

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Краткое сообщение

УДК 577.355.4:630(045)

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-59-67



Влияние норм высева семян пропашных сельскохозяйственных культур на квантовый выход фотосинтеза

К. С. Панченко, Н. В. Овчарова, Л. В. Соколова, М. М. Силантьева

Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ксения Сергеевна Панченко, kсениа.potapova.00@yandex.ru

Актуальность. Фотосинтез является одним из важнейших физиологических процессов растений, который напрямую влияет на продуктивность агроценозов. Создание условий для максимального поглощения и преобразования солнечной энергии сельскохозяйственными культурами может являться средством повышения урожайности. Исследование направлено на изучение продукционных процессов и стрессоустойчивости некоторых видов культурных растений с целью оптимизации технологии их возделывания.

Материалы и методы. Работа выполнялась в степной и лесостепной зоне Алтайского края. Схема опыта предусматривала изучение показателя квантового выхода фотосинтеза в качестве метода оценки различных норм высева в посевах подсолнечника на семена ('Пионер ЛЕ 10') и кукурузы, выращиваемой на силос ('Клифтон'). Для подсолнечника она составляла 35 тыс. шт./га, 45 тыс. шт./га, 55 тыс. шт./га; для кукурузы – 40 тыс. шт./га, 50 тыс. шт./га, 60 тыс. шт./га. Состояние фотосинтетического аппарата растений оценивалось с помощью флуориметра JUNIOR-PAM (Walz, Германия) в основные фазы развития.

Результаты. Квантовый выход фотосинтеза за вегетационный период в посевах подсолнечника в зависимости от нормы высева был самым высоким во время цветения и созревания урожая (до 0,81 отн. ед.). Наибольшие значения квантового выхода фотосинтеза на поле кукурузы зарегистрированы в фазу 2-го листа и 6–8 листьев (0,63 и 0,64 отн. ед. соответственно).

Заключение. Наиболее эффективное развитие растений подсолнечника, характеризующееся высоким квантовым выходом фотосинтеза и высокой продуктивностью, проходило при норме высева семян 45 тыс. шт./га. Самый высокий сбор кукурузы на силос (15,6 ц/га) отмечен в благоприятных для этого условиях в варианте с нормой высева 50 тыс. шт./га. Коэффициент корреляции между квантовым выходом фотосинтеза и урожайностью культур составил 0,7–0,8, что подтверждает зависимость между признаками и позволяет определить оптимальную структуру посева.

Ключевые слова: флуориметрия, урожайность, подсолнечник, кукуруза, продуктивность

Благодарности: работа выполнена за счет средств федерального бюджета в рамках государственного задания Минсельхоза России (номер госрегистрации темы – 1023032000002-5-4.1.1); программы развития Алтайского государственного университета «Приоритет-2030».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Панченко К.С., Овчарова Н.В., Соколова Л.В., Силантьева М.М. Влияние норм высева семян некоторых сельскохозяйственных культур на квантовый выход фотосинтеза. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(4):59-67. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-59-67

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Brief report

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-59-67

Influence of seeding rates on the quantum yield of photosynthesis for some field crops

Kseniya S. Panchenko, Natalia V. Ovcharova, Liudmila V. Sokolova, Marina M. Silantyeva

Altai State University, Barnaul, Russia

Corresponding author: Kseniya S. Panchenko, kseniya.potapova.00@yandex.ru

Background. Photosynthesis is one of the most important physiological processes in plants, affecting the productivity of agrocenoses. Creating conditions for crops to absorb and convert solar energy as effectively as possible can be a means of increasing their yields. The objective was to study the production processes and stress resistance of some crop species in order to optimize their cultivation technology.

Materials and methods. The work was carried out in the steppe and forest-steppe zone of Altai Territory. The scheme of the experiment was conducive to studying the quantum yield of photosynthesis as a method for assessing various seeding rates in the fields of sunflower grown for seeds ('Pioneer LE 10') and maize grown for silage ('Clifton'). For sunflower, the rates were 35,000, 45,000, and 55,000 seeds/ha; for maize, 40,000, 50,000, and 60,000 seeds/ha. The state of the photosynthetic apparatus in plants was analyzed using the JUNIOR-PAM fluorometer (Walz, Germany) in the main phases of plant development.

Results. The quantum yield of photosynthesis over the growing season of sunflower, depending on the seeding rate, was the highest during flowering and ripening (up to 0.81 relative units). The highest values of the quantum yield of photosynthesis for maize were recorded in the phases of the 2nd leaf and 6–8 leaves (0.63 and 0.64 relative units, respectively).

Conclusion. The most effective development of sunflower plants, characterized by a high quantum yield of photosynthesis and high productivity, was observed at the seeding rate of 45,000 seeds/ha. The highest maize harvest for silage (1.56 t/ha) was registered under conditions favorable for this indicator at the rate of 50,000 seeds/ha. The correlation coefficient between the quantum yield of photosynthesis and crop yield was 0.7–0.8, which confirmed the dependence between those indicators and made it possible to determine the optimal sowing structure.

