

**Критерии авторства**

Авакимянц Е.В., Гордеев В.В. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Авакимянц Е.В., Гордеев В.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 29.01.2021

Одобрена после рецензирования 30.03.2021

Принята к публикации 05.04.2021

**Contribution**

E.V. Avakimyants, V.V. Gordeev performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. E.V. Avakimyants, V.V. Gordeev have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

**Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 29.01.2021

Approved after reviewing 30.03.2021

Accepted for publication 05.04.2021

**ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ**

УДК 631.363:636.086.5

DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-36-42

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ УФ-ОБРАБОТКИ И РЕЖИМОВ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРИ ПРОРАЩИВАНИИ ЛЮПИНА НА ВИТАМИННЫЙ КОРМ**

**СТРАХОВ ВЛАДИМИР ЮРЬЕВИЧ** ✉

strakhov.94@list.ru ✉

**ВЕНДИН СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**, д-р техн. наук, профессор

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

**САЕНКО ЮРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ**, д-р техн. наук, доцент

yuriy311300@mail.ru

Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина; 308503, Российская Федерация, Белгородская обл., Белгородский район, п. Майский, ул. Вавилова, 1

**Аннотация.** Одним из направлений повышения питательной ценности кормов является использование биологически активной добавки на основе пророщенного зерна. Достоверно установлено положительное использование пророщенного зерна пшеницы и ячменя. В то же время возможности использования пророщенного зерна люпина рассматриваются значительно реже. Описана методика и представлены результаты экспериментальных исследований по оценке влияния предпосевной УФ-обработки и режимов искусственного освещения при проращивании люпина на витаминный корм. В качестве варьируемых факторов выбиралось время УФ-обработки с целью обеззараживания перед проращиванием и время освещения зерна фитолампой при проращивании, а в качестве функции отклика была выбрана длина ростков. Диапазон освещения семян составил от 4 до 10 ч, время облучения УФ – от 60 до 300 с. Период проращивания составил 5 суток. В качестве контроля выступали образцы, освещаемые естественным светом. По экспериментальным данным, получено регрессионное уравнение, описывающее влияние УФ-обеззараживания и времени освещения во время роста на длину ростков, а также построены графические зависимости изменения функции отклика в интервалах варьирования воздействующих факторов. Экспериментальными данными установлено, что увеличение времени УФ-обеззараживания семян положительно сказывается на длине ростков. Выявлено, что на пятые сутки проращивания наибольшая длина ростков (25 мм при 11 мм в контрольных образцах) получена при предварительном УФ-обеззараживании прорастающих семян в течение 300 с и 4-часовом искусственном освещении фитолампой. Экспериментально подтверждена целесообразность применения данной методики при проращивании семян люпина на витаминный корм животным.

**Ключевые слова:** пророщенное зерно, люпин, витаминный корм, УФ-обеззараживание, искусственное освещение, доза, длина ростков.

**Формат цитирования:** 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. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-36-42.

© Страхов В.Ю., Вендин С.В., Саенко Ю.В., 2021



## ORIGINAL PAPER

# RESULTS OF RESEARCH TO ASSESS THE EFFECT OF PRE-SOWING UV TREATMENT AND ARTIFICIAL LIGHTING MODES DURING LUPINE GERMINATION ON VITAMIN FEED

VLADIMIR YU. STRAKHOV ✉

strakhov.94@list.ru ✉

SERGEY V. VENDIN, DSc (Eng), Professor

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

YURIY V. SAENKO, DSc (Eng), Associate Professor

yuriy311300@mail.ru

Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin; 308503, Russia, Belgorod region, Belgorod district, Mayskiy, Vavilova Str., 1

