



# Влияние импульсного освещения на прорастание семян некоторых овощных, масличных и лекарственных растений

В. Н. Зеленков<sup>1,2,3</sup>, В. В. Латушкин<sup>3</sup>, М. И. Иванова<sup>2</sup>,  
А. А. Лапин<sup>4</sup>, В. В. Карпачев<sup>5</sup>, А. А. Кособрыхов<sup>6</sup>,  
П. А. Верник<sup>3</sup>, С. В. Гаврилов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», Москва, Россия

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», д. Верея, Раменский район, Моск. обл., Россия

<sup>3</sup> АНО «Институт стратегий развития», Москва, Россия

<sup>4</sup> ФГБОУ ВО «Казанский энергетический университет», Казань, Россия

<sup>5</sup> ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рапса», Липецк, Россия

<sup>6</sup> ФГБУН «Институт фундаментальных проблем биологии РАН», Пущино, Моск. обл., Россия

Представлены результаты комплексного исследования влияния импульсного светового облучения на прорастание семян, рост и урожайность микрорастений. Объекты исследования – 8 овощных, лекарственных и масличных растительных культур. Выдвинуто положение о необходимости разработки дифференцированных режимов светового облучения растений (в частности, периода следования и длительности импульсов). Установлено, что влияние импульсного облучения в значительной степени зависит от генетических особенностей объектов. Обнаружены наиболее благоприятные и худшие режимы облучения по сравнению с темновым проращиванием для повышения урожайности растений. Параметры флуоресценции хлорофилла различаются при

# Effect of Pulsed Illumination on the Germination of Seeds of Some Vegetable, Oil-Bearing and Medicinal Plants

V. N. Zelenkov<sup>1,2,3</sup>, V. V. Latushkin<sup>3</sup>, M. I. Ivanova<sup>2</sup>, A. A. Lapin<sup>4</sup>,  
V. V. Karpachev<sup>5</sup>, A. A. Kosobryukhov<sup>6</sup>, P. A. Vernik<sup>3</sup>, S. V. Gavrilov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> FSBSI “All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants”, Moscow, Russia

<sup>2</sup> All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – branch of FSBSI “Federal Scientific Center of Vegetable Growing”, Vereya, Ramensky District, Moscow region, Russia

<sup>3</sup> ANO “Institute for Development Strategies”, Moscow, Russia

<sup>4</sup> FSBEI HE “Kazan Power Engineering University”, Kazan, Russia

<sup>5</sup> FSBSI “All-Russian Research Institute of Rapeseed”, Lipetsk, Russia

<sup>6</sup> FSBSI “Institute for Fundamental Problems of Biology of RAS”, Pushchino, Moscow region, Russia

The results of a comprehensive study of the effect of pulsed light irradiation on seed germination, plant growth and green mass yield are presented. The objects of research included 8 vegetable, medicinal and oil-bearing plants. A hypothesis was put forward that it is necessary to develop differentiated modes of light irradiation of plants (repetition period and pulse duration). It has been found that the effect of pulsed irradiation largely depends on the genetic characteristics of the objects. The most favorable and worst irradiation regimes were found in comparison with dark germination for plant productivity. Chlorophyll fluorescence parameters differ when exposed to pulsed light in the second and millisecond ranges. Analysis of the total antioxidant activity (TAOA) of green mass (microgreens) also showed significant differences depending on the genetic nature of the plant.

**Key words:** pulsed light, LEDs, green photonics, vegetables, oilseeds, medicinal plants, seeds, chlorophyll, fluorescence, growth and development

Received on: 28.05.2020

Accepted on: 10.07.2020

**облучении импульсным светом в секундном и миллисекундном диапазонах. Анализ суммарной антиоксидантной активности (САОА) зеленой массы (микрозелени) также показал существенные отличия в зависимости от генетической природы растения.**

**Ключевые слова:** импульсный свет, светодиоды, фитофотоника, овощные культуры, масличные культуры, лекарственные растения, семена, хлорофилл, флуоресценция, рост и развитие

Статья получена: 28.05.2020

Принята к публикации: 10.07.2020

## ВВЕДЕНИЕ

При искусственном выращивании растений в замкнутых агроэкосистемах с использованием светокультуры регулирование параметров освещения приобретает особую значимость [1-2]. Импульсные режимы освещения, позволяющие экономить электроэнергию, уже давно привлекали внимание исследователей [3]. Однако сложность реакций отклика фотосинтетических и ростовых процессов растений на импульсное облучение не позволили получить однозначного ответа. К такому выводу пришли как автор фундаментальной монографии о фотосинтезе, изданной еще в 1954 году [4], так и авторы более нового обзора 1980 года [5]. С помощью современных методик было установлено, что реакционные центры листьев растений способны поглощать и запасать энергию от импульсов света длительностью порядка 100 мкс и короче, а затем использовать ее для транспорта электронов в электронтранспортной цепи (ЭТЦ) в течение темновой паузы между импульсами. Высказано предположение, что подача света короткими импульсами высокой интенсивности в периоды активации светопоглощающих комплексов и выключение света в периоды их инактивации смогут удовлетворить энергетические потребности у ряда зеленых культур при относительно невысоких значениях усредненной ППФ. Были получены данные, свидетельствующие о том, что свет, направляемый на посев растений в коротких интенсивных импульсах, обеспечивал более высокую квантовую эффективность фотосистемы II и продуктивность растений по сравнению с непрерывным светом [6].

Однако практическая проверка импульсных облучателей в растениеводстве показала, что они могут оказывать как стимулирующее, так

## INTRODUCTION

When artificially growing plants in closed agroecosystems using photoculture, the regulation of lighting parameters becomes especially important [1-2]. Pulsed lighting modes, which allow saving energy, have long attracted the attention of researchers [3]. However, the complexity of the response of the photosynthetic and growth processes of plants to pulsed irradiation did not allow obtaining an unambiguous answer. This conclusion was reached both by the author of a fundamental monograph on photosynthesis, published back in 1954 [4], and by the authors of a newer review in 1980 [5]. Using modern techniques, it was found that reaction centers are capable of absorbing and storing energy from light pulses with a duration of about 100  $\mu$ s and shorter, and then use it for the transport of electrons in the electron transport chain (ETC) during the dark pause between pulses. It has been suggested that the supply of light with short high-intensity pulses during the periods of activation of light-absorbing complexes and turning off the light during periods of their inactivation will be able to satisfy the energy needs of a number of green crops with relatively low values of the averaged PFD (photon flux density). Data were obtained indicating that light directed to plant sowing in short intense pulses provided a higher quantum efficiency of photosystem II and plant productivity compared to continuous light [6].

However, practical testing of pulsed irradiators in crop production has shown that they can have both stimulating and depressing effects. Practitioners have found that changing the constant illumination mode to a pulsed one (conditions: 2  $\mu$ s – darkness, 4  $\mu$ s – light, spectral ratio red light/blue light – RL/BL 2.3:1) at low (160  $\mu$ mol  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) the photon flux density does not cause changes in the rate of photosynthesis and water-retention capacity of leaves. The pulse mode in the variant with volumetric illumination throughout the entire growing season of tomato plants led to a decrease in the growth and development of plants, which ultimately does not allow reaching the levels of productivity obtained with constant illumination. In another study, it was shown that at 400  $\mu$ mol  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , pulsed light inhibited plant growth as compared to continuous radiation, especially when the pulse repetition period was lengthened above 350  $\mu$ s. However, at an average irradiation level of about 500  $\mu$ mol  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , the dry weight of the crop was higher under pulsed illumination. The nature of the effect of pulsed illumination on plants significantly depended on the duration of the pulse repetition period. With pulsed light with a pulse repetition period of more

и угнетающее действие. Практиками было установлено, что смена постоянного режима освещения на импульсный (условия: 2 мкс – темнота, 4 мкс – свет, спектральное соотношение красный свет/синий свет – КС/СС 2,3:1) при низкой ( $160 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$ ) плотности потока фотонов не вызывает изменений скорости фотосинтеза и водоудерживающей способности листьев. Импульсный режим в варианте с объемным освещением на протяжении всего периода вегетации растений томата приводил к снижению темпов роста и развития растений, что в итоге не позволяет достигнуть уровней продуктивности, получаемых при постоянном освещении. В другом исследовании показано, что при  $400 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$  импульсный свет ингибировал рост растений по сравнению с непрерывным излучением, особенно при удлинении периода следования импульсов свыше 350 мкс. Однако при уровне средней облученности около  $500 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$  сухая масса растений была выше при импульсном освещении. Характер воздействия импульсного освещения на растения существенно зависел от длительности периода следования импульсов. При импульсном свете при длительности периода следования импульсов свыше 450 мкс продуктивность растений была выше, чем при использовании непрерывного света. Но при значениях менее 400 мкс импульсное освещение негативно влияло на рост растений.

Анализ опубликованных материалов показал, что необходимы дальнейшие исследования импульсного облучения с целью лучшего понимания механизмов его воздействия на растения. В частности, практически не изучена реакция растений в генетическом аспекте, не осуществлен систематический скрининг по родам, видам и сортам сельскохозяйственных растений. Очевидно также, что ответная реакция растений может быть связана с изменением режимов импульсного света. Одним из важных моментов является также оценка антиоксидантной активности как возможного маркера изменения метаболических процессов в растениях при стрессе, в частности при изменении условий среды обитания, в том числе режима освещения [7, 8]. Известно, что при инициации стрессорами защитных реакций происходит изменение состава и содержания метаболитов антиоксидантного метаболома. Устойчивость растений к биотическим и абиотическим стрессам может быть связана с накоплением биологически активных веществ с антиоксидантной активностью [9,10].

than  $450 \text{ }\mu\text{s}$ , the inoculation productivity was higher than with continuous light. However, at values less than  $400 \text{ }\mu\text{s}$ , pulsed illumination negatively affected plant growth.

The analysis showed that further studies of pulsed irradiation are needed in order to better understand the mechanisms of its effect on plants. In particular, the reaction of plants in the genetic aspect has not been practically studied, systematic screening by genera, species and varieties of agricultural plants has not been carried out. It is also obvious that the plant response can be associated with a change in pulsed light modes. One of the important points is also the assessment of antioxidant activity as a possible marker of changes in metabolic processes in plants with changes in environmental conditions, including the lighting regime [7, 8]. It is known that when stressors initiate defense reactions, the composition and content of metabolites of the antioxidant metabolome change. Plant resistance to biotic and abiotic stresses may be associated with the accumulation of biologically active substances with antioxidant activity [9, 10].

In previous works [11–18], we studied the effect of pulsed irradiation modes on seed germination of a number of crops (germination, biometric parameters of seedlings and total antioxidant activity). This work continues this line of research. The aim of the research was to study the effect of a pulsed irradiation regime of plants of different species on the parameters of the photosynthetic apparatus, as well as growth processes when they are grown under controlled conditions of the agrobiotechnological system.

## MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out in an ISR1.01 synergotron designed by the Institute for Development Strategies (Fig. 1, 2). Seeds were sown in Petri dishes with a mineral wool substrate, 25–50 pcs. in a dish, 3 times repetition. Temperature  $24\text{--}25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sowing area included 9 cm Petri dishes with an area of  $63.6 \text{ cm}^2$ .

The objects of research are seeds and sprouts of some vegetable, medicinal and oil-bearing crops: “Yubileiny” radish, salad mustard “Mei Lin”, amaranth “Lipetskiy”, ramtil “Lipchanin”, calendula, caraway seeds, fenugreek and Moldavian snakehead.

Polychrome phyto-lamps (produced by ANO “Institute for Development Strategies”) were used as LED lighting. The ratio of the spectra in all experiments: red  $640 \text{ nm}$  – 61.6%, blue  $440 \text{ nm}$  – 23.8%, green  $520\text{--}530 \text{ nm}$  – 6%, far red  $740 \text{ nm}$  – 7.2%, UV

В предыдущих работах [11-18] нами исследовано влияние режимов импульсного облучения на прорастание семян ряда лекарственных, овощных и масличных культур (всхожесть, биометрические показатели сеянцев и суммарная антиоксидантная активность). Настоящая работа продолжает данное направление исследований. Целью исследований стало изучение действия импульсного режима облучения растений разных видов на параметры фотосинтетического аппарата, а также ростовые процессы при их выращивании в контролируемых условиях агробиотехносистемы.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты проведены в синерготроне ИСР 1.01 конструкции АНО «Институт стратегий развития» (рис. 1, 2). Посев семян проводили в чашки Петри с подложкой минеральной ваты, по 25-50 шт. в чашку, 3-кратная повторность. Температура 24-25 °С. Площадь посева – 9-сантиметровые чашки Петри площадью 63,6 см<sup>2</sup>.

