

4.1.1. ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО
(СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.1:535.21:577.344

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_4_14

EDN: HYGSPC

Влияние лазерного излучения на рост и урожайность кормовых культур

**Елена Петровна Шкодина^{1✉}, Светлана Юрьевна Жукова²,
Валентина Александровна Яковлева³**

^{1, 2, 3} Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», Великий Новгород, Россия

¹ kriempereoal@mail.ru✉

Аннотация. Представлены результаты исследований по определению влияния лазерной стимуляции посевов вегетирующих кормовых культур, выполненных в 2020–2022 гг. совместно с ООО «НовБиотех» на опытном поле Новгородского НИИСХ – филиала Санкт-Петербургского ФИЦ РАН по методике ООО «НовБиотех» в полевом опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой среднекультуренной почве (Северо-Запад Нечерноземной зоны). Лазерное облучение красным цветом (длина волны – 638 нм, мощность излучения – 300 мВт, экспозиция – несколько секунд) проводилось с беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Объектами исследования являлись новые и перспективные линии и сорта пленчатого и голозерного овса на зеленый корм и зерно, а также интродуцированные однолетние кормовые культуры – пайза, чумиза, могар, просо, суданская трава, сорго сахарное. Проведенные исследования показали большую эффективность применения лазерной стимуляции при обработке в ранние фазы развития (всходы – начало кущения). В этот период растения максимально эффективно используют ресурс, регулируя процессы анаболизма. Опаздание с проведением лазерной стимуляции отрицательно влияет на растения. Среди линий и сортов овса толерантностью к лазерному облучению выделилась линия 66h2618: урожайность зеленой массы при облучении была выше на 0,4–8,9 т/га (3–86%), зерна – на –0,07 ...+0,47 т/га (–5 ...+18,7%). У однолетних интродуцированных трав повышение урожайности зеленой массы получено у поздних культур (на 5–18% по сравнению с контролем) при проведении лазерной стимуляции в ранние сроки. При облучении в большинстве вариантов увеличивается содержание сухого вещества в зеленой массе и зерне. Следует отметить, что данный способ перспективен в условиях экологизации сельскохозяйственного производства, так как позволяет повысить экономическую эффективность и качество кормов без применения химических средств.

Ключевые слова: кормопроизводство, лазерное излучение (облучение), фитохром, неионизирующее облучение, органическое земледелие, беспилотный летательный аппарат

Для цитирования: Шкодина Е.П., Жукова С.Ю., Яковлева В.А. Влияние лазерного излучения на рост и урожайность кормовых культур // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 4(83). С. 14–24. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_4_14-24.

4.1.1. GENERAL SOIL MANAGEMENT AND CROP SCIENCE
(AGRICULTURAL SCIENCES)

Original article

Laser irradiation impact on the growth and yield of forage crops

Elena P. Shkodina^{1✉}, Svetlana Yu. Zhukova², Valentina A. Yakovleva³

^{1, 2, 3} Novgorod Research Agriculture Institute – Branch of St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Velikiy Novgorod, Russia

¹ kriempereoal@mail.ru✉

Abstract. The authors present the results of studies conducted in order to determine the effect of laser illumination of plantings of vegetative forage crops performed in 2020–2022 jointly with ООО “Novbiotech” on the experimental field of Novgorod Research Agriculture Institute – Branch of St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, and according to the methodology of ООО “Novbiotech” in a field experiment on sod-podzolic light loamy medium cultivated soil (North-West of the Non-Chernozem zone). Laser red irradiation (wavelength is 638 nm, radiation power is 300 MW, exposure during several seconds) was implemented by unmanned aerial vehicle (UAV). The objects of the study were new and promising lines and varieties of filmy and naked oats for green fodder and grain, as well as introduced annual forage crops – barnyard millet, green bristlegrass, foxtail millet, millet, Sudan grass, sugar sorghum. The conducted studies have shown high effectiveness of laser illumination during processing in the early phases of plant development (seedling stage – the beginning of tillering). During this period, plants use the resource as efficiently as possible, regulating the processes of anabolism. The delay in laser illumination has a negative effect on plants.

Among the lines and varieties of oats, the line 66h2618 stood out with tolerance to laser illumination: the yield of green mass under irradiation was higher by 0.4–8.9 t/ha (3-86%), the yield of grain – by -0.07 ...+0.47 t/ha (-5 ...+18.7%). In annual introduced grasses, an increase in the yield of green mass was obtained in late crops by 5-18% compared with the control during early laser stimulation. During irradiation, in most cases, the dry matter content in green mass and grain increases. It should be noted that this method is promising in terms of greening agricultural industry, because due to its application producers can higher the efficiency of production and quality of green mass and seeds without the use of chemical substances.

Keywords: forage production, laser irradiation (illumination), phytochrome, laser beam, non-ionizing radiation, organic farming, unmanned aerial vehicle (UAV)

For citation: Shkodina E.P., Zhukova S.Yu., Yakovleva V.A. Laser radiation impact on growth and yield of forage crops. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024;17(4):14-24. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_4_14-24.