**Abstract.** One of the ways to increase the nutritional value of feed is the use of a biologically active additive based on sprouted grain. The positive use of sprouted grain of wheat and barley has been reliably established. At the same time, the possibilities of using sprouted grain of lupine are considered much less frequently. The authors have described technique and presented the results of experimental studies on assessing the effect of pre-sowing UV treatment and artificial illumination modes during lupine germination on vitamin feed. The time of UV treatment aimed at disinfection before germination and the time of grain illumination with a phytolamp during germination were chosen as the variable factors, and the length of the shoots was chosen as the response function. The range of seed illumination was from 4 to 10 h, and the UV irradiation time was from 60 to 300 s. The germination period was 5 days. Samples exposed to natural light served as control. According to the experimental data, a regression equation was obtained that describes the effect of UV disinfection and illumination time during growth on the length of the shoots, and graphical dependences of the change in the response function in the intervals of variation of the influencing factors were constructed. Experimental data have shown that an increase in the time of UV disinfection of seeds has a positive effect on the length of the shoots. It was revealed that on the fifth day of germination, the maximum length of shoots (25 mm at 11 mm in control samples) was obtained with preliminary UV disinfection of germinating seeds for 300 s and 4-hour artificial illumination with a phytolamp. The expediency of using this technique when germinating lupine seeds for vitamin feed for animals has been experimentally confirmed.

**Key words:** sprouted grain, lupine, vitamin feed, UV disinfection, artificial lighting, dose, sprout length.

**For citation:** Strakhov V.Yu., Vendin S.V., Saenko Yu.V. Results of research to assess the effect of pre-sowing UV treatment and artificial lighting modes during lupine germination on vitamin feed. *Agricultural Engineering*, 2021; 3 (103): 36-42. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-36-42.

**Введение.** Одной из проблем развития животноводства на территории нашей страны является обеспечение животных полноценными кормами [1]. При соблюдении условий содержания животных сбалансированный корм позволяет достичь высоких показателей в приросте живой массы животных на откорме.

Повысить питательность кормов можно за счет использования биологически активной добавки на основе пророщенного зерна. Добавление пророщенного зерна в корм способствует наиболее полной реализации генотипа, продлению хозяйственного использования животных, рождению здорового приплода, увеличению продуктивности и сохранению здоровья [2-4]. При этом отмечается повышение поедаемости кормов. В научной литературе достаточно освещено положительное использование пророщенного зерна пшеницы и ячменя [5]. В то же время возможности использования пророщенного зерна сои и люпина рассматриваются значительно реже.

**Цель исследований:** определение влияния дозы УФ-облучения и продолжительности искусственного освещения на эффективность проращивания люпина.

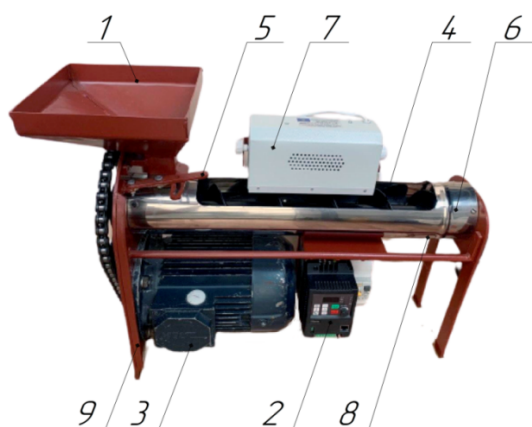
**Материалы и методы.** Экспериментальные исследования проводили с целью оценки влияния продолжительности

освещения и УФ-обеззараживания на скорость проращивания, а также на энергоёмкость проращивания зерна. В качестве объекта исследований были использованы зерна люпина.

Экспериментальные исследования по определению влияния режимов УФ-обработки на длину ростков проводили с использованием устройства для ультрафиолетовой обработки семян (рис. 1). Техническое решение в виде вращающегося шнека 4 обеспечивает постоянное изменение ориентации семян по отношению к УФ-лампе 7. Обработанные семена перемещают к отсеку выгрузки 8. Вся конструкция смонтирована на раме 9 [6].

Предложенное устройство позволяет механизировать и автоматизировать процесс обеззараживания семян различных сельскохозяйственных культур, а также провести стимуляцию ростковых процессов в семенах перед проращиванием.