Объекты исследований – семена и ростки некоторых овощных, лекарственных и масличных культур: редиса «Юбилейный», горчицы салатной «Мей Лин», амаранта «Липецкий», нуга абиссинского «Липчанин», календулы, тмина, пажитника и змееголовника молдавского.

В качестве светодиодного освещения использованы полихромные фитосветильники (производство АНО «Институт стратегий развития»). Соотношение спектров во всех экспериментах: красный 640 нм – 61,6%, синий 440 нм – 23,8%, зеленый 520-530 нм – 6%, дальний красный 740 нм – 7,2%, УФ 380 нм – 1,5%. Протокол спектральных характеристик светильников в синерготроне ИСР 1.01 приведен на рис. 3.

Дополнительно изучали вариант проращивания семян в темноте – это основной вариант, предписываемый требованиями ГОСТ 12038-84 на проращивание семян сельскохозяйственных культур. Интенсивность освещения на уровне поверхности семян: пиковая (в период действия импульса) 265 мкмоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>, усредненная по времени различается в разных экспериментах (см. ниже).

Всего проведено 3 варианта экспериментов с разными режимами импульсного освещения для 8 сельскохозяйственных культур овощного, масличного и лекарственного направлений использования:

- режимы импульсного облучения 1/3 с, 1/3 мс – усредненная по времени интенсивность облучения 66,3 мкмоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>;

380 нм – 1,5%. The protocol of the spectral characteristics of the luminaires in the ISR1.01 synergotron is shown in Fig. 3.

Moreover, we studied the option of germinating seeds in the dark, this is the main option prescribed by the GOST requirements for germinating seeds of agricultural crops. The intensity of illumination at the level of the seed surface: peak (during the period of the pulse) 265  $\mu\text{M}/\text{m}^2\text{s}$ , averaged over time, differs in different experiments (see below).

In total, 3 variants of experiments with different modes of pulsed illumination were carried out for 8 agricultural crops of vegetable, oilseed and medicinal uses:

- modes of pulsed irradiation 1/3 s, 1/3 ms – time-averaged irradiation intensity of 66.3  $\mu\text{M}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ;
- mode 1/2 s – time-averaged irradiation intensity of 88.3  $\mu\text{M}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ;



**Рис. 1.** Синерготрон (модель 1.01, производство АНО «Институт стратегий развития», Москва)

**Fig. 1.** Synergotron (model 1.01, by ANO «Institute for Development Strategies, Moscow»)



- режим 1/2 с – усредненная по времени интенсивность облучения  $88,3 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$ ;
- режим 1/1 с – усредненная по времени интенсивность облучения  $132,5 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$ .

Обозначение 1/3 с соответствует режиму: 1 секунда – длительность испускания света светодиодом, 3 секунды – длительность темного периода; обозначение 1/3 мс соответствует режиму: 1 миллисекунда – длительность испускания света светодиодом, 3 миллисекунды – длительность темного периода; и т.д. Освещение в таком режиме было круглосуточным, т.е. 24 часа в сутки.

Энергию прорастания и всхожесть определяли согласно ГОСТ12038-84 с изменениями – вместо фильтровальной бумаги использовали подложку из минеральной ваты. Суммарную антиоксидантную активность (САОА) определяли кулонометрическим методом с использованием электрогенерации радикалов брома. Пробы анализировали на кулонометре «Эксперт-006» (ООО «Эконикс-Эксперт», Россия) по сертифицированной нами методике [19]. Электрогенерацию радикалов брома осуществляли из 0,2 М раствора калия бромидата в 0,1 М водном растворе кислоты серной при постоянной силе тока 100,0 мА. В электролитическую ячейку вводили 30 мл фонового раствора и, при достижении индикаторным током определенного значения, аликвоту водного экстракта исследуемого образца объемом 0,200–0,500 см<sup>3</sup>. Определение проводили при комнатной температуре. Суть измерения САОА заключается в том, что в измерительной ячейке под действием электрического тока генерируются радикалы, в данном случае брома: Br<sup>•</sup>, Br<sub>2</sub><sup>•</sup>, Br<sub>2</sub>; активные формы кислорода: O<sub>2</sub><sup>•</sup>, HO<sub>2</sub><sup>•</sup>, OH<sup>•</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, <sup>1</sup>O<sub>2</sub>; NOBr. При введении в измерительную ячейку 5 см<sup>3</sup> водных экстрактов растительных образцов они реагируют с радикалами, а прибор выдает количественные содержания антиоксидантов, которые статистически обрабатываются и заносятся в память персонального компьютера в виде таблицы значений. Прибор калибровали спиртовым раствором российского стандартного образца (PCO) рутина [20], приготовленного по действующей Государственной фармакопее XI издания [21]. САОА выражали в г стандартного образца рутина (Ru) на 100 г образца на сухой (с.о.) или абсолютно сухой (а.с.о.) образец. Статистическая обработка полученных результатов проведена через модальное значение (моду) из 10 определений [22], относительная ошибка определения САОА исследованных образцов растений (Е отн.) находилась в пределах 1,34–3,25%.



**Рис. 2.**  
8-полочная  
камера синер-  
готрона  
(модель 1.01,  
производство  
АНО «Институт  
стратегий  
развития»,  
Москва)  
**Fig. 2.**  
8-shelf  
chamber of the  
synergotron  
(model 1.01,  
produced by  
ANO «Institute  
for Development  
Strategies»,  
Moscow)

- mode 1/1 s – time-averaged irradiation intensity of  $132.5 \text{ μM/m}^2\cdot\text{s}$ ,

The 1/3 s designation corresponds to the mode: 1 second – duration of light emission by the LED, 3 seconds – duration of the dark period; the 1/3 ms designation corresponds to the mode: 1 millisecond – duration of light emission by the LED, 3 milliseconds – duration of the dark period; etc. Lighting in this mode was around the clock, i. e. 24 hours a day.

Germination energy and germination were determined according to GOST 12038-84. The total antioxidant activity (TAOA) was determined by the coulometric method using the electric generation of bromine radicals. The samples were analyzed on an Expert-006 coulometer (by Econix-Expert LLC, Russia) according to our certified method [19]. The electric generation of bromine radicals was carried out from a 0.2 M solution of potassium bromide in a 0.1 M aqueous solution of sulfuric acid at a constant current of 100.0 mA. 30 ml of the background solution was introduced into the electrolytic cell, and when the indicator current reached a certain value, an aliquot of the water extract of the test sample with a volume of 0.200–0.500 cm<sup>3</sup>. The determination was carried out at room temperature. The essence of TAOA measurement is that radicals are generated in the measuring cell under the action of an electric current, in

Флуоресценцию хлорофилла в листьях растений после воздействия импульсного освещения определяли с помощью ПАМ-флуориметра.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Эксперимент 1.

#### Секундный и миллисекундный диапазоны импульсного освещения (1/3 с, 1/3 мс)

Приведенные на рис. 4 данные показывают, что влияние импульсного облучения в значительной степени зависит от генетических особенностей объекта. Стимуляция прорастания семян под влиянием импульсного облучения 1/3 с характерна для таких культур, как змееголовник и календула, отрицательное влияние импульсного облучения – для тмина и горчицы. По редису, пажитнику, амаранту и нугу заметных различий не наблюдалось.

Сравнение секундного (1/3 с) и миллисекундного (1/3 мс) диапазона импульсного облучения показало, что в целом секунднй диапазон лучше переносится растениями, особенно по культурам амарант и нуг. По другим культурам энергия прорастания при разных режимах облучения отличается несущественно, а по змееголовнику отмечен эффект стимуляции под воздействием миллисекундного импульсного облучения (на 10,7%).

Стимулирующее влияние импульсного облучения в секундном диапазоне 1/3 с проявилось только для календулы (увеличение энергии прорастания семян на 8,9%) и нугу (увеличение энергии прорастания семян на 4,2%). По другим культурам отмечен эффект снижения всхожести (наиболее сильно по культурам тмин, змееголовник, амарант). Миллисекундный диапазон импульсного облучения 1/3 мс оказался неблагоприятным для амаранта и нуга, по другим культурам резких

### ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ СПЕКТРА

Дата: 2018/02/14

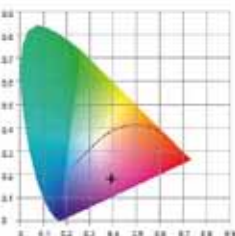
#### ■ Информация

Пользователь: Sinergotron	Время измерений: 16:24:28
Модель No: PG100N	Источник света: TLeft_ALL
Памитка:	

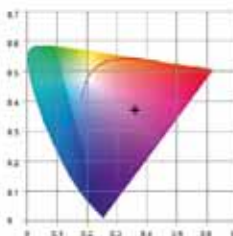
#### ■ Базовый

CCT	: 0K
x	: 0,3935
y	: 0,1801
λD	: 690nm
λP	: 635nm

#### ■ CIE1931



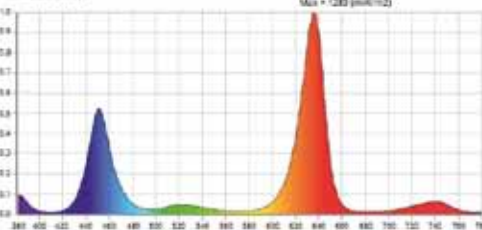
#### ■ CIE1976



#### ■ CRI



#### ■ Спектр



#### ■ Color Vector Graphic



#### ■ Свойства

CCT : 0K	x10 : 0,3935	Δx : 0,0005	Duv : 0,4364	Pct Filter : 0,00%	PPD-R : 175,7	R3 : 0,0	R10 : 0,0
LUX : 8421	y10 : 0,1801	Δy : 0,0001	S/P : 2,21	IRR : 60,41	PPD : 289,5	R4 : 0,0	R11 : 0,0
I-Time : 8ms	w10 : 0,3315	Δw : 0,0008	R : 782,6	PPD : 264,5	Purity : 40,48%	R5 : 0,0	R12 : 0,0
x : 0,3935	v10 : 0,3773	Δv : 0,3706	R1 : 0,0	PPD-UV : 4,393	QOS : 0,0	R6 : 0,0	R13 : 0,0
y : 0,1801	E : 18394,5630	ΔE : 0,00	R2 : 0,0	PPD-MR : 20,80	CRI : 0,0	R7 : 0,0	R14 : 0,0
u' : 0,3598	F : 8471,21	ΔF : 0,00	GAI : 0,0	PPD-B : 19,13	R1 : 0,0	R8 : 0,0	R15 : 0,0
v' : 0,3706	Z : 119931,803PV	ΔZ : 1283	TLCE : 0,0	PPD-G : 17,26	R2 : 0,0	R9 : 0,0	

**UPRtek**  
United Power Research Technology Corporation

Рис. 3. Протокол испытаний спектра светильников синерготрона (модель 1.01, производство АНО «Институт стратегий развития», Москва)  
Fig. 3. Test report for the spectrum of synergotron lamps (model 1.01, produced by ANO «Institute for Development Strategies», Moscow)

this case bromine: Br<sup>-</sup>, Br<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub><sup>·</sup>; reactive oxygen species: O<sub>2</sub><sup>·-</sup>, HO<sub>2</sub><sup>·</sup>, OH<sup>·</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, <sup>1</sup>O<sub>2</sub>; HOBr. When 5 cm<sup>3</sup> of aqueous extracts of plant samples are introduced into the measuring cell, they react with radicals, and the device gives out quantitative contents of antioxidants, which are statistically processed and entered into the memory of a personal computer in the form of a table of values. The device was calibrated with an alcohol solution of the Russian standard sample (RSS) of rutin [20] prepared according to the current State

отличий по сравнению с 1/3 с не установлено как по энергии прорастания (рис. 4), так и по всхожести семян исследованных культур (рис. 5).

При темновом проращивании формируются этиолированные, вытянувшиеся растения, фотосинтез не происходит. При импульсном освещении 1/3 с формируются пропорционально развитые растения. В эксперименте по большинству культур проявилось заметное отставание по высоте растений, выращенных в миллисекундном диапазоне 1/3 мс по сравнению с 1/3 с (рис. 6). Устойчивость к неблагоприятному воздействию импульсного излучения в миллисекундном диапазоне проявили только редис и пажитник, в меньшей степени горчица, у которых высота ростков при разных режимах освещения оказалась сопоставимой.