Введение

Необходимость увеличения объемов производства сельхозпродукции при реализации программы продовольственной безопасности государства ведет к интенсификации сельского хозяйства, росту химической нагрузки [1]. Однако взятый на экологизацию земледелия вектор требует рационального применения удобрений и пестицидов для снижения загрязненности почв и производства экологически безопасной продукции, а все более популярное органическое земледелие подразумевает полный отказ от применения пестицидов [4, 13]. Именно поэтому актуальна разработка технологий, позволяющих увеличить объемы производства продукции растениеводства, в том числе кормов, а также повысить их качество, сохранив экологическое равновесие [2, 3].

Значительное увеличение объемов производства биологических стимуляторов роста показывает их востребованность на рынке органического земледелия. Однако изменение природно-климатических условий и сбой в сроках проведения обработок снижают эффективность их применения [5, 7, 11]. Использование физических методов стимуляции в растениеводстве – один из способов повышения экономической эффективности и качества производства кормов без применения химических средств.

Одним из методов физической стимуляции растений является лазерная обработка [10]. В основе метода лежит активация фотосинтеза в растениях когерентным излучением. Данный вид излучения является неионизирующим и разрешен в органическом земледелии.

Фотосинтез – процесс преобразования видимого света в энергию химических связей. Передача световой энергии внутрь клетки происходит через специальные клеточные рецепторы – хромопротеиды. Рецепторы принимают фотоны, трансформируют и передают в клетку в виде электронов и протонов, повышая электрохимический потенциал. Запуск митохондриальной цепи переноса электронов приводит к увеличению потребления углекислого газа и воды и синтезу АТФ.

Лазерная стимуляция семян приводит к активации фитохрома – фитогормона, запускающего синтез клеточных катализаторов (ферментов), в результате происходит ускорение прорастания первичных корешков и формирование проростков [14, 15]. Наибольший эффект на прорастание семян оказывает красный спектр волны длиной 630–680 нм [16], данный спектр также значительно повышает энергию роста и стрессоустойчивость.

Известны лазерные установки, использующие гелий-неоновые лазеры для обработки семян [6]. Проведенные в 2019 г. на капусте кольраби эксперименты со стационарным излучателем показали увеличение в облученных стеблеплодах белков и углеводов [12]. Актуальным является поиск способа обработки вегетирующих растений когерентным излучением с сохранением постоянной плотности облучения, создаваемого более легковесными и менее энергоемкими полупроводниковыми лазерами [9].

Прогнозируемые и уже видимые процессы изменения климата в сторону потепления требуют своевременной корректировки в ассортименте выращиваемых кормовых культур для обеспечения качественной зеленой массой и зерном [8]. Как альтернатива традиционным однолетним культурам рассматриваются высокоурожайные культуры из более южных регионов.

Цель исследований – оценить влияние лазерной стимуляции вегетирующих посевов кормовых культур на урожайность и качество зеленой массы овса и кормовых интродуцентов, семян овса и перспективность ее применения в условиях экологизации сельского хозяйства.

Методика исследований

Исследования по изучению эффективности лазерной стимуляции вегетирующих посевов проводились в 2020–2022 гг. совместно с ООО «НовБиотех» на опытном поле Новгородского НИИСХ – филиала Санкт-Петербургского ФИЦ РАН по методике ООО «НовБиотех» в полевом опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой среднеокультуренной почве (Северо-Запад Нечерноземной зоны).

На протяжении всего периода вегетации проводились фенологические наблюдения, урожайность зеленой массы и семян определяли по методике ВИК (1987 г). Качественный анализ зеленой массы и семян осуществлялся в аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ «САС «Новгородская», аттестат аккредитации № RA.RU.10HA147, срок действия с 12.04.2020 по 12.04.2025.

Лазерное облучение (воздействие) красным цветом с длиной волны 638 нм, мощностью излучения 300 мВт и экспозицией несколько секунд проводилось с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) после захода солнца. Сроки проведения: 2020 г. – 11 июня, 2021 г. – 28 мая, 2022 г. – 18 июня.

В качестве объектов исследований были выбраны новые линии и сорта овса ярового, а также однолетние интродуцированные культуры на зеленый корм.

Закладка опыта с яровым овсом в 2020 г. проведена 2 мая, 2021 г. – 12 мая, в 2022 г. – 6 мая. На делянках в 100 м² были высеяны линии и сорта овса ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка»: пленчатые сорта Лев и Залп, голозерные сорт Немчиновский 61 и линии 2/3h2267 и 66h2618.

Интродуцированные культуры – просо посевное Спутник, могар Степной маяк, чумиза Оля, пайза Стапайз, суданская трава Землячка, сорго сахарное Галия – были высеяны на делянках площадью 100 м² в 2021 г. 12 мая, в 2022 г. – 18 мая.

В 2020 г. в мае температурный фон был ниже среднего многолетнего на 1,5 °С, переход среднесуточных температур через 10 °С произошел 23 мая, в июле было холоднее на 0,5 °С, июнь был жарким, среднесуточные температуры превысили норму на 3,3 °С, в августе было теплее нормы на 0,8 °С. Осадки выпадали неравномерно: в мае большая часть осадков выпала в первой, холодной, половине месяца, в июне – в первой декаде, в июле – в третьей декаде, в августе выпало 61% от месячной нормы.

