

их эффективность, но способствовало небольшому росту урожайности и увеличению содержания клейковины.

#### Литература

1. Алехин, В.Т. Экономические пороги вредоносности вредителей, болезней и сорных растений в посевах сельскохозяйственных культур: справочник. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – 76 с.
2. Буга С.Ф. Биологическое обоснование тактики защиты зерновых культур от болезней // Ахова раслин. – 2002. – № 3. – С. 17-20.
3. Буга С.Ф. Теоретические и практические основы химической защиты зерновых культур от болезней в Беларуси. Монография. – Несвиж: Несвиж, укрупн. тип. имени С. Будного, 2013. – 240 с.
4. Гинапп Х. и др. Зерновые культуры (Выращивание, уборка, доработка и использование). Учебно-практическое рук-во в 2 т/ Под ред. Д. Шпаара. 3-е изд., доработ. и доп. – М.: ИД ООО «ДЛВ Агродело», 2008. Т. 1. – 336 с.

5. Лебедев В.Б. Защита пшеницы от бурой ржавчины в Нижнем Поволжье. Основное содержание комплексной системы защиты пшеницы от бурой ржавчины и других болезней // Агро XXI. – 2000. – № 5. – С. 16-17.
6. Пересыпкин В.Ф., Тюттерев С.Л., Баталова Т.С. Болезни зерновых культур при интенсивных технологиях возделывания. – М.: Агропромиздат, 1991. – 272 с.
7. Санин С.С. Контроль болезней сельскохозяйственных растений – важнейший фактор интенсификации растениеводства // Вестник защиты растений. – 2010. – № 1. – С. 3-14.
8. Санин С.С. Эпифитотии болезней зерновых культур: теория и практика. Изб. труды. – М.: НИПКЦ ВосходА, 2012. – 451 с.
9. Щербик А.А., Коваленко Е.Д. Отбор доноров устойчивости пшеницы к бурой ржавчине // Защита и карантин растений. – 2011. – № 2. – С. 45-46.

## ESTIMATION OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF FUNGICIDES COLOSAL PRO AND SPIRIT IN CROPS OF WINTER WHEAT

L.M. Poddymkina, I.A. Gulova

RSAU-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya ul 49, Moscow, 127550, Russia

*The paper presents data on the biological efficacy of Kolosal Pro and Spirit preparations, reaching 87.1-100% when applied in pure form. It was found that Spirit has the greatest impact on the development of powdery mildew (efficiency 97.9-100%) and septoria spot (92.6-95.5%), and leaf brown rust – Kolosal Pro with an efficiency of 89.7-94.5%. The addition of Azosol 36 Extra to these fungicides ensured an improvement in the biological effectiveness of the preparations by 1.0-3.9% and an increase in the yield due to synergism by 1.18-1.21 t/ha compared to the control, as well as an improvement in the quality of winter wheat grain (fibrin increased by 2.0-2.5% of the control).*

*Keywords: winter wheat, fungicides, biological effectiveness, powdery mildew (oidium), brown rust, septoria spot.*

УДК 57.045:581.1:631.81

## ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ НА ОНТОГЕНЕТИЧЕСКУЮ АДАПТАЦИЮ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ОКСИДАТИВНОГО СТРЕССА

Л.В. Осипова<sup>1</sup>, д.б.н., И.В. Верниченко<sup>2</sup>, д.б.н., Л.В. Ромодина<sup>2</sup>, к.с.-х.н., Т.Л. Курносова<sup>1</sup>, к.б.н., И.А. Быковская<sup>1</sup>, А.А. Лапушкина<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии  
им. Д.Н. Прянишникова, 127550, Москва, ул. Прянишникова, 31а

<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева,  
127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49,  
[legos4@yandex.ru](mailto:legos4@yandex.ru), [kurnosova\\_t@mail.ru](mailto:kurnosova_t@mail.ru), [bykovskaya\\_irina@bk.ru](mailto:bykovskaya_irina@bk.ru)

