

УДК 633.63:631.55:664.12

Влияние лазерного облучения семян сахарной свёклы на продуктивность, технологическое качество и сохранность корнеплодов

О. А. Подвигина, Л. Н. Путилина, Н. А. Лазутина

Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара имени А.Л. Мазлумова

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:**Подвигина Ольга Анатольевна**

Адрес: 396030, Воронежская обл., п. ВНИИСС, д. 86

E-mail: tatyapanodwigina@yandex.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Подвигина, О. А., Путилина, Л. Н., & Лазутина, Н. А. (2022). Влияние лазерного облучения семян сахарной свёклы на продуктивность, технологическое качество и сохранность корнеплодов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 26–39. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.335>

ПОСТУПИЛА: 06.06.2022

ПРИНЯТА: 10.07.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

**АННОТАЦИЯ**

Введение. В современных интенсивных технологиях возделывания сахарной свёклы применяют только дражированные семена с комплексом пестицидов в дражировочной массе. Молодые проростки сахарной свёклы сильно подвержены воздействию патогенной микрофлоры и погодных условий. Поэтому в данный период развития растений важно защитить их от вредоносных факторов и ускорить рост и развитие. Альтернативным методом решения данных задач служит применение низкоинтенсивного когерентного излучения. Ранее проведённые исследования на многих сельскохозяйственных культурах подтверждают стимулирующий эффект лазерного воздействия на первоначальный рост и развитие растений. Однако дальнейшее влияние фотоактивации мало изучено. Относительно сахарной свёклы встречаются единичные исследования.

Цель. Комплексное изучение влияния предпосевного лазерного облучения семян на дальнейший рост растений, технологические показатели корнеплодов и его последствие на сохранность сахарной свёклы.

Материалы и методы. Исследование реализовывалось в отделе семеноводства и семеноведения сахарной свёклы и лаборатории хранения и переработки сырья ФГБНУ «ВНИИСС имени А.Л. Мазлумова» (Воронежская область) в 2019–2022 гг. В качестве материалов для исследований были взяты дражированные семена отечественного гибрида сахарной свёклы РМС 127. Источником низкоинтенсивного когерентного излучения (НКИ) служила установка ЛОС-25А с плотностью мощности 3,185 Вт/м². Экспозиции лазерной обработки составляли 5, 10 и 15 минут. Контролем служили семена без обработки лазером.

Результаты. На момент уборки в вариантах с НКИ отмечено увеличение средней массы корнеплода на 4,5–15,9 %, снижение средней массы ботвы с делянки на 3,2–7,5 %, повышение биологической урожайности корнеплодов на 9,6–42,0 %, определен более низкий показатель отношения массы ботвы к массе корнеплодов (0,157–0,193) в сравнении с контролем. Выявлено увеличение относительно контроля сахаристости в вариантах с применением лазерной обработки семян на 0,11–0,60 абс. %, доли сахарозы в массе сухого вещества корнеплодов на 1,54–2,78 абс. %, уменьшение количества всех несатуров, увеличение прогнозируемого выхода сахара на 0,28–0,87 абс. % и коэффициента извлечения сахарозы на 0,92–2,03 абс. %. После 65 суток хранения в вариантах с предпосевным облучением семян сахарной свёклы (относительно контроля) установлено снижение общих и среднесуточных потерь массы корнеплодов на 13,4–27,7 % и на 13,2–28,1 % соответственно.

Выводы. Полученные данные позволяют рекомендовать технологию, основанную на применении низкоинтенсивного когерентного излучения, для дражированных семян сахарной свёклы с целью сокращения периода достижения биологической и технологической спелости культуры, повышения продуктивности, технологического качества и лёжкоспособности корнеплодов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

семена сахарной свёклы, лазерная обработка, морфометрические показатели, продуктивность, технологическое качество, лёжкоспособность корнеплодов

Influence of Laser Radiation Treatment of Sugar Beet Seeds on Productivity, Technological Quality and Safety of Beet Roots

Olga A. Podvigina, Lyudmila N. Putilina, Nadezhda A. Lazutina

Federal State Budgetary Scientific Institution "The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar"

CORRESPONDENCE:

Olga A. Podvigina

86, VNIIS, Voronezh region, 396030
E-mail: tatyana.podvigina@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Podvigina, O. A., Putilina, L. L., & Lazutina, N. A. (2022). Influence of laser radiation treatment of sugar beet seeds on productivity, technological quality and safety of beet roots. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 26-39. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.335>

RECEIVED: 06.06.2022

ACCEPTED: 10.07.2022

PUBLISHED: 30.09.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. In modern intensive technologies of sugar beet cultivation, only pelleted seeds with a complex of pesticides in pelleting mass are used. Young sugar beet seedlings are greatly susceptible to pathogenic microflora and weather conditions. Therefore, in this development period of plants, it is important to protect them from harmful factors and to accelerate their growth and development. Low-intensive coherent radiation serves as an alternative method to solve these problems. Earlier conducted investigations of many agricultural crops confirm stimulating influence of laser on initial growth and development of plants. However, further effect photoactivation has been little studied. As for sugar beet, there are very little investigations.

Purpose. A complex study of pre-sowing seed laser radiation influence on further growth of plants, technological characteristics of beet roots and its after-effect on safety of sugar beet was the aim of the investigations.

Materials and Methods. Experiments were carried out by the department of sugar beet seed-growing and the laboratory of raw material storage and processing, Federal State Budgetary Scientific Institution "The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar", in 2019–2022. Pelleted seeds of RMS 127, a domestic sugar beet hybrid, were used as materials for the investigations. The LOS-25A plant with power density of 3.185 W served as a source of low-intensive coherent radiation (LCR). Laser treatment exposures were 5, 10 and 15 minutes. Seeds without treatment served as a control.

Results. In variants with LCR, average beet root mass increase by 4.5–15.9 %, average beet tops' mass decrease by 3.2–7.5 %, and beet root biological yield increase by 9.6–42.0 % were recorded at the moment of harvesting. The lower ratio of beet tops' mass to beet root mass (0.157–0.193) was determined, as compared to the control. In the variants using laser treatment of seeds, there was noted an increase by 0.11–0.60 absolute % for sugar content and by 1.54–2.78 absolute % for sucrose percent in beet roots, in comparison with the control. Also, reduction of all non-sugars' quantity was revealed. As a result, predicted sugar output and sucrose extraction coefficient increased by 0.28–0.87 absolute % and 0.92–2.03 absolute %, accordingly. After 65 days of storage, decrease in total and daily average losses of beet mass root by 13.4–27.7 % and 13.2–28.1 %, accordingly, was determined in the variants with pre-sowing laser radiation of sugar beet seeds (as compared to the control).

Conclusions. The obtained data allow recommending the technology based on use of low-intensive coherent radiation for sugar beet pelleted seeds with the purpose to reduce the crop biological and technological maturation period, and to improve beet root productivity, technological quality and storage ability.