Вегетационный период 2021 г. характеризовался рекордно высокими температурами с аномально малым количеством осадков в июне-июле. Весенние заморозки закончились 2 мая. В первой декаде мая было холодно, во второй температура поднималась до 27 °С, в третьей соответствовала норме. В июне и июле среднесуточная температура воздуха была выше нормы на 4,6 °С, в августе – на 0,5 °С. В сентябре переход среднесуточных температур через 10 °С в сторону понижения произошел 14 сентября, в целом среднемесячные температуры были ниже нормы на 0,9 °С. Заморозки отмечены 17–18 сентября и 30 сентября. Количество выпавших осадков в июне было близко к норме, в июле выпало менее 10 мм осадков, в августе количество осадков превысило 3,5 месячной нормы, в сентябре осадков выпало близко к норме (64 мм). ГТК вегетационного периода составил 1,88.

В 2022 г. в течение вегетации также наблюдались температурные аномалии и дефицит осадков. Май был холоднее нормы на 1,9 °С, весенние заморозки закончились 5 мая, за месяц выпало 19 мм осадков, или всего 37% от нормы. В июне температурный

фон был выше среднего многолетнего на 1,6 °С, осадков выпало 48% от нормы в первую половину месяца, вторая половина была жаркая и сухая. Июльская температура была близка к норме, осадков на опытном участке выпало меньше нормы. Среднесуточная температура в августе составила 20,0 °С, во второй и третьей декадах месяца осадков не наблюдалось, за первую выпала треть месячной нормы. В первую декаду сентября произошло резкое снижение температуры, с 5 по 9 сентября наблюдались заморозки. ГТК вегетационного периода составил 0,82 (за август 0,44).

Результаты и их обсуждение

Овес яровой

В 2020 г. массовые всходы растений появились в течение декады, формирование зеленой массы шло до середины июля, полная спелость семян у овса наступила к концу августа (табл. 1). Лазерная обработка проведена 15 июня в период завершения кущения растений и начала выхода в трубку.

Массовые всходы овса в 2021 г. появились через неделю после посева, к началу июля сформировалась зеленая масса, семена созрели в конце первой декады августа. Лазерная стимуляция посевов проведена 28 мая в фазе образования трех настоящих листьев.

Таблица 1. Даты наступления фаз развития ярового овса в 2020–2022 гг.

Фаза развития	Дата		
	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Посев	02 мая	12 мая	06 мая
Всходы – первый лист	15 мая	20 мая	18 мая
Образование трех настоящих листьев – начало кущения	29 мая	31 мая	31 мая
Кущение	08 июня	09 июня	06 июня
Выход в трубку	15 июня	15 июня	18 июня
Массовое выметывание	30 июня	02 июля	02 июля
Молочная спелость	22 июля	15 июля	25 июля
Молочно-восковая спелость	11 августа	27 июля	04 августа
Созревание	19–26 августа	09 августа	24 августа

В 2022 г. период всходов овса был растянут по времени на 2–3 недели из-за холодной, сухой и ветреной погоды. К концу мая растения имели 4–6 листьев и вступили в фазу кущения. Период для роста и развития в оптимальных условиях был только в первой половине июня, когда был отмечен их интенсивный рост. Обработка лазерным лучом с БПЛА проведена 28 июня.

Формирование вегетативной массы овса как в 2021 г., так и в 2022 г. происходило на фоне высоких температур и дефицита осадков. Укос зеленой массы проводился в фазе выметывания. На момент массового выметывания в 2021 г. высота линий /сортов составляла от 69 до 81 см, на вариантах применения облучения – от 74 до 88 см (табл. 2). В 2022 г. высота растений контрольных вариантов на момент укоса составила 69–74 см, на вариантах облучения – 60–79 см.

В 2021 г. урожайность зеленой массы контрольных посевов голозерных линий овса колебалась в диапазоне 10,3–20,1 т/га, на облученных посевах – 13,8–20,4 т/га. У пленчатых сортов овса урожайность зеленой массы была выше: на контрольных участках собирали 15,4–26,5 т/га, на облученных – 20,0 т/га. В 2022 г. урожайность зеленой массы контрольных вариантов пленчатых сортов овса (Залп, Лев) была в 1,7–2,2 раза

больше, чем на вариантах с облучением. У голозерных линий и сорта урожайность зеленой массы с облученных участков находилась на уровне контрольных (линия 66h2618) или была меньше на 1 т/га. Посевы овса сорта Немчиновский 61 и линии 66h2618 в оба года исследований были более восприимчивы к лазерной стимуляции красным цветом: при ранней обработке в 2021 г. урожайность зеленой массы при стимуляции лазером была больше на 5–9 т/га, в 2022 г. при поздней обработке разница составляла от –0,5 до +0,4 т/га.

Таблица 2. Высота травостоя, урожайность и качественные показатели зеленой массы линий и сортов овса в 2021–2022 гг.

