

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.363:636.086.5

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-46-52>



Предпосевная УФ-обработка семян сои: проращивание на витаминный корм

В.Ю. Страхов^{1✉}, *С.В. Вендин*², *Ю.В. Саенко*³

^{1,2,3} Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина; п. Майский, Белгородская обл., Россия

¹ stakhov.94@list.ru

² elapk@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0482-6657>

³ yuriy311300@mail.ru

Аннотация. Введение в рацион животных пророщенного зерна сои обеспечивает высокое содержание протеина в корме, повышает его питательность и поедаемость. В технологии приготовления зелёных витаминных кормов на основе сои для обеззараживания семян перед проращиванием предложено использовать УФ-облучение. С целью определения оптимальных режимов предпосевной обработки семян по представленной методике проведено УФ-облучение семян сои на разработанной ранее экспериментальной установке ленточного типа. Проращивание обработанных семян осуществлялось в закрытом коробе с принудительной вентиляцией и встроенной фитолампой. В качестве варьируемых факторов выбирались энергетическая освещённость УФ-облучения и время УФ-обработки семян перед проращиванием, а в качестве функции отклика – длина ростков сои на 5-е сутки проращивания. По экспериментальным данным получено регрессионное уравнение, описывающее влияние параметров УФ-обработки на длину ростков, построены графические зависимости изменения функции отклика в интервалах варьирования. Экспериментальными исследованиями установлен оптимальный режим УФ-обработки семян сои, обеспечивающий максимальное значение ростков сои. При удельной мощности 9 Вт/м² с экспозицией УФ-облучения от 30 до 90 с длина ростков на 5-е сутки после начала проращивания составила 120 мм (при 109 мм в контрольных образцах). Предложенный режим рекомендован для предпосевной обработки семян при проращивании семян сои на витаминный корм животным.

Ключевые слова: зелёный витаминный корм, проращивание семян сои, УФ-обработка, время УФ-обработки, энергетическая освещённость, УФ-облучение, длина ростков

Для цитирования: Страхов В.Ю., Вендин С.В., Саенко Ю.В. Предпосевная УФ-обработка семян сои: проращивание на витаминный корм // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 6. С. 46-52. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-46-52>

ORIGINAL PAPER

Pre-sowing UV treatment of soybean seeds: sprouting for vitamin feed

V. Yu. Strakhov^{1✉}, *S. V. Vendin*², *Yu. V. Saenko*³

^{1,2,3} Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin; Belgorod region, Russia

¹ stakhov.94@list.ru

² elapk@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0482-6657>

³ yuriy311300@mail.ru

Abstract. Introduction of sprouted soybean grain into animal diet provides high protein content in feed, increases its nutrition and digestibility. In the technology of preparation of green vitamin forages based on soybean for seed disinfection before sprouting it is proposed to use UV-irradiation. In order to determine the optimal modes of seed pre-sowing treatment according to the presented methodology, UV-irradiation of soybean seeds was carried out on the previously developed experimental unit of belt type. The treated seeds germinated in a closed box with forced ventilation and a built-in phytolamp. The energy illuminance of UV irradiation and the time of UV treatment

of seeds before sprouting were selected as the variable factors, and the length of soybean sprouts on the 5th day of sprouting was selected as the response function. The regression equation describing the influence of UV-treatment parameters on sprout length was obtained from experimental data, and graphical dependences of the response function changes in the variation intervals were plotted. Experimental studies have established the optimal mode of UV-treatment of soybean seeds, providing the maximum value of soybean sprouts. At a specific power of 9 W/m² with UV-irradiation exposure from 30 to 90 s the length of sprouts on the 5th day of sprouting was 120 mm (with 109 mm in control samples). The proposed mode is recommended for pre-sowing seed treatment during sprouting of soybean seeds for vitamin feed for animals.

Keywords: green vitamin feed, sprouted grain, soy, UV treatment, UV treatment duration, irradiance, UV irradiation, length of sprouts

For citation: Strakhov V.Yu., Vendin S.V., Sayenko Yu.V. Pre-sowing UV treatment of soybean seeds: sprouting for vitamin feed. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(6):46-52. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-46-52>

Введение. Одной из проблем развития животноводства на территории нашей страны является обеспечение животных полноценными кормами¹.