KEYWORDS

sugar beet seeds, laser treatment, morphometric characteristics, productivity, technological quality, beet root storage ability

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях сельскохозяйственного производства первостепенной задачей является получение наибольшей продуктивности возделываемых культур с высоким качеством продукции. Однако решить эту задачу без активного применения агрохимикатов и пестицидов невозможно. Но сократить их количество можно посредством использования физических методов воздействия на семена и растения, в частности, лазерного излучения.

За последние 40–45 лет количество исследований по изучению лазерного воздействия на многие сельскохозяйственные культуры значительно возросло. Экспериментально установлено, что низкая доза лазерного излучения приводит к увеличению биоэнергетического потенциала, стимуляции биохимических процессов, что способствует активному росту вегетативной массы и физиологического метаболизма, увеличивает толерантность растений за счет улучшения скорости прорастания, высоты растений, развития корневой системы, активизации фотосинтеза и т.д. В результате этого повышается урожайность культур и качество получаемой продукции (Москвин, 2008; Козьмин и соавт., 2013). Многочисленные испытания в хозяйствах показали, что повышение урожайности сои, кукурузы составило от 3 до 7 ц/га, овощных культур — от 0,7 до 3,2 кг/м², сахарной свёклы — от 20 до 40 ц/га. Отмечено также, что при этом ускорились сроки созревания продукции на 3–10 дней (Белозёрский & Золотарёва, 1981). Лазерная обработка усиливала адаптивные реакции проростков пшеницы при стрессовом воздействии засухи (5 дней без воды). При этом обработка семян лазером вызывала активный рост проростков и корня, увеличение их сухой массы на 21,8; 34,5; 11,5 и 25,0 % соответственно в сравнении с растениями без излучения (Qiu et al., 2017).

Лазерные технологии нашли широкое применение в овощеводстве и плодоводстве. Так облучение семян томата увеличило активность липазы в растениях в 1,5 раза, длину корней в 1,6 раза и урожай плодов на 24 % (Кособоков & Петров, 1978). Другие исследователи отмечали, что биохимические показатели томатов из облученных семян «превосходили контрольный уровень» (Karfalov et al., 1988), и произошедшие изменения физических характеристик плодов повышали их сопротивляемость механиче-

ским нагрузкам (Корер, 1995). Благоприятное влияние лазерного излучения было обнаружено при облучении растений в процессе вегетации. Шестилетние исследования по облучению плодоносящих растений вишни гелий-неоновым лазером зафиксировали рост урожайности на 18 % при лучшем качестве плодов (Бельский А. И. & Бельский И. А., 1994).

Низкоинтенсивное когерентное излучение повышает сохранность плодов в период длительного хранения. Потери товарной продукции у различных сортов яблок через 120 дней хранения после лазерного облучения с экспозицией 16 секунд с плотностью мощности 0,5 Вт/м² составили 0,2–5,0 %, в контроле потери достигали 0,6–24,7 % соответственно (Менщиков, 2008). При созревании яблок ранних осенних сортов в годы с неблагоприятными погодными условиями обработка НКИ повышала выход здоровых плодов после 160 дней хранения в 1,4–2,5 раз, устойчивость их к физиологическим (загар, пухлость) и микробным заболеваниям, потери от гнилей сократились в 2–3 раза в сравнении с контролем. При лазерном облучении в области нажимов на плод значительно реже развивались деструктивные изменения его мякоти (Будаговский & Будаговская, 2008). Стимулирующий эффект от воздействия низкоинтенсивного когерентного излучения (НКИ) был получен и на съедобных грибах. Обработка вешенок и шампиньонов лазером в течение 8–18 минут повысила урожайность плодовых тел на 36–51 % (Поединок и соавт., 2003). При этом сокращалось время роста мицелия до первого плодоношения.

Позитивные результаты применения предпосевной лазерной обработки семян были отмечены и на сахарной свёкле. Трехлетние эксперименты по предварительной лазерной обработке семян с последующим их замачиванием в растворе микроэлементов достоверно показали повышение урожайности корнеплодов на 62,1–70,0 %, сахаристости — на 0,6–2,2 % (Гниломедов & Калугина, 1984). Результатом лазерного облучения семян сахарной свёклы явилось создание 2 диплоидных форм с повышенной сахаристостью, которые в течение двух поколений превосходили исходные материалы на 1,8–2,5 % при одинаковом весе корнеплодов (Плохих & Мацуцина, 1985). Положительные данные были получены Л. В. Брижанским (2015), когда средняя урожайность площадей с обработанными лазером семенами достигла 581 ц/га при урожайности контрольных участков 515 ц/га,

то есть прибавка урожая с каждого гектара в среднем составила 66 ц или 13 %. Повышение урожайности и сахаристости сахарной свёклы отмечали и другие исследователи (Ткачук & Боковой, 1984; Грицунов & Брижанский, 1978).

При лазерной обработке семян сахарной свёклы и картофеля отмечено увеличение плотности корнеплодов и клубней, что повышало их устойчивость к механическим повреждениям при уборке и перевозке, способствовало лучшей сохранности. Однако, все эти исследования отечественных ученых только констатировали факт повышения урожайности и сахаристости, не раскрывая причин. Польские исследователи Korper et al. (1996) изучали химический состав корнеплодов сахарной свёклы после лазерной предпосевной обработки семян и отметили положительный эффект. Других печатных работ по изучению технологических качеств корнеплодов при фотоактивации семян лазером обнаружено не было.

Малоизученным аспектом является влияние последствий лазерного облучения семян сахарной свёклы на лёжкоспособность корнеплодов при хранении. Ранее проведенными исследованиями во Всероссийском НИИ сахарной свёклы и сахара установлено, что при хранении (октябрь — апрель) маточного материала, обработанного лазером, загнивание хвостовой (обломанной) части корнеплодов составляло в среднем 14,2 % от общего количества (на контрольном варианте данный показатель находился на уровне 26,8 %), степень израстания побегов колебалась в пределах 4,5–5,1 %, у необработанных корнеплодов данный показатель достигал 22,0 % (Сащенко, 2009). Также в институте проводилось изучение предпосевной обработки семян НКИ, в результате которого выявлен стимулирующий эффект облучения на их посевные качества (Подвигина и соавт., 2019), морфобиологическое развитие растений и технологическое качество корнеплодов (Путилина и соавт., 2020).

В данной статье описано проведение комплексного исследования влияния предпосевной лазерной обработки семян сахарной свёклы на морфобиологическое развитие растений, их продуктивность, технологические качества и лёжкоспособность корнеплодов в послеуборочный период. Цель исследования — изучить влияние предпосевого воздействия НКИ на семенной материал на дальней-

ший рост растений, технологические показатели корнеплодов и его последствие на сохранность сахарной свёклы. Изучение данных вопросов позволит повысить эффективность хранения корнеплодов на сахарных заводах и выработку сахара при переработке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

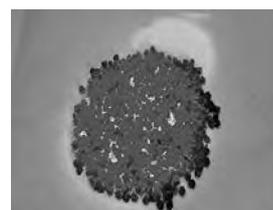
Опыты проводились в отделе семеноводства и семеноведения сахарной свёклы и лаборатории хранения и переработки сырья ФГБНУ «ВНИИСС имени А.Л. Мазлумова» (Воронежская область). В качестве материалов для исследований были взяты дражированные семена отечественного гибрида сахарной свёклы РМС 127.

