УДК 631.8:581.133:631.445.4]:633.18 DOI: 10.25680/S19948603.2026.151.15

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РАСТЕНИЙ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ФОСФОГИПСА В СИСТЕМУ УДОБРЕНИЯ РИСА НА ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЕ

А.Х. Шеуджен[1,2], ак. РАН, Т.Н. Бондарева[1,2], к.с.-х.н., А.А. Верещакова[1,2], П.Н. Хачмамук[1,2], к.с.-х.н.,
e-mail: vereschakova10@gmail.com, 89883525016
[1]ФГБНУ «Федеральный научный центр риса»,
350921, Россия, г. Краснодар, пос. Белозерный, 3
[2] Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина,
350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант №075-15-2025-574

Приводятся результаты исследования влияния фосфогипса (ФГ) на фотосинтетическую деятельность растений риса при его включении в систему удобрения. Установлено, что включение фосфогипса нейтрализованного в дозе 4 т/га в качестве источника фосфора в систему удобрения риса ($N_{120}P_{80}K_{60}$) обеспечивает формирование ассимиляционного аппарата и биосинтез фотосинтетических пигментов на уровне, сопоставимом со стандартной системой удобрения ($N_{120}P_{80}K_{60}$), где в качестве фосфорного удобрения применяется аммофос. Несмотря на некоторое снижение чистой продуктивности фотосинтеза (на 2,8-8,3%), продуктивность агроценоза не снижалась, а при внесении сыпучего фосфогипса осенью возрастала. При внесении фосфогипса не требуется применять фосфорные удобрения. Это не приведет к снижению интенсивности фотосинтеза и потери урожайности. При внесении изучаемых форм фосфогипса как весной, так и осенью урожайность риса не уступала таковой при использовании аммофоса или превышала ее, достигая максимума при внесении сыпучего фосфогипса осенью.

Ключевые слова: рис, фосфогипс нейтрализованный, фотосинтетическая деятельность, индекс листовой поверхности, интенсивность фотосинтеза, хлорофилл, урожайность.

Для цитирования: *Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Верещакова А.А., Хачмамук П.Н.* Фотосинтетическая деятельность растений при включении фосфогипса в систему удобрения риса на лугово-черноземной почве// Плодородие. – 2026. - №4. – С. 78-81. DOI: 10.25680/S19948603.2026.151.15.

Для повышения эффективности рисоводства одной из первостепенных задач, учитывая значительную антропогенную нагрузку на почву вследствие наличия слоя воды, предусмотренного технологией выращивания риса, становится воспроизводство плодородия. Эффективным приемом позитивного воздействия на почвы рисовых оросительных систем является внесение фосфогипса [1]. В представленном исследовании фосфогипс рассматривается как поликомпонентное удобрение, так как в его составе присутствуют необходимые для жизнедеятельности растений биогенные элементы: кальций (37,12 % CaO), сера (21,5 % S общая), фосфор (2,0 % P_2O_5), кремний (0,98 % SiO_2), магний (0,025 % MgO) и микроэлементы. Содержание радиоактивных и тяжелых элементов в фосфогипсе, рекомендованном к использованию в сельском хозяйстве, не превышает предельно допустимых значений (ГОСТ Р 58820-2020 «Фосфогипс для сельского хозяйства. Технические условия») [2, 4, 8].

Первостепенным при разработке технологии применения фосфогипса стал вопрос фосфорного удобрения, а именно – как изменится продукционный процесс в рисовом агроценозе при использовании фосфогипса в дозе P_{80}, рекомендованной научно обоснованной системой удобрения. Сравнение вели с агроценозом, формирующимся при внесении полного минерального удобрения DOI: 10.25680/S19948603.2026.150.19$N_{120}P_{80}K_{60}$, где источником фосфора являлся аммофос. Следует обратить внимание на то, что стояла задача оценить правомерность исключения фосфорного удобрения при применении фосфогипса для воспроизводства физико-химических свойств почв рисовых полей. В связи с этим оценивалось влияние фосфогипса на фотосинтетическую деятельность растений с учетом как поступающих в почву элементов питания растений, так и изменения их доступности растениям вследствие мелиоративного воздействия.

Критерием для оценки эффективности разрабатываемой технологии служили показатели фотосинтетической деятельности растений – индекс листовой поверхности (ИЛП), фотосинтетический потенциал (ФП), чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) и интенсивность фотосинтеза (ИФ), которые служат надежным индикатором диагностики состояния посева [3].

