



DOI: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-545-565

EDN BVGOFI

УДК 633.853.494

Научная статья / Research article

Влияние света на скорость роста, развитие и урожайность ярового рапса

М.С. Широкова^{1,2}  , А.А. Гришин¹ , А.А. Дорохов¹ ,
Е.В. Павлова¹ , Н.И. Уютова¹ 

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Российская Федерация

²Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева,
г. Москва, Российская Федерация

 m_shirokova98@mail.ru

Аннотация. Яровой рапс — одна из важнейших масличных культур в мире. Один цикл развития рапса занимает около пяти — шести месяцев. Сокращение вегетационного периода может значительно уменьшить срок выращивания и ускорить реализацию селекционных и исследовательских проектов. Благодаря этому можно получить до четырех поколений рапса вместо двух или трех в тепличных условиях. Исследования проведены в 2023–2024 г. в двухсекционной климатической камере, разработанной в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ. Цель исследования — изучить, как влияют на ускорение вегетационного периода рапса увеличение фотопериода и использование различного спектрального состава света. Эксперимент проведен в 4 вариантах: вариант 1 (22/2 RB) — фотопериод 22 ч день / 2 ч ночь и спектральный состав R:40/B:60 (только красно-синий спектр); вариант 2 (22/2 FS) — фотопериод 22 ч день / 2 ч ночь и полный спектр излучения FS ((Full Spectrum): UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4); вариант 3 (16/8 RB) — фотопериод 16 ч / 8 ч ночь и спектральный состав R:40/B:60 (только красно-синий спектр); вариант 4 (16/8 FS) (контроль) — фотопериод 16 ч день / 8 ч ночь и полный спектр излучения FS ((Full Spectrum): UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4). Удалось добиться сокращения вегетационного периода на 14 дней при использовании увеличенного фотопериода (22-часового светового дня) и полного спектра излучения ((Full Spectrum): UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4). Установлено, что варианты 1 и 2 опыта можно использовать для получения семян рапса надлежащего качества. Лучшим оказался вариант 2–22/2 FS с использованием 22-часового светового дня и полного спектра излучения ((Full Spectrum): UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4).

Ключевые слова: *Brassica napus* L., увеличенный фотопериод, спектральный состав света, фитотрон, ускоренный рост

© Широкова М.С., Гришин А.А., Дорохов А.А., Павлова Е.В., Уютова Н.И., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Вклад авторов: Широкова М.С. — проведение экспериментальных исследований, написание исходного текста, статистическая обработка; Гришин А.А. — общее руководство научной работой, поиск и первичная систематизация исследуемых данных; Дорохов А.А. — структурирование полученной информации и анализ исследуемых данных; Павлова Е.В. — графический анализ исследуемых данных; Уютова Н.И. — лингвистическое оформление полученного материала. Все авторы ознакомились с окончательной версией рукописи и одобрили ее.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 21 ноября 2024 г., принята к публикации 22 сентября 2025 г.

Для цитирования: Широкова М.С., Гришин А.А., Дорохов А.А., Павлова Е.В., Уютова Н.И. Влияние света на скорость роста, развитие и урожайность ярового рапса // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2025. Т. 20. № 4. 545–565. doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-545-565 EDN: BVGOFI

Effect of light on growth rate, development and yield of spring rapeseed

Maria S. Shirokova^{1,2}  , Andrey A. Grishin¹ , Artem A. Dorokhov¹ ,
Elena V. Pavlova¹ , Nadezhda I. Uytova¹ 

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

²Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

 m_shirokova98@mail.ru

Abstract. Spring rapeseed is one of the most important oilseed crops worldwide. Currently, one rapeseed development cycle takes about five to six months. Shortening the growing season can significantly reduce the growing period and speed up the realization of breeding and research projects. This could allow up to four generations of rapeseed instead of two or three under greenhouse conditions. Our research was conducted in 2023–2024 in a two-section climatic chamber developed at Federal Scientific Agroengineering Center VIM. The aim of the study was to study the effect of accelerating the growing season of rape by increasing the photoperiod and using different spectral composition of light. The experiment was conducted in 4 variants: Variant 1 (22/2 RB) — photoperiod 22 h day / 2 h night and spectral composition R:40/B:60 (red-blue spectrum only); Variant 2 (22/2 FS) — photoperiod 22 h day / 2 h night and full spectrum FS (UV0.5: B37: G6.5: Y3: R49: FR4); Variant 3 (16/8 RB) — photoperiod 16 h / 8 h night and spectral composition R:40/B:60 (red-blue spectrum only); Variant 4 (16/8 FS) (control) — photoperiod 16 h day / 8 h night and full spectrum (UV0.5: B37: G6.5: Y3: R49: FR4). We achieved a reduction in growing season by 14 days using an extended photoperiod (22-hour daylight hours) and full spectrum radiation (UV0.5: B37: G6.5: Y3: R49: FR4). It was found that variants 1 and 2 used in the experiment could be used to obtain rape seeds of proper quality. The best was variant 2–22/2 FS using 22 hour daylight hours and full spectrum radiation (UV0.5: B37: G6.5: Y3: R49: FR4).

Keywords: *Brassica napus* L., extended photoperiod, spectral composition of light, phytotron, accelerated growth

Authors' contribution: Shirokova M.S. — conducting experiments, writing the manuscript, statistical processing; Grishin A.A. — general supervision of the research work, search and primary systematization of the studied data; Dorokhov A.A. — structuring the obtained information and analyzing the studied data; Pavlova E.V. — graphical analysis of the studied data; Uytova N.I. — linguistic design of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Conflict of interests. The authors declared no conflict of interests.

Article history: received 21 November 2024; accepted 22 September 2025.

For citation: Shirokova MS, Grishin AA, Dorokhov AA, Pavlova EV, Uyutova NI. Effect of light on growth rate, development and yield of spring rapeseed. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2025;20(4):545–565. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2025-20-4-545-565 EDN: BVGOFI

Введение

Рапс (*Brassica napus* L.) — важнейшая (вторая после сои) масличная культура, используемая во всем мире. Возделывание рапса в основном сосредоточено в Азии (до 47 % от мирового объема), Европе (30 %) и Северной Америке (9 %) [1].

Рапс применяют для производства не только пищевого масла и белковой муки, но и топлива [2]. Данная культура востребована в пищевой, химической, косметической и энергетической промышленности [1].

Рапс относится к немногим культурам, для которых обеспечен стабильный рынок сбыта. Как в России, так и на западе на рапс высокий спрос, что обеспечивает экономическую эффективность его производства и способствует поддержанию достаточно высоких цен [3, 4].

Эта культура принадлежит к семейству крестоцветных и представляет собой гибрид капусты и сурепицы. У растения крепкий прямостоячий стебель высотой до 130 сантиметров и зеленые листья среднего размера. Цветы рапса желтого цвета. Стручок имеет среднюю длину, короткую ножку и тонкий длинный носик. Семена маленькие, коричневого или черного цвета.

Масло, получаемое из семян рапса, достаточно калорийно, широко применяется в пищевой промышленности. На фритюр, а также на изготовление маргарина и майонезов используют около 50 % рапсового масла. Из-за содержания всех важных для организма кислот в оптимальных пропорциях рапсовое считается одним из лучших растительных масел для использования в пищу [4]. В [5] отмечено, что рапсовое масло занимает 5-е место в мире среди растительных масел и находится на одном уровне популярности с маслом из подсолнечника.

Рапс (*Brassica napus* L.) относится к культурам длинного дня, для него важно достаточное количество света без затенения для нормального развития и формирования урожая. Сокращение фотопериода ведет к увеличению вегетативной массы растений, но при этом негативно влияет на содержание жира в семенах, общую семенную продуктивность [6], оптимальные же условия освещения способствуют своевременному переходу растения к цветению [7, 8].

Свет играет важную роль для растений, поскольку он регулирует фотосинтез, морфогенез, метаболизм и транспирацию. Спектральный состав света влияет на многие особенности растений, такие как скорость роста, формирование побегов, корней и направление метаболических процессов. Поэтому технология выращивания рапса должна быть адаптирована к его биологическим особенностям [8].

