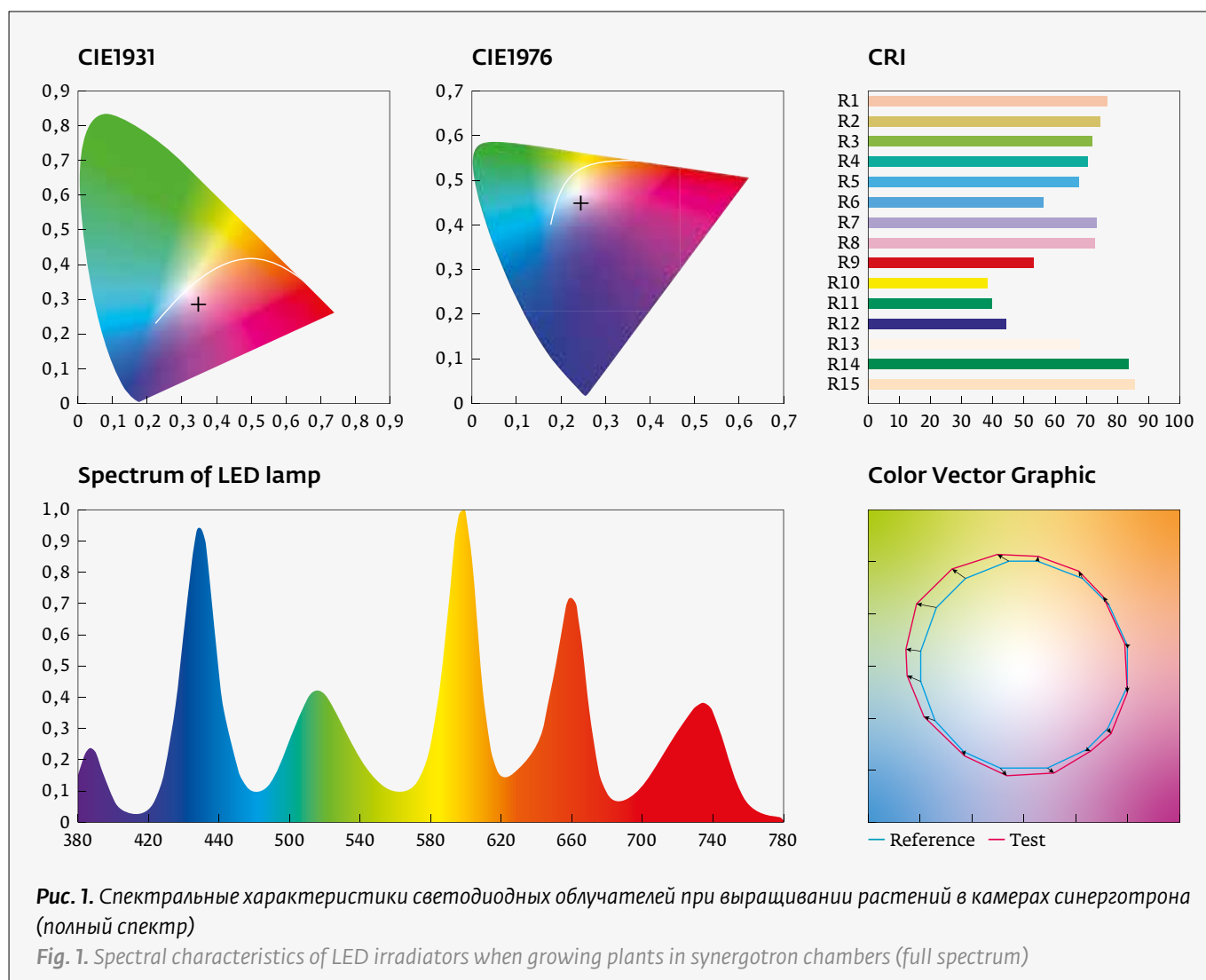
PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density) measures the number of photons per second incident per square meter of surface area. It is crucial to determine the intensity of light available for photosynthesis. It is expressed in $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$.

Чтобы решить эту проблему, в данном исследовании поставлена задача оценить влияние действия освещения в сочетании с дополнительным применением биостимулятора на пигментный состав листьев мяты, урожайность и как следствие выхода эфирного масла растений мяты перечной сорта Ароматное наслаждение.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Растения *Mentha piperita* L. сорта Ароматное наслаждение выращивали в контейнерах при двух типах освещения (белый свет (W I и W II, соответственно с обработкой пептидом γ -PGA SAP и без обработки) и узкополосный спектральный свет (рис. 1, 2), имитирующий естественное освещение (F I и F II – с обработкой пептидом γ -PGA SAP и без обработки) со световым днем 16/8 и температур-

- PFD (Photosynthetic Flux Density) –measurements of the spectrum that covers PPFD and other wavelengths of light. This is important for assessing the overall illumination affecting plant growth. It is expressed in $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$.
- IRR (Infrared radiation of wavelengths from 760 nm to 1 mm) refers to that part of the electromagnetic spectrum that plants do not use for photosynthesis, but which can indirectly affect plant health and growth, for example, by influencing temperature regulation. High ambient temperature, humidity and low air circulation levels can, in combination with radiant heat, cause thermal stress, potentially leading to thermal damage.
- The PFD irradiation intensity for all spectral lines in the experiment and control was 955.1 in the control, and 905.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ in the experiment



ными условиями 26/22 °C в модуле Синерготрон ИСП11.02.140 (ИСП, Москва).

Интенсивность облучения PFD по всем спектральным линиям в опыте и контроле составляла в контроле 955,1, в опыте 905,5 мкмоль/м²/с (табл. 1). Фотосинтетическая часть спектра PPFD составила соответственно 765,3 и 824,5 мкмоль/м²/с. Интенсивность по отдельным спектрам представлена в табл. 1.

