

применения магнийсодержащих известковых удобрений.

Литература

1. Авдонин Н.Е. Влияние реакции среды на растения. Известкование кислых почв. – М.: Колос, 1976. – С. 72-115.
2. Гладышева О.В., Свирина В.А., Артюхова О.А. Изменение реакции среды почвенного раствора при повторном внесении мелиоранта // Плодородие. – 2021. – № 2. – С. 45-46.
3. Державин Л.М. Научно-методическое обеспечение комплексного мониторинга плодородия почв, земель сельскохозяйственного назначения / Л.М. Державин // Плодородие. – 2010. – №6. – С. 6-9.
4. Дзюин А.Г. Динамика кислотности дерново-подзолистой суглинистой почвы в севообороте с удобрениями на разных фонах // Плодородие. – 2018. – №5. – С. 19-20.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.
6. Корченкина Н.А., Гувеннов А. И., Богомолова Ю. А., Махалов Р.М. Последствие известкования и длительного внесения удобрений на динамику физико-химических свойств светло-серой лесной почвы // Агрохимический вестник. – 2017. – №5. – С. 2-3.
7. Лукманов А.А., Миннулин Р.М. Известкование кислых почв в Республике Татарстан местными известковыми удобрениями// Агрохимический вестник. – 2017. – №5. – С. 37-38.

8. Окороков В.В. Основные направления исследований по известкованию кислых почв // Владимирский земледелец. – 2011. – №4. – С. 17-18.
9. Рыбалкина А.В. К вопросу о выщелачивании кальция и магния осадками и балансе этих элементов в условиях дерново-среднеподзолистых почв левобережного Полесья УССР // Агрохимия. – 1984. – № 9. – С. 69-77.
10. Сокаев, К.Е. Мониторинг плодородия основных типов и подтипов почв Республики Северная Осетия-Алания на реперных участках / К. Е. Сокаев, В. В. Бестаев // Плодородие. – 2013. – № 6. – С. 31-33.
11. Сычев В.Г., Шильников В.А., Аканова Н.И. Состояние и эффективность химической мелиорации почв в земледелии Российской Федерации // Плодородие. – 2013. – №1. – С. 9-10.
12. Фирсов, С.А. Итоги химической мелиорации кислых почв в земледелии Тверской области / С. А. Фирсов // Плодородие. – 2010. – № 6 (57). – С. 2-3.
13. Чеботарев Н.Т. Применение местных агродуд в земледелии Республики Коми // Земледелие. – 2003. – № 6. – С. 7-8.
14. Чеботарев Н.Т., Шергина Н.Н. Влияние многолетнего комплексного применения удобрений на плодородие и продуктивность дерново-подзолистой почвы ЕВРО-СЕВЕРО-ВОСТОКА // Плодородие. – 2020. – №4. – С. 19-20.
15. Шаповалова Н.Н. Кисотно-основные свойства чернозема обыкновенного после длительного внесения минеральных удобрений / Н. Н. Шаповалова, Е. И. Годунова, Е. П. Шустикова // Плодородие. – 2016. – № 4. – С. 15-18.

EFFICIENCY OF CHEMICAL RECLAIM ON DARK GRAY FOREST SOIL IN GRAIN-ROWED CROPPED ROTATION

O.V. Gladysheva¹, V.A. Svirina¹, V.G. Chernogaev¹

¹The Institute of Seed and Agrotechnologies is a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM" (ISA – a branch of the FSBI FSAC VIM)
Russia, 390502, Ryazan region, Ryazan district, v. Podvyaze, st. Parkovaya, 1
E-mail: svirina-vera@mail.ru

The materials of studies on crops of the link of grain-grass-rowed crop rotation are presented. The dynamics of changes in the acidity of dark gray forest soils and the content of Ca^{2+} and Mg^{2+} exchangeable bases in them, as well as the sum of absorbed bases, have been revealed. It has been established that repeated liming at a dose of 1.5 Hr counteracts the process of soil acidification and improves its acidic properties, promotes the accumulation of exchange bases Ca^{2+} and Mg^{2+} , the sum of absorbed bases. It has been established that repeated liming is significantly manifested in the third year in the crop rotation link in the third year. The combined use of mineral fertilizers and liming increased the productivity of the crop rotation link in comparison with the control (without fertilizers and without CaCO_3) by 1.4 t/ha.