Синий спектр света стимулирует общий рост растений, увеличение площади листьев и накопление фотосинтетических пигментов. Красный спектр ускоряет развитие корневой системы, удлиняет стебли и увеличивает сухую массу. Дальний красный спектр повышает общую массу растений и влияет на циркадный ритм, устьичную проводимость и дыхание растений [9].

Вегетационный период современных сортов ярового рапса составляет от 80 до 120 сут. [10]. Выращивание в условиях закрытых агроэкосистем с применением увеличенного фотопериода и специально подобранного спектрального состава света может значительно сократить время выращивания и ускорить селекционные и исследовательские программы. Таким образом, можно получить от 4 поколений ярового рапса (*Brassica napus*) вместо 2–3 в условиях теплицы.

Исследования некоторых ученых показали, что выращивание в полностью закрытых камерах роста с контролируемой средой значительно ускоряет развитие растений [11–13].

Цель исследования — изучить влияние увеличения фотопериода и использования различного спектрального состава света на ускорение вегетационного периода рапса.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены в отделе Закрытых искусственных агроэкосистем для растениеводства на базе ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФНАЦ ВИМ), г. Москва, с 2023 г. по 2024 г.

Объект исследований. Рапс яровой (*Brassica napus oleifera* L.) сорта Галант (селекция ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК) — среднеспелый сорт «00» типа. Вегетационный период у него составляет 78...82 сут., высота растений — 91...121 см, масличность семян — 44,3...47,1 %, масса 1000 семян — 2,8...3,6 г, содержание эруковой кислоты в отжатом масле — 0,27 %, глюкозинолатов в семенах — до 15 мкмоль/г, белка в семенах — 22,8...23,5 %.

Это сорт с маслом и шротом высокого качества, устойчивый к полеганию и основным заболеваниям, технологичный. Адаптирован к разным условиям выращивания и хорошо реагирует на высокий агрофон. Используется для производства семян и на корм.

Условия выращивания. Растения выращивались в двухсекционной климатической камере, разработанной сотрудниками ФНАЦ ВИМ (рис. 1).

Климатическая камера оборудована системой автоматики для поддержания заданного уровня влажности от 36 до 95 % и температуры от –25 до 50 °С. Есть возможность регулирования длительности и цикличности светового периода. Камера оснащена пятиканальными управляемыми светильниками (LEDVIM-5), позволяющими изменять спектральный состав и интенсивность освещения.

Во время проведения эксперимента температура в климатической камере составляла 22 °С днем и 17 °С ночью. Относительная влажность воздуха поддерживалась на уровне 60...70 %.



Рис. 1. Общий вид двухсекционной климатической камеры с растениями

Источник: выполнено А.А. Гришиным, А.А. Дороховым.

Fig. 1. General view of a two-section climate chamber with plants

Source: compiled by A.A. Grishin, A.A. Dorokhov.

В 5-литровые горшки насыпали 3-сантиметровый слой керамзита для дренажа, далее наполняли их смесью (субстратом) торфа — 40, универсального грунта — 40 и песка — 20 %, рН субстрата был на уровне 5,5...6,5. При подготовке субстрата вносили следующие удобрения: Осмокот (2 г/л), Азофоска Фертика (20 г/м²), кальциевая селитра (1 г/л), хелат меди (0,5 г/л), коллоидная сера (1 г/л).

Семена предварительно проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге при температуре 20 °С на свету.

Полив осуществляли ежедневно капельным способом. В начале вегетации по 2 мин в сут., далее увеличивали до 10 мин в сут.

Также осуществляли периодические дополнительные подкормки кальциевой селитрой (1 г/л), хелатом меди (0,5 г/л) и коллоидной серой (1 г/л).

В эксперименте использовали два варианта фотопериода: 22 часа день / 2 часа ночь и 16 часов день / 8 часов ночь.

Помимо различной длины светового дня, выбрали два варианта спектрального состава света. На основании проанализированных источников литературы [14, 15] для контрольного варианта (FS (full spectrum)) освещения решили использовать лампы с полным спектром излучения в следующем соотношении: UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4. В другом варианте опыта (RB (red-blue spectrum)) применялись красно-синие светодиодные осветители с соотношением спектров: R60: B40 (рис. 2).

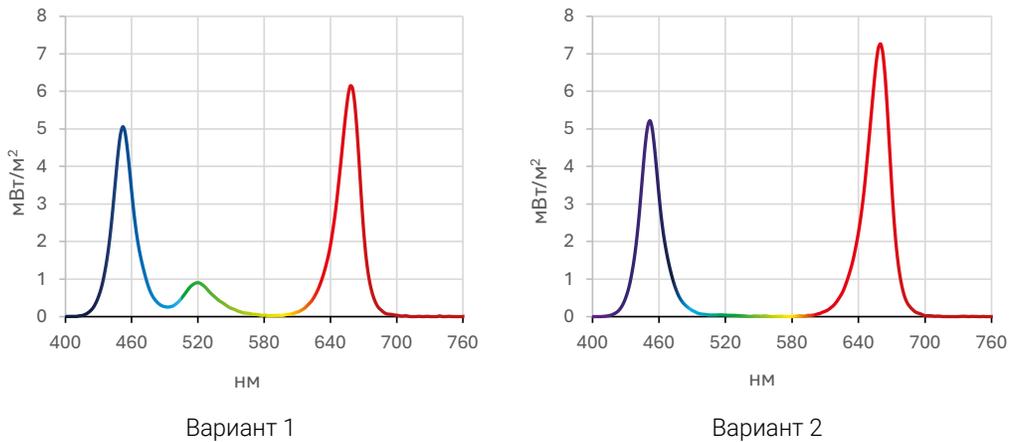


Рис. 2. Спектральный состав вариантов опыта: вариант 1 (FS) — полный спектр излучения с соотношением: UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4; вариант 2 (RB) — красно-синий спектр излучения с соотношением: R60: B40

Источник: выполнено М.С. Широковой, А.А. Дороховым.

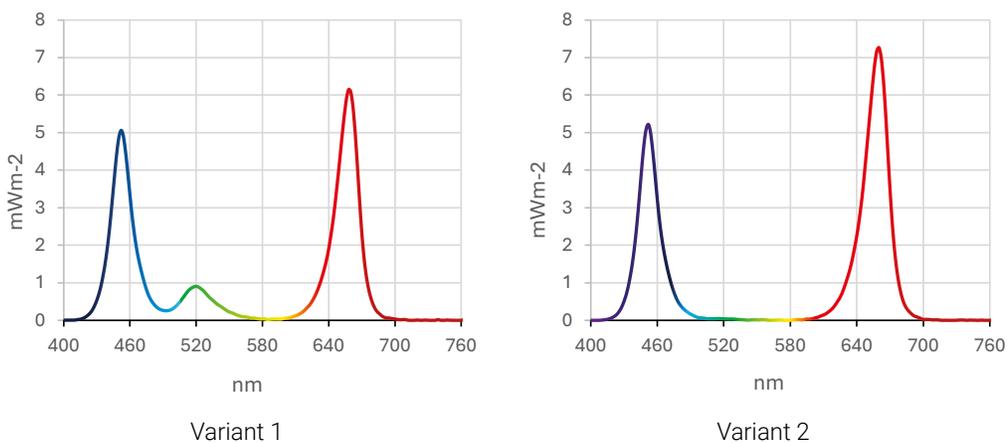


Fig. 2. Spectral composition of experimental variants: Variant 1 (FS) — full spectrum radiation with the ratio: UV 0.5: B 37: G 6.5: Y 3: R 49: FR 4; Variant 2 (RB) — red-blue spectrum radiation with the ratio: R 60: B 40

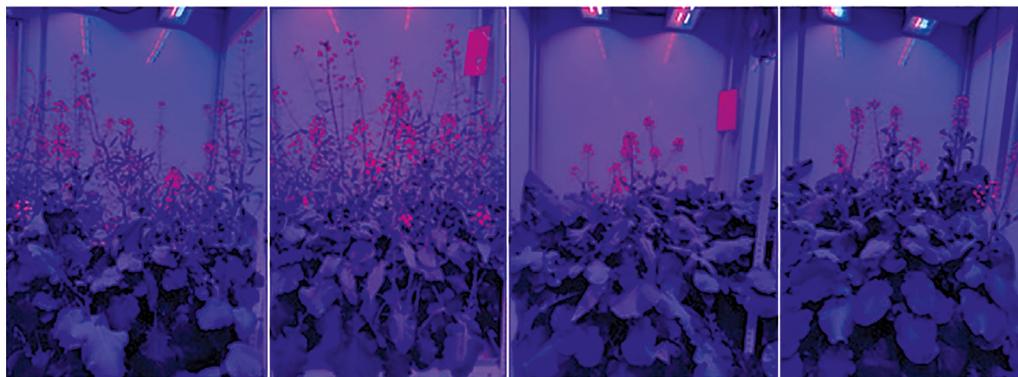
Source: compiled by M.S. Shirokova, A.A. Dorokhov.