Оборудование

Источником низкоинтенсивного когерентного излучения служила установка ЛОС-25А (Рисунок 1) любезно предоставленная А.В. Будаговским из Всероссийского НИИ генетики и селекции плодовых растений (г. Мичуринск) и собранная в данном институте в 2008 году. Мощность лазера установки 0,1 Вт, диаметр видимого пятна 0,1 м, плотность мощности излучения 3,185 Вт/м², длина волны красного света 632,8 нм.



А)



Б)

Рисунок 1.

Внешний вид лазерной установки ЛОС-25А (А) и семян в момент облучения (Б)

Экспозиции лазерной обработки составляли 5, 10 и 15 минут. Контролем служили дражированные семена без обработки лазером. Норма высева семян — 8 шт./м. Площадь опытной делянки — 56,7 м², повторность опыта 3-кратная.

Методы

На посевах сахарной свёклы проводили учет урожайности корнеплодов и листьев весовым методом (с учетных делянок) с пересчетом по методике ВНИС (Барштейн & Гизбулин, 1986), биологический сбор сахара, сбор очищенного сахара с 1 га посева — расчетным методом (Шпаар и соавт., 2004).

Оценка технологического качества корнеплодов сахарной свёклы включала определение сахаристости, содержания калия, натрия и α -аминного азота на автоматизированной линии *Betalyser*, редуцирующих веществ — методом Мюллера; растворимой золы — кондуктометрическим методом¹. На основании результатов анализа проб свёклы рассчитывали по Брауншвейгской формуле прогнозируемые потери сахара в мелассе, прогнозируемый выход сахара, коэффициент его извлечения и МБ-фактор (Шпаар и соавт., 2004).

Для оценки лёжкоспособности сахарной свёклы отобранные здоровые корнеплоды с нормальным тургором помещались в этикетированные мешки из мешковины и взвешивались. Пробы сахарной свёклы хранились в нерегулируемых условиях корневых хранилища ФГБНУ «ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова» 65 суток, после чего проводили химико-фитопатологический контроль корнеплодов (содержание проросших, увядших, загнивших корнеплодов; содержание гнилой массы)² и технологическую оценку (Шпаар и соавт., 2004).

Процедура исследования

На первом этапе исследований дражированные семена сахарной свёклы были подвергнуты лазерному излучению с экспозицией 5, 10, 15 минут

и посеяны в полевых условиях на делянках площадью 56,7 м² в 3-х кратной повторности. На следующем этапе в течение вегетационного периода (фаза 2 пар настоящих листьев, смыкание растений в рядах) проводились биометрические наблюдения и измерения — густота насаждения растений, среднее количество листьев на 1 растении, средняя площадь листовой поверхности, средняя масса 1 растения. Третий этап исследований проходил при уборке растений в конце сентября — начале октября и включал в себя весовые характеристики растений — густота насаждения растений, средняя масса 1 растения, средняя масса с 1 растения листьев и корнеплодов и расчет отношения массы ботвы к массе корнеплодов и урожайности корнеплодов с 1 га посевов. Заключительный этап исследований включал проведение анализа технологического качества корнеплодов после уборки и длительного хранения и расчет показателей прогнозируемого выхода сахара, потери сахара в мелассе, коэффициента извлечения сахара и МБ-фактор.

Анализ данных

Математическая обработка результатов опыта проведена методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову³, позволяющая определить достоверность полученных результатов на уровне 99,5 %.

Условия, в которых проводилось исследование

Погодные условия, сложившиеся в вегетационные периоды 2019–2021 годы, были неблагоприятными для активного роста корнеплодов сахарной свёклы. Все годы исследований характеризовались высокой температурой воздуха и малым количеством осадков (Таблица 1).

Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК) в основном колебался от слабо-засушливого до очень засушливого, за исклю-

¹ Инструкция по химико-техническому контролю и учету свеклосахарного производства. (1983). Киев: ВНИИСП.

² Там же.

³ Доспехов, Б. А. (2012). *Методика полевого опыта: (С основами статистической обработки результатов исследований): Учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям*. М.: Альянс.

Таблица 1.

Метеорологические условия вегетационного периода сахарной свёклы по данным метеостанции ФГБНУ «ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова», 2019–2021 гг.

Месяцы	Средняя температура воздуха, °С	Многолетняя температура воздуха, °С	Отклонение от средне-многолетнего значения	Сумма осадков за месяц, мм	Среднее многолетнее значение, мм	Отклонение от средне-многолетнего значения
2019 г.						
апрель	10,5	9,5	1,0	30,0	48,1	-1,9
май	18,5	17,3	1,2	42,6	52,1	-9,5
июнь	23,0	21,2	1,8	22,9	62,5	-39,6
июль	20,0	23,2	-3,2	70,1	59,5	10,6
август	20,4	22,2	-1,8	13,7	73,6	-59,9
сентябрь	14,3	15,4	-1,1	27,0	45,7	-18,7
2020 г.						
апрель	7,0	9,4	-2,4	15,9	52,8	-36,9
май	13,7	18,6	-4,9	50,1	59,2	-9,1
июнь	23,1	21,3	1,8	23,7	65,3	-41,6
июль	22,7	22,9	-0,2	34,5	66,6	-32,1
август	20,4	22,3	-1,9	5,7	82,3	-76,6
сентябрь	16,9	15,1	1,8	5,4	43,9	-38,5
2021 г.						
апрель	9,0	9,9	-0,9	70,0	48,6	21,4
май	17,1	18,0	-0,9	39,6	57,9	-18,3
июнь	21,7	21,6	0,1	65,8	56,9	8,9
июль	25,1	23,2	1,9	19,6	63,0	-43,4
август	24,6	21,8	2,8	15,4	67,0	-51,6
сентябрь	12,4	15,3	-2,9	84,5	39,8	44,7

Таблица 2.

Гидротермический коэффициент в вегетационные периоды, 2019–2021 гг.