Вариант	Высота, см		Урожайность зеленой массы, т/га		В сухом веществе								Массовая доля сухого вещества (СВ), %	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	массовая доля сырого протеина (СП), %		массовая доля сырой клетчатки (СК), %		количество ОЭ, МДЖ/кг		количество кормовых единиц (КЕ), кг/кг		2021 г.	2022 г.
					2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.		
Овес голозерный														
Линия 2/3h2267	79,2	68,5	20,1	11,1	12,01	12,97	30,2	26,3	9,56	10,27	0,74	0,85	33,8	22,9
Линия 2/3h2267 облучение	73,8	59,5	13,8	10,1	11,88	10,31	29,3	27,4	9,73	10,07	0,77	0,82	43,0	24,6
Немчиновский 61	70,6	73,1	15,4	16,05	9,75	12,92	30,0	28,2	9,60	9,92	0,75	0,80	36,3	18,3
Немчиновский 61 облучение	80,4	72,2	20,4	15,5	14,97	11,04	27,3	30,3	10,09	9,55	0,82	0,74	31,4	20,1
Линия 66h2618	68,6	72,5	10,3	13,0	10,42	12,97	31,9	27,9	9,26	9,98	0,69	0,81	35,6	18,7
Линия 66h2618 облучение	79,8	77,6	19,2	13,4	12,32	10,31	30,3	30,1	9,55	9,58	0,74	0,74	41,5	21,3
НСР ₀₅			2,44	2,57										
Овес пленчатый														
Залп	80,8	74,3	15,4	16,5	11,08	9,58	30,4	27,7	9,53	10,01	0,74	0,81	33,0	20,2
Залп облучение	88,2	62,4	20,4	7,6	11,58	9,97	28,2	26,1	9,92	10,30	0,80	0,86	37,9	23,5
Лев	75,6	69,8	26,5	13,4	13,22	9,08	29,7	26,5	9,65	10,23	0,75	0,85	36,8	21,4
Лев облучение	87,6	79,0	20,0	8,0	13,55	11,5	30,4	26,6	9,53	10,21	0,74	0,84	34,0	22,3
НСР ₀₅			2,02	2,94										

В 2021 г. в зеленой массе овса отмечено высокое содержание сухого вещества – от 31 до 43%. В 2022 г. содержание сухого вещества в убранной зеленой массе на вариантах облучения было выше, чем на контрольных вариантах на 0,9–3,3%.

У пленчатых сортов овса содержание протеина было выше на вариантах с облучением в оба года наблюдений, у сорта Залп – на 0,39–0,50%, у сорта Лев – на 0,33–2,42%. У голозерных линий и сорта в 2021 г. содержание протеина было выше на вариантах облучения на 1,9–5,2 п. п. у сорта Немчиновский 61 и линии 66h2618, в 2022 г. на вариантах облучения было ниже по сравнению с контролем на 1,02–2,66%.

Содержание обменной энергии (ОЭ) и кормовых единиц у всех изучаемых линий и сортов на вариантах применения лазерной стимуляции в 2021 г. было выше, кроме сорта Лев, в 2022 г. было ниже, кроме сорта Залп. Семенная продуктивность линий и сортов овса при облучении оказалась ниже, за исключением овса сорта Лев в 2020 и 2021 гг. и линии 66h2618 в 2022 г. (табл. 3).

На опытных вариантах применения лазерной стимуляции в 2020–2021 гг. массовая доля сухого вещества (СВ) в зерне овса была выше контрольных на 0,3–1,1 п. п., в 2022 г. – у трех из пяти испытуемых образцов. По содержанию СВ в зерне все образцы соответствовали первому классу.

В условиях вегетационного периода 2020 г. содержание азота и сырого протеина (СП) в СВ зерна было низким и не соответствовало первому классу по ГОСТу ни в одном из вариантов, в 2021–2022 гг., напротив, все варианты соответствовали первому классу (табл. 4). Однако надо отметить, что на вариантах применения облучения в 2020 г. у сортов Немчиновский 61, Залп и Лев в опытных образцах содержание СП было выше на 0,21–0,75 п. п.

Таблица 3. Семенная продуктивность и содержание сухого вещества в зерне линий и сортов овса, 2020–2022 гг.

Вариант	Урожайность зерна, т/га			Массовая доля сухого вещества (СВ), %		
	Год			Год		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Овес голозерный						
Линия 2/3h2267	5,9	3,28	4,43	89,0	90,2	87,4
Линия 2/3h2267 облучение	4,2	0,79	3,97	89,4	90,9	88,2
Немчиновский 61	5,3	2,44	3,72	90,1	90,2	88,9
Немчиновский 61 облучение	4,3	1,43	3,67	90,5	90,9	88,2
Линия 66h2618	4,5	1,25	2,51	88,7	90,5	87,4
Линия 66h2618 облучение	3,8	1,18	2,98	89,7	91,1	87,5
НСР ₀₅	1,16	0,222	0,306			
Овес пленчатый						
Залп	9,4	2,86	5,32	90,7	90,0	87,3
Залп облучение	8,6	1,11	3,91	91,0	91,1	87,3
Лев	6,0	2,95	4,96	89,2	90,5	88,2
Лев облучение	7,4	3,61	3,2	90,2	90,8	87,7
НСР ₀₅	0,56	0,164	0,53			
ГОСТ 53901-2010 1 класс					Более 86%	

Высокая урожайность овса сорта Лев при облучении в 2021 г. привела к снижению качества зерна по сравнению с контролем: содержание СП ниже на 2,3 п. п. Такая закономерность по годам отмечена в разрезе сортов: ниже урожайность – выше содержание сырого протеина.