Соевые бобы, содержащие до 45% протеина, незаменимые аминокислоты, метионин, витамины, микроэлементы и клетчатку, и соевое масло, восполняющее дефицит полиненасыщенных жирных кислот омега-3 и омега-6, позволяют использовать сою при откорме животных и особенно при откорме молодняка.

Пророщенное зерно, в том числе сои, вводимое в рацион животных, значительно повышает питательность и поедаемость кормов [1-3]. Зелёный витаминный корм способствует наиболее полной реализации генотипа, продлению хозяйственного использования животных, рождению здорового приплода, увеличению продуктивности и сохранению здоровья. Существующие технологии приготовления зелёных кормов на основе сои включают в себя термическую обработку, которая приводит к увеличению затрат труда и электроэнергии и препятствует широкому распространению технологий получения зелёных витаминных кормов на основе соевого зерна. Для обеззараживания семян сои перед проращиванием тепловую обработку семян можно заменить на УФ-облучение, обеспечивающее снижение общей микробной обсеменённости на поверхности семян, уничтожение плесени и грибов. К тому же УФ-облучение семян по сравнению с технологиями на основе тепловой обработки требует меньших затрат энергии на единицу продукции.

Научная литература содержит достаточно сведений положительного использования пророщенного зерна пшеницы и ячменя для кормления

животных [4]. Значительно реже учёные рассматривают кормовой потенциал пророщенной сои, что можно связать с присущими соевым бобам веществами, оказывающими вредное воздействие, снижающими питательную ценность (ингибиторы протеаз, лектины и гемагглютинины, сапонины), а также веществами, вызывающими эндокринные и рахитические расстройства. Инактивации ядовитых антипитательных веществ можно добиться микронизацией, экстрадированием, СВЧ-обработкой и проращиванием.

Для реализации УФ-обработки семян перед проращиванием необходимо задавать режимы обработки как по интенсивности УФ-воздействия, так и по времени УФ-обработки.

Цель исследований: изучение влияния режимов предпосевной УФ-обработки семян на эффективность проращивания сои.

Материалы и методы. УФ-облучение неспособно проникать в глубь слоя семян, поэтому для равномерности обработки необходимо обеспечить высоту слоя в одно семя. Данные условия обработки наилучшим способом можно реализовать на нескольких устройствах: вибрационном транспортере, ленточном транспортере и обработке семян на горизонтальной или наклонной поверхностях. Каждый из способов имеет в совокупности недостатки и преимущества.

Конструкция вибрационного транспортера для УФ-облучения семян авторского коллектива во главе с В.П. Архиповым [5] имеет недостатки, связанные со сложностью управления скоростью движения семян на вибрационном транспортере в зоне обработки под УФ-лампами. В процессе работы устройства вибрация лотка способствует скоплению пыли от семян, что в значительной мере снижает бактерицидный поток источника облучения. Необходима периодическая очистка лампы от пыли. Неоспоримым преимуществом является высокая равномерность УФ-облучения за счёт постоянного вращения семян

¹ Походня Г.С. Свиноводство и технология производства свинины // Сборник трудов научной школы профессора Г.С. Походни: Специальный выпуск № 2. Использование пророщенного зерна в рационах свиней; Под общ. ред. Г.С. Походни. Белгород: Издательство БелГСХА, 2009. 68 с.

относительно своей оси при перемещении по поверхности вибрационного транспортера.

Устройства, реализующие принцип УФ-облучения семян на поверхности, обладают низкой производительностью. При обработке на горизонтальной поверхности в устройствах, созданных В.А. Савельевым и Е.А. Васеневым [6, 7], отсутствуют узлы для механизации подачи семян под УФ-лампы и извлечения обработанных семян. В установках для обработки семян на наклонных поверхностях затрудняется процесс управления дозой облучения [8]. Для повышения дозы требуются повторные обработки или возможность увеличения энергетической освещенности.

В конструкциях ленточных транспортеров для УФ-облучения семян, созданных И.Р. Владыкиным и Н.И. Боханом [9, 10], нереализованной является возможность управления скоростью движения ленты транспортера.