Keywords: fluorometry, yield, sunflower, maize, productivity

Acknowledgements: the research was funded from the federal budget within the framework of the state task assigned by the Ministry of Agriculture of the Russian Federation (State Registration No. of the topic is 1023032000002-5-4.1.1), and the *Priority-2030* development program of Altai State University.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Panchenko K.S., Ovcharova N.V., Sokolova L.V., Silantyeva M.M. Influence of seeding rates on the quantum yield of photosynthesis for some field crops. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(4):59-67. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-59-67

Введение

Фотосинтез является основным физиологическим процессом, определяющим продуктивность агроценоза. В результате фотосинтеза образуется до 90% сухого вещества растений, поэтому любой агротехнический прием должен быть направлен на увеличение оптимальной площади листьев, улучшение освещенности листового аппарата и повышение продолжительности его фотосинтетической активности (Nichiporovich et al., 1969; Zemlyanskaya, Sinegovskaya, 2005). Необходимо создавать условия для максимального поглощения и преобразования солнечной энергии культурами, так как это может являться средством повышения урожайности (Conley, Santini, 2006; Chepelev, Mikhailova, 2020). Для изучения качества работы фотосинтетического аппарата растений важным показателем является потенциальный квантовый выход фотосинтеза (ФС II) (Schreiber, 2004). Квантовый выход фотосинтеза иначе определяется как измерение отношения вариабельной флуоресценции (Fv) к максимальной флуоресценции (Fm) и является одним из главных показателей функционального состояния фотосинтетической системы растений. Понижение соотношения Fv/Fm обусловлено ингибированием ФС II и уменьшением доли реакционных центров ФС II, неспособных к восстановлению Q_B (Lysenko et al., 2013). Кроме того, чувствительность Fv/Fm к ингибированию световой фазы фотосинтеза делает этот показатель эффективным средством мониторинга стрессорных воздействий окружающей среды на растение (Kupriyanov, 2017; Mamedova, 2020). Количество энергии, усваиваемое светособирающими пигментами, влияет на первичные фотосинтетические процессы, от которых и зависят рост, развитие и продуктивность культур. Измерение параметров флуоресценции хлорофилла позволяет оценить степени использования энергии света ФС II. Для оценки оптимальной структуры посевов, при которой повышаются эффективность использования поглощенной энергии света и продуктивность, необходимо использовать современные методы исследований (Nainanayake, 2007; Mamonov et al., 2013).

Цель исследования – установление показателя квантового выхода фотосинтеза некоторых пропашных сельскохозяйственных культур в качестве метода оценки различных норм высева семян. Была сформулирована гипотеза: существует некая средняя норма высева, задающая оптимальную структуру посевам. При ней продукционные процессы фотосинтеза протекают наиболее эффективно и при исключении такого агротехнического фактора, как внесение удобрений.

Материалы и методы

Исследования по дифференцированному посеву в Алейском районе Алтайского края (ООО «Золотая Осень») проводились в течение вегетационных периодов 2022–2023 гг. Хозяйство расположено в Приалейской почвенно-климатической зоне в степной части Алтайского края (Khalin et al., 2018). В 2022 г. выполнили комплексный мониторинг более 60 полей хозяйства. По результатам обработки данных дистанционного зондирования произвели расчет площадей полей, оценку водного стресса, эрозионной опасности и продуктивности агроценозов по данным Sentinel 2 и Terra Modis. Работа выполнена в рамках проекта «Разработка и внедрение инновационных технологий степного землепользования для сохранения, восстановления и эффективного использования ландшафтно-биологического разнообразия степных сельхозугодий» (Pestunov et al., 2023; Ovcharova et al., 2023a).

Следующим этапом этого проекта в 2023 г. являлась первичная оценка продуктивности маргинальных культур наиболее современными и альтернативными методами при различных нормах высева семян. В рамках производственных задач хозяйства объектом исследования стали сорта подсолнечника на семена («Пионер ЛЕ 10») и кукурузы, выращиваемой на силос («Клифтон»).

Предшественники возделываемых культур – овес и яровая пшеница соответственно. Удобрения на полях не вносились. В период вегетации проводили междурядную обработку культиватором КРМ-6 и химическую обработку. Поле подсолнечника обработано баковой смесью: трибенурон-метил (50 г/га) + клетодим (250 г/га) + галоксифоп (250 г/га) + альфа-циперметрин (50 г/га) и инсектицидом альфа-циперметрином (50 г/га), поле кукурузы – препаратами «Никосульфурон» (80 г/га) + «Флорасулам» (200 г/га).

Схема опыта предусматривала оценку продуктивности культур при различных нормах высева семян. Для подсолнечника нормы высева составляли 35 тыс. шт./га, 45 тыс. шт./га, 55 тыс. шт./га; для кукурузы – 40 тыс. шт./га, 50 тыс. шт./га, 60 тыс. шт./га. Учетная площадь делянки – 25 м², повторность трехкратная.