Величина плотности фотонного потока PPFD по вариантам опыта составляла 327 ± 5 мкмоль·м⁻²с⁻¹.

Итого в опыте в целом было четыре варианта (рис. 3):

- вариант 1 (22/2 RB) — фотопериод 22 ч день / 2 ч ночь и спектральный состав R:40/B:60 (только красно-синий спектр);
- вариант 2 (22/2 FS) — фотопериод 22 ч день / 2 ч ночь и полный спектр излучения FS ((Full Spectrum): UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4);

- вариант 3 (16/8 RB) — фотопериод 16 ч / 8 ч ночь и спектральный состав R:40/B:60 (только красно-синий спектр);
- вариант 4 (16/8 FS) (контроль) — фотопериод 16 ч день / 8 ч ночь и полный спектр излучения FS ((Full Spectrum): UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4).



Вариант 1 - 22/2 RB Вариант 2 - 22/2 FS Вариант 3 - 16/8 RB Вариант 4 - 16/8 FS
(контроль)

Рис. 3. Растения ярового рапса сорта Галант при выращивании под двумя вариантами сочетания фотопериода (22- и 16-часовой световой день) и спектрального состава освещения (R60: B40 и FS (FullSpectrum): UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4)

Источник: выполнено М.С. Широковой, А.А. Дороховым.



Variant 1 - 22/2 RB Variant 2 - 22/2 FS Variant 3 - 16/8 RB Variant 4 - 16/8 FS
(control)

Fig. 3. Spring rapeseed cv. Galant plants grown under two combinations of photoperiod (22- and 16-hour light day) and light spectral composition (R60: B40 and FS (FullSpectrum): UV0.5: B37: G6.5: Y3: R49: FR4)

Source: compiled by M.S. Shirokova, A.A. Dorokhov.

В каждом варианте высадили по 64 растения. Всего в эксперименте вырастили 256 растений рапса (рис. 4).

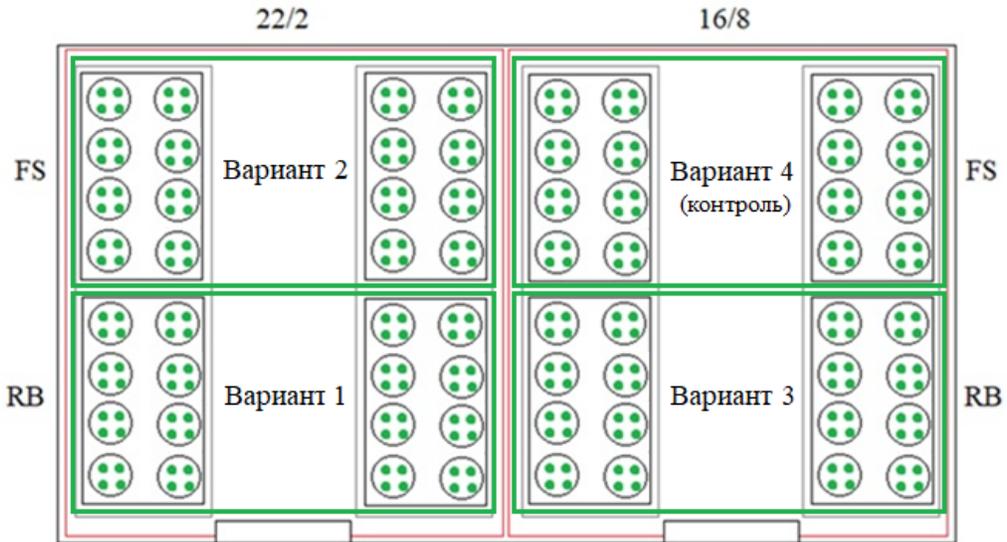


Рис. 4. Схема расположения растений в климатической камере
Источник: выполнено Н.И. Уютовой.

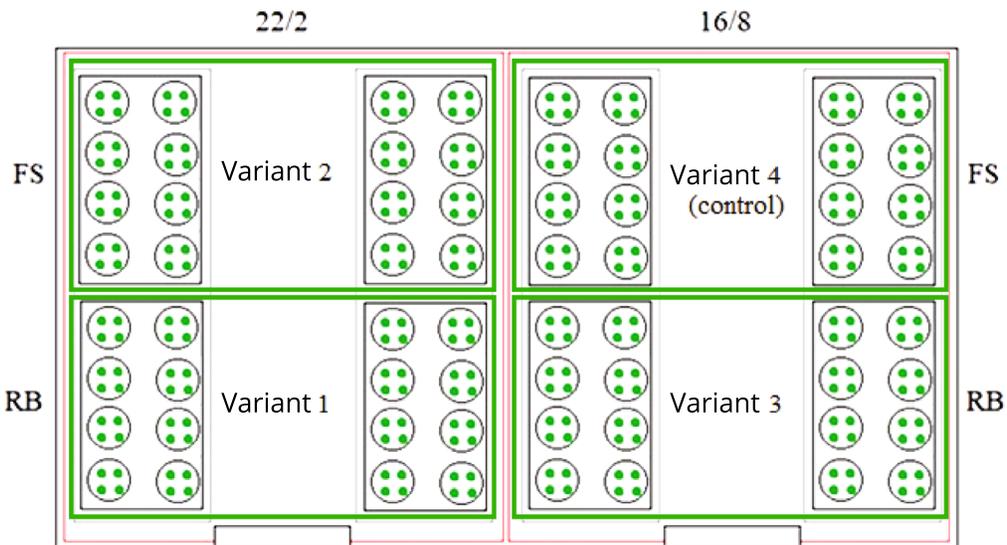


Fig. 4. Diagram of plant arrangement in the climate chamber
Source: compiled by N.I. Uyutova.

В одном горшке размещали 4 растения. Густота стояния растений составляла 82,4 шт./м², расстояние между растениями в горшках — 10 см.

Лабораторные исследования. В качестве критериев оценки влияния спектрального состава света и длины фотопериода на растения выбрали следующие морфологические показатели: высота растений, средняя длина и масса стручка, число семян и их масса в стручке.

Анализ исходного материала для посева и семян, выращенных в двухсекционной климатической камере по вариантам опыта, провели с помощью анализатора NIRS DS2500 (FOSS, Дания). Для определения биохимических показателей исходного материала и полученных семян отбирали по 2 пробы с каждого варианта опыта и помещали в чашу для измерения коэффициента отражения в 8 точках пробы. Данный прибор позволяет определить такие показатели, как влажность, содержание белка, жира и т.д.

Всхожесть и энергию прорастания полученных семян и посевного материала проверяли в соответствии с ГОСТ 12038–84¹.

Эксперимент проводили в трех повторностях. Статистическую обработку экспериментальных данных производили с помощью Microsoft Excel и программного пакета Statistica.

