

ПАРАМЕТРЫ ФОТОСИНТЕЗА И ПРОДУКТИВНОСТЬ КРАМБЕ АБИССИНСКОЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА© 2024 г. Т. Я. Прахова¹, доктор сельскохозяйственных наук, И. В. Одрин²¹Федеральный научный центр лубяных культур,
170041, Тверь, Комсомольский просп., 17/56
E-mail: prakhova.tanya@yandex.ru²Пензенский государственный аграрный университет,
440014, Пенза, ул. Ботаническая, 30
E-mail: odrinilya@mail.ru

Исследования проводили с целью оценки формирования фотосинтетической деятельности крамбе абиссинской и её продуктивности в зависимости от некорневой подкормки регуляторами роста для оптимизации элементов агротехники культуры в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Экспериментальную работу проводили в 2021–2023 гг. Материалом для исследования была крамбе абиссинская сорта Деметра. Схема опыта включала следующие варианты: контроль (без обработки); некорневая обработка препаратами Блэкджек; Гумат К/Na; Циркон; Альбит в рекомендованных производителями дозах. Опрыскивание вегетирующих растений проводили в фазе начала бутонизации культуры. Использование регуляторов роста способствовало увеличению площади ассимиляционной поверхности на 6,2...8,9 тыс. м²/га, фотосинтетического потенциала – на 0,3...0,5 тыс. м² × сут./га, чистой продуктивности фотосинтеза – на 0,3...1,5 г/м² × сут. и индекса листовой поверхности – на 0,17...0,35, по сравнению с контролем. Наибольшая площадь листьев сформировалась в вариантах с некорневой обработкой регуляторами Блэкджек и Гумат К/Na (69,1 и 70,3 тыс. м²/га соответственно). Самая высокая величина фотосинтетического потенциала отмечена в варианте с применением Гумат К/Na (3,40 млн м²/га × сут.). Наибольшую чистую продуктивность фотосинтеза (4,95 г/м² × сут.) наблюдали при обработке Цирконом. Коэффициент использования ФАР растениями крамбе составлял в зависимости от применяемых препаратов 1,28...1,78 % при величине этого показателя в контроле 1,16 %. Урожайность крамбе в среднем за 2021–2023 гг. составила 1,69...1,98 т/га. Применение регуляторов роста способствовало её существенному увеличению, прибавка составила 0,21...0,29 т/га. Наиболее эффективными были препараты Циркон и Блэкджек, применение которых обеспечило формирование наибольшей урожайности семян – 1,98 и 1,94 т/га соответственно.

PHOTOSYNTHESIS PARAMETERS AND PRODUCTIVITY OF CRAMBE ABYSSINICA WHEN USING GROWTH REGULATORST. Ya. Prakhova¹, I. V. Odrin²¹Federal Scientific Center of Bast-Fiber Crops Breeding,
170041, Tver', Komsomol'skii prosp., 17/56
E-mail: prakhova.tanya@yandex.ru²Penza State Agrarian University,
440014, Penza, Botanicheskaya ul., 30
E-mail: odrinilya@mail.ru

The article presents an assessment of the formation of photosynthetic activity of crambe abyssinica and its productivity depending on foliar feeding with growth regulators to optimize the elements of its cultivation technology in the forest-steppe conditions of the Middle Volga region. Experimental work was carried out in 2021–2023. The object of research was the crambe abyssinica variety Demetra. The experimental design included the following options: control (without treatment); Blackjack (1.0 l/ha); Humate K/Na (1.0 l/ha); Zircon (1.0 l/ha); Albit (0.5 l/ha). The study conditions were different, the GTC varied from 0.80 to 1.29. Foliar treatment with preparations was carried out at the beginning of the budding phase of the crop. The use of growth regulators had a positive effect on the photosynthetic activity of crambe crops. Their use contributed to an increase in the assimilation surface area by 6.2...8.9 thousand m²/ha, photosynthetic potential by 0.3...0.5 thousand m² × day/ha, net photosynthetic productivity by 0.3...1.5 g/m² × day and leaf surface index by 0.17...0.35 compared with the control. The largest area of leaves was formed during the flowering phase of crambe and was noted in variants with foliar treatment with the regulators Blackjack and Humate K/Na (69.1 and 70.3 thousand m²/ha). The maximum value of photosynthetic potential was noted in the variant with the use of Humate K/Na (3.40 million m²/ha × day). The highest indicator of net photosynthetic productivity (4.95 g/m² × day) was observed in the variant treated with Zircon. The greatest increase in this parameter was observed against the background of the Zircon and Blackjack regulators, which amounted to 2.44. The coefficient of PAR use by crambe plants was 1.28...1.78 % depending on the treatment used, with 1.16 % in the control variant. The average crambe yield for 2021–2023 was 1.69...1.98 t/ha. The use of growth regulators contributed to a significant increase in yield, the increase was 0.21...0.29 t/ha. The most effective were the Zircon and Blackjack regulators, the use of which ensured the formation of the highest seed yield – 1.98 and 1.94 t/ha, respectively.

