Научная статья

Original article

УДК 633.171.1

doi: https://doi.org/10.55186/25880209_2026_10_5_55

edn: WULPWB

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОСЕВОВ ПРОСА (PANICUM MILIACEUM) В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF PROSO MILLET (PANICUM MILIACEUM) CROPS IN THE CRYOLITHOZONE

Осипова Валентина Валентиновна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой агрономии, Октемский филиал ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» (678011 Россия, Республика Саха (Якутия), Хангаласский район, с. Октемцы, пер. Моисеева, д. 16), ORCID:http://orcid.org/0000-0002-7738-5485, luzerna_2008@mail.ru

Кардашевская Мария Иннокентьевна, преподаватель кафедры агрономии, аспирант, Октемский филиал ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» (678011 Россия, Республика Саха (Якутия), Хангаласский район, с. Октемцы, пер. Моисеева, д. 16), ORCID:http://orcid.org/ 6079-4776, marikar1982@mail.ru

Амбросова Юлия Германовна, аспирант, Октемский филиал ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» (678011 Россия, Республика Саха (Якутия), Хангаласский район, с. Октемцы, пер. Моисеева, д. 16), ORCID:http://orcid.org/1963-5347, Juliaemelyanova090@gmail.com

Valentina V. Osipova, doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Agronomy, Oktemsky branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Arctic State Agrotechnological University" (678011 Russia, Republic of Sakha (Yakutia), Khangalassky district, Oktemtsy village, Moiseeva lane, 16), ORCID:http://orcid.org/0000-0002-7738-5485, luzerna_2008@mail.ru

Maria I. Kardashevskaya, teacher of the department of agronomy, graduate student, Oktemsky branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Arctic State Agrotechnological University" (678011 Russia, Republic of Sakha (Yakutia), Khangalassky district, Oktemtsy village, Moiseeva lane, 16), ORCID: http://orcid.org/ 6079-4776, marikar1982@mail.ru

Yulia G. Ambrosova, graduate student, Oktemsky branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Arctic State Agrotechnological University" (678011 Russia, Republic of Sakha (Yakutia), Khangalassky district, Oktemtsy village, Moiseeva lane, 16), ORCID: http://orcid.org/1963-5347, Juliaemelyanova090@gmail.com

Аннотация. В условиях криолитозоны на мерзлотных пойменных почвах Республики Саха (Якутия) изучалось влияние агроприемов на развитие листовой поверхности проса посевного, возделываемого на кормовую продуктивность. Опыты проводились с 2024 по 2026 гг. в учебном хозяйстве Октемского филиала Арктического ГАТУ. Целью исследований было изучение характера развития листовой поверхности и эффективности ее деятельности в посевах проса в зависимости от норм высева семян и минерального питания. Изучался сорт проса посевного Кулундинское по двум факторам: нормам высева семян проса – 20, 25, 30, 35,40 кг/га и дозам внесения полного минерального удобрения - NPK по 60,0; 70; 80 и 90 кг д.в./га. Установлено, что наибольшая площадь листьев проса посевного формируется при норме высева семян 30,0 кг/га, среднем за три года этот показатель составил 21,5 тыс. м²/га, что на 28,7% выше контроля.

Дальнейшее повышение нормы высева до 35,0 и 40,0 кг/га приводит к снижению площади листьев (20,0 и 18,5 тыс. м²/га). Наивысший выход кормовой массы проса получен при норме высева 25,0 кг/га 37,3 т/га, что на 10,3% выше контроля. При внесении NPK по 70,0 кг д.в./га достигается наибольшая листовая поверхность посевов (21,4 тыс. м²/га, что на 31,3% выше контроля) и наивысший выход кормовой массы проса посевного -43,5 т/га (на 35,9% выше контроля).

