

Флуоресценция хлорофилла кукурузы и механизм повышения ее урожайности при внесении минеральных удобрений

Ю. А. Овсянников¹✉

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: ovs122333@yandex.ru

Аннотация. В ранее проведенных опытах было установлено, что улучшение минерального питания растений способствует повышению чистой продуктивности фотосинтеза. Однако использованные методики для определения этого показателя базируются не на прямом определении значений фотосинтетических показателей, а на расчетах, основанных на учете площади листьев растений и образовании сухого вещества. **Цель** работы состояла в прямом определении влияния удобрений на флуоресценцию хлорофилла и фотосинтетическую активность растений. **Методология исследований.** Для непосредственной оценки влияния минеральных удобрений на эффективность функционирования фотосинтетического аппарата использовался флуориметр РАМ-250. Наблюдения проводились на листьях кукурузы. Измерение флуоресценции осуществлялось в шестикратной повторности. **Результаты.** Установлено, что внесение минеральных удобрений незначительно изменяло интенсивность фотосинтеза по показателю F_v/F_m . Так, среднее значение F_v/F_m возросло с 0,763 по фону без удобрений до 0,775 отн. ед. по удобренному фону. Дисперсионный анализ показал, что эти изменения носят несущественный характер. Но в то же время при внесении минеральных удобрений урожайность зеленой массы кукурузы возрастала с 20,5 т/га до 24,0 т/га, т. е. на 17 %, а сбор сухого вещества с 5,5 т/га до 6,7 т/га или на 22 %. Одновременно наблюдалось соответствующее увеличение на 25 % размеров корневой системы растений кукурузы. Таким образом, было установлено, что внесение минеральных удобрений повышая урожайность растений кукурузы не обязательно сопровождается увеличением активности их фотосинтетического аппарата. В этом состоит новизна исследований. Дано объяснение механизма повышения продуктивности растений кукурузы при внесении минеральных удобрений.

Ключевые слова: кукуруза, фотосинтез, чистая продуктивность фотосинтеза, флуоресценция, минеральные удобрения, корневая система, корневые выделения, урожайность, ризосфера, микроорганизмы.

Для цитирования: Овсянников Ю. А. Флуоресценция хлорофилла кукурузы и механизм повышения ее урожайности при внесении минеральных удобрений // Аграрный вестник Урала. 2021. № 02 (205). С. 41–47. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-41-47.

Дата поступления статьи: 08.10.2020.

Постановка проблемы (Introduction)

Решение проблемы повышения продуктивности сельскохозяйственных культур базируется на проведении исследований по различным направлениям. Изучаются вопросы связанные с почвами, их обработкой, применением минеральных удобрений, созданием оптимальных севооборотов, структуры посевов и их защиты [1–3]. Большое внимание уделяется созданию новых сортов и повышению качества получаемой продукции. В последние годы также изучаются вопросы создания агрофитоценозов, которые бы не нарушали биогеохимические потоки веществ в агроэкосистемах [4]. Внедрение в производство результатов исследований по этим традиционным направлениям с учетом технических и информационных аспектов позволяет постоянно совершенствовать технологии выращивания сельскохозяйственных растений и увеличивать их урожайность.

Одним из путей повышения продуктивности культурных растений является использование их физиологиче-

ских характеристик [5]. Наиболее эффективным в этом плане может рассматриваться фотосинтез, который лежит в основе образования органического вещества растительного происхождения. Значительный вклад в изучении роли фотосинтеза в росте и развитии отдельного растения и формирования урожая сельскохозяйственных культур внесли А. Т. Мокроносов и А. А. Ничипорович. Так, А. А. Ничипоровичем были разработаны методические рекомендации по определению оптимальной площади листьев культурных растений обеспечивающих максимальную фотосинтетическую активность посевов. В их основе лежат периодическое определение площади листьев посевов и объема накопления органического вещества, индекса листовой поверхности, фотосинтетического потенциала. Описываемая методика позволяет соответствующим расчетом определять способность единицы листовой поверхности синтезировать органического вещества.