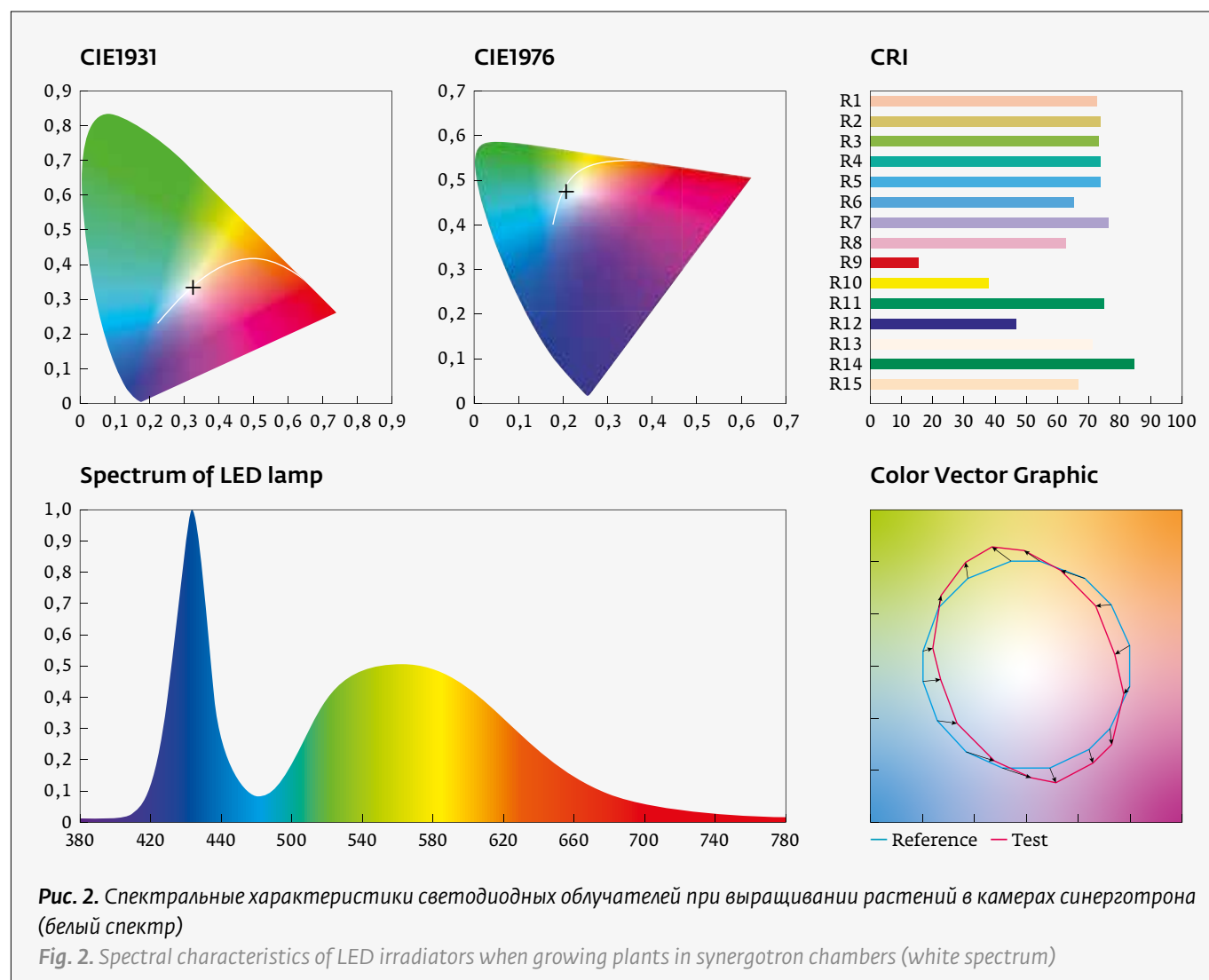
В ходе проведения испытаний светильниками были выделены основные характеристики освещения влияющих на фотосинтез.

- PPFD (плотность потока фотосинтетических фотонов) измеряет количество фотонов в секунду, падающих на квадратный метр площади поверхности. Имеет решающее значение для определения интенсивности света, доступного для

(Table 1). The photosynthetic part of the PPFD spectrum was 765.3 and 824.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, respectively. The intensity for individual spectra is presented in Table 1.

Plants were grown in containers by five plants for each regime (W I and W II; F I and F II) and the same feeding and watering regimes were maintained throughout the experiment. Half of the mint plants at the vegetative stage using foliar spraying were treated twice (the interval between treatments was 10 days) with a solution of the γ -PGA SAP peptide at a concentration of 10^{-4} M. Plants were grown under controlled conditions until flowering. On the 10th day after the second treatment (1st period) and before harvesting (2nd period), the spectral characteristics of mint plants were determined.

The phenotypic characteristics of peppermint were used to determine the calculated quantitative



фотосинтеза. Выражается в мкмоль/м²/с.

- PFD (плотность фотосинтетического потока) – измерения спектра, который охватывает PPFD и другие длины волн света. Это важно для оценки общей освещенности, влияющей на рост растений. Выражается в мкмоль/м²/с.
- IRR (инфракрасное излучение длины волн от 760 нм до 1 мм) – относится к той части электромагнитного спектра, которую растения не используют для фотосинтеза, но которая может косвенно влиять на здоровье и рост растений, например, влияя на регулирование температуры. Высокая температура окружающего воздуха, влажность и низкий уровень воздушной циркуляции могут в сочетании с лучистым теплом вызвать тепловой стресс, потенциально приводящий к тепловым повреждениям.