Цель исследования – оценить влияние различных форм (сыпучей и гранулированной) и сроков внесения (весна и осень) фосфогипса нейтрализованного на фотосинтетическую деятельность растений риса при выращивании в Республике Адыгея на лугово-черноземной почве рисовой оросительной системы.

Методика. Исследования проводили в 2024-2025 г. на рисовой оросительной системе ООО «Адыгейский научно-технический центр риса» (Тахтамукайский район, Республика Адыгея) на лугово-черноземной почве.

Фосфогипс нейтрализованный Белореченского завода минеральных удобрений в сыпучей (с) и гранулированной

(г) форме вносили в дозе 4 т/га осенью (о) и весной (в) до посева риса с заделкой в почву на глубину 8-10 см; азотное удобрение (карбамид) – до посева (N_{46}) и в две подкормки – в фазе всходы (N_{46}) и кущения (N_{28}) растений; калийное (калий хлористый) – до посева (K_{60}). В варианте $N_{120}P_{80}K_{60}$ – до посева вносили аммофос ($N_{12}P_{80}$), карбамид (N_{34}) и калий хлористый (K_{60}); в фазе всходы и кущение – карбамид N_{46} и N_{28} соответственно.

Площадь делянок в опыте 250 м^2, повторность вариантов – 4-кратная. Размещение вариантов – рендомизированное. Предшественник – рис, сорт Рапан. Норма высева - 7 млн всхожих семян на 1 га; режим орошения – укороченное затопление. Агротехника риса – рекомендованная ФГБНУ «ФНЦ риса» для данной зоны.

Схема опыта включала следующие варианты: 1. $N_0P_0K_0$ – без удобрений (контроль); 2. $N_{120}P_{80}K_{60}$ – стандарт (научно обоснованная система удобрения); 3. $N_{120}K_{60}$ – Фон; 4. Ф + ФГс(в); 5. Ф + ФГг(в); 6. Ф + ФГс(о); 7. Ф + ФГг(о).

В фазе выметывания риса определяли площадь ассимиляционной поверхности весовым методом и чистую продуктивность фотосинтеза по методике А.А. Ничипоровича у растений, отобранных с 0,25 м^2 в трех местах делянки, интенсивность фотосинтеза – методом Ф.З. Бородулиной в модификации А.Х. Шеуджена на 15-ти растениях, содержание хлорофиллов и каротиноидов – Т.Н. Годнева в модификации А.Х. Шеуджена [6]. Уборку урожая осуществляли в фазе полной спелости зерна путем обмолота каждой делянки с пересчетом на стандартные влажность и чистоту. Статистическая оценка результатов исследований выполнена с использованием метода дисперсионного анализа [5].

Результаты и их обсуждение. Анализ фотосинтетической деятельности агроценоза риса при включении ФГ в систему удобрения начат с изучения динамики формирования ассимиляционной поверхности растений. Площадь листовой поверхности у растений риса интенсивно увеличивается, достигая максимальных размеров в фазе выметывания. В дальнейшем, вследствие прекращения образования новых и частичного отмирания нижних ярусов листьев, она уменьшается. Такая динамика отмечена во всех вариантах опыта, независимо от внесения минеральных удобрений и ФГ (табл. 1).

1. Площадь листовой поверхности растений при включении фосфогипса в систему удобрения риса, см^2/растение

Вариант	Фаза вегетации растений			
	всходы	кущение	выметывание	полная спелость
1. $N_0P_0K_0$ (контроль)	10,2	70,0	134,8	50,2
2. $N_{120}P_{80}K_{60}$	14,8	78,8	151,6	70,7
3. $N_{120}K_{60}$ - фон	14,5	78,6	150,0	71,2
4. Фон + ФГс(в)	15,0	79,2	162,4	69,2
5. Фон + ФГг(в)	16,3	79,7	162,7	69,8
6. Фон + ФГс(о)	16,8	80,8	166,8	70,1
7. Фон + ФГг(о)	15,6	80,0	166,2	70,2
$НСР_{05}$	3,1	4,0	9,0	5,0

Уже в фазе всходов наблюдалось позитивное воздействие минеральных удобрений и ФГ на формирование ассимиляционного аппарата. Растения из удобренного агроценоза формировали площадь листьев бóльшую на 42,2-64,7%, чем у испытывающих дефицит основных элементов питания ($N_0P_0K_0$). Существенных различий во влиянии испытуемых форм фосфогипса, также как и срока их внесения (осень или весна), не выявлено. В данном исследовании ФГ применяли как источник фосфора, экспериментально подтверждена одинаковая его эффективность с аммофосом – различия по площади листьев с растениями варианта $N_{120}P_{80}K_{60}$ не превышали 1,4-13,5%, т.е. были несущественными.