Основные позиции этих рекомендаций применяются и в настоящее время [6–8]. При определении особенностей

продукционного процесса кормовых корнеплодов были использованы работы А. А. Ничипоровича. В настоящем исследовании, как и в работах других авторов, было отмечено повышение чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) посевов при внесении минеральных удобрений. Следует отметить, что указанная методика позволяет определять только расчетные показатели продукционного процесса посева в целом и не позволяет оценить реальную интенсивность первичных этапов фотосинтеза. Этим, очевидно, и объясняется большое различие в результатах определения показателей ЧПФ, что затрудняет их оценку.

В целом изучение фотосинтеза и отдельных его процессов является сложной задачей, т. к. это требует использования сложного, часто стационарного лабораторного оборудования. Одним из способов решения обозначенной проблемы является использование более современной приборной базы. В настоящее время имеется возможность изучения первичных процессов фотосинтеза на основе регистрации интенсивности флуоресценции хлорофилла. Для этого используются флуориметры. Они позволяют измерять фоновую и максимальную флуоресценции и оценивать фотосинтетическую активность хлорофилла в относительных единицах. В ранее опубликованной работе мы более подробно рассматривали особенности этого подхода [9]. Его преимущество состоит в том, что он позволяет более точно оценивать процессы фотосинтеза, чем ЧПФ.

В наших исследованиях для изучения влияния уровня минерального питания на фотосинтетическую активность хлорофилла кукурузы мы использовали флуориметрический метод. Было установлено, что при выращивании кукурузы на разных уровнях минерального питания (без удобрений и при внесении удобрений) средние показатели фотосинтетической активности хлорофилла изменялись незначительно (в зависимости от варианта от 0,762 до 0,772 отн. ед.), но одновременно наблюдались заметные различия в продуктивности кукурузы. На фоне с минеральными удобрениями сбор сухого вещества увеличился на 43 % [9]. Таким образом, проявились явные противоречия между незначительными изменениями в фотосинтетической активности хлорофилла при внесении удобрений

и существенным повышением сбора сухого вещества. В целях разрешения возникшей проблемы были проведены дополнительные исследования.

Методология и методы исследования (Methods)

Цель дополнительных исследований состояла в уточнении влияния уровня минерального питания на фотосинтетическую активность хлорофилла кукурузы. Для наблюдений использовались растения кукурузы гибрида Обский 140 СВ, которые выращивались в полевых условиях в 2015–2017 гг. в опытах С. К. Мингалева и И. В. Сурина [9] на двух фонах минерального питания – без удобрений и при внесении NPK по 60 кг/га каждого элемента. Площадь опытной делянки – 10 м², повторность четырехкратная. Учет урожая проводили сплошным методом. Защитная зона между фонами минерального питания – 1,2 м. Удобрения вносили весной перед посевом разбросным способом с последующей их заделкой в почву. Кукуруза высевалась с междурядьями 60 см.

Регистрация флуоресценции хлорофилла проводилась на приборе РАМ-2500 в периоды начала образования воздушных корней, выметывания и молочной спелости зерна кукурузы. Для наблюдений использовались листья, расположенные в верхней части стебля. Измерение флуоресценции проводили в шестикратной повторности. Образцы листа вырезались на расстоянии 15–20 см от верхнего края. Перед наблюдением они подвергались темновой адаптации на протяжении 12 минут. Период времени между отбором образца и его анализом с учетом темновой адаптации не превышал 15 минут. В целом методика проведения опыта была аналогичной ранее проведенным исследованиям [9].

Результаты (Results)

В результате проведенных исследований было установлено, что внесение минеральных удобрений несколько повышает интенсивность фотосинтеза по показателю F_v/F_m . Так, среднее значение F_v/F_m возросло с 0,763 по фону без удобрений до 0,775 отн. ед. по удобренному фону. Однако дисперсионный анализ показал, что эти изменения носят несущественный характер, т. к. $F_{\text{факт}}$ оказалось меньше $F_{\text{теор}}$ (таблица 1).

Таблица 1
Влияние минеральных удобрений на фотосинтетическую активность хлорофилла кукурузы, F_v/F_m в отн. ед.