Облучение посевов овса в 2020 г. проведено в межфазный период «кущение – выход в трубку», в 2022 г. – в фазе выхода в трубку, на фоне высоких температур и при дефиците осадков. Растения в период интенсивного роста и повышенных требований к питанию получили сразу несколько факторов стресса: облучение, засуха, экстремально высокие температуры. Очевидно, что ранние фазы вегетации более предпочтительны для проведения лазерной стимуляции. В сезоне 2022 г. обработку провели с опозданием из-за технической задержки на получение разрешения для полетов БПЛА в связи с ужесточением регламентов. Поэтому четко прослеживаемых закономерностей не выявлено. Однако можно отметить, что стимуляция лазерным излучением положительно влияет на качественные характеристики – содержание сырого протеина, обменной энергии и кормовых единиц в зеленой массе, содержание сухого вещества и сырого протеина в зерне при раннем проведении обработки.

Таблица 4. Качественные характеристики зерна линий и сортов овса (содержание в СВ), 2020–2022 гг.

Вариант	Массовая доля азота, %			Массовая доля сырого протеина (СП), %			Массовая доля сахара, %			Массовая доля крахмала, %		
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Овес голозерный												
Линия 2/3h2267	1,23	2,24	2,39	7,69	14,00	14,94	3,3	2,5	1,5	41,4	25,5	30,3
Линия 2/3h2267 облучение	1,17	2,79	2,41	7,31	14,47	15,09	2,8	2,2	2,1	49,9	27,5	22,5
Немчиновский 61	1,25	2,42	2,56	7,81	15,18	16,03	3,2	2,3	2,3	40,1	22,0	29,2
Немчиновский 61 облучение	1,28	3,18	2,77	8,02	19,87	17,29	3,0	2,5	2,2	39,8	25,3	31,9
Линия 66h2618	1,28	2,83	2,65	8,0	17,68	16,59	3,3	2,4	2,3	41,5	31,1	26,0
Линия 66h2618 облучение	1,22	2,93	2,61	7,63	18,32	16,29	2,9	2,4	2,8	35,1	28,1	24,8
НСР ₀₅												
Овес пленчатый												
Залп	1,12	2,32	2,13	7,02	14,51	13,32	3,1	2,1	1,2	36,4	22,0	28,0
Залп облучение	1,16	2,47	2,12	7,25	15,43	13,24	3,3	2,2	1,3	37,1	18,9	29,7
Лев	0,93	2,95	2,12	5,81	18,44	13,25	1,8	2,2	2,0	35,1	13,5	19,4
Лев облучение	1,05	2,58	2,17	6,56	16,11	13,55	3,1	2,2	1,7	36,1	19,4	27,4
ГОСТ53901-2010 1 класс				Более 12%								

Однолетние интродуцированные культуры

Посев интродуцированных культур (проса посевного Спутник, могара Степной маяк, чумизы Оля, пайзы Стапайз, суданской травы Землячка, сорго сахарного Галия) был проведен 12 мая 2021 г. и 18 мая 2022 г.

Лазерная обработка в 2021 г. была проведена 28 мая на посевах в период всходов. В 2022 г. в конце июня на момент проведения лазерной стимуляции растения находились в фазе кущения и роста у просовых, сорговые имели 3–5 листьев (табл. 5–7).

Таблица 5. Даты наступления фаз развития у проса посевного и могара в 2021–2022 гг.

Фаза развития	Просо посевное Спутник		Могар Степной маяк	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.
Всходы	31 мая	06 июня	31 мая	06 июня
Кущение	21 июня	28 июня	–	28 июня
Выход в трубку	07 июля	05 июля	07 июля	05 июля
Выметывание	15 июля	13 июля	15 июля	25 июля
Цветение	21 июля	25 июля	21 июля	04 августа
Образование семян	–	–	12 августа	–
Созревание	26 августа	29 августа	07 сентября	05 сентября
Заморозок	17 сентября	05 сентября	17 сентября	05 сентября

Таблица 6. Даты наступления фаз развития у пайзы и чумизы в 2021–22 гг.

Фаза развития	Пайза Стапайз		Чумиза Оля	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.
Всходы	31 мая	06 июня	31 мая	06 июня
Кущение	01 июля	28 июня	01 июля	28 июня
Выход в трубку	15 июля	04 августа	07 июля	13 июля
Выметывание	12 августа	19 августа	21 июля	04 августа
Цветение	26 августа	29 августа	12 августа	19 августа
Образование семян	–	05 сентября	–	–
Созревание	Частичное	–	20 сентября	05 сентября
Заморозок	17 сентября	05 сентября	17 сентября	05 сентября

АГРОНОМИЯ

Таблица 7. Даты наступления фаз развития у сорго сахарного и суданской травы в 2021–2022 гг.

