

Лийс МУРДАМ, Хельда РИИС, Оолу РЫИС

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЧВЕ ПРИ ОРОШЕНИИ ЖИДКОЙ ФРАКЦИЕЙ СВИНОГО НАВОЗА

В связи с концентрированием животноводства и переходом его на промышленные основы на ограниченной территории скапливаются сотни тысяч тонн жидкого навоза, содержащего лишь несколько процентов сухого вещества. Такой навоз требует очистки, утилизации. Любой вид биологической переработки жидкого навоза (аэробная и анаэробная или простое хранение в соответствующих лагунах) снижает в нем содержание органического вещества, азота и токсинов, характерных для свежего навоза (Архипченко, 1985; Apfelthaler и др., 1977; Giafardini, Barbieri, 1982). В ходе очистки жидкого навоза полностью сохраняются и последовательно накапливаются водорастворимые соли натрия, калия и фосфор. Отмечается, что применение жидкой фракции свиного навоза (ЖФСН) в течение длительного времени приводит к отрицательным последствиям за счет аккумуляирования в почве компонентов навоза. Так в южном черноземе 6-летнее орошение ЖФСН привело к повышению содержания обменного натрия в 5—7 раз, усилило разложение органического вещества и выявило тенденцию к разложению гумуса (Бойко, Бойко, 1984). После 3—5-летнего применения ЖФСН в типичном тяжелосуглинистом черноземе стали наблюдаться элювиально-аккумулятивные процессы, некоторое снижение устойчивости структуры и оседание почвы (Медведева, Коваленко, 1977). Однако сведений о влиянии ЖФСН на микробиологические процессы почвы весьма мало.

Целью настоящей работы было изучение динамики численности почвенных микроорганизмов и ферментативной активности почвы в связи с процессами трансформации азота при многократном орошении ЖФСН.

Материал и методика

Влияние ЖФСН и различных его фракций на биологические и агрохимические свойства различных по генезису типов почв исследовали в период 1984—1987 гг. В настоящей работе приводится лишь часть полученных данных, характеризующих влияние ЖФСН на микробиологические свойства почвы. В вегетационный период 1984 г. были проведены две серии опытов.

I. Вегетационный опыт в 40-литровых сосудах с перфорированным дном, наполненных гумусовым горизонтом рихтовой рендзины (без растительности). Были заложены два варианта опытов: 1) контрольный вариант, 2) вариант с пятикратным внесением 80 т/га ЖФСН из биопруда при сепарирующем сооружении биологической очистки свиного навоза свинофермы Опорно-показательного совхоз-техникума им. Ю. А. Гагарина (Вильяндский район, Эстонская ССР). Обработку почвы проводили 6, 9 и 30 июля, 4 и 10 октября 1984 г.

II. Полевой опыт на культурном лугу (почва бурая лессивированная) вышеназванного совхоз-техникума. В 1980—1982 гг. удобряли опытное поле ЖФСН в дозе примерно 380 т/га суммарно. В 1983 г. поле было разделено на контрольный участок и на орошаемый ЖФСН участок (1983—1984 гг.). Микробиологические, биохимические и агрохимические анализы проводили 4 раза: 30 мая, 27 июня, 19 сентября и 17 октября 1984 г. В настоящей статье приводятся средние данные этих анализов.

Почвенные образцы для анализов брали с глубины 2—10 см. В свежих образцах определяли численность основных групп почвенных микроорганизмов, содержание минерального азота и реакцию почвы (pH_{KCl}). Ферментативную активность почвы измеряли в воздушно-сухих образцах спустя примерно месяц после их взятия. Использовали применяемые в нашей лаборатории методы исследования. Их подробная характеристика представлена в статье Л. Мурдам и др. (1983).

Численность микроорганизмов выражали в клетках на 1 г абсолютно сухой почвы, содержание азота — в миллиграммах на 100 г абсолютно сухой почвы, нитратредуктазную активность — в миллиграммах нитратного азота (восстановленного за 24 ч при температуре 30 °С) на 100 г абсолютно сухой почвы; нитритредуктазную активность (в тех же условиях) — в миллиграммах нитратного азота. Уреазную активность почвы определяли несслеризацией высвобожденного из мочевины аммония колориметрически и выражали в миллиграммах аммонийного азота на 100 г абсолютно сухой почвы в течение 24 ч при 37 °С. Каталазную активность почвы определяли газометрически и выражали в миллилитрах кислорода, выделенного за 3 мин, на 5 г почвы.