Уровень минерального питания	Фаза развития растений			
	Начало образования воздушных корней	Выметывание	Молочная спелость зерна	Средние по уровням питания $F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$
Без удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$	0,768 0,770	0,763 0,775	0,774 0,773	0,768 0,773

Table 1
Effect of mineral fertilizers on photosynthetic activity of corn chlorophyll, F_v/F_m in relative units

The level of mineral nutrition	Phase of plant development			
	The beginning of the formation of aerial roots	Appearance of inflorescences	Milk ripeness of grain	Average food levels $F_{\text{fact}} < F_{\text{theor}}$
Without fertilizers $N_{60}P_{60}K_{60}$	0.768 0.770	0.763 0.775	0.774 0.773	0.768 0.773

С целью получения дополнительной информации, необходимой для объяснения результатов эксперимента, был проведен учет урожая и определен сбор сухой биомассы кукурузы. Было установлено, что при внесении минеральных удобрений урожайность зеленой массы кукурузы возрастает с 20,5 т/га до 24,0 т/га, т. е. на 17 %, а сбор сухого вещества с 5,5 т/га до 6,7 т/га, или на 22 %.

Одновременно при внесении минеральных удобрений наблюдалось и соответствующее увеличение размеров корневых систем растений кукурузы. Ее масса увеличилась на 25 %. Различия в развитии корневых систем растений кукурузы на изучаемых вариантах хорошо просматриваются на рис. 1.

Таким образом, как и в предыдущих исследованиях, на фоне незначительных положительных изменений в фотосинтетической активности хлорофилла мы наблюдали существенное увеличение в продуктивности посевов кукурузы. Это значит, что повышение урожайности выращиваемой культуры нельзя связать с изменениями, произошедшими в фотосинтетическом аппарате растения. Очевидно, существует другой механизм повышения продуктивности культурных растений при внесении минеральных удобрений. Объяснить возникающее противоречие, по-нашему мнению, можно следующим образом.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Одним из направлений использования растениями продуктов фотосинтеза является образование корневых выделений [10–12]. Они представлены в основном разнообразными органическими кислотами и углеводами. Как было установлено, они имеют большое значение в жизни растений. Поступающие в ризосферу растений органические вещества корневых выделений оказывают благотворное воздействие на почвенную микрофлору. Она начинает более активно вовлекать минеральные соединения почвы в биохимические процессы и тем самым повышать их доступность для растений. Но длительное время это явление оставалось не оцененным в полной мере. Даже после публикации в 1972 г. работы С. А. Самцевич «Взаимоотношения микроорганизмов почвы и высших растений», в которой он предположил, что корневые выделения растений принимают большое участие в формировании почвенного плодородия, этому вопросу не уделялось должного внимания.

Было установлено, что объем веществ, выделяемых растениями в зону ризосферы, сопоставим с образованием надземной массы. По данным С. А. Самцевич, в переводе на сухое вещество в почву из корневых систем ежегодно поступает до 5 т органических соединений. Благодаря им



Рис. 1. Влияние минеральных удобрений на формирование корневой системы растений кукурузы



Fig. 1. Influence of mineral fertilizers on the formation of the corn root system

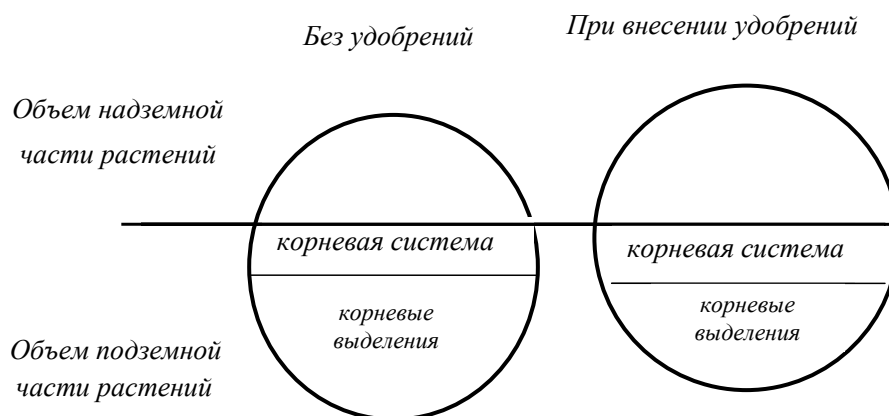


Рис. 2. Влияние минеральных удобрений на перераспределение в растениях продуктов фотосинтеза