Ключевые слова: крамбе абиссинская (*Crambe abyssinica* H.), регуляторы роста, листовая подкормка, урожайность, фотосинтетическая деятельность, площадь листьев, фотосинтетический потенциал, чистая продуктивность фотосинтеза.

Keywords: *Crambe abyssinica* H., growth regulators, foliar feeding, productivity, photosynthetic activity, leaf area, photosynthetic potential, net photosynthetic productivity.

Крамбе абиссинская (*Crambe abyssinica* H.) – нетрадиционная масличная культура, ценность которой определяют, в первую очередь, высокая семенная продуктивность, валовой сбор растительного масла и ши-

рокий диапазон применения [1, 2]. В семенах крамбе содержится до 32,0...44,0 % масла с различным спектром использования – в химической и перерабатывающей промышленности [3], в медицине и парфюмерии [4],

в качестве источника для биотоплива [2, 5], а также в пищевой промышленности – для приготовления майонеза и маргарина [4]. С агрономической точки зрения, крамбе представляет интерес как сидеральная культура, которую, наравне с горчицей и редькой, относят к хорошим фитосанитарам для почв, поскольку она обладает большим потенциалом фитоэкстракции и фитостабилизации тяжелых металлов [4, 6].

По биологическим свойствам крамбе неприхотливая, засухоустойчивая и пластичная культура, которая хорошо адаптируется к различным условиям окружающей среды [1, 2, 6]. Несмотря на это, она остается малораспространенной культурой, что связано в первую очередь с недостаточностью развития рынка сбыта и изученностью особенностей технологии выращивания культуры.

Ряд авторов считают, что формирование высоких урожаев любой сельскохозяйственной культуры возможно при создании благоприятных условий для роста и развития растений, в которых в полной мере раскрывались бы потенциальные возможности их фотосинтетической деятельности в агроценозе [7, 8]. Результаты исследований, проведенных с различными сельскохозяйственными культурами, свидетельствуют, что их продуктивность определяют оптимальные соотношения отдельных элементов фотосинтеза, к которым относят размер листовой поверхности [9, 10], фотосинтетический потенциал и продуктивность фотосинтеза [11, 12]. С другой стороны, такие соотношения, и в целом интенсивность фотосинтетической деятельности, зависят от формирования посевов с хорошей структурой агроценоза, который в свою очередь определяют ряд внешних и внутренних факторов [13, 14], а также агротехнологические приемы возделывания культуры [15, 16].

Сегодня для формирования продуктивного агроценоза культурных растений, их устойчивости к абиотическим и биотическим факторам все активнее используют инновационные подходы, в том числе обработку семян и растений микроэlementными удобрениями и регуляторами роста [17, 18]. По данным многих исследователей, такие препараты отличаются не только высокой эффективностью и экологической безопасностью, но и увеличивают интенсивность фотосинтеза, способствуют росту продуктивности агрокультур. Под влиянием биостимуляторов и микроэлементов усиливается интенсивность и продуктивность фотосинтеза, изменяется структура урожая [19]. Положительный эффект применения микроудобрений проявляется в интенсификации роста вегетативной массы, улучшении динамики ростовых процессов и положительном воздействии на образование основных элементов структуры урожая и, как следствие, урожайности в целом [10]. Однако диапазон эффективности таких агрохимикатов может изменяться в зависимости от климатических условий возделывания культуры.