Фаза развития	Сорго сахарное Галия		Суданская трава Землячка	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.
Всходы	31 мая	06 июня	31 мая	06 июня
Кущение	07 июля	05 июля	01 июля	05 июля
Выход в трубку	15 июля	25 июля	15 июля	25 июля
Выметывание	26 августа	19 августа	12 августа	19 августа
Цветение	07 сентября	29 августа	26 августа	29 августа
Образование семян	–	–	–	–
Созревание	–	–	–	–
Заморозок	17 сентября	05 сентября	17 сентября	05 сентября

Медленный рост на начальном этапе является биологической особенностью интродуцентов. К концу июня в течение двух лет наблюдений высота растений не превышала 15–20 см. На момент отбора проб зеленой массы высота просовых культур была в диапазоне 87–115 см в 2021 г., в 2022 г. растения были ниже – 57–79 см. Растения сорго сахарного сорта Галия в 2021 г. достигали 124 см, суданской травы линии Землячка – 160–164 см, в 2022 г. высота сорго и суданской травы не превышала метровой отметки (табл. 8).

Таблица 8. Высота, урожайность и качественные характеристики зеленой массы интродуцированных растений в 2021 и 2022 гг. при уборке на зеленый корм

Культура, сорт, вариант опыта	Высота, см		Урожайность зеленой массы, т/га		В сухом веществе								Массовая доля сухого вещества (СВ), %	
					массовая доля сырого протеина (СП), %		массовая доля сырой клетчатки (СК), %		количество ОЗ, МДЖ/кг		количество кормовых единиц (КЕ), кг/кг			
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.
Просо Спутник	107	87,6	16,5	25,4	8,03	9,23	31,3	30,1	9,37	9,58	0,71	0,74	28,8	28,0
Просо Спутник облучение	87	69,0	12,8	19,3	7,05	5,58	31,6	27,8	9,31	10,00	0,70	0,81	29,6	28,9
Могар Степной маяк	115	78,6	24,8	23,1	7,62	8,19	37,6	32,7	8,23	9,11	0,55	0,67	32,9	26,4
Могар Степной маяк облучение	102	72,8	20,8	14,9	7,72	13,09	39,2	34,7	7,94	8,75	0,51	0,62	29,6	24,7
Чумиза Оля	104	68,4	19,9	20,1	9,82	12,59	36,6	29,8	8,41	9,64	0,57	0,75	27,5	17,7
Чумиза Оля облучение	102	61,2	22,2	13,8	7,99	5,24	36,3	32,7	8,47	9,11	0,58	0,67	28,2	24,0
Пайза Стапайз	92	63,6	25,2	14,9	8,73	11,11	34,3	27,9	8,83	9,98	0,63	0,81	22,1	17,2
Пайза Стапайз облучение	91	57,2	26,6	7,6	8,63	9,68	33,5	29,1	8,97	9,76	0,65	0,77	23,0	21,2
Суданская трава Землячка	164	95,4	20,2	22,0	7,38	9,12	33,3	30,9	9,01	9,44	0,66	0,72	22,0	20,3
Суданская трава Землячка облучение	160	87,2	17,2	7,7	6,22	6,43	33,9	28,5	8,90	9,87	0,64	0,79	23,9	20,7
Сорго сахарное Галия	124	79,0	21,2	23,8	6,17	13,57	30,3	27,7	9,55	10,01	0,74	0,81	20,6	16,7
Сорго сахарное Галия облучение	124	72,8	25,2	11,5	6,15	7,81	29,7	27,2	9,65	10,10	0,75	0,83	18,5	20,7

За два года исследований высота растений, подвергшихся лазерной обработке, в период проведения укоса (на зеленую массу, сено, сенаж) была ниже, чем на контрольных вариантах. У более раннеспелых культур – проса Спутник и могоара Степной маяк, разница в высоте растений более значительна: от 5,6–18,6 см (2022 г.) до 13–20 см (2021 г.); у более поздних культур разница в высоте стерта и составляла 0–4 см в 2021 г. и 6,2–8,2 см в 2022 г.

У раннеспелых культур – проса Спутник, могоара Степной маяк, а также у суданской травы линии Землячка в течение двух лет отмечено снижение урожайности зеленой массы на вариантах облучения. У проса Спутник и суданской травы Землячка на варианте с облучением отмечено также снижение содержания сырого протеина, у могоара Степной маяк, напротив, на варианте с лазерной стимуляцией отмечено увеличение СП и снижение энергетических характеристик корма (ОЭ и КЕ).

В 2021 г. на поздних культурах – пайзе Стапайз, чумизе Оля, сорго сахарном Галия при облучении отмечено увеличение урожайности зеленой массы. У сорго увеличение составляет 18,9% (4 т/га), у чумизы – 11,5% (2,3 т/га), у пайзы – 5,6% (1,4 т/га). В 2022 г. урожайность зеленой массы этих культур при лазерной обработке была меньше в 1,4–2,1 раза. У пайзы, чумизы и сорго содержание СП также было меньше при лазерной обработке в оба года исследований. При этом отличия в питательной ценности кормов, подвергшихся облучению, от контрольных незначительны.

Выводы

1. Проведенные исследования показали большую эффективность применения лазерной стимуляции при обработке в ранние фазы развития (всходы – начало кущения). В этот период растения максимально эффективно используют ресурс, регулируя процессы анаболизма. Опоздание с проведением лазерной стимуляции отрицательно влияет на растения.