Key words: dark gray forest soil, physical and chemical properties, saline pH, amount of Ca^{2+} and Mg^{2+} exchangeable cations, mineral fertilizers, liming, productivity.

УДК 631.17; 539.122.04

DOI: 10.25680/S19948603.2022.128.17

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН РАЙГРАСА ОДНОЛЕТНЕГО ^{60}Co НА УРОЖАЙ И ВЫНОС РАСТЕНИЯМИ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ

Ю.Е. Гусева, к.б.н., Г.А. Смолина, к.б.н., С.П. Торшин, д.б.н., Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева (РГАУ-МСХА)
127434, Москва ул. Тимирязевская, 51

Изучено влияние облучения ^{60}Co (радиоактивный изотоп) семян райграсса однолетнего в дозах 4-20 Гр на урожай и вынос азота, фосфора и калия растениями в условиях вегетационного опыта. Установлено, что эффект радиационного гормезиса проявляется при поглощенной дозе 20 Гр, где получены наибольшая прибавка урожая райграсса однолетнего за счет увеличения сухой массы во втором укосе, а также максимальный вынос растениями азота и фосфора. Действие радиации на семена кормовой культуры в дозах 4-20 Гр снижало вынос райграсом калия.

Ключевые слова: райграсс однолетний, радиационный гормезис, облучение, урожайность.

Для цитирования: Гусева Ю.Е., Смолина Г.А., Торшин С.П. Влияние облучения семян райграсса однолетнего ^{60}Co на урожай и вынос растениями макроэлементов// Плодородие. – 2022. – №5. – С. 69-72.

DOI: 10.25680/S19948603.2022.128.17.

Перспективным и экологически безопасным направлением повышения урожайности и улучшения качества растениеводческой продукции является предпосевное облучение семян ионизирующим излучением. Согласно исследованиям [2-5], воздействие гамма-лучей может

оказывать стимулирующее действие на определенные морфологические параметры растений, а также увеличивать выход зеленой массы сельскохозяйственных культур. Радиационный эффект воздействия ионизирующего излучения зависит, как правило, от полученной дозы.

Низкие дозы гамма-излучения стимулируют деление, рост и развитие клеток в различных организмах, включая животных и растения, а высокие – ингибируют их. Явление, при котором наблюдается положительное влияние малых доз радиации на биологические процессы и стимулирующее благоприятное действие на организм, получило название радиационный гормезис.

Согласно теории радиационного гормезиса, предпосевное гамма-облучение семян низкими дозами положительно влияет на рост и развитие сельскохозяйственных культур. Однако воздействие высоких доз ионизирующего излучения, которые выше определенного для каждого вида и сорта растений порога, негативно влияет на эти процессы. Один из важнейших факторов ингибирующего действия высоких доз радиации – снижение фотосинтетической активности [5].

Воздействие ионизирующего излучения может вызывать прямое или косвенное повреждение растений. Если энергия радиации передается непосредственно клеткам и макромолекулам ДНК, то наблюдается прямое повреждение организма, приводящее к травмированию или даже гибели клеток, появлению различных аномалий. Непрямое повреждение сельскохозяйственных культур происходит под действием активных форм кислорода (АФК), образующихся при радиолизе воды и вызывающих оксидативный стресс. АФК обладают высокой реакционной способностью, могут быстро окислять макромолекулы в клетках, вызывают окисление липидов, белков и повреждение ДНК.

Облучение посевного материала ионизирующим излучением в низких дозах позволяет улучшить всхожесть семян сельскохозяйственных культур, ускорить появление всходов, уменьшить разнокачественность растений по биологическому потенциалу, повысить устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды, снизить потери при переработке и увеличить сроки хранения продуктов питания.

