

УДК 631.8

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ЧЕРНОЗЕМА

*А. Салем Мохамед, Н.Ш. Гиниятов, Т.В. Багаева,
С.К. Зарипова, И.Т. Храмов, Ф.К. Алимова*

Аннотация

Изучалось последствие органических удобрений, представленных навозом, или соломой, или навозом и соломой, внесенных в 2001 г., в сочетании с компенсирующими дозами минерального азота, вносимого ежегодно, на ряд биологических показателей выщелоченного чернозема юго-западного Предволжья Республики Татарстан. Во всех вариантах внесения органического удобрения урожай зеленой массы кукурузы превышал таковой на почве без удобрений и почвах с внесением только минерального азота. В опытных вариантах определено большее содержание доступных растениям органических элементов (азот, фосфор, калий), больший количественный и качественный состав органических кислот, усиленная азотфиксация, целлюлазная активность. Наиболее выраженное положительное влияние на комплекс изучаемых параметров оказывает сложная система удобрения – солома + навоз + компенсирующие дозы минерального азота.

Введение

В современных экономических условиях для устойчивого развития сельскохозяйственного производства необходимы эффективное использование пахотных земель, сохранение плодородия почв, сбалансированное использование почвенно-климатических ресурсов и биологических факторов, интенсификации растениеводства. Одним из основных приемов сохранения и повышения плодородия почв является внесение в них органических удобрений. Особенно большую роль органические удобрения выполняют в поддержании определенного количества гумуса в составе почв [1]. В настоящее время интенсивно ведутся работы по определению оптимальных доз и соотношения удобрений различных классов, способов и частоты их внесения для получения высоких урожаев [2, 3].

Интенсификация сельскохозяйственного производства оказывает большое влияние на химический состав, физическую структуру, содержание и качественный состав гумуса практически всех типов почв. Этим обусловлены значительные изменения в функционировании почвы как природного биологического тела. Исключительно чувствительными реагентами на изменения, происходящие в почве, являются микроорганизмы. Поэтому обращение к изучению почвенной микрофлоры и мониторингу изменений в этой важнейшей части почвенного покрова при его сельскохозяйственном использовании является в высшей степени актуальным и практически значимым [4].

Очевидно, что для каждого типа почв и определенных географических условий необходимо проведение исследований действия и последствия удобрений на агрохимические свойства почвы с целью установления эффективности применяемых удобрений и определения доз их внесения [5].

Целью настоящей работы была оценка последствия (на третий год после внесения) органических удобрений на микробиологическую активность выщелоченного чернозема юго-западного Предволжья Республики Татарстан, отличающегося по ряду агрохимических параметров от аналогичных почв других регионов.

1. Материалы и методы исследований

Схема опыта. Исследования проводились в полевых опытах на базе Буинского ОПХ Республики Татарстан – юго-западная часть Предволжья. Земля была включена в сельскохозяйственный оборот в 2000 г. Были использованы различные системы органо-минеральных удобрений (табл. 1). Компенсирующие дозы минерального азота вносили ежегодно.

В 2003 г. (третья ротация культур) выращивали кукурузу.

Опытные деланки имели размер 100 м². Повторность – трехкратная.

Табл. 1

Варианты внесения органических и органо-минеральных удобрений

| Вариант опыта | |
|---------------|---|
| 1 | Контроль(без удобрений) |
| 2 | Компенсирующая доза N ₁₅₀ |
| 3 | Солома 4 т/га + комп. доза N ₁₅₀ |
| 4 | Солома 4 т/га + навоз 40 т/га + комп. доза N ₁₅₀ |
| 5 | Навоз 60 т/га |
| 6 | Навоз 60 т/га + комп. доза N ₁₅₀ |

Почва. Тяжело-суглинистый выщелоченный чернозем. Характеристики: содержание гумуса – 5.72–5.74%; подвижного фосфора (P₂O₅) – 46 мг/кг почвы; обменного калия (K₂O) – 30 мг/кг почвы; азота нитратного (NO₃) – 1.57 мг/кг почвы; азота аммиачного (NH₃) – 10.8 мг/кг почвы, pH – 4.9–5.1.