В фазе кущения растений все отмеченные закономерности для предшествующей фазы с небольшими изменениями сохраняются. Прежде всего, наблюдаются более значительные отличия во влиянии ФГ на динамику формирования ассимиляционной поверхности растений риса как в сравнении с неудобренным ($N_0P_0K_0$) агроценозом, так и при применении фосфорного удобрения ($N_{120}P_{80}K_{60}$) в форме аммофоса. Так, в зависимости от сроков внесения фосфогипса отмечено достоверное увеличение площади ассимиляционной поверхности растений в фазе кущения по сравнению с произрастающими на неудобренной почве (+12,3-15,4%), а от удобренных аммофосом ($N_{120}P_{80}K_{60}$) существенно не отличались (+0,5-2,5%). Наибольшая ассимиляционная поверхность формировалась у растений, произрастающих на фоне внесения осенью сыпучего фосфогипса. В фазе выметывания растений риса закономерности, отмеченные в предшествующей фазе, сохранялись.

В фазе полной спелости зерна различий по площади ассимиляционной поверхности у растений из агроценозов с внесением удобрений не было. Это указывает на равнозначность фосфогипса и аммофоса с точки зрения воздействия на продолжительность работы ассимиляционного аппарата.

Фотосинтетическая деятельность растений неразрывно связана с содержанием и физиологической активностью фотосинтетических пигментов в листьях. Хлорофиллы ***а*** и ***б*** обеспечивают поглощение световой энергии и ее трансформацию в химическую, а каротиноиды выполняют протекторную функцию, предохраняя хлорофилл от фотоокисления [3].

В фазе выметывания наименьшим содержанием в фотосинтетическом аппарате пластидных пигментов характеризовались растения не получившие удобрений ($N_0P_0K_0$) (табл. 2). Включение фосфора в составе как аммофоса, так и фосфогипса в систему удобрения риса способствовало увеличению содержания фотосинтетических пигментов в листьях риса. При этом большим оно было при внесении фосфогипса. Это может быть обусловлено положительным воздействием мезо- и микроэлементов, содержащихся в фосфогипсе [4]. Следует обратить внимание на тенденцию к биосинтезу большего количества хлорофиллов при внесении фосфогипса осенью.

Физиологическая активность фотосинтетических пигментов, выражаемая отношением содержания хлорофилла ***а*** к ***б***, также указывает на позитивное влияние фосфогипса на фотосинтетическую деятельность растений. В агроценозах с фосфогипсом этот показатель на 0,058-0,102 ед. выше, чем с аммофосом ($N_{120}P_{80}K_{60}$). Статистически значимых различий по степени воздействия разных форм и сроков применения фосфогипса на пигментный комплекс и его активность не отмечено, но все анализируемые показатели были несколько выше при внесении фосфогипса осенью.

Интегральную характеристику «работы» листовой поверхности за вегетацию отражает фотосинтетический потенциал посева, который в варианте с $N_{120}P_{80}K_{60}$ составил 1,11 тыс. (м^2·сут)/га, в то время как в варианте без фосфора в системе удобрения ($N_{120}K_{60}$) наблюдалось его незначительное снижение (до 1,09 тыс. (м^2·сут)/га), что является следствием меньшей площади листьев у растений. При всех остальных системах удобрения в опыте достоверных различий по фотосинтетическому

потенциалу посева не было. При этом наибольший фотосинтетический потенциал отмечен в агроценозе с использованием в качестве источника P_2O_5 гранулированного фосфогипса весной и сыпучего – осенью (оба – на 1,13 тыс. (м²·сут)/га). Это может быть связано с тем, что входящие в состав ФГ кальций, сера и кремний способствуют поддержанию листьев в активном состоянии на протяжении более длительного периода.

2. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях риса в фазе выметывания и их физиологическая активность при включении фосфогипса в систему удобрения

№ варианта	Содержание пигментов, мг/дм³					Физиологическая активность пигментов, *а/б*	Фотосинтетический потенциал, тыс.(м²·сут)/га
	Хлорофилл *а*	Хлорофилл *б*	Сумма хлорофиллов *а* + *б*	Каротиноиды	Сумма хлорофиллов *а* + *б* и каротиноиды		
1	1,788	0,648	2,436	0,410	2,846	2,76	0,80
2	1,976	0,663	2,639	0,426	3,065	2,98	1,11
3	1,859	0,654	2,513	0,421	2,934	2,84	1,09
4	2,072	0,682	2,754	0,435	3,189	3,04	1,08
5	2,080	0,680	2,760	0,436	3,196	3,06	1,13
6	2,102	0,682	2,784	0,435	3,219	3,08	1,13
7	2,104	0,683	2,787	0,437	3,224	3,08	1,13
$НСР_{05}$	0,160	0,040	0,230	0,030	0,270	–	0,05

Фотосинтетическую деятельность посевов риса в фазе выметывания растений оценивали на основании анализа ее структурных параметров (индекс листовой поверхности, фотосинтетический потенциал) и функциональных характеристик (чистая продуктивность фотосинтеза, интенсивность фотосинтеза, ассимиляционное число). Применение удобрений способствовало повышению эффективности фотоситентетической деятельности растений, о чем свидетельствуют более высокие, чем в неудобренном агроценозе ($N_0P_0K_0$), значения всех анализируемых показателей (табл. 3).

3. Показатели фотосинтетической деятельности растений риса в фазе выметывания при включении фосфогипса в систему удобрения

№ варианта	Индекс листовой поверхности, м²/м²	Интенсивность фотосинтеза, мг CO_2/(дм²·ч)	Ассимиляционное число	Чистая продуктивность фотосинтеза, г/(м²·сут)
1	2,03	42,2	17,32	5,5
2	2,77	47,8	18,11	7,2
3	2,68	45,2	17,99	7,1
4	2,79	50,6	18,37	7,0
5	2,93	50,9	18,26	6,6
6	2,93	50,8	18,25	6,6
7	2,95	50,6	18,16	6,6
$НСР_{05}$	0,08	2,35	0,50	0,26

В фазе выметывания растений риса в варианте без внесения удобрений индекс листовой поверхности (ИЛП) составлял 2,03 м²/м². Применение удобрений из расчета $N_{120}P_{80}K_{60}$ обеспечило его увеличение на 31,4–44,3 %. Если источником P_2O_5 в системе удобрения был аммофос, то индекс листовой поверхности на 0,74 м²/м² больше, чем в неудобренном агроценозе ($N_0P_0K_0$). В агроценозе, где источником P_2O_5 в системе удобрения был фосфогипс, отмечено увеличение ИЛП по сравнению с аммофосом: при внесении весной в гранулированой форме на 0,16 м²/м² (5,8%), осенью в сыпучей на 0,16 м²/м² (5,8%), а гранулированой на 0,18 м²/м² (6,5%). Исключение фосфора из системы удобрения ($N_{120}K_{60}$) вело к снижению индекса листовой поверхности на 3,2%. Статистический анализ подтверждает, что применение фосфогипса (за исключением сыпучей формы при весеннем внесении) обеспечивает достоверное увеличение индекса листовой поверхности по сравнению со стандартной системой удобрения ($N_{120}P_{80}K_{60}$).

Скорость ассимиляции CO_2 листьями в фазе выметывания позволяет судить об интенсивности фотосинтеза у растений [4]. При внесении удобрений интенсивность фотосинтеза увеличивается в варианте с аммофосом ($N_{120}P_{80}K_{60}$) на 13,3%, а с ФГ на 19,9-20,6%. Все варианты с внесением фосфогипса продемонстрировали достоверное увеличение интенсивности фотосинтеза по сравнению с полным минеральным удобрением ($N_{120}P_{80}K_{60}$), в котором в качестве фосфорного удобрения использовали аммофос. Это увеличение варьировало от 5,9% при внесении сыпучего и гранулированного фосфогипса весной (50,6-50,9 мг CO_2/(дм²·ч) до 6,3-6,5% при внесении осенью сыпучего и гранулированного (50,6-50,8 мг CO_2/(дм²·ч). Это может быть обусловлено наличием в фосфогипсе серы, кальция и биогенных микроэлементов, активирующих ряд ключевых ферментов фотосинтеза и стабилизирующих структуру хлоропластов [3, 7].

По отношению интенсивности фотосинтеза к содержанию пигментов (ассимиляционное число) судят о фотосинтетической активности хлорофилла. Применение полного минерального удобрения ($N_{120}P_{80}K_{60}$) с аммофосом повысило этот показатель на 0,79 ед. В агроценозах с внесением фосфогипса как осенью, так и весной (за исключением $N_{120}K_{60}$ + ФГс(в)), ассимиляционное число превышало значения, наблюдаемые при использовании в системе удобрения аммофоса ($N_{120}P_{80}K_{60}$). Следовательно, содержащиеся в ФГ мезо- и микроэлементы не только стимулируют синтез хлорофилла, но и повышают его фотохимическую активность, что согласуется с современными представлениями об их роли в фотосинтезе [3].