Одним из наиболее важных критериев оценки воздействия импульсного облучения является биомасса растений. Несмотря на значительное превышение по высоте растений в темновом варианте, их биомасса не увеличивалась пропорционально росту. По большинству культур максимальная биомасса наблюдалась при импульсном освещении в режиме 1/3 с (рис. 7). Однако различия между вариантами импульсного освещения не выражены так резко, как различия по высоте растений. Вероятно, при освещении 1/3 мс формируются растения с иной морфологической структурой – меньшие по высоте, но не сильно отличающиеся по биомассе по сравнению с растениями, выращенными при 1/3 с.

Конечный хозяйственно ценный показатель эффективности выращивания растений – урожайность. По данному показателю также проявились значительные генетические отличия. При выращивании в режиме импульсного облучения в секундном диапазоне 1/3 с урожайность зеленой массы (микрозелени) календулы и пажитника повысилась в два раза и более по сравнению с темновым проращиванием, тмина, змееголовника, редиса и нуга – больше на 10–28% (рис. 8). В то же время урожайность микрозелени горчицы снизилась на 16%, амаранта – на 26%.

У всех исследованных в эксперименте лекарственных и эфиромасличных растений урожайность оказалась выше при выращивании в миллисекундном режиме импульсного освещения 1/3 мс по сравнению с секундным 1/3 с. В то же время по овощным и масличным культурам характерна другая закономерность – урожайность редиса и амаранта почти в два раза больше при 1/3 с, чем 1/3 мс. Урожайность микрозелени нуга и горчицы

Pharmacopoeia, XI edition [21]. The TAOA was expressed in g of a standard sample of rutin (Ru) per 100 g of a sample per dry (d. s.) or completely dry (c. d. s.) sample. Statistical processing of the obtained results was carried out through the modal value (mode) of 10 determinations [22], the relative error in determining the TAOA of the investigated water samples (E rel.) according to Table 1. was in the range of 1.34–3.25%.

Chlorophyll fluorescence in plant leaves after exposure to pulsed illumination was determined using a PAM fluorometer.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Experiment 1.

#### Second and millisecond ranges of pulsed illumination (1/3 s, 1/3 ms)

The data given in Fig. 4 show that the effect of pulsed irradiation is highly dependent on the genetic characteristics of the object. Stimulation of seed germination under the influence of pulsed irradiation of 1/3 s is typical for crops such as snakehead and calendula, the negative effect of pulsed irradiation is for caraway and mustard. No significant differences were observed for radish, fenugreek, amaranth and ramtil.

Comparison of the second (1/3 s) and millisecond (1/3 ms) ranges of pulsed irradiation showed that, in general, the second range is better tolerated by plants, especially in amaranth and ramtil crops. For other crops, the germination energy under different irradiation regimes does not differ significantly, and for the snakehead, the effect of stimulation under the influence of millisecond pulsed irradiation (by 10.7%) was noted.

The stimulating effect of pulsed irradiation in the second range of 1/3 s was manifested only in calendula (an increase in seed germination energy by 8.9%) and ramtil (an increase in seed germination energy by 4.2%). For other crops, the effect of decreasing germination was noted (the most pronounced for crops was caraway, snakehead, amaranth). The millisecond range of pulsed irradiation of 1/3 ms turned out to be unfavorable for amaranth and ramtil; for other crops, sharp differences in comparison with 1/3 s were not established both in the germination energy (Fig. 4) and in the seed germination of the studied crops (Fig. 5).

With dark germination, etiolated, elongated plants are formed, photosynthesis does not occur. Under pulse illumination of 1/3 s, proportionally developed plants are formed. In the experiment for most of the crops, there was a noticeable lag in



также выше при импульсном облучении в секундном диапазоне. Таким образом, характер ответной реакции растений на импульсное облучение в разных режимах зависит прежде всего от генетической природы исследуемого объекта.

Анализ суммарной антиоксидантной активности (САОА) зеленой массы (микрозелени) также показал существенные отличия в зависимости от генетической природы растения. Миллисекундный диапазон импульсного освещения 1/3 мс вызывал рост САОА микрозелени горчицы, амаранта, змееголовника (рис. 9). САОА микрозелени нуга и пажитника практически не менялась при разных режимах импульсного освещения. У растений тмина, редиса и календулы суммарная антиоксидантная активность в режиме 1/3 мс, наоборот, уменьшалась.

У большинства изученных культур САОА надземной части при проращивании в темноте оказалось меньшим, чем при импульсном освещении. Только у нуга в темновом варианте наблюдался незначительный прирост показателя САОА.

В эксперименте с помощью ПАМ-флуориметра проведено определение флуоресценции хлорофилла растений редиса и нуга. У проростков редиса при облучении в миллисекундном диапазоне 1/3 мс по сравнению с секундным 1/3 с повышается максимальный квантовый выход, тогда как по остальным параметрам флуоресценции наблюдается снижение (рис. 10). У растений нуга возрастает максимальный квантовый выход и нефотохимическое тушение, а реальный квантовый выход и скорость электронного транспорта снижаются.

## Эксперимент 2.

### Импульсное освещение в режиме 1/2 с

Из изученных культур стимуляция энергии прорастания семян под воздействием импульсного облучения в режиме 1/2 с наблюдалась только в случае змееголовника – на 14,7% (рис. 11). Сильный ингибирующий эффект (снижение энергии прорастания на 36,6%) проявился для семян тмина, снижение на уровне 5,55% – для нуга, 4,5% – для редиса, и 3,3% – для горчицы. По сравнению с режимом 1/3 с (рис. 4) отсутствовал эффект стимуляции у календулы и уменьшился отрицательный эффект у горчицы.

Отмеченный ранее эффект стимуляции энергии прорастания по семенам змееголовника при дальнейшем прорастании семян менял показатели на ингибирующее воздействие – всхожесть семян при импульсном облучении снижалась на 20% по сравнению с темновым проращиванием (рис. 12). Силь-

height of plants grown in the millisecond range of 1/3 ms compared to 1/3 s (Fig. 6). Only radishes and fenugreek, and to a lesser extent mustard, in which the sprout height was comparable under different illumination conditions, showed resistance to the adverse effects of pulsed radiation in the millisecond range.

One of the most important criteria for assessing the impact of pulsed irradiation is plant biomass. Despite a significant excess in height of plants in the dark variant, their biomass did not increase in proportion to the growth. For most crops, the maximum biomass was observed under pulsed illumination in the 1/3 s mode (Fig. 7). However, the differences between the variants of pulsed illumination are not as pronounced as the differences in plant height. Probably, under illumination of 1/3 ms, plants with a different morphological structure are formed – smaller in height, but not very different in biomass compared to plants grown at 1/3 s.

The final economically valuable indicator of the efficiency of plant growing is yield. This indicator also showed significant genetic differences. When grown in the mode of pulsed irradiation in a second range of 1/3 s, the yield of green mass (microgreens) of calendula and fenugreek increased twice or more compared to dark germination, caraway, snakehead, radish and ramtil – more by 10–28% (Fig. 8). At the same time, the yield of mustard microgreens decreased by 16%, amaranth – by 26%.

In all the medicinal and essential oil plants studied in the experiment, the yield turned out to be higher when grown in a millisecond mode of pulsed illumination of 1/3 ms compared to 1/3 s. At the same time, for vegetable and oilseeds, a different pattern is characteristic – the yield of radish and amaranth is almost twice as much at 1/3 s, than 1/3 ms. The yield of microgreens of ramtil and mustard is also higher with pulsed irradiation in the second range. Thus, the nature of the response of plants to pulsed irradiation in different modes depends primarily on the genetic nature of the object under study.

Analysis of the total antioxidant activity (TAOA) of green mass (microgreens) also showed significant differences depending on the genetic nature of the plant. The millisecond range of pulsed illumination of 1/3 ms caused an increase in the TAOA of the microgreens of mustard, amaranth, and snakehead (Fig. 9). The TAOA of ramtil and fenugreek microgreens practically did not change under different modes of pulsed illumination. In caraway, radish and calendula plants, the total antioxidant activity in the 1/3 ms mode, on the contrary, decreased.



ный ингибирующий эффект импульсного освещения на всхожесть особенно характерен для семян тмина (61,3%), а также нуга (36,5%). Всхожесть семян остальных культур также снижалась после импульсного освещения, но в меньшей степени. По сравнению с вариантом 1/3 с (рис. 5) отсутствовал эффект стимуляции всхожести семян у календулы и нуга.

Аналогично эксперименту 1 в эксперименте 2 при темновом проращивании наблюдалась этиоляция и вытягивание ростков растений. При импульсном освещении формировались нормально развитые растения меньшей высоты (рис. 13).

Несмотря на значительное превышение по высоте растений в темновом варианте, биомасса не повышалась пропорционально росту. Эффект импульсного освещения на массе надземной части растений по сравнению с темновым проращиванием наиболее значительно проявился по редису, календуле и пажитнику (рис. 14).

У некоторых культур (редис, календула и пажитник) возрастала урожайность надземной массы – микрозелени, тогда как у других культур лучшая урожайность наблюдалась в варианте темнового проращивания (рис. 15).

У большинства изученных культур (горчица, амарант, нуг) суммарная антиоксидантная активность (САОА) надземной части при проращивании в темноте оказалась меньшей, чем при импульсном освещении (рис. 16). Только у редиса в темновом варианте наблюдался некоторый рост САОА.

### Эксперимент 3.

#### Импульсное освещение в режиме 1/1 с

Аналогично эксперименту 2 в эксперименте 3 с использованием импульсного облучения 1/1 с эффект стимуляции наблюдался только у семян змееголовника (рис. 17). По всем остальным культурам, особенно по тмину, энергия прорастания в темновом варианте была выше.

По показателям всхожести семян результаты также схожи с данными эксперимента 2. После прорастания семян при импульсном освещении 1/1 с наблюдается снижение всхожести семян тмина, змееголовника, нуга, календулы и, в меньшей степени, пажитника, редиса и горчицы (рис. 18).

Аналогично экспериментам 1 и 2 в эксперименте 3 при темновом проращивании наблюдалась этиоляция и вытягивание растений. При импульсном освещении формировались нор-

In the majority of the studied cultures, the TAOA of the aerial part during germination in the dark turned out to be lower than under pulsed illumination. Only ramtil in the dark variant showed a slight increase in the TAOA index.

In the experiment, the fluorescence of chlorophyll in radish and ramtil plants was determined using a PAM fluorimeter. In radish seedlings irradiated in the millisecond range of 1/3 ms, the maximum quantum yield increases as compared to 1/3 s, while a decrease is observed in the rest of the fluorescence parameters (Fig. 10). In ramtil plants, the maximum quantum yield and non-photochemical quenching increase, while the actual quantum yield and electron transport rate decrease.

### Experiment 2.

#### Pulsed illumination in 1/2 s mode

Among the studied cultures, stimulation of seed germination energy under the influence of pulsed irradiation in 1/2 s mode was observed only in the snakehead – by 14.7% (Fig. 11). A strong inhibitory effect (a decrease in germination energy by 36.6%) was manifested in caraway seeds, a decrease at the level of 5.55% – ramtil, 4.5% – radish, 3.3% – mustard. Compared with the 1/3 s regimen (Fig. 4), there was no stimulation effect in calendula and a decrease in the negative effect in mustard.

The previously noted effect of stimulating the germination energy by the seeds of the snakehead was lost with further germination of the seeds – the germination of seeds under pulsed irradiation decreased by 20% compared with dark germination (Fig. 12). The strong inhibitory effect of pulsed illumination on germination is especially characteristic of caraway seeds (61.3%) and ramtil (36.5%). Seed germination of other crops also decreased after pulsed illumination, but to a lesser extent. Compared with the 1/3 s option (Fig. 5), there was no effect of stimulating seed germination in calendula and ramtil.

Similarly to experiment 1, in experiment 2, during dark germination, etiolation and stretching of plants were observed. Under pulsed illumination, normally developed plants of lower height were formed (Fig. 13).

Despite a significant excess in height of plants in the dark variant, the biomass did not increase in proportion to the growth. The effect of pulsed illumination on the mass of the aboveground part of plants, in comparison with dark germination, was most significantly manifested for radishes, calendula, and fenugreek (Fig. 14).

мально развитые растения меньшей высоты (рис. 19).

Стимулирующий эффект импульсного освещения 1/1 с по сравнению с темновым проращиванием проявился только по календуле и пажитнику (рис. 20). Не отмечено стимулирующего воздействия импульсного освещения 1/1 с на редис, как в эксперименте № 2.

У тех же культур (пажитник и календула) после прорастания в условиях импульсного облучения в режиме 1/1 с урожайность надземной массы (микрорзелени) возрастала (рис. 21). По другим культурам наблюдалось снижение урожайности микрорзелени по сравнению с темновым проращиванием.