Результаты исследования и обсуждение

Скорость наступления и продолжительность цветения, а также уборка стручков с главного стебля и длина вегетационного периода ярового рапса сорта Галант приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние фотопериода и спектрального состава освещения на продолжительность межфазных периодов ярового рапса сорта Галант в вариантах опыта

№	Параметры	Фотопериод			
		22/2		16/8	
		Спектральный состав			
		1	2	3	4
		RB	FS	RB	FS (контроль)
1	Начало цветения (открытие первого цветка), сут.	39,7 ± 0,7*	34,8 ± 0,4	51,3 ± 0,5	45,1 ± 0,7
НСР05 = 0,27					
2	Продолжительность цветения, сут.	27,4 ± 0,7	23,5 ± 0,3	67,2 ± 1,9	59,8 ± 0,3
НСР05 = 0,32					
3	Уборка стручков с главного стебля, сут.	83 ± 0,1	78 ± 0,1	101 ± 0,3	96 ± 0,3
НСР05 = 2,98					
4	Длина вегетационного периода, сут.	101 ± 0,2	93 ± 0,4	112 ± 0,1	107 ± 0,1
НСР05 = 2,21					

Примечание. *Значения представляют собой среднее ± SE ($n = 12$).

Источник: выполнено М.С. Широковой, Е.В. Павловой, Н.И. Уютовой.

¹ ГОСТ Р 12038–84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19 декабря 1984 г. № 4710-ст. дата введения 1986–07–01. М.: Стандартинформ, 2011. 29 с.

Table 1

The influence of photoperiod and spectral composition of lighting on duration of interphase periods of spring rapeseed cv. Galant

№	Parameter	Photoperiod			
		22/2		16/8	
		Spectral composition			
		1	2	3	4
		RB	FS	RB	FS (control)
1	Beginning of flowering (opening of first flower), days	39.7 ± 0.7*	34.8 ± 0.4	51.3 ± 0.5	45.1 ± 0.7
HCP05 = 0.27					
2	Duration of flowering, days	27.4 ± 0.7	23.5 ± 0.3	67.2 ± 1.9	59.8 ± 0.3
HCP05 = 0.32					
3	Harvesting of pods from main stem, days	83 ± 0.1	78 ± 0.1	101 ± 0.3	96 ± 0.3
HCP05 = 2.98					
4	Length of growing season, days	101 ± 0.2	93 ± 0.4	112 ± 0.1	107 ± 0.1
HCP05 = 2.21					

Note. *Values represent mean ± SE (n = 12).

Source: compiled by M.S. Shirokova, E.V. Pavlova, N.I. Uytova.

Анализ результатов (см. табл. 1) указывает на то, что различный спектральный состав освещения и длина фотопериода оказывают влияние на скорость наступления фенологических фаз и длину вегетационного периода растений.

Начало цветения наступило значительно раньше в вариантах 1 и 2 с применением увеличенного фотопериода в среднем на 5,4 суток (11,9 %) и 10,3 суток (22,8 %) соответственно, и на 6,2 суток (13,8 %) позже в 3 варианте по сравнению с контрольным вариантом 4. Продолжительность цветения была существенно сокращена в вариантах 1 и 2 на 32,4 суток (54,2 %) и 36,3 суток (60,7 %) соответственно, и увеличена на 7,4 суток (12,4 %) в варианте 3 по сравнению с контрольным вариантом 4. Уборка стручков с главного стебля была в вариантах 1 и 2 на 13 суток (13,5 %) и 18 суток (18,8 %) соответственно раньше и варианте 3 на 5 суток (5,2 %) позже по сравнению с контрольным вариантом 4. Длина вегетационного периода значительно сократилась, а именно на 6 суток (5,6 %) и 14 суток (13,1 %) в вариантах 1 и 2 соответственно, и увеличилась на 5 суток (4,7 %) в варианте 3 по сравнению с контрольным вариантом 4, длина которого составила 107 суток.

Изучены морфологические показатели рапса в вариантах проведенного опыта (табл. 2).

Морфологические показатели ярового рапса сорта Галант под влиянием различных сочетаний режимов освещения и состава света

№	Показатели	Фотопериод			
		22/2		16/8	
		Спектральный состав			
		1	2	3	4
		RB	FS	RB	FS (контроль)
1	Количество стеблей всего, шт.	16,43 ± 0,5*	18,11 ± 1,4	11,24 ± 1,2	12,25 ± 1,3
HCP ₀₅ = 0,25					
2	Количество плодоносящих стеблей, шт.	13,25 ± 0,7	14,75 ± 0,6	9,38 ± 1,1	11,53 ± 1,1
HCP ₀₅ = 0,18					
3	Количество стручков на стеблях, шт.	32,55 ± 0,8	41,59 ± 0,8	31,75 ± 0,9	30,76 ± 0,6
HCP ₀₅ = 0,29					
4	Количество семян в стручке, шт.	21,23 ± 0,7	21,49 ± 0,5	20,98 ± 0,8	21,26 ± 0,7
HCP ₀₅ = 0,3					

Примечание. *Значения представляют собой среднее ± SE (n = 12).

Источник: выполнено М.С. Широковой, Е.В. Павловой, Н.И. Уютовой.

Table 2

Morphological parameters of spring rapeseed cv. Galant under the influence of various combinations of lighting regimes and light composition

№	Parameter	Photoperiod			
		22/2		16/8	
		Spectral composition			
		1	2	3	4
		RB	FS	RB	FS (control)
1	Total number of stems	16.43 ± 0.5*	18.11 ± 1.4	11.24 ± 1.2	12.25 ± 1.3
HCP ₀₅ = 0.25					
2	Number of fruiting stems	13.25 ± 0.7	14.75 ± 0.6	9.38 ± 1.1	11.53 ± 1.1
HCP ₀₅ = 0.18					
3	Number of pods per stems	32.55 ± 0.8	41.59 ± 0.8	31.75 ± 0.9	30.76 ± 0.6
HCP ₀₅ = 0.29					
4	Number of seeds per pod	21.23 ± 0.7	21.49 ± 0.5	20.98 ± 0.8	21.26 ± 0.7
HCP ₀₅ = 0.3					

Note. *Values represent mean ± SE (n = 12).

Source: compiled by M.S. Shirokova, E.V. Pavlova, N.I. Uyutova.

Из анализа данных табл. 2 видно, что общее количество стеблей было больше в вариантах 1 и 2 на 34,1 и 47,8 % соответственно, а в варианте 3 меньше на 8,2 % по сравнению с контрольным вариантом 4. Среднее количество плодоносящих стеблей значительно увеличилось в вариантах 1 и 2, на 14,92 и 27,9 % соответственно, и снижено на 18,7 % в варианте 3 по сравнению с контрольным вариантом 4. Среднее количество стручков на стеблях было значительно больше в вариантах 1, 2, 3, на 5,8; 35,2 и 3,22 % соответственно, по сравнению с контрольным вариантом 4. Статистический анализ показал, что отклонение числа семян в стручке от контрольного значения не превысило 1,32 % во всех вариантах опыта.

Анализ рис. 5 показывает, что различный спектральный состав света и длина фотопериода повлияли на высоту растений рапса ($HCPO5 = 0,18$). В отличие от контрольного варианта 4 высота растений увеличилась на 6 и 12,6 % соответственно в вариантах 1 и 3 с использованием только красно-синего спектра излучения и уменьшилась на 5,5 % в варианте 2.



Рис. 5. Средняя высота растений по вариантам опыта, см:

*Значения представляют собой среднее \pm SE ($n = 12$)

Источник: выполнено М.С. Широковой, А.А. Гришиным.

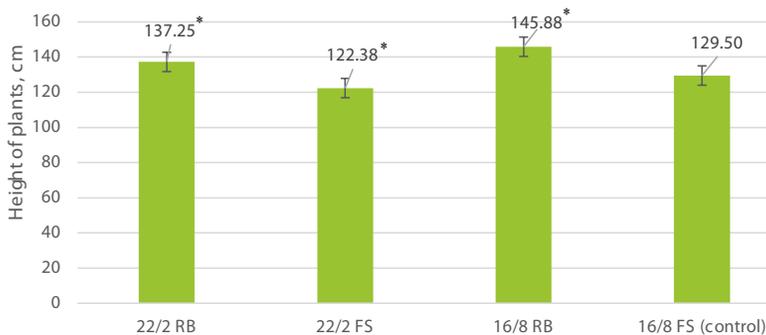


Fig. 5. Average height of plants according to the variants:

*Values represent the mean \pm SE ($n = 12$)

Source: compiled by M.S. Shirokova, A.A. Grishin.