Для проведения УФ-обработки семян ранее разработана экспериментальная установка ленточного типа (рис. 1) [11]. В конструкции устройства предусмотрены бункер для загрузки семян, ленточный транспортер для перемещения массы семян в зону обработки. Ленточный транспортер приводит в движение мотор-редуктор. Применение ленточного транспортера в совокупности с преобразователем частоты позволяет управлять скоростью перемещения семян под источниками УФ-облучения и обеспечивать режимы обработки семян различных сельскохозяйственных культур с учетом рекомендуемой дозы облучения. Для равномерного распределения семян на поверхности ленточного транспортера предусмотрен разравниватель семян с заслонкой. Над ленточным транспортером расположены параболические отражатели с ультрафиолетовыми лампами. Отражатели выполнены из травленного алюминия. Согласно исследованиям данный материал обладает наилучшим коэффициентом отражения (близким к 88%) УФ-излучения с длиной волны 254 нм [12]. На поверхности ленточного транспортера в зоне обработки семян смонтирована щетка с приводом, которая ворошит семена и повышает равномерность облучения обрабатываемой культуры со всех сторон. Устройство выполнено на раме.

Предложенное устройство позволяет механизировать и автоматизировать процесс предпосевной УФ-обработки семян различных сельскохозяйственных культур с целью обеззараживания от плесени и грибков и стимуляции ростовых процессов в семенах перед проращиванием.

Интенсивность УФ-воздействия на семена можно регулировать мощностью ультрафиолетовых ламп и высотой их подвеса над слоем семян.

Время УФ-обработки семян определяется временем прохождения семенами зоны облучения и регулируется скоростью движения транспортной ленты.

В целях использования способа были проведены предварительные экспериментальные исследования по оценке влияния режимов предпосевной УФ-обработки семян на эффективность проращивания и определения рекомендуемых режимов для реализации процесса обработки семян на установке ленточного типа.

В качестве объекта исследований были использованы семена сои.

В качестве варьируемых воздействующих факторов при проведении экспериментальных исследований приняты энергетическая освещенность УФ-облучения, Вт/м² (X1), и время УФ-обработки, с (X2) (табл. 1). В производстве кормов необходимо получить зеленую массу ростков пророщенного семени, содержащую макро-, микроэлементы

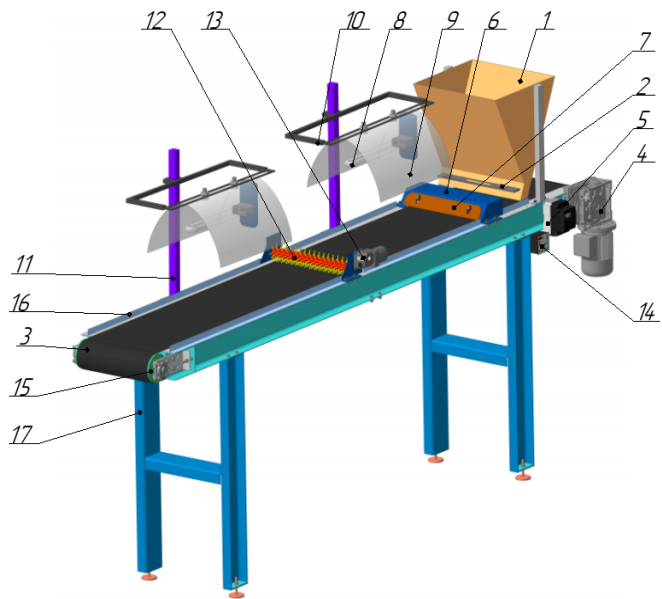


Рис. 1. Модель устройства для ультрафиолетовой обработки семян ленточного типа:

- 1 – бункер; 2 – заслонка; 3 – лента транспортера;
- 4 – мотор-редуктор; 5 – преобразователь частоты;
- 6 – разравниватель семян; 7 – заслонка разравнивателя;
- 8 – ультрафиолетовая лампа; 9 – параболический отражатель;
- 10 – подвеска для светильника; 11 – стойка светильника;
- 12 – щетка; 13 – привод щетки; 14 – блок управления щеткой;
- 15 – барабан; 16 – борт; 17 – рама

Fig. 1. Model of a ribbon-type device for UV treatment of seeds:

- 1 – hopper; 2 – flap; 3 – conveyor belt; 4 – gear motor;
- 5 – frequency converter; 6 – seed leveler; 7 – leveller flap;
- 8 – UV lamp; 9 – parabolic reflector;
- 10 – suspension for the lamp; 11 – lamp stand;
- 12 – brush; 13 – brush drive; 14 – brush control unit;
- 15 – drum; 16 – side; 17 – frame

Уровни варьирования факторов

Table 1

Levels of factor variation

Наименование фактора <i>Name of the factor</i>	Уровни варьирования факторов <i>Levels of factor variation</i>		Интервал варьирования <i>Range of variation</i>
	-1	+1	
Энергетическая освещённость УФ-облучения, E, Вт/м ² (X1) <i>UV irradiance, E, W/m²</i>	1	9	4
Время УФ-облучения, T _{ОБЛУЧ} , с (X2) / <i>Time of exposure to UV, T_{ОБЛУЧ}, sec.</i>	30	90	30

и витамины, поэтому в качестве критерия оптимизации принимали длину ростков на 5-е сутки [13].

Материалы и методы. Методика проведения экспериментов заключалась в следующем.

1. В соответствии с планом эксперимента проводилась обработка образцов семян сои. В качестве источника ультрафиолетового облучения использовалась лампа типа UVT ДКБУ 7 L 2G7 СОМРАСТ с доминирующим спектром излучения, соответствующим длине волны 253,7 нм, мощностью 7 Вт. При задании режимов УФ-облучения уровень энергетической освещённости, Вт/м², на поверхности обрабатываемого материала контролировался предварительными замерами с использованием УФ-радиометра «ТКА-ПКМ» (12). Для обеспечения энергетической освещённости 1 Вт/м² УФ-лампу размещали на расстоянии 0,25 м от поверхности обрабатываемого материала, а для обеспечения энергетической освещённости 9 Вт/м² источник облучения размещали на расстоянии 0,1 м от поверхности обрабатываемого материала.

2. Образцы семян помещали в ёмкости для проращивания. Для удержания влаги семена в емкостях размещали на коврик из материала спанлейс, который на 80% состоит из вискозы. При проращивании контейнеры с семенами размещали в закрытом коробе с принудительной вентиляцией и встроенной фитолампой (рис. 2).

3. Во время проращивания, в течение каждых суток, семена каждые 3 ч увлажняли.

4. При проращивании каждые сутки в течение 4 ч (с 9-00 до 13-00) обработанные и контрольные образцы семян, находящиеся на проращивании, подвергали искусственному освещению под фитолампой Camelion (спектр излучения синий – 23%, красный – 77%). В остальное время суток лампу выключали, и семена проращивались в темноте.

5. Срок проращивания составлял 5 сут. (рис. 3), по истечении которого проводился замер длины ростков пророщенного зерна сои.



Рис. 2. Устройство для проращивания семян

Fig. 2. Seed sprouting device



Рис. 3. Проращивание семян сои (5-е сутки)

Fig. 3. Soybeans on the fifth day of sprouting

Результаты и их обсуждение. Выявлено влияние воздействующих факторов X1 (энергетическая освещённость УФ-облучения, Вт/м²) и X2 (время УФ-обработки, с) на динамику и абсолютное значение длины ростков сои, мм, при проращивании (табл. 2, рис. 4).

На рисунке 4 зелёным цветом выделена область, где длина ростков превышает 110 мм. Отметим увеличение длинны ростков сои при увеличении удельной мощности ультрафиолетового облучения. Наибольшая длина ростков (110...120 мм) наблюдается в диапазоне обработки от 7 до 9 Вт/м² с экспозицией облучения от 30 до 90 с. Анализируя поверхность, можно отметить увеличение длины ростков при малых значениях удельной мощности 1...2 Вт/м² и времени облучения от 30 до 75 с. Однако для полноценного обеззараживания поверхности семян от патогенных