Пик на длине волны 450 нм в белых светодиодах обусловлен внутренними свойствами полупроводникового материала нитрида индия-галлия InGaN, используемого в конструкции светодиода. Добавление люминофорного покрытия позволяет светодиоду преобразовывать значительную часть синего света в более длинные волны, что приводит к восприятию белого света. Этот процесс позволяет создавать эффективные, универсальные и экономичные световые решения, которые точно имитируют естественный свет.

В контейнерах культивировали по 5 растений для каждого режима (W I и W II; F I и F II) и поддерживали одинаковые режимы подкормки и полива на протяжении всего эксперимента. Половина растений мяты на стадии вегетации методом внекорневой подкормки были двукратно обработаны (интервал между обработками 10 суток) раствором пептида γ -PGA SAP в концентрации 10⁻⁴. Растения выращивали в контролируемых условиях до начала цветения. На 10-й день после второй обработки (1 периода) и перед уборкой урожая (2 период) проводили определение спектральных характеристик растений мяты.

Фенотипические характеристики мяты перечной использовали для определения расчетных

Таблица 1. Анализ световых режимов выращивания мяты перечной (данные спектров) в камере синерготрона ИСП 11.02.140

Table 1. Analysis of light modes of peppermint cultivation (spectra data) in the IPS 11.02.140 Synergotron camera

Тип освещения Lighting type	Интенсивность освещения по видам спектра, мкмоль/м ² ·с Illumination intensity by spectrum type, $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$						
	PPFD	PFD	UV	Red	Far red	Green	Blue
Полный спектр (F) Full spectrum (F)	473,9	589,7	9,1	217,6	114,8	183,4	155,4
Белый свет (W) White light (W)	467,8	582,3	0,6	112,7	14,2	213,4	114,8

* PPFD – фотосинтетически активная радиация, PFD – радиация, включает ультрафиолет + дальний красный + фотосинтетически активная радиация, UV – ультрафиолет, Blue – синий, Green – зеленый, Red – красный, Far red – дальний красный
PPFD – photosynthetically active radiation, PFD – radiation, including ultraviolet + far red + photosynthetically active radiation. UV – ultraviolet.

indicators for the color of aerial organs. Intravital determination of the spectral characteristics of the aboveground organs of peppermint was carried out immediately after removal from the closed system. Three randomly selected containers containing one plant of each variant were used for evaluation. To calculate visual indices, we used the average values obtained by scanning plants based on the analysis of RGB images. To obtain images, we used the Synergotron ISR02-01 Phenoscanner (ISR, Moscow, Russia). To assess the condition of plants, indices were calculated based on those proposed earlier. To calculate condition indices, average RGB indicators were used: VARI – algorithms for remote estimation of the vegetation proportion [24]; EXG – color indicators of lighting conditions for plant identification [25]; and GLI – documenting the impact of grazing [26]. The indicated GLI, EXG and VARI indices were calculated based on the average values obtained when scanning plants based on the analysis of RGB images [27,28]. To obtain images, we used the Synergotron ISR02-01 Phenoscanner (ISR, Moscow, Russia). At the same time, a biometric analysis of glandular trichomes on mint leaves was carried out on live preparations using a Keyence VHX-1000E digital microscope (Itasca, IL, USA). The productivity and yield of essential oil of mint plants were estimated according to a modified method [29].

When statistically processing the experimental results, Microsoft Excel and Past V 3.0 programs were used. The mean value of the indicators (M), standard errors of the mean ($\pm$ SEM) and confidence interval at the 95% confidence level were deter-

количественных показателей по окраске надземных органов. Прижизненное определение спектральных характеристик надземных органов мяты проводили сразу после извлечения из закрытой системы. Для оценки использовали три рандомизированно выбранных контейнера, содержащих одно растение каждого варианта. Для расчета визуальных индексов использовали средние значения, полученные при сканировании растений на основе анализа RGB-изображений. Для получения изображений использовали Феносканер Синерготрон ИСП02-01 (ИСП, Москва, Россия). Для оценки состояния растений рассчитывали индексы на основе предложенных ранее. Для расчета индексов состояния использовали усредненные показатели RGB: VARI – алгоритмы дистанционной оценки доли растительности [24]; EXG – цветовые показатели условий освещенности для идентификации растений [25]; и GLI – документирование воздействия выпаса [26]. Указанные индексы GLI, EXG и VARI рассчитывали на основе средних значений, полученных при сканировании растений на основе анализа RGB-изображений [27, 28]. Для получения изображений использовали Феносканер Синерготрон ИСП02-01 (ИСП, Москва, Россия). В эти же сроки на живых препаратах проводили биометрический анализ железистых трихом на листьях мяты с использованием цифрового микроскопа а Keyence VHX-1000E digital microscope (Itasca, IL, USA). Урожайность и выход эфирного масла растений мяты проводили согласно модифицированной методике [29].

При статистической обработке результатов опыта использовали программы Microsoft Excel и Past V 3.0. Определяли среднее значение показателей (M), стандартные ошибки средней ($\pm$ SEM) и доверительный интервал при 95% доверительного уровня. Различия между вариантами были достоверны при $P \leq 0,05$.

Для получения графика спектральной составляющей используемого освещения был использован Spectral PAR Meter PG100N – Портативный измеритель, который измеряет дальность действия источников света в нескольких режимах, вы сможете создать подробный отчет об испытаниях спектра, который поможет оптимизировать среду роста растений за счет эффективного управления освещением. С его помощью были получены индексы PPFD, PFD и IRR.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Растения мяты F I и W I исходных (контрольных) линий не имели статистически значимых разли-

мин. Differences between options were significant at $P \leq 0.05$.