Состояние фотосинтетического аппарата культур (показатель – квантовый выход фотосинтеза) фиксировали с помощью флуориметра JUNIOR-PAM (Walz, Германия) в основные фазы их развития (рис. 1).

Уборку осуществляли комбайном RSM F 2550. Статистическую обработку данных выполняли методом дис-



Рис. 1. Измерение квантового выхода фотосинтеза в посевах подсолнечника и кукурузы

Fig. 1. Measuring the quantum yield of photosynthesis in sunflower and maize plantings

персионного и корреляционного анализа по Б. А. Доспекху (Dospikhov, 2011).

Для вегетационного периода 2023 г. были характерны переменный температурный режим и крайние значения влагообеспеченности в отдельные периоды развития сельскохозяйственных культур. Среднемесячная температура воздуха в мае соответствовала средне многолетним значениям (+12,8°C). Погода в первой половине лета была жаркой и сухой. Температура воздуха в это время была выше приблизительно на +1,2...+2,0°C, чем средние данные по годам. Осадков за период с мая по июнь выпало в два раза меньше нормы, и гидротермический коэффициент (ГТК, по Г. Т. Селянинову) достиг критической для края отметки 0,3. Последняя декада июля и август характеризовалась повышенным количеством осадков, которые превысили среднемноголетние значения в четыре раза (ГТК = 2,8). Отклонение от среднемноголетней температуры воздуха составило +1,1...+1,2°C (рис. 2).

Перед началом весенне-полевых работ отобраны почвенные пробы на глубине 0–20 см для проведения агрохимического анализа и переданы в лабораторию Центра агрохимической службы «Алтайский». Как известно, основным источником азотного питания сельскохозяйственных культур является нитратный азот. Его содержание на полях подсолнечника и кукурузы было крайне низким – менее 3,0 мг/кг (табл. 1).

При этом массовая доля подвижных соединений фосфора на поле подсолнечника была в 2,5 раза выше, чем на поле кукурузы. Данный показатель, вероятно, связан с особенностями материнских пород и предшествующим использованием агротехнических приемов (внесение удобрений), которые привели к накоплению элемента в почве. Большое содержание запасов подвижного фосфора характерно для образовавшихся на осадочных породах морского происхождения черноземов. Содержание подвижных соединений калия на полях куку-

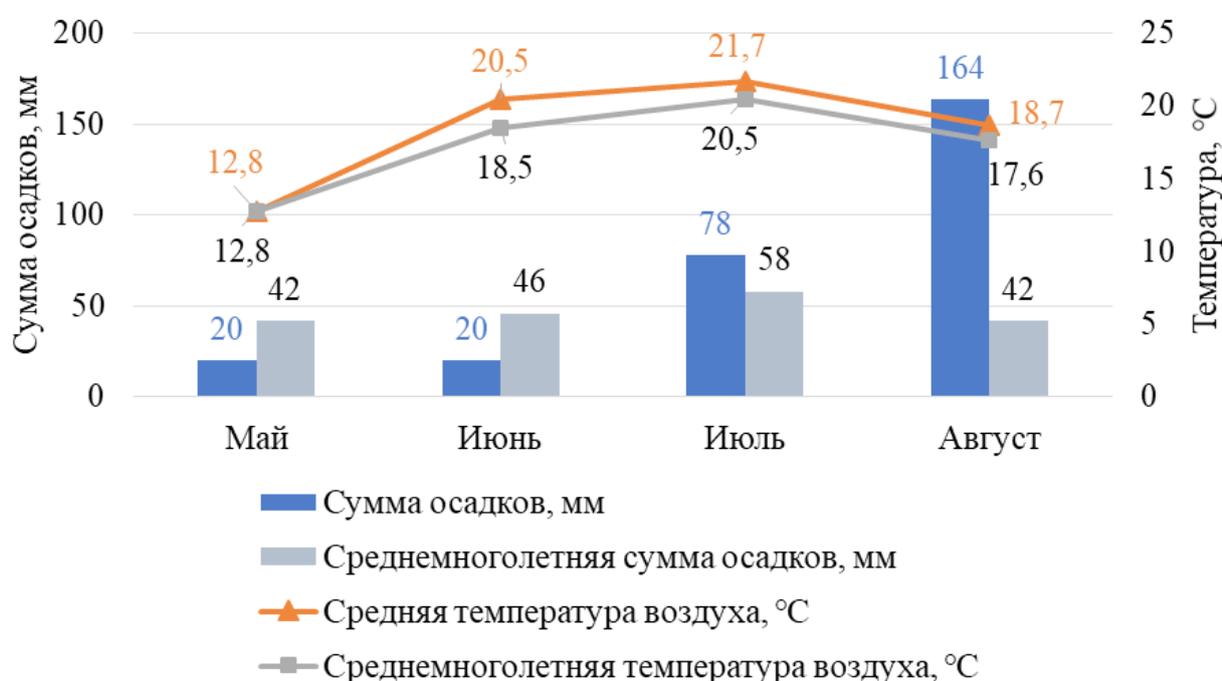


Рис. 2. Гидрометеорологические условия г. Алейска за период с мая по август 2023 г.
Fig. 2. Hydrometeorological conditions in the town of Aleysk from May through August, 2023