Агрохимические показатели определяли общепринятыми методами.

Биологические параметры. О численности микроорганизмов судили по микробной массе, которую определяли фумигационным методом [6]. Активности базального и субстрат-индуцированного дыхания, азотфиксации в почве определяли газохроматографически [7]. Ферментативные активности определяли по дегидрогеназу [8], фосфатазу [9].

В качестве контроля использовали почву, не подвергавшуюся обработке, без растений.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы Microsoft Excel 2000.

2. Результаты и обсуждение

Без применения органических удобрений невозможно добиться бездефицитного баланса гумуса почв. От содержания гумуса зависят пищевой режим и физико-химические свойства почв [1]. Органические удобрения в целом оказывают положительное действие не только на бедные, но и на богатые органическим веществом почвы. При внесении органического вещества в почву наблюдается повышение как общей численности микроорганизмов, так и отдельных групп (нитрифицирующих, целлюлозоразлагающих, аммонифицирующих, актиномицетов) [10].

Было показано, что на третий год после внесения навоза содержание гумуса в выщелоченном черноземе юго-западного Предволжья РТ было в 1.2–1.3 раза больше, чем в почве без удобрений. Способствовало накоплению гумуса в почве и внесение соломы в качестве удобрения – к третьему сезону его содержание в соответствующих вариантах составило 6.33–6.81%, что в 1.3 раза выше, чем в контроле. Лучшие результаты по содержанию гумуса в почве были получены в варианте с добавлением соломы, навоза и минерального азота. Внесение только минерального азота не оказывало существенного влияния на количество гумуса в образцах почв (табл. 2). О том, что минеральные удобрения не увеличивают количество гумуса в почве, отмечалось в работе [2]. Минерализация гумуса в течение третьего вегетационного периода не отличалась по вариантам.

Одним из важных показателей почвы, оказывающих значительное влияние не только на рост растений, но и на состав биоценоза почвы, играющего важную роль в плодородии почв, является кислотность. В наших опытах различий в рН почвы между вариантами с внесением только органических удобрений (2000 г.) и вариантами с ежегодным внесением компенсирующих доз азотных удобрений на фоне органических не было выявлено (табл. 2).

На третий год после внесения органических удобрений сохранились изменения показаний в содержании подвижных фосфатов (табл. 2). При этом наибольшее количество подвижного фосфора (176 мг/кг) приходится на образцы почв с 60 т/га навоза – в 3.5 раз больше по сравнению с контролем. В течение вегетационного периода содержание подвижного фосфора в почве сократилось в 1.3–1.7 раза по сравнению с весенними показателями, что может быть связано с выносом элемента зеленой массой. В контрольном варианте (почва без удобрений) изменение показателя было незначительным (табл. 2).

Концентрация обменного калия при внесении органических удобрений также была выше в 3.0–3.5 раза по сравнению с контрольным вариантам без удобрений (табл. 2). Интересен тот факт, что в контрольном образце количество обменного калия незначительно сокращалось, тогда как в образцах с навозом количество обменного калия оставалось на том же уровне или даже увеличивалось (солома + N₁₅₀ + навоз). Такая закономерность относительно обменного калия отмечалась и при внесении навоз + известь в дерново-подзолистых почвах [11].