Как и в эксперименте 2, у большинства изученных культур (горчица, амарант, нуг) суммарная антиоксидантная активность (САОА) надземной части при проращивании в темноте оказалась меньшей, чем при импульсном освещении или не изменялась (рис. 22). Только у редиса в темновом варианте наблюдалось незначительное увеличение показателя САОА.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В экспериментах с 8-ю овощными, масличными и лекарственными культурами установлено, что влияние импульсного облучения на рост растений в значительной степени зависит от генетических особенностей объекта. Стимуляция прорастания семян под влиянием импульсного облучения 1/3 с характерна для таких культур, как змееголовник и календула, а отрицательное влияние установлено для тмина и горчицы. По редису, пажитнику, амаранту и нугу заметных различий не наблюдалось. Урожайность зеленой массы (микрорзелени) в варианте 1/3 с повысилась у календулы и пажитника в два раза и более по сравнению с темновым проращиванием, тмина, змееголовника, редиса и нуга – больше на 10–28%, однако снизилась на 16% у горчицы и на 26% у амаранта. Другие изученные режимы импульсного облучения 1/2 с и 1/1 с в целом менее благоприятны для растений, чем 1/3 с.

Сравнение секундного (1/3 с) и миллисекундного (1/3 мс) диапазона импульсного облучения показало, что в целом секунднй диапазон более благоприятен для роста растений. У овощных и масличных культур снижалась урожайность (по редису и амаранту почти вдвое). Однако у лекарственных растений урожайность зеленой массы (ростков), наоборот, оказалась выше при выращивании в миллисекундном режиме

In some crops (radish, calendula and fenugreek), the yield of the aboveground mass – microgreens increased, while in other crops the best yield was observed in the dark germination option (Fig. 15)

In most of the studied crops (mustard, amaranth, ramtil), the total antioxidant activity (TAOA) of the aerial part during germination in the dark turned out to be lower than under pulsed illumination (Fig. 16). Only in the dark version of radish, there was a slight increase in TAOA.

## Experiment 3.

### Pulsed illumination in 1/1 s mode

Similarly to experiment 2, in experiment 3 using pulsed irradiation of 1/1 s, the stimulation effect was observed only in the seeds of the snakehead (Fig. 17). For all other crops, especially for caraway seeds, the germination energy in the dark variant was higher.

In terms of seed germination, the results are also similar to those of experiment 2. After seed germination under pulse illumination for 1/1 s, a decrease in seed germination of caraway, snakehead, ramtil, calendula and, to a lesser extent, fenugreek, radish and mustard is observed (Fig. 18).

Similar to experiments 1 and 2, in experiment 3 during dark germination, etiolation and stretching of plants were observed. Under pulsed illumination, normally developed plants of lower height were formed (Fig. 19).

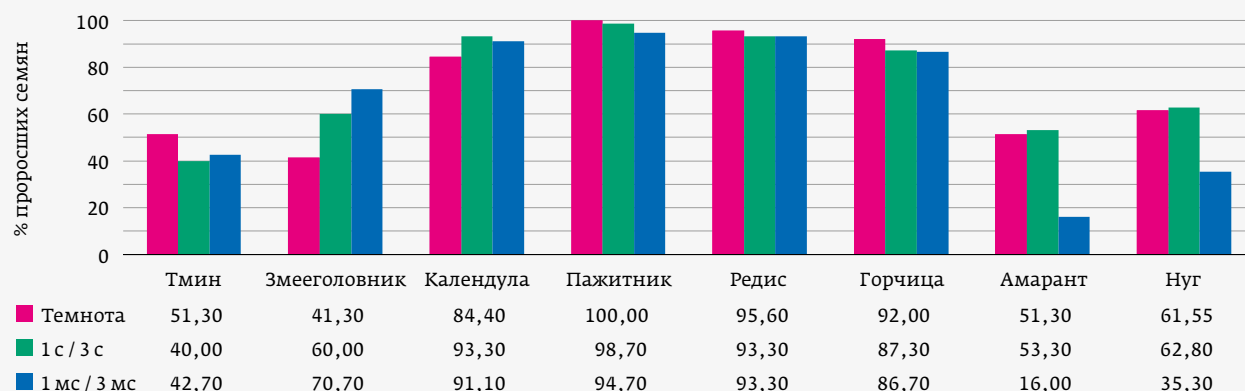
The stimulating effect of pulsed illumination of 1/1 s in comparison with dark germination was manifested only in calendula and fenugreek (Fig. 20). No stimulating effect of 1/1 s pulse illumination on radishes was noted, as in experiment No. 2.

In the same crops (fenugreek and calendula), after germination under pulsed irradiation in the 1/1 s mode, the yield of the aboveground mass (microgreens) increased (Fig. 21). For other crops, a decrease in microgreen yield was observed compared to dark germination.

As in experiment 2, in most of the studied crops (mustard, amaranth, ramtil), the total antioxidant activity (TAOA) of the aerial part during germination in the dark turned out to be less than under pulsed illumination or did not change (Fig. 22). Only radish in the dark variant showed a slight increase in the TAOA index.

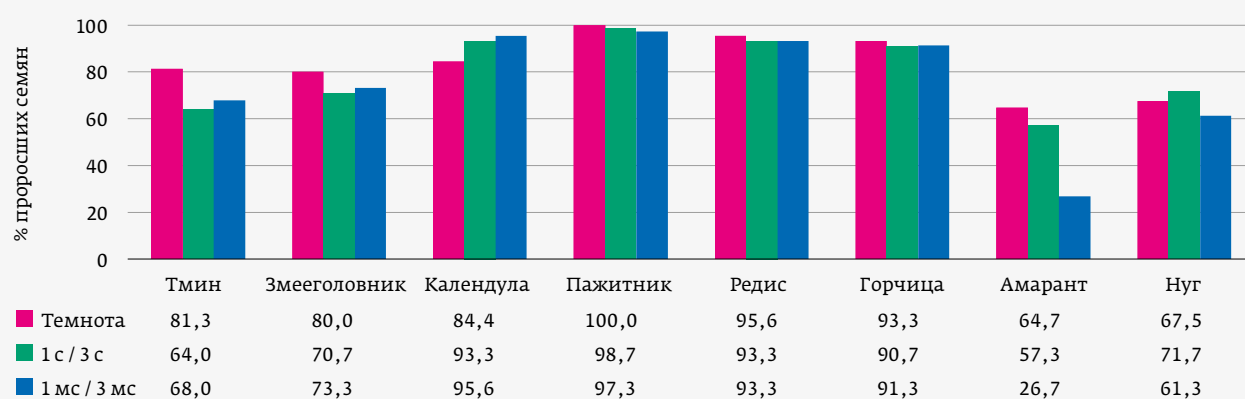
## CONCLUSION

In experiments with 8 vegetable, oil and medicinal crops, it was found that the effect of pulsed irradiation on plant growth largely depends on the genetic



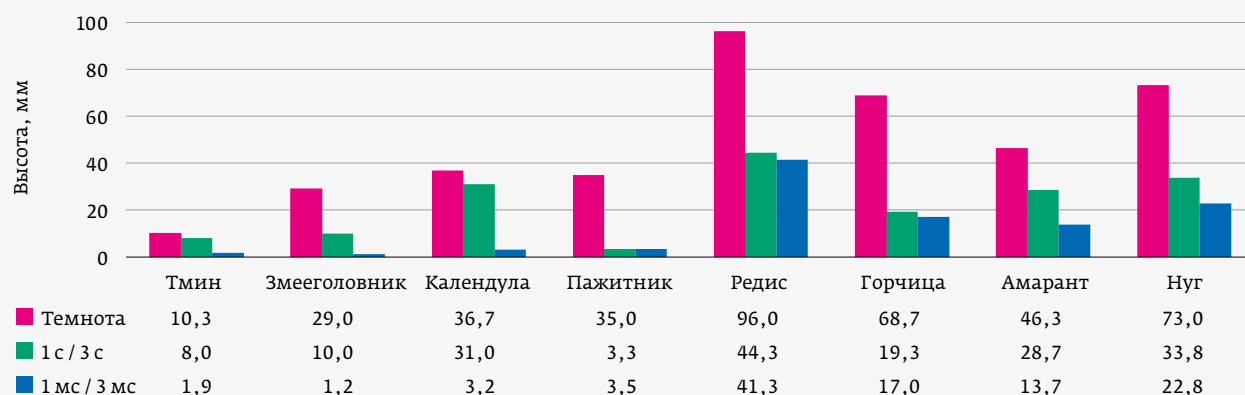
**Рис. 4.** Энергия прорастания семян в темноте и при импульсном освещении 1/3 с и 1/3 мс

*Fig. 4. Energy of seed germination in the dark and under pulsed illumination of 1/3 s and 1/3 ms*



**Рис. 5.** Всхожесть семян в темноте и при импульсном освещении 1/3 с и 1/3 мс

*Fig. 5. Seed germination in the dark and under pulse illumination 1/3 s and 1/3 ms*



**Рис. 6.** Средняя высота ростков при проращивании в темноте и импульсном освещении 1/3 с и 1/3 мс

*Fig. 6. Average height of sprouts when germinating in the dark and pulse illumination 1/3 s and 1/3 ms*



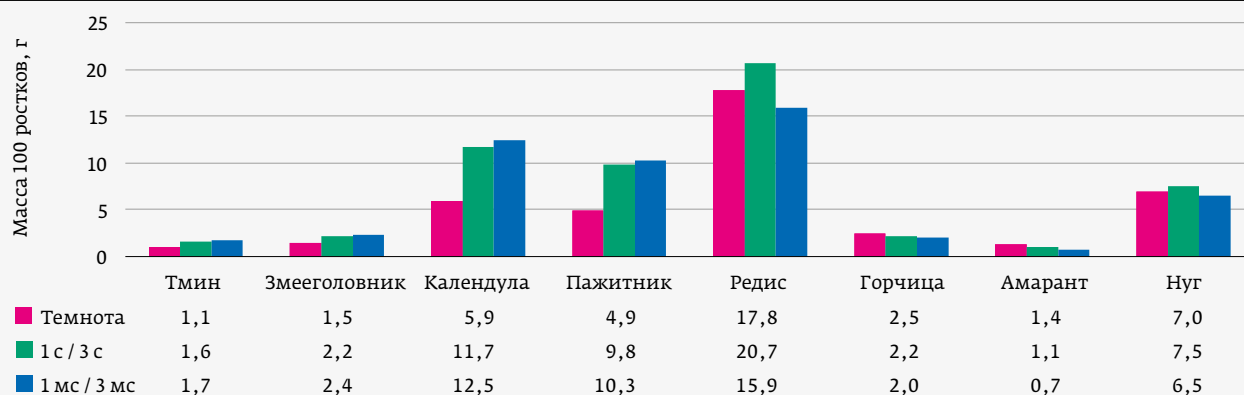


Рис. 7. Биомасса 100 ростков при выращивании в темноте и импульсном освещении 1/3 с и 1/3 мс

Fig. 7. Biomass of 100 sprouts when grown in the dark and pulsed illumination 1/3 s and 1/3 ms

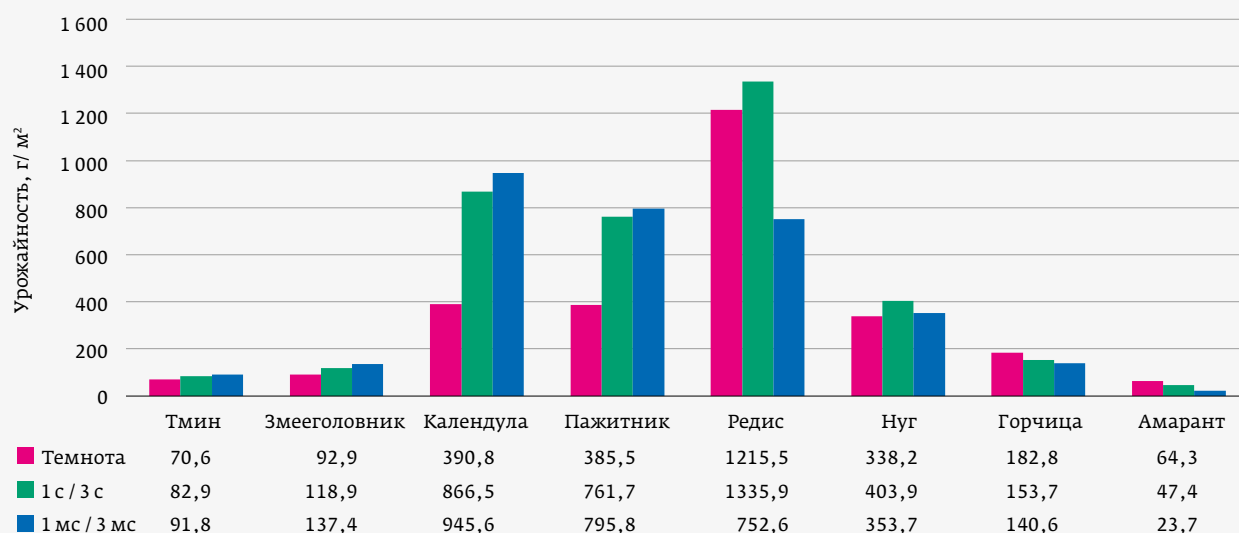


Рис. 8. Урожайность зеленой массы (микрорзелени) при выращивании в темноте и импульсном освещении 1/3 с и 1/3 мс