Средняя длина стручка и носика тоже зависели от условий вариантов опыта (рис. 6).

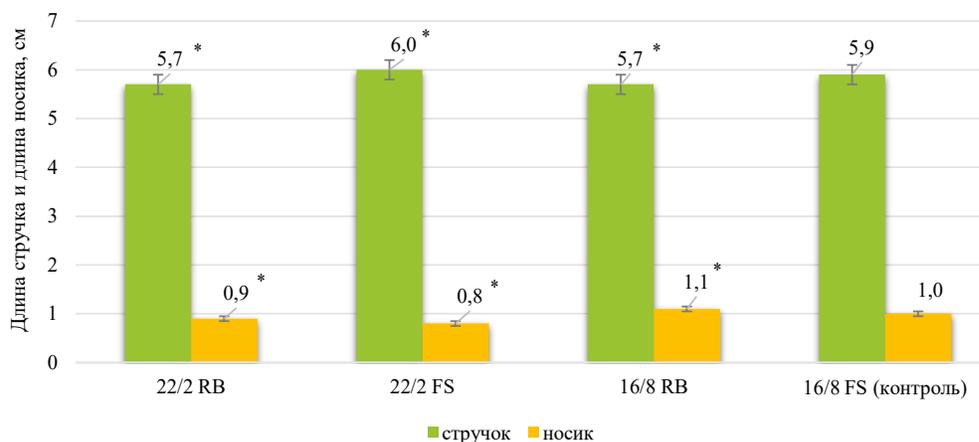


Рис. 6. Средняя длина стручка и носика по вариантам опыта, см:

*Значения представляют собой среднее \pm SE ($n = 12$)

Источник: выполнено М.С. Широковой, А.А. Гришиным.

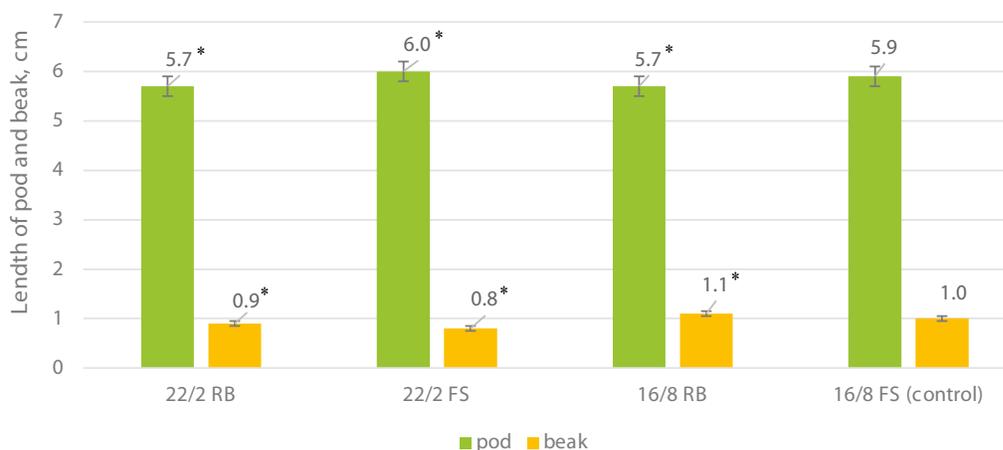


Fig. 6. Average length of pod and beak according to the variants:

*Values represent the mean \pm SE ($n = 12$)

Source: compiled by M.S. Shirokova, A.A. Grishin.

Проанализировав рис. 6, можно сказать, что использование красно-синего спектра излучения (RB) уменьшило длину стручка на 3,4 % (НСР05 = 0,2), а увеличение фотопериода в целом повлияло на сокращение длины носика в вариантах 1 и 2 почти на 20 % (НСР05 = 0,21).

Определили среднюю массу стручка и семян в стручке по вариантам опыта (рис. 7).

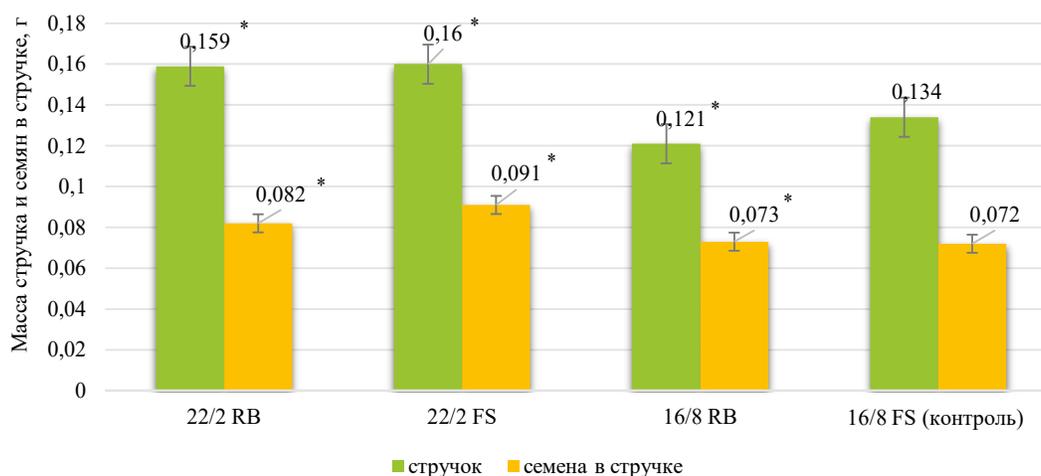


Рис. 7. Средняя масса стручка и семян в стручке по вариантам опыта, г.

*Значения представляют собой среднее \pm SE ($n = 12$)

Источник: выполнено М.С. Широковой, А.А. Гришиным.

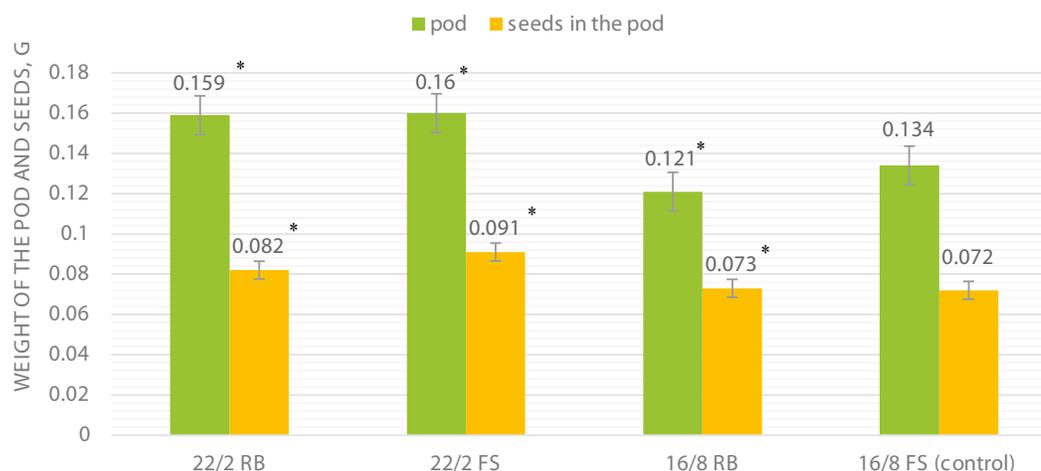


Fig. 7. The average weight of pod and seeds in pod according to the variants: *Values represent the mean \pm SE ($n = 12$)

Source: compiled by M.S. Shirokova, A.A. Grishin.