Длительность прохождения семенами зоны облучения подобрана таким образом, чтобы обрабатываемый материал получил необходимую дозу УФ-облучения. Таким образом, поверхность семян обеззараживается от плесени и грибов, семена выходят из состояния биологического сна.



**Рис. 1. Устройство для ультрафиолетовой обработки семян перед проращиванием:**

- 1 – бункер; 2 – пульт управления; 3 – электродвигатель;
- 4 – шнек; 5 – регулятор положения заслонки;
- 6 – кожух с отражающим покрытием; 7 – УФ-лампа;
- 8 – отсек выгрузки; 9 – рама

**Fig. 1. Device for UV treatment of seeds before germination:**

- 1 – hopper; 2 – control panel; 3 – electric motor;
- 4 – screw; 5 – position regulator valve; 6 – casing with a reflective coating;
- 7 – UV lamp; 8 – discharge compartment; 9 – frame

В качестве варьируемых факторов приняты время УФ-обработки с целью обеззараживания перед

проращиванием и время освещения зерна фитолампой. На производстве специалистов интересует зеленая масса ростков пророщенного зерна, содержащая макро-, микроэлементы и витамины. Поэтому в качестве критерия оптимизации принимали длину ростков на пятые сутки проращивания. В таблице 1 представлены уровни варьирования факторов.

**Методика.** Последовательность эксперимента:

1. Согласно плану эксперимента проводится обеззараживание образцов семян люпина УФ-лампой спектра «С» мощностью 7 Вт в течение 60 и 300 с.

2. Замачивание образцов в воде и постановка на проращивание. Проращивание осуществляется в течение 5 суток. В течение каждого суток семена увлажняются в режиме: 3 ч в воде – 3 ч без воды.

3. В течение каждого суток образцы семян, находящиеся на проращивании, подвергаются искусственному освещению под фитолампой Camelion LED10-PL/BIO/27 (мощность – 10 Вт; спектр облучения: синий – 23%, красный – 77%; высота подвеса светильника – 0,3 м). Согласно плану эксперимента искусственное освещение различных образцов проводится в течение 4, 6, 8, 10 ч. Освещение проводится в начале каждого суток, в остальное время суток лампу выключают, и семена проращиваются в темноте.

4. Один раз по окончании каждого суток проращивания проводится измерение длины ростков.

Таблица 1

**Уровни варьирования факторов**

Table 1

**Levels of factor variation**

Фактор <i>Factor</i>	Уровни варьирования факторов <i>Levels of factor variation</i>		Интервал варьирования <i>Range of variation</i>
	-1	+1	
Время освещения семян, $T_{\text{СВЕТ}}$ ч <i>Seed lighting time, <math>T_{\text{SVET}}</math> hours</i>	4	10	6
Время облучения УФ, $T_{\text{ОБЛУЧ}}$ с <i>The time of exposure to UV, <math>T_{\text{OBLUCH}}</math>, sec.</i>	60	300	240

Измерение длины ростков во время проращивания проводилось с помощью лабораторной линейки ГОСТ 427-75.

По результатам ежедневных измерений были определены средние значения длины ростков зерна люпина [7, 8].

**Результаты исследований.** В соответствии с основной целью проводимых исследований необходимо было выявить влияние воздействующих факторов на динамику и абсолютное значение длины ростков культуры при проращивании.

В таблице 2 и на рисунке 2 представлены результаты проведения эксперимента с зернами люпина при предварительном УФ-облучения в течение 60 с.

По графику зависимости длины ростков люпина от времени освещения (рис. 2) можно отметить, что в начальный период нет явно выраженной тенденции влияния времени освещения на длину ростков. Так, на первые и вторые сутки после закладки лучше проявилась

10-часовая экспозиция. На четвертые сутки наблюдаются опережающие темпы роста при 4-часовом освещении и отставание в росте у образцов с 10-часовым освещением. На пятые сутки максимальная длина ростков наблюдается у образцов при 8-часовом освещении. Наибольшей средняя скорость прироста (3,6 мм/сут.) была при 8-часовом освещении. Но по энергозатратам вариант с 4-часовым освещением является наилучшим: удельная доза освещения составляла 9,00 кДж/мм.