Таблица 2

Матрица плана и результаты эксперимента

Table 2

Matrix of the plan and the experiment results

Номер опыта / Experiment Number	Фактор X1 / Factor X1	Фактор X2 / Factor X2	Длина ростка, мм / Sprout length, mm	HCP ₀₅
1	-1	-1	114,5	2,8
2	1	-1	115,9	3,6
3	-1	1	104,4	4,2
4	1	1	118,0	4,0
5	-1	0	110,4	3,8
6	1	0	119,9	3,5
7	0	-1	101,0	3,9
8	0	1	102,2	3,4
9	0	0	109,5	3,2
10	Контроль / Control		109,8	2,7

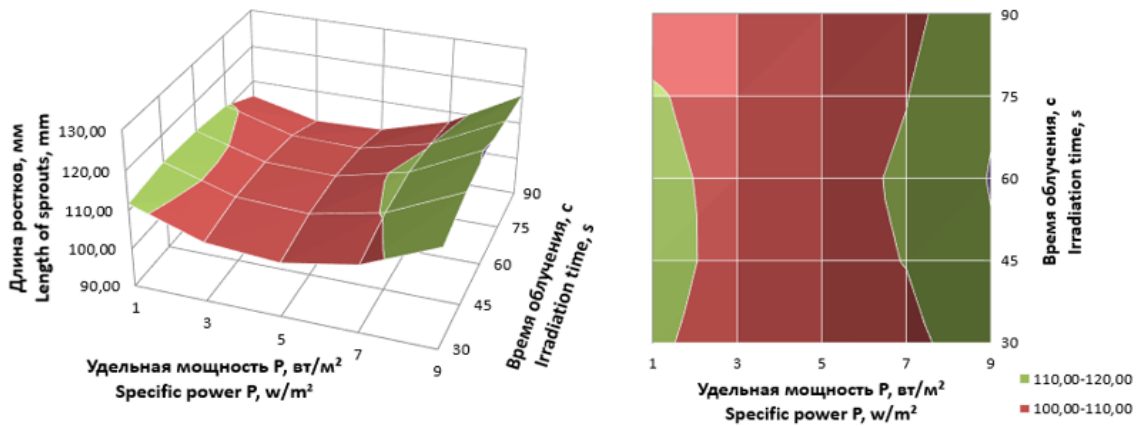


Рис. 4. Поверхность отклика длины ростка сои в зависимости от удельной мощности УФ-облучения и продолжительности УФ-облучения

Fig. 4. Response surface of the soybean sprout length depending on the natural values of the specific power of UV irradiation and the duration of UV irradiation

микроорганизмов удельной мощности УФ-облучения недостаточно в данных режимах. Поскольку производимые зелёные корма должны отвечать всем зоотехническим требованиям по содержанию патогенных микроорганизмов, плесени и дрожжей, то для производства рекомендуется обработка в режимах с удельной мощностью от 7 до 9 Вт/м².

Наблюдаемый на графике «провал» длины ростков в промежутке от 2 до 6 Вт/м² с пиком при удельной мощности, близкой к значению 5 Вт/м², можно объяснить неоднозначностью ответной реакции растения на данный режим УФ-обработки. Обрабатываемые семена состоят из сильных, травмированных и ослабленных единиц. В каждом отдельном семени индивидуальными являются особенности работы ферментативного аппарата и систем жизнедеятельности [14-17].

Исследования проводились в соответствии с ортогональным планом второго порядка полного 2-факторного эксперимента (табл. 1) в 4-кратной повторности в каждой точке плана эксперимента.

Воспроизводимость опытов оценивалась с использованием критерия Кохрена при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $f_2 = 12$. Расчётное значение критерия Кохрена $G_{расч} = 0,12$ не превышало допустимых значений $G_{0,05} = 0,4$ ($0,12 \leq 0,4$).

После обработки данных было получено регрессионное уравнение, описывающее влияние УФ-облучения во время роста, которое в кодированных переменных имеет вид:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{12}X_1X_2 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2, \quad (1)$$

где X_1 – удельная мощность источника ультрафиолетового облучения, о.е ($-1 \leq X_1 \leq +1$); X_2 – продолжительность УФ-облучения, о.е ($-1 \leq X_2 \leq +1$); $B_0 = 106,81$; $B_1 = 3,98$; $B_2 = -1,04$; $B_{12} = 1,95$; $B_{11} = 9,70$; $B_{22} = -3,85$.