По данным рис. 7 видно, что масса стручка в отличии от контрольного варианта 4 оказалась больше в вариантах 1 и 2 на 18,6 и 19,4 % соответственно и ниже в варианте 3 на 9,7 % (НСР05 = 0,002). Средняя масса семян в стручке по сравнению с контролем была больше во всех трех вариантах опыта — на 1,4...26,4 % (НСР05 = 0,001). По данному показателю наилучшим для рапса оказался вариант 2 (22/2 FS).

Также сравнивали массу 1000 семян по вариантам опыта (рис. 8).

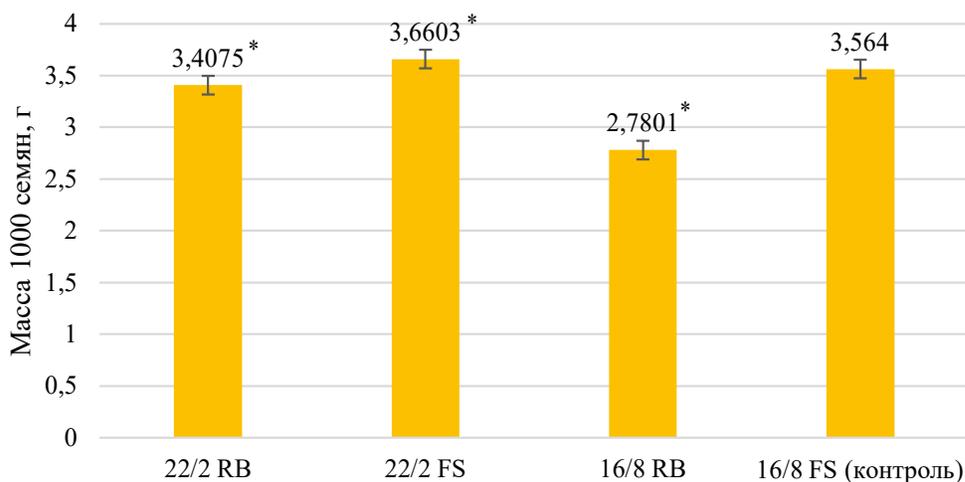


Рис. 8. Масса 1000 семян ярового рапса сорта Галант по вариантам опыта, г:

*Значения представляют собой среднее \pm SE ($n = 12$)

Источник: выполнено М.С. Широковой, А.А. Гришиным.

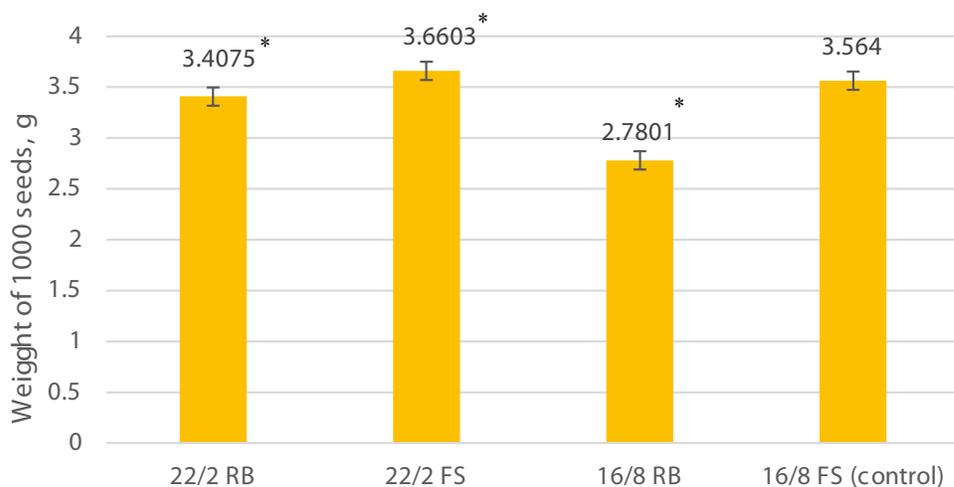


Fig. 8. The weight of 1000 seeds of spring rapeseed cv. Galant according to the variants:

*Values represent the mean \pm SE ($n = 12$)

Source: compiled by M.S. Shirokova, A.A. Grishin.

Масса 1000 семян по всем вариантам опыта была в диапазоне значений, указанных в характеристике сорта для выращивания в открытом грунте (2,7...3,6 г). В варианте 2 наблюдалось увеличение показателя на 2,7 % по сравнению с контрольным вариантом 4, а в вариантах 1 и 3 отмечено снижение массы на 4,39 и 21,9 % соответственно.

Проведен анализ биохимических показателей исходных семян и семян, полученных по вариантам опыта (табл. 3).

Таблица 3

Сравнительная характеристика биохимических показателей полученных семян ярового рапса сорта Галант по вариантам опыта с исходным посевным материалом, %

Показатели	Фотопериод				Исходный посевной материал
	22/2		16/8		
	Спектральный состав				
	1	2	3	4	
	RB	FS	RB	FS (контроль)	
Белок	22,91 ± 0,04 *	23,03 ± 0,06	19,78 ± 0,02	19,89 ± 0,07	23,15 ± 0,1
НСР05 = 0,21					
Влага	9,59 ± 0,02	14,47 ± 0,1	13,14 ± 0,03	14,91 ± 0,04	14,92 ± 0,5
НСР05 = 0,16					
Жир	46,12 ± 0,02	46,14 ± 0,09	45,25 ± 0,03	45,83 ± 0,04	46,27 ± 0,5
НСР05 = 0,12					
Клетчатка	13,77 ± 0,04	13,65 ± 0,06	13,86 ± 0,02	13,76 ± 0,02	13,68 ± 0,09
НСР05 = 0,07					
Зола	2,51 ± 0,02	2,42 ± 0,05	2,46 ± 0,03	2,49 ± 0,02	2,13 ± 0,05
НСР05 = 0,03					

Примечание. *Значения представляют собой среднее ± SE (n = 12).

Источник: выполнено М.С. Широковой, А.А. Дороховым.

Table 3

Comparative characteristics of biochemical parameters of obtained seeds of spring rapeseed cv. Galant with parent seed material, %

Parameters	Photoperiod				Parent seed material
	22/2		16/8		
	Spectral composition				
	1	2	3	4	
	RB	FS	RB	FS (control)	
Protein	22.91 ± 0.04*	23.03 ± 0.06	19.78 ± 0.02	19.89 ± 0.07	23.15 ± 0.1
НСР05 = 0.21					
Moisture	9.59 ± 0.02	14.47 ± 0.1	13.14 ± 0.03	14.91 ± 0.04	14.92 ± 0.5
НСР05 = 0.16					
Fat	46.12 ± 0.02	46.14 ± 0.09	45.25 ± 0.03	45.83 ± 0.04	46.27 ± 0.5
НСР05 = 0.12					
Fiber	13.77 ± 0.04	13.65 ± 0.06	13.86 ± 0.02	13.76 ± 0.02	13.68 ± 0.09
НСР05 = 0.07					
Ash	2.51 ± 0.02	2.42 ± 0.05	2.46 ± 0.03	2.49 ± 0.02	2.13 ± 0.05
НСР05 = 0.03					

Note: *Values represent mean ± SE (n = 12).

Source: compiled by M.S. Shirokova, A.A. Dorokhov.

Содержание белка в полученных семенах рапса сорта Галант соответствовало сортовым характеристикам (22,8...23,5 %) в вариантах 1 и 2. В полученных образцах этот показатель отличался от исходного посевного материала и был ниже на 1,04 % в варианте 1, на 0,5 % в варианте 2, на 14,6 % в варианте 3 и 14,1 % в варианте 4. А в отличие от контрольного варианта 4 содержание белка было выше в вариантах 1 и 2 на 15,2 и 15,8 % соответственно и ниже в варианте 3 на 0,5 %.

Содержание жира в полученных семенах соответствовало сортовым характеристикам (44,3...47,1 %) во всех четырех вариантах опыта. В отличие от исходного посевного материала показатель был ниже на 0,32 % в 1-м, на 0,28 % во 2-м, на 2,2 % в 3-м и на 0,95 % в 4-м варианте.