RESULTS

Peppermint plants F I and W I of the original (control) lines did not have statistically significant differences in the size and habit of the aerial parts. However, W I and W II plants had slightly longer internodes and greener foliage compared to F I plants and under identical growing conditions (fig. 3). Twice foliar spraying of mint plants of both F II and W II lines with the γ -PGA SAP peptide led to some visible changes: the size of the plants increased compared to the control lines W I and F I, but this growth was not statistically significant. The most noticeable differences were changes in leaf blade color, as shown in the RGB color indices in each image.

A comparative assessment of the performance of control plants and plants treated with γ -PGA SAP peptide grown under two types of lighting, carried out using the calculation of three vegetation indices, makes it possible to reliably identify changes in the state of plants after exposure to treatment with the peptide (fig. 4). All three indicators showed significant differences between the condition of plants grown under white light and narrow-band spectrum light. Treatment of plants grown under illumination with narrow-band spectral light with γ -PGA SAP peptide improved the photochemical parameters of plants; the increase in GLI, EXG and VARI indices by the time of harvesting mint plants ranged from 57 to 71%. While in plants grown under white light, by the time of harvest, the treatment of plants with γ -PGA SAP peptide was practically leveled out, the indicators of the vegetation indices GLI and VARI remained at the original level. And only the EXG index increased by 11.5%.

The date analysis shows that the GLI and EXG indices make it possible to reliably distinguish the state of control plants and plants treated with γ -PGA SAP peptide for all parameters studied. And the VARI index is less effective for distinguishing between control and experimental plants.

If we compare changes in the spectral characteristics of plants grown under two types of lighting, as well as after treatment with γ -PGA SAP peptide, the blue spectrum turned out to be the most stable indicator, which remained virtually unchanged in all four experimental options. Intensity indicators in the red spectrum decreased in plants treated with γ -PGA SAP peptide in both W II and F II plants, and the decrease in plants grown under narrow-spectrum light was significantly greater. Control plants grown under both

чий по размерам и габитусу надземной части. Однако растения W I и W II имели немного более длинные междоузлия и более зеленую листву по сравнению с растениями F I и в идентичных условиях выращивания (рис. 3). Двукратная внекорневая подкормка пептидом γ -PGA SAP растений мяты линий как F II, так и W II привела к некоторым видимым изменениям – увеличились размеры растений по сравнению с контрольными линиями W I и F I, однако это рост был статистически не достоверным. Наиболее заметные различия заключались в изменении в цвете листовой пластинки, что показано в индексах цвета RGB на каждом изображении.

Сравнительная оценка состояния контрольных и обработанных γ -PGA SAP пептидом растений, выращенных при двух типах освещения, проведенная с использованием расчета трех вегетационных индексов, позволяет достоверно выявить изменения состояния растений после воздействия обработки пептидом (рис. 4). Все три показателя показали существенные различия между состоянием растений выращенных при освещении белым светом и узкополосным спектральным светом. Обработка γ -PGA SAP пептидом растений, выращенных при освещении узкополосным спектральным светом, улучшила фотохимические показатели растений, рост индексов GLI, EXC и VARI к моменту уборки урожая растений мяты составил от 57 до 71%. Тогда как у растений, выращенных при белом свете, к моменту уборки урожая обработка γ -PGA SAP пептидом растений практически нивелировалась, показатели вегетационных индексов GLI и VARI оста-

Полный спектр
Full spectrum



Белый спектр
White spectrum



Обработка
пептидом
Peptide
spraying

Without peptide
spraying
Без обработки
пептидом

Обработка
пептидом
Peptide
spraying

Without peptide
spraying
Без обработки
пептидом

R54 G74 B33

R68 G81 B34

R53 G76 B34

R59 G80 B29



Рис. 3. Особенности развития мяты при использовании двух типов светодиодного освещения (белый свет (W I и W II) и узкополосный спектральный свет, имитирующий естественное освещение (F I и F II)) со световым днем 16/8 и температурными условиями 26/22 °C в сочетании с применением γ -PGA SAP пептида (F II и W II) на рост и развитие растений мяты перечной в условиях закрытой системы – модуля Синерготрон ИСП11.02.140

Fig. 3. Peculiarities of mint development when using two types of LED lighting (white light (W I and W II) and light with a narrow-band spectrum simulating natural light (F I and F II)) with daylight hours of 16/8 and temperature conditions of 26/22 °C in combination using γ -PGA SAP peptide (F II and W II) on the growth and development of peppermint plants in a closed system – the Synergotron ISPI1.02.140 module



Таблица 2. Морфометрические параметры растений мяты Ароматное наслаждение

Table 2. Morphometric parameters of mint plants Aromatic Naslazhdenie

Показатели Indices	Время отбора проб (период) Sampling time (period)				
	Варианты опыта Experimental options				
	FI	FII	WI	WII	
Диаметр желез на абаксимальной стороне листа мяты, μm Diameter of glands on the abaxial side of a mint leaf, μm	1	67,99 $\pm$ 0,25	68,46 $\pm$ 0,29	65,02 $\pm$ 0,18	68,53 $\pm$ 0,25
	2	68,13 $\pm$ 0,31	69,27 $\pm$ 0,25	64,59 $\pm$ 0,21	69,11 $\pm$ 0,38
Плотность желез на абаксимальной стороне листа мяты, шт Density of glands on the abaxial side of a mint leaf, pcs	1	21,7 $\pm$ 1,3	24,8 $\pm$ 1,8	16,2 $\pm$ 0,9	19,7 $\pm$ 1,1
	2	23,3 $\pm$ 1,7	25,7 $\pm$ 1,5	17,8 $\pm$ 2,0	20,0 $\pm$ 1,9
Диаметр желез на венчике цветка, μm Diameter of glands on the corolla of a flower, μm	2	72,98 $\pm$ 0,40	72,16 $\pm$ 0,32	69,22 $\pm$ 0,29	69,78 $\pm$ 0,35
Урожайность зеленой массы, г/одно растение Productivity of green mass, g/one plant	2	7,99 $\pm$ 0,38	8,74 $\pm$ 0,26	8,06 $\pm$ 0,28	8,62 $\pm$ 0,33
Содержание эфирного масла, % Essential oil content, %	2	2,59 $\pm$ 0,12	2,89 $\pm$ 0,15	2,45 $\pm$ 0,09	2,72 $\pm$ 0,11

лись на первоначальном уровне. И только индекс EXG увеличился на 11,5%.