Месяц	2019 г.		2020 г.		2021 г.	
	ГТК	Обозначение ГТК	ГТК	Обозначение ГТК	ГТК	Обозначение ГТК
апрель	1,0	слабо-засушливый	0,8	засушливый	2,6	влажный
май	0,7	очень засушливый	1,2	слабо-засушливый	0,7	засушливый
июнь	0,3	сухой	0,3	сухой	1,0	слабо-засушливый
июль	1,1	слабо-засушливый	0,5	очень засушливый	0,3	сухой
август	0,2	сухой	0,9	засушливый	0,2	сухой
сентябрь	0,6	очень засушливый	0,1	сухой	2,3	влажный

чением апреля и сентября 2021 года (Таблица 2). Но июль и август этого года были очень жаркими и сухими.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Фенологическими наблюдениями в начальный период роста и развития проростков, полученных из семян с лазерной обработкой, установлено, что за годы исследований полевая всхожесть семян была высокой и составляла в среднем по опытным вариантам при воздействии НКИ 5 минут 72,6 %, 10 минут — 75,5 %, 15 минут — 83,8 %, тогда как в контрольном варианте она была на уровне 75,7 %. Дальнейшие наблюдения за растениями в полевых условиях показали проявление стимулирующего эффекта лазерной обработки семян на развитие проростков. Так средняя масса 1 растения в фазу 2 пар настоящих листьев в опытных вариантах превышала контроль. Максимальное превышение было установлено в вариантах с 5 и 10-ти минутным воздействием НКИ (93,1 и 75,9 % соответственно) в 2020 году, чему способствовала прохладная и влажная погода.

К середине вегетационного периода (смыкание растений в рядах — середина июля) максимальное увеличение средней массы 1 растения отмечено в вариантах с применением лазера: в 2019 году при экспозиции 10 мин. — на 48,9 %, в 2020 году при экспозиции 10 мин. — на 40,5 %, в 2021 году при экспозиции 5 мин. — на 22,3 % относительно соответствующих контрольных вариантов (267,6, 479,1 и 166,5 г.) (Таблица 3).

Стимулирующий эффект воздействия НКИ отмечен и на развитии листового аппарата. Количество листьев увеличивалось незначительно, а при повышении экспозиции воздействия даже уменьшалось на 6,5–15,2 %. За счет этого значительно возрастала площадь листовых пластинок, особенно при экспозиции 10 мин., на 7,7–32,6 % в сравнении с контролем.

Однако во все годы исследований выявлено уменьшение ассимиляционной поверхности листьев в варианте с наибольшим временем воздействия лазера (15 мин.) на 4,4–14,5 % относительно контроля.

Таблица 3.

Вегетативное развитие растений после фотостимуляции семян лазерным излучением, 2019–2021 гг.

Показатели	Контроль	Экспозиция облучения, мин.		
		5	10	15
2019 г.				
Средняя масса 1 растения в фазу 2 пар настоящих листьев, г	1,00	1,05	1,11	1,10
Средняя масса 1 растения в середине вегетации, г	267,6	304,8	398,4	299,5
Среднее количество листьев на 1 растении в середине вегетации	19,6	20,0	20,1	18,6
Средняя площадь листа, см ²	99,55	113,12	132,04	95,13
2020 г.				
Средняя масса 1 растения в фазу 2 пар настоящих листьев	1,16	2,24	2,04	1,96
Средняя масса 1 растения в середине вегетации, г	479,1	558,0	673,3	590,1
Среднее количество листьев на 1 растении в середине вегетации	18,9	20,2	20,0	17,0
Средняя площадь листа, см ²	213,97	215,22	230,44	183,00
2021 г.				
Средняя масса 1 растения в фазу 2 пар настоящих листьев	1,21	1,28	1,22	1,23
Средняя масса 1 растения в середине вегетации, г	166,5	203,6	185,0	163,5
Среднее количество листьев на 1 растении в середине вегетации	14,2	17,0	13,0	11,9
Средняя площадь листа, см ²	146,39	149,48	160,95	144,11

Таблица 4.

Морфометрические показатели развития растений и урожайность сахарной свёклы (среднее за 2019–2021 гг.)

Показатели	Контроль	Экспозиция облучения, мин.			НСР ₀₅
		5	10	15	
Густота стояния растений перед уборкой, тыс. шт./га	72,9	89,4	84,8	76,6	3,5
Средняя масса корнеплодов с делянки (10 м × 2 ряда), кг	47,3	54,4	51,0	46,2	2,3
Средняя масса 1 корнеплода, кг	0,44	0,51	0,48	0,46	0,018
Средняя масса ботвы с делянки, кг	9,23	8,54	8,68	8,93	0,28
Коэффициент отношения массы ботвы к массе корнеплодов	0,195	0,157	0,170	0,193	
Биологическая урожайность корнеплодов, т/га	32,1	45,6	40,7	35,2	2,9

К моменту уборки урожая (3 этап проведения исследований) густота стояния растений в экспериментальных вариантах колебалась в пределах 76,6–89,4 тыс. растений/га, что достоверно выше в сравнении с контролем (72,9 тыс. растений/га) (Таблица 4).

На момент уборки в вариантах с НКИ отмечено достоверное увеличение средней массы корнеплода на 4,5–15,9 % и снижение средней массы ботвы с делянки на 3,2–7,5 % — относительно значений контрольного варианта 0,44 и 9,23 кг соответственно. В экспериментальных вариантах определен более низкий показатель отношения массы ботвы к массе корнеплодов, характеризующий достижение сахарной свёклы биологической спелости, 0,157–0,193, тогда как в контроле он достиг уровня 0,195.

Средняя за годы исследований биологическая урожайность корнеплодов в вариантах с облучением семян находилась в пределах 35,2–45,6 т/га, что на 9,7–42,0 % выше контроля (32,1 т/га). В экспериментальных вариантах с увеличением экспозиции НКИ наблюдалось достоверное снижение биологической урожайности с 45,6 до 35,2 т/га.

На последнем этапе исследований при технологической оценке корнеплодов сахарной свёклы установлено увеличение сахаристости в вариантах с применением лазерной обработки семян на 0,11–0,60 абс. % относительно контроля (17,79 %). Следует отметить, что содержание сухих веществ (СВ) в корнеплодах экспериментальных вариантов было ниже на 0,25–0,79 абс. % в сравнении с контрольным вариантом (27,59 %), при этом доля сахара в массе сухого вещества корнеплодов на-

ходилась на уровне 66,02–67,26 % СВ, что выше значения контроля (64,48 % СВ) на 1,57–2,81 абс. % (Таблица 5).

В вариантах с лазерным облучением семян сахарной свёклы отмечено меньшее количество всех несугаров в корнеплодах, величина которых была ниже контроля: натрия на 17,1–37,8 %; калия на 7,1–18,6 %; α -аминного азота на 4,2–12,4 %; редуцирующих веществ на 19,8–38,5 %; растворимой углекислой золы на 2,9–7,8 % соответственно.

В результате расчёта прогнозируемых технологических показателей выявлено, что во всех вариантах с предпосевным облучением семян потери сахара в мелассе были на уровне 1,75–1,89 %, что ниже в сравнении с контрольным вариантом (2,02 %) на 0,13–0,27 абс. %. В экспериментальных вариантах прогнозируемый выход сахара превзошел значение контрольного варианта (14,77 %) на 0,28–0,87 абс. %.