Определение окисленных (нитраты) и восстановленных (аммоний) форм азота показало, что в данном типе выщелоченного чернозема преобладают восстановительные процессы – содержание ионов аммония в контрольных образ-

Табл. 2
Физико-химическая характеристика пахотного слоя выщелоченного чернозема при применении различных систем удобрений*

| Варианты опыта | Гумус, % | pH | P ₂ O ₅ , мг/кг | K ₂ O, мг/кг | NH ₄ , мг/кг | NO ₃ , мг/кг |
|--|-------------|-------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Без удобрений | <u>5.30</u> | <u>5.00</u> | <u>50</u> | <u>32</u> | <u>14.5</u> | <u>1.97</u> |
| | 5.10 | 5.08 | 46 | 30 | 10.8 | 1.57 |
| N ₁₅₀ | <u>5.30</u> | <u>5.08</u> | <u>59</u> | <u>29</u> | <u>18.9</u> | <u>8.9</u> |
| | 5.25 | 5.04 | 53 | 27 | 16.0 | 12.4 |
| Солома 4 т/га + N ₁₅₀ | <u>6.33</u> | <u>4.90</u> | <u>84</u> | <u>106</u> | <u>22.2</u> | <u>9.54</u> |
| | 6.15 | 5.00 | 73 | 100 | 14.9 | 13.15 |
| Солома + N ₁₅₀ + навоз 40 т/га | <u>6.81</u> | <u>5.10</u> | <u>124</u> | <u>96</u> | <u>22.1</u> | <u>16.1</u> |
| | 6.35 | 5.06 | 104 | 100 | 11.7 | 13.6 |
| Навоз 60 т/га | <u>6.73</u> | <u>5.10</u> | <u>176</u> | <u>112</u> | <u>20.2</u> | <u>2.43</u> |
| | 6.30 | 5.09 | 104 | 115 | 12.1 | 10.0 |
| Навоз 60 т/га + N ₁₅₀ | <u>6.62</u> | <u>5.16</u> | <u>164</u> | <u>94</u> | <u>13.5</u> | <u>8.23</u> |
| | 6.00 | 5.04 | 118 | 98 | 11.8 | 13.1 |

*Над чертой – агрохимические показатели почвы весной перед посевом кукурузы, под чертой – после сбора урожая.

цах более чем в 7 раз превышало количество нитратов, а при внесении навоза – более чем в 6 раз. Наибольшее количество ионов аммония содержалось в образцах с 60 т/га навоза и составляло 20.2 мг/кг. Внесение минерального азота дополнительно к навозу существенно отразилось и на количестве (оно повысилось), и на соотношении этих форм азота. Последнее снизилось до 1.6–3.6, т. е. наблюдался определенный баланс между данными ионами. Внесение соломы с минеральным азотом также способствовало уравниванию окисленных и восстановленных форм азота в почве. Наиболее эффективным по последствию на данный показатель было использование системы «солома + навоз» на фоне минерального азота (табл. 2). Как и в случае фосфора, к концу вегетационного периода количество ионов аммония в почвенных образцах снижалось в большей или меньшей степени.

Таким образом, внесение органических и органоминеральных удобрений благоприятно сказалось на содержании гумуса в почве, на увеличении подвижного фосфора и калия. Дополнительное внесение минерального азота по физико-химическим показаниям также способствовало увеличению количества подвижного фосфора и калия. Кроме того, минеральный азот позволил уравновесить содержание окисленных и восстановленных форм азота, значительно усилил процесс нитрификации, благоприятно отразился на общем балансе азотного питания.

В отличие от азотных удобрений, которые не имеют последствия, навоз, обычно, вызывает повышение урожая в течение 2–3 лет [2]. В нашем опыте и через три года после внесения положительное влияние органических удобрений на урожай зеленой массы кукурузы сохранилось (табл. 3). Лучшие урожаи в 2003 г. были получены при внесении навоза и соломы с минеральным азотом.