В то же время дополнительный анализ сравнения вариантов при искусственном освещении на уровне  $НСР_{0,05}$  позволяет сделать вывод о различии средней скорости роста вариантов при 4-часовом и 8-часовом освещении, однако различие средней скорости роста между другими вариантами однозначно утверждать нельзя.

В таблице 3 и на рисунке 3 представлены результаты проведения эксперимента с зернами люпина при предварительном УФ-облучения 300 с.

Таблица 2

Результаты проведения эксперимента с зернами люпина при экспозиции УФ-облучения 60 с

Table 2

## Results of the experiment with lupine grains at a UV exposure of 60 seconds

№	Время освещения зерна, ч Grain lighting time, hours	Длина ростков зерна (l, мм) на 1-5-е сутки от начала прорастания Length of grain sprouts (l mm) on the 1 <sup>st</sup> -5 <sup>th</sup> day from the beginning of grain germination					Удельная доза освещения, кДж/мм Specific dose of illumination, KJ/mm	Скорость роста, мм/сут., Θ Growth rate, mm/day, Θ	НСР <sub>0,05</sub> *
		1	2	3	4	5			
1	4	1,5	2,0	7,0	15,0	16,0	9,00	3,2	0,95
2	6	2,0	4,0	9,0	14,0	17,0	12,71	3,4	1,17
3	8	2,0	4,0	9,0	14,0	18,0	16,00	3,6	1,17
4	10	3,0	5,0	10,0	13,0	17,0	21,18	3,4	0,78
Контрольный образец Control sample	12 (естественный свет) (natural light)	1,5	3,0	5,0	9,0	11,0	-	2,2	-

\* На уровне НСР<sub>0,05</sub> можно утверждать влияние продолжительности искусственного освещения на скорость роста по сравнению с контролем.

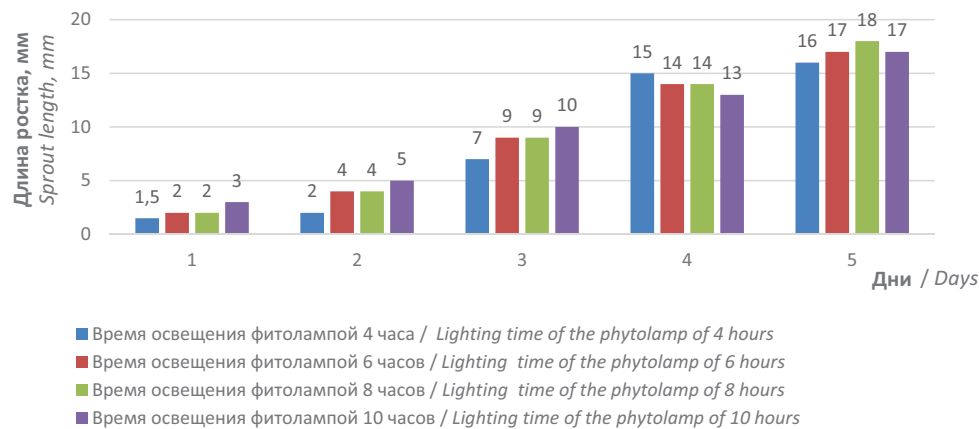


Рис. 2. Зависимость длины ростков люпина от времени освещения. Время обеззараживания составило 60 с

Fig. 2. Relationship between the length of lupine sprouts and the time of illumination. The decontamination time was 60 seconds