Таблица 1. Агрохимическая характеристика почвенных проб, отобранных на полях подсолнечника и кукурузы в 2023 году в Приалейской почвенно-климатической зоне степной части Алтайского края

Table 1. Agrochemical characteristics of soil samples taken in 2023 from sunflower and maize fields in the Aleysk soil and climate zone of the steppe of Altai Territory

	Горизонт (слой) почвы, см	Содержание нитратного азота, мг/кг	Содержание P ₂ O ₅ , мг/кг	Содержание K ₂ O, мг/кг	Гумус, %	Кислотность почвы, pH	Массовое отношение влаги в почве, %
Подсолнечник	0–10	3,0	150,4	161,7	3,1	5,2	23,1
	10–20	1,9	155,8	101,3	3,9	–	–
Кукуруза	0–10	2,2	64,8	154,3	3,4	5,6	22,5
	10–20	2,7	62,4	101,3	3,1	–	–

рузы и подсолнечника схоже и определяется как повышенное (Ovcharova et al., 2023b).

Почва на поле подсолнечника характеризуется как слабокислая (pH = 5,2). Почва на поле кукурузы имеет оптимальные параметры кислотности (pH = 5,6) для возделывания культуры в условиях исследуемой зоны. Массовое отношение влаги в первой декаде мая 2023 г. мало отличалось по вариантам и составляло 22,5–23,1%.

Результаты и обсуждение

В 2023 г. оценивали продукционные процессы и стрессоустойчивость сортов: подсолнечника на семена ('Пионер ЛЕ 10') и кукурузы, выращиваемой на силос ('Клифтон'), с целью оптимизации агротехники их возделывания. За время вегетационного периода 2023 г., независимо от нормы высева семян, наибольший квантовый выход у растений подсолнечника наблюдался в период цветения и созревания. Так, например, величина квантового выхода фотосинтеза в фазе созревания варьировала с 0,79 до 0,81 отн. ед., что свидетельствует о высокой фотосинтетической активности культуры в этот период времени. Общее снижение качества фотосинтеза наблюдалось в период бутонизации; это связано с метеорологическими условиями (рис. 3).

При норме высева семян 45 тыс. шт./га наблюдается наиболее эффективное развитие культуры. Несмотря на критические погодные условия, в фазы бутонизации и цветения отмечались высокие значения квантового выхода фотосинтеза по сравнению с другими вариантами за тот же период. Повышение густоты стояния посевов привело к сохранению влаги в почве. На начальных этапах развития культуры и в фазу созревания изменение нормы высева не повлияло на исследуемый показа-

тель, различия в значениях находились в пределах ошибки опыта (табл. 2).

После уборки комбайном урожайность при норме высева семян 45 тыс. шт./га составила 15,6 ц/га. При норме высева 35 тыс. шт./га урожайность подсолнечника равнялась 14,8 ц/га. При норме высева 55 тыс. шт./га – 15,3 ц/га. Коэффициент корреляции между квантовым выходом фотосинтеза и урожайностью подсолнечника составил 0,7, то есть изменение изучаемого показателя закономерно приводит к прямому изменению продуктивности культуры. Таким образом, в варианте с самой высокой урожайностью при норме высева семян 45 тыс. шт./га в течение всего вегетационного периода наблюдались наибольшие показатели квантового выхода фотосинтеза. Это демонстрирует зависимость продуктивности культуры от фотосинтетической активности и определяет данную норму высева как наиболее оптимальную.

Наибольшие значения квантового выхода фотосинтеза у растений кукурузы зарегистрированы в фазу 2-го листа и фазу 6–8 листьев (0,63 и 0,64 отн. ед. соответственно) при норме высева семян 50 тыс. шт./га (табл. 3). В фазе 3–6 листьев наблюдается резкое снижение фотосинтетической активности культуры; это, вероятно, связано с двумя факторами. Во-первых, повлияли погодные условия – сухость и высокие температуры воздуха. Во-вторых, обработка посева гербицидами, которая негативно сказалась не только на сорных растениях, но и самой культуре (рис. 4). Наибольший квантовый выход фотосинтеза составил 0,64 отн. ед. в фазе 6–8 листьев.