Анализ данных показывает, что индексы GLI и EXG позволяют достоверно различать состояние контрольных и обработанных γ -PGA SAP пептидом растений при всех изученных параметрах. А индекс VARI менее эффективен для различия контрольных и опытных растений.

Если сравнить изменения спектральных характеристик растений, выращенных при двух типах освещения, а также после обработки γ -PGA SAP пептидом, то наиболее стабильным показателем оказался синий спектр, который практически не изменился во всех четырех вариантах опыта. Показатели интенсивности в красном спектре снизились у обработанных γ -PGA SAP пептидом растений как у образцов W II, так и у образцов F II, причем снижение у растений, выращенных при узкоспектральном свете было существенно больше. Контрольные растения, выращенные как при белом спектре, так и при узкополосном спектральном свете, показали более высокую чувствительность интенсивности окраски в зеленом диапазоне, которая снижалась после обработки γ -PGA SAP пептидом, при этом уровень интенсивности зеленого цвета варианта F II становился сравнимым со значением у растений варианта W II. То есть обработанные γ -PGA SAP пептидом растения мяты сохраняли целостность структур фотосистемы, что способствовало нормальному протеканию биохимических процессов в растениях.

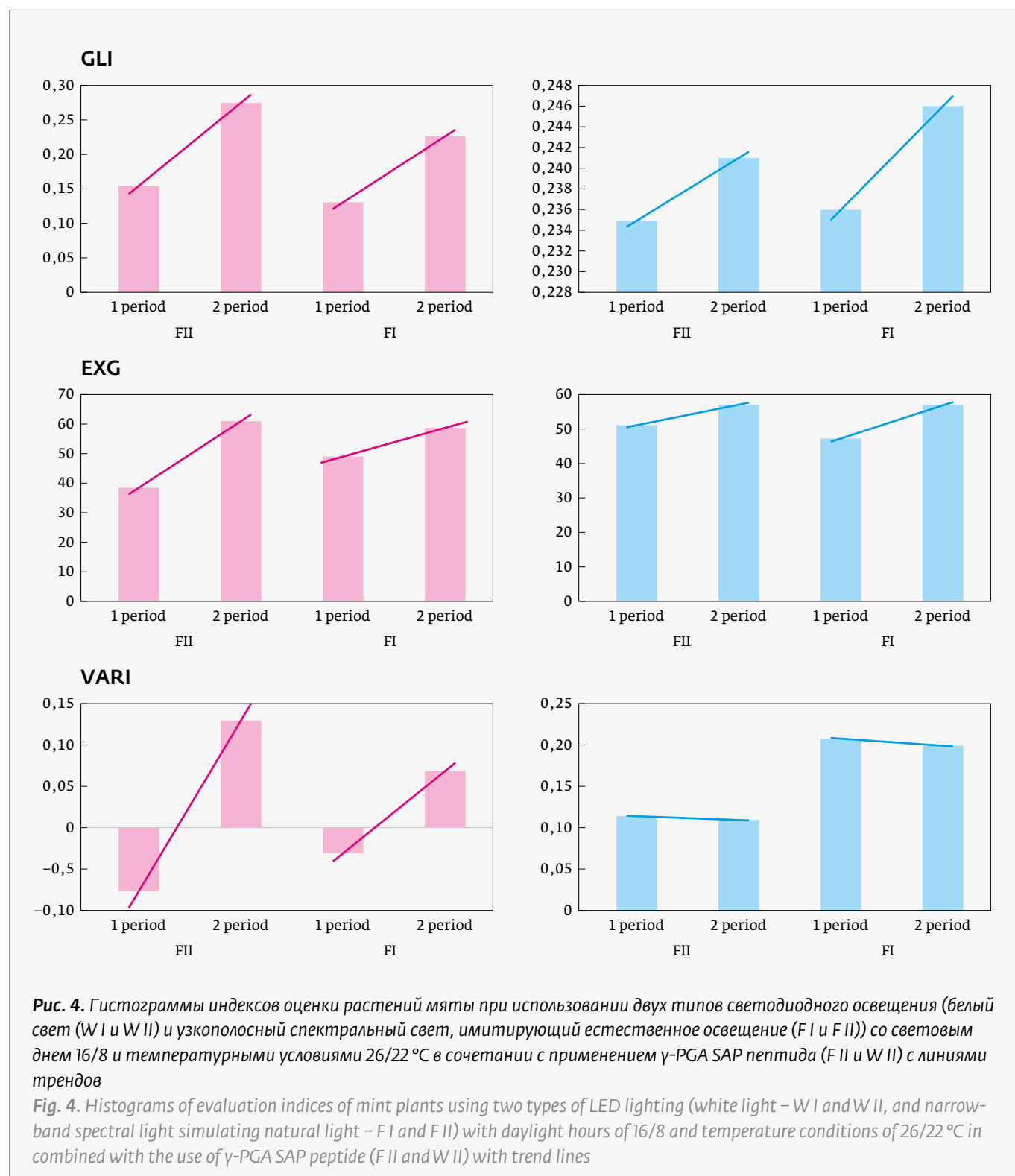
white spectrum and narrowband spectral light showed a higher sensitivity of color intensity in the green range, which decreased after treatment with γ -PGA SAP peptide, while the level of green color intensity of the F II variant became comparable to that of plants of variant W II. That is, mint plants treated with γ -PGA SAP peptide maintained the integrity of the photo-system structures, which contributed to the normal occurrence of biochemical processes in plants.