Цель исследований – оценка формирования фотосинтетической деятельности крамбе абиссинской и ее продуктивности при некорневой подкормке регуляторами роста в условиях лесостепи Среднего Поволжья для оптимизации элементов технологии возделывания культуры.

Методика. Работу проводили в 2021–2023 гг. на опытном поле Федерального научного центра лубяных культур (обособленное подразделение Пензенский научно-исследовательский институт сельского хозяйства), районный пос. Лунино, Пензенская область. Материалом для исследований была крамбе абиссинская сорта Деметра.

Схема опыта включала следующие варианты: контроль (без обработки); препараты Блэкджек (1,0 л/га); Гумат К/Na (1,0 л/га); Циркон (1,0 л/га); Альбит (0,5 л/га). Некорневые обработки регуляторами роста проводили в фазе начала бутонизации ранцевым опрыскивателем с расходом рабочего раствора из расчета 100 л/га.

Блэкджек – природный органический биостимулятор нового поколения на основе гумина, гуминовых, ульминовых и фульвокислот. Циркон – природный биостимулятор растительного негормонального происхождения, изготовлен на основе лекарственного растения эхинацеи пурпурной, содержит комплекс гидроксикоричных кислот и производных от них, а также спирт в качестве консерватора. Гумат К/Na – биостимулятор роста на основе высокоактивных гуминовых веществ, содержащий макро- и микроэлементы в хелатной форме в комплексе с аминокислотами и витаминами [16, 20]. Альбит, ТПС – комплексный эффективный биопрепарат, универсальный регулятор роста растений со свойствами фунгицида и комплексного удобрения [11].

Закладку опыта, все фенологические наблюдения, учеты и оценку урожайности культуры выполняли в соответствии с методическими указаниями по проведению опытов с масличными культурами [21].

Предшественник – чистый пар. Посев крамбе осуществляли в 1 декаде мая сеялкой СН-13, рядовым способом (ширина междурядий – 15 см), норма высева составляла 2,5 млн всхожих семян на 1 га. Площадь опытной делянки 20 м², повторность – четырехкратная. В процессе вегетации выполняли ручное мотыжение дорожек, в делянках – ручную прополку сорняков. Уборку осуществляли прямым способом в фазе полной спелости культуры селекционным комбайном САМПО-130.

Почва опытного участка – чернозём выщелоченный среднемощный с содержанием гумуса в пахотном слое – 5,7 %, рН_{сол} – 4,9 ед. Количество легкогидролизуемого азота составляло 86,1 мг/кг (по Тюрину и Кононовой, ГОСТ 26951-86), подвижного фосфора – 132,1 мг/кг (по Чирикову, ГОСТ 2620491), калия – 107,7 мг/кг (по Чирикову, ГОСТ 26204-91).

Агроклиматические показатели в период вегетации крамбе за годы исследований контрастно различались. Вегетационный период в 2021 г. протекал в условиях недостаточного увлажнения, гидротермический коэффициент был равен 0,80. Всего выпало 144,5 мм осадков, или 84 % от среднегодового количества. При этом среднесуточные температуры достигали 21,2 °С, что на 1,6 °С выше климатической нормы. Вегетационный период культуры в 2022 г. протекал в условиях избыточного увлажнения, ГТК составлял 1,29. За период активной вегетации культуры выпало 182,4 мм осадков при среднесуточных температурах воздуха 17,0 °С. Условия 2023 г. были наиболее благоприятными для развития крамбе и характеризовались как умеренно-увлажненные (ГТК 1,02). Сумма осадков составила 169,6 мм, температура 18,0 °С.

Параметры фотосинтетических показателей (площадь листовой поверхности, фотосинтетический потенциал (ФП), чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ), индекс листовой поверхности) определяли согласно методике, представленной А. А. Ничипоровичем [22] в фазе массового цветения культуры.