Наибольшая урожайность посевов кукурузы получена при норме высева семян 50 тыс. шт./га – 63 ц/га. Разница урожайности в данном варианте при сравнении

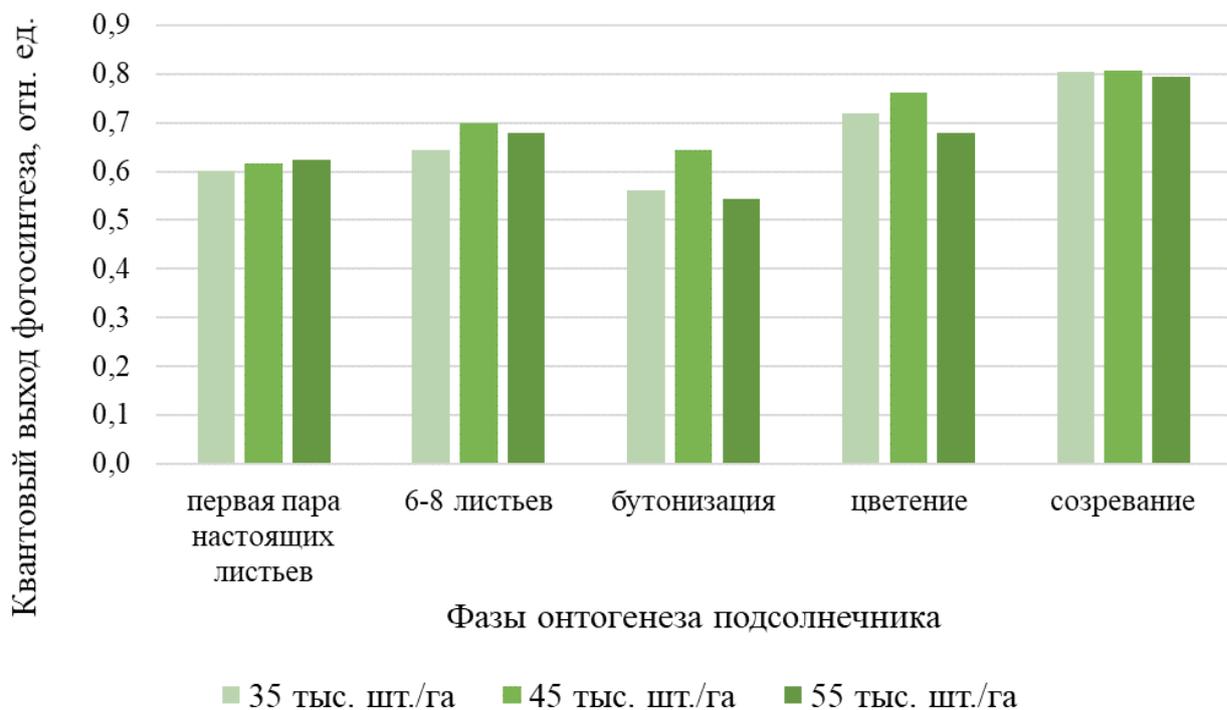


Рис. 3. Квантовый выход фотосинтеза в посевах подсолнечника на разных стадиях развития при дифференциации по норме высева семян в 2023 г. в Приалейской почвенно-климатической зоне степной части Алтайского края

Fig. 3. Quantum yield of photosynthesis in sunflower plantings at various stages of crop development when differentiated by the seeding rates in 2023 in the Aleysk soil and climate zone of the steppe of Altai Territory

Таблица 2. Квантовый выход фотосинтеза и урожайность подсолнечника в 2023 г. в Приалейской почвенно-климатической зоне степной части Алтайского края**Table 2.** Quantum yield of photosynthesis and crop yield of sunflower in 2023 in the Aleysk soil and climate zone of the steppe of Altai Territory

Норма высева семян, тыс. шт./га	Фазы онтогенеза					Среднее значение по всем фазам онтогенеза	Урожайность, ц/га
	первая пара настоящих листьев	6–8 листьев	бутонизация	цветение	созревание		
35	0,60	0,65	0,56	0,72	0,80	0,67	14,8
45	0,62	0,70	0,64	0,76	0,81	0,71	15,6
55	0,62	0,68	0,54	0,68	0,79	0,66	15,3
Статистические характеристики							
\bar{x}	0,61	0,68	0,58	0,72	0,80	0,68	15,23
σ	0,07	0,04	0,05	0,06	0,01	0,05	0,40
Cv	10,70	6,30	8,60	8,20	1,00	6,96	2,65
SDx	0,04	0,02	0,03	0,03	0,01	0,03	0,23

Примечание: \bar{x} – среднее; σ – стандартное отклонение; Cv – коэффициент вариации, %; SDx – стандартная ошибка опыта

Note: \bar{x} – mean; σ – standard deviation; Cv – coefficient of variation, %; SDx – standard error of the experiment

Таблица 3. Квантовый выход фотосинтеза и урожайность кукурузы в 2023 г. в Приалейской почвенно-климатической зоне степной части Алтайского края**Table 3.** Quantum yield of photosynthesis and crop yield of maize in 2023 in the Aleysk soil and climate zone of the steppe of Altai Territory

Норма высева семян, тыс. шт./га	Фазы онтогенеза					Среднее значение по всем фазам онтогенеза	Урожайность, ц/га
	2-й лист	3–6 листьев	6–8 листьев	цветение	спелость		
40	0,55	0,41	0,57	0,53	0,56	0,52	58
50	0,63	0,49	0,64	0,55	0,62	0,59	63
60	0,46	0,37	0,52	0,43	0,57	0,47	59
Статистические характеристики							
\bar{x}	0,55	0,42	0,58	0,51	0,59	0,53	60
σ	0,14	0,15	0,10	0,16	0,06	0,12	2,65
Cv	26,20	34,40	17,20	30,40	9,90	23,62	4,41
SDx	0,08	0,09	0,06	0,09	0,03	0,07	1,53