Essential oil is generated and stored in secretory glands in all organs of the aerial parts of mint plants (stems, leaves, calyx, corolla). Moreover, their maximum number is located on flowers, leaves of the middle and upper tiers, the minimum number is on plant stems. With the growth and increase in the size of leaves and flowers, more and more new glands are formed, and the development of the glands is a fairly rapid process. Glands of slightly smaller sizes were formed on mint leaves than on the corolla of mint flowers (Table 2). Moreover, on the abaxial side of the leaf in the control plants of the F I variant, the diameter of the glands was larger than in the W I plants. Treatment of both variants with the γ -PGA SAP peptide from the mint plant leveled out this discrepancy – the diameter of the glands was generally similar.

The density of glands on the leaves of the upper tier of plants, both in the 1st period and in the 2nd period of sampling, of samples grown under narrow-band spectral light was significantly higher than in plants grown under white light. The maximum density of secretory glands with their large sizes, recorded in plants of the FI and FII variants, determined a higher

Эфирное масло генерируется и хранится в секреторных железах во всех органах надземной части растений мяты (стеблях, листьях, чашечке, венчике). Причем максимальное их количество рас-

yield of essential oil in mint samples -1.1 times compared to plants WI and WII. Treatment of mint plants with γ -PGA SAP peptide in both variants led to an increase in yield (by 9.4% in the FII variant and 7.0% in





положено на цветках, листьях среднего и верхнего ярусов, минимальное количество – на стеблях растений. С ростом и увеличением размеров листьев и цветков формируются все новые железы, при этом развитие желез достаточно быстрый процесс. На листьях мяты формировались железы несколько меньших размеров, чем на венчике цветков мяты (табл. 2). Причем на абаксиальной стороне листа у контрольных растений варианта FI диаметр желез был больше, чем у растений WI. Обработка γ -PGA SAP пептидом растения мяты обоих вариантов нивелировала данное расхождение – диаметр желез был в целом аналогичный.

Плотность желез на листьях верхнего яруса растений как в 1 период, так и во 2 период отбора образцов, выращенных при узкополосном спектральном свете, было существенно выше, чем у растений, выращенных при белом свете. Максимальная плотность секреторных желез при их больших размерах, зафиксированная у растений вариантов FI и FII, обусловила более высокий выход эфирного масла у образцов мяты – в 1,1 раза по сравнению с растениями WI и WII. Обработка γ -PGA SAP пептидом растения мяты обоих вариантов привела увеличению урожайности (на 9,4% в варианте FII и 7,0% в варианте WII) и к увеличению выхода эфирного масла на 11,6 и 11,0% соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По нашим данным, использование закрытых биологических систем позволяет оптимизировать исследования воздействия оптического излучения в сочетании с использованием биохимических препаратов на процесс выращивания эфиромасличных растений. Освещение растений мяты узкополосным светом полного спектра позволяет сформироваться на листьях верхнего яруса эфиромасличным железам более крупного диаметра и более высокой плотности, что обеспечивает увеличение выхода эфирного масла. Обработка растений мяты γ -PGA SAP пептидом также повышает урожайность и способствует увеличению продуктивности растений.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа над данной статьей проводилась в рамках выполнения государственного задания ГБС РАН (№ 122042700002-6) («Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения») и ВНИИСБ (№ 0431-2022-0003). Результаты работы получены с использованием модулей «Синерготрон ИСП11.02.140» (АНО «Институт стратегии развития»).

the WII variant), and an increase in the yield of essential oil by 11.6 and 11.0%, respectively.

CONCLUSIONS

According to data obtained, the use of closed biological systems makes it possible to optimize studies of the effects of optical radiation in combination with the use of biochemical preparations on the process of growing essential oil plants. Illumination of mint plants with narrow-band full-spectrum light allowed the formation of essential oil glands of larger diameter and higher density on the leaves of the upper tier, which ensured an increase in the yield of essential oil. Treatment of mint plants with γ -PGA SAP peptide also increased yield and contributed to increased plant productivity.

ACKNOWLEDGMENTS

Work on this article was carried out within the framework of the state assignment of the GBS RAS (No. 122042700002-6) (“Biological diversity of natural and cultural flora: fundamental and applied issues of study and conservation”) and ARRIAB (No. 0431-2022-0003). The results of the work were obtained using Modules Synergotron ISR11.02.140 (ANO “Institute of Development Strategy”).

AUTHORS

- O. V. Shelepova, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0003-2011-6054
- E. N. Baranova, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0001-8169-9228.
- K. A. Sudarikov, Research Engineer, ANO Institute of Development Strategy, Moscow, Russia. ORCID: 0009-0005-8734-1223
- L. S. Olekhovich, Candidate of Biological Sciences, Researcher, N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.
- L. N. Kononova, Researcher, N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.
- V. V. Latushkin, Candidate of Biological Sciences, Researcher, ANO Institute of Development Strategy, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0003-1406-8965
- P. A. Vernik, Leading Researcher, ANO Institute of Development Strategy, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0001-5850-7654
- A. A. Gulevich, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0003-4399-2903

CONFLICT OF INTEREST

The authors state that they have no conflict of interest. All the authors took part in writing the article and supplemented the manuscript in part of their work.

CONTRIBUTION OF THE MEMBERS OF THE AUTHOR'S TEAM

The article is based on the work of all members of the author's team.