Цель наших исследований – изучить влияние предпосевного гамма-облучения семян райграса однолетнего сорта Репид в дозах 4-20 Гр на урожай кормовой культуры и вынос растениями макроэлементов.

Методика. Вегетационный опыт заложен на кафедре агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Были использованы сосуды Митчерлиха. Опыт состоял из 6 вариантов, повторность четырехкратная. Почву отбирали с опытного поля РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Она характеризовалась следующими агрохимическими показателями: pH_{KCl} 5,1; гидролитическая кислотность – 3,3 мг-экв/100 г почвы; сумма поглощенных оснований – 28,0 мг-экв/100 г почвы; степень насыщенности основаниями – 89,5 %; содержание подвижного фосфора 15 мг/100 г почвы, обменного калия – 15,5 мг/100 г почвы. Минеральные удобрения вносили при набивке сосудов в дозах 100 мг/кг почвы N, 150 P_2O_5 и 100 мг/кг почвы K_2O . Величину pH солевой вытяжки определяли по методу ЦИ-НАО (ГОСТ 26483-85), гидролитическую кислотность – по методу Каппена (ГОСТ 26212-91), сумму поглощенных оснований – по методу Каппена (ГОСТ 27821-88), содержание подвижных форм фосфора и обменного калия – по методу Кирсанова (ГОСТ Р 54650-2011). В качестве источников макроэлементов брали аммиачную селитру, аммофос и хлористый калий.

Посевной материал облучали во Всероссийском научно-исследовательском институте радиологии и агроэкологии на гамма-установке радиационного облучения ГУР-120. Источником ионизирующего излучения был радиоактивный изотоп ^{60}Co . Дозу излучения определяли с помощью универсального дозиметра ДКС-101 с ионизационной камерой БМК-50 № 1198. Семена облучали в дозах 4, 8, 10, 15 и 20 Гр. Посев проводили на следующий день после облучения посевного материала в количестве 0,5 г семян райграса однолетнего сорта Репид на сосуд.

Укос растений осуществляли дважды: во время колошения и начала цветения. Растительный материал взвешивали и помещали в бумажные пакеты, с указанием номера сосуда и даты укоса. Затем высушивали до постоянной массы при температуре 105°C, после чего измельчали и использовался для дальнейших исследований.

Содержание азота в растениях определяли по Кьельдалю, фосфора – по Е. Труогу и А. Мейеру, калий – пламенно-фотометрическим методом [1]. Результаты исследования анализировали, используя параметрические методы статистики. Для проверки достоверности отличия полученных данных от контроля использовали критерий Стьюдента.

Результаты и их обсуждение. Проведенный на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве опыт показал, что предпосевное гамма-облучение семян райграса однолетнего сорта Репид в дозах 4-20 Гр влияет на урожай растений (табл. 1).

1. Влияние предпосевного гамма-облучения семян райграса однолетнего сорта Репид на урожайность растений

Доза облучения, Гр	Сухая масса, г/сосуд			Прибавка к контролю	
	1-й укос	2-й укос	сумма двух укосов	г/сосуд	%
0	18,48	7,83	26,31	-	-
4	17,10	9,25	26,35	0,04	0,15
8	16,58	8,53	25,11	0,00	0,00
10	18,15	8,30	26,45	0,14	0,53
15	18,13	9,30	27,43	1,12	4,26
20	18,20	10,40	28,60	2,29	8,70
НСР ₀₅	1,32	1,04	2,08	-	-

Урожайность первого укоса достоверно снижалась при облучении посевного материала в дозах 4 и 8 Гр. Так, воздействие ионизирующего излучения на семена в дозе 4 Гр уменьшало выход сухой массы на 7,47 %, в дозе 8 Гр – на 10,28 % по сравнению с контролем. Однако, предпосевное γ -облучение положительно влияло на урожайность растений райграса однолетнего второго укоса. Начиная с поглощенной дозы 4 Гр увеличивался выход сухой массы сельскохозяйственной культуры. Достоверное превышение фоновых значений отмечалось при воздействии радиации в дозах 4, 15 и 20 Гр. Урожайность растений райграса в данных вариантах на 18,14-32,82 % выше контроля. Тем не менее, выход сухой массы кормовой культуры за два укоса статистически значимо повышался только при облучении семян райграса в дозе 20 Гр. Эффекта радиационного гормезиса в остальных вариантах не отмечено.