Коэффициент использования растениями ФАР рассчитывали путем отношения произведения фактической урожайности сухой биомассы и калорийности органического вещества единицы урожая к величине фотосинтетической активной радиации (ФАР) за период вегетации культуры. Потенциальную урожайности

семян рассчитывали исходя из соотношения основной продукции к побочной при стандартной влажности семян по формуле:

$$ПУ = ПУ_{\text{биол}} \times 100 / (100 - \text{Вл}) \times Л,$$

где $ПУ_{\text{биол}}$ – биологическая урожайность абсолютно сухой массы биомассы, т/га; Вл – стандартная влажность основной продукции, %; Л – сумма частей соотношения семян к соломе. В свою очередь, $ПУ_{\text{биол}}$ зависит от коэффициента использования растениями ФАР и суммы ФАР за период вегетации культуры [23]. Статистическую обработку результатов исследований проводили методом дисперсионного анализа с использованием программы MS Excel и Statistica.

Результаты и обсуждение. Применение изучаемых препаратов для некорневой подкормки положительно влияло на рост и развитие растений крамбе, что выразилось в повышении их сохранности к уборке, уровень которой составлял 171...190 шт./м² в зависимости от варианта опыта, что выше контроля на 9...12 шт. на 1 м².

В среднем за годы изучения все применяемые регуляторы роста способствовали увеличению листовой поверхности посевов крамбе на 6,2...8,9 тыс. м²/га (табл. 1). Наибольшей она была в вариантах с некорневой обработкой регуляторами Блэкджек и Гумат К/Na – соответственно 69,1 и 70,3 тыс. м²/га, что может быть обусловлено усилением адаптационных свойства растительного организма к неблагоприятным факторам внешней среды под влиянием этих препаратов.

Табл. 1. Показатели фотосинтетической деятельности крамбе в зависимости от некорневой обработки регуляторами роста (среднее за 2021–2023 гг.)

Вариант	Площадь листовой поверхности, тыс. м ² /га	Фотосинтетический потенциал, тыс. м ² ×сут./га	Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м ² ×сут.	Индекс листовой поверхности, ед.
Контроль	61,4	2,94	3,46	2,09
Гумат К/Na	70,3	3,40	4,84	2,42
Альбит	68,3	3,28	3,80	2,26
Циркон	67,6	3,23	4,95	2,44
Блэкджек	69,1	3,31	4,66	2,44
НСР ₀₅	4,01	0,24	0,36	-

Формирование фотосинтетического потенциала посевов крамбе происходит в соответствии с нарастанием площади листьев. В среднем за три года исследований его величина по вариантам опыта составила 2,94...3,40 тыс. м²×сут./га. Регуляторы роста увеличивали продолжительность функционирования ассимиляционной поверхности, по сравнению с контролем, и, как следствие, фотосинтетический потенциал и чистую продуктивность фотосинтеза на 0,29...0,46 тыс. м²×сут./га и 0,34...1,49 г/м²×сут. соответственно.

Наибольшая величина фотосинтетического потенциала отмечена в варианте с применением препарата Гумат К/Na, которая не только превышала контроль (на 0,46 млн м²×сут./га), но и величины этого показателя в вариантах с другими регуляторами (на 0,09...0,17 млн м²×сут./га). То есть обработка растений этим стимулятором способствует более продуктивной работе их листовой поверхности за сутки в период вегетации. В то же время применение Гумата К/Na приводит к некоторому снижению чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) до 4,84 г/м²×сут. Это связано с формированием большой вегетативной массы и объема листового аппарата, что, в свою очередь, приводит к затенению растения и, в конечном итоге, к снижению

активного радиационного режима и чистой продуктивности фотосинтеза.

Как известно, ЧПФ наиболее стабильный показатель фотосинтеза, который в меньшей степени изменяется под влиянием внешних условий и в большей зависит от количества сухой биомассы, которую синтезирует 1 м² листовой поверхности [23]. В среднем увеличение ЧПФ в вариантах с применением регуляторов роста составило 0,34...1,49 г/м²×сут. относительно варианта без обработки. При этом некорневая обработка растений Цирконом и Гуматом К/Na обеспечивала наибольшую чистую продуктивность фотосинтеза (соответственно 4,95 и 4,84 г/м²×сут.) крамбе.