Abstract. In the cryolithozone, a study was conducted on the permafrost-affected floodplain soils of the Republic of Sakha (Yakutia) to examine the influence of agricultural practices on the leaf surface development of proso millet (*Panicum miliaceum* L.) cultivated for forage production. The experiments took place from 2024 to 2026 at the training farm of the Oktemtsy branch of the Arctic State Agrotechnological University (Arctic GATU). The research aimed to investigate the patterns of leaf surface development and the efficiency of its activity in millet crops, depending on seeding rates and mineral nutrition. The 'Kulundinskoye' variety of proso millet was studied based on two factors: seeding rates (20, 25, 30, 35, and 40 kg/ha) and application rates of complete mineral fertilizer (NPK) at 60.0, 70, 80, and 90 kg of active ingredient per hectare. It was determined that the maximum leaf surface area for proso millet is achieved at a seeding rate of 30.0 kg/ha; the three-year average for this indicator was 21.5 thousand m²/ha, which is 28.7% higher than the control. Increasing the seeding rate further to 35.0 and 40.0 kg/ha results in a decrease in leaf surface area (to 20.0 and 18.5 thousand m²/ha, respectively). The highest yield of millet forage mass was obtained at a seeding rate of 25.0 kg/ha, reaching 37.3 t/ha—an increase of 10.3% over the control. Applying NPK at a rate of 70.0 kg of active ingredient per hectare results in the largest leaf surface area for the crop (21.4 thousand m²/ha, which is 31.3% higher than the control) and the highest yield of forage biomass for proso millet (43.5 t/ha, 35.9% higher than the control).

Ключевые слова: криолитозона, мерзлотные почвы, просо посевное, нормы высева семян, дозы удобрений, площадь листьев, урожайность

Keywords: cryolithozone, permafrost-affected soils, proso millet, seeding rates, fertilizer application rates, leaf area, crop yield

Введение

Фотосинтетическая деятельность растений зависит от многих факторов (температуры, влагообеспеченности, режима питания) и определяется интенсивностью усвоения углекислого газа листьями. Величины чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) травостоев укосного типа в условиях среднего увлажнения составляют 2,5-4,5 г/м^2 сухого вещества в сутки [6].

С возрастанием площади листовой поверхности чистая продуктивность фотосинтеза снижается, что дает основание говорить об оптимальной площади, при которой интенсивность фотосинтеза имеет высокие показатели и формируется максимальный урожай [3].

Как отмечает Л.Н. Алексеенко [1], важно ответить на вопрос: «Какова же должна быть оптимальная или, возможно, максимальная площадь листьев в травостое, чтобы сильное их затенение не привело к чрезмерному подавлению фотосинтетического процесса у растений и, как следствие, к снижению их продуктивности». Большое значение в решении этой задачи отводится разработке агротехнических приемов создания и оптимизации структуры посева кормовых культур.

В связи с этим, нами были проведены исследования по изучению фотосинтетической активности посевов проса при возделывании на корм. Была поставлена **цель:** изучить характер развития листовой поверхности и эффективности ее деятельности в посевах проса в зависимости от норм высева семян и минерального питания.

Центральная Якутия имеет суровый климат, но по запасам тепла, обилия малооблачных солнечных дней, быстрым нарастанием среднесуточных температур весной, высокой активностью солнечной радиации за вегетационный период вполне пригодна для успешного возделывания кормовых культур с относительно короткими вегетационными периодами [2]. Одним из перспективных культур в условиях криолитозоны для

возделывания на зеленую массу является просо посевное *(Panicum miliaceum)* [5, 7, 8, 9].

Просо – ценная крупяная и кормовая культура, отличающаяся высокой урожайностью и засухоустойчивостью [4, 7, 10]. В связи с этим особенно велика роль проса посевного (Panicum miliaceum) для засушливых районах .

Условия, материалы и методы

Экспериментальные исследования по изучению характера развития листовой поверхности проса в зависимости от агроприемов выращивания проводились в 2024-2026 гг. в учебном хозяйстве Октемского филиала Арктического ГАТУ.

Почвы участка мерзлотно-пойменные луговые супесчаные. Агрохимический состав почвы характеризуется низким содержанием гумуса 2,0 %, подвижного фосфора 189 мг/кг, подвижного калия 44 мг/кг, pH 8,3.

