

ВЛИЯНИЕ САПРОПЕЛЯ НА КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПРИЗНАКИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОДУКТИВНОСТЬ КУКУРУЗЫ

^{1,2,3}В.А. Соколов, доктор биологических наук

⁴А.А. Чепуров, кандидат геолого-минералогических наук

¹Э.А. Абдырахманова, научный сотрудник

¹Институт молекулярной и клеточной биологии СО РАН,
Новосибирск, Россия

Ключевые слова: кукуруза, сапропель, количественные признаки, туки, фотосинтез, урожайность, органоминеральные удобрения

²Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова,
Санкт-Петербург, Россия

³Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

⁴Институт геологии и минералогии СО РАН им. В. С. Соболева, Новосибирск, Россия
E-mail: sokolov@mcb.nsc.ru

Реферат. Загрязнение водных бассейнов элементами минеральных удобрений, выносимых из почвы осадками и паводковыми водами, является значительной экологической проблемой. В связи с этим все активнее ставится задача минимизации количества вносимых удобрений и их физического закрепления в почве. В качестве одного из возможных подходов рассматривается внесение НРК туков в смеси с естественным органическим удобрением сапропелем. Этот компонент органоминеральных смесей добывается из озер Новосибирской области и его запасы оцениваются в 600 млн т. К настоящему моменту выявлено, что в составе сапропеля имеются хелатные агенты, которые активно захватывают молекулы удобрений и удерживают их от выноса влагой, а вместе с тем не препятствуют их усвоению растениями. Ранее мы показали существенный эффект сапропеля на продуктивность яровой пшеницы при его использовании на серых лесных почвах. При предпосевном внесении сапропеля в дозах 4 и 8 кг/м² было выявлено значительное увеличение индивидуальной продуктивности растений в сравнении с контролем, а также ее градуальный рост с увеличением вносимой дозы. В предлагаемой работе представлены результаты изучения влияния сапропеля при выращивании трех форм кукурузы. Это растения С4-пути фотосинтеза с гораздо более интенсивным усвоением CO₂ в единицу времени в сравнении с пшеницей, а следовательно, и с более активным потреблением минеральных элементов из почвы. Проведенные эксперименты позволили выявить генетический полиморфизм в ответ на внесенный сапропель по количественным признакам среди изученных образцов кукурузы.

IMPACT OF SAPROPEL ON THE QUANTITATIVE PARAMETERS OF CORN PRODUCTIVITY

^{1,2,3}Sokolov V.A., Doctor of Biological Sc.

⁴Chepurov A.A., Candidate of Geology and Mineralogy

¹Abdyrakhmanova E.A., Research Fellow

¹Institute of Molecular and Cell Biology SD RAS, Novosibirsk, Russia

²Federal Research Centre Russian Institute of Genetic Resources of Plants named after N.I. Vavilov,
St.Petersburg, Russia

³Surgut State University, Surgut, Russia

⁴Institute of Geology and Mineralogy named after V.S. Sobolev, Novosibirsk, Russia

Key words: corn, sapropel, quantitative parameters, fertilizers, photosynthesis, crop yield, organomineral fertilizers.

Abstract. Pollution of water basins caused by the elements of mineral fertilizers removed from the soil by precipitation and floodwaters is a relevant environmental problem. In this regard, the aim is to minimize application of fertilizers and their propping in the soil. Application of NPK fertilizers in the mixture with natural organic fertilizer sapropel is seen as one of the possible approaches and solutions. This component of organomineral mixtures is extracted from the lakes in Novosibirsk Region; its reserves are estimated as 600 million tons. The paper highlights that sapropel contains chelate agents that take the molecules of fertilizers and keep them from moisture removal, and at the same time do not prevent their assimilation by plants. The researchers outlined a significant effect of sapropel on the productivity of spring wheat when it is applied on grey forest soils. When presowing application of sapropel dosed as 4 and 8 kg/m², the researchers observed significant increase of crops individual productivity in comparison with that in the control group, and gradual growth caused by higher dose applied. The paper highlights the experimental results of the impact caused by sapropel when growing three forms of corn. These are C₄-photosynthetic crops, with much more intensive assimilation of CO₂ per unit of time in comparison with wheat, and therefore with a more active consuming of mineral elements from the soil. The experiments revealed genetic polymorphism of the studied samples of corn in response to sapropel applied according to quantitative parameters.

Все возрастающие требования к экологическим показателям экономической активности ставят задачу более эффективного использования минеральных удобрений в агрономии. Кроме того, транспортные издержки и высокая стоимость энергоносителей существенно снижают возможности сельхозпроизводителей в их применении. В этой связи широко дискутируется вопрос о вовлечении сапропелей в качестве компонента органоминеральных смесей с целью пролонгирования эффекта вносимых NPK туков и снижения их дозы на гектар пашни. При этом достигается сразу два эффекта. Прежде всего, внесенные минеральные удобрения действуют достаточно длительное время, так как сапропель удерживает их от вымывания дождевыми стоками и паводковыми водами, поскольку содержит хелатные агенты. Кроме того, он является источником органических соединений, необходимых для активного роста и развития растений, а также значительного количества микроэлементов.

Сапропели являются естественными осадочными смесями и их запасы в Новосибирской области оцениваются не менее чем в 600 млн т. Их использование в чистом виде рентабельно только в радиусе 50 км от места добычи. Однако экономическая

оценка использования сапропеля совместно с минеральными удобрениями говорит о том, что оно будет экономически оправданным практически на всей территории области. Сапропели, добываемые в Западной Сибири, содержат фульвокислоты и гуминовые кислоты, макро- и микроэлементы, витамины, аминокислоты, природные стимуляторы роста, полезную микрофлору, что способствует эффективному питанию и росту растений.

Исследование, проведенное нами ранее, по выяснению эффекта сапропеля на продуктивность яровой пшеницы, выращиваемой на серых лесных почвах, показало высокую эффективность его воздействия на продуктивность отдельных растений и их урожайность [1]. При этом был выявлен градуальный эффект дозы внесенного сапропеля.

В данной работе мы решили проверить действие сапропеля на трех формах кукурузы. Это растение обладает совершенно иными требованиями к плодородию и химическому составу почв. Дело в том, что кукуруза является растением C₄-пути фотосинтеза. Поэтому ее метаболизм активнее, чем у пшеницы, и она фиксирует в единицу времени значительно большее количество CO₂, потребляя при этом большее количество воды и элементов минерального питания. В этой

связи представлялось интересным выяснить влияние сапропеля на экспрессию некоторых количественных признаков, часто используемых в качестве селекционных параметров при работе с образцами кукурузы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Растительный материал в настоящем исследовании был представлен тремя формами кукурузы. Первая – это тетраплоидный сорт белозерной кукурузы (ТШ), полученный академиком В. К. Шумным в начале 60-х гг. прошлого столетия для исследований по закреплению гетерозиса. По нашим данным, это единственный в мире белозерный представитель этого вида с тетраплоидным набором хромосом. Его растения достаточно пластичны и при отсутствии ранних заморозков успешно вызревают в Новосибирской области. При этом период вегетации составляет 100–110 дней. Две другие формы (№ 573 и № 611) являются линиями, используемыми в гибридной селекции на гетерозис, и созданы в ООО НПО «КОС МАИС» под руководством кандидата биологических наук В.Г. Гаркушки. Растения этих форм в агроклиматических условиях нашей области не вызревают, но были взяты нами как представители нового поко-

ления кукурузы интенсивного типа. В этой связи представлялась интересной реакция такого типа растений на внесение сапропеля. Материал выращивали на черноземной почве Экспериментального участка ИЦиГ СО РАН в блоках по 4 м² (длина 5 м, ширина 0,8 м), на которых размещали 56 растений в 7 рядов с расстоянием между ними 70 см, а между растениями 10 см. Сапропель вносили из расчета 7 кг/м².

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ Microsoft Office Excel и проверкой достоверности результатов с помощью критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1–3, отдельно для каждой из изученных форм кукурузы. Сразу подчеркнем, что число растений линии № 611 (табл. 3) недостаточно велико для полноценного статистического анализа, и мы приводим его только для того, чтобы подчеркнуть верность выявленной тенденции по возрастанию величины количественных признаков в поставленном полевом эксперименте, полученной при изучении двух других форм. По всей

Таблица 1

Влияние сапропеля на количественные признаки тетраплоидной кукурузы
Impact of sapropel on the quantitative parameters of tetraploid corn

Показатель	Опыт	Контроль
Число растений, шт.	43	30
Высота растения, см	222,60 ± 2,99***	195,50 ± 4,59
Высота закладки 1-го початка, см	74,20 ± 1,92***	62,20 ± 1,84
Длина метелки, см	43,60 ± 1,85*	39,40 ± 1,07
Число ветвей в метелке, шт.	14,40 ± 0,77	12,80 ± 0,77
Число листьев выше 1-го початка, шт.	4,10 ± 0,09**	3,80 ± 0,09
Длина припочаткового междоузлия, см	20,5 ± 0,38*	18,60 ± 0,93
Длина припочаткового листа, см	100,10 ± 1,52**	94,00 ± 1,44
Ширина припочаткового листа, см	6,60 ± 0,13*	6,30 ± 0,12
Число узлов, шт.	9,40 ± 0,11	9,10 ± 0,16
Число стеблей, шт.	1,10 ± 0,06	1,00 ± 0,03

Примечание. Здесь и далее: * P < 0,05; ** P < 0,01; *** P < 0,001.

Hereinafter: * P < 0,05; ** P < 0,01; *** P < 0,001

Таблица 2

Влияние сапропеля на количественные признаки линии № 573
Impact of sapropel on the quantitative parameters of line 573

Показатель	Опыт	Контроль
Число растений, шт.	16	17
Высота закладки 1-го початка, см	78,30 ± 2,28**	70,20 ± 1,49
Длина метелки, см	31,00 ± 0,91	29,50 ± 1,03
Число ветвей в метелке, шт.	13,20 ± 0,57	13,70 ± 0,45
Число листьев выше 1-го початка, шт.	6,30 ± 0,18	6,20 ± 0,11
Длина припочаткового междоузлия, см	18,80 ± 2,01*	13,90 ± 0,26
Длина припочаткового листа, см	92,70 ± 1,47***	82,30 ± 1,04
Ширина припочаткового листа, см	8,80 ± 0,17*	8,30 ± 0,18
Число узлов, шт.	13,40 ± 0,38	12,80 ± 0,22
Число стеблей, шт.	1,10 ± 0,09	1,00 ± 0,00

видимости, гибель растений этой линии на стадии прорастания и всходов связана с низкими температурами, характерными для конца весны и начала лета 2018 г. в Новосибирске.

Как следует из табл. 1, из 10 изученных в опыте признаков 7 показывают отличия от контроля с разной степенью достоверности. Признаки же, по которым в опытном варианте не получено статистически значимых отличий при использованных выборках, тем не менее имеют более высокие значения. А это значит, что при вовлечении большего числа растений в опыт и контроль и уменьшении ошибки среднего мы бы наблюдали среди них также достоверную разницу.

Оценивая эффект внесения сапропеля под тетраплоидную кукурузу на основе полученных данных, мы вправе заключить, что

абсолютное большинство изученных признаков продемонстрировали достоверное возрастание своих величин. Поэтому мы с уверенностью можем говорить о существенном влиянии сапропеля на ценные для селекции кукурузы признаки.

Аналогичная картина, но в несколько ослабленной форме, наблюдается и для линии № 573 (табл. 2).

Здесь 4 признака из 10 демонстрируют достоверные отличия с разным уровнем значимости, а остальные имеют более высокие, но статистически недостоверные показатели (кроме числа ветвей в метелке). Вполне вероятно, что по ним также могли быть получены значимые отличия от контроля при увеличении величины выборки. Но даже при таких результатах мы можем заключить

Таблица 3

Влияние сапропеля на количественные признаки линии № 611
Impact of sapropel on the quantitative parameters of line 611

Показатель	Опыт	Контроль
Число растений, шт.	7	13
Высота закладки 1-го початка, см	88,60 ± 2,84	84,70 ± 2,71
Длина метелки, см	35,40 ± 0,65*	33,10 ± 0,80
Число ветвей в метелке, шт.	12,30 ± 0,68	11,80 ± 0,58
Число листьев выше 1-го початка, шт.	5,90 ± 0,26	5,80 ± 0,15
Длина припочаткового междоузлия, см	16,60 ± 0,48	16,70 ± 0,52
Длина припочаткового листа, см	81,90 ± 3,19	80,90 ± 0,46
Ширина припочаткового листа, см	10,90 ± 0,26*	10,20 ± 0,18
Число узлов, шт.	12,30 ± 0,18	12,10 ± 0,14
Число стеблей, шт.	1,00 ± 0,00	1,00 ± 0,00

о значительном эффекте сапропеля на экспрессию количественных признаков у этой линии, несмотря на ее выращивание в несвойственных для данной формы агроэкологических условиях.

Для параметров количественных признаков, выявленных у линии № 611 (табл. 3), показано достоверное отличие лишь по 2 из 10, хотя остальные (кроме длины припочаткового междоузлия) также имеют большие значения у опытных растений в сравнении с контрольным вариантом.

Таким образом, в результате проведенного полевого эксперимента с внесением сапропеля под кукурузу мы наблюдаем такие же результаты, как полученные другими авторами при использовании широкого набора сельскохозяйственных культур [2–4]. При этом часто возрастает не только урожайность формы, под которую он был внесен, но улучшаются её качественные показатели [5–7]. Кроме того, показана эффективность использования сапропеля в качестве компонента органоминеральных удобрений, а также его положительное действие на плодородие почвы [8–11].

Наши результаты позволяют надеяться на то, что в ближайшее время будет органи-

зовано системное изучение эффекта сапропеля и его органоминеральных смесей, а также выстроена экономически обоснованная логистика использования этого естественного удобрения. Несомненно, что этот натуральный продукт может широко применяться не только под зерновые и картофель, но и под садовые и овощные культуры без опасности возрастания в них количества нитратов, нитритов и их органических производных, способных модифицировать ДНК.

ВЫВОДЫ

1. Сапропель при внесении под кукурузу в агроклиматических условиях Новосибирской области положительно влияет на усиление экспрессии абсолютного большинства хозяйственно-ценных количественных признаков.

2. Используемые в опыте формы кукурузы отличаются по отзывчивости на внесение сапропеля. При этом адаптированная к условиям Сибири тетраплоидная белозерная форма демонстрирует более значимое возрастание величин большинства из 10 изученных признаков в сравнении с диплоидными линиями, возделываемыми в Краснодарском крае.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соколов В. А., Чепуров А. А. Изучение влияния сапропеля на продуктивность яровой пшеницы // Вестн. НГАУ. – 2018. – № 1 (46). – С. 60–67.
2. Васильев А. А. Влияние сапропелей на урожайность картофеля и плодородие выщелоченных черноземов // Перм. аграр. вестн. – 2014. – № 1 (5). – С. 3–9.
3. Плотников А. М., Созинов А. В. Влияние сапропелей на урожайность зерновых культур и кислотность выщелоченного чернозема // Междунар. н.-и. журн. – 2016. – № 4 (46), ч. 6. – С. 61–65.
4. Плотников А. М. Урожайность и качество зерна пшеницы при использовании сапропеля в центральной части Курганской области // Вестн. Курган. ГСХА. – 2014. – № 4 (12). – С. 27–29.
5. Плотников А. М., Башмакова Е. О., Канашова Е. Е. Влияние сапропеля, извести и минеральных удобрений на кислотность чернозёма выщелоченного // Молодой ученый. – 2016. – № 6. – С. 30–32.
6. Лапа В. В., Босак В. Н. Применение удобрений и качество урожая: монография. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, 2006. – 120 с.
7. Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Бирюкова О. М. Влияние сапропелей на продуктивность звена севооборота и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 1 (54). – С. 160–171.
8. Мукина Л. Р. Эффективность применения сапропелей и органоминеральных удобрений на основе сапропеля на пойменных орошаемых почвах Красноярского края // Сапропель и продукты его переработки: материалы междунар. науч.-произв. конф. – Омск, 2008. – С. 17–20.

9. *Сапропель* и перспективы его использования в аграрном секторе экономики / А.С. Митюков, В.А. Румянцев, Л.Н. Крюков, Г.С. Ярошевич // *Общество. Среда. Развитие.* – 2016. – № 2. – С. 110–114.
10. *Биологическое* действие сапропеля / В.В. Платонов, А.А. Хадарцев, С.Н. Чуносков, К.Я. Фридзон. // *Фундаментал. исследования.* – 2014. – № 9, ч. 11. – С. 2474–2480.
11. *Штин С.М.* Озерные сапропели и их комплексное освоение. – М.: Моск. гос. горн. ун-т, 2005. – 373 с.

REFERENCES

1. Sokolov V.A. Chepurov A.A., *Vestnik NGAU*, 2018, No. 1 (46), pp. 60–67. (In Russ.)
2. Vasiliev A.A. *Perm agrarian Bulletin*, 2014, No. 1 (5), pp. 3–9. (In Russ.)
3. Plotnikov A.M., Sozinov A.V. *International Research Journals*, 2016, No. 4 (46), part 6, pp. 61–65. (In Russ.)
4. Plotnikov A.M. *Vestnik Kurganskoj GSHA*, 2014, No. 4 (12), pp. 27–29. (In Russ.)
5. Plotnikov A.M., Bashmakova E.O., Kanashova E.E., *Molodoy uchenyy*, 2016, No. 6, pp. 30–32. (In Russ.)
6. Lapa V.V., Bosak V.N. *Primenenie udobrenii i kachestvo urozhaya: monografiya* (Fertilizer use and crop quality: monograph) In. soil science and agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, 2006, 120 p.
7. Seray T.M, Bogatyreva E.N., Biryukova O.M. *Soil science and agricultural chemistry*, 2015, No. 1 (54), pp. 160–171. (In Russ.)
8. Mukina L.R. *Sapropel and it is product* (Proceedings of the International Scientific and Industrial Conference), Omsk, 2008, pp. 17–20. (In Russ.)
9. Mityukov A.S., Rumyantsev V.A., Kryukov L.N., Yaroshevich G.S. *Obshchestvo. Sreda. Razvitiye*, 2016, No. 2, pp. 110–114. (In Russ.)
10. Platonov V.V., Khadartsev A.A., Chunosov S.N., Fridzon K.YA. *Fundamental'nyye issledovaniya*, 2014, No. 9, pp. 2474–2480. (In Russ.)
11. Shtin S.M., *Ozernyye sapropeli i ikh kompleksnoye osvoyeniye* (Lake sapropel and their integrated development), Moscow: Moscow State Mining University, 2005, 373 p.