Fig. 8. Productivity of green mass (microgreens) when grown in the dark and pulse illumination 1/3 s and 1/3 ms

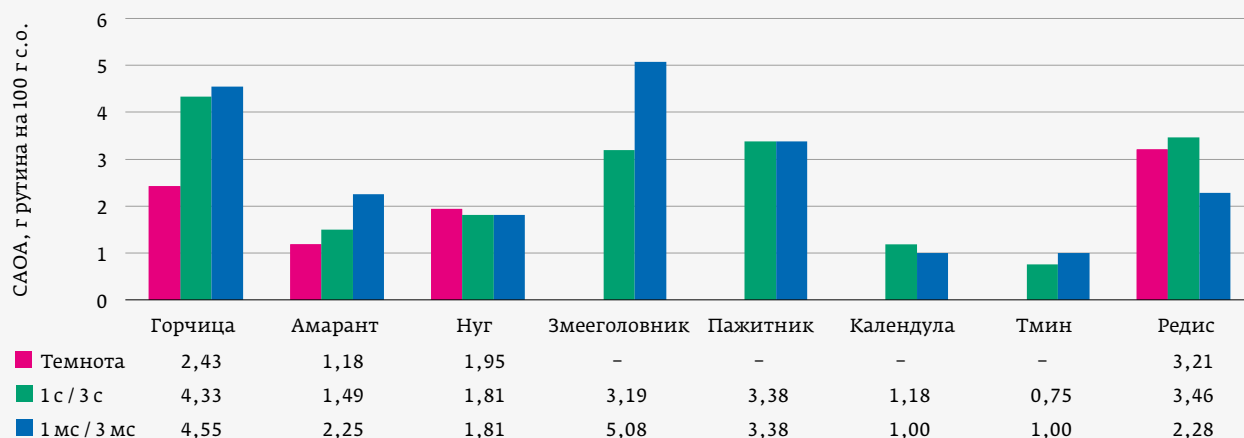
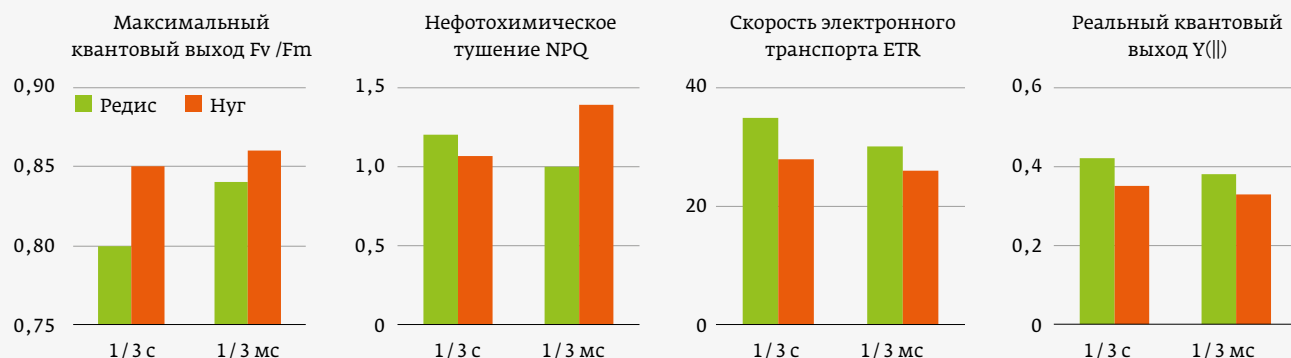


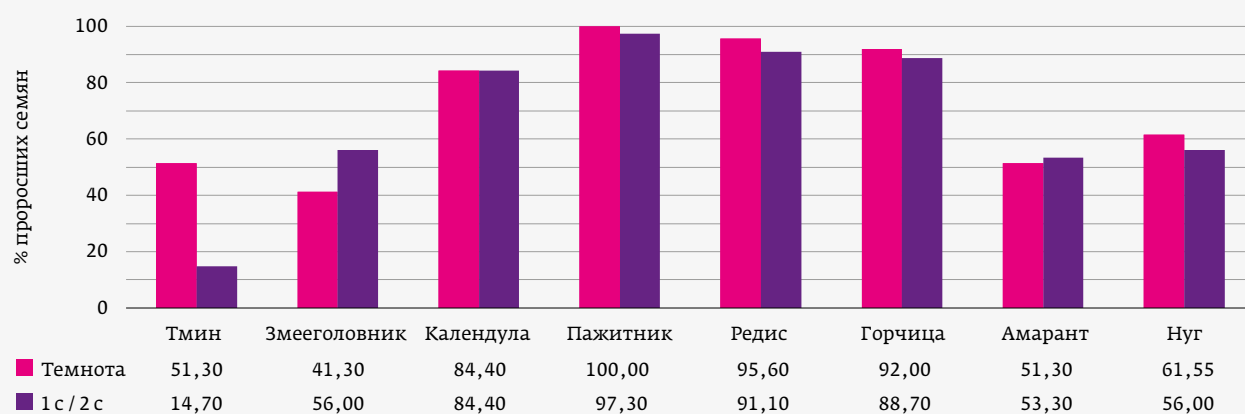
Рис. 9. Суммарная антиоксидантная активность зеленой массы (микрорзелени) при выращивании в темноте и импульсном освещении 1/3 с и 1/3 мс

Fig. 9. Total antioxidant activity of green mass (microgreens) when grown in the dark and pulse illumination 1/3 s and 1/3 ms



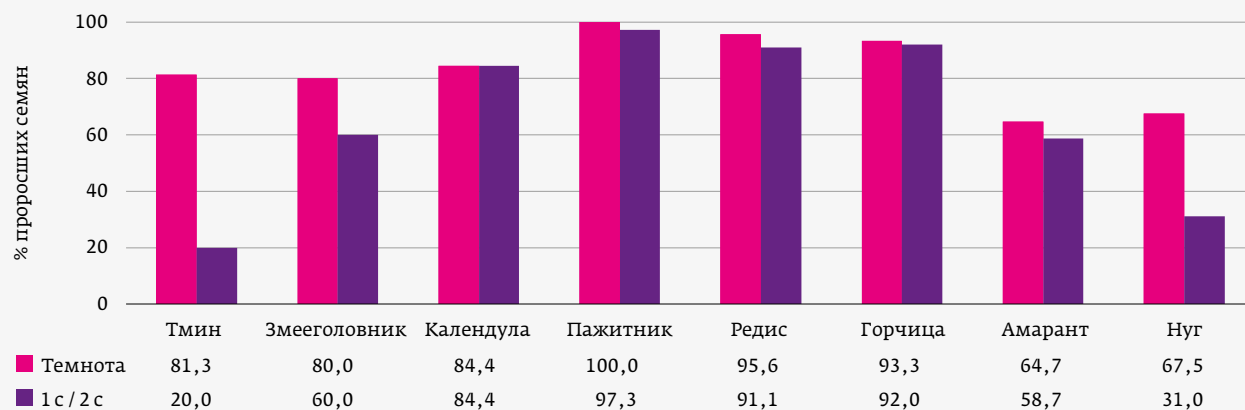
**Рис. 10.** Параметры флуоресценции хлорофилла при разных режимах импульсного облучения 1/3 с и 1/3 мс

*Fig. 10. Parameters of chlorophyll fluorescence at different modes of pulsed irradiation of 1/3 s and 1/3 ms*



**Рис. 11.** Энергия прорастания семян в темноте и при импульсном освещении 1/2 с

*Fig. 11. Energy of seed germination in the dark and under pulsed illumination 1/2 s*



**Рис. 12.** Всхожесть семян в темноте и при импульсном освещении 1/2 с

*Fig. 12. Seed germination in the dark and under pulsed illumination 1/2 s*

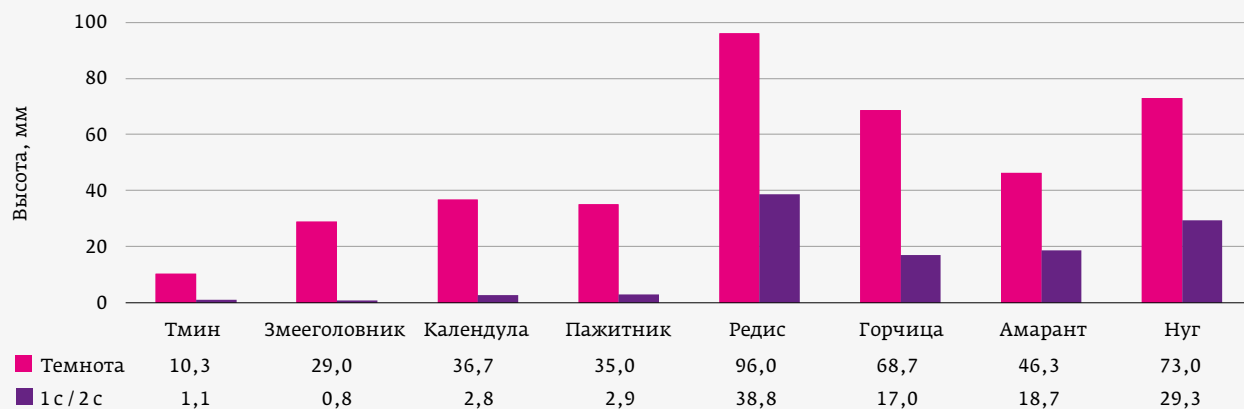


Рис. 13. Средняя высота ростков при проращивании в темноте и импульсном освещении 1/2 с

Fig. 13. Average height of sprouts when germinating in the dark and pulse illumination 1/2 s

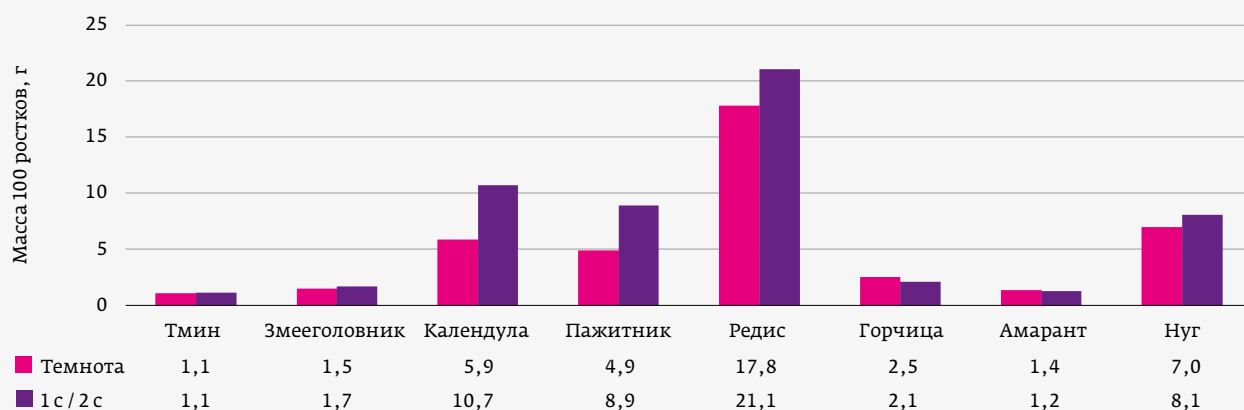


Рис. 14. Биомасса 100 ростков при выращивании в темноте и импульсном освещении 1/2 с

Fig. 14. Biomass of 100 shoots when grown in the dark and pulsed illumination 1/2 s