В отличие от контрольного варианта 4 содержание жира было выше в вариантах 1 и 2 на 0,63 и 0,68 % соответственно и ниже в варианте 3 на 1,27 %.

Мы также проверили всхожесть на соответствие ГОСТу 52325–2005² (не менее 85 %) и энергию прорастания исходных и полученных семян ярового рапса (табл. 4).

Таблица 4

Средние значения энергии прорастания и всхожести полученных семян по вариантам опыта и исходного посевного материала рапса сорта Галант, %

Показатели	Фотопериод				Исходный посевной материал
	22/2		16/8		
	Спектральный состав				
	1	2	3	4	
	RB	FS	RB	FS (контроль)	
Энергия прорастания (3 сут.)	94	91,7	92,5	90,2	91,1
Всхожесть (7 сут.)	96,8	92,9	92,6	90,4	91,3

Источник: выполнено М.С. Широковой, А.А. Дороховым.

Table 4

Average values of germinating energy and germination ability of the obtained seeds and the parent seed material of rapeseed cv. Galant, %

Parameters	Photoperiod				Parent seed material
	22/2		16/8		
	Spectral composition				
	1	2	3	4	
	RB	FS	RB	FS (control)	
Germinating energy (3 days)	94	91.7	92.5	90.2	91.1
Germination ability (7 days)	96.8	92.9	92.6	90.4	91.3

Source: compiled by M.S. Shirokova, A.A. Dorokhov.

² ГОСТ Р 52325–2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 марта 2005 г. № 63-ст: введен впервые: дата введения 2006–01–01. М.: Стандартинформ, 2006. 38 с.

Семена, полученные по всем вариантам опыта, имеют надлежащую всхожесть (90,4...96,8 %) и пригодны для дальнейшего использования.

Заключение

В результате выращивания ярового рапса сорта Галант в искусственных агроэкосистемах в условиях двух вариантов фотопериода (22- и 16-часовой световой день) и спектрального состава освещения (R60: B40 и FS (Full Spectrum): UV0,5: B37: G6,5: Y3: R49: FR4) в 4 вариантах (вариант 1–22/2 RB, вариант 2–22/2 FS, вариант 3–16/8 RB и вариант 4 (контроль) — 16/8 FS) выявлено следующее:

1) в варианте фотопериода с увеличенным световым днем до 22 часов по сравнению с 16-часовым:

– ускоряется начало цветения на 5,4...10,3 сут. (в вариантах 1 и 2 цветение началось по прошествии 34,8...39,7 сут.);

– сокращается вегетационный период на 6...14 сут. (урожай собран на 93...101-е сутки);

– увеличивается общее количество стеблей (на 34,1...47,8 %) и плодоносящих стеблей (на 14,9...27,9 %);

– увеличивается количество стручков (на 5,8...35,2 %) и их средняя масса (на 18,6...19,4 %);

2) в зависимости от спектрального состава освещения:

– в красно-синем спектре (R60: B40) увеличивается высота растений (на 6...12,6 %), но снижается длина стручков (на 3,4 %) и масса 1000 семян (на 4,4...21,9 %);

– полный спектр (FS) повышает общую продуктивность растений (масса 1000 семян увеличилась на 25,3 % (по сравнению с красно-синим спектром)).

Рекомендации: для получения качественного посевного материала оптимален 22-часовой световой день (варианты 1 и 2), так как 16-часовой приводит к снижению содержания белка (19,78...19,89 % против 22,8...23,5 %), а также полный спектр излучения, так как он оказался эффективнее для получения наибольшей продуктивности, тогда как красно-синий спектр повлиял в основном только на морфологию растений.

Список литературы

1. Черкасова Е.А., Рзаева В.В. Влияние элементов технологии возделывания на продуктивность сортов и гибридов ярового рапса: монография. Тюмень : ГАУ Северного Зауралья, 2024. 258 с. EDN: KMLMTN

2. Баюров Л.И. Рапс — культура будущего! // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 167. С. 1–19. doi: 10.21515/1990-4665-167-001 EDN: GMSPQA

3. Голова А.А., Горлова Л.А. Изменчивость основных жирных кислот масла современных линий озимого и ярового рапса селекции ВНИИМК // Актуальные вопросы биологии, селекции, технологии возделывания и переработки масличных и других технических культур : сб. материалов 10-й Всерос. конф. с междунар. участием молод. ученых и специалистов, Краснодар, 26–28 февраля 2019 г. Краснодар : Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В.С. Пустовойта, 2019. С. 37–40. EDN: LLYAFN

4. *Кашеваров Н.И., Нурлыгаянов Р.Б., Ахметгареев Р.Ф.* Развитие производства ярового рапса в Западной Сибири. Кемерово : Кемеровский гос. сельскохозяйств. ин-т, 2015. 186 с. EDN: UHCADR
5. *Анисимова И.Н., Дубовская А.Г.* Системы ЦМС у рапса и их использование в селекции отечественных гибридов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 3. С. 171–180. doi: 10.30901/2227-8834-2020-3-171-180 EDN: NSDDRT
6. *Аутко А.А., Привалов Ф.И., Пестис В.К. и др.* Научные основы технологий возделывания озимых зерновых культур, рапса и кукурузы / Национальная академия наук Беларуси, Научно-практический центр по земледелию, Министерство сельского хозяйства и продовольствия, Гродненский государственный аграрный университет. Минск : Беларуская навука, 2021. 493 с. EDN: ECCXCX
7. *Rondanini D.P., Gomez N.V., Agosti M.B., Miralles D.J.* Global trends of rapeseed grain yield stability and rapeseed-to-wheat yield ratio in the last four decades // *European Journal of Agronomy*. 2012. Vol. 37. № 1. P. 56–65. doi: 10.1016/j.eja.2011.10.005
8. *Gan Y., Angadi S.V., Cutforth H., Potts D., Angadi V.V., McDonald C.L.* Canola and mustard response to short periods of temperature and water stress at different developmental stages // *Canadian Journal of Plant Science*. 2004. Vol. 84. № 3. P. 697–704. doi: 10.4141/P03-109
9. *Кулешова Т.Э., Удалова О.Р., Балашова И.Т., Аникина Л.М., Конончук П.Ю., Мирская Г.В., Дубовицкая В.И., Вертебный В.Е., Хомяков Ю.В., Панова Г.Г.* Особенности влияния спектра излучения на продуктивность и биохимический состав тестовых плодовых и листовых овощных культур // *Журнал технической физики*. 2022. Т. 92. № 7. С. 1060–1068. doi: 10.21883/JTF.2022.07.52663.343-21 EDN: VQAOQE
10. *Черятова Ю.С., Ембатунова Е.Ю., Соломонова Е.В., Монахос С.Г.* Морфометрическая характеристика плодов рапса (*Brassica napus* L.) // *Естественные и технические науки*. 2023. № 8 (183). С. 85–87. EDN: GKXESC
11. *Watson A., Ghosh S., Williams M.J. et al.* Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding // *Nature Plants*. 2018. № 4. P. 23–29. doi: 10.1038/s41477-017-0083-8
12. *Hickey L.T., Hafeez A.N., Robinson H., Jackson S.A. et al.* Breeding crops to feed 10 billion // *Nature Biotechnology*. 2019. Vol. 37. № 7. P. 744–754. doi: 10.1038/s41587-019-0152-9 EDN: IVAVZO
13. *Ahmar S., Gill R.A., Jung K.-H., Faheem A., Qasim M.U., Mubeen M., Zhou W.* Conventional and Molecular Techniques from Simple Breeding to Speed Breeding in Crop Plants: Recent Advances and Future Outlook // *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. Vol. 21. № 7. Art. 2590. doi: 10.3390/ijms21072590 EDN: FTVFFY
14. *Shengxin C., Chunxia L., Xuyang Y., Song C., Xuelei J., Xiaoying L., Zhigang X., Rongzhan G.* Morphological, Photosynthetic, and Physiological Responses of Rapeseed Leaf to Different Combinations of Red and Blue Lights at the Rosette Stage // *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. P. 1144. doi: 10.3389/fpls.2016.01144 EDN: WPVIZD
15. *Курилова Д.А., Бушнев А.С., Семеренко С.А., Беляев Ю.М., Саенко Ю.А.* Влияние свето-импульсной обработки семян рапса ярового на лабораторную всхожесть и семенную инфекцию // *Масличные культуры*. 2022. № 4 (192). С. 79–83. doi: 10.25230/2412-608X-2022-4-192-79-83 EDN: DTOAKK