Учетная площадь делянок 25 $м^2$ в 4-х кратной повторности, размещение вариантов рендомизированное. Способ посева – рядовой с междурядьем 30 см.

Объектом исследований являлся сорт проса Кулундинское, рекомендованный в 11 регионе.

В опытах изучалось влияние на рост и развитие растений проса при возделывании на корм двух факторов: норм высева семян проса – 20, 25, 30, 35,40 кг/га и разных доз внесения полного минерального удобрения - NPK по 60,0; 70; 80 и 90 кг д.в./га.

Предшественником являлся чистый пар. Основная обработка почвы включала осеннюю вспашку на глубину 20–22 см. Весной проводили боронование для закрытия влаги и предпосевную культивацию.

Учеты и наблюдения проводились в соответствии с общепринятыми методиками [10].

Погодные условия в период проведения исследований

2024 год по обеспеченности влагой и теплом характеризовался как неблагоприятный для роста и развития полевых культур. Гидротермический

коэффициент составил около 0,27, что характеризует вегетационный период как сухой, жаркий в середине лета и относительно прохладный в конце вегетационного периода.

2025 год по обеспеченности влагой и теплом характеризовался как благоприятный для роста и развития полевых культур по сравнению с предыдущим годом. Гидротермический коэффициент был равен 0,7. Почвы участка мерзлотно-пойменные луговые супесчаные. Агрохимический состав почвы характеризуется низким содержанием гумуса 2,0%, подвижного фосфора – 189 мг/кг, подвижного калия – 44 мг/кг, pH 8,3.

В 2026 году гидротермический коэффициент составил 0,86, что характеризует вегетационный период как засушливый, и жаркий как в начале, так и в середине лета, и относительно прохдадный в конце лета. В целом за летний период, сумма активных температур воздуха выше +5°С насчитывается на уровне 1806,4°С при норме 1925,4°С, сумма активных температур выше +10°С достигла 1735,1°С. Осадки за вегетационный период при температуре воздуха выше +5°С составили всего 154,8 мм и при среднесуточной температуре воздуха выше +10° С всего 144,3 мм.

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования позволили установить, что наибольшая площадь листьев проса посевного формировалась при норме высева семян 30,0 кг/га (табл.1). В среднем за три года этот показатель составил 21,5 тыс. м²/га, что на 28,7% выше контроля. При увеличении нормы высева до 35,0 и 40,0 кг/га листовая площадь посевов проса снижалась и составляла соответственно 20,0 и 18,5 тыс. м²/га. Наименьшее значение данного показателя отмечено на контроле при норме 20,0 кг/га — 16,7 тыс. м²/га.

Таблица 1. Площадь листьев растений проса в зависимости от норм высева семян, тыс.м^2/га

№	Нормы высева семян, кг/га	Годы			В среднем по годам, тыс. м^2/га	В % к К
		2024	2025	2026		
1	20,0 - Контроль	16,5	15,8	17,7	16,7	0

2	25,0	17,0	16,9	18,5	17,5	104,8
3	30,0	21,4	19,6	23,5	21,5	128,7
4	35,0	19,3	19,0	21,6	20,0	119,8
5	40,0	18,6	17,8	19,0	18,5	110,8
	$НСР_{05}$	0,98	0,92	1,04	0,96	-

Как видно из таблицы 2, максимальная урожайность кормовой массы была получена при норме высева 25,0 кг/га и составила в среднем 37,3 т/га, что на 10,3% выше контроля. При норме высева 30,0 кг/га урожайность зеленой массы проса снизилась до 32,1 т/га, а при 35,0 и 40,0 кг/га — до 32,6 и 32,1 т/га соответственно. На контроле урожайность кормовой массы проса посевного составила 33,8 т/га. Таким образом, можно предположить, что достижение наибольшей листовой площади посевов проса (21,5 тыс. м²/га) при норме высева 30 кг/га не обеспечивает наивысший выход кормовой массы. Оптимальной нормой высева семян проса посевного для получения высокой кормовой продуктивности оказалась норма высева в 25,0 кг/га.