При внесении в качестве фосфорного удобрения фосфогипса отмечено снижение ЧПФ на 2,8-8,3% по сравнению с использованием аммофоса. Достоверное ее уменьшение зафиксировано при использовании гранулированного ФГ, независимо от срока его применения, и сыпучего ФГ при внесении осенью (-8,3%). Сыпучий ФГ, внесенный весной, не вызывал существенного снижения (-2,8%) ЧПФ. Это подтверждает теоретическое положение об обратной зависимости между ИЛП и ЧПФ, если площадь ассимиляционной поверхности превышает оптимальный размер. Согласно теории фотосинтетической деятельности посевов, при увеличении ИЛП происходит взаимное затенение листьев, что закономерно снижает среднюю продуктивность единицы листовой поверхности [8]. Наибольшая ЧПФ 7,2 г/(м²·сут) зафиксирована при внесении в качестве фосфорного удобрения аммофоса.

Интегральным показателем эффективности фотосинтетических процессов является урожайность зерна риса. Исключение фосфора из системы удобрения отрицательно отражается на продуктивности агроценоза – урожайность риса снижается на 6,86% (4,73 ц/га). При внесении аммофоса, совместно с азотно-калийным удобрением ($N_{120}P_{80}K_{60}$) урожайность риса была на 17,52

ц/га (34,0%) выше, чем в варианте без внесения удобрений. При использовании в качестве источника фосфора для питания растений фосфогипса отмечена тенденция к формированию большей урожайности, независимо от срока его внесения, чем при применении аммофоса (рис.).

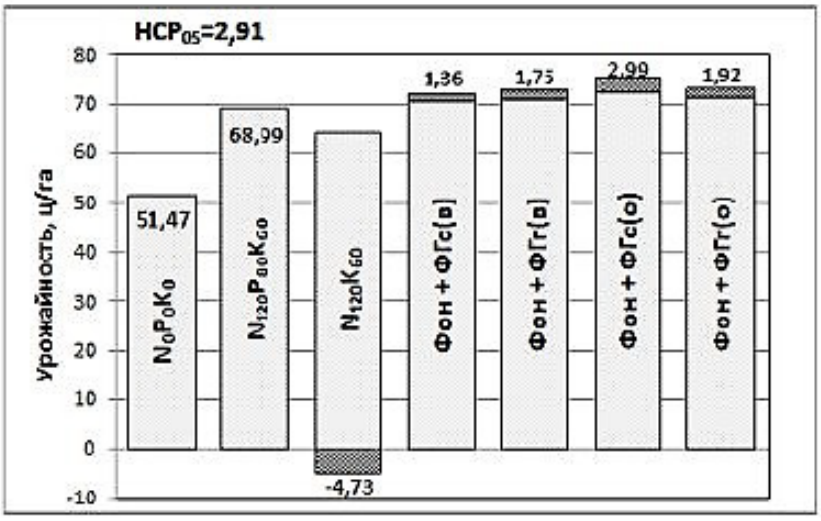


Рис. Урожайность зерна риса при включении фосфогипса в систему удобрения

Полученные экспериментальные данные подтвердили возможность исключения «специальных» фосфорных удобрений (на посевах риса это аммофос) при применении фосфогипса для мелиорации почв рисовых оросительных систем. Урожайность риса при этом не только не снижается по сравнению с использованием аммофоса, но и отмечена устойчивая тенденция к ее повышению. Самая высокая урожайность риса была при внесении фосфогипса как в гранулированной, так и в сыпучей форме осенью.

Заключение. Можно констатировать, что включение фосфогипса нейтрализованного в дозе 4 т/га в качестве источника фосфора в систему удобрения риса ($N_{120}P_{80}K_{60}$) обеспечивает формирование ассимиляционного аппарата и биосинтез фотосинтетических пигментов на уровне, сопоставимом со стандартной системой удобрения ($N_{120}P_{80}K_{60}$), где в качестве фосфорного удобрения применяется аммофос. Несмотря на некоторое снижение чистой продуктивности фотосинтеза (на 2,8-8,3%), продуктивность агроценоза не снижалась, а при внесении сыпучего фосфогипса осенью возрастала. При внесении фосфогипса не требуются фосфорные удобрения. Это не приведет к снижению интенсивности фотосинтеза и потере урожайности. При внесении изучаемых форм фосфогипса как весной, так и осенью урожайность риса не уступала таковой при использовании аммофоса или превышала ее, достигая максимума при использовании сыпучего фосфогипса осенью.