Примечание: \bar{x} – среднее; σ – стандартное отклонение; Cv – коэффициент вариации, %; SDx – стандартная ошибка опыта

Note: \bar{x} – mean; σ – standard deviation; Cv – coefficient of variation, %; SDx – standard error of the experiment

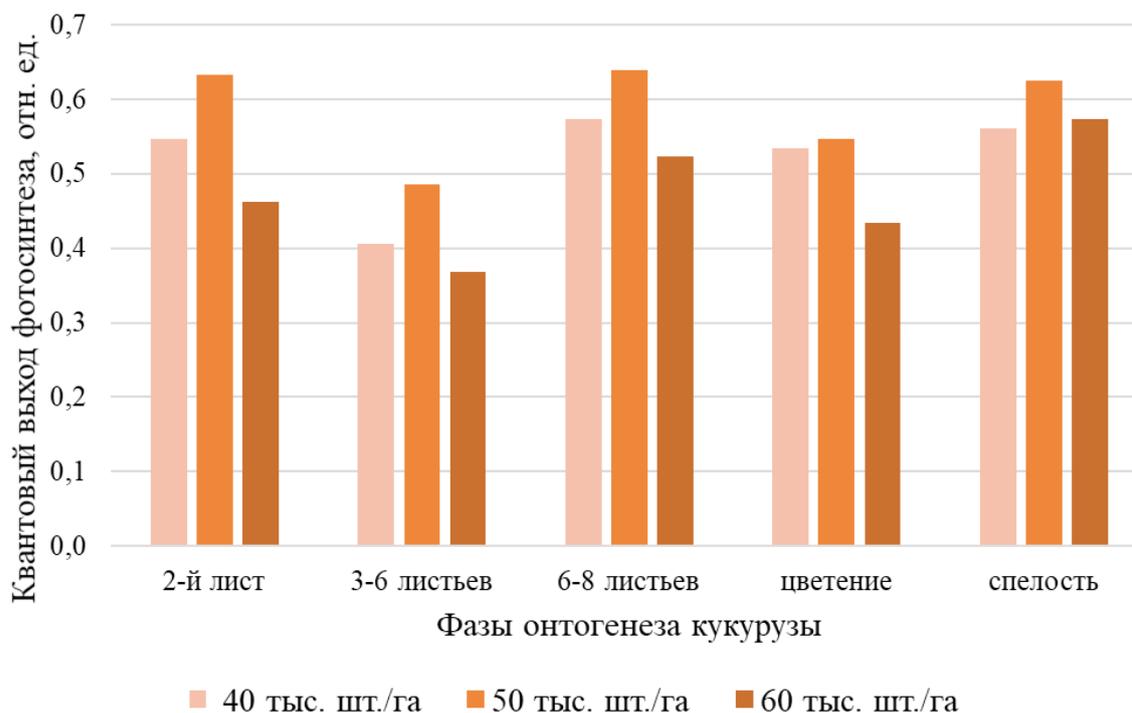


Рис. 4. Квантовый выход фотосинтеза в посевах кукурузы на разных стадиях развития при дифференциации по норме высева семян в 2023 г. в Приалейской почвенно-климатической зоне степной части Алтайского края

Fig. 4. Quantum yield of photosynthesis in maize plantings at various stages of crop development when differentiated by the seeding rates in 2023 in the Aleysk soil and climate zone of the steppe of Altai Territory

с другими составила 4–5 ц/га (при норме 40 тыс. шт./га – 58 ц/га, при норме высева 60 тыс. шт./га – 59 ц/га). Процесс фотосинтеза эффективнее всего проходил при норме высева семян 50 тыс. шт./га.

Коэффициент корреляции между квантовым выходом фотосинтеза и урожайностью культуры составляет 0,8, что показывает сильную зависимость между признаками. Таким образом, более эффективное использование солнечного света напрямую влияет на продукционные процессы и накопление массы сухого вещества в семях и ведет к повышению урожайности. В посевах кукурузы с нормой высева 50 тыс. шт./га формируется наиболее оптимальная густота стояния растений, при которой фотосинтетический потенциал может быть полнее реализован.

Заключение

В посевах подсолнечника при норме высева семян 45 тыс. шт./га у растений наблюдалась высокая активность работы фотосинтетического аппарата при наибольшем значении квантового выхода фотосинтеза, особенно в фазах цветения и созревания. Данная норма высева задала оптимальную структуру посева, прежде всего густоту стояния растений, что обеспечило протекание продукционных процессов на высоком уровне, несмотря на исключение такого агротехнического фактора, как внесение удобрений. Эта норма высева является экономически целесообразной.

Подобные результаты, полученные для посевов кукурузы, также подтверждают связь высоких значений фотосинтетической активности с урожайностью. Наиболее оптимальная структура посева кукурузы, дающая большую листовую поверхность в условиях степной зоны, образуется при норме высева 50 тыс. шт./га.