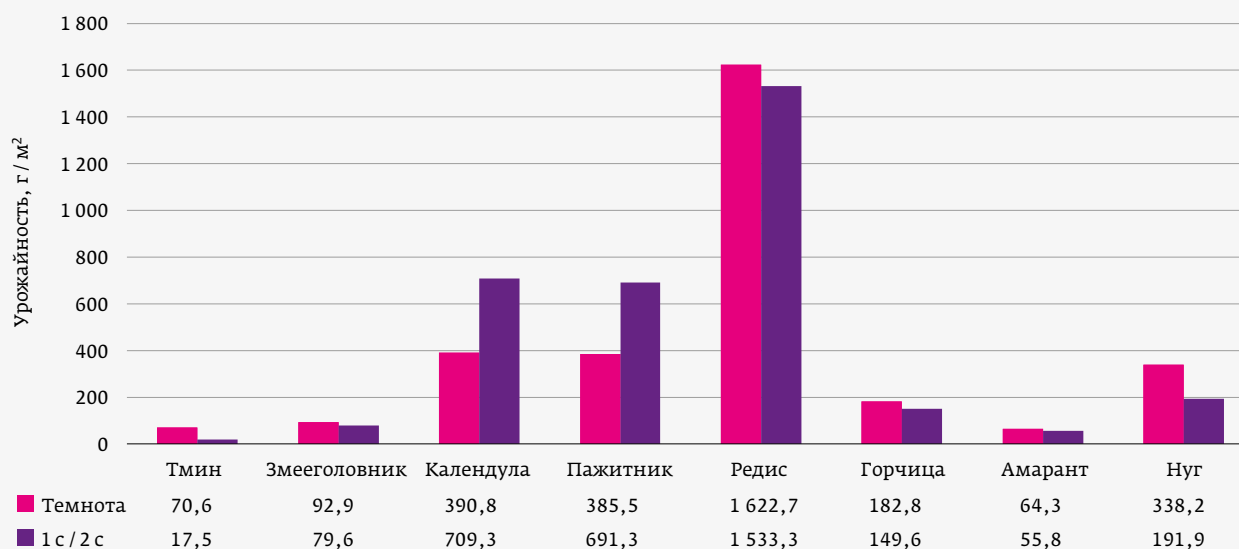
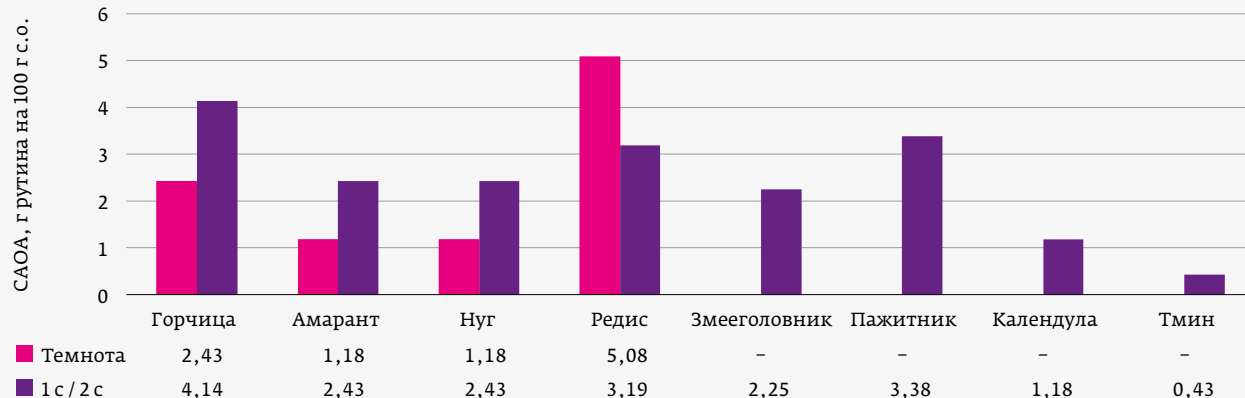


Рис. 15. Урожайность зеленой массы (микрорзелени) при выращивании в темноте и импульсном освещении 1/2 с

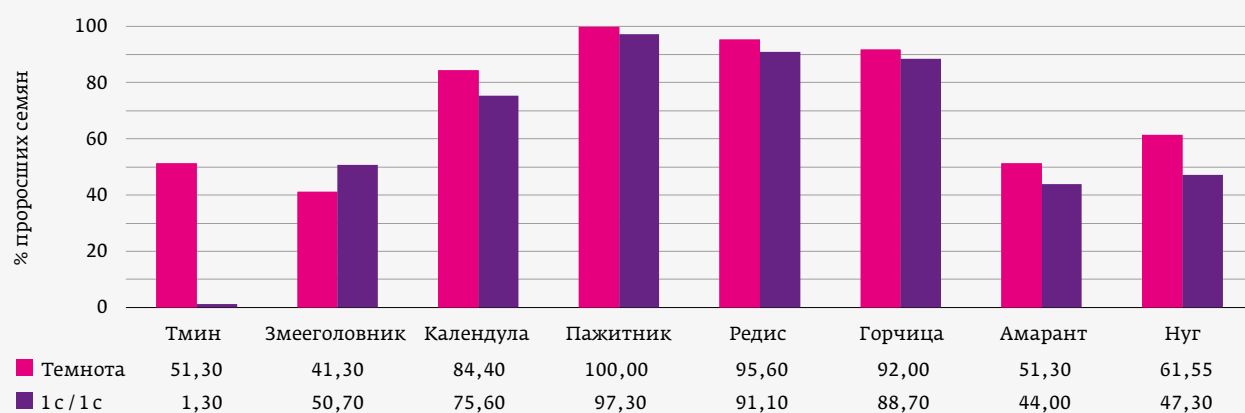
Fig. 15. Productivity of green mass (microgreens) when grown in the dark and pulse illumination 1/2 s





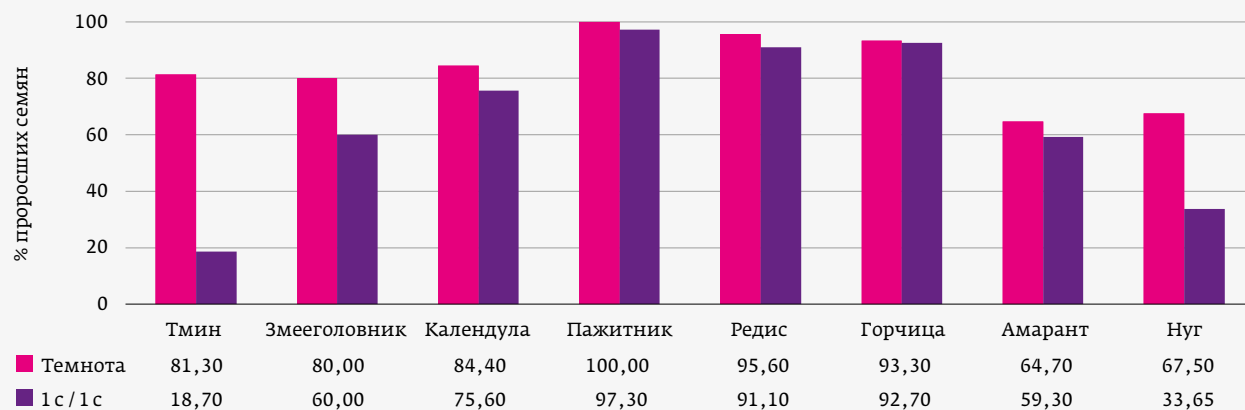
**Рис. 16.** Суммарная антиоксидантная активность зеленой массы (микрорзелени) при выращивании в темноте и импульсном освещении 1/2 с

*Fig. 16. Total antioxidant activity of green mass (microgreens) when grown in the dark and pulse illumination 1/2 s*



**Рис. 17.** Энергия прорастания семян в темноте и при импульсном освещении 1/1 с

*Fig. 17. Energy of seed germination in the dark and under pulsed illumination 1/1 s*



**Рис. 18** Всхожесть семян в темноте и при импульсном освещении 1/1 с

*Fig. 18 Seed germination in the dark and under pulsed illumination 1/1 s*

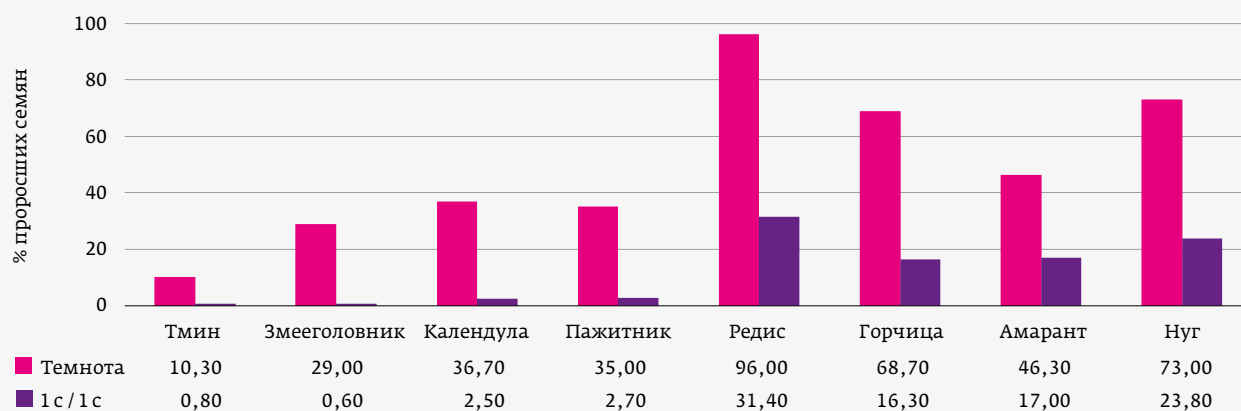


Рис. 19. Средняя высота ростков при проращивании в темноте и импульсном освещении 1/1 с

Fig. 19. Average height of sprouts when germinating in the dark and pulse illumination 1/1 s

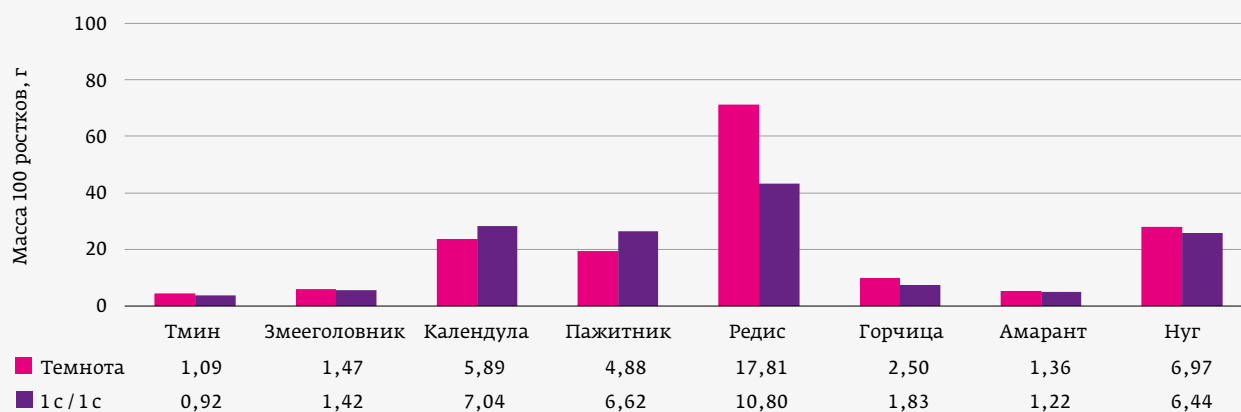


Рис. 20. Биомасса 100 ростков при выращивании в темноте и импульсном освещении 1/1 с

Fig. 20. Biomass of 100 shoots when grown in the dark and pulsed illumination 1/1 s