Во всех вариантах с обработкой семян НКИ коэффициент извлечения сахарозы ($K_{извл.}$) был выше значения контрольного варианта (83,02 %) на 0,92–2,03 абс. %. Наилучшая извлекаемость сахарозы отмечена при экспозиции лазерного излучения 10 мин, где $K_{извл.}$ составил 85,05 %.

Варианты с предпосевной лазерной обработкой семян характеризовались более низкими значениями МБ-фактора: 22,38–25,03, тогда как в контрольном варианте данный показатель находился на уровне 27,35.

Химико-фитопатологический анализ корнеплодов после 65 суток хранения свидетельствует о том, что в исследуемых вариантах наблюдалось неод-

Таблица 5.

Технологические показатели корнеплодов сахарной свёклы в зависимости от действия лазерного облучения на семена (среднее за 2019–2021 гг.)

Исследуемые параметры	Контроль	Экспозиция воздействия НКИ, мин		
		5	10	15
Сахаристость, % НСР ₀₅ = 0,18	17,79	17,90	18,39	17,99
Сухие вещества (СВ), %	27,59	26,80	27,34	27,25
Количество сахарозы в СВ, % СВ	64,45	66,79	67,26	66,02
Содержание натрия, ммоль/100 г свёклы	1,64	1,14	1,02	1,36
Содержание калия, ммоль/100 г свёклы	4,09	3,80	3,33	3,56
Содержание α-NH ₂ , ммоль/100 г свёклы	3,56	3,25	3,12	3,41
Массовая доля РВ, % к массе свёклы	0,096	0,065	0,059	0,077
Массовая доля углекислой золы, % к массе свёклы	0,490	0,466	0,452	0,478
Потери сахара в мелассе, %	2,02	1,85	1,75	1,89
Прогнозируемый выход сахара, % НСР ₀₅ = 0,20	14,77	15,05	15,64	15,10
Коэффициент извлечения сахара из свёклы, %	83,02	84,08	85,05	83,94
МБ-фактор	27,35	24,58	22,38	25,03

нозначное протекание физиологических и микробиологических процессов. Анализ результатов исследований показал, что после хранения общий уровень потерь массы корнеплодов экспериментальных вариантов колебался от 5,36 % до 6,42 %, что ниже контрольного варианта (7,41 %) на 13,4–27,7 %; среднесуточные потери массы — меньше контроля (0,114 %) на 13,2–28,1 % (Таблица 6).

В ходе фитоэкспертизы после 65 суток хранения опытных образцов установлено, что в вариантах с предпосевным облучением семян сахарной свё-

клы содержание увядших корнеплодов составило 8,68–11,61 % к массе свёклы, в контрольном варианте таких корнеплодов было 19,12 % к массе свеклы. Корнеплодов, проросших и поражённых кагатной гнилью, не наблюдалось. Наибольшее содержание здоровых корнеплодов, а, следовательно, обладающих лучшей лёжкоспособностью, отмечено в варианте с экспозицией НКИ 10 мин.

После 65 суток хранения уровень сахаристости корнеплодов экспериментальных вариантов варьировал от 17,60 до 18,15 %, что на 0,36–0,91 абс. % выше

Таблица 6.

Показатели сохранности корнеплодов сахарной свёклы после 65 суток хранения (среднее за 2019–2021 гг.).

Исследуемые параметры	Контроль	Экспозиция воздействия НКИ, мин		
		5	10	15
Общие потери массы, %	7,41	6,04	5,36	6,42
Среднесуточные потери массы, %	0,114	0,090	0,082	0,099
Содержание корнеплодов с разной степенью подвяленности, % к массе свёклы	19,12	10,06	8,68	11,61
Содержание здоровых корнеплодов, % к массе свёклы	80,88	89,94	91,32	88,39

Таблица 7.

Технологические показатели корнеплодов сахарной свёклы в зависимости от действия лазерного облучения на семена после хранения (среднее за 2019–2021 гг.)

Исследуемые параметры	Контроль	Экспозиция воздействия НКИ, мин		
		5	10	15
Сахаристость, % $\text{HCP}_{0,5} = 0,22$	17,24	17,62	18,15	17,60
Сухие вещества (СВ), %	28,56	27,70	27,63	28,07
Количество сахарозы в СВ, % СВ	60,36	63,61	65,69	62,70
Содержание натрия, ммоль/100 г свёклы	2,04	1,40	1,21	1,64
Содержание калия, ммоль/100 г свёклы	4,88	4,09	3,58	3,90
Содержание $\alpha\text{-NH}_2$, ммоль/100 г свёклы	4,03	3,43	3,25	3,67
Массовая доля РВ, % к массе свёклы	0,120	0,078	0,069	0,093
Массовая доля углекислой золы, % к массе свёклы	0,543	0,503	0,476	0,517
Потери сахара в мелассе, %	2,28	1,96	1,83	2,03
Прогнозируемый выход сахара, % $\text{HCP}_{0,5} = 0,19$	13,96	14,66	15,32	14,57
Коэффициент извлечения сахара из свёклы, %	80,97	83,20	84,41	82,78

контроля (17,24 %). Наименьшее снижение данного показателя относительно исходного сырья также выявлено в вариантах с применением лазера, где отклонение составило 0,24–0,39 абс. % против 0,55 абс. % в контроле (Таблица 7).

В корнеплодах экспериментальных вариантов выявлено меньшее содержание сухих веществ как до хранения (26,80–27,34 %), так и после хранения (27,63–28,07 %), тогда как в контроле их было 27,59 и 28,56 % соответственно.

Доля сахарозы в массе сухого вещества хранившихся корнеплодов контрольного варианта составила 60,36 % СВ, в экспериментальных вариантах данный показатель был на 2,34–5,33 абс. % выше. Наибольшее значение анализируемого показателя отмечено в варианте с экспозицией лазерного излучения 10 мин — 65,69 % СВ.

После хранения во всех вариантах с применением лазера определено наименьшее содержание РВ (на 22,5–42,5 %), α -аминного азота (на 8,9–19,4 %), растворимой зола (на 4,8–12,3 %) в сравнении с контрольным вариантом, где анализируемые показатели составили 0,120 %, 4,03 ммоль/100 г свёклы, 0,543 % соответственно.

При переработке образцов сахарной свёклы экспериментальных вариантов прогнозируемые потери сахара в мелассе были достоверно ниже контроля (2,28 %) на 0,25–0,45 абс. %; прогнозируемый выход сахара — выше контроля (13,96 %) на 0,61–1,36 абс. %; коэффициент извлечения сахарозы из корнеплодов — выше контроля (80,97 %) на 1,81–3,44 абс. %.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Эффект повышенной начальной энергии семян во время прорастания Jamil с соавторами (Jamil, 2013) объясняет тем, что лазерное облучение усиливает ферментативную активность и ускоряет ферментативно-опосредованные реакции (например, скорость разложения низкоэнтропийной макромолекулы) через электромагнитное поле и тепловую энергию, воздействующие на молекулы в клетках. В результате этого усиливается биологическая активность и энергия прорастания семян.