Согласно результатам проведенных исследований (табл. 2; рис.), предпосевное гамма-облучение семян райграса однолетнего сорта Репид не оказывает стимулирующего действия на вынос азота растениями первого укоса. Начиная с поглощенной дозы 4 Гр происходило

снижение хозяйственного выноса макроэлемента. Наименьший вынос азота отмечен при воздействии радиации на семена райграса в дозе 10 Гр, растения в данном варианте отчуждали 2,13 мг/сосуд биогенного элемента, что на 94,17 % ниже контроля. В остальных вариантах снижение выноса азота по сравнению с фоновым вариантом составило 16,36-67,27 %. Однако эффект радиационного гормезиса наблюдали во втором укосе при облучении семян райграса в дозах 4 и 20 г, где зафиксировали достоверное превышение выноса азота по сравнению с контролем. Отчуждение с товарной продукцией элемента минерального питания в данных вариантах составляло 46,43 и 72,25 мг/сосуд, превышение контрольных значений было на 26,66 и 97,13 % соответственно. Ингибирующее действие

радиации и во втором укосе отмечено при облучении семян дозой 10 Гр. Вынос азота в данном варианте составил 11,58 мг/сосуд, что на 68,41 % ниже контроля. Достоверного изменения отчуждения макроэлемента в остальных вариантах не зафиксировано. Ингибирующее действие ионизирующего излучения на вынос азота растениями райграса однолетнего с урожаем двух укосов отмечено при облучении семян в дозах 8 и 10 Гр, где статистически значимое снижение выноса макроэлемента по сравнению с вариантом с необлученными семенами происходит на 22,53 и 81,27 % соответственно. Радиационный гормезис проявился при поглощенной дозе 20 Гр, где отчуждение азота с урожаем райграса было максимальным и превышало контрольные значения на 17,07 %.

2. Влияние предпосевного гамма-облучения семян райграса однолетнего сорта Рапид на вынос растениями макроэлементов, мг/сосуд

Доза облучения, Гр	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
	1-й укос	2-й укос	сумма двух укосов	1-й укос	2-й укос	сумма двух укосов	1-й укос	2-й укос	сумма двух укосов
0	36,53	36,65	73,18	8,06	8,07	16,13	123,83	52,08	175,91
4	30,56	46,43	76,99	7,53	8,48	16,01	88,57	35,91	124,48
8	17,12	39,57	56,69	8,58	5,96	14,54	80,53	34,22	114,75
10	2,13	11,58	13,71	8,84	6,22	15,06	89,77	29,05	118,82
15	29,36	42,78	72,14	20,82	7,93	28,75	90,73	28,57	119,30
20	13,42	72,25	85,67	20,52	7,62	28,14	90,71	34,69	125,40
НСР ₀₅	10,53	9,33	5,69	3,52	0,88	3,83	10,12	6,89	13,59