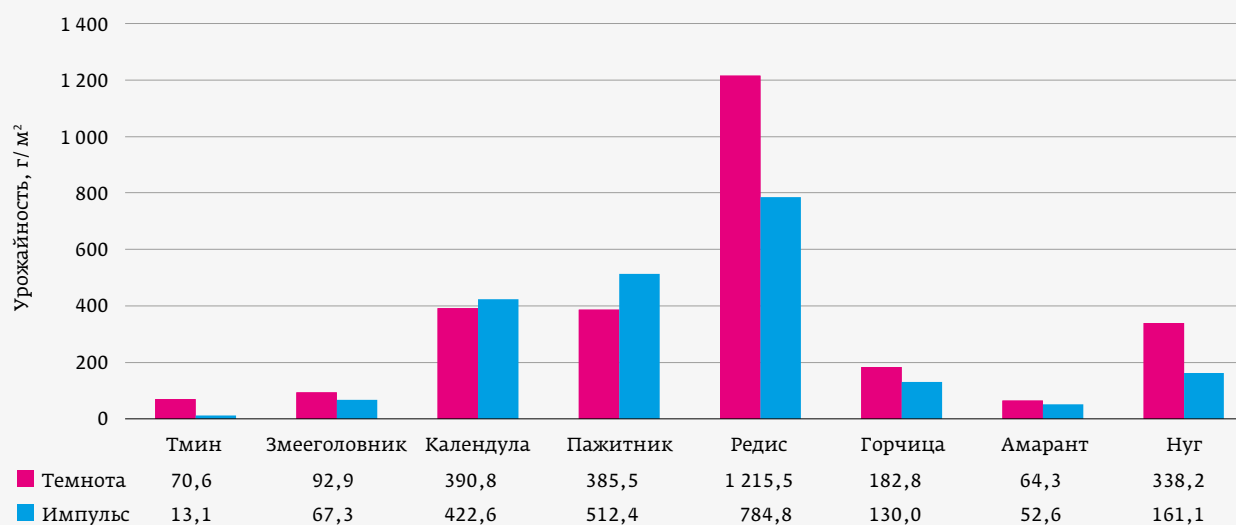
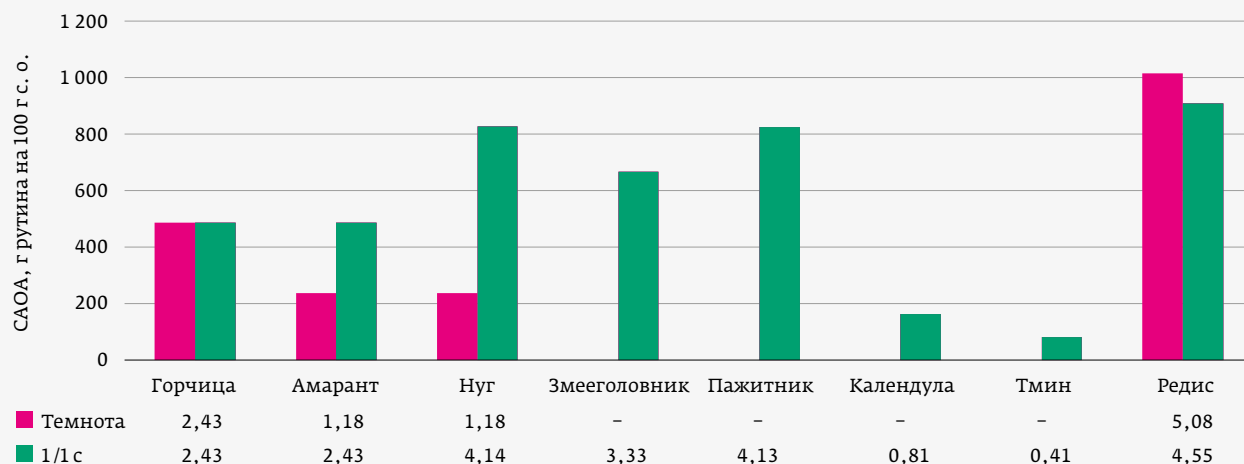


Рис. 21. Урожайность зеленой массы (микрорзелени) при выращивании в темноте и импульсном освещении 1/1 с

Fig. 21. Productivity of green mass (microgreens) when grown in the dark and pulse illumination 1/1 s



**Рис. 22.** Суммарная антиоксидантная активность зеленой массы (микрорзелени) при выращивании в темноте и импульсном освещении 1/1 с

*Fig. 22.* Total antioxidant activity of green mass (microgreens) when grown in the dark and pulse illumination 1/1 s

импульсного освещения 1/3 мс по сравнению с секундным 1/3 с. Всхожесть семян амаранта и нуга снижается при облучении в миллисекундном диапазоне, у других культур различается незначительно. Параметры флуоресценции хлорофилла различаются при облучении импульсным светом в секундном и миллисекундном диапазонах.

Анализ суммарной антиоксидантной активности (CAOA) зеленой массы (микрорзелени) также показал существенные отличия в зависимости от генетической природы растения. Облучение в миллисекундном диапазоне 1/3 мс приводило к росту CAOА микрорзелени горчицы, амаранта, змееголовника. У растений тмина, редиса и календулы суммарная антиоксидантная активность в режиме 1/3 мс, наоборот, уменьшалась. CAOА микрорзелени нуга и пажитника практически не менялась при разных режимах импульсного освещения. У большинства изученных культур (кроме нуга) CAOА надземной части при проращивании в темноте оказалось меньшим, чем при импульсном освещении во всех изученных режимах.

Таким образом, в связи со значительной зависимостью реакций различных растений при проращивании семян и первичного роста микрорзелени на импульсное облучение, необходима разработка дифференцированных режимов светодиодного освещения (периода следования и длительности импульсов в заданном диапазоне интенсивности полихромного света) с учетом их генетических особенностей.

characteristics of the object. Stimulation of seed germination under the influence of pulsed irradiation of 1/3 s is typical for crops such as snakehead and calendula, and a negative effect was found for caraway and mustard. No significant differences were observed for radish, fenugreek, amaranth and ramtil. The yield of green mass (microgreens) in the 1/3 s variant increased twice or more in calendula and fenugreek compared to dark germination, caraway, snakehead, radish and ramtil – more by 10–28%, but decreased by 16% in mustard and by 26% for amaranth. Other studied modes of pulsed irradiation of 1/2 s and 1/1 s are generally less favorable for plants than 1/3 s.

Comparison of the second (1/3 s) and millisecond (1/3 ms) ranges of pulsed irradiation showed that, in general, the second range is more favorable for plant growth. However, in medicinal plants, the yield of green mass (sprouts), on the contrary, turned out to be higher when grown in a millisecond mode of pulsed illumination of 1/3 ms compared to 1/3 s. The germination capacity of amaranth and ramtil seeds decreases with irradiation in the millisecond range; it differs slightly in other crops. Chlorophyll fluorescence parameters differ when exposed to pulsed light in the second and millisecond ranges.

Analysis of the total antioxidant activity (TAOA) of green mass (microgreens) also showed significant differences depending on the genetic nature of the plant. Irradiation in the millisecond range of 1/3 ms led to an increase in the TAOA of the microgreens of mustard, amaranth, and snakehead. In caraway, radish and calendula plants, the total anti-





## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихомиров А. А., Шарупич В. П., Лисовский Г. М. *Светокультура растений. Биофизические и биотехнологические основы*. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 213 с.
2. Беркович Ю. А., Кривобок Н. М., Смолянина С. О., Ерохин А. Н. *Космические оранжевые: настоящее и будущее*. – М.: Слово, 2005. 368 с.
3. Emerson R., Arnold W. A. A separation of the reactions in photosynthesis by means of intermittent light. *J. Gen. Physiol.* 1932;15: 391–420.
4. Rabinowitch E. I. *Photosynthesis and Related Processes*. – New York: Interscience. 1956. Vol. 2. Part 2. – 879 pp.
5. Sager J. C., Giger W. Jr. Re-evaluation of published data on the relative photosynthetic efficiency of intermittent and continuous light. *Agric Meteorol.* 1980; 122: 289–302.
6. Olvera-Gonzalez E., Alaniz-Lumbreras D., Ivanov-Tsonchev R. et al. Chlorophyll fluorescence emission of tomato plants as a response to pulsed light based LEDs. *Plant Growth Regulation.* 2013; 69: 117–123.
7. Лапин А. А., Зеленков В. Н. К вопросу определения антиоксидантного статуса овощей. *Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты*. 2007; 14: 43–52.
8. Зеленков В. Н., Лапин А. А., Литвинов С. С. Антиоксидантный статус овощей. *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования*. 2017; 101–104.
9. Гинс В. К., Гинс М. С. *Физиолого-биохимические основы интродукции и селекции овощных культур*. – М.: РУДН. 2011. 190 с.
10. Быков В. А., Масляков В. Ю., Сидельников Н. И. и др. Изучение ресурсов дикорастущих лекарственных растений в ВИЛАРе: основные направления и результаты. *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2012; 10(1): 32–39.
11. Зеленков В. Н., Латушкин В. В., Лапин А. А. и др. Влияние облучения в импульсном режиме на всхожесть и содержание антиоксидантов при прорастании семян нуга абиссинского в закрытой системе синерготрона 1.1. Роль физиологии и биохимии в интродукции и селекции сельскохозяйственных растений. 2019; 1:314–317. Doi 10.22363/09358–2019.
12. Зеленков В. Н., Латушкин В. В., Карпачев В. В. и др. Влияние кремнийорганического соединения 1-этоксисилатран и минерального питательного раствора на рост сеянцев нуга абиссинского при разных режимах импульсного освещения. *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования*. 2019; 65–67. Doi 10.22363/09509-2019-65-67.
13. Зеленков В. Н., Латушкин В. В., Лапин А. А. и др. Влияние облучения в импульсном режиме на показатели динамики прорастания семян лекарственных и эфиромасличных культур в закрытой системе синерготрона. Роль физиологии и биохимии в интродукции и селекции сельскохозяйственных растений. 2019; 1:314–317. Doi 10.22363/09358-2019-310-313.
14. Зеленков В. Н., Иванова М. И., Латушкин В. В. и др. Влияние облучения в импульсном режиме на показатели динамики прорастания семян горчицы салатной и амаранта в закрытой системе синерготрона ИСР-1.1. Роль физиологии и биохимии в интродукции и селекции сельскохозяйственных растений. 2019; 1: 307–310. Doi 10.22363/09358-2019-307-310.
15. Зеленков В. Н., Латушкин В. В., Иванова М. И. и др. Влияние режимов импульсного освещения на прорастание семян лекарственных растений змееголовника и календулы в закрытой системе синерготрона ИСР 1.01. *Актуальная биотехнология*. 2019; 3(30): 23–36.
16. Зеленков В. Н., Латушкин В. В., Иванова М. И. и др. Влияние режимов импульсного освещения на прорастание семян лекарственных растений тмина и пажитника в закрытой системе синерготрона ИСР 1.01. *Актуальная биотехнология*. 2019; 3(30): 94–97.
17. Зеленков В. Н. и др. Антиоксидантная активность сеянцев нуга абиссинского при разных режимах импульсного освещения и использовании минеральных питательных растворов. *Актуальная биотехнология*. 2019; 3(30):103–105.
18. Зеленков В. Н., Латушкин В. В., Иванова М. И. и др. Влияние режимов импульсного освещения на прорастание семян редиса в закрытой системе синерготрона ИСР 1.1. *Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего*. 2019: 265–272.
19. Зеленков В. Н., Лапин А. А. МВИ-001–44538054–07. *Суммарная антиоксидантная активность. Методика выполнения измерений на кулонометрическом анализаторе*. ВНИИОвощеводства. Верей. Моск. обл. 2013. 19 с.
20. ТУ 9369-141-04868244-07. Рутин – стандартный образец. *Технические условия*.

oxidant activity in the 1/3 ms mode, on the contrary, decreased. The TAOA of ramtil and fenugreek microgreens practically did not change under different modes of pulsed illumination. In most of the studied crops (except for ramtil), the TAOA of the aboveground part during germination in the dark turned out to be lower than under pulsed illumination in all studied modes.

Thus, due to the significant dependence of plant responses to pulsed irradiation on genetic characteristics, it is necessary to develop differentiated modes of irradiation with light radiation (repetition period and pulse duration).