Значимость коэффициентов проверялась по критерию Стьюдента ($t_{кр}$) при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $f_2 = 12$. Менее значимым является коэффициент B_2 . Все остальные коэффициенты

уравнения (1) являются значимыми, следовательно, факторы достаточно коррелированы между собой. Адекватность модели оценивалась по критерию Фишера при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Расчётное значение критерия Фишера $F_{\text{расч}} = 1,04$ не превышало допустимых значений $F_{0,05} = 2,57$ ($1,04 \leq 2,57$).

Расчётное уравнение регрессии в натуральных переменных получается заменой кодированных переменных в уравнении (1) их натуральными аналогами в соответствии с таблицей 1 по формулам:

$$X_1 = (E_n - 5) / 4; \quad (2)$$

$$X_2 = (t_{\text{обп}} - 60) / 30, \quad (3)$$

где E_n – удельная мощность источника ультрафиолетового облучения, Вт/м²; $t_{\text{обп}}$ – продолжительность облучения, с.

Список литературы

1. Hafla A.N., Soder K.J., Brito A.F., Rubano M.D., Dell C.J. Effect of sprouted barley grain supplementation of an herbage-based or haylage-based diet on ruminal fermentation and methane output in continuous culture. *Journal of Dairy Science*. 2014;97(1):7856-7869. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8518>
2. Yeon-Ji Kim, Su Hyeon Hwang, Yaoyao Jia, Woo-Duck Seo, Sung-Joon Lee. Barley sprout extracts reduce hepatic lipid accumulation in ethanol-fed mice by activating hepatic AMP-activated protein kinase. *Food Research International*. 2017;101:209-217. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.068>
3. Страхов В.Ю., Вендин С.В., Саенко Ю.В. Результаты исследований по оценке влияния предпосевной УФ-обработки и режимов искусственного освещения при проращивании люпина на витаминный корм // *Агроинженерия*. 2021. № 3 (103). С. 36-42. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-3-36-42>
4. Вендин С.В., Саенко Ю.В. Проращивание семян ячменя на витаминный корм свиноматкам и поросётам-отъёмышам // *Кормопроизводство*. 2011. № 11. С. 42-43. EDN: OKGKLN.
5. Способ обеззараживания сыпучих продуктов и устройство для его осуществления: Патент RU2279806 С2, МПК А23В 9/06, А23Л 3/54 / В.П. Архипов, В.И. Базилов, А.С. Камруков, Н.П. Козлов, А.И. Крылов, С.Г. Шашковский, М.С. Яловик; заявл. 27.05.2004; опубл. 20.07.2006, Бюл. № 20. EDN: PQJPVN.
6. Способ предпосевной обработки семян пшеницы: Патент RU2318305 С1, МПК А01С 1/00 / В.А. Савельев, О.А. Курочкина; № 2006116002/13; заявл. 10.05.2006; опубл. 10.03.2008, Бюл. № 7. EDN: SYOIQI.
7. Устройство предпосевной обработки семян: Патент RU142430 U1, МПК А01С 1/00 / Е.А. Васенев, В.Ю. Романов, Д.А. Корепанов, А.В. Бывальцев; № 2013148152/13; заявл. 29.10.2013; опубл. 27.06.2014, Бюл. № 7. EDN: АЕОНВЗ.
8. Способ предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур: Патент RU2537919 С2, МПК А01С 1/00 / В.А. Федотов, И.В. Алтухов, В.Д. Очиров; № 2013100424/13; заявл. 09.01.2013; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 22. EDN: МСОАОФ.
9. Устройство для предпосевной обработки семян: Патент RU54714 U1, МПК А01С1/00 / И.Р. Владыкин, Н.П. Кондратьева; № 2006105078/22; заявл. 17.02.2006; опубл. 27.07.2006. EDN: WYXBUM.

Выводы

При проращивании семян сои на витаминный корм животным рекомендован режим предпосевной УФ-обработки семян с удельной мощностью 9 Вт/м² с экспозицией УФ-облучения от 30 до 90 с, при котором длина ростков в течение 5 суток после начала проращивания составила 120 мм (в контрольных образцах – 109 мм). Можно предположить, что повышение эффективности проращивания семян сои обусловлено суммарным эффектом УФ-обеззараживания и предпосевной стимуляции роста.