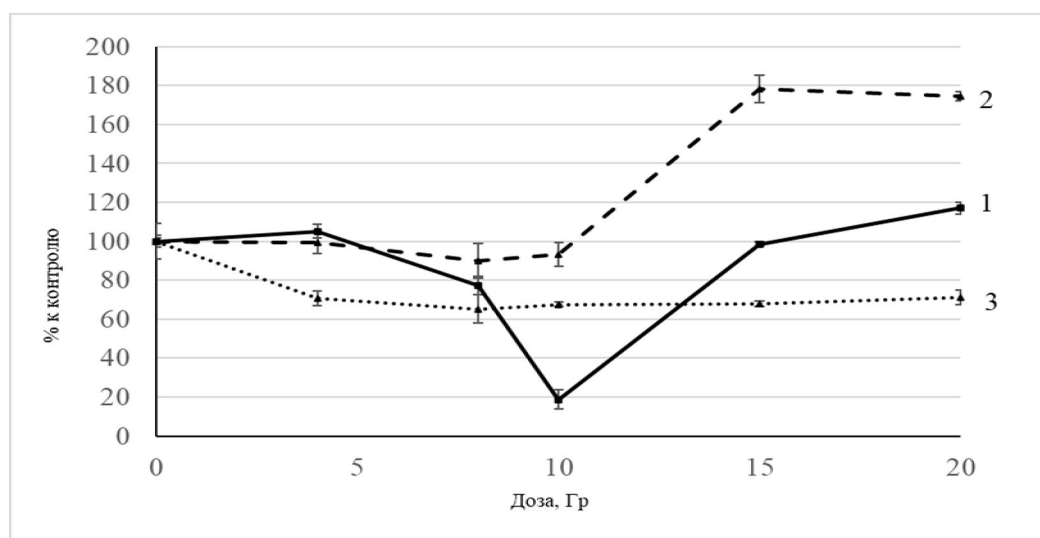


Рис. Влияние разных доз γ -излучения (^{60}Co) на содержание элементов минерального питания в растениях райграса однолетнего сорта Рапид: 1 – азота; 2 – фосфора; 3 – калия

Вынос фосфора растениями райграса однолетнего сорта Рапид первого укоса также находился в прямой зависимости от поглощенной дозы. При воздействии радиацией на посевной материал в дозах 4-10 Гр статистически значимых изменений в выносе элемента минерального питания отмечено не было, однако при облучении семян в дозах 15 и 20 Гр произошло резкое увеличение выноса фосфора растениями райграса, и составило 20,82 и 20,52 мг/сосуд соответственно. Превышение контрольных значений по данному показателю было на 154,59-158,31 %. Однако эффекта радиационного гормезиса на отчуждение фосфора с урожаем райграса второго укоса получено не было. Статистически значимое снижение выноса макроэлемента отмечалось при воздействии на посевной материал ионизирующего излучения в дозах 8 и 10 Гр, где вынос фосфора составлял 5,96 и 6,22 мг/сосуд, что на 26,15 и 22,92 % ниже контроля соответственно. В остальных

вариантах достоверных изменений в выносе макроэлемента с урожаем второго укоса зафиксировано не было. Стимулирующее действие радиации на отчуждение фосфора с урожаем двух укосов райграса однолетнего получено при поглощенных дозах 15 и 20 Гр. Вынос зольного элемента в данных вариантах составлял 28,75 и 28,14 мг/сосуд, что на 78,24 и 74,46 % выше контроля.

Гамма-облучение семян райграса однолетнего сорта Рапид отрицательно влияло на вынос калия растениями. Стимулирующего действия радиации на данный показатель отмечено не было. Начиная с поглощенной дозы 4 Гр, наблюдалось достоверное уменьшение выноса растениями калия. При действии ионизирующего излучения в дозах 4-20 Гр отмечено снижение контрольных значений в первом укосе на 26,73-34,97 %, во втором на 31,05-45,14 %. Ингибирующее действие радиации на отчуждение калия с урожаем двух укосов райграса однолетнего также зафиксировано при поглощенных дозах 4-20 Гр. Вынос

калия в данных вариантах составлял 114,75-125,40 мг/сосуд, что на 28,71-34,77 % ниже контроля.

