

Влияние светолазерной фотоактивации семян сахарной свёклы на технологическое качество корнеплодов

Л.Н. ПУТИЛИНА, канд. с/х. наук (e-mail: lputilina@bk.ru)

О.А. ПОДВИГИНА, д-р с/х. наук

Н.А. ЛАЗУТИНА

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

Введение

В последние годы активно проявляется интерес к изучению фотоэнергетических ресурсов клетки различных сельскохозяйственных растений. Большое значение приобретает применение метода фотоактивации семян с целью сокращения периода вегетации, активизации адаптационных возможностей, усиления роста корневой системы и вегетативной части, усиления иммунитета культурных растений. Для этих целей с 80-х гг. прошлого столетия активно используют лазерные установки различной мощности и длины волны.

Анализ литературных данных показывает, что кратковременное воздействие низкоинтенсивного когерентного излучения (НКИ) оптической области спектра влияет на функциональную активность растительных тканей. При воздействии лазерного излучения на растительные органы и ткани в качестве первичного действующего фактора выступают локальные термодинамические нарушения, вызывающие цепь изменений кальцийзависимых физиологических реакций организма, при этом стимулируется клеточное деление, ускоряются обменные и окислительные процессы, активизируются процессы фотосинтеза. Однако направленность этих реакций может быть различной, так как это определяется дозой, локализацией лазерного воздействия и исход-

ным состоянием самого растительного организма [13].

В сельскохозяйственной практике лазерное облучение семян используется широко. 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 ускорение созревания продукции на 3–10 дней [2].

Многолетнее применение лазерного воздействия на семена различных сортов ячменя в Казахстане, Эстонии, Белоруссии, Словакии увеличивало их лабораторную и полевую всхожесть, повышало урожайность в среднем на 10–15 % [17]. Результаты применения лазерной активации семян и растений озимой пшеницы в 50 хозяйствах Краснодарского края за 1990–2005 гг. на площади более 80 тыс. га показали устойчивое повышение урожайности в среднем до 10 ц/га за счёт роста полевой всхожести и энергии прорастания на 10–15 %, увеличения количества продуктивных колосьев с 544 (без обработки) до 568 шт/м² и массы 1000 зёрен — с 31,6 (без обработки) до 37,0 г [10]. При использовании лазерной обработки отмечено увеличение урожайности гороха на 20–40 %, овса — на 7 %, овощных культур — до 5–20 % [18], яровой пшеницы — на 14 % [8].

Следует отметить, что воздействии низкоинтенсивным когерентным излучением на семена и растения способствует улучшению качества сельскохозяйственной продукции. Так, после лазерного облучения семян томата у плодов улучшились биохимические характеристики [19] и физические свойства, способствующие повышению их сопротивляемости механическим нагрузкам [20]. Шестилетние исследования лазерного воздействия на растения вишни зафиксировали рост урожайности на 18 %, а также улучшение качества плодов [3]. Лазерная обработка плодов фруктовых деревьев значительно повышала их сохранность в послеплодочный период [14] и выход кондиционных плодов на 12–17 % [5]. В результате облучения семян картофеля и сахарной свёклы увеличивалась плотность клубней и корнеплодов, что повышало их устойчивость к механическим повреждениям при уборке и перевозке, способствовало лучшей сохранности [12].

Низкоинтенсивное когерентное излучение не только повышает сохранность плодов, но и позволяет увеличить экстракцию пищевых красителей. Например, выделение в раствор антоцианов из плодов боярышника при четырёхминутном воздействии НКИ увеличилось на 46,5 % в сравнении с необлучённым контролем [16].

Воздействие лазером на семена приводило к позитивным результатам и на сахарной свёкле, где также было отмечено увеличение урожайности и сахаристости корнеплодов. Так, предварительная лазерная обработка семян сахарной свёклы с последующим их замачиванием в растворе микроэлементов + ТУР (ретардант ТУР – хлорхлорид) в среднем за 3 года повышала урожайность корнеплодов на 62,1–70,0 %, сахаристость на 0,6–2,2 % [6]. В Казахском госуниверситете после лазерного воздействия на семена сахарной свёклы удалось выделить две диплоидные формы, превышающие по сахаристости в течение двух поколений исходные материалы на 1,8–2,5 % при одинаковом весе корнеплодов [15]. Повышение урожайности и сахаристости сахарной свёклы отмечали и другие исследователи [7, 4]. Однако данные по изучению технологического качества и причин повышения сахаристости после воздействия на семена лазером в литературе отсутствуют.