Для оценки вклада обеззараживания или предпосевной стимуляции необходимо проведение дополнительных исследований, учитывающих обеззараживающее (угнетающее) воздействие на патогенную микрофлору (плесень и грибки).

References

1. Hafla A.N., Soder K.J., Brito A.F., Rubano M.D., Dell C.J. Effect of sprouted barley grain supplementation of an herbage-based or haylage-based diet on ruminal fermentation and methane output in continuous culture. *Journal of Dairy Science*. 2014;97(1):7856-7869. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8518>
2. Yeon-Ji Kim, Su Hyeon Hwang, Yaoyao Jia, Woo-Duck Seo, Sung-Joon Lee. Barley sprout extracts reduce hepatic lipid accumulation in ethanol-fed mice by activating hepatic AMP-activated protein kinase. *Food Research International*. 2017;101:209-217. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.068>
3. Strakhov V.Yu., Vendin S.V., Saenko Yu.V. Results of studies to assess the effect of pre-sowing UV treatment and artificial lighting modes during the germination of lupine grown for vitamin feed. *Agricultural Engineering*. 2021;3:36-42. (In Rus.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-3-36-42>
4. Vendin S.V., Saenko Yu.V. Germination of barley seeds grown for vitamin feed for sows and wean pigs. *Fodder Production*. 2011;11:42-43. (In Rus.).
5. Arkhipov V.P., Bazikov V.I., Kamrukov A.S., Kozlov N.P., Krylov A.I., Shashkovskiy S.G., Yalovik M.S. Method of disinfection of bulk products and the device for its implementation: Patent No.2279806 Russian Federation, IPC A23V9/06 (2006.01), A23L3/54 (2006.01). 2005. (In Rus.).
6. Savelyev V.A., Kurochkina O.A. Method of pre-sowing treatment of wheat seeds: Patent No.2318305 Russian Federation, IPC A01S1/00 (2006.01). 2008. (In Rus.).
7. Vasenev E.A., Romanov V.Yu., Korepanov D.A. Device of pre-sowing seed treatment: patent No.142430 Russian Federation, IPC A01S1/00 (2006.01). 2014. (In Rus.).
8. Fedotov V.A., Altukhov I.V., Ocherov V.D. Method of pre-sowing treatment of seeds of agricultural crops: Patent No.2537919 Russian Federation, IPC A01S1/00 (2006.01) / 2015. (In Rus.).
9. Vladyskin I.R., Kondratyeva N.P. Device for pre-sowing seed treatment: Patent No.54714 Russian Federation, IPC A01C1/00 (2006.01). 2006. (In Rus.).
10. Bokhan N.I., Drobyshev G.Yu., Tsvirko L.Yu., Drobyshev Yu.V. Device for mixing and processing the product with ultraviolet rays: Patent No.1558318 Russian Federation, IPC A01S1/00 (2000.01), B65G 47/22 (2000.01). 1990. (In Rus.).

10. Устройство для перемещения и обработки продукта ультрафиолетовыми лучами: а.с. SU1558318 A1, МПК A01C 1/00, B65G 47/22 / Н.И. Бохан, Г.Ю. Дробышев, Л.Ю. Цвирко, Ю.В. Дробышев; № 4377770; заявл. 16.02.1988; опубл. 23.04.1990. EDN: BFCRYO.

11. Устройство для ультрафиолетовой обработки семян: Патент RU206252 U1, МПК U1, A01C1/00 / С.В. Вендин, В.Ю. Страхов, С.В. Килин, С.В. Соловьев, А.О. Яковлев; № 2021116372; заявл. 04.06.2021; опубл. 02.09.2021, Бюл. № 25. EDN: DHSVSO.

12. Kowalski W.J. UVGI Disinfection Theory. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01999-9_2

13. Вендин С.В., Саенко Ю.В., Страхов В.Ю. Результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности применения УФ облучения, СВЧ обработки и искусственного освещения при проращивании зерна пшеницы и ячменя на витаминный корм // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 2 (46). С. 42-50. EDN: FDTBKS.

14. Сафаралихонов А.Б., Акназаров О.А. Влияние предпосевного УФ-облучения семян пшеницы на её рост, продуктивность и активность эндогенных регуляторов роста растений // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2011. Т. 54, № 8. С. 666-672. EDN: ONBZNN.