Таблица 2. Урожайность зеленой массы проса в зависимости от норм высева семян, т/га

№	Нормы высева семян, кг/га	Годы			В среднем по годам, т/га	В % к К
		2024	2025	2026		
1	20,0 - К	29,7	25,8	46,0	33,8	0
2	25,0	31,4	28,0	52,4	37,3	110,3
3	30,0	29,6	25,5	41,2	32,1	95,0
4	35,0	29,3	22,4	45,2	32,6	96,4
5	40,0	26,0	24,4	46,0	32,1	95,0
	$НСР_{05}$	1,95	1,56	3,05	0,96	-

По результатам проведенных опытов была установлена положительная зависимость площади листьев и урожайности зеленой массы проса от норм высева семян и уровня минерального питания, коэффициент корреляции составил r = 0,72 при регрессии R = 0,12 т/кг.

Из таблицы 3 видно, что внесение минеральных удобрений положительно влияло на формирование листовой поверхности посевов проса посевного. Наибольшая площадь листьев отмечена при внесении NPK по 70,0 кг д.в./га — 21,4 тыс. м²/га, что на 31,3% выше контроля. При дозах 80,0 и 90,0 кг

д.в./га площадь листьев была несколько ниже и составила 20,0 и 19,6 тыс. м²/га. На контроле без удобрений показатель равнялся 16,3 тыс. м²/га.

Таблица 3. Площадь листьев растений проса в зависимости от минерального питания, тыс.м^2/га

№	Норма удобрений, кг д.в-ва/га	Годы			В среднем по годам, тыс. м^2/га	В % к К
		2024	2025	2026		
1	Без удобрений - Контроль	15,3	16,0	17,5	16,3	0
2	NPK по 60,0	17,8	17,5	18,8	18,0	110,4
3	NPK по 70,0	22,0	19,6	22,7	21,4	131,3
4	NPK по 80,0	19,6	19,7	20,8	20,0	122,7
5	NPK по 90,0	19,7	18,6	20,6	19,6	120,2
	$НСР_{05}$	0,95	0,99	1,20	1,16	-

Максимальная урожайность зеленой массы проса (табл.4) также была получена при внесении NPK по 70,0 кг д.в./га — 43,5 т/га, что на 35,9% выше контроля. При дозе 60,0 кг д.в./га урожайность зеленой массы проса составила 41,5 т/га, а при 80,0 и 90,0 кг д.в./га — 32,6 и 32,1 т/га соответственно. Наименьшая урожайность кормовой массы проса посевного отмечена на варианте без удобрений — 32,0 т/га.

Таблица 4. Урожайность зеленой массы проса в зависимости от минерального питания, т/га

№	Норма удобрений, кг д.в-ва/га	Годы			В среднем по годам, т/га	В % к К
		2024	2025	2026		
1	Без удобрений - Контроль	28,0	25,2	42,8	32,0	0
2	NPK по 60,0	35,6	30,5	58,4	41,5	129,7
3	NPK по 70,0	36,8	32,6	61,0	43,5	135,9
4	NPK по 80,0	28,5	21,7	44,6	32,6	101,9
5	NPK по 90,0	26,5	23,8	40,7	32,1	100,3
	$НСР_{05}$	2,05	2,40	4,15	3,15	-

Выводы

В условиях мерзлотных пойменных почв Республики Саха (Якутия) на формирование площади листьев посевов и урожайности зеленой массы проса посевного существенное влияние оказывают как нормы высева семян, так и

минеральное питание растений. Наиболее эффективными для создания высокопродуктивных посевов проса посевного при возделывании на кормовую продуктивность оказались норма высева семян в 25,0 кг/га, по минеральному питанию — NPK 70,0 кг д.в./га.

Литература

1. Алексеенко Л. Н. Взаимосвязь структуры травостоя, фитоклиматических процессов в травостое луговых трав // Бюллетень МОИП. – 1965. – № 6. – С. 92-97.

2. Гаврилова М.К. Климат Центральной Якутии. — Новосибирск: Наука, 1973. 120 с.