## REFERENCES

1. Tihomirov A. A., Sharupich V. P., Lisovskij G. M. *Svetokul'tura rastenij. Biofizicheskie i biotekhnologicheskie osnovy*. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2000. 213 pp.
2. Berkovich YU. A., Krivobok N. M., Smolyanina S. O., Erohin A. N. *Kosmicheskie orange: nastoyashchee i budushchee*. – M.: Slovo, 2005. 368 pp.
3. Rabinowitch E. I. *Photosynthesis and Related Processes*. – New York: Interscience. 1956. Vol. 2. Part 2. – 879 pp.
4. Sager J. C., Giger W. Jr. Re-evaluation of published data on the relative photosynthetic efficiency of intermittent and continuous light. *Agric Meteorol.* 1980; 122: 289–302.
5. Olvera-Gonzalez E., Alaniz-Lumbreras D., Ivanov-Tsonchev R. et al. Chlorophyll fluorescence emission of tomato plants as a response to pulsed light based LEDs. *Plant Growth Regulation.* 2013; 69: 117–123.
6. Lapin A. A., Zelenkov V. N. K voprosu opredeleniya antioksidantnogo statusa ovoshchej. *Netradicionnye prirodnye resursy, innovacionnye tekhnologii i produkty*. 2007; 14: 43–52.
7. Zelenkov V. N., Lapin A. A., Litvinov S. S. Antioksidantnyj status ovoshchej. *Novye i netradicionnye rasteniya i perspektivy ih ispol'zovaniya*. 2017; 101–104.
8. Gins V. K., Gins M. S. *Fiziologo-biokhimicheskie osnovy introdukcii i selekcii ovoshchnyh kul'tur*. – M.: RUDN. 2011. 190 s.
9. Bykov V. A., Maslyakov V. YU., Sidel'nikov N. I. et al. Izuchenie resursov dikoras-tushchih lekarstvennyh rastenij v VILARE: osnovnye napravleniya i rezul'taty. *Voprosy biologicheskoy, medicinskoj i farmacevticheskoy himii*. 2012; 10(1): 32–39.
10. Zelenkov V. N., Latushkin V. V., Lapin A. A. et al. Vliyaniye oblucheniya v impul'snom rezhime na vskhozhest' i soderzhanie antioksidantov pri proraschivaniy seymyan nuga abissinskogo v zakrytoj sisteme sinergotrona 1.1. Rol' fiziologii i biokhimii v introdukcii i selekcii sel'skhozajstvennyh rastenij. 2019; 1:314–317. Doi 10.22363/09358-2019.
11. Zelenkov V. N., Latushkin V. V., Karpachev V. V. et al. Vliyaniye kremnijorganicheskogo soedineniya 1-etoksisilatan i mineral'nogo pitatel'nogo rastvora na rost seyancev nuga abissinskogo pri raznyh rezhimakh impul'snogo osveshcheniya. *Novye i netradicionnye rasteniya i perspektivy ih ispol'zovaniya*. 2019; 65–67. Doi 10.22363/09509-2019-65-67.
12. Zelenkov V. N., Latushkin V. V., Lapin A. A. et al. Vliyaniye oblucheniya v impul'snom rezhime na pokazateli dinamiki prorastaniya seymyan lekarstvennyh i efiromaslichnyh kul'tur v zakrytoj sisteme sinergotrona. Rol' fiziologii i biokhimii v introdukcii i selekcii sel'skhozajstvennyh rastenij. 2019; 1:314–317. Doi 10.22363/09358-2019-310-313.
13. Zelenkov V. N., Ivanova M. I., Latushkin V. V. et al. Vliyaniye oblucheniya v impul'snom rezhime na pokazateli dinamiki prorastaniya seymyan gorchicy salatnoj i amaranta v zakrytoj sisteme sinergotrona ISR-1.1. Rol' fiziologii i biokhimii v introdukcii i selekcii sel'skhozajstvennyh rastenij. 2019; 1:307–310. Doi 10.22363/09358-2019-307-310.
14. Zelenkov V. N., Latushkin V. V., Ivanova M. I. et al. Vliyaniye rezhimov impul'snogo osveshcheniya na prorastanie seymyan lekarstvennyh rastenij zmeegolovnika i kalenduly v zakrytoj sisteme sinergotrona ISR1.01. *Aktual'naya biotekhnologiya*. 2019; 3(30):23–36.
15. Zelenkov V. N., Latushkin V. V., Ivanova M. I. et al. Vliyaniye rezhimov impul'snogo osveshcheniya na prorastanie seymyan lekarstvennyh rastenij tmina i pazhitnika v zakrytoj sisteme sinergotrona ISR1.01. *Aktual'naya biotekhnologiya*. 2019; 3(30):94–97.
16. Zelenkov V. N. et al. Antioksidantnaya aktivnost' seyancev nuga abissinskogo pri raznyh rezhimakh impul'snogo osveshcheniya i ispol'zovanii mineral'nyh pitatel'nyh rastvorov. *Aktual'naya biotekhnologiya*. 2019; 3(30):103–105.
17. Zelenkov V. N., Latushkin V. V., Ivanova M. I. et al. Vliyaniye rezhimov impul'snogo osveshcheniya na prorastanie seymyan redisa v zakrytoj sisteme sinergotrona ISR1.1.



21. Государственная фармакопея СССР. Вып. 2. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье. МЗ СССР. 11-е изд., доп. М.: Медицина. 1989. 398 с.
22. **Езепов Д.** *Мода в статистике*. [Электронный ресурс] – URL: <http://statanaliz.info/metody/opisanie-dannyx/56-mod> (дата обращения 10.07.2019).

## АВТОРЫ

- В. Н. Зеленков, к. с.-х. н., д. с.-х. н., профессор, E-mail: [zelenkov-raen@mail.ru](mailto:zelenkov-raen@mail.ru), ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», Москва; Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», д. Верея, Раменский район, Моск. обл.; АНО «Институт стратегий развития», Москва, Россия. ORCID: 0000-0001-5481-2723
- В. В. Латушкин, к. с.-х. н., E-mail: [slavalat@yandex.ru](mailto:slavalat@yandex.ru), АНО «Институт стратегий развития», Москва, Россия. ORCID: 0000-0003-1406-8965
- М. И. Иванова, д. с.-х. н., профессор РАН, E-mail: [ivanova\\_170@mail.ru](mailto:ivanova_170@mail.ru), Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», д. Верея, Раменский район, Моск. обл., Россия. ORCID: 0000-0001-7326-2157
- А. А. Лапин, к. х. н., доцент, ФГБОУ ВО «Казанский энергетический университет», E-mail: [kgeu-oso@mail.ru](mailto:kgeu-oso@mail.ru), Казань, Россия. ORCID: 0000-0001-9142-0403
- В. В. Карпачев, д. с.-х. н., профессор, член-корр. РАН, E-mail: [karpachevv@gmail.com](mailto:karpachevv@gmail.com), ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рапса», Липецк, Россия. ORCID: 0000-0002-1141-2065
- А. А. Кособрюхов, д. б. н., E-mail: [kosobr@rambler.ru](mailto:kosobr@rambler.ru), ФГБУН «Институт фундаментальных проблем биологии РАН», E-mail: [kosobr@rambler.ru](mailto:kosobr@rambler.ru), г. Пушкино, Моск. обл., Россия. ORCID: 0000-0001-7453-3123
- П. А. Верник, E-mail: [vernik@isd.center](mailto:vernik@isd.center), АНО «Институт стратегий развития», Москва, Россия. ORCID: 0000-0001-5850-7654
- С. В. Гаврилов, E-mail: [gavrilov@mail.ru](mailto:gavrilov@mail.ru), АНО «Институт стратегий развития», Москва, Россия. ORCID: 0000-0003-2824-9302

## ВКЛАД ЧЛЕНОВ ТВОРЧЕСКОГО КОЛЛЕКТИВА В ПРОЕКТ

Зеленков В. Н. – руководство научной работой, планирование, организация экспериментов, анализ и оценка результатов, анализ литературы; Латушкин В. В. – планирование, постановка и проведение экспериментов и их обработка, анализ литературы; Иванова М. И. – планирование по овощным культурам, постановка и обеспечение эксперимента, анализ литературы по тематике; Лапин А. А. – анализ суммарной антиоксидантной активности растительных образцов и их обработка, анализ литературы по тематике; Карпачев В. В. – планирование экспериментов по масличным, новым культурам и обеспечение экспериментов; Кособрюхов А. А. – планирование, постановка и проведение экспериментов с рядом культур по исследованию фотосинтеза при воздействии импульсного воздействия э. м. и. видимого спектра, анализ литературы; Верник П. А. – организация работы на синерготроне модели 1.01 конструкции АНО «Институт стратегий развития», планирование и обеспечение экспериментов на установке; Гаврилов С. В. – измерение спектральных характеристик светодиодных светильников, инструментальное обеспечение проведения эксперимента в агробиотехносистеме «синерготрон модели 1.01», поддержание параметров среды проращивания семян и роста растений (температура, влажность, освещение) в программируемом режиме и контроле.

Работа выполнена на средства компании АНО «Институт стратегий развития» (Москва) с использованием ее финансовых и технических возможностей при использовании синерготрона (модель 1.01) собственной конструкции.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

*Tendencii razvitiya agrofiziki: ot aktual'nyh problem zemledeliya i rastenievodstva k tekhnologiyam budushchego.* 2019: 265–272.

18. **Zelenkov V. N., Lapin A. A.** MVI-001-44538054-07. *Summarnaya antioksidantnaya aktivnost'. Metodika vypolneniya izmerenij na kulonometricheskom analizatore.* VNIOVoshchevodstva. Vereya. Mosk. obl. 2013. 19 pp.
19. TU9369-141-04868244-07. *Rutin – standartnyy obrazec. Tekhnicheskie usloviya.*
20. Gosudarstvennaya farmakopeya SSSR. Vyp. 2. *Obshchie metody analiza. Lekarnostvennoe rastitel'noe syr'e.* MZ SSSR. Issue 11. –M.: Medicina. 1989. 398 pp.
21. **Ezepov D.** *Moda v statistike.* [Elektronnyy resurs] – URL: <http://statanaliz.info/metody/opisanie-dannyx/56-mod> (date of the application 10.07.2019).

## AUTHORS

- V. N. Zelenkov, Candidate of Chemical Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, E-mail: [zelenkov-raen@mail.ru](mailto:zelenkov-raen@mail.ru), All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow; All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Vegetable Growing", Vereya, Ramenskiy District, Moscow region; ANO "Institute for Development Strategies", Moscow, Russia. ORCID: 0000-0001-5481-2723
- V. V. Latushkin, Candidate of Chemical Sciences, ANO "Institute for Development Strategies", E-mail: [slavalat@yandex.ru](mailto:slavalat@yandex.ru), Moscow, Russia. ORCID: 0000-0003-1406-8965
- M. I. Ivanova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, E-mail: [ivanova\\_170@mail.ru](mailto:ivanova_170@mail.ru), All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Vegetable Growing", Vereya, Ramenskiy district, Moscow region, Russia. ORCID: 0000-0001-7326-2157
- A. A. Lapin, Ph.D., Associate Professor, Kazan Power Engineering University, E-mail: [kgeu-oso@mail.ru](mailto:kgeu-oso@mail.ru), Kazan, Russia. ORCID: 0000-0001-9142-0403
- V. V. Karpachev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of RAS, Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Rapeseed", E-mail: [vnirapsa@mail.ru](mailto:vnirapsa@mail.ru), Lipetsk, Russia. ORCID: 0000-0002-1141-2065
- A. A. Kosobryukhov, Doctor of Biological Sciences, Institute of Fundamental Problems of Biology RAS, E-mail: [kosobr@rambler.ru](mailto:kosobr@rambler.ru), Pushchino, Moscow region, Russia. ORCID: 0000-0001-7453-3123
- P. A. Vernik, ANO "Institute for Development Strategies", E-mail: [slavalat@yandex.ru](mailto:slavalat@yandex.ru), Moscow, Russia. ORCID: 0000-0001-5850-7654
- S. V. Gavrilov, ANO "Institute for Development Strategies", E-mail: [slavalat@yandex.ru](mailto:slavalat@yandex.ru), Moscow, Russia. ORCID: 0000-0003-2824-9302

## CONTRIBUTION OF MEMBERS OF THE CREATIVE TEAM TO THE PROJECT

Zelenkov V. N. – scientific management, planning, organization of experiments, analysis and evaluation of results, analysis of literature; V. V. Latushkin – planning, setting and conducting experiments and their processing, literature analysis; Ivanova M. I. – planning for vegetable crops, setting up and providing an experiment, analysis of literature on the subject; Lapin A. A. – analysis of the total antioxidant activity of plant samples and their processing, analysis of the literature on the subject; V. V. Karpachev – planning experiments on oilseeds, new crops and providing experiments; A. A. Kosobryukhov – planning, setting up and conducting experiments with a number of cultures to study photosynthesis under the influence of impulse exposure to EMP of visible spectrum, literature analysis; Vernik P. A. – organization of work on the synergotron model 1.01 designed by ANO "Institute for Development Strategies", planning and support of experiments at the facility; S. V. Gavrilov – measurement of spectral characteristics of LED lamps, instrumental support of the experiment in the agrobiotechnological system "synergotron model 1.01", maintenance of the parameters of the environment for seed germination and plant growth (temperature, humidity, lighting) in programmed mode and control.

The study was funded by the ANO "Institute for Development Strategies" (Moscow) using its financial and technical capabilities using a synergotron (model 1.01) of its own design.

## CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no conflicts of interest.



Главное событие отрасли  
в России и странах СНГ

# ФОТОНИКА

МИР  
ЛАЗЕРОВ  
И ОПТИКИ

## 30 марта – 2 апреля 2021

При поддержке Министерства  
промышленности и торговли РФ

Под патронатом ТПП РФ



Реклама 12+



15-я юбилейная международная  
специализированная выставка  
лазерной, оптической  
и оптоэлектронной техники

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»  
[www.photonics-expo.ru](http://www.photonics-expo.ru)



ЛАЗЕРНАЯ АССОЦИАЦИЯ



ЭКСПОЦЕНТР