В наших вариантах сделали проверку на наличие различных органических кислот при внесении в качестве удобрений: навоз, навоз + минеральный азот, солома + минеральный азот и навоз + солома + минеральный азот. В качестве

Табл. 3

Урожайность зеленой массы кукурузы при применении различных систем удобрений

| Варианты опыта | Без удобрений | + N ₁₅₀ | Солома 4т/га + N ₁₅₀ | Солома + N ₁₅₀ + + навоз 40 т/га | Навоз 60 т/га | Навоз 60 т/га + N ₁₅₀ |
|-------------------------------------|---------------|--------------------|---------------------------------|--|---------------|----------------------------------|
| Урожай зеленой массы кукурузы, ц/га | 235 | 275 | 400 | 364 | 356 | 379 |

контроля использовались образцы почв без удобрений и с внесением только минерального азота. В почвах без удобрений и с добавлением минерального азота нами обнаружена только уксусная кислота. Добавление навоза в качестве удобрения привело к увеличению качественного состава органических кислот: дополнительно к уксусной кислоте были идентифицированы янтарная и муравьиная кислоты. Внесение соломы способствовало появлению лимонной и яблочной кислот. Наибольшее количество органических кислот в образцах почв было обнаружено при внесении навоза + соломы + минерального азота. Образцы содержали лимонную, яблочную, фумаровую, муравьиную и уксусную кислоты. Таким образом, наибольшее количество органических кислот обнаруживается при совместном внесении соломы и навоза в почву. Интересно отметить, что в почвах при внесении только навоза обнаруживается янтарная кислота, а при внесении навоза с соломой – яблочная и фумаровая.

Сравнение содержания органических кислот в образцах почв с данными по урожаю показало, что увеличение качественного состава органических кислот в образцах почв, отражающее усиление метаболических процессов как растений, так и микроорганизмов, коррелирует с повышением урожая. Таким образом, наличие органических кислот может быть еще одним из показателей биологической активности почв.

Наибольший интерес для нас представляла биологическая активность изучаемой почвы при использовании различных систем удобрений. Известно, что при поступлении в почву богатых азотом органических соединений активизируется протеолитическая система почвы, целлюлоза индуцирует рост целлюлазной активности почвы, декстраны повышают активность декстраназы, фосфорорганические соединения активизируют действие фосфогидролаз, различные фенолсодержащие соединения индуцируют накопление фенолоксидаз [12].

Биологическую активность почв в образцах с различными вариантами удобрений в наших опытах характеризовали по интенсивности дыхания, азотофиксации, а также активности отдельных ферментов – дегидрогеназ, фосфатаз, целлюлаз.

Характерный показатель деятельности микрофлоры почвы – «дыхание» или респираторная активность – отражает количество доступного углерода для поддержания жизнедеятельности микроорганизмов и является мерой скорости

Табл. 4

Биологическая активность выщелоченного чернозема при применении различных систем удобрений*

| Варианты опыта | Базальное дыхание, CO ₂ мг/ч /кг почвы | Фиксация азота, мг N ₂ /ч /кг почвы | Дегидрогеназа, мг ТФФ /сут. /г почвы | Фосфатаза мг АТФ /сут. /г почвы | Целлюлаза, мкг глюкозы /г почвы |
|---|---|--|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Без удобрений | 18.9±1.10 | 2.26±0.43 | 1.05±0.02 | 8.10±1.08 | 0.04±0.002 |
| | 19.7±0.64 | 0.62±0.04 | 0.53±0.02 | 13.86±0.31 | |
| + N ₁₅₀ | 18.0±1.03 | 2.27±0.52 | 1.47±0.01 | 9.36±1.56 | 0.04±0.002 |
| | 10.8±1.62 | 0.59±0.15 | 0.47±0.01 | 6.84±1.36 | |
| Солома 4 т/га + N ₁₅₀ | 17.2±1.82 | 2.28±0.6 | 0.78±0.11 | 8.09±0.21 | 0.12±0.009 |
| | 13.4±2.23 | 0.57±0.01 | 0.48±0.02 | 8.10±0.00 | |
| Солома + N ₁₅₀ + навоз 40 т/га | 16.0±0.64 | 6.96±1.36 | 0.80±0.02 | 8.82±0.82 | 0.14±0.007 |
| | 11.9±0.65 | 34.98±9.1 | 0.55±0.01 | 6.12±0.62 | |
| Навоз 60 т/га | 19.7±0.64 | 1.67±1.0 | 0.87±0.01 | 8.28±0.82 | 0.14±0.01 |
| | 14.1±1.71 | 0.57±2.28 | 0.43±0.01 | 9.18±0.54 | |
| Навоз 60 т/га + N ₁₅₀ | 12.3±1.12 | 0.15±0.04 | 0.72±0.01 | 10.44±1.12 | 0.05±0.003 |
| | 23.5±2.95 | 57.55±18.2 | 0.43±0.01 | 9.54±0.62 | |