Таблица 3

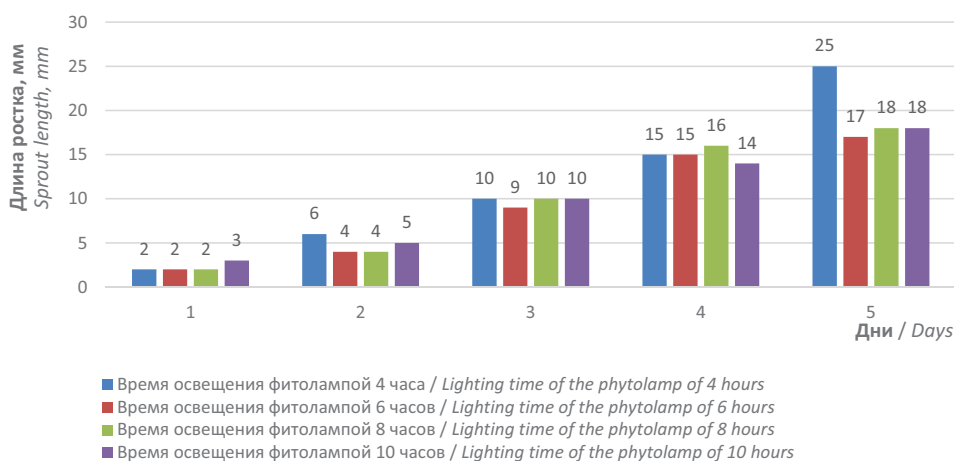
Результаты проведения эксперимента с зернами люпина при экспозиции УФ-облучения 300 с

Table 3

## Results of the experiment with lupine grains at a UV exposure of 300 seconds

№	Время освещения зерна, ч Grain lighting time, hours	Длина ростков зерна (l, мм) на 1-5-е сутки от начала прорастания Length of grain sprouts (l mm) on the 1 <sup>st</sup> -5 <sup>th</sup> day from the beginning of grain germination					Удельная доза освещения, кДж/мм Specific dose of illumination, KJ/mm	Скорость роста, мм/сут., Θ Growth rate, mm/day, Θ	НСР <sub>0,05</sub> *
		1	2	3	4	5			
1	4	2,0	6,0	10,0	15,0	25,0	5,76	5,0	2,50
2	6	2,0	4,0	9,0	15,0	17,0	12,71	3,4	1,15
3	8	2,0	4,0	10,0	16,0	18,0	16,00	3,6	1,15
4	10	3,0	5,0	10,0	14,0	18,0	20,00	3,6	0,78
Контрольный образец Control sample	12 (естественный свет) (natural light)	1,5	3,0	5,0	9,0	11,0	-	2,2	-

\* На уровне НСР<sub>0,05</sub> можно утверждать влияние продолжительности искусственного освещения на скорость роста по сравнению с контролем.



**Рис. 3. Зависимость длины ростков люпина от времени освещения. Время обеззараживания составило 300 с**  
**Fig. 3. Relationship between the length of lupine sprouts and the time of illumination. The decontamination time was 300 seconds**

При предварительном УФ-обеззараживании 300 с наибольшая скорость роста (5 мм/сут.) наблюдается при 4-часовом освещении; наименьшая скорость роста (3,4 мм/сут.) – при 6-часовом освещении. Минимальная удельная доза освещения при 4-часовом освещении составляет 5,76 кДж/мм.

Дополнительный анализ сравнения вариантов при искусственном освещении на уровне НСР<sub>0,05</sub> позволяет сделать вывод о различии средней скорости роста вариантов при 4- и 6-часовом, однако различие средней скорости роста между другими вариантами однозначно утверждать нельзя.

Исследования проводились в соответствии с ортогональным планом первого порядка полного 2-факторного эксперимента (табл. 1) в 4-кратной повторности в каждой из четырех точек плана эксперимента. Воспроизводимость опытов оценивалась с использованием критерия Кохрена при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и числе степеней свободы  $f_2 = 12$ . Расчетное значение критерия Кохрена  $G_{расч}$  не превышало допустимых значений  $G_{0,05}(3,4)$  ( $0,01 \leq 0,68$ ).