References

1. *Cherkasova EA, Rzaeva VV.* Vliyanie elementov tekhnologii vzdelyvaniya na produktivnost' sortov i gibridov yarovogo rapasa [Influence of cultivation technology elements on the productivity of spring rapeseed varieties and hybrids]. Tyumen; 2024. (In Russ.). EDN: KMLMTN
2. *Bayurov LI.* Rapeseed — the culture of the future! *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2021;(167):1–19. (In Russ.). doi: 10.21515/1990-4665-167-001 EDN: GMSPOA
3. *Golova AA, Gorlova LA.* Variability of main fatty acids of oil of the modern lines of spring and winter rapeseed of VNIIMK's breeding. In: *Current Issues in Biology, Breeding, Technology of Cultivation and Processing of Oilseeds and Other Industrial Crops: conference proceedings*. Krasnodar; 2019. p.37–40. (In Russ.). EDN: LLYAFN
4. *Kashevarov NI, Nurguyanov RB, Akhmetgareev RF.* Razvitie proizvodstva yarovogo rapasa v Zapadnoi Sibiri [Development of spring rapeseed production in Western Siberia]. Kemerovo; 2015. (In Russ.). EDN: UHCADR
5. *Anisimova IN, Dubovskaya AG.* CMS systems in rapeseed and their use in breeding domestic hybrids. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(3):171–180. (In Russ.). doi: 10.30901/2227-8834-2020-3-171-180 EDN: NSDDRT

6. Autko AA, Privalov FI, Pestis VK, Grakun VV, Kas'yanchik SA, Pilyuk YE, et al. *Nauchnye osnovy tekhnologii vozdeleyvaniya ozimyykh zernovykh kul'tur, rapsa i kukuruzy* [Scientific foundations of cultivation technologies of winter grain crops, rapeseed, and corn]. Minsk; 2021. (In Russ.). EDN: ECCCXC
7. Rondanini DP, Gomez NV, Agosti MB, Miralles DJ. Global trends of rapeseed grain yield stability and rapeseed-to-wheat yield ratio in the last four decades. *European Journal of Agronomy*. 2012;37(1):56–65. doi: 10.1016/j.eja.2011.10.005
8. Gan Y, Angadi SV, Cutforth H, Potts D, Angadi VV, McDonald CL. Canola and mustard response to short periods of temperature and water stress at different developmental stages. *Canadian Journal of Plant Science*. 2004;84(3):697–704. doi: 10.4141/P03-109
9. Kuleshova TE, Udalova OR, Balashova IT, Anikina LM, Kononchuk PY, Mirskaya GV, et al. Features of the lighting spectrum influence on the productivity and biochemical composition of test fruit and leaf vegetable crops. *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki*. 2022;92(7):1060–1068. doi: 10.21883/JTF.2022.07.52663.343-21 EDN: VQAQQE
10. Cheryatova YS, Embaturova EY, Solomonova EV, Monakhos SG. Morphometric characteristics of rapeseed fruits (*Brassica napus* L.). *Natural and Technical Sciences*. 2023;(8):85–87. EDN: GKXESC
11. Watson A, Ghosh S, Williams MJ, Cuddy WS, Simmonds J, Rey MD, et al. Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. *Nature Plants*. 2018;(4):23–29. doi: 10.1101/161182
12. Hickey LT, Hafeez AN, Robinson H, Jackson SA, Leal-Bertioli SC, Tester M. Breeding crops to feed 10 billion. *Nature Biotechnology*. 2019;37(7):744–754. doi: 10.1038/s41587-019-0152-9 EDN: IVAVZO
13. Ahmar S, Gill RA, Jung KH, Faheem A, Qasim MU, Mubeen M, et al. Conventional and molecular techniques from simple breeding to speed breeding in crop plants: recent advances and future outlook. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21(7):2590. doi: 10.3390/ijms21072590 EDN: FTVFFY
14. Shengxin C, Chunxia L, Xuyang Y, Song C, Xuelei J, Xiaoying L, et al. Morphological, photosynthetic, and physiological responses of rapeseed leaf to different combinations of red and blue lights at the rosette stage. *Front Plant Science*. 2016;7:1144. doi: 10.3389/fpls.2016.01144
15. Kurilova DA, Bushnev AS, Semerenko SA, Belyaev YM, Saenko YA. Effect of light pulse treatment of seeds of spring rapeseed on the germinating ability and seed infection. *Oil Crops*. 2022;(4):79–83. doi: 10.25230/2412-608X-2022-4-192-79-83 EDN: DTOAKK

Об авторах:

Широкова Мария Сергеевна — аспирант кафедры молекулярной селекции, клеточных технологий и семеноводства, Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; младший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных роботизированных средств и климатического оборудования для закрытых экосистем, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5; e-mail: m_shirokova98@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9049-1039 SPIN-код: 1973-9717

Гришин Андрей Александрович — кандидат экономических наук, старший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных роботизированных средств и климатического оборудования для закрытых экосистем, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5; e-mail: 5145412@mail.ru
ORCID: 0000-0002-1670-4577 SPIN-код: 5917-1146

Дорохов Артём Александрович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных роботизированных средств и климатического оборудования для закрытых экосистем, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5; e-mail: dorokhov-91@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-7946-5729 SPIN-код: 1125-7140

Павлова Елена Валерьевна — младший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных роботизированных средств и климатического оборудования для закрытых экосистем, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5; e-mail: elena_pavlova85@mail.ru
ORCID: 0000-0002-4607-4801 SPIN-код: 2723-1382

Уютова Надежда Игоревна — младший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных роботизированных средств и климатического оборудования для закрытых экосистем, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5; e-mail: nadya.ujutova@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5975-3849 SPIN-код: 2853-6382

About authors:

Shirokova Maria Sergeevna — PhD Student, Department of Molecular Breeding, Cell Technologies and Seed Production, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russian Federation; Junior Researcher, Laboratory of Intelligent Robotic Tools and Climate Control Equipment for Closed Ecosystems, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5 1st Institutsky proezd, Moscow, 109428, Russian Federation; e-mail: m_shirokova98@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9049-1039 SPIN-code: 1973-9717

Grishin Andrey Alexandrovich — Candidate of Economical Sciences, Senior Research Scientist, Laboratory of Intelligent Robotic Tools and Climate Control Equipment for Closed Ecosystems, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5 1st Institutsky proezd, Moscow, 109428, Russian Federation; e-mail: 5145412@mail.ru

ORCID: 0000-0002-1670-4577 SPIN-code: 2644-4840

Dorokhov Artem Alexandrovich — Candidate of Technical Sciences, Senior Research Scientist, Laboratory of Intelligent Robotic Tools and Climate Control Equipment for Closed Ecosystems, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5 1st Institutsky proezd, Moscow, 109428, Russian Federation; e-mail: dorokhov-91@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-7946-5729 SPIN-code: 1125-7140

Pavlova Elena Valerievna — Junior Research Scientist, Laboratory of Intelligent Robotic Tools and Climate Control Equipment for Closed Ecosystems, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5 1st Institutsky proezd, Moscow, 109428, Russian Federation; e-mail: elena_pavlova85@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4607-4801 SPIN-code: 2723-1382

Ujutova Nadezhda Igorevna — Junior Research Scientist, Laboratory of Intelligent Robotic Tools and Climate Control Equipment for Closed Ecosystems, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5 1st Institutsky proezd, Moscow, 109428, Russian Federation; e-mail: nadya.ujutova@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5975-3849 SPIN-code: 2853-6382