15. Вендин С.В., Саенко Ю.В., Широков М.С., Страхов В.Ю. Влияние продолжительности освещения на скорость проращивания и химический состав зерна сои и люпина // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2021. Т. 68, № 1 (42). С. 93-98. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2021-68-1-93-98>

16. Юдаев И.В., Чарова Д.И., Феклистов А.С., Воронников И.Н., Габриелян Ш.Ж. Выращивание листового салата в светодиодной облучательной камере // Сельский механизатор. 2017. № 1. С. 20-21. EDN: XXMOZR.

17. Кондратьева Н.П., Краснолуцкая М.Г. Ильясов И.Р. и др. Результаты опытов по влиянию УФ облучения на семена, из которых выращивается зеленый корм на гидропонике // Агротехника и энергообеспечение. 2016. № 4-2 (13). С. 6-14. EDN: YHSQAJ.

11. Vendin S.V., Strahov V.Yu., Kilin S.V., Solovyev S.V., Yakovlev A.O. Device for UV seed treatment: Patent No.206252 Russian Federation, IPC U1, A01C1/00 (2021.05).2021. (In Rus.).

12. Kowalski W.J. UVGI Disinfection Theory. In: Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01999-9_2

13. Vendin S.V., Saenko Yu.V., Strahov V.Yu. Results of experimental studies to assess the effectiveness of the application UV irradiation, microwave processing and artificial lighting during germination of wheat and barley grains for vitamin feed. *Bulletin of Agrarian Science of the Don*. 2019;2:42-50. (In Rus.).

14. Safaralikhonov A.B., Aknazarov O.A. Effect of pre-sowing UV irradiation of wheat seeds on its growth, productivity and activity of endogenous plant growth regulators. *Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. Plant Physiology*. 2011;54(8):666-672. (In Rus.).

15. Vendin S.V., Saenko Yu.V., Shirokov M.S., Strahov V.Yu. Effect of the duration of illumination on the germination rate and chemical composition of soybean and lupine grains. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2021;68(1):93-98. (In Rus.) <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2021-68-1-93-98>

16. Yudaev I.V. Growing lettuce in a led irradiation chamber. *Selskiy Mekhanizator*. 2017;1:20-21. (In Rus.).

17. Kondratyeva N.P., Krasnolutskaia M.G. Ilyasov, I.R. Results of experiments on the effect of UV radiation on seeds grown hydroponically for green feed. *Agrotekhnika i Energoobespechenie*. 2016;4-2:6-14. (In Rus.).

Информация об авторах

Владимир Юрьевич Страхов¹, преподаватель; strakhov.94@list.ru

Сергей Владимирович Вендин², д-р техн. наук, профессор; <https://orcid.org/0000-0002-0482-6657>; elapk@mail.ru

Юрий Васильевич Саенко³, д-р техн. наук, профессор; yuriy311300@mail.ru

^{1,2,3} Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина; 308503, Россия, Белгородская обл., Белгородский район, п. Майский, ул. Вавилова, 1

Вклад авторов

В.Ю. Страхов – проведение исследования, визуализация, описание результатов и формирование выводов исследования. С.В. Вендин – формулирование основной концепции исследования.

Ю.В. Саенко – разработка методологии исследования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 04.04.2023; поступила после рецензирования и доработки 13.09.2023; принята к публикации 27.09.2023

Information about the authors

Vladimir Yu. Strakhov¹, Lecturer; strakhov.94@list.ru

Sergey V. Vendin², DSc (Eng), Professor; <https://orcid.org/0000-0002-0482-6657>; elapk@mail.ru

Yuriy V. Saenko³, DSc (Eng), Professor; yuriy311300@mail.ru

^{1,2,3} Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin; 308503, Russia, Belgorod region, Belgorodsky district, Mayskiy, Vavilova Str., 1

Contribution

V.Yu. Strakhov – conducting research, visualization, writing – original draft preparation (results and discussion, conclusion).

S.V. Vendin – conceptualization.

Yu.V. Saenko – methodology.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper are equally responsible for plagiarism.

Received 04.04.2023; revised 13.09.2023; accepted 27.09.2023