Следует отметить, что в основном протекание процесса фотосинтеза обеспечивают листья растений. Поэтому немаловажным показателем, который определяет интенсивность этого процесса, считают индекс листовой поверхности (ИЛП). В зависимости от культуры и условий произрастания его величина обычно варьирует в диапазоне от 1 до 7 и выше [21]. Применение регуляторов роста на крамбе повышало индекс листовой поверхности, по сравнению с контролем, на 0,17...0,35. Наибольшее его увеличение (до 2,44) наблюдали на фоне препаратов Циркон и Блэкджек.

Формирование оптимальной площади ассимиляционной поверхности растений способствует максимальному поглощению листьями солнечной радиации в процессе фотосинтеза и служит основным условием повышения урожайности культур [22]. При этом некоторые исследователи отмечают, что при слишком большой величине этого показателя в загущенных посевах происходит затенение нижних и средних листьев, что отрицательно сказывается на накоплении биомассы растений [14].

Формирование высокого урожая во многом предопределяется способностью растений наиболее эффективно использовать энергию фотосинтетической активной радиации (ФАР) с высоким коэффициентом полезного действия [22]. В среднем за три года исследований продолжительность вегетационного периода крамбе составила 85 суток, суммарный приход ФАР в условиях региона за период вегетации культуры – 97,6620 кДж/м². Коэффициент использования ФАР растениями крамбе в контрольном варианте был равен 1,16 %, при обработке посевов регуляторами роста он увеличился на 0,12...0,62 % (табл. 2).

Табл. 2. Урожайность крамбе в зависимости от некорневой обработки растений регуляторами роста (среднее за 2021–2023 гг.)

Вариант	Коэффициент использования ФАР, %	Потенциальная урожайность, т/га	Фактическая урожайность, т/га
Контроль	1,16	2,09	1,69
Гумат К/Na	1,57	2,70	1,93
Альбит	1,28	2,20	1,90
Циркон	1,78	3,06	1,98
Блэкджек	1,62	2,78	1,94
НСР ₀₅	-	-	0,18

Согласно критериям, разработанным А. А. Ничипоровичем, при величине коэффициента использования ФАР в пределах 0,5...1,5 % посевы относят к обычно наблюдаемым, 1,5...3,0 % – к хорошим, 3,5...5,0 % – к рекордным и при коэффициенте от 6,0 до 8,0 % – к теоретически возможным. Исходя из этого, при обработке регуляторами Гумат К/Na, Циркон и Блэкджек посевы крамбе относятся к хорошим, а в контроле и вариант с обработкой Альбитом – к обычными.

Результат фотосинтетической деятельности культуры – ее продуктивность как конечный продукт, отражающий

все процессы онтогенеза, и поэтому больше всего подверженный воздействию факторов окружающей среды. Потенциальная урожайность крэмбе, в зависимости от прихода и использования ФАР, была очень высокой и составляла в вариантах с некорневой обработкой регуляторами роста 2,20...3,06 т/га при 2,09 т/га в контроле. Самая высокая величина этого показателя отмечена при использовании препарата Циркон, применение которого, вероятно, способствует лучшему росту и развитию растений, а также формированию посевов, наиболее эффективно и рационально использующих фотосинтетическую активную радиацию. Однако такие урожаи возможны только при оптимальном сочетании почвенных и метеорологических условий.

В связи с тем, что климатические условия Пензенского региона отличаются контрастностью и нестабильностью, фактическая урожайность крэмбе в среднем за 2021–2023 гг. составила 1,69...1,98 т/га. При этом все изучаемые регуляторы роста способствовали ее значительному увеличению на 0,21...0,29 т/га относительно варианта без обработки.

Наибольшую прибавку урожая семян обеспечило применение регуляторов роста Циркон и Блэкджек (соответственно 0,29 и 0,25 т/га), в варианте с которыми сформировалась наибольшая урожайность – 1,98 и 1,94 т/га. Действие этих препаратов сглаживало влияние агроклиматических факторов, сдерживающих рост продуктивности сельскохозяйственных культур. Применение препаратов Альбит и Гумат К/Na повышало урожайность крэмбе соответственно на 0,21 и 0,24 т/га при наименьшей существенной разнице 0,19 т/га.