* Над чертой – показатели почвы весной перед посевом кукурузы, под чертой – после сбора урожая.

оборачиваемости углерода в почве. Под влиянием удобрений дыхание почв обычно усиливается в результате ускоренного разложения органических соединений почвы, в том числе и гумуса [2, 13, 14].

В наших опытах на третий год после внесения органических удобрений базальное дыхание выщелоченного чернозема не превышало дыхания почвы без удобрений или почвы только с минеральным фоном. Для всех вариантов опыта характерно снижение интенсивности дыхания к осени в целом, при этом в вариантах с органикой (т. е. там, где выше была урожайность) дыхание было несколько выше, чем в почве без удобрений (табл. 4).

Важный процесс, характеризующий интенсивность протекающих микробиологических процессов в почве, – азотфиксация. Это один из основных процессов, способствующий плодородию почв. Исследования показали, что к началу третьего вегетационного периода активность азотфиксации в большинстве вариантов была сопоставима, как и дыхание. Исключение составил вариант «навоза + N₁₅₀», где активность была существенно ниже (табл. 4). К концу вегетационного периода 2003 г. активность фиксации азота существенно возросла в вариантах с навозом и компенсирующими дозами минерального азота, тогда как в остальных снижалась.

Что касается ферментативных активностей, то на третий год после внесения различных органических удобрений резких отличий в их активности не выявлено. Так, дегидрогеназная активность в этих вариантах практически не отличалась, понижаясь к периоду созревания урожая (табл. 4). Не были отмечены и различия в фосфатазной активности почв по вариантам к весне третьего года. Однако к концу лета фосфатазная активность в большинстве образцов снижалась, тогда как в почве без удобрений показатель вырос в 1.5 раза (табл. 4), что

может свидетельствовать о вовлечении в микробный метаболизм связанных форм фосфора. Именно в этом варианте определено наименьшее содержание подвижного фосфора (табл. 2).

Последствие органических удобрений выявлено в отношении целлюлазы. Активность целлюлазы была в 2.8 раз выше в образцах, содержащих солому и навоз, по сравнению с почвой без удобрений и с почвой с внесением только минерального фона (табл. 4).

Известно, что систематическое применение удобрений изменяет численный и качественный составы почвенной микрофлоры. В наших опытах на третий год после внесения органических удобрений существенные различия в количестве углерода биомассы в почвенных образцах не выявлены. Следует отметить, что к концу лета 2003 г. количество углерода биомассы в опытных вариантах возросло в 1.8–1.9 раз по сравнению с весной, тогда как в почве без удобрений – в 1.4 раза. Наибольший прирост углерода биомассы наблюдали в образцах почв, содержащих 60 т/га навоза + N₁₅₀.

Таким образом, положительное последствие органических и органоминеральных удобрений на биологическую активность выщелоченного чернозема сохраняется и на третий год после их применения. Наиболее выраженное действие на изучаемые параметры биологической активности выщелоченного чернозема Республики Татарстан оказала сложная система, сочетающая навоз, солому (однократное внесение в 2000 г.) с ежегодным внесением компенсирующей дозы азотного минерального удобрения.

Summary

A. Salem Mohamed, N.Sh. Ginniyatov, T.V. Bagaeva, S.K. Zaripova, I.T. Khramov, F.K. Alimova. An influence of organic fertilisers on biological activity of leached chernozem.