2. Среди линий и сортов овса толерантностью к лазерному облучению выделилась линия 66h2618: урожайность зеленой массы при облучении была выше на 3–86%, семян – от –5% до +18,7%.

3. У однолетних интродуцированных трав повышение урожайности зеленой массы отмечено у поздних культур (на 5–18% по сравнению с контролем) при проведении лазерной стимуляции в ранние сроки.

4. При облучении на большинстве вариантов увеличивается содержание сухого вещества в зеленой массе и зерне.

Следует отметить, что данный метод перспективен в условиях экологизации сельскохозяйственного производства, так как видны отклонения в качественных показателях зеленой массы и семян без применения агрохимикатов.

При соблюдении сроков проведения эксперимента в последующем возможно выявить закономерности, позволяющие определить его эффективность.

Список источников

1. Архипов М.В., Данилова Т.А., Тюкалов Ю.А. и др. Основные направления интенсификации и модернизации кормопроизводства Северо-Западного федерального округа России // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. 2015. № 4(31). С. 19–26.

2. Будаговский А.В., Будаговская О.Н. Краткая история агрофотоники // Наука и Образование. 2021. Т. 4, № 3. С. 101.

3. Будаговский А.В., Будаговская О.Н., Мищенко А. Лазерные технологии для растениеводства // Субтропическое и декоративное садоводство. 2014. № 51. С. 207–214.
4. Жученко А.А. Адаптивная стратегия устойчивого развития сельского хозяйства России в XXI веке. Теория и практика; в 2 т. Москва: ООО «Издательство Агрорус». 2009–2011. Т. 1. 816 с.
5. Маринченко Т.Е. Перспективные биопрепараты для растениеводства // Современные технологии в условиях защищенного грунта: сборник Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции (Новосибирск, 23–24 сентября 2021 г.). Новосибирск: ИЦ Новосибирского ГАУ «Золотой колос», 2021. С. 32–44.
6. Маслова М.В., Грошева Е.В., Будаговский А.В. и др. Влияние лазерного облучения на прорастание семян // Инновационные направления научных исследований в земледелии и животноводстве как основа развития сельскохозяйственного производства: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием и Всероссийской Школы молодых ученых (Белгород, 24–25 июня 2021 г.). Белгород, ООО «Константа»; ФГБНУ «Белгородский Федеральный аграрный научный центр РАН», 2021. С. 60–62.
7. Перспективы использования инновационных форм удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений в агротехнологиях сельскохозяйственных культур: материалы докладов участников 10-й научно-практической конференции «Анапа-2018» (Анапа, 03–07 сентября 2018 г.). Москва: ООО «Плодородие», 2018. 244 с.
8. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечерноземной зоны Российской Федерации до 2030 года. Версия 2.0.; под ред. Митина С.Г., Иванова А.Л. Москва: МБА, 2021. 400 с.
9. Севостьянова Н.Н., Лебедев И.В., Лебедева В.В. и др. Инновационный подход к автоматизированной фотоактивации посевных площадей посредством БПЛА с целью стимуляции роста культур // Информатика и автоматизация. 2021. Т. 20, № 6. С. 1395–1417. DOI: 10.15622/ia.20.6.8.
10. Севостьянова Н.Н., Янин А.П., Лебедев И.В. Лазерное излучение как инструмент стимуляции роста растений // Теория и практика мировой науки. 2021. № 8. С. 29–33.
11. Тихонович И.А., Кожемяков А.П., Чеботарь В.К. и др. Биопрепараты в сельском хозяйстве: методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве. Москва: Россельхозакадемия, 2005. 153 с.
12. Филина В.С., Севостьянова Н.Н., Даниловских М.Г. Применение лазерного излучения для стимуляции роста растений // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20, № 5. С. 767–769. DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-5-767-769.
13. Черкашин В.Н. Концепция биологического земледелия // Бюллетень СНИИСХ (ФГБНУ Ставропольский НИИСХ). 2016. № 8. С. 282–288.
14. Budagovsky A.V., Solovykh N.V., Yankovskaya M.B. et al. Effect of spatial coherence of light on the photoregulation processes in cells // Physical Review E. 2016. Vol. 94(1). Article no. 012411. DOI: 10.1103/PhysRevE.94.012411.
15. Podleśny J., Stochmal A., Podlesna A. et al. Effect of laser light treatment on some biochemical and physiological processes in seeds and seedlings of white lupine and faba bean // Plant Growth Regulation. 2012. Vol. 67(3). Pp. 227-233. DOI: 10.1007/s10725-012-9681-7.
16. Sevostyanova N.N., Pchelina E.A., Gordievskaja V.O. et al. Effect of laser irradiation on the processes involved in growth of mustard and radish seeds // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Series "International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management". 2020. Vol. 613. Article no. 012136. DOI: 10.1088/1755-1315/613/1/012136.