Кроме урожайности культуры, некорневая обработка растений регуляторами роста положительно влияла на масличность и массу 1000 семян, которые увеличивались относительно контроля на 0,3...3,1 % и 0,09...0,38 г соответственно (табл. 3). Наибольшее содержание масла отмечено в вариантах с некорневой обработкой препаратами Циркон (36,7 %) и Блэкджек (37,9 %). Его сбор в этих вариантах достигал 0,65 т/га. По массе 1000 семян выделились варианты с использованием Гумата К/Na и Блэкджека – соответственно 7,02 и 7,08 г.

Табл. 3. Масличность и крупность семян крэмбе в зависимости от некорневой обработки растений (Пензенский НИИСХ, 2021–2023 гг.)

Вариант	Масличность, %	Масса 1000 семян, г	Сбор масла, т/га
Контроль	34,8	6,84	0,52
Гумат К/Na	35,6	7,02	0,61
Альбит	35,1	6,95	0,59
Циркон	36,7	6,93	0,65
Блэкджек	37,9	7,08	0,65
НСР ₀₅	0,5	0,07	0,11

Выводы. Использование изучаемых регуляторов роста путем некорневой обработки растений положительно влияет на фотосинтетическую деятельность посевов крэмбе абиссинской, что способствует созданию благоприятных условий для её роста и развития и, как следствие, формирования урожайности в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Их применение способствовало увеличению площади ассимиляционной поверхности на 10,1...14,5 %, фотосинтетического потенциала – на 9,9...15,6 % и чистой продуктивности фотосинтеза – на 9,8...43,1 %. При этом обработка крэмбе регуляторами Гумат К/Na, Циркон и Блэкджек позволяет отнести ее посевы по величине коэффициента использования ФАР, который составил 1,57...1,78 %, к категории «хорошие».

Наиболее эффективными были препараты Циркон и Блэкджек, применение которых обеспечило формирование наибольшей урожайности семян – соответственно 1,98 и 1,94 т/га с масличностью – 36,7 и 37,9 %.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № FGSS-2022-0008). Авторы благодарят рецензентов за экспертную оценку статьи.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

- Исакова А. Л. Крэмбе абиссинская – перспективная масличная культура для Беларуси // *Наше сельское хозяйство*. 2021. № 19 (267). С. 23–27.
- Прахова Т. Я. Перспективная масличная культура *Crambe Abyssinica* // *Достижение науки и техники АПК*. 2013. № 8. С. 31–33.
- Crambe (Crambe abyssinica Hochst): A Non-Food Oilseed Crop with Great Potential: A Review* / D. Samarappuli, F. Zanetti, S. Berzuini, et al. // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. No. 9. Article 1380. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/9/1380> (дата обращения: 10.04.2024). doi: 10.3390/agronomy10091380.
- Турина Е. Л., Прахова Т. Я., Радченко Л. А. Значение крэмбе абиссинской (*Crambe Abyssinica*) и ее урожайность в различных странах мира (обзор) // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 4 (76). С. 66–72. doi: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-66-72.
- Crambe – Energy efficiency of biomass production and mineral fertilization. A case study in Poland* / K. Jankowski, M. Sokólski, A. Szatkowski, et al. // *Industrial Crops and Products*. 2022. Vol. 182. Article 114918. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669022004010?via%3Dihub> (дата обращения: 10.04.2024). doi: 10.1016/j.indcrop.2022.114918.
- Сазонкин К. Д., Никитов С. В., Виноградов Д. В. Возделывание крэмбе абиссинской в условиях Рязанской области // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева*. 2022. Т. 14. № 1. С. 62–69. doi: 10.36508/RSATU.2022.40.49.007.
- Гущина В. А., Никольская Е. О., Кочемазова Н. В. Фотосинтетическая деятельность старовозрастных посевов эхинаеи пурпурной в лесостепи Среднего Поволжья // *Аграрный научный журнал*. 2023. № 2. С. 18–24. doi: 10.28983/asj.y2022i2pp18-24.
- Бельшикина М. Е. Фотосинтетическая деятельность посевов и формирование урожая ранних сортов сои // *Известия ТСХА*. 2019. № 1. С. 34–44.
- Косенко С. В. Связь листовой поверхности различных по скороспелости сортов озимой пшеницы с продуктивностью в условиях лесостепи Среднего Поволжья // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2023. № 2 (392). С. 168–170. doi: 10.55186/25876740_2023_66_2_168.
- Вознесенская Т. Ю., Веревкина Т. М. Влияние инновационных форм удобрений на нарастание листового аппарата и его фотосинтетическую деятельность // *Плодородие*. 2018. № 6 (105). С. 9–12. doi: 10.25680/S19948603.2018.105.03.