REFERENCES

- Shelepova O. V., Baranova E. N., Tkacheva E. V., Evdokimenkova Y. B., Ivanovskii A. A., Konovalova L. N., Gulevich A. A. Aromatic Plants Metabolic Engineering: A review. *Agronomy*, 2022, 12, 3131. DOI: 10.3390/agronomy12123131
- Malysheva A. G., Shelepova O. V., Yudin S. M. Transformation of the component structure of essential oil and volatile allocation of plants under the impact of artificial lighting. *Gigiena i Sanitariya*. 2019; 98(11): 1228–1234. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-11-1228-1234.
Малышева А. Г., Шелепова О. В., Юдин С. М. Трансформация компонентного состава эфирного масла и летучих выделений растений под влиянием искусственного освещения. *Гигиена и санитария*. 2019;98(11):1228–1234. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-11-1228-1234.
- Gupta S., Kumar A., Gupta A. K., Jnanesha A. C. et al. Industrial mint crop revolution, new opportunities, and novel cultivation ambitions: A review. *Ecological Genetics and Genomics*. 2023; 27: 100174. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2023.100174>.
- Sharma A., Hazarika M., Heisnam P. et al. Controlled Environment Ecosystem: A plant growth system to combat climate change through soilless culture. *Crop Design*. 2024; 3: 100044. <https://doi.org/10.1016/j.crodp.2023.100044>
- Al Murad M., Razi K., Jeong B. R. et al. Light emitting diodes (LEDs) as agricultural lighting: Impact and its potential on improving physiology, flowering, and secondary metabolites of crops. *Sustainability*. 2021; 13(4): 1985. DOI: 10.3390/sui3041985
- Nájera C., Gallegos-Cedillo V. M., Ros M., Pascual J. A. Role of spectrum-light on productivity, and plant quality over vertical farming systems: bibliometric analysis. *Horticulturae*. 2023; 9(1): 63. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010063>
- Sena S., Soni Kumari S., Kumar V., Husen A. Light emitting diode (LED) lights for the improvement of plant performance and production: A comprehensive review. *Current Research in Biotechnology*. 2024; 7: 100184. <https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2024.100184>
- Paradiso R., Proietti S. Light-quality manipulation to control plant growth and photomorphogenesis in greenhouse horticulture: The state of the art and the opportunities of modern LED systems. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2022; 41(2): 742–780. DOI: 10.1007/s00344-021-10337-y
- Liu R. H. Health-Promoting Components of Fruits and Vegetables in the Diet. *Advances in Nutrition*. 2013; 4(3): 384S–392S. <https://doi.org/10.3945/an.112.003517>
- Ahmed H. A., Yu-Xin T., Qi-Chang Y. Optimal control of environmental conditions affecting lettuce plant growth in a controlled environment with artificial lighting: a review. *South African Journal of Botany*. 2020; 130: 75–89.
- Miao Y., Chen Q., Qu M., Gao L., Hou L. Blue light alleviates 'red light syndrome' by regulating chloroplast ultrastructure, photosynthetic traits and nutrient accumulation in cucumber plants *Scientia Horticulturae*. 2019; 257: 108680. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108680>
- Zha L., Liu W., Yang Q. et al. Regulation of ascorbate accumulation and metabolism in lettuce by the red: blue ratio of continuous light using LEDs. *Frontiers in Plant Science*. 2020; 11.
- Wong C. E., Teo Z. W. N., L. Shen L. H. Yu Seeing the lights for leafy greens in indoor vertical farming. *Trends Food Science and Technology*. 2020; 106: 48–63. 10.1016/j.tifs.2020.09.031
- Boros I. F., Székely G., Balázs L., Csambalik L., Sipo L. Effects of LED lighting environments on lettuce (*Lactuca sativa* L.) in PFAL systems – A review. *Scientia Horticulturae*. 2023; 321: 112351. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112351>
- Wu B.-S., Mansoori M., Schwalb M. et al. Light emitting diode effect of red, blue, and amber light on photosynthesis and plant growth parameters. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2024; 256: 112939. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2024.112939>
- Nozue H., Gomi M. Usefulness of broad-spectrum white LEDs to envision future plant factory T. Kozai (Ed.), *Smart Plant Factory: The Next Generation Indoor Vertical Farms*, Springer, Singapore (2018), pp. 197–210, https://doi.org/10.1007/978-981-13-1065-2_13
- Lee M.-J., Park S.-Y., Oh M.-M. Growth and cell division of lettuce plants under various ratios of red to far-red light-emitting diodes. *Horticultural and Environmental Biotechnology*. 2015; 56: 186–194. <https://doi.org/10.1007/s13580-015-0130-1>
- Thilini Deepashika Perera W. P., Navaratne S., Wickramasinghe I. Impact of spectral composition of light from light-emitting diodes (LEDs) on postharvest quality of vegetables: a review. *Postharvest Biology and Technology*. 2022; 191: 111955.
- Metallo R. M., Kopsell D. A., Sams C. E., Bumgarner N. R. Influence of blue/red vs. white LED light treatments on biomass, shoot morphology, and quality parameters of hydroponically grown kale. *Scientia Horticulturae*. 2018; 235: 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.061>
- Gao S., Wang K., Li N. et al. The growth and photosynthetic responses of white LEDs with supplemental blue light in green onion (*Allium fistulosum* L.) unveiled by Illumina and single-molecule real-time (SMRT) RNA-sequencing. *Environmental and Experimental Botany*. 2022; 197: 104835. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104835>
- Sasani M., Ahmadzade M., Besharati H., Mirzadi Gohari A. Optimization of gamma polyglutamic acid (γ-PGA) production by *Bacillus velezensis* and its effect on increasing wheat growth and biocontrol of *Bipolaris sorokiniana* causal agent of common root rot of wheat. *Biological Control of Pests and Plant Diseases*, 2022, 11(2), 69–82. <https://doi.org/10.22059/JBIOC.2023.364379.322>
- Wang, Z.; Yang, R.; Liang, Y.; Zhang, S.; Zhang, Z.; Sun, C.; Yang, Q. Comparing efficacy of different biostimulants for hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Agronomy*. 2022; 12(4): 786. DOI: 10.3390/agronomy12040786
- Guo J., Zhang J., Zhang K., Li S., Zhang Y. Effect of γ-PGA and γ-PGA SAP on soil microenvironment and the yield of winter wheat. *Plos one*, 2023, 18(7), e0288299. DOI: 10.1371/journal.pone.0288299
- Gitelson A. A., Kaufman Y. J., Stark R., Rundquist D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing Environment*. 2002, 80, 76–87.
- Woebecke D. M., Meyer G. E., VonBargen K., Mortensen D. A. Color indicators for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions ASAE* 1995; 38: 259–269.
- Louhaichi M., Borman M. M., Johnson D. E. Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto International* 2001; 16: 65–70.
- Baranova E. N.; Kononenko N. V.; Lapshin P. V.; Nechaev T. L. et al. Superoxide Dismutase Premodulates Oxidative Stress in Plastids for Protection of Tobacco Plants from Cold Damage Ultrastructure Damage. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024; 25(10): 5544. DOI: 10.3390/ijms25105544
- Baranova E. N., Shelepova O. V., Zolotukhina A. A., Nesterov G. V., Sudarikov K. A., Latushkin V. V., Gulevich A. A. Application of optical methods for assessing physiological damage to wheat flag leaves. *Photonics Russia*. 2024; 18(4): 320–330. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2024.18.4.320.330
Баранова Е. Н., Шелепова О. В., Золотухина А. А., Нестеров Г. В., Судариков К. А., Латушкин В. В., Гувевич А. А. Применение оптических методов для оценки физиологических повреждений флаговых листьев пшеницы. *Фотоника*. 2024; 18(4): 320–330. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2024.18.4.320.330
- Shelepova O. V.; Olekhovich L. S.; Konovalova L. N.; Khusnetdinova T. I., Gulevich A. A., Baranova E. N. Assessment of essential oil yield in three mint species in the climatic conditions of Central Russia. *Agronomy Research*, 2021, 19(4), 1970–1980. DOI 10.15159/AR.21.113