В связи с этим целью исследования было изучение влияния предпосевного лазерного облучения семян сахарной свёклы на технологические показатели корнеплодов.

Материалы и методы исследований

Опыты проводились в отделе семеноводства и семеноведения сахарной свёклы и лаборатории хранения и переработки сырья ВНИИСС. В качестве материалов для исследований были взяты семена гибрида РМС 127 (F₁) дражированные и просто шлифованные на семенном заводе «Бетагран-Раомонь».

Источником низкоинтенсивного когерентного излучения служила установка ЛОС-25А (рис. 1а) с плотностью мощности 1,886 Вт, предоставленная А.В. Будаговским (Всероссийский НИИ генетики и селекции плодовых растений, г. Мичуринск). Экспозиция лазерной обработки составляла 5 и 10 минут (рис. 1б). Контролем служили семена без обработки.

Схема полевого опыта была следующей:

- 1) дражированные семена – контроль;
- 2) дражированные семена + НКИ 5 мин;
- 3) дражированные семена + НКИ 10 мин;
- 4) шлифованные семена – контроль;

5) шлифованные семена + НКИ 5 мин;

6) шлифованные семена + НКИ 10 мин.

Площадь опытной делянки – 56,7 м², повторность опытов трёхкратная. Полевые учёты и наблюдения, а также математическая обработка результатов велись согласно общепринятым методикам [1, 9].

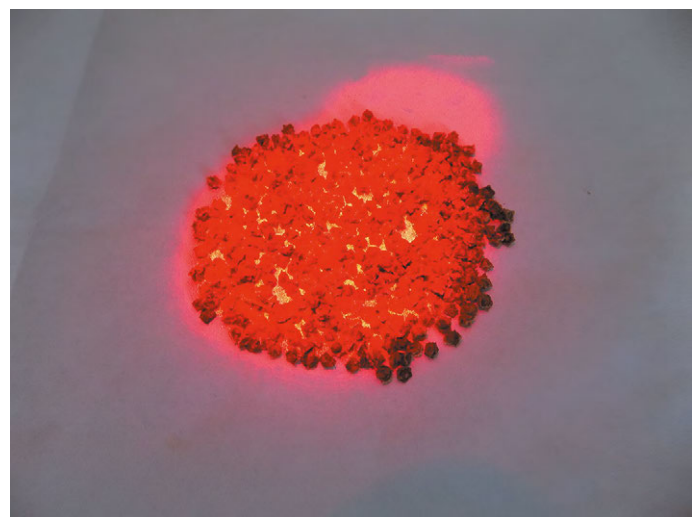
Оценка технологического качества корнеплодов сахарной свёклы включала определение сахаристости, содержания калия, натрия и α-аминного азота на автоматизированной линии Betalyser, редуцирующих веществ – методом Мюллера [11], растворимой золы – кондуктометрическим методом [11]. На основании результатов анализа проб свёклы рассчитывали по Брауншвейгской формуле прогнозируемые потери сахара в мелассе, прогнозируемый выход сахара, коэффициент его извлечения и МБ-фактор.

Результаты исследований и обсуждения

Фенологические наблюдения за развитием растений в полевых условиях показали, что лазерная обработка семян в целом стимулиро-



а



б

Рис. 1. Внешний вид лазерной установки ЛОС-25А (а), семена в момент облучения (б)

вала развитие вегетативной части сахарной свёклы. Во всех опытных вариантах установлено увеличение количества листьев. Так, у растений, полученных из шлифованных семян, влияние лазерной обработки проявилось в увеличении количества листьев до 20,3–22,5 шт. на одном растении, это на 7,4–19,0 % выше контроля. В варианте с дражированными семенами превышение данного показателя от контроля составляло не более 3 %.

Следует отметить, что у растений, выросших из дражированных семян, под действием НКИ активно росла листовая пластинка. Превышение значения средней площади листьев над контрольными растениями в середине июля составило 13,6–32,5 % (99,6 см² в контроле). Противоположная картина наблюдалась со шлифованными семенами, в которых анализируемый показатель в вариантах с низкоинтенсивным когерентным излучением на момент учёта был ниже контроля (103,9 см²) на 19,9–21,1 % (табл. 1). Возможно, лазерная обработка шлифованных семян несколько снизила интенсив-

ность физиологических функций растений, о чём и свидетельствует уменьшение ассимиляционной поверхности листьев.