**Работа выполнена по госзаданию № 0572-2020-0014**

*В вегетационном опыте оценивали предпосевную обработку семян (ПОС) биогенным элементом кремнием в онтогенезе ярового ячменя в условиях стресса, вызванного повышенным содержанием алюминия в почве. Показано, что применение кремния при ПОС положительно сказывалось на продуктивности растений за счет снижения напряженности окислительного стресса и активации синтеза протекторных фотосинтетических пигментов, что, в свою очередь, уменьшало редукцию заложившихся элементов продуктивности.*

*Ключевые слова: яровой ячмень, кремний, предпосевная обработка семян, продуктивность, алюминиевая токсичность, окислительный стресс, малоновый диальдегид, фотосинтетические пигменты.*

DOI: 10.25680/S19948603.2020.112.06

Повышение устойчивости растений к стрессам – актуальная задача сельскохозяйственной науки, направленная на получение высоких и стабильных урожаев. Одним из наиболее распространенных стрессоров является алюминиевая токсичность, ограничивающая продуктивность сельскохозяйственных культур. Симптомом алюминиевой токсичности проявляются в условиях кислых почв, занимающих от 40 до 50% площадей пахотных земель в мире. Кислые почвы характеризуются многими неблагоприятными для роста растений свойствами (избыток Mn и H<sup>+</sup>, недостаток фосфора, кальция, магния и молибдена). Токсичность алюминия –

ключевой фактор, ограничивающий продуктивность сельскохозяйственных культур.

Проблема алюмокислотной токсичности решается классическим агрохимическим приемом – известкованием почвы. Изучение механизмов токсичности алюминия необходимо для объективной оценки агрохимической перспективности сортов, выведения новых устойчивых генотипов, усовершенствования теории неспецифической устойчивости растений к стрессам различной природы и разработки способов, оптимизирующих метаболизм при алюмокислотном стрессе.

По современным представлениям алюмоустойчивость является проявлением общей неспецифической устойчивости растений и связана со способностью растений в ответ на оксидативный стресс активизировать систему антиоксидантной защиты [1, 2]. Биогенный элемент кремний является её активным элементом, связывающим алюминий в малотоксичные соединения.

Цель исследований – изучить физиолого-биохимические закономерности формирования продуктивности ярового ячменя при ПОС кремнием в условиях алюмокислотного стресса.

**Методика.** Опыты проводили с яровым ячменем сорта Надежный. Перед посевом семена обрабатывали раствором силиката натрия ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  – 0,15%). Растворы для обработки семян во всех вариантах брали в количестве, равном 5% от массы семян.

Вегетационные эксперименты проводили в почвенной культуре на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Агрохимическая характеристика почвы, представлена в таблице 1. Опыты закладывали по методике З.И. Журбицкого [3]. Питательные вещества вносили при закладке опытов, создавая фон питания –  $\text{N}_{50}(\text{PK})_{100}$ . В опытные варианты вносили алюминий в дозе 150 мг/кг почвы.

Почву, кроме вариантов с алюминием, известковали по полной норме гидролитической кислотности. В течение вегетации поддерживали оптимальный уровень водообеспеченности – 70% ПВ.

Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы: гумус (по Тюрину) – 2,1 %,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  4,5,  $\text{H}_+$  4,2, S 12,0, T 13,2 мг-экв/100 г почвы, V 74 %,  $\text{P}_2\text{O}_5$  93,  $\text{K}_2\text{O}$  (по Кирсанову) 82, Al 10,0 мг/кг сухой почвы.

В проведенных экспериментах определяли физиолого-биохимические показатели: редок статус, по интенсивности процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ), и содержание фотосинтетических пигментов в онтогенезе растений.

Интенсивность ПОЛ устанавливали на спектрофотометре Helios Omega UV-VIS по содержанию продуктов, реагирующих и дающих стойкое окрашивание с тиобарбитуровой кислотой (ТБК<sub>пр</sub>), основным из которых является малоновый диальдегид (МДА).

Содержание фотосинтетических пигментов, хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов определяли в 100%-ной ацетоновой вытяжке спектрометрическим методом.