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

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{12}X_1X_2, \quad (1)$$

где  $X_1$  – время освещения зерна, о.е ( $-1 \leq X_1 \leq +1$ );  $X_2$  – время облучения УФ для обеззараживания, о.е ( $-1 \leq X_2 \leq +1$ );  $B_0 = 19,00$ ;  $B_1 = -1,50$ ;  $B_2 = 2,50$ ;  $B_{12} = -2,50$ .

Значимость коэффициентов проверялась по критерию Стьюдента ( $t_{кр}$ ) при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и числе степеней свободы  $f_2 = 12$ . Все коэффициенты уравнения (1) являются значимыми, следовательно, факторы достаточно коррелированы между собой. Адекватность модели оценивалась по критерию Фишера при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ . Расчетное значение критерия Фишера  $F_{расч}$  не превышало допустимых значений  $F_{0,05}(1,12)$  ( $0,12 \leq 4,75$ ).

Расчетное уравнение регрессии в натуральных переменных получается заменой кодированных переменных

в уравнении 1 их натуральными аналогами в соответствии с таблицей 1 по формулам:

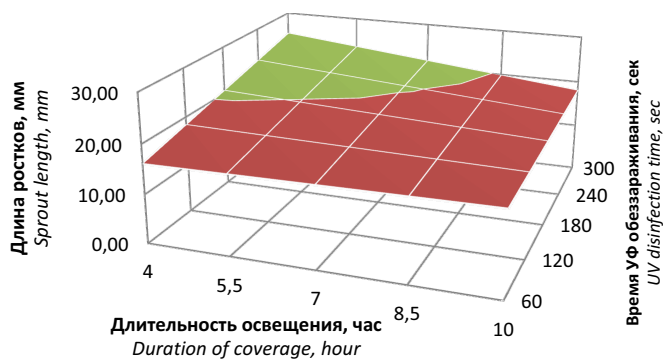
$$X_1 = (T_{СВЕТ} - 7)/3; X_2 = (T_{ОБЛУЧ} - 180)/120, \quad (2)$$

где  $T_{СВЕТ}$  – время освещения зерна, ч ( $4 \leq T_{СВЕТ} \leq 10$ );  $T_{ОБЛУЧ}$  – время облучения УФ для обеззараживания, с ( $60 \leq T_{ОБЛУЧ} \leq 300$ ).

Одну из форм расчетного уравнения регрессии в натуральных переменных можно представить следующим образом:

$$Y = B_0 + B_1(T_{СВЕТ} - 7)/3 + B_2(T_{ОБЛУЧ} - 180)/120 + B_{12}(T_{СВЕТ} - 7)(T_{СВЕТ} - 7)/360. \quad (3)$$

На рисунке 4 приведена расчетная поверхность зависимости длины ростков от влияющих факторов. Зеленым цветом выделена область, где длина ростков превышает 20 мм.



**Рис. 4. Зависимость длины ростков люпина от времени УФ-обеззараживания и длительности освещения**

**Fig. 4. Dependence of the length of lupine sprouts on the time of UV disinfection and the duration of illumination**

Согласно поверхности (рис. 4) можно заключить, что увеличение времени УФ-обеззараживания семян положительно сказывается на длине ростков. В то же время увеличение светового дня (досвечивание) приводит к уменьшению длины ростков с увеличением времени

предварительной УФ-обработки. Этот факт может привести к заключению о том, что досвечивание не требуется – в темноте можно достичь большей длины ростков. Такой вывод является односторонним, так как конечной целью технологии является получение витаминной кормовой добавки, и для получения витаминов необходимо освещение растений в период их роста. Освещение при проращивании зерна позволяет запустить биологические процессы в семенах, приводящие к изменению химического состава, активизации ферментов, преобразованию сложных соединений в более простые и легко усваиваемые формы для животных [9-11].