References / Литература

- Chepelev G.P., Mikhailova M.P. Influence of crop structure and seeding rate on the yield formation of soybean Kitrossa. *Zemledelie = Crop Farming*. 2020;(4):22-25. [in Russian] (Чепелев Г.П., Михайлова М.П. Влияние структуры посева и нормы высева семян на формирование урожайности сои сорта Китросса. *Земледелие*. 2020;(4):22-25). DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10406
- Conley S.P., Santini J.B. Crop management practices in Indiana soybean production systems. In: *Integrated Crop Management Conference*. Ames, IA: Iowa State University; 2006. p.27-37.
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial (with fundamentals of statistical processing of research results) (*Metodika polevogo opyta [s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy]*). 6th ed. Moscow: Alyans; 2011. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд. Москва: Альянс; 2011).
- Khalin N.S., Nazarova I.V., Simakova S.A., Dymova L.V., Marinenko E.A. (comp.). Monitoring soil fertility in agricultural lands of Altai Territory. Handbook (Monitoring plodorodiya pochv zemel sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya Altayskogo kraja. *Spravochnik*). Barnaul: Paragraf; 2018. [in Russian] (Мониторинг плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения Алтайского края. Справочник / сост. Н.С. Халин, И.В. Назарова, С.А. Симакова, Л.В. Дымова, Е.А. Мариненко. Барнаул: Парграф; 2018). URL: http://agrohim22.ru/images/stories/agrohim_sprav_2019.pdf [дата обращения: 26.03.2024].
- Kupriyanov A.N. (ed.). Environmental monitoring in coal mining areas (*Ekologicheskiy monitoring v rayonakh ugle-*