3. Денисов Г.В., Осипова В.В. Фотосинтетическая деятельность посевов люцерны в условиях криолитозоны //Известия Международной академии аграрного образования. – 2013. - №16. – Т.1. – С. 19-22.

4. Кадычегов, А. Н. Сортоизучение проса в сухостепной зоне Республики Хакасия / А. Н. Кадычегов, Е. И. Говоркова // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. – 2019. – № 1(27). – С. 38-40.

5. Павлов, И. Я. (2017). "Агроэкологические аспекты возделывания проса". Российский журнал сельского хозяйства, 2017. - № 2, с. 87-93.

6. Посыпанов Г.С. Растениеводство. – М.: Высшая школа, 2006. – 612 с.

7. Сокурова, Л. Х. Селекция проса посевного на повышение продуктивности / Л. Х. Сокурова // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2023. – № 3(47).

8. Стречень, И. А. Источники хозяйственно-биологических признаков для селекции проса посевного / И. А. Стречень, А. С. Будько, Я. А. Титова // Приоритетные направления повышения эффективности, конкурентоспособности и устойчивости аграрной отрасли: Материалы Международной научной конференции, посвященной 105-летию ТатНИИСх ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, 10–11 июля 2025 года. – Санкт-Петербург: ООО Издательский дом "Сциентиа", 2025. – С. 132-136.

9. Федосеев, Д. Г., Бочкарев, Г. С. Потенциал проса посевного в системе кормопроизводства / Сельскохозяйственный вестник, 2018.- №3, с. 102-110.

10. Спиридонов Ю. Я., Будынков Н. И., Дудкин И. В. и др] Эффективность различных приемов борьбы с сорняками в посевах проса / Агрохимия. – 2021. – № 10. – С. 45-52.

References

1. Alekseenko L. N. (1965). The relationship between the structure of a grass stand and phytoclimatic processes within a meadow grass canopy. Bulletin of the Moscow Society of Naturalists (MOIP), no. 6, pp. 92–97.

2. Gavrilova, M.K. (1973). Climate of Central Yakutia. Novosibirsk: Nauka.

3. Denisov G. V., Osipova V. V.(2013). Photosynthetic activity of alfalfa crops in the cryolithozone. Proceedings of the International Academy of Agrarian Education,. no. 16. vol. 1, pp. 19–22.

4. Kadychegov A. N., Govorkova E. I. (2019). Variety testing of millet in the dry-steppe zone of the Republic of Khakassia. Bulletin of the N. F. Katanov Khakass State University, no. 1(27), pp. 38–40.

5. Pavlov, I. Ya. (2017). Agroecological Aspects of Proso Millet Cultivation. Russian Journal of Agriculture, no. 2, pp. 87–93.

6. Posypanov, G. S. (2006). Crop Production. Moscow: Vysshaya Shkola.

7. Sokurova, L. Kh. (2023). Breeding Proso Millet for Increased Productivity. Legumes and Cereal Crops, no. 3(47), pp. 42-45.

8. Strechen, I. A., Budko, A. S., & Titova, Ya. A. (2025). Sources of Economically Valuable Biological Traits for Proso Millet Breeding." In: Priority Directions for Improving the Efficiency, Competitiveness, and Sustainability of the Agricultural Sector: Proceedings of the International Scientific Conference Dedicated to the 105th Anniversary of the Tatar Research Institute of Agriculture (TatNIISh) of the Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, July 10–11, Saint Petersburg: Scientia Publishing House LLC, pp. 132–136.

9. Fedoseev, D. G., & Bochkarev, G. S. (2018). The Potential of Proso Millet in Forage Production Systems. Agricultural Bulletin, no. 3, pp. 102–110.

10. Spiridonov Yu. Ya., Budy`nkov N. I., Dudkin I. V. i dr] E`ffektivnost` razlichny`x priemov bor`by` s sornyakami v posevax prosa / Agroximiya. – 2021. – № 10. – S. 45-52.

© Осипова В.В., Кардашевская М.И., Амбросова Ю.Г., 2026. International agricultural journal, 2026, № 5, 210-220.