### Библиографический список

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). Белгород: Издательство БелГСХА, 2009. 68 с.
2. Hafła A.N., Soder K.J., Brito A.F. et al. 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 (12): 7856-7869. URL: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8518>.
3. Kim Y.J., Hwang S.H., Jia Y. et al. Barley sprout extracts reduce hepatic lipid accumulation in ethanol-fed mice by activating hepatic AMP-activated protein kinase. *Food Research International* (Ottawa, Ont.). 2017 Nov; 101: 209-217. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.08.068.
4. Пономарев А.Ф. Свиноводство и технология производства свинины: Учебник. Белгород: Крестьянское дело, 2001. 492 с.
5. Вендин С.В., Саенко Ю.В. Проращивание семян ячменя на витаминный корм свиноматкам и поросятам-отъемышам // *Кормопроизводство*. 2011. № 11. С. 42-44.
6. Устройство для ультрафиолетовой обработки зерна перед проращиванием: пат. РФ № 2728184 / С.В. Вендин, Ю.В. Саенко, Г.С. Походня и др.; заявл. 2019.10.09; опубл. 2020.07.28.
7. 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. Физиология растений*. 2011. Т. 54. № 8. С. 666-671.
8. Рогожин Ю.В., Рогожин В.В. Технология предпосевного УФ-облучения зерна пшеницы // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2013. № 6. С. 9-14
9. Юдаев И.В. Выращивание листового салата в светодиодной облучательной камере // *Сельский механизатор* 2017. № 1. С. 20-21.
10. 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.
11. Кондратьева Н.П., Краснолуцкая М.Г., Ильясов И.Р. 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.

### Выводы

Экспериментально установлено, на пятые сутки проращивания наибольшая длина ростков (25 мм при 11 мм в контрольных образцах) получена при предварительном УФ-обеззараживании прорастающих семян люпина в течение 300 с и 4-часовом искусственном освещении фитолампой.

Таким образом, подтверждена целесообразность применения данной методики при проращивании семян люпина на витаминный корм животным.

### References

1. Pohodnya G.S. Svinovodstvo i tekhnologiya proizvodstva svininy [Pig breeding and pork production technology]: Sbornik trudov nauchnoy shkoly professora G.S. Pokhodni (Spetsial'niy vypusk No. 2: Ispol'zovanie prorashchennogo zerna v ratsionakh sviney). Ed. by G.S. Pokhodnya. Belgorod, izdatel'stvo BelGSKHA, 2009: 68. (In Rus.)
2. Hafła A.N., Soder K.J., Brito A.F. et al. 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 (12): 7856-7869. URL: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8518>.
3. Kim Y.J., Hwang S.H., Jia Y. et al. Barley sprout extracts reduce hepatic lipid accumulation in ethanol-fed mice by activating hepatic AMP-activated protein kinase. *Food Research International* (Ottawa, Ont.). 2017 Nov; 101: 209-217. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.08.068.
4. Ponomarev A.F. Svinovodstvo i tekhnologiya proizvodstva svininy: uchebnik [Pig breeding and pork production technology: Study manual]. Belgorod, Izd-vo "Krest'yanskoe delo", 2001: 492. (In Rus.)
5. Vendin S.V., Saenko Yu.V. Prorashchivanie semyan yachmenya na vitaminniy korm svinomatkam i porosyatam-ot'emysyam [Germination of barley seeds for vitamin feed for sows and wean pigs]. *Kormoproizvodstvo*, 2011; 11: 42-44 (In Rus.)
6. Vendin S.V., Saenko Yu.V., Pohodnya G.S. et al. Ustroystvo dlya ul'trafiol'etovoy obrabotki zerna pered prorashchivaniem [Device for UV treatment of grain prior to sprouting]: pat. RF No 2728184, 2020. (In Rus.)
7. Safaralikhonov A.B., Aknazarov O.A. Vliyanie predposavnogo UF-oblucheniya semyan pshenitsy na eyo rost, produktivnost' i aktivnost' endogennykh regulyatorov rosta rasteniy [Effect of pre-sowing UV irradiation of wheat seeds on its growth, productivity and activity of endogenous plant growth regulators]. *Doklady akademii nauk respublikhi Tadzhikistan. Fiziologiya rasteniy*, 2011; 54(8): 666-671. (In Rus.)
8. Rogozhin Yu.V., Rogozhin V.V. Tekhnologiya predposavnogo UF-oblucheniya zerna pshenitsy [Technology of pre-sowing UV irradiation of wheat grain]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013; 6: 9-14. (In Rus.)
9. Yudaev I.V. Vyrashchivanie listovogo salata v svetodiodnoy obluchatel'noy kamere [Growing lettuce in an led irradiation chamber]. *Sel'skiy mekhanizator*, 2017; 1: 20-21 (In Rus.)
10. Vendin S.V., Saenko Yu.V., Strakhov V.Yu. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy po otsenke effektivnosti primeneniya UF oblucheniya, SVCH obrabotki i iskusstvennogo osveshcheniya pri prorashchivani zerna pshenitsy