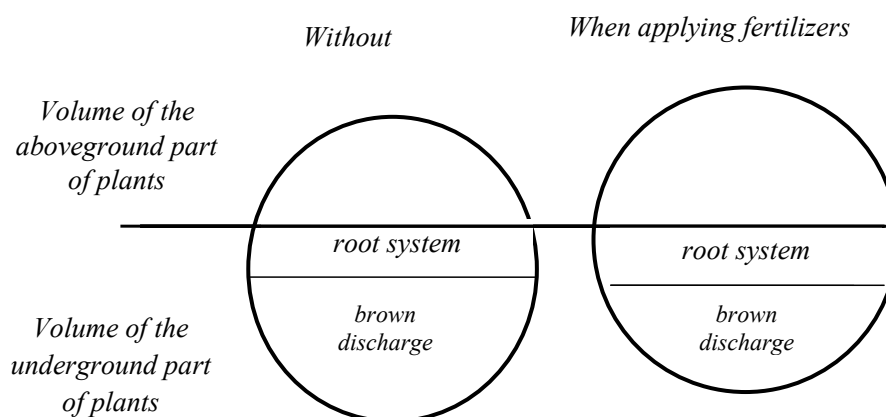


Fig. 2. The influence of mineral fertilizer redistribution in plants the products of photosynthesis

на границе корневых систем с почвой формируется зона насыщенная органическими веществами. Эта среда становится благоприятной для развития специфических микроорганизмов улучшающих минеральное питание растений [13]. В настоящее время становится ясно, что именно за счет активной микробиологической деятельности почвенные минеральные соединения становятся доступными для растений. Последние исследования также показали, что корневые выделения имеют решающее значение для ассоциативной азотфиксации [14–15].

Анализируя взаимоотношения растений и микроорганизмов через корневые выделения, можно сделать вывод, что они формировались на протяжении длительного периода. Их эволюционное развитие было сопряженным и направлено на повышение независимости и тех, и других живых организмов от внешних факторов окружающей среды, придания ей необходимых для нормальной жизнедеятельности параметров, а также формирование взаимовыгодных отношений и устойчивых сообществ.

Внесение минеральных удобрений существенно меняет условия функционирования агроэкосистем. С одной стороны, как было установлено в наших исследованиях, это не меняет эффективность фотосинтеза, но с другой стороны, в почву искусственно привносится значительные объемы легкодоступных для растений элементов минерального питания. В этих условиях растения теряют «заинтересованность» в поддержании выделительной функции корневых систем, необходимой для активной микробиологической деятельности ризосферных микро-

организмов обеспечивающих нормальное минеральное питание. В результате этого в растениях меняются донорно-акцепторные отношения, на важность которых в свое время обращал внимание А. Т. Мокроносов. Отсутствие «запроса» в продуктах фотосинтеза, необходимых для образования корневых выделений, меняет общую картину их распределения. Это проявляется в том, что они направляются не на образование корневых выделений, а на формирование надземной части растений, что и обуславливает повышение продуктивности сельскохозяйственных культур при внесении минеральных удобрений. Схематично этот процесс представлен на рис. 2.

Общий объем образования продуктов фотосинтеза при внесении минеральных удобрений существенно не меняется. Изменения затрагивают только их направления использования. Объем образования корневых выделений снижается в пользу образования надземной части и соответствующей массы корневой системы. Очевидно, это характерно для всех сельскохозяйственных растений. Подтверждением служат результаты исследований некоторых авторов, которые наблюдали снижение выделительных функций корневых систем при улучшении минерального питания растений. Также имеются многочисленные данные о снижении эффективности симбиотической и ассоциативной азотфиксации при внесении азотных удобрений [15].

Изучение литературных источников по этому вопросу показало, что имеются и другие подтверждения сделанным предположениям. Так, в работе С. М. Самосовой «Не-

которые аспекты изучения взаимоотношений между озимой пшеницей и микрофлорой ризосферы корней» приводятся результаты, полученные в полевых и вегетационных опытах. Было установлено, что при внесении химических элементов наблюдалось существенное (в 2–3 раза) подавление выделительной функции корней. При этом снижение содержания элементов минерального питания в субстрате, наоборот, усиливало это свойство растений. Такая реакция на изменение условий обитания, по сведениям С. М. Самосовой, характерна не только для растений, но и для дрожжевых клеток. Это служит дополнительным обоснованием справедливости сделанных выше заключений.