A post influence of organic fertilisers such as manure, or straw, or manure plus straw introduced in 2001 in combination with annually inorganic nitrogen fertilizers application on some biological parameters of leached chernozem of west-south Volga river region of Tatarstan was studied. On the third year after application, in all soil plots with organic fertilisers a green mass of maize was higher than one on soil without any fertilisers, or soil plot with inorganic nitrogen. In experimental plots a more amount of organogenic elements (nitrogen, phosphorous, potassium), and quantitative and qualitative composition of organic acids, more intensive N₂-fixation and cellulase activity were detected. The most positive influence on the studied soil parameters has shown by the more complex fertilize system – “straw + manure + compensating dose of inorganic nitrogen”.

Литература

1. Намжилов Н.Б., Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенков Ю.Б. Влияние органических удобрений на восстановление плодородия дефлированных почв Бурятии // Почвоведение. – 2003. – № 6. – С. 21.
2. Емцев В.Т., Мишустин Е.Н. Удобрение и микробиологические процессы в почве // Микробиология. – М.: Изд-во Колос, 1993. – С. 294–308.
3. Звягинцев Д.Г. Минеральные удобрения как фактор антропогенного воздействия на почвенную микрофлору // Микроорганизмы и охрана почв. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – С. 47–83.

4. *Паринкина О.М., Ключева Н.В.* Микробиологические аспекты уменьшения естественного плодородия почв при их сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. – 1995. – № 5. – С. 573–581.
5. *Зенова Г.М., Гомонова Н.Ф., Малык Е.А., Звягинцев Д.Г.* Сравнительный анализ различных систем удобрений и продолжительности их действия на комплекс почвенных актиномицетов и свойства дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. – 2001. – № 6. – С. 720–725.
6. *Селивановская С.Ю., Латыпова В.З.* Система биологических тестов для оценки токсичности объектов окружающей среды: методические указания к специальному практикуму по прикладной экологии. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2001. – 24 с.
7. *Гарусов А.В., Алимова Ф.К., Захарова Н.Г.* Биомониторинг почв. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1999. – 27 с.
8. Метод почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. *Д.Г. Звягинцева*. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 302 с.
9. *Алимова Ф.К., Захарова Н.Г., Егоров С.Ю.* Экология микроорганизмов: методические указания к выполнению лабораторных работ. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1993. – 41 с.
10. *Крулов Ю.В.* Микрофлора почвы и пестициды. – М., 1991. – 128 с.
11. *Минеев В.Г., Гомонова Н.Ф., Овчинникова М.Ф.* Плодородие и биологическая активность дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений и их последствие // Агрехимия. – 2004. – № 7. – С. 5–10.
12. *Хазиев Ф.Х.* Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. – М.: Наука, 1982. – 204 с.
13. *Звягинцев Д.Ф.* Почва и микроорганизмы. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 256 с.
14. *Cook G.W.* Soil and fertilizers // J. Royal Agric Soc. England. – 1968. – V. 129. – P. 128.

Поступила в редакцию
19.07.05

Салем Мохамед Ахмет – аспирант кафедры микробиологии Казанского государственного университета.

E-mail: Mohamed.Salem@ksu.ru

Гиниятов Надир Шамилович – научный сотрудник НИИ агрохимии и почвоведения РАСХН, г. Казань.

Багаева Татьяна Вадимовна – доктор биологических наук, профессор кафедры микробиологии Казанского государственного университета.

Зарипова Сания Кашафовна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник кафедры микробиологии Казанского государственного университета.

Храмов Иван Тимофеевич – кандидат сельскохозяйственных наук, зав. отделом воспроизводства почвенного плодородия НИИ агрохимии и почвоведения РАСХН, г. Казань.

Алимова Фарида Кашифовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии Казанского государственного университета.

E-mail: falim@ksu.ru