Площадь листовых пластинок значительно колебалась по годам и зависела прежде всего от погодных условий: максимальное значение в 2019 году было

132,04 см², в 2020 году — 230,44 см², в 2021 году — 160,95 см². В 2021 году 16 июня прошел очень сильный град, в результате чего растения полностью лишились листового аппарата и в середине вегетации имели более мелкие молодые листья.

Увеличение площади листьев в экспериментальных вариантах объясняется тем, что воздействие лазерного излучения оказывает влияние на структуру клеток листовой пластины (Даваян и соавт., 1972). Наши данные подтверждают мнения этих авторов об уменьшении площади клеток при воздействии лазера. Так площадь устьичных клеток листовых пластинок сахарной свёклы в экспериментальных вариантах составляла 10,0, 11,55 и 15,14 мкм (в контрольном варианте — 18,36 мкм). У мелкоклеточных структур активность деления в 1,5 раза выше, что и подтверждают показатели среднего количества листьев на 1 растении и средняя площадь листовой пластинки.

Аналогичные данные, где установлены факты увеличения площади листьев, их количество и содержание хлорофилла, были получены разными учеными в своих исследованиях по облучению лазером семян гороха, ячменя, пшеницы, кукурузы (Rubinski & Garczynski, 2004; Podlesna et al., 2015). По их мнению, это связано с интенсификацией процессов фотосинтеза и транспирации в растениях. Уменьшение ассимиляционной поверхности листьев во все годы исследований, наблюдаемое в варианте с наибольшим временем воздействия лазера (15 минут), возможно, вызвано снижением интенсивности физиологических функций растений.

Максимальное количество сахарозы в массе сухого вещества (67,26 % СВ), отмеченное при увеличении экспозиции НКИ до 10 мин, вероятно, объясняется более интенсивным её синтезом в корнеплодах в данном варианте. Наибольший прогнозируемый выход сахара (15,64 %), полученный при этой же экспозиции лазерной обработки семян, связан как с более высокой сахаристостью (18,39 %), так и с меньшим содержанием несахаров (калия, натрия, α -аминного азота, редуцирующих веществ, растворимой углекислой зола) в корнеплодах данного варианта. Благоприятное влияние предпосевной лазерной биостимуляции семян сахарной свёклы на химический состав корнеплодов подтверждается исследованиями иностранных учёных (Koper et al., 1996).

Одним из критериев оценки качества сырья является МБ-фактор, показывающий, какое количество мелассы будет получено на 100 кг произведенного готового сахара. Если растение заканчивает период вегетации естественным отмиранием листьев, спелая сахарная свёкла достигает минимальных значений МБ-фактора (в среднем, 15–20) и максимально возможного выхода сахара (Путилина и соавт., 2020). Данные исследований подтверждают, что применение лазера на семенах сахарной свёклы в дальнейшем способствует ускоренному пробуждению физиологических процессов растений (Krousky & Rumj, 1990), что, возможно, позволило быстрее достигнуть им технической спелости в сравнении с контролем.

Результаты исследований показали благотворное влияние лазерной предпосевной стимуляции семян сахарной свёклы на биометрические характеристики, урожайность и химический состав корнеплодов, в основе механизма которой, согласно Белозёрскому и Золоторёвой (1981), лежит синергизм между поляризованным монохроматическим красным лазерным лучом и фитохромными рецепторами корня в результате облучения семян фитохромной активацией фитохромов, которая интенсифицировала развитие растения в более поздние фазы роста.

В результате хранения сахарной свёклы в естественном состоянии продолжается их жизнедеятельность, сопровождаемая рядом физических, химических и физиологических изменений в корнеплодах, которая в наибольшей степени проявилась в контрольном варианте (Хелемский, 1964). В процессе хранения во всех вариантах опыта наблюдался рост содержания сухих веществ в корнеплодах на 0,29–0,97 абс. %, что, вероятно, связано с частичной потерей тургора.

Снижение качественных показателей корнеплодов в процессе хранения связано с дыханием и микробиологическими процессами, в результате которых происходит распад углеводов, и прежде всего сахарозы, которая при участии ферментов претерпевает глубокие изменения: повышается содержание инвентарного сахара (глюкоза + фруктоза), трисахаридов, накапливаются пектиновые вещества, изменяется соотношение белкового и растворимого азота (Хелемский, 1964).

ВЫВОДЫ

Установлено, что воздействие низкоинтенсивного когерентного излучения на дражированные семена стимулирует и активизирует рост, развитие растений, тем самым обеспечивая сокращение периода достижения биологической и технологической спелости сахарной свёклы. Это подтверждается морфологическими показателями (увеличение количества листьев на 1 растении, средней площади ассимиляционной поверхности, снижение коэффициента отношения массы ботвы к массе корнеплодов), результатами оценки технологических достоинств корнеплодов (снижение содержания несахаров — мелассообразователей, повышение прогнозируемого выхода сахара и его извлекаемости, снижение МБ-фактора) и их лёжкоспособности. Определена наиболее эффективная экспозиция обработки семян НКИ — 10 мин. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение воздействия многократной обработки семян лазерным излучением с различной экспозицией на развитие растений свёклы, продуктивность и послеуборочную сохранность корнеплодов.

ЛИТЕРАТУРА

- Барштейн, Л. А., & Гизбулин, Н. Г. (1986). *Методика исследований по сахарной свёкле*. Киев: ВНИС.
- Белозёрский, М. П., & Золотарёва, Т. А. (1981). *Лазерная обработка семян. Сахарная свёкла*, (1), 32–33.
- Бельский, А. И., & Бельский, И. А. (1994). Повышение товарных качеств плодов косточковых пород с помощью светолазерной и электромагнитной защиты растений. *Лазеры в технологических системах*. М.: МГАПП.
- Брижанский, Л. В. (2015). *Обоснование параметров стратификации дражированных семян сахарной свёклы низкоинтенсивным лазерным излучением* [Кандидатская диссертация, Мичуринский государственный аграрный университет]. Мичуринск, Россия.
- Будаговский, А. В., & Будаговская, О. Н. (2008). Разработка технологии лазерного облучения плодов и ягод в послеуборочный период. В *Лазерные технологии в сельском хозяйстве* (с. 165–190). М.: Техносфера.
- Гниломедов, В. П., & Калугина, Н. В. (1984). О высеве замоченных семян сахарной свёклы. *Сахарная свёкла*, (2), 15–18.
- Грицунов, М. Я., & Брижанский, А. В. (1978). Повышение урожая и сахаристости свёклы предпосевным фотоактивированием семян. *Проблемы фотоэнергетики растений*, (5), 240–249.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Подвигина О. А.: концептуализация; методология; верификация данных; формальный анализ; проведение исследования; создание черновика рукописи; создание рукописи и её редактирование; визуализация.