При сложившихся неблагоприятных почвенно-климатических условиях (неудобренный фон опытного участка и засушливый вегетационный период) урожайность и ботвы, и корнеплодов опытных вариантов к уборке находились на уровне 6,9–9,8 т/га и 26,4–34,9 т/га соответственно. Выявлено, что предпосевное облучение семян способствовало снижению урожайности корнеплодов сахарной свёклы на 6,6–7,7 % (дражированные семена) и 8,9–15,9 % (шлифованные семена). Однако на момент уборки в вариантах с НКИ отмечено уменьшение показателя отношения массы ботвы к массе корнеплодов, характеризующего достижение сахарной свёклы биологической спелости: дражированные семена – 0,21–0,23 (в контроле 0,28); шлифованные – 0,26–0,27 (в контроле 0,28). Это позволяет предположить, что в вариантах с лазерной обработкой семян рас-

тения достигли биологической спелости раньше контрольных. Кроме того, дражированные семена оказались более восприимчивы к светолазерной фотоактивации.

Оценка технологического достоинства сахарной свёклы показала, что сахаристость в вариантах опыта варьировала от 17,98 до 18,61 %. Наименьшее содержание сахара в корнеплодах отмечено в вариантах с лазерной обработкой семян с экспозицией 5 мин: дражированные семена – 18,22 %, шлифованные – 17,98 %, это ниже соответствующих контролей на 0,27 и 0,13 абс. %. Возможно, время НКИ оказало стрессовое действие на семена, в дальнейшем это отрицательно повлияло на интенсивность синтеза сахарозы в корнеплодах. При увеличении экспозиции НКИ до 10 мин наблюдалось повышение сахаристости на 0,12 и 0,16 абс. % соответственно (табл. 2).

В результате химического анализа установлено, что в вариантах с лазерным облучением семян содержание натрия, калия и α-аминного азота было ниже в сравнении с контрольными вариантами на 5,2–25,0; 1,9–7,6; 5,7–12,8 % соответственно.

Содержание редуцирующих веществ (РВ) в исследуемых образцах свежесобранных корнеплодов не превысило допустимого значения для сахарной свёклы удовлетворительного качества по П.М. Силину (0,1 % к массе свёклы). Однако в экспериментальных вариантах с применением НКИ количество РВ было на уровне 0,084–0,088 (дражированные семена) и 0,065–0,071 % (шлифованные семена), что ниже соответствующих контролей на 9,3–13,4 и 9,0–16,7 %.

Аналогичная тенденция наблюдалась и по растворимой кондуктометрической золе, содержание которой во всех вариантах опыта

Таблица 1. Морфологические показатели развития и урожайность сахарной свёклы

№ п/п	Вариант	Среднее количество листьев на 1 растении, шт. (июль)	Средняя площадь листьев, см ² (июль)	Урожайность ботвы, т/га	Урожайность корнеплодов, т/га	Отношение массы ботвы к массе корнеплодов
Дражированные семена						
1	Контроль	19,6	99,6	9,8	34,9	0,28
2	НКИ 5 мин	20,0	132,0	6,9	32,2	0,21
3	НКИ 10 мин	20,1	113,1	7,6	32,6	0,23
НСР ₀₅					2,21	
Шлифованные семена						
4	Контроль	18,9	103,9	8,8	31,4	0,28
5	НКИ 5 мин	22,5	82,0	7,0	26,4	0,26
6	НКИ 10 мин	20,3	83,2	7,7	28,6	0,27
НСР ₀₅					2,00	
НСР ₀₅ по опыту					1,87	

Таблица 2. Влияние лазерного облучения семян на технологические показатели корнеплодов сахарной свёклы

Исследуемые параметры	Значение параметра варианта					
	Дражированные семена			Шлифованные семена		
	Контроль	НКИ 5 мин	НКИ 10 мин	Контроль	НКИ 5 мин	НКИ 10 мин
Сахаристость, %	18,49	18,22	18,61	18,11	17,98	18,27
Содержание натрия, ммоль/100 г свёклы	0,60	0,49	0,45	0,39	0,37	0,33
Содержание калия, ммоль/100 г свёклы	4,59	4,38	4,24	4,31	4,23	4,09
Содержание α-NH ₂ , ммоль/100 г свёклы	2,35	2,05	2,11	2,44	2,13	2,30
Массовая доля РВ по Мюллеру, % к массе свёклы	0,097	0,088	0,084	0,078	0,071	0,065
Массовая доля углекислой золы, % к массе свёклы	0,458	0,436	0,424	0,442	0,413	0,403

не превысило допустимого значения (0,6 %). Наибольшее количество растворимой золы отмечено в контрольных вариантах – 0,458 (дражированные семена) и 0,442 % (шлифованные семена), это выше вариантов с лазерной обработкой на 4,8–7,4 и 6,6–8,8 % соответственно.