Предложенный механизм повышения урожайности при внесении минеральных удобрений может иметь большое значение для объяснения причин отрицательного влияния регулярного внесения минеральных удобрений на показатели плодородия почвы, что наблюдалось в целом ряде исследований. Вероятно, это связано с сокращением поступления в почву органических соединений, содержащихся в корневых выделениях культурных растений в условиях появления в зоне корневых систем доступных элементов минерального питания.

Важно также обратить внимание на то, что изменения в направлениях использования продуктов фотосинтеза в растениях в сторону образования корневых выделений

может быть использовано в практических целях. Так, усиливая поступление корневых выделений в почву, мы можем оказывать существенное положительное влияние на ее плодородие. При этом очевидно, что выделительные функции корневых систем культурных растений могут быть значительно усилены за счет селекционного процесса. Это позволит заметно увеличить объемы поступления органического вещества в почву за счет самих растений и, таким образом, активизировать естественные почвообразовательные процессы. В целом усиление выделительных функций корневых систем растений в перспективе может стать одним из важнейших приемов воздействия по почве и повышения их плодородия.

На основании анализа результатов исследований можно сделать следующие выводы:

1. Внесение минеральных удобрений ($N_{60}P_{60}K_{60}$) оказывает несущественное влияние на фотосинтетическую активность хлорофилла кукурузы, регистрируемую флуориметрическим методом.

2. Увеличение продуктивности растений при внесении минеральных удобрений происходит не за счет повышения активности фотосинтетического аппарата, а за счет перераспределения продуктов фотосинтеза в пользу надземной части и корневой системы. Объем образования корневых выделений при этом резко сокращается.

Библиографический список

1. Постников Д. А., Постников А. Н., Лошаков В. Г., Темирбекова С. К. Стратегия и тактика в принятии агроэкологических решений для Нечерноземной зоны // Успехи современной науки. 2017. Т. 1. № 10. С. 147–154.
2. Тойгильдин А. Л., Морозов В. И., Подсёвалов М. И. Биологизация севооборотов и качество зерна яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2 (46). С. 58–64. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-2-58-64.
3. Ториков В. Е., Соколов Н. А., Ториков В. В., Осипов А. А. Биологизация земледелия – важнейшее направление ресурсосбережения в АПК России. // Биологизация и продовольственная безопасность – векторы развития современного АПК: материалы международной научно-практической конференции. Орел, 2019. С. 107–124.
4. Овсянников Ю. А. Производство полноценных продуктов питания на основе эколого-биосферного земледелия // Аграрный вестник Урала. 2017. № 12-2 (167). С. 8–11.
5. Ерошенко Ф. В., Сторчак И. Г., Чернова И. В. Оценка состояния растений методами экспресс-диагностики // Аграрный вестник Урала. 2019. № 7 (186). С. 19–25. DOI: 10.32417/article_5d52af440f71b8.16701399.
6. Заикин В. В., Амелин А. В. Фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность фотосинтеза у сортов гречихи разных периодов селекции // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2017. № 4 (67). С. 10–16.
7. Гаджиумаров Р. Г. Фотосинтетическая деятельность посевов сои в зависимости от технологии и возделывания // Новости науки в АПК. 2019. № 3 (12). С. 419–423. DOI: 10.25930/2218-855X/106.3.12.2019.
8. Тедеева В. В., Абаев А. А., Тедеева А. А. Фотосинтетическая деятельность посевов различных сортов нута в условиях лесостепной зоны РСО-Алания // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 1691.
9. Мингалев С. К., Овсянников А. Ю., Овсянников Ю. А., Сурин И. В. Влияние минерального питания на показатели фотосинтетической активности хлорофилла кукурузы // Аграрный вестник Урала. 2014. № 10 (128). С. 25–27.
10. Демина О. С., Ларинова Ю. С., Кондратьев М. Н. Эффект корневых выделений культурных растений на рост сорных видов. Требования к методике проводимых экспериментов // Научная жизнь. 2017. № 9. С. 89–100.
11. Демина О. С., Ларинова Ю. С., Кондратьев М. Н. Эффект корневых выделений культурных растений на рост сорных видов // Природа. 2018. № 1 (1229). С. 59–64.
12. Кондратьев М. Н., Ларинова Ю. С., Демина О. С. Физиологические функции корневых выделений у растений // Доклады ТСХА. 2015. С. 35–39.
13. Соболева О. М. Роль ризосферных бактерий в повышении экологизации агрофитоценозов // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. №. 5. С. 19–22.
14. Завалин А. А., Алферов А. А., Чернова Л. С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // Агрохимия. 2019. № 8. С. 83–96. DOI: 10.1134/S0002188119080143.
15. Завалин А. А., Соколов О. А., Шмырева Н. Я. Экология азотфиксации, Саратов, 2019. 252 с.