References

1. Arkhipov M.V., Danilova T.A., Tyukalov Yu.A. et al. Main directions of intensification and modernization of feed production in the North-Western Federal District of Russia. *Bulletin of Northern Trans-Ural State Agricultural University*. 2015;4(31):19-26. (In Russ.).
2. Budagovsky A.V., Budagovskaya O.N. Brief history of agrophotonics. *Science and Education*. 2021;4(3):101. (In Russ.).
3. Budagovsky A.V., Budagovskaya O.N., Mishchenko A. Laser technologies for plant growing. *Subtropical and Ornamental Horticulture*. 2014;51:207-214. (In Russ.).
4. Zhuchenko A.A. Adaptive strategy for sustainable development of agriculture in Russia in the XXI century. Theory and practice; in 2 vols. Moscow: Agrorus Publishing House. 2009-2011;1. 816 p. (In Russ.).
5. Marinchenko T.E. Promising biological products for crop production. In: Modern technologies in protected ground conditions: Proceedings of the National (All-Russian) Research-to-Practice Conference (Novosibirsk, September 23-24, 2021). Novosibirsk: Zolotoy Kolos Publishers, Novosibirsk State Agrarian University; 2021:32-44. (In Russ.).

6. Maslova M.V., Grosheva E.V., Budagovsky A.V. et al. The effect of laser irradiation on seed germination. In: Innovative directions of scientific research in agriculture and animal husbandry as a basis for the development of agricultural production: Proceedings of the All-Russian Research-to-Practice Conference with international participation and the All-Russian School of Young Scientists (Belgorod, June 24-25, 2021). Belgorod: Constanta Publishers; Belgorod Federal Agrarian Research Centre RAS Publishers; 2021:60-62. (In Russ.).
7. Prospects for the use of innovative forms of fertilizers, plant protection products and growth regulators in agricultural technologies of agricultural crops: Collection of reports of participants of the 10th Research-to-Practice Conference "Анапа-2018" (Anapa, September 03-07, 2018). Moscow: Plodorodie Publishers; 2018. 244 p. (In Russ.)
8. Recommendations for the development of the Agro-Industrial Complex and rural areas of the Non-Chernozem Region of the Russian Federation until 2030. Version 2.0.; ed. Mitin S.G., Ivanov A.L. Moscow: MBA Publishers; 2021. 400 p. (In Russ.).
9. Sevostyanova N.N., Lebedev I.V., Lebedeva V.V. et al. An innovative approach to automated photo-activation of crop acreage using UAVs to stimulate crop growth. *Informatics and Automation*. 2021;20(6): 1395-1417. DOI: 10.15622/ia.20.6.8. (In Russ.).
10. Sevostyanova N.N., Yanin A.P., Lebedev I.V. Laser radiation as a tool for stimulating plant growth. *Theory and Practice of the World Science*. 2021;8:29-33. (In Russ.).
11. Tikhonovich I.A., Kozhemyakov A.P., Chebotar V.K. et al. Biological products in agriculture: Methodology and practice of application of microorganisms in crop production and feed production. Moscow: Roselkhozakademiya Publishers; 2005. 154 p. (In Russ.).
12. Filina V.S., Sevostyanova N.N., Danilovskikh M.G. Application of laser radiation to stimulate plant growth. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2020;20(5):767-769. DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-5-767-769. (In Russ.).
13. Cherkashin V.N. Concept of biological farming. *Bulletin of SNIISH (Stavropol Research Institute of Agricultural Sciences)*. 2016;8:282-288. (In Russ.).
14. Budagovsky A.V., Solovykh N.V., Yankovskaya M.B. et al. Effect of spatial coherence of light on the photoregulation processes in cells. *Physical Review E*. 2016;94(1):012411. DOI: 10.1103/PhysRevE.94.012411.
15. Podleśny J., Stochmal A., Podlesna A. et al. Effect of laser light treatment on some biochemical and physiological processes in seeds and seedlings of white lupine and faba bean. *Plant Growth Regulation*. 2012;67(3):227-233. DOI: 10.1007/s10725-012-9681-7.
16. Sevostyanova N.N., Pchelina E.A., Gordievskaya V.O. et al. Effect of laser irradiation on the processes involved in growth of mustard and radish seeds. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Series "International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management". 2020;613:012136. DOI: 10.1088/1755-1315/613/1/012136.

Информация об авторах

Е.П. Шкодина – старший научный сотрудник, Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», kriempereoal@mail.ru.

С.Ю. Жукова – старший научный сотрудник, Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», zhukova.s@spcras.ru.

В.А. Яковлева – старший научный сотрудник, Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», yakovleva.v@spcras.ru.

Information about the authors

E.P. Shkodina, Senior Research Scientist, Novgorod Research Agriculture Institute – Branch of St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, kriempereoal@mail.ru.

S.Yu. Zhukova, Senior Research Scientist, Novgorod Research Agriculture Institute – Branch of St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, zhukova.s@spcras.ru.

V.A. Yakovleva, Senior Research Scientist, Novgorod Research Agriculture Institute – Branch of St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, yakovleva.v@spcras.ru.

Статья поступила в редакцию 08.08.2024; одобрена после рецензирования 26.09.2024; принята к публикации 10.10.2024.

The article was submitted 08.08.2024; approved after reviewing 26.09.2024; accepted for publication 10.10.2024.

© Шкодина Е.П., Жукова С.Ю., Яковлева В.А., 2024