В результате расчёта прогнозируемых технологических показателей выявлено, что во всех вариантах с предпосевным облучением семян потери сахара в мелассе были на уровне 1,54–1,56, это

ниже в сравнении с контрольными вариантами на 0,07–0,12 абс. % (табл. 3).

Наибольшие значения выхода сахара получены в варианте с экспозицией НКИ 10 мин: 16,06 (дражированные семена) и 15,71 % (шлифованные семена), что выше соответствующих контролей на 0,23–0,24 абс. %. В варианте с 5-минутной лазерной обработкой семян исследуемый показатель был, наоборот, ниже контрольных значений на 0,16 (дражированные) и 0,05 абс. %

(шлифованные). Это объясняется более низкой сахаристостью анализируемых корнеплодов в сравнении с контролями.

Во всех вариантах с предпосевной лазерной обработкой семян коэффициент извлечения сахара был выше контрольных показателей на 0,39–0,72 (дражированные) и 0,37–0,50 абс. ед. (шлифованные).

Одним из критериев оценки качества сырья является МБ-фактор, который показывает, 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. Следует отметить, что МБ-фактор на момент уборки у исследуемых образцов варьировал от 19,87 до 21,07. Варианты с предпосевной лазерной обработкой семян характеризовались более низкими значениями МБ-фактора: 19,29–19,87 (дражированные) и 19,89–20,00 (шлифованные). Данные результаты позволяют предположить, что применение НКИ на семенах способствует сокращению периода достижения сахарной свёклы технической спелости.

Таблица 3. Расчётные показатели переработки сахарной свёклы в опыте с предпосевной обработкой семян НКИ

Исследуемые параметры	Значение параметра варианта					
	Дражированные семена			Шлифованные семена		
	Контроль	НКИ 5 мин	НКИ 10 мин	Контроль	НКИ 5 мин	НКИ 10 мин
Прогнозируемые потери сахара в мелассе, %	1,67	1,56	1,55	1,63	1,54	1,56
Прогнозируемый выход сахара, %	15,82	15,66	16,06	15,48	15,43	15,71
Коэффициент извлечения сахара из свёклы, %	85,58	85,97	86,30	85,48	85,85	85,98
МБ-фактор	21,07	19,87	19,29	21,05	20,00	19,89

Заключение

Предварительные исследования показали, что применение низкокогерентного лазерного облучения семян сахарной свёклы способствует стимулированию развития растений в течение всего периода вегетации. Вместе с тем в варианте с экспозицией НКИ 10 мин отмечено лучшее технологическое качество корнеплодов (более низкий МБ-фактор, меньшее содержание несахаров, больший прогнозируемый выход сахара и лучшая его извлекаемость).