Об авторах:

Юрий Алексеевич Овсянников¹, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры растениеводства и селекции, ORCID 0000-0003-4937-4268, AuthorID 129091; +7 (343) 221-41-16, 221-41-17, ovs122333@yandex.ru

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

Fluorescence of corn chlorophyll and the mechanism of increasing its yield when applying mineral fertilizers

Yu. A. Ovsyannikov¹✉

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: ovs122333@yandex.ru

Abstract. In previously conducted experiments it was found that the improvement of mineral nutrition of plants contributes to the increase of net productivity of photosynthesis. However, the methods used to determine this indicator are not based on direct determination of the values of photosynthetic indicators, but on calculations based on taking into account the area of plant leaves and the formation of dry matter. **The aim** of the work was to directly determine the effect of fertilizer application on chlorophyll fluorescence and photosynthetic activity of plants. **Research methodology.** To directly assess the effect of mineral fertilizers on the efficiency of the photosynthetic apparatus, the RAM-250 fluorometer was used. Observations were made on corn leaves. The fluorescence was measured six times over. **Results.** It was found that the application of mineral fertilizers slightly changed the intensity of photosynthesis in terms of F_v/F_m . So the average value of F_v/F_m increased from 0.763 for the background without fertilizers to 0.775 Rel. units for the fertilized background. Dispersion analysis showed that these changes are insignificant. But, at the same time, when applying mineral fertilizers, the yield of green corn mass increased from 20.5 t/ha to 24.0 t/ha, i. e. by 17 %, and the collection of dry matter from 5.5 t/ha to 6.7 t/ha, or by 22 %. At the same time, a corresponding 25 % increase in the size of the root system of maize plants was observed. Thus, it was found that the introduction of mineral fertilizers increasing the yield of cultivated plants is not necessarily accompanied by an increase in the activity of their photosynthetic apparatus. This is the **novelty** of the research. The explanation of the mechanism of increasing the productivity of maize plants when applying mineral fertilizers is given.

Keywords: corn, photosynthesis, net photosynthetic productivity, fluorescence, mineral fertilizers, root system, root secretions, yield, rhizosphere, microorganisms.

For citation: Ovsyannikov Yu. A. Fluorescentsiya khlorofilla kukuruzy i mekhanizm povysheniya ee urozhaynosti pri vnesenii mineral'nykh udobreniy [Fluorescence of corn chlorophyll and the mechanism of increasing its yield when applying mineral fertilizers] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 02 (205). Pp. 41–47. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-41-47. (In Russian.)

Paper submitted: 08.10.2020.

References

1. Postnikoov D. F., Postnikov A. N., Loshakov V. G., Temirbekova S. K. Strategiya i taktika v prinyatii agroekologicheskikh resheniy dlya Nechernozemnoy zony [Strategy and tactics in the adoption of agro-ecological solutions for the non-Chernozem zone] // Modern Science Success 2017. Vol. 1. No. 10. Pp. 147–154. (In Russian.)
2. Toygildina A. L., Morozov V. I., Podsevalov M. I. Biologizatsiya sevooborotov i kachestvo zerna yarovoy pshenitsy v usloviyakh lesostepnoy zony Povolzhya [Biologization of crop rotations and quality of spring wheat grain in the conditions of the Volga forest-steppe zone] // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2019. No. 2 (46). Pp. 58–64. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-2-58-64. (In Russian.)
3. Torikov V. E., Sokolov N. A., Torikov V. V., Osipov A. A. Biologizatsiya zemledeliya – vazhneyshee napravlenie resursoberezheniya v APK Rossii [Biologization of agriculture – the most important direction of resource conservation in the Russian agro-industrial complex] // Biologizatsiya i prodovolstvennaya bezopasnost – vektory razvitiya sovremennogo APK: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orel, 2019. Pp. 107–124. (In Russian.)
4. Ovsyannikov Yu. A. Proizvodstvo polnothennykh produktov pitaniya na osnove ekologo-biosfernogo zemledeliya [Production of high-grade food products based on eco-biosphere agriculture] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2017. No. 12-2 (167). Pp. 8–11. (In Russian.)
5. Eroshenko F. V., Storchak I. G., Chernova I. V. Otsenka sostoyaniya rasteniy metodami ekspress-dagnostiki [Assessment of the state of plants by methods of Express diagnostics] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2019. No. 7 (186). Pp. 19–25. DOI: 10.32417/article_5d52af440f71b8.16701399. (In Russian.)