Результаты и обсуждение

Полученные данные показывают, что разбавленный свиной навоз и ЖФСН, возникший в сооружениях искусственной биологической очистки, по биологическим и агрохимическим показателям различаются (табл. 1). Численность аммонифицирующих бактерий в ЖФСН по сравнению с неочищенным навозом была ниже в 2,3 раза, нитрифицирующих — в 5,8, денитрифицирующих — в 21,7 и аэробных целлюлозоразлагающих бактерий — в 23,3 раза. Актиномицеты и водоросли обнаружены только в ЖФСН. Содержание нитратного азота в ЖФСН было в 1,9 раза и аммонийного азота в 3,8 раза ниже, чем в свином навозе.

Таблица 1

Численность микроорганизмов и содержание азота в свином навозе и ЖФСН

Показатели	Свиной навоз	Жидкая фракция навоза
Бактерии (клеток/1 мл)		
аммонифицирующие (10^6)	23,40	10,20
нитрифицирующие (10^4)	7,00	1,20
денитрифицирующие (10^6)	13,00	0,60
аэробные целлюлозоразлагающие (10^4)	0,70	0,03
Азотобактер	0	0
Актиномицеты (10^6)	0	0,75
Грибы (10^4)	0,35	0,25
Водоросли (10^4)	0	1100,00
Азот (мг/100 мл)		
нитратный	26,75	14,50
ионообменный	78,54	20,44
pH	7,49	8,14

Образовавшийся раствор является сильно загрязненной водой, где уже выработались процессы биологической детоксикации. Об этом свидетельствует пониженное содержание азота, подавленная нитрификация и денитрификация и связывание оставшегося азота с биомассой

интенсивно размножающихся водорослей. Так как автотрофные водоросли при использовании азота навоза фиксируют углекислый газ, то происходит процесс новообразования органического вещества, т. е. процесс обратный предыдущей очистке навоза. Однако органическое вещество навоза постепенно заменяется органическим веществом биомассы водорослей.

После двукратного внесения ЖФСН в рихтовую рендзину отмечено кратковременное увеличение в ней численности зеленых водорослей и в какой-то мере — диатомовых (табл. 2). Численность синезеленых водорослей снижалась, видимо, из-за разрастания зеленых. Однако спустя примерно месяц после обработки почвы ЖФСН, количество зеленых и диатомовых водорослей в почве снизилось по сравнению с контролем. Последние анализы флористического состава водорослей были проведены в октябре через несколько дней после обработки почвы. Обнаружилось, что реакция почвенных водорослей на орошение ЖФСН со временем ослабляется. Численность зеленых водорослей возрастала так же, как и в начале опытов, но намного слабее, число синезеленых водорослей почти не изменялось, а диатомовых — снижалось. Процессы превращения компонентов ЖФСН при помощи водорослей протекают в почве слабее, чем в биопрудах с очистительными сооружениями (табл. 1, 2). Из этого можно заключить, что ЖФСН оказывает отрицательное влияние на развитие диатомовых водорослей.

Таблица 2

Численность водорослей (в тысячах клетках / 1 г абс. сух. почвы) в рихтовой рендзине, обработанной ЖФСН в дозе 5×80 т/га

Дата анализа	Синезеленые		Зеленые		Диатомовые	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
11. 07 84	6,0	2,0	29,0	320,0	1,9	8,0
29. 08 84	14,0	19,0	81,0	67,0	34,0	6,7
9. 10 84	1,7	1,4	11,0	19,0	41,0	35,0
15. 10 84	3,5	6,9	21,0	35,0	59,0	43,0