В течение вегетации проводили морфолого-физиологический контроль за наступлением этапов органогенеза, оценивали линейные размеры зачаточного колоса на V-VII этапах развития, определяли величину продуктивности и ее структуру.

Результаты опытов обработаны математически. В таблицах и на рисунках приведены среднearифметические данные, стандартное отклонение которых не превышает 5% от средних значений.

**Результаты и их обсуждение.** Проведенными исследованиями установлено, что повышенное содержание алюминия в почве приводило к развитию окислительного стресса из-за усиления генерации активных форм кислорода (АФК) (рис. 1). Интегральным маркером уровня оксидативного стресса, возникающего при нарушении баланса между образованием АФК и их элиминацией, признается интенсивность образования малонового альдегида – конечного продукта перекисного окисления липидов. Уменьшение малонового ди-

альдегида свидетельствует о сохранении липидных компонентов биомембран и большей устойчивости растений к абиотическим факторам.

История эволюции растений проходила на фоне присутствия алюминия, поэтому растения выработали специфические механизмы защиты. Культурные растения, в отличие от дикой флоры, способной переносить токсичные концентрации алюминия, в процессе селекции частично утратили сложившиеся генные комплексы, но сохранили стратегию обезвреживания алюминия внутри клеток [4].

Детоксикация алюминием происходит путем переноса его специфическим транспортом (что свидетельствует об эволюционной подготовленности растений к избытку алюминия) и депонированием в вакуолях. Большая роль в детоксикации алюминия принадлежит органическим кислотам, образующим комплексные соединения с  $\text{Al}^{3+}$ .

Основываясь на ранее полученных результатах опытов зарубежных и отечественных исследователей, предположили, что токсичное действие алюминия, вызывающее окислительный стресс, можно нивелировать, активировав работу антиоксидантной системы, используя биогенный кремний [5, 6].

Кремний повышает устойчивость к алюминию, участвуя в образовании комплексов с органическими кислотами, что снижает его негативное воздействие.

В проведенном эксперименте ПОС кремнием защищала растения ячменя от оксидативного стресса, индуцированного алюминием, о чем свидетельствуют более низкие по сравнению с контролем значения концентрации МДА (рис. 1).

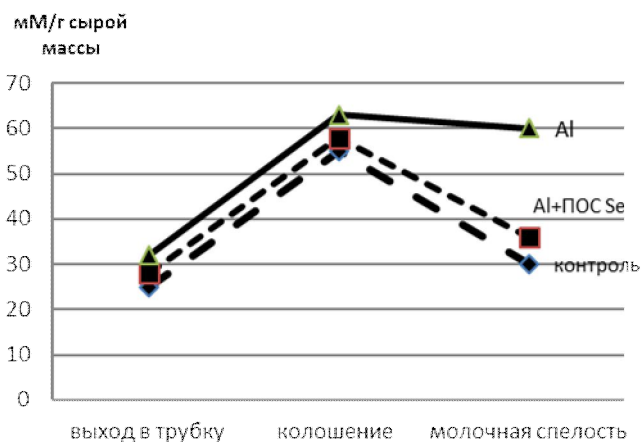


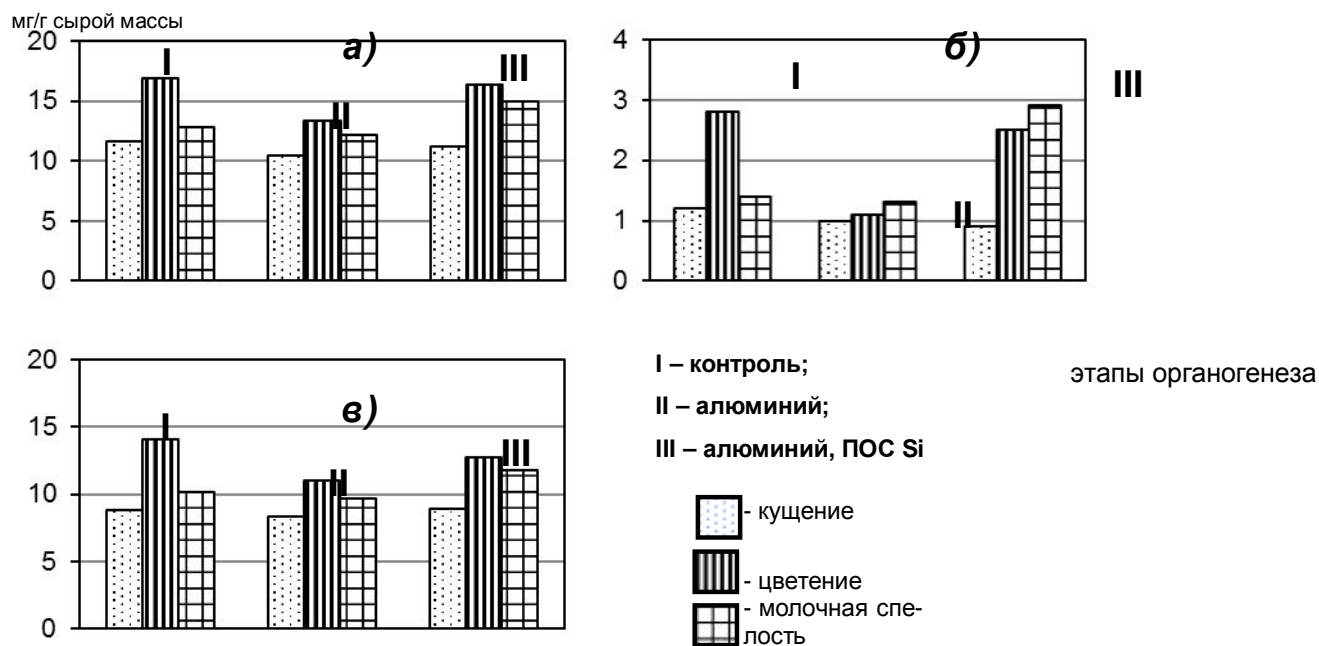
Рис. 1. Содержание МДА в онтогенезе ячменя

Были отмечены определенные закономерности в содержании фотосинтетических пигментов в онтогенезе ярового ячменя при действии алюминия в зависимости от ПОС кремнием.

Установлено, что биосинтез пигментов в верхних листьях ярового ячменя наиболее интенсивно идет в фазе колошение-цветение (рис. 2а). Это могло быть связано с дополнительной потребностью в ассимилятах. Кроме того, подробный анализ пигментного комплекса показал, что это увеличение обусловлено возрастанием содержания хлорофилла *b* (рис. 2б). В последние годы показано, что кроме выполнения основной фотосинтетической функции хлорофилл *b* является регулятором развития растений и обеспечивает своевременный переход к закладке генеративных структур,

цветению и вызреванию семян [4, 5]. В период цветения отмечено увеличение содержания хлорофилла *b* более, чем в 2 раза, которое уменьшалось после его

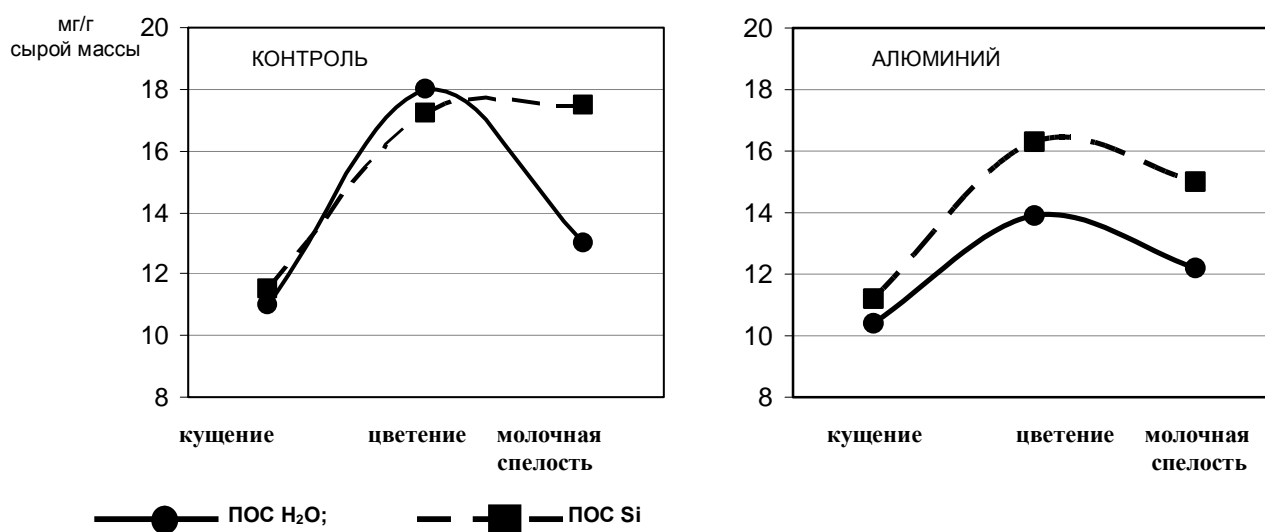
окончания. Аналогично изменялось и содержание каротиноидов, входящих в систему фотозащиты растений (рис. 2в).



Функционирование защитных механизмов, задерживающих поступление алюминия в корни, первоначально происходит в свободном пространстве, где катионы алюминия взаимодействуют с отрицательно заряженными группами пектиновых веществ, оседают на клеточной стенке, придавая ей жесткость, препятствующую росту клеток растяжением, и тормозят рост корня. Однако, не весь алюминий адсорбируется в свободном пространстве клеток корня, часть его по магниевым каналам проникает в клетки. Алюминий имеет идентичные магнию размеры гидратированных ионов, по-

этому конкурирует с ним за места связывания в плазмалемме, создавая дефицит магния, приводящий к снижению синтеза пигментов.

В критический период колошения-цветения алюминий снижал содержание хлорофилла *b*, который отвечает, в том числе, за своевременный переход к генеративному развитию. Предпосевная обработка кремнием в некоторой степени снижала негативное влияние алюминия на пигментный комплекс и обеспечивала своевременную инициацию цветения (рис. 3).



Наряду с физиолого-биохимической реакцией растений на стресс отмечено и влияние алюминия на морфогенетические процессы: формирование габитуса, за-

кладку элементов зачаточного колоса, урожай ячменя и его структуру.

Установлено, что алюминий оказывал негативное воздействие на продуктивность ячменя в контрольном

варианте, депрессия продуктивности составляла 80%, что обусловлено уменьшением продуктивного кушения (35%), озерненности колоса (77%) и массы 1000 зерен (9%) (табл.).

**Структура продуктивности ярового ячменя**

ПОС	Масса зерна, г/растение		Продуктивная кустистость		Число зерен в колосе		Масса 1000 зерен, г	
	контроль	Al	контроль	Al	контроль	Al	контроль	Al
H <sub>2</sub> O	0,78	0,16	1,9	1,2	19,5	4,4	40,4	35,6
Si	0,83	0,30	1,7	1,3	18,1	6,2	45,4	35,0
HCP <sub>0,5</sub>	0,05	-				0,26		-

Предпосевная обработка семян кремнием оказала протекторное действие на элементы продуктивности, озерненность колоса и массу зерна с растения, снизилась депрессия кушения. Урожай ячменя на алюминиевом фоне при применении кремния был выше почти в 2 раза.

Защитное действие кремния связано со снижением сброса заложившихся цветков на конусе нарастания главного побега, что обеспечило большую озерненность колоса и продуктивность всего растения.

**Выводы.** Повышенное содержание алюминия в почве приводило к развитию окислительного стресса, вызывающего изменения физиолого-биохимического статуса растений в онтогенезе ячменя и снижение зерновой продуктивности. Применение кремния в виде предпосевной обработки семян активизировало синтез фотосинтетических протекторных пигментов – хлорофилла *b* и каротиноидов в критический период формирова-

ния генеративных органов, снижало напряженность окислительного стресса, оцениваемого по накоплению малонового диальдегида, уменьшало редукцию заложившихся цветковых зачатков, обеспечивая меньшую депрессию зерновой продуктивности по сравнению с необработанным контролем.

#### Литература

1. Filiz Vardar F., Unal M. Aluminum toxicity and resistance in higher plants//Advances in Molecular Biology, 2007 – n.1.- P. 1-12.
2. Лисицын Е.М., Амунова О.С. Сравнительная аллюмоустойчивость сортов яровой пшеницы, выведенных в Сибири и европейской части России // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2014. – № 5 (42). – С. 4-9.
3. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода. – М.: Наука, 1968. – 266 с.
4. Жученко А.А. Фундаментальные и прикладные научные приоритеты адаптивной интенсификации растениеводства в XXI в. – Саратов: ООО «Новая газета». – 2000. – 275 с.
5. Осипова Л.В., Курносова Т.Л., Быковская И.А. Повышение адаптивного потенциала ячменя ярового (*Hordeum vulgare* L.) при действии абиотического стресса // Проблемы агрохимии и экологии. – 2016. – № 3. – С. 48-51.
6. Осипова Л.В., Курносова Т.Л., Быковская И.А. Повышение неспецифической адаптации ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) путем предпосевной обработки семян селеном и кремнием // Проблемы агрохимии и экологии. – 2018. – № 4. – С. 3-8.
7. Simpson G.G., Dean C. Arabidopsis, the rosetta stone of flowering. Science, 2002, 296: 285-289.
8. Vaddepalli P., Schobz S., Schneitz K. Pattern formation during early floral development. Curr. Opin. Genet. Dev. 2015. 32. 16-23.
9. Gong HJ, Chen KM, Zhao ZG, Chen GC, Zhou WJ. Effects of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages. //Biologia Plantarum. – 2008. – Vol.52. – №3. – P. 592-596.

## EFFECT OF SILICON ON THE ONTOGENETIC ADAPTATION OF SPRING BARLEY UNDER THE OXIDATIVE STRESS

L.V. Osipova<sup>1</sup>, I.V. Vernichenko<sup>2</sup>, T.L. Kurnosova<sup>1</sup>, I.A. Bykovskaya<sup>1</sup>, A.A. Lapushkina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova ul. 31A, 127434 Moscow, Russia, e-mail: legos4@yandex.ru, kurnosova\_t@mail.ru, bykovskaya\_irina@bk.ru;

<sup>2</sup>RSU-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya ul 49, Moscow, 127550, Russia

*In vegetation experience influence of preseed treatment of a spring barley seeds(PTS) with biogenic element silicon was evaluated in ontogenesis under the stress caused by increased, aluminum concentration in soil. Application of silicon at PTS positively affected on the productivity of plants due to activating of synthesis of protector photosynthetic pigments, that, in turn, diminished reduction of the emerged elements of the productivity.*

**Key words:** spring barley, silicon, seed treatment, productivity, aluminum toxicity, oxidative stress, malondialdehyde, photosynthetic pigments.

УДК 631.895:633.15:631.445.25

## ПРИМЕНЕНИЕ НОВОГО ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ГУМИТОН ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КУКУРУЗЫ НА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

А.А. Суслов<sup>1</sup>, к.с.-х.н., А.Н. Ратников, д.с.-х.н., Д.Г. Свириденко<sup>1</sup>, к.б.н., С.П. Арышева, к.б.н., Н.Г. Иванкин<sup>1</sup>, К.В. Петров<sup>1</sup>, А.В. Дронов<sup>2</sup>, д.с.-х.н., В.В. Мамеев<sup>2</sup>, к.с.-х.н., О.А. Нестеренко<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»,

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»

249032, г. Обнинск Калужской обл., Киевское шоссе, 109 км ВНИИРАЭ

8 (48439)96972; моб. 8(910)5418976

243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская, д. 2А

Приведены данные по эффективности воздействия нового органоминерального комплекса Гумитон на продуктивность кукурузы в условиях серых лесных почв Брянской области. В 2018 г. наблюдалось достоверное увеличение массы 1 початка в среднем на 67,5 г, зерна с 1 початка – на 31,9 г по сравнению с контролем. Данная законо-