Список литературы

1. *Барштейн, Л.А.* Методика исследований по сахарной свёкле / Л.А. Барштейн, Н.Г. Гизбулин. — Киев : ВНИС, 1986. — 263 с.
2. *Белозерских, П.М.* Облучение семян лазером / П.М. Белозерских, Т.А. Золотарева // Сахарная свёкла. — 1981. — № 3. — С. 32–33.
3. *Бельский, А.И.* Влияние энергии света лазерного луча и её путь в организме при облучении вегетирующих растений на качество урожая вишни / А.И. Бельский // Применение низкоэнергетических факторов в биологии и сельском хозяйстве. — Киров, 1989. — С. 100–101.
4. *Брижанский, Л.В.* Обоснование параметров стратификации дражированных семян сахарной свёклы низкоинтенсивным лазерным излучением : Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. — Мичуринск — Научград, 2015. — 18 с.
5. *Гордеев, А.С.* Автоматизированная обработка яблок : Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук : 05.13.07. — Моск. гос. агроинж. ун-т. — М., 1996. — 32 с.
6. *Гниломедов, В.П.* О высеве замоченных семян сахарной свёклы / В.П. Гниломедов, Н.В. Калугина // Сахарная свёкла. — 1984. — № 2. — С. 15–18.
7. *Грицунов, М.Я.* Повышение урожая и сахаристости свёклы предпосевным фотоактивированием семян / М.Я. Грицунов, А.В. Брижанский // Проблемы фотоэнергетики растений. — Вып. 5. — Львов, 1978. — С. 240–249.
8. *Долговых, О.Г.* Влияние лазерной обработки на семена яровой пшеницы Ирень / О.Г. Долговых, В.В. Красильников, Р.Р. Газдинов // Инженерный вестник Дона. — 2011. — № 4. — Ч. 2. — С. 1/5–5/5.
9. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. — М. : Агропромиздат, 1985. — 351 с.
10. *Журба, П.* Лазерная технология промышленного возделывания сельскохозяйственных культур / П. Журба, Е. Журба // Фотоника. — 2010. — № 3. — С. 34–38.
11. Инструкция по химико-техническому контролю и учёту свеклосахарного производства ВНИИСП. — Киев, 1983. — 476 с.
12. ЛазерИнформ. — 2011. — № 1–2 (448–449). — С. 4–7. [Электронный ресурс] Блог им. agromaker. — Режим доступа: <http://agropraktik.ru/blog/147...>
13. *Москвин, С.В.* К вопросу о механизмах терапевтического действия низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛ) // Лазерные технологии в сельском хозяйстве / С.В. Москвин. — М. : Техносфера, 2008. — С. 29–48.
14. Патент РФ 1750487. МКИ⁵ A01F25/00, A231L3/54, A23B7/015 / О.Н. Будаговская, А.В. Будаговский. Способ подготовки плодов к хранению. — Оpubл. 30.07.1992. — Бюл. 28. — Заявка № 4849046/13 от 19.07.90. — 8 с.
15. *Плохих, В.Б.* Лазер в селекции и семеноводстве / В.Б. Плохих, Л.Б. Мацуцина // Сахарная свёкла. — 1985. — № 4. — С. 29–31.
16. *Тырсин, Ю.А.* Лазерное излучение как способ интенсификации процесса экстракции пищевых красителей / Ю.А. Тырсин // Хранение и переработка сырья. — 2005. — № 7. — С. 30.
17. *Умаров, Х.Т.* Биофизические и физиологические показатели роста сельскохозяйственных культур под действием гелий-неонового лазера / Х.Т. Умаров [и др.]. — Ташкент : ФАН, 1991. — 152 с.
18. *Шульгина, О.А.* Влияние лазерного излучения на биологические основы объектов растительного и животного происхождения / О.А. Шульгина // Вестник КемГУ. — Серия : биологические, технические науки и науки о Земле. — 2017. — № 1. — С. 23–25.
19. *Karfalov, P.* Ausdewahlte ergebnisse von versuchen mit tomatensaafgut, das mit laserstrahlen behandelt wurde / P. Karfalov, D. Tschokakovm, N. Aleksiev // Akad. Landwirtschaftswiss. — DDR. — 1988. — № 262. — S. 251–255.
20. *Koper, R.* Wlasciwosci mechaniczne owocow pomidorow zmodyfikowane pizedsiewna laserowa biostymulacja nasion / R. Koper // Technical and organization progress in Polish agriculture. — Zawoia. — 1995. — P. 129–136.

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по влиянию предпосевного низкокогерентного лазерного облучения семян сахарной свёклы на технологические показатели корнеплодов. Установлено, что применение светолазерной фотоактивации семян стимулирует и активизирует рост, развитие растений, тем самым обеспечивая сокращение периода достижения биологической и технической спелости сахарной свёклой. Это подтверждается морфологическими показателями роста растений и результатами оценки технологических достоинств корнеплодов. Определена наиболее эффективная экспозиция обработки семян НКИ – 10 мин. Отмечено, что дражированные семена более восприимчивы к светолазерной фотоактивации.

Ключевые слова: семена сахарной свёклы, лазерная обработка, технологическое качество.

Summary. In the paper, results of studies on influence of pre-sowing low-coherent laser radiation treatment of sugar beet seeds on technological characteristics of beet roots are presented. It has been determined that application of laser photoactivation of seeds stimulates plant growth and development and makes them more active, there by providing reduction of sugar beet biological and technical maturation period. This is confirmed by morphological characteristics of plant growth and by results of beet root technological quality estimation. The most effective exposition (10 minutes) for seed treatment with low-coherent radiation has been revealed. It has been determined that pelleted seeds are more susceptible to laser photoactivation.

Keywords: sugar beet seeds, lazer treatment, technological quality.