При внесении в почву ЖФСН, сапрофитная микрофлора почвы в какой-то мере вступает в конфликт с микрофлорой вносимого навоза. Несмотря на довольно высокую численность аммонифицирующих бактерий ($10,2 \cdot 10^6$ клеток/мл) внесение ЖФСН обусловило почти десятикратное снижение числа этих бактерий (табл. 3). Снижалась также численность грибов. Численность нитрифицирующих бактерий в опытной и контрольной почвах относительно мало различалась (примерно на один порядок). Этих различий оказалось достаточно для полной нитрификации аммонийного азота ЖФСН. Поскольку в ЖФСН содержится довольно много аммонийного азота, его содержание в обработанной почве сперва повышалось, позже, несмотря на многократную обработку почвы оставалось на уровне контроля, или понижалось (табл. 4). Это указывает на образование в почве микробиоценоза, который способен быстро трансформировать компоненты ЖФСН и частично нитрифицировать почвенный азот. Содержание ионообменного аммония было ниже, чем в контроле спустя месяц после внесения ЖФСН.

Несмотря на то, что численность денитрифицирующих бактерий в опытных почвах на два порядка превышала таковую в контроле, нитрат-редуктазная активность почвы была ниже контроля начиная с августа.

Влияние орошения ЖФСН на численность почвенных микроорганизмов

Почва	Дата	Варианты опытов	Микроорганизмы, клеток/ г абс. сух. почвы							
			Бактерии					Актиномицеты (10 ⁶)	Грибы (10 ⁸)	Водоросли (10 ⁴)
			Аммонифицирующие (10 ⁶)	Нитрифицирующие (10 ²)	Денитрифицирующие (10 ⁶)	Аэробные целлюлозоразлагающие (10 ⁶)	Азобактер			
Рихковая рендзина (до обработки)	05. 07. 84		14	938	9	94	71	9	7	8
без растений	11. 07. 84	Контроль	18	91	следы	3	87	19	14	2
		Опыт	2	1716	330	79	100	23	14	33
	29. 08. 84	Контроль	10	7	следы	3	49	27	23	337
		Опыт	5	8	798	8	97	20	13	330
	09. 10. 84	Контроль	10	95	34	7	108	20	22	340
		Опыт	11	82	1760	8	99	26	18	340
	15. 10. 84	Контроль	7	18	10	3	82	20	22	97
		Опыт	8	179	34000	96	147	31	26	97
Среднее		Контроль	12	229	11	22	79	19	18	157
		Опыт	8	585	7379	57	103	22	16	162
Повторный опыт	05 06. 85	Контроль	14	320	3	6	90	17	19	32
		Опыт	24	920	1	8	233	26	21	92
Бурая лессивированная культурного луга	Среднее 4-х аналогов	Контроль	11	31462	30793	76	следы	20	11	254
		Опыт	12	58388	4413	4385	следы	20	12	147

В двух последних анализах стала снижаться также нитритредуктазная активность почвы. Так как денитрифицирующая активность обработанной ЖФСН почвы была несколько подавлена, а образование нитратов в процессе нитрификации повысилось, содержание нитратного азота в опыте превышало его содержание в контроле (табл. 4).

Хотя в ЖФСН содержится относительно мало органического вещества, в обработанной почве отмечалось довольно заметное увеличение численности аэробных целлюлозоразлагающих бактерий. Это свидетельствует о том, что наряду с интенсификацией процессов, элиминирующих азот из рихковой рендзины, разложение органического вещества почвы усилилось. Это, видимо, обусловлено тем, что денитрифицирующие бактерии, нуждающиеся в энергии, при восстановлении нитратов начинают разрушать сложное органическое вещество почвы. Следовательно, в условиях использования больших количеств ЖФСН необходимо обеспечить достаточное прибавление в почву органического материала (что частично содержится и в нефракционированном свином навозе).

Орошение ЖФСН по-разному влияет на жизненные процессы рихковой рендзины, содержащейся без растений, и бурой лессивированной почвы культурного луга (табл. 3, 4). Так, например, под влиянием ЖФСН численность аммонифицирующих бактерий и грибов, а также

Влияние орошения ЖФСН на содержание минерального азота и ферментативную активность почвы