i yachmenya na vitaminiy korm [Results of experimental studies to evaluate the effectiveness of UV irradiation, microwave treatment and artificial lighting in the germination of wheat and barley grains for vitamin feed]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*, 2019; 2: 42-50 (In Rus.)

11. Kondrat'eva N.P., Krasnolutsкая M.G. Il'yasov, I.R. Rezul'taty opytov po vliyaniyu UF oblucheniya na semena, iz kotorykh vyrashchivaetsya zeleniy korm na gidroponike [Results of experiments on the effect of UV radiation on seeds, from which green food is hydroponically grown]. *Agrotekhnika i energoobespechenie*, 2016; 4-2 (13): 6-14. (In Rus.)

#### Критерии авторства

Страхов В.Ю., Вендин С.В., Саенко Ю.В. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент и подготовили рукопись. Страхов В.Ю., Вендин С.В., Саенко Ю.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 26.02.2021

Одобрена после рецензирования 28.04.2021

Принята к публикации 29.04.2021

#### Contribution

V.Yu. Strakhov, S.V. Vendin, Yu.V. Saenko performed theoretical studies, and based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. V.Yu. Strakhov, S.V. Vendin, Yu.V. Saenko have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

#### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 26.02.2021

Approved after reviewing 28.04.2021

Accepted for publication 29.04.2021

#### ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 539.3

DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-42-48

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ОРГАНА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ

**ЗАГОРУЙКО МИХАИЛ ГЕННАДЬЕВИЧ**, канд. техн. наук, доцент<sup>1</sup>

zagoru-jko.misha2013@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7826-3773>

**ВАСИЛЬЧИКОВ ВАЛЕНТИН ВЛАДИМИРОВИЧ**, канд. техн. наук, доцент<sup>2</sup>

vasilchikovvv@sgau.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1521-3071>

**КАТАЕВ ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**<sup>✉</sup>, канд. техн. наук, доцент<sup>1</sup>

ykataev@rgau-msha.ru<sup>✉</sup>; <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>

**МАМАХАЙ АНЖЕЛА КАНВЕКОВНА**<sup>3</sup>

mamakhaeva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8582-108>

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

<sup>2</sup> Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова; 410012, Российская Федерация, г. Саратов, Театральная пл., 1

<sup>3</sup> Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

**Аннотация.** Основным условием приготовления кормов является обеспечение высокого качества готового продукта. При этом необходимо повышать эффективность работы и долговечность кормоизмельчителя путем оптимизации его конструктивных параметров с учётом физико-механических свойств перерабатываемого материала. Авторами исследован технологический принцип измельчения корнеклубнеплодов. Рассмотрен процесс работы промышленного кормоизмельчителя роторного типа при переработке свеклы и моркови. Применен метод планирования эксперимента. Прочностные характеристики элементов измельчителя проверялись в ходе проектировочного (подбор формы и угла заточки ножей) и проверочного расчётов на прочность (оценка прочностных характеристик ножей). Показано влияние основных геометрических параметров рабочего органа измельчителя: наклона ножа и угла заточки ножей – в приготовлении качественных кормов. Выявлено, что угол заточки ножей измельчителя следует рассчитывать