6. Zaikin V. V., Amelin A. V. Fotosinteticheskiy potentsial i chistaya produktivnost' fotosinteza u sortov grechikhi raznykh periodov selektsii [Photosynthetic potential and net productivity of photosynthesis in buckwheat Varieties of different breeding periods] // Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. No. 4 (67). Pp. 10–16. (In Russian.)
7. Gadzhimuratov R. G. Fotosinteticheskaya deyatel'nost' posevov soi v zavisimosti ot tekhnologii vozdeleyvaniya [Photosynthetic activity of soybean crops depending on the technology and cultivation] // Novosti nauki v APK. 2019. No. 3 (12). Pp. 419–423. (In Russian.)
8. Tedeeva V. V., Abaev A. A., Tedeeva A. A. Fotosinteticheskaya deyatel'nost' posevov razlichnykh sortov nuta v usloviyakh lesostepnoy zony RSO-Alaniya [Photosynthetic activity of crops of various varieties of chickpeas in the conditions of the forest-steppe zone of RSO-Alania] // Modern problems of science and education. 2015. No. 1-1. P. 1691. (In Russian.)
9. Mingalev S. K., Ovsyannikov A. Yu., Ovsyannikov Yu. A., Surin I. V. Vliyanie mineralnogo pitaniya na pokazateli fotosinteticheskoy aktivnosti khlorofilla kukuruzy [Influence of mineral nutrition on indicators of photosynthetic activity of corn chlorophyll] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2014. No. 10 (128). Pp. 25–27. (In Russian.)
10. Demina O. S., Larikova Yu. S., Kondrat'ev M. N. Effekt kornevykh vydeleniy kulturnykh rasteniy na rost sornykh vidov. Trebovaniya k metodike provodimykh eksperimentov [Effect of root secretions of cultivated plants on the growth of weed species. Requirements for the method of conducting experiments] // Scientific life. 2017. No. 9. Pp. 89–100. (In Russian.)
11. Demina O. S., Larikova Yu. S., Kondrat'ev M. N. Effekt kornevykh vydeleniy kulturnykh rasteniy na rost sornykh vidov [Effect of root secretions of cultivated plants on the growth of weed species] // Nature. 2018. No. 1 (1229). Pp. 59–64. (In Russian.)
12. Kondrat'ev M. N., Larikova Yu. S., Demina O. S. Fiziologicheskie funktsii kornevykh vydeleniy u rasteniy [Physiological functions of root excretions of plants] // Reports of the TAA. 2015. Pp. 35–39. (In Russian.)
13. Soboleva O. M. Rol' rizosfernykh bakteriy v povyshenii ekologizatsii agrofotsenosov [The role of rhizosphere bacteria in increasing the ecologization of agrocenoses] // Achievements of Science and Technology of AICis. 2018. Vol. 32. No. 5. Pp. 19–22. (In Russian.)
14. Zavalin A. A., Alferov A. A., Chernova L. S. Assotsiativnaya azotfiksatsiya i praktika primeneniya biopreparatov v posevakh sel'skokhozyaystvennykh kultur // Agrochemistry. 2019. No. 8. Pp. 83–96. DOI: 10.1134/S0002188119080143. (In Russian.)
15. Zavalin A. A., Sokolov O. A., Shmyreva N. Ya, Ekologiya azotfiksatsii [Ecology of nitrogen fixation]. Saratov, 2019. 252 p. (In Russian.)

Authors' information:

Yuriy A. Ovsyannikov¹, doctor of agricultural sciences, associate professor, professor of the department of plant production and breeding, ORCID 0000-0003-4937-4268, AuthorID 129091; +7 (343) 221-41-16, 221-41-17, ovs122333@yandex.ru

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia