

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ КУКУРУЗЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

**Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш, О. В. Симанков,
А. А. Грачева, С. М. Зенькова**

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Высокоокультуренные дерново-подзолистые почвы представляют ценность как стратегический резерв. В Беларуси такие почвы составляют основной фонд обрабатываемых земель, из них суглинистые являются наиболее благоприятными для выращивания всех сельскохозяйственных культур с высокой потенциальной продуктивностью, в том числе и кукурузы. По данным последнего тура агрохимических исследований установлено, что доля суглинистых почв, высокообеспеченных подвижным фосфором (более 400 мг/кг почвы) и калием (более 300 мг/кг почвы), составляет соответственно около 4,1 % (35,6 тыс. га) и 28,9 % (250,8 тыс. га) общей обследованной площади пахотных почв глинистого и суглинистого гранулометрического состава [1].

При возделывании сельскохозяйственных культур на почвах, высокообеспеченных фосфором и калием, в настоящее время агрохимической наукой республики рекомендуется частичная (50–60 %) компенсация выноса данных элементов [2]. В связи с неизбежным, постоянным ростом цен на минеральные удобрения и энерготехнические ресурсы возрастает необходимость еще более экономного использования, в первую очередь дорогостоящих фосфорных, а также калийных удобрений с учетом почвенных запасов и содержания данных элементов питания в органических удобрениях, применяемых в органоминеральных системах удобрения при возделывании сельскохозяйственных культур в севообороте.

Оптимизация минерального питания по этапам онтогенеза растений позволяет в большей степени реализовать генетический потенциал продуктивности возделываемых культур и снизить удельные затраты элементов питания на формирование урожайности. Кроме того, важнейшим условием повышения эффективности сельского хозяйства является усиление устойчивости возделываемых культур к погодноклиматическим изменениям, основанное на проведении адаптационных мер, направленных на предотвращение потерь урожая от негативных последствий.

Современные системы удобрения сельскохозяйственных культур, возделываемых в севооборотах на высокоокультуренных почвах, наряду со сбалансированным применением органических, минеральных удобрений и средств защиты растений, должны предусматривать более интенсивное использование микроудобрений, стимуляторов роста и т. п. Комплексное их использование в системе удобрения за счет стимуляции метаболизма и усвоения питательных веществ позволяет существенно повысить сбор продукции высокого качества [3].

Цель исследования – установление наиболее эффективных агробиотехнологических приемов возделывания кукурузы на зеленую массу на дерново-подзолистой высокоокультуренной суглинистой почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2020–2021 гг. в стационарном технологическом опыте на дерново-подзолистой высокоокультуренной суглинистой почве в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области. До закладки опыта почва (Апах) опытного участка характеризовалась следующим усредненным уровнем агрохимических показателей: рН 6,35, содержание гумуса – 2,6 %, подвижные формы фосфатов – 677 мг/кг и калия – 337 мг/кг почвы. Почва характеризуется оптимальным для сельскохозяйственных культур уровнем кислотности, средним – гумуса, высоким – калия и очень высоким – фосфора.

Кукурузу Шавокс F1 (среднеранний гибрид) возделывали в двух последовательно открывающихся полях, на каждом поле – в двух блоках: в первом блоке кукурузу возделывали без применения органических удобрений, во втором блоке осенью был внесен солоmistый навоз в дозе 60 т/га. Обработка почвы включала вспашку и предпосевную культивацию на глубину 10–12 см.

Минеральные удобрения в виде карбамида, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия применяли в основное внесение, кроме того, карбамид – в подкормки в фазу 5–6 листьев культуры согласно схеме опыта. Микроэлементы бор (0,10 кг д. в./га) и цинк (0,15 кг д. в./га) вносили в виде микроудобрения Микро-Стим-Цинк, Бор (2,0 л/га) в некорневую подкормку в фазу 5–6 листьев культуры. В ту же стадию проведены подкормки стимуляторами роста растений Экогум АФ в дозе 1,0 л/га и Экосил в дозе 0,1 л/га. Кроме того, в фазу 8–10 листьев культуры согласно схеме опыта проведена подкормка стимулятором роста Экосил Плюс в дозе 0,1 л/га.

Экогум АФ – препарат стимулятор-адаптоген, устраняющий стрессовые состояния растений, активизирующий рост и развитие растений, содержит гуминовые и фульвокислоты, азот (4 %) и фосфор (9 %).

Экосил и *Экосил Плюс* – природные полифункциональные препараты, регуляторы роста и индукторы иммунитета растений с четко выраженным фунгицидным и инсектицидным (*Экосил Плюс*) эффектом. Действующим веществом препаратов являются тритерпеновые кислоты природного происхождения.

Агротехника возделывания – общепринятая для Центральной зоны Беларуси для дерново-подзолистых суглинистых почв.

Агрохимический анализ почвенных образцов включал определение: рН_{KCl} – потенциометрическим методом в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26483-85); содержания гумуса – по методу И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-84); подвижных форм P₂O₅ и K₂O в 0,2 М вытяжке HCl – по методу А. Г. Кирсанова с последующим определением фосфора фотоколориметрическим методом, калия – методом пламенной фотометрии (ГОСТ 26207-91).

С 60 т/га солоmistого навоза влажностью 76 % на 1 га пашни в среднем по 2-м полям внесено: 336 кг азота, 234 кг фосфора и 372 кг калия. Из подстилочного навоза первой культурой используется 20–25 % азота, 25–30 % фосфора и 50–60 % калия [4].

Расчет экономической эффективности внесения удобрений выполнен на прибавку урожая от применяемых агротехнологических приемов в ценах на 2021 г. [5]. Используются нормативы затрат на удобрения, доработку прибавки урожая, стоимость к. ед. в долларовой эквиваленте. Затраты на органические удобрения под кукурузу, как первую культуру севооборота, взяты в размере 70 %.

Статистическую обработку результатов осуществляли согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова с использованием MS Excel 2010.

На формирование урожая сельскохозяйственных культур, наряду с уровнем минерального питания, большое влияние оказывают водный и температурный режимы почвы и воздуха в течение роста и развития растений. В процессе вегетации посевы сельскохозяйственных культур часто страдают от неблагоприятных погодных условий – как избыток, так и недостаток влаги и тепла негативно сказывается на уровне получаемого урожая [6, 7]. Известно, что дерново-подзолистые суглинистые почвы обладают достаточно хорошей водоудерживающей способностью [8]. Считается, что для выращивания кукурузы на зеленую массу сумма активных температур должна составлять 1800–2400 °С [9].

Погодные условия вегетационного периода 2020 г. с несколько пониженной тепло- и хорошей влагообеспеченностью оказались достаточно благоприятными для формирования высокого урожая зеленой массы кукурузы. Обильные осадки в июле, превышающие норму в 2 раза, на фоне благоприятного температурного режима обусловили интенсивное нарастание биомассы. Сумма активных температур (выше 10 °С) за вегетацию кукурузы составила 1863 °С.

Гидротермические условия 2021 г. значительно отклонялись от нормы практически на протяжении всего вегетационного периода культуры. Выпадение обильных осадков в мае (112,7 мм) на фоне несколько пониженных температур угнетали развитие растений, поскольку требовательность кукурузы к влаге в начале вегетации невысокая (около 30 мм осадков/месяц). Во второй половине периода вегетации (июль, август) количество осадков составило 54–110 %, кукуруза не испытывала дефицита во влаге. Сумма активных температур за вегетацию кукурузы составила 2147 °С.

В целом по опыту продуктивность зеленой массы кукурузы, сформированная в менее благоприятный 2021 г., была ниже на 13 % по отношению к уровню урожая, полученного в 2020 г. В среднем за 2 года исследований за счет эффективного плодородия высококультурной дерново-подзолистой суглинистой почвы урожайность кукурузы составила 644 ц/га зеленой массы. Комплексное применение полного минерального удобрения $N_{90}P_{20}K_{60}$ и однократной азотной подкормки (N_{90}) в сочетании с микроудобрением в фазу 5–6 листьев кукурузы обеспечило прирост урожайности 102 ц/га (149 ц к. ед./га), или на 16 %. Каждый килограмм минеральных удобрений окупался 44 ц/га зеленой массы (табл. 1, рис.). При дополнительном введении в подкормку в эту фазу стимуляторов роста растений Экосил и Экогум АФ прирост урожая был несущественным (4 %) (табл. 1).

При применении двукратных комплексных подкормок посевов культуры в фазы 5–6 и 8–10 листьев азотом, стимуляторами роста и микроудобрениями на фоне полного минерального удобрения получено 787 ц/га зеленой массы кукурузы, или 22 % дополнительно к фону при окупаемости 1 кг NPK 62 кг урожая (табл. 1).

Таблица 1

Эффективность комплексного использования агротехнологических приемов при возделывании кукурузы на дерново-подзолистой суглинистой почве (2020–2021 гг.)

Вариант	Урожайность зеленой массы кукурузы, ц/га (75 % влажность)			Прибавка к фону, ц/га	Оплата 1 кг NPK з. м., ц	Сырой белок, %	Выход, ц/га	
	2020 г.	2021 г.	Ø				сырого белка	к. ед.
Без удобрений – Фон 1	699	588	644	–	–	9,9	15,9	129
$N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{60} + м/у)'$	886	605	746	102	44	9,0	16,8	149
$N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{60}^*)'$	913	631	772	117	51	9,2	17,8	154
$N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30}^*)' + (N_{30}^{**})''$	887	686	787	143	62	9,2	18,1	157
$N_{90} + (N_{30}^*)' + (N_{30}^{**})''$	822	759	791	147	98	9,2	18,2	158
Соломистый навоз – Фон 2	786	736	761	–	–	8,7	16,6	152
$N_{60} + (N_{60} + м/у)'$	924	902	913	152	127	9,0	20,5	183
$N_{60} + (N_{60}^*)'$	996	914	955	194	162	9,0	21,5	191
$N_{60} + (N_{30}^*)' + (N_{30}^{**})''$	960	970	965	204	170	9,4	22,7	193
$N_{60}P_{20}K_{60} + (N_{30}^*)' + (N_{30}^{**})''$	1007	958	983	222	111	10,1	24,8	197
HCP ₀₅ (удобрения)	120	110	97	–	–	0,6	–	19
HCP ₀₅ (фон)	85	86	62	–	–	–	–	11

' – подкормка в фазу 5–6 листа;
 '' – подкормка в фазу 8–10 листа;
 * – комплекс (B_{0,10}Zn_{0,15} + Экогум АФ + Экосил);
 ** – Экосил Плюс.

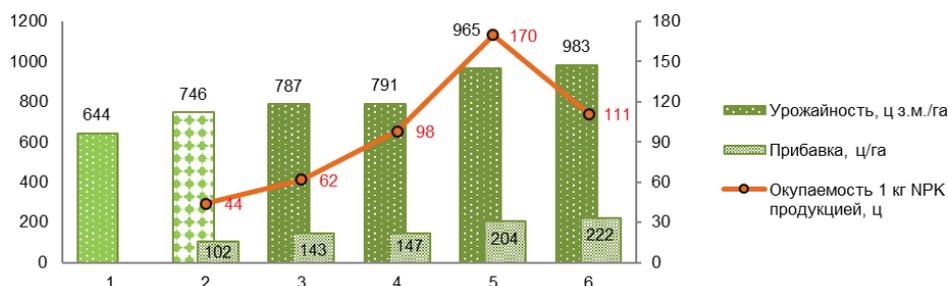


Рис. Агрономическая эффективность систем удобрения кукурузы на зеленую массу

Вариант системы удобрения:

- 1 – контроль (без NPK);
- 2 – $N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{60}B_{0,10}Zn_{0,15})'$;
- 3 – $N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + \text{Экогум АФ} + \text{Экосил})' + (N_{30} + \text{Экосил Плюс})''$;
- 4 – $N_{90} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + \text{Экогум АФ} + \text{Экосил})' + (N_{30} + \text{Экосил Плюс})''$;
- 5 – Подстилочный навоз + $N_{90} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + \text{Экогум АФ} + \text{Экосил})' + (N_{30} + \text{Экосил Плюс})''$;
- 6 – Подстилочный навоз + $N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30}B_{0,10}Zn_{0,15} + \text{Экогум АФ} + \text{Экосил})' + (N_{30} + \text{Экосил Плюс})''$.

Литературные источники свидетельствуют, что при высокой обеспеченности почвы фосфором и калием сельскохозяйственные культуры положительно реагируют лишь на азот удобрений, при почти полном отсутствии прибавок от фосфорных и калийных удобрений. При этом более эффективными считаются повышенные дозы азота (100 и более кг д. в./га), обеспечивающие существенную мобилизацию почвенных запасов фосфора и калия. В наших исследованиях при исключении из системы удобрения фосфорных и калийных удобрений сбор зеленой массы в среднем за 2 года составил 791 ц/га (158 ц к. ед./га), что на уровне показателя варианта с полной системой удобрения. Каждый килограмм азотных удобрений при этом окупался 98 кг зеленой массы кукурузы.

Применение минеральной системы удобрения при возделывании кукурузы на дерново-подзолистых высококультурных суглинистых почвах без использования органических удобрений возможно в хозяйствах с невысоким поголовьем скота, испытывающих дефицит органических удобрений. При этом следует учитывать, что такая система удобрения даже на высококультурных почвах может привести к деградации почвенного плодородия. Поэтому применять ее при возделывании кукурузы допустимо не более чем в одной ротации севооборота.

Органоминеральная система удобрения является наиболее оптимальной при возделывании кукурузы. Установлено существенное преимущество такой системы удобрения перед минеральной: урожайность зеленой массы кукурузы на органическом фоне составила в среднем 916 ц/га, что на 22 % выше, полученной на минеральном фоне (748 ц/га). Следует также отметить, что варьирование продуктивности по годам на фоне органических удобрений в удобряемых вариантах составило всего 2 %, тогда как на фоне без навоза – 13 %.

Результаты проведенных исследований показали, что эффективность различных систем удобрения в большей мере проявилась на фоне внесения 60 т/га соломистого навоза. Применение моноазотной системы удобрения (N_{60+60}) в сочетании с микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор, а также – дополнительным использованием стимуляторов роста Экогум АФ и Экосил в фазу 5–6 листьев культуры обеспечило получение 913–955 ц/га зеленой массы кукурузы, или дополнительно 20–26 % к фону. Каждый килограмм азотных удобрений окупался 127–162 кг урожая.

Наиболее эффективным в опыте оказалось комплексное применение азотных удобрений ($N_{60+30+30}$) в сочетании с микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор, стимуляторами роста Экогум АФ и Экосил – в первую подкормку в фазу 5–6 листьев и Экосил Плюс – во вторую подкормку в фазу 8–10 листьев кукурузы, что обеспечило получение 965 ц/га зеленой массы, при максимальной окупаемости 1 кг азота – на уровне 170 ц/га зеленой массы кукурузы (табл. 1, рис.).

Полная система удобрения $N_{60+30+30}P_{20}K_{60}$ на органическом фоне с аналогичными двукратными подкормками посевов кукурузы по эффективности практически была равнозначна моноазотной – сбор зеленой массы достиг максимальных 983 ц/га. При этом окупаемость 1 кг минеральных удобрений оказалась более низкой и составила 111 ц/га зеленой массы.

Важное значение при использовании удобрений имеет не только получение высокой урожайности, но и продукции высокого качества. Содержание белка в зеленой массе кукурузы зависело от содержания азота в растительной массе и уровня урожайности сухого вещества. В среднем за 2 года исследований содержание сырого белка по опыту варьировало в пределах 8,7–10,1 %.

На минеральном фоне данный показатель изменялся в пределах 9,0–9,9 % с максимальным значением в неудобренном варианте. При применении удобрений содержание сырого белка достоверно снижалось, но его выход, с учетом более высокой продуктивности, повышался на 0,9–2,3 ц/га. В лучших по продуктивности вариантах с применением $N_{90+30+30}/N_{90+30+30} P_{20}K_{60}$ и комплексом двукратных некорневых подкормок при урожайности зеленой массы 787–791 ц/га выход белка составил 18,1–18,2 ц/га, к. ед. – 157–158 т к. ед./га.

На фоне внесения навоза наблюдалась обратная тенденция. Минимальное значение содержания сырого белка (8,7 ц/га) отмечено в фоновом варианте, при внесении удобрений показатели повышались. При этом достоверное увеличение содержания сырого протеина установлено в вариантах с применением двукратных подкормок посевов как на фоне моноазотной (0,9 %), так и полной системах удобрения (+1,1 %). При урожайности 965 и 983 ц/га зеленой массы кукурузы в этих вариантах выход белка составил 22,7 и 24,8 ц/га, кормовых единиц – 193 и 197 ц/га.

При разработке агротехники возделывания кукурузы на зеленую массу важное значение имеет оценка экономической целесообразности проведения тех или иных мероприятий. Расчеты показали, что возделывание кукурузы на зеленую массу на почве с высоким содержанием подвижных соединений фосфора и калия является эффективным агроприемом (табл. 2).

Таблица 2

Экономическая эффективность применения удобрений под кукурузу на зеленую массу на дерново-подзолистой суглинистой почве

Вариант	Сбор к. ед. т/га	Прибавка, т к. ед./га	Стоимость доп. продукции	Общие затраты	Условная прибыль	Рентабельность, %	Себестоимость продукции, долл./т к. ед.
			долл./га				
Без удобрений – Фон 1	12,9		–				
$N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{60} + м/у)'$	14,9	2,0	160	139	21	16	25
$N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{60}^*)'$	15,4	2,5	200	155	45	29	26
$N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30}^*)' + (N_{30}^{**})''$	15,7	2,8	224	164	60	37	26
$N_{90} + (N_{30}^*)' + (N_{30}^{**})''$	15,8	2,9	232	149	83	56	26
Соломистый навоз – Фон 2	15,2	2,3	184	152	32	21	21
$N_{60} + (N_{60} + м/у)'$	18,3	5,4	432	279	153	55	30
$N_{60} + (N_{60}^*)'$	19,1	6,2	496	302	194	64	29
$N_{60} + (N_{30}^*)' + (N_{30}^{**})''$	19,3	6,4	512	309	203	66	28
$N_{60}P_{20}K_{60} + (N_{30}^*)' + (N_{30}^{**})''$	19,7	6,8	544	334	210	63	29

При применении полной минеральной системы удобрения в комплексе с внесением азота (N_{60}) и некорневой подкормкой посевов микроудобрением

дополнительный сбор к. ед. составил 2,0 т/га с получением прибыли на уровне 21 долл./га при 16 % рентабельности.

Применение $N_{150}P_{20}K_{60}$ с дополнительным введением в систему удобрения одно- и двукратных некорневых подкормок посевов Экогумом АФ и Экосилом позволило получить с 1 га 2,5–2,8 т. к. ед., 45–60 долл./га условной прибыли при рентабельности 29–37 %.

Исключение из системы удобрения фосфорных и калийных удобрений за счет высокого уровня дополнительного сбора к. ед. (2,9 т/га) и снижения затрат на фосфорные и калийные удобрения способствовало получению наиболее высоких по минеральному фону условной прибыли (83 долл./га) и рентабельности (56 %). Себестоимость 1 т к. ед. составила 26 долл. (табл. 2).

Применение минеральных удобрений и некорневых подкормок на фоне солоमистого навоза оказалось наиболее эффективным агроприемом при возделывании кукурузы на зеленую массу. За счет высокого уровня плодородия почвы и питательных веществ, поступивших с навозом КРС, дополнительный сбор к. ед. составил 2,3 ц/га, что практически на уровне показателя, полученного при минеральной системе удобрения ($N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{60}^*)$). Условная прибыль при этом составила 32 долл./га, рентабельность – 21 % при 30 долл. себестоимости полученной продукции.

Возделывание кукурузы при моноазотной системе удобрения на фоне навоза в сочетании с однократными азотными подкормками в комплексе с некорневыми однократными подкормками микроудобрениями отдельно и в сочетании с дополнительными применением стимуляторов роста обеспечило получение прибавки урожая на уровне 5,4–6,2 т. к. ед./га, 153–194 долл./га условной прибыли при рентабельности 55–64 %. Себестоимость 1 т полученной продукции составила 29–30 долл.

Моноазотная система удобрения на фоне навоза в сочетании с двукратными азотными подкормками в комплексе с некорневыми подкормками и стимуляторами роста обеспечило дополнительное получение 6,4 т к. ед./га, 203 долл./га условной прибыли при рентабельности 66 % и 28 долл. себестоимости 1 т продукции.

Дополнительное внесение фосфорных и калийных удобрений в дозах $P_{20}K_{60}$ не оказало существенного влияния на повышение продуктивности культуры. Прибавка по отношению к моноазотной системе удобрения составила 0,4 т. к. ед./га. При такой системе удобрения условная прибыль составила 210 долл./га при 63 % рентабельности и себестоимости 1 т к. ед. 29 долл.

Для выявления наиболее эффективных систем удобрения кукурузы выполнен химический анализ растительных образцов, рассчитаны хозяйственный и удельный выносы элементов питания с урожаем и коэффициенты их возмещения (табл. 3). Установлено, что различные системы удобрения оказывают значительное влияние на потребление элементов минерального питания растениями кукурузы и их вынос с урожаем зеленой массы. Зеленая масса кукурузы накапливала больше азота и калия, меньше – фосфора. В варианте без удобрений в среднем за 2 года исследований общий вынос азота составил 259 кг/га, фосфора – 123, калия – 259 кг/га. Дополнительное внесение минеральных удобрений увеличило вынос азота на 15 % (283–299 кг/га), фосфора – на 20 % (130–161 кг/га), калия – на 47 % (297–309 кг/га).

Применение соломистого навоза способствовало увеличению хозяйственного выноса по азоту и фосфору на 5 %, калию – на 14 % по отношению к контролю.

Дополнительное внесение минеральных удобрений на этом фоне увеличило вынос азота на 39 % (329–399 кг/га), фосфора – на 35 % (161–183 кг/га), калия – на 26 % (347–405 кг/га). В варианте с максимальной урожайностью зеленой массы кукурузы среднегодовой хозяйственный вынос азота составил 399 кг/га, фосфора – 183, калия – 387 кг/га.

Таблица 3

Влияние комплексного использования агротехнологических приемов на вынос и коэффициент возмещения основных элементов питания зеленой массой кукурузы на дерново-подзолистой суглинистой почве, среднее за 2 года

Вариант	Урожайность, ц/га	Вынос с урожаем, кг/га			Удельный вынос, кг/т			Коэффициент возмещения		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без удобрений – Фон 1	644	256	123	259	4,0	1,9	4,0	–	–	–
N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₆₀ + м/у)'	746	283	147	297	3,8	2,0	4,0	0,5	0,1	0,2
N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₆₀ *)'	772	299	130	309	3,9	1,7	4,0	0,5	0,2	0,2
N ₉₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ *)' + (N ₃₀ **)"	787	299	154	306	3,8	2,0	3,9	0,5	0,1	0,2
N ₉₀ + (N ₃₀ *)' + (N ₃₀ **)"	791	295	161	303	3,7	2,0	3,8	0,5	–	–
Соломистый навоз (СН) – Фон 2	761	269	129	296	3,5	1,7	3,9	–	–	–
N ₆₀ + (N ₆₀ + м/у)'	913	329	161	354	3,6	1,8	3,9	0,4	–	–
N ₆₀ + (N ₆₀ *)'	955	344	182	405	3,6	1,9	4,2	0,4	–	–
N ₆₀ + (N ₃₀ *)' + (N ₃₀ **)"	965	365	170	347	3,8	1,8	3,6	0,3	–	–
N ₆₀ P ₂₀ K ₆₀ + (N ₃₀ *)' + (N ₃₀ **)"	983	399	183	387	4,1	1,9	3,9	0,3	0,1	0,2

В рекомендациях производству для расчета доз удобрений используют данные усредненных нормативов удельного выноса элементов питания с основной и побочной продукцией (кг/т). Так, согласно [4] данные показатели для азота составляют 3,3 кг/т, фосфора – 1,2 кг/т, калия – 4,2 кг/т. Ранее нами были предложены уточненные нормативы удельного выноса элементов питания, основанные на ранжировании показателей в зависимости от уровня планируемой урожайности [10], в соответствии с которыми на планируемую урожайность 700–800 ц/га зеленой массы кукурузы вынос по азоту составляет 3,9 кг/т, фосфору – 2,3, калию – 5,1 кг/т. В настоящих исследованиях удельный вынос элементов питания при таком же уровне урожайности (746–791 ц/га) изменялся в пределах: азота – 3,7–3,8, фосфора – 1,7–2,0, калия – 3,8–4,0 кг/т (табл. 3). При системе удобрения, обеспечивающей получение урожайности зеленой массы кукурузы более 900 ц/га, удельный вынос азота составил в среднем 3,7 кг/т, фосфора – 1,8, калия – 3,9 кг/т.

Для расчета доз внесения удобрений на планируемую урожайность применяют метод коэффициентов возмещения выноса. Величина коэффициентов возмещения зависит от типа и гранулометрического состава почв, запасов в них элементов минерального питания, доз применяемых удобрений, биологических особенностей культур и сложившихся погодных условий. На почвах с очень высоким содержанием фосфора и калия при расчете доз минеральных удобрений компенсация выноса этих элементов с планируемую урожайностью сельскохозяйственных культур должна составлять 30–50 % (коэффициент 0,3–0,5) [2]. В наших исследованиях

по опыту коэффициенты возмещения выноса фосфора и калия составили 0,1–0,2 и 0,2 соответственно, что может свидетельствовать о возможном неблагоприятно складывающемся балансе элементов питания на перспективу.

Любые изменения в системе земледелия, видах и дозах удобрения приводят к количественным и качественным изменениям свойств почвы. Для оценки влияния агробиотехнологических приемов в посевах кукурузы на изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой суглинистой почвы определено содержание в них подвижных соединений фосфора и калия. Перед закладкой опыта содержание подвижного фосфора в среднем по двум полям, в соответствии с градацией, характеризовалось как очень высокое, изменяясь в пределах 764–842 мг/кг почвы (табл. 4).

Таблица 4

Динамика содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой суглинистой почве при возделывании кукурузы на зеленую массу (среднее по двум полям)

Вариант	Осень, до внесения навоза	Весна, перед посевом	Осень, после уборки	±
Без удобрений – Фон 1	764	817	737	–27
$N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30} + м/у + РР + БАВ)' + (N_{30} + РР)''$	770	820	765	–5
$N_{90} + (N_{30} + м/у + РР + БАВ)' + (N_{30} + РР)''$	780	837	772	–8
Подстилочный навоз – Фон 2	827	902	879	52
$N_{60} + (N_{30} + м/у + РР + БАВ)' + (N_{30} + РР)''$	832	921	885	53
$N_{60}P_{20}K_{60} + (N_{30} + м/у + РР + БАВ)' + (N_{30} + РР)''$	842	932	866	24
НСР ₀₅ (удобрения)	–			–
НСР ₀₅ (фон)	–	48		

К весне данный показатель существенно повысился, что может быть связано с более высокой влажностью и низкой температурой почвы в этот период [8]. При этом на минеральном фоне повышение в среднем составило 54 мг/кг, на фоне навоза – 86 (НСР₀₅ – 36).

За вегетационный период кукурузы, в связи с процессом роста и развития растений происходило снижение содержания доступных соединений фосфора в почве. В результате, к уборке на минеральном фоне потери данной формы элемента были наибольшими и достоверными, составив 67 мг/кг почвы. Тогда как на фоне навоза потери были несущественными – 42 мг/кг.

Анализ данных динамики содержания подвижных фосфатов при возделывании кукурузы свидетельствует также о том, что применение полной минеральной системы удобрения с внесением 20 кг/га д. в. фосфора не имело достоверного отличия по влиянию на фосфатное состояние почвы по сравнению с моноазотной системой на обоих фонах.

Сравнение показателей содержания подвижных фосфатов перед закладкой опыта – осенью до внесения навоза, с показателями после уборки кукурузы свидетельствует о незначительной тенденции снижения количества подвижного фосфора на минеральном фоне (–13 мг/кг почвы). При этом внесение навоза способствовало повышению количества подвижных фосфатов соответственно на 43 мг/кг почвы.

Достоверных изменений в содержании подвижного калия за зимний период на фоне без удобрений не произошло при тенденции снижения на 25 мг/кг. На фоне внесения солоमистого навоза при этом отмечалось достоверное повышение количества подвижного калия на 47 мг/кг ($HCP_{05} - 35$) (табл. 5).

Таблица 5

Динамика содержания подвижного калия в дерново-подзолистой суглинистой почве при возделывании кукурузы на зеленую массу (среднее по двум полям)

Вариант	Осень, до внесения навоза	Весна, перед посевом	Осень, после уборки	±
Без удобрений – Фон 1	318	297	258	-60
$N_{90}P_{20}K_{60} + (N_{30} + m/y + PP + БАВ)' + (N_{30} + PP)'$	334	302	247	-87
$N_{90} + (N_{30} + m/y + PP + БАВ)' + (N_{30} + PP)''$	316	294	271	-45
Подстилочный навоз – Фон 2	333	380	342	9
$N_{60} + (N_{30} + m/y + PP + БАВ)' + (N_{30} + PP)''$	346	386	342	-4
$N_{60}P_{20}K_{60} + (N_{30} + m/y + PP + БАВ)' + (N_{30} + PP)''$	337	391	346	9
HCP_{05} (удобрения)	-			
HCP_{05} (фон)	24	35	40	-

За период роста и развития растений кукурузы на фонах произошло снижение содержания подвижного калия в среднем на 32–44 мг/кг почвы.

Таким образом, при возделывании кукурузы значительные изменения в содержании подвижного калия отмечены на минеральном фоне, где снижение данного показателя составило в среднем 64 мг/кг почвы. На фоне внесения навоза изменений практически не произошло, при тенденции к повышению на 5 мг/кг.

Внесение минеральных калийных удобрений в дозе 60 кг/га д. в. в полной системе удобрения не имело преимуществ перед вариантами с применением моноазотной системы удобрения на изучаемых фонах.

Таким образом, при рекомендуемых дозах минеральных удобрений под кукурузу значения коэффициентов возмещения выноса фосфора и калия как на минеральном, так и органическом фонах ниже оптимальных, что может свидетельствовать об истощении почвы на перспективу. При этом на органическом фоне отмечается даже тенденция повышения в почве подвижных соединений фосфатов и калия. Данное противоречие требует дальнейшего изучения вопроса.

ВЫВОДЫ

Исследования по установлению наиболее эффективных агротехнологических приемов возделывания кукурузы на зеленую массу на дерново-подзолистой высококультуренной суглинистой почве показали, что органоминеральная система удобрения является наиболее эффективной. Применение моноазотной системы удобрения $N_{90+30+30}$ в сочетании с некорневой подкормкой посевов микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор и комплекса двукратных некорневых подкормок стимуляторами роста растений Экогум АФ и Экосил, Экосил Плюс обеспечило

получение с 1 га 19,3 т к. ед., 22,7 ц белка, 203 долл. условной прибыли при рентабельности 66 %. При такой системе удобрения 1 кг азотных удобрений окупается 170 ц зеленой массы кукурузы, себестоимость прибавки 1 т к. ед. составляет 28 долл., поддерживается в почве достигнутый уровень содержания подвижных фосфатов и калия.

Применение минеральной системы удобрения при возделывании кукурузы на дерново-подзолистых высококультурных суглинистых почвах без использования органических удобрений возможно в хозяйствах с невысоким поголовьем скота, испытывающих дефицит органических удобрений. В условиях опыта применение $N_{90+30+30}P_{20}K_{60}$ в сочетании с некорневой подкормкой посевов микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор и комплекса двукратных некорневых подкормок стимуляторами роста растений Экогум АФ и Экосил, Экосил Плюс обеспечило получение с 1 га 15,7 т к. ед. 22,7 ц белка, 60 долл. условной прибыли при рентабельности 37 %. При такой системе удобрения 1 кг минеральных удобрений окупается 62 ц зеленой массы кукурузы при 26 долл. себестоимости прибавки 1 т к. ед. Следует учитывать, что такая система удобрения даже на высококультурных почвах может привести к деградации почвенного плодородия, в связи с чем применять ее при возделывании кукурузы допустимо не более чем в одной ротации севооборота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича: Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. – 276 с.
2. Комплекс мероприятий по повышению плодородия и защите от деградации почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь на 2021–2025 годы / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы, Н. Н. Цыбулько; Национальная академия наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 148 с.
3. Регламент применения удобрений под кукурузу на дерново-подзолистых высококультурных суглинистых и супесчаных почвах / Е.Г. Мезенцева [и др.]; Нац. Акад. Наук Беларуси, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК Беларуси, 2023. – 11 с.
4. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.
5. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И. М. Богдевич [и др.]; РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2010. – 24 с.
6. Растениеводство: учеб. пособие / под общ. ред. доктора с.-х. наук, профессора К. В. Коледы и канд. с.-х. наук А. А. Дудука. – Гродно, 2007. – 400 с.
7. Мезенцева Е. Г. К вопросу повышения устойчивости кукурузы к неблагоприятным условиям / Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш // Наше сельское хозяйство. – 2021. – № 7. – С. 77–87.
8. Туренков Н. И. Палево-подзолистые почвы Белоруссии / Н. И. Туренков. – М.:

Наука и техника, 1980. – 216 с.

9. Влияние погоды при выращивании кукурузы [Электронный ресурс] // Агроном с Полтавы. – Режим доступа: <https://www.agronom.co.ua/vliyanie-pogody-pri-vyrashhivanii-kukuruzy/> – Дата доступа: 14.10.2020.

10. Нормативы возмещения выноса элементов питания для расчета доз минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Институт почвоведения и агрохимии, 2017. – 39 с.

EFFICIENCY OF CORN FERTILIZER SYSTEMS ON SODDY-PODZOLIC LOAM SOIL

E. G. Mezentseva, O. G. Kulesh, O. V. Simankov,
A. A. Gracheva, S. M. Zenkova

Summary

The most effective technique for growing corn for green mass was the use of $N_{90+30+30}$ in combination with foliar top dressing of crops with MicroStim-Zinc, Boron microfertilizer and a complex of double foliar top dressing with plant growth stimulants Ecogum AF and Ecosil, Ecosil Plus against the background of the introduction of 60 t/ha of cattle manure In the technological experiment on soddy-podzolic loamy soil. It was ensured the receipt of 19,3 tons of feed units, 22,7 centners of protein, \$ 203 of conditional profit from 1 hectare with a profitability 66 %. Every kilogram of nitrogen fertilizer pays off 170 centners of corn green mass, the cost of adding 1 ton of feed units is \$ 28, and the achieved level of content of mobile phosphate and potassium compounds in the soil is maintained with such a fertilizer system.

The possibility of cultivating corn under conditions of deficiency of organic fertilizers has been studied. The use of the mineral fertilizer system ($N_{90+30+30}P_{20}K_{60}$) in combination with microfertilizer and two-time foliar top dressing of crops with growth stimulants provides 15.7 t/ha of fodder units, 22,7 q/ha of protein, 60 \$/ha of conditional profit at profitability 37 % and payback of 1 kg of mineral fertilizers 62 centners of corn green mass. Such a fertilizer system leads to the degradation of soil fertility, and therefore it is permissible to use it in the cultivation of corn in no more than one crop rotation It is assumed.

Поступила 14.04.23