Путилина Л. Н.: концептуализация; методология; верификация данных; формальный анализ; проведение исследования; создание черновика рукописи; создание рукописи и её редактирование; визуализация; руководство исследованием.

Лазутина Н. А.: проведение исследования.

- Даваян, Н. И., Тырков, В. С., & Суханов, В. М. (1972). Сравнительное изучение продолжительности митотического цикла у гаплоидов, диплоидов и тетраплоидов кукурузы. *Цитология и генетика*, (3), 59–63.
- Козьмин, Г. В., Зейналов, А. А., Коржавый, А. П., Тихонов, В. Н., & Цыгвинцев, П. Н. (2013). *Применение ионизирующих и неионизирующих излучений в агробиотехнологиях*. Обнинск: ВНИИСХРАЭ.
- Кособоков, Г. И., & Петров, Е. П. (1978). Лазерная обработка семян при выращивании томата в открытом грунте. *Проблемы фотоэнегетики растений*, (5), 234–239.
- Менщиков, В. П. (2008). Влияние лазерного облучения на естественную убыль яблок в предрелизационный период. В *Лазерные технологии в сельском хозяйстве* (с. 190–193). М.: Техносфера.
- Москвин, С. В. (2008). К вопросу о механизмах терапевтического действия низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛ). В *Лазерные технологии в сельском хозяйстве* (с. 29–48). М.: Техносфера.
- Плохих, В. Б., & Мацуцина, Л. Б. (1985). Лазер в селекции и семеноводстве. *Сахарная свёкла*, (4), 29–31.
- Подвигина, О. А., Бартенов, И. И., Гаврин, С. Д., & Нечаева, О. М. (2019). Воздействие лазерной обработки семян сахарной свёклы на их посевные качества. *Сахарная свёкла*, (5), 15–17.

- Поединок, Н. Л., Потемкина, Ж. В., Бухало, А. С., Негрийко, А. М., & Михайлова, О. Б. (2003). Использование лазерного излучения при культивировании некоторых видов съедобных базидиомицетов. *Биотехнология*, (2), 59–64.
- Путилина, Л. Н., Подвигина, О. А., & Лазутина, Н. А. (2020). Влияние светолазерной фотоактивации семян сахарной свёклы на технологическое качество корнеплодов. *Сахар*, (3), 52–56. <http://doi.org/10.24411/2413-5518-2020-10305>
- Сашенко, С. В. (2009). *Влияние способов уборки и хранения маточных корнеплодов на продуктивность семенных растений сахарной свёклы* [Кандидатская диссертация, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова]. Рамонь, Россия.
- Ткачук, В. Н., & Боковой, В. Н. (1984). Оценка влияния лазерной биостимуляции семян сахарной свёклы на их качество и урожайность. В *Теория и практика предпосевной обработки семян* (с. 97–101). Киев: ВАСХНИЛ.
- Хелемский, М. З. (1964). *Хранение сахарной свеклы*. М.: Пищевая промышленность.
- Шпаар, Д., Дрегер, Д., & Захаренко, А. (2004). *Сахарная свёкла: Выращивание, уборка, хранение*. Минск: Орех.
- Jamil, Y. (2013). He-Ne laser induced changes in germination, thermodynamic parameters, internal energy and enzyme activities of wheat during germination and early growth physiological attributes. *Laser Physics Letters*, 10(4), Article 045606. <http://doi.org/10.1088/1612-2011/10/4/045606>
- Karfalov, P., Tscholakov, D., & Aleksiev, N. (1988). Ausdewahlte Ergebnisse von Versuchen mit Tomatensaafgut, das mit Laserstrahlen behandelt wurde [Selected results of experiments with tomato seed treated with laser beams]. *Akademie der Landwirtschaftswiss. DDR*, 262, 251–255.
- Koper, R. (1995). *Wlasciwosci mechaniczne owocow pomidorow zmodyfikowane pizedsiewna laserowa biostymulacja nasion* [Mechanical properties of tomato fruit modified by pre-sowing laser seed biostimulation]. Zawoia.
- Koper, R., Wojcik, S., Kornas-Czuszwar, B., & Bojarska, U. (1996). Effect the laser exposure of seeds on the yield and chemical composition of sugar beet roots. *International Agrophysics*, 10(2), 103–108.
- Krouscky, Y., & Rumj, M. (1990). The influence of stimulation of sugar beet on seedings, growth and yielding. *Plant Production*, 36(1), 89–98.
- Podlesna, A., Gładyszewska, B., Podleśny, J., & Zgrajka, W. (2015). Changes in the germination process and growth of pea in effect of laser seed irradiation. *International Agrophysics*, 29(4), 485–492. <http://doi.org/10.1515/intag-2015-0054>
- Qiu, Z., Yuan, M., He, Y., Li, Y., & Zhang, L. (2017). Physiological and transcriptome analysis of He-Ne laser pre-treated wheat seedlings in response to drought stress. *Scientific Reports*, 7(1), 1–2. <http://doi.org/10.1038/s41598-017-06518-z>
- Rubinski, W., & Garczynski, S. (2004). Influence of laser light on leaf area and parameters of photosynthetic activity in DH lines of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Agrophysics*, 18(3), 261–267.

REFERENCES

- Barshtein, L. A., & Gizbulin, N. G. (1986). *Metodika issledovaniy po sakharnoi svekle* [Methodology of research on sugar beet]. Kiev: VNIS.
- Belozerskii, M. P., & Zolotareva, T. A. (1981). Lazernaya obrabotka semyan [Laser seed treatment]. *Sakharnaya svekla* [Sugar Beet], (1), 32–33.
- Bel'skii, A. I., & Bel'skii, I. A. (1994). Povyshenie tovarnykh kachestv plodov kostochkovykh porod s pomoshch'yu svetolazerno i elektromagnitnoi zashchity rastenii [Improving the commercial qualities of stone fruit with the help of laser and electromagnetic plant protection]. *Lazery v tekhnologicheskikh sistemakh* [Lasers in technological systems]. Moscow: MGAPP.
- Brizhanskii, L. V. (2015). *Obosnovanie parametrov stratifikatsii drazhivannykh semyan sakharnoi svekly nizkointensivnym lazernym izlucheniem* [Substantiation of the parameters of stratification of drained sugar beet seeds by low-intensity laser radiation] [Candidate Dissertation, Michurinskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet]. Michurinsk, Russia.
- Budagovskii, A. V., & Budagovskaya, O. N. (2008). Razrabotka tekhnologii lazernogo oblucheniya plodov i yagod v posleurobrochnyi period [Development of technology for laser irradiation of fruits and berries in the post-harvest period]. In *Lazernye tekhnologii v sel'skom khozyaistve* [Laser technologies in agriculture] (pp. 165–190). Moscow: Tekhnosfera.
- Davayan, N. I., Tyrkov, V. S., & Sukhanov, V. M. (1972). Sravnitel'noe izuchenie prodolzhitel'nosti mitoticheskogo tsikla u gaploidov, diploidov i tetraploidov kukuruzy [Comparative study of mitotic cycle duration in maize haploids, diploids and tetraploids]. *Tsitologiya i genetika* [Cytology and genetics], (3), 59–63.
- Gnilomedov, V. P., & Kalugina, N. V. (1984). O vyseve zamochennykh semyan sakharnoi svekly [About sowing soaked sugar beet seeds]. *Sakharnaya svekla* [Sugar Beet], (2), 15–18.
- Gritsunov, M. Ya., & Brizhanskii, A. V. (1978). Povyshenie urozhaya i sakharistosti svekly predposevnym fotoaktivirovaniem semyan [Increasing the yield and sugar content of beets by pre-sowing photoactivation of seeds]. *Problemy fotoenergetiki rastenii* [Problems of Photoenergy of Plants], (5), 240–249.
- Khelemskii, M. Z. (1964). *Khraneniye sakharnoi svekly* [Storage of sugar beet]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost'.
- Kosobokov, G. I., & Petrov, E. P. (1978). Lazernaya obrabotka semyan pri vyrashchivaniy tomata v otkrytom grunte [La-