- dobychi). Novosibirsk: Geo; 2017. [in Russian] (Экологический мониторинг в районах угледобычи / под ред. А.Н. Куприянова. Новосибирск: Гео; 2017). URL: http://kuzbs.ru/images/stories/pdf/izdania/ekologicheskii_monitoring.pdf [дата обращения: 27.03.2024].
- Lysenko V.S., Varduni T.V., Soier V.G., Krasnov V.P. Plant chlorophyll fluorescence as an environmental stress characteristic: a theoretical basis of the method application. *Fundamental Research*. 2013;(4-1):112-120. [in Russian] (Лысенко В.С., Вардуни Т.В., Соьер В.Г., Краснов В.П. Флуоресценция хлорофилла растений как показатель экологического стресса: теоретические основы применения метода. *Фундаментальные исследования*. 2013;(4-1):112-120).
- Mamedova R.N. Investigation of chlorophyll fluorescence parameters and fluctuating asymmetry of leaves of woody plant – *Quercus castanefolia* C.A. Mey. in the city of Baku, Azerbaijan. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*. 2020;20(2):207-211. [in Russian] (Мамедова Р.Н. Исследование параметров флуоресценции хлорофилла и флуктуирующей асимметрии листьев древесного растения – *Quercus castanefolia* C.A. Mey. в условиях города Баку, Азербайджан. *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология*. 2020;20(2):207-211). DOI: 10.18500/1816-9775-2020-20-2-207-211
- Mamonov S.N., Sinegovskaya V.T., Rafalskiy S.V. Quantum yield of photosynthesis and spring wheat yielding capacity with various seeding rates. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2013;1(99):15-17. [in Russian] (Мамонов С.Н., Синеговская В.Т., Рафальский С.В. Квантовый выход фотосинтеза и урожайность яровой пшеницы при разных нормах высева семян. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2013;1(99):15-17).
- Nichiporovich A.A., Kuzmin Z.E., Polozova L.Ya. Guidelines for recording and monitoring the most important indicators of photosynthetic activity processes in cultivated plants (Metodicheskiye ukazaniya po uchetu i kontrolyu vazhnykh pokazateley protsessov fotosinteticheskoy deyatel'nosti rasteniy v posevakh). Moscow: VASKhNIL; 1969. [in Russian] (Ничипорович А.А., Кузьмин З.Е., Полозова Л.Я. Методические указания по учету и контролю важнейших показателей процессов фотосинтетической деятельности растений в посевах. Москва: ВАСХНИЛ; 1969).
- Ninanayake A.D. Use of chlorophyll fluorescence parameters to assess drought tolerance of coconut varieties. *Cocos*. 2007;18:77-105. DOI: 10.4038/cocos.v18i0.991
- Ovcharova N.V., Silanteva M.M., Belyaev V.I., Gulyanov Yu.A., Sokolova L.V., Plutalova T.G. et al. Application of methods and approaches of farming biologization for evaluation of soil fertility and potential yield under the conditions of steppe and forest-steppe zones of the Altai Region. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2023a;9(227):5-13. [in Russian] (Овчарова Н.В., Силантьева М.М., Беляев В.И., Гулянов Ю.А., Соколова Л.В., Плуталова Т.Г. и др. Применение методов и подходов биологизации земледелия для оценки плодородия почвы и потенциальной урожайности в условиях степной и лесостепной зон Алтайского края. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2023a;9(227):5-13). DOI: 10.53083/1996-4277-2023-227-9-5-13
- Ovcharova N.V., Silanteva M.M., Belyaev V.I., Gulyanov Yu.A., Sokolova L.V., Plutalova T.G. et al. Identification of fertility zones and assessment of potential crop yield based on biological farming approaches. *Acta Biologica Sibirica*. 2023b;9:1083-1107. DOI: 10.5281/zenodo.10255212
- Pestunov I.A., Ovcharova N.V., Kalashnikov R.A., Belyaev V.I., Radchikov A.N., Rogoznaya A.O. Evaluation of sunflower field germination and detection of weeds by ultra-high-resolution RGB images using deep learning for different agricultural techniques (classical flat-cutting processing and "no-till" system). In: *Spatial Data Processing in the Tasks of Monitoring Natural and Anthropogenic Processes (SDM-2023): Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation (August 22–25, 2023, Berdsk) (Obработка prostranstvennykh dannykh v zadachakh monitoringa prirodnykh i antropogennykh protsessov [SDM-2023]: Sbornik trudov vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem [22–25 avgusta 2023 g., g. Berdsk])*. Novosibirsk: Federal Research Center for Information and Computational Technologies; 2023. p.327-335. [in Russian] (Пестунов И.А., Овчарова Н.В., Калашников Р.А., Беляев В.И., Радчиков А.Н., Рогозная А.О. Оценка полевой всхожести подсолнечника и обнаружение сорняков по RGB-изображениям сверхвысокого разрешения с использованием глубокого обучения для разных агротехник (классическая плоскорезная обработка и система «No-Till»). В кн.: *Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2023): Сборник трудов всероссийской конференции с международным участием (22–25 августа 2023 г., г. Бердск)*. Новосибирск: Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий; 2023. С.327-335). DOI: 10.25743/sdm.2023.68.44.055
- Schreiber U. Pulse-amplitude-modulation (PAM) fluorometry and saturation pulse method: an overview. In: G.C. Papageorgiou, Govindjee (eds). *Chlorophyll a Fluorescence. Advances in Photosynthesis and Respiration. Vol. 19*. Dordrecht: Springer; 2004. p.279-319. DOI: 10.1007/978-1-4020-3218-9_11
- Zemlyanskaya Yu.E., Sinegovskaya V.T. Plantings of new cultivars and varietal samples of soybean as photosynthetic systems (Posevy novykh sortov i sortoobraztsov soi kak fotosinteziruyushchiye sistemy). In: *Ways of Reproducing Soil Fertility and Increasing Crop Yields in the Amur Region: a Collection of Scientific Papers. Issue 10 (Puti vosproizvodstva plodorodiya pochv i povysheniya urozhaynosti selskokhozyaystvennykh kultur v Priamurye: sbornik nauchnykh trudov. Vypusk 10)*. Blagoveshchensk: Far Eastern State Agrarian University; 2005. p.132-127. [in Russian] (Землянская Ю.Е., Синеговская В.Т. Посевы новых сортов и сортообразцов сои как фотосинтезирующие системы. В кн.: *Пути воспроизводства плодородия почв и повышения урожайности сельскохозяйственных культур в Приамурье: сборник научных трудов. Выпуск 10*. Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет; 2005. С.132-137).

Информация об авторах

Ксения Сергеевна Панченко, преподаватель, аспирант, Алтайский государственный университет, 656049 Россия, Барнаул, пр. Ленина, 61, kseniya.potapova.00@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4584-0048>

Наталья Владимировна Овчарова, кандидат биологических наук, доцент, Алтайский государственный университет, 656049 Россия, Барнаул, пр. Ленина, 61, ovcharova_n_w@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8657-3226>

Людмила Валерьевна Соколова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Алтайский государственный университет, 656049 Россия, Барнаул, пр. Ленина, 61, l.v.sokol@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5171-3965>

Марина Михайловна Силантьева, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой, Алтайский государственный университет, 656049 Россия, Барнаул, ул. Ленина, 61, msilan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7102-2675>

Information about the authors

Kseniya S. Panchenko, Lecturer, Postgraduate Student, Altai State University, 61 Lenina Ave., Barnaul 656049, Russia, kseniya.potapova.00@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4584-0048>

Natalia V. Ovcharova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Altai State University, 61 Lenina Ave., Barnaul 656049, Russia, ovcharova_n_w@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8657-3226>

Liudmila V. Sokolova, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Altai State University, 61 Lenina Ave., Barnaul 656049, Russia, l.v.sokol@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5171-3965>

Marina M. Silant'yeva, Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of a Department, Altai State University, 61 Lenina Ave., Barnaul 656049, Russia, msilan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7102-2675>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 07.05.2024; одобрена после рецензирования 07.10.2024; принята к публикации 03.12.2024. The article was submitted on 07.05.2024; approved after reviewing on 07.10.2024; accepted for publication on 03.12.2024.