АВТОРЫ

- О. В. Шелепова, к. б. н., в. н. с., Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН, Москва, Россия. ORCID: 0000-0003-2011-6054
- Е. Н. Баранова, к. б. н., в. н. с., н. с., Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН, Москва, Россия. ORCID: 0000-0001-8169-9228
- К. А. Судариков, инженер-исследователь, АНО Институт стратегии развития, Москва, Россия. ORCID: 0009-0005-8734-1223
- Л. С. Олехнович, к. б. н., н. с., Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН, Москва, Россия.
- Л. Н. Коновалова, н. с., Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН, Москва, Россия.
- В. В. Латушкин, к. б. н., с. н. с., АНО Институт стратегии развития, Москва, Россия. ORCID: 0000-0003-1406-8965
- П. А. Верник, в. н. с., АНО Институт стратегии развития, Москва, Россия. ORCID: 0000-0001-5850-7654
- А. А. Гувевич, к. б. н., с. н. с., Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, Москва, Россия. ORCID: 0000-0003-4399-2903

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов. Все авторы приняли участие в написании статьи и дополнили рукопись в части своей работы.

ВКЛАД ЧЛЕНОВ АВТОРСКОГО КОЛЛЕКТИВА

Статья подготовлена на основе работы всех членов авторского коллектива.

12-14 НОЯБРЯ

УФА 2024



РОССИЙСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ

Международные
специализированные выставки

- МАШИНОСТРОЕНИЕ
- МЕТАЛЛООБРАБОТКА
- ИННОВАЦИОННЫЙ
ПОТЕНЦИАЛ УФЫ

www.prombvk.ru

Место проведения:
Выставочный комплекс
г.Уфа, ул. Менделеева 158

 prombvk

 promexpoufa



Организаторы:



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ,
ЭНЕРГЕТИКИ И ИННОВАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



АДМИНИСТРАЦИЯ
ГОРОДСКОГО ОКРУГА г. УФА
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



Поддержка



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



РОССИЙСКАЯ
АССОЦИАЦИЯ
«СТАНКОИНСТРУМЕНТ»

Партнер деловой
программы



НАУПР
Национальная Ассоциация
Владельцев Патентов на Изобретения

Технический
партнер



Медиа02
техническое сотрудничество
и продвижение

Реклама. ООО «БВК» 0278179329



ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

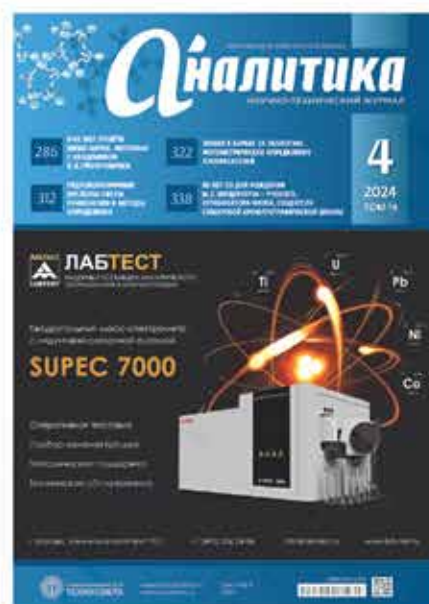
100% ГАРАНТИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ВСЕХ НОМЕРОВ



Стоимость 2200 р. за номер
Периодичность: 10 номеров в год
www.electronics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.photonics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 6 номеров в год
www.j-analytics.ru

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

www.technosfera.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.lastmile.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.nanoindustry.ru



Стоимость 1800 р. за номер
Периодичность: 4 номера в год
www.stankoinstrument.ru