11. Снигирева О. М., Ведерников Ю. Е., Баталова Г. А. Формирование фотосинтетического аппарата яровой пшеницы сорта Баженка под влиянием регуляторов роста // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 6. С. 7–10. doi: 10.31857/S2500262720060022.
12. Юсова О. А., Николаев П. Н., Васюкевич В. С. Фотосинтетическая активность как фактор формирования урожайности и качества нового зернофуражного сорта овса Иртыш 33 // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2023. № 6. С. 25–28. doi: 10.31857/S2500262723060054.
13. Ионова Е. В., Газе В. Л., Лиховидова В. А. Фотосинтетическая деятельность и динамика накопления сухой массы растений озимой мягкой пшеницы в зависимости от условий выращивания // *Зерновое хозяйство России*. 2020. № 1 (67). С. 23–27. doi: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-23-27.
14. Параметры фотосинтеза масличных культур семейства Brassicaceae / Т. Я. Прахова, А. Н. Кишикаткина, Г. В. Ильина и др. // *Аграрный научный журнал*. 2020. № 5. С. 34–37. doi: 10.28983/asjy2020i5pp34-37.
15. Кузьменко Н. Н., Ильина В. И. Влияние агротехнологических элементов возделывания на формирование фотосинтетического аппарата и урожайность льна-долгунца сорта Универсал // *Земледелие*. 2021. № 5. С. 36–40. doi: 10.24412/0044-3913-2021-5-36-40.
16. Бакулова И. В., Плужникова И. И., Криушин Н. В. Влияние агроприемов на фотосинтетическую деятельность и продуктивность нового сорта конопли посевной в условиях Среднего Поволжья // *Аграрная наука*. 2023. № 372 (7). С. 80–84. doi: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-80-84.
17. Габбасов И. И., Низамов Р. М., Сулейманов С. Р. Влияние удобрений марки Изагри на ростовые процессы и продуктивность ярового рапса // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. № 5. С. 34–38. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10508.
18. Зубкова Т. В., Мухина М. Т., Виноградов Д. В. Особенности применения микроудобрений в агроценозах ярового рапса // *Плодородие*. 2023. № 3 (132). С. 44–48. doi: 10.25680/S19948603.2023.132.11.
19. Фотосинтетическая продуктивность и структура урожая яровой пшеницы под влиянием нанокремния в сравнении с биологическим и химическим препаратами / А. А. Хорошилов, Н. Е. Павловская, Д. Б. Бородин и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2021. Т. 56. № 3. С. 487–499. doi: 10.15389/agrobiology.2021.3.487rus.
20. Прахова Т. Я., Таишев Н. Р. Сортные особенности и приемы повышения продуктивности горчицы белой // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2023. № 3. С. 19–24. doi: 10.31857/S2500262723030043.
21. Методика проведения полевых и агротехнических опытов с масличными культурами / В. М. Лукомец, Н. М. Тишков, В. Ф. Баранов и др. Краснодар: ВНИИМК, 2010. 323 с.
22. Ничипорович А. А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев. М.: АН СССР, 1961. 93 с.
23. Можсаев Н. И., Серикпаев Н. А., Стыбаев Г. Ж. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. Астана: Фолиант, 2013. 160 с.

Поступила в редакцию 13.04.2024
После доработки 29.04.2024
Принята к публикации 21.05.2024