Итак, для понимания возникновения эффекта радиационного гормезиса при облучении семян сельскохозяйственных культур следует выделить основные стадии онтогенеза растения и выявить значение ионизирующего излучения в каждой из них. Две основные системы клетки, действуя на которые радиация может ускорить рост и развитие растения, это геном и биомембраны. Первая представляет собой уникальный управляющий комплекс, без неё невозможно нормальное функционирование всех клеточных систем, вторая регулирует поступление элементов питания, перенос энергии, синтез важных составляющих растительной клетки [2]. Энергия ионизирующего излучения, поглощаемая посевным материалом, трансформируется в неустойчивые фрагменты молекул, обладающие чрезвычайно высокой реакционной способностью. Такие молекулы при поступлении в семена воды и кислорода преобразуются в сильные окислители, ускоряющие выполнение программы онтогенеза растения. В результате первые фазы развития проходят быстрее, сокращается период вегетации сельскохозяйственных культур, увеличиваются урожайность и качество растениеводческой продукции, что наблюдалось при действии ионизирующего излучения на растения райграса в дозе 20 Гр, где была получена максимальная урожайность изучаемой культуры (см. табл. 1). Однако стоит отметить, что механизмы таких изменений и их корреляция с фенотипом до конца не выяснены. Так сообщается [4], что содержание белка, углеводов и витаминов увеличивается при облучении посевного материала зерновых и зернобобовых культур, что подтвердилось и нашими ис-

следованиями. При поглощенной дозе 20 Гр увеличивается вынос растениями райграса азота и фосфора, что может быть косвенным признаком повышения содержания высокомолекулярных соединений в кормовой культуре (см. табл. 2; рис.).

Заключение. Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что гамма-облучение семян райграса однолетнего сорта Ралид в диапазоне доз 15-20 Гр положительно влияет на урожайность сельскохозяйственной культуры. При воздействии радиации на посевной материал ускоряются прорастание семян, прохождение ранних стадий онтогенеза растений, что сокращает время между укосами, и в итоге приводит к увеличению урожайности кормовой культуры на 4,3–8,7 %. При облучении семян райграса однолетнего ионизирующим излучением в дозе 20 Гр также проявляется эффект радиационного гормезиса, увеличивается вынос азота и фосфора растениями. Однако воздействие радиации на семена кормовой культуры в дозах 4-20 Гр снижает вынос райграсом калия.

Литература

1. Кидин В.В. Практикум по агрохимии. – М.: Колос, 2008. – 599 с.
2. Козьмин Г.В., Гераськин С.А., Санжарова Н.И. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. – Обнинск: ВНИИРАЭ, 2015. – 400 с.
3. Gudkov, S.V.; Grinberg, M.A.; Sukhov, V.; Vodeneev, V. Effect of ionizing radiation on physiological and molecular processes in plants. J. Environ. Radioact. 2019, 202, P. 8–24.
4. Jan, S., Parween, T., Siddiqi, T. O., & Mahmooduzzafar, X. Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products. Environmental Reviews, 20, 2012. P. 17–39.
5. Mba, C., Shu, Q.Y. Gamma irradiation. Plant mutation breeding and biotechnology / Shu, Q.Y., Forster, B.P., Nakagawa, H. // CABI: Oxfordshire, UK, 2012. P. 91–98.

EFFECT OF IRRADIATION (^{60}Co) OF ANNUAL RYEGRASS (*Lolium multiflorum* Lam.) SEEDS FOR THE YIELD AND REMOVAL OF MACRONUTRIENTS BY PLANTS

J.E. Guseva, G.A. Smolina, S.P. Torshin

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127434, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49, Russia,
e-mail: uguseva@rgau-msha.ru

The effect of irradiation (^{60}Co) of seeds of annual ryegrass in doses of 4-20 Gy on the yield and removal of nitrogen, phosphorus and potassium by plants under the conditions of a vegetative experiment was studied. It has been established that the effect of radiation hormesis manifests itself when a dose of 20 Gy is absorbed, where the largest yield of annual ryegrass was obtained due to an increase in dry mass in the second cut, as well as a large removal of nitrogen and phosphorus by plants. Doses of 4-20 Gy on seeds of fodder crops reduced the removal of potassium by ryegrass.

Keywords. Annual ryegrass, radiation hormesis, irradiation, yield.