Литература

1. *Гаркуша С. В.* Научные основы применения фосфогипса нейтрализованного в рисоводстве: методические рекомендации. – Краснодар: Федеральный научный центр риса, 2025. – 46 с.
2. *Кизинек С. В.* Экологические и агроэкономические аспекты применения фосфогипса в сельском хозяйстве / С. В. Кизинек, А. Х. Шеуджен, Н. И. Аканова [и др.] // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Серия: Экология. – 2013. – Т. 2, № 9(13). – С. 206-216.
3. *Шеуджен А. Х.* Агрохимия и физиология питания риса / А. Х. Шеуджен. – Майкоп: Адыгея, 2005. – 1012 с.
4. *Шеуджен А. Х.* Агрохимия фосфогипса в рисовом агроценозе / А. Х. Шеуджен, С. В. Гаркуша, Т. Н. Бондарева, Н. М. Кремзин, П. Н. Хачмамук. – Майкоп: ОАО «Полиграф-ЮГ», 2021. – 156 с.
5. *Шеуджен А. Х.* Методика агрохимических исследований и статистическая оценка их результатов / А. Х. Шеуджен, Т. Н. Бондарева – Майкоп: ОАО «Полиграф-ЮГ», 2015. – 661 с.
6. *Шеуджен А. Х.* Руководство к практическим занятиям по экспериментальной агрохимии: учебное пособие / А. Х. Шеуджен, Т. Н. Бондарева, О. А. Гуторова / Под ред. ак. РАН А. Х. Шеуджена. - Майкоп: ОАО «Полиграф-Юг», 2024. – 800 с.
7. *Шеуджен А. Х.* Фотосинтетическая деятельность растений риса при внесении карбамида UTEC / А. Х. Шеуджен, Т. Н. Бондарева, М. А. Перепелин, П. Н. Харченко // Плодородие. – 2024. – № 1. – С. 16-19.
8. *Wang Y.* Biochar and phosphogypsum in agricultural soils: Individual roles, combined potentials, and future prospects / Y. Wang, M.QI, C. Yang [et al.] // Pedosphere. – 2026. – Vol. 36. – Iss. 2. – P. 416–429.

PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF PLANTS UPON PHOSPHOGYPSUM APPLICATION AS PART OF THE RICE FERTILIZATION SYSTEM ON MEADOW-CHERNOZEM SOIL

Sheudzhen A.Kh., academician of Russian Academy of Science, Dr. of biology, head of department of precise technologies[1,2]
Bondareva T.N., Ph.D. in agriculture, leading researcher of department of precise technologies[1,2]
Vereshchakova A.A., graduate student, junior researcher of department of precise technologies[1,2] (e-mail: vereschakova10@gmail.com, 89883525016)
Khachmamuk P.N., Ph.D. in agriculture, leading researcher of department of precise technologies[1,2]
[1]FSBSI «Federal Scientific Rice Centre», Belozerny, 3, Krasnodar, 350921, Russian Federation
[2]Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, 350044, Russian Federation

The article presents the results of a study examining the effect of phosphogypsum (PG) on the photosynthetic activity of rice plants when included in a fertilization system. It was found that the inclusion of neutralized phosphogypsum at a rate of 4 t/ha as a phosphorus source in a rice fertilization system ($N_{120}P_{80}K_{60}$) ensures the development of the assimilation apparatus and the biosynthesis of photosynthetic pigments at a level comparable to that of a standard fertilization system ($N_{120}P_{80}K_{60}$), which uses ammophos as the phosphorus fertilizer. Despite a slight decrease in net photosynthetic productivity (by 2.8-8.3%), agrocenosis productivity did not decline, and increased with the application of loose phosphogypsum in the fall. Phosphogypsum application does not require phosphorus fertilizers. This will not lead to a decrease in photosynthesis or yield loss. When applying the studied forms of phosphogypsum in both spring and fall, rice yields were equal to or exceeded those using ammophos, reaching their maximum with the application of loose phosphogypsum in the fall.
Key words: rice, neutralized phosphogypsum, photosynthetic activity, leaf area index, photosynthetic intensity, chlorophyll, yield.