- ser seed treatment when growing tomatoes in the open ground]. *Problemy fotoenegetiki rastenii* [Problems of photoenegetics of plants], (5), 234–239.
- Koz'min, G. V., Zeinalov, A. A., Korzhavii, A. P., Tikhonov, V. N., & Tsygvintsev, P. N. (2013). *Primenenie ioniziruyushchikh i neioniziruyushchikh izlucheni v agrobiotekhnologiyakh* [Application of ionizing and non-ionizing radiation in agrobiotechnologies]. Obninsk: VNIISKhRAE.
- Menshchikov, V. P. (2008). Vliyanie lazernogo oblucheniya na estestvennyuyu ubyl' yablok v predrelizatsionnyi period [The effect of laser irradiation on the natural decline of apples in the pre-release period]. In *Lazernye tekhnologii v sel'skom khozyaistve* [Laser technologies in agriculture] (pp. 190–193). Moscow: Tekhnosfera.
- Moskvin, S. V. (2008). K voprosu o mekhanizmaxh terapevticheskogo deistviya nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya (NIL) [On the question of the mechanisms of therapeutic action of low-intensity laser radiation (NIL)]. In *Lazernye tekhnologii v sel'skom khozyaistve* [Laser technologies in agriculture] (pp. 29–48). Moscow: Tekhnosfera.
- Plokhikh, V. B., & Matsutsina, L. B. (1985). Lazer v seleksii i semenovodstve [Laser in breeding and seed production]. *Sakharnaya svekla*, (4), 29–31.
- Podvigina, O. A., Bartenev, I. I., Gavrin, S. D., & Nechaeva, O. M. (2019). Vozdeistvie lazernoi obrabotki semyan sakharnoi svekly na ikh posevnye kachestva. *Sakharnaya svekla* [Sugar Beet], (5), 15–17.
- Poedinok, N. L., Potemkina, Zh. V., Bukhalo, A. S., Negriiko, A. M., & Mikhailova, O. B. (2003). Ispol'zovanie lazernogo izlucheniya pri kul'tivirovanii nekotorykh vidov s"edobnykh bazidiomitsetov [The use of laser radiation in the cultivation of some types of edible basidiomycetes]. *Biotekhnologiya* [Biotechnology], (2), 59–64.
- Putilina, L. N., Podvigina, O. A., & Lazutina, N. A. (2020). Vliyanie svetolazernoi fotoaktivatsii semyan sakharnoi svekly na tekhnologicheskoe kachestvo korneplodov [The effect of photolaser photoactivation of sugar beet seeds on the technological quality of root crops]. *Sakhar* [Sugar], (3), 52–56. <http://doi.org/10.24411/2413-5518-2020-10305>
- Sashchenko, S. V. (2009). *Vliyanie sposobov uborki i khraneniya matochnykh korneplodov na produktivnost' semennykh rastenii sakharnoi svekly* [Influence of methods of harvesting and storage of uterine root crops on the productivity of sugar beet seed plants] [Candidate Dissertation, Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut sakharnoi svekly i sakhara im. A.L. Mazlumova]. Ramon', Russia.
- Shpaar, D., Dreger, D., & Zakharenko, A. (2004). *Sakharnaya svekla: Vyrashchivanie, uborka, khranenie* [Sugar beet: Cultivation, harvesting, storage]. Minsk: Orekh.
- Tkachuk, V. N., & Bokovoi, V. N. (1984). Otsenka vliyaniya lazernoi biostimulyatsii semyan sakharnoi svekly na ikh kachestvo i urozhainost' [Evaluation of the effect of laser biostimulation of sugar beet seeds on their quality and yield]. In *Teoriya i praktika predposevnoi obrabotki semyan* [Theory and practice of pre-sowing seed treatment] (pp. 97–101). Kiev: VASKhNIL.
- Jamil, Y. (2013). He-Ne laser induced changes in germination, thermodynamic parameters, internal energy and enzyme activities of wheat during germination and early growth physiological attributes. *Laser Physics Letters*, 10(4), Article 045606. <http://doi.org/10.1088/1612-2011/10/4/045606>
- Karfalov, P., Tscholakov, D., & Aleksiev, N. (1988). Ausgewählte Ergebnisse von Versuchen mit Tomatensaafgut, das mit Laserstrahlen behandelt wurde. *Akademie der Landwirtschaftswiss. DDR*, 262, 251–255.
- Koper, R. (1995). *Wlasciwosci mechaniczne owocow pomidorow zmodyfikowane pizedsiewna laserowa biostymulacja nasion* [Mechanical properties of tomato fruit modified pizedseeded laser biostimulation of seeds]. Zawoia.
- Koper, R., Wojcik, S., Kornas-Czuszwar, B., & Bojarska, U. (1996). Effect the laser exposure of seeds on the yield and chemical composition of sugar beet roots. *International Agrophysics*, 10(2), 103–108.
- Krouscky, Y., & Rumj, M. (1990). The influence of stimulation of sugar beet on seedlings, growth and yielding. *Plant Production*, 36(1), 89–98.
- Podlesna, A., Gładyszewska, B., Podleśny, J., & Zgrajka, W. (2015). Changes in the germination process and growth of pea in effect of laser seed irradiation. *International Agrophysics*, 29(4), 485–492. <http://doi.org/10.1515/intag-2015-0054>
- Qiu, Z., Yuan, M., He, Y., Li, Y., & Zhang, L. (2017). Physiological and transcriptome analysis of He-Ne laser pretreated wheat seedlings in response to drought stress. *Scientific Reports*, 7(1), 1–2. <http://doi.org/10.1038/s41598-017-06518-z>
- Rubinski, W., & Garczynski, S. (2004). Influence of laser light on leaf area and parameters of photosynthetic activity in DH lines of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Agrophysics*, 18(3), 261–267.