Почва	Дата	Варианты опытов	Азот, мг/100 г абс. сух. почвы		Ферментативная активность почвы*				рН почвы
			Нитратный	Ионообменный аммоний	Нитратредуктазная	Нитритредуктазная	Уреазная	Каталазная	
Риховая рендзина	05.07.84 (до обработки)		1,00	3,57	92	12	71	10,6	6,51
		Контроль	1,47	3,10	55	12	101	11,7	6,62
	11.07.84	Опыт	7,74	4,99	59	16	146	10,6	6,49
		Контроль	1,19	3,22	59	13	115	11,9	6,92
	29.08.84	Опыт	2,43	2,61	54	14	144	11,8	6,53
		Контроль	1,48	6,86	61	11	139	11,9	6,76
	09.10.84	Опыт	3,54	3,24	58	10	204	11,3	6,62
		Контроль	1,07	2,51	74	13	91	12,5	6,26
	15.10.84	Опыт	2,62	3,48	69	13	113	11,2	6,57
		Контроль	1,24	3,85	68	12	103	11,7	6,57
Среднее	Опыт	3,47	3,58	66	13	136	11,1	6,54	
	Контроль	1,69	2,71	72	17	164	10,3	6,50	
Бурая лес-Среднее сивирован-4-х ана-турного луга	Контроль	1,69	2,71	72	17	164	10,3	6,50	
	Опыт	2,58	5,54	74	16	123	8,60	6,09	

* Нитратредуктазная активность, $\text{NO}_3\text{—N}$ мг/100 г абс. сух. почвы; нитритредуктазная активность, $\text{NO}_2\text{—N}$ мг/100 г абс. сух. почвы; уреазная активность, $\text{NH}_4\text{—N}$ мг/100 г абс. сух. почвы; каталазная активность, мл $\text{O}_2/5$ г абс. сух. почвы.

нитратредуктазная и нитритредуктазная активность первой снижается, а второй — повышается. Численность водорослей в почве без растений несколько увеличивалась, а в почве культурного луга уменьшалась. Содержание аммония, наоборот, в почве без растений ниже, а в почве под многолетними травами выше. рН почвы снижалась только в пробах культурного луга. По исходному содержанию денитрифицирующих бактерий контрольные почвы сильно различались. Средняя численность этих бактерий в контрольном варианте риховой рендзины была 10^8 , а бурой лессированной почвы 10^{11} . В результате обработки риховой рендзины ЖФСН число денитрифицирующих бактерий повысилось на два порядка, а в бурой лессированной почве культурного луга понизилось на один порядок. В среднем денитрифицирующих бактерий в опытных вариантах обеих почв было 10^{10} .

Общим для двух серий опытов можно считать увеличение численности нитрифицирующих и аэробных целлюлозоразлагающих бактерий, повышение содержания нитратного азота и тенденцию к снижению каталазной активности почвы.

Неодинаковая реакция показателей при орошении ЖФСН может быть связана различными свойствами двух почв. Кроме того, микрофлора риховой рендзины контактировалась с компонентами навоза впервые, в то время как микрофлора бурой лессированной почвы уже адаптировалась к такой обработке. Приведенные данные показывают, что используемая ЖФСН не имеет однозначного влияния на биологические и агрохимические свойства почв, различных по генезису и пре-

дыдущему сельскохозяйственному использованию. Характер влияния ЖФСН зависит от локальных условий обрабатываемых почв.

В итоге можно сказать, что обработка почвы ЖФСН, несмотря на ее довольно высокое содержание азота, не приводит к повышению уровня аммонийного азота ни в почве без растений, ни в почве культурного луга. Накопление нитратов в почве свидетельствует о том, что скорость денитрификации нитратов отстает от скорости нитрификации аммония. Азот ЖФСН связывается в клеточном материале бактерий, выщелачивается в нижележащие горизонты или денитрифицируется образованием газовых соединений азота. По данным некоторых авторов (Bremner, Blackmer, 1978; Seiler, Conrad, 1981), газовые соединения азота могут улетучиваться также в процессе нитрификации. Несмотря на то, что элиминирование из почвы азота может быть дублировано в процессах нитрификации-денитрификации, содержание нитратного азота в обработанной ЖФСН почве всегда превышает его уровень в контрольной почве. Стабильное повышение содержания нитратного азота приводит к загрязнению сельскохозяйственной продукции и питьевой воды. Кроме того, в условиях избытка нитратного азота и недостатка энергетического материала доля закиси азота в составе газовых продуктов денитрификации увеличивается (Firestone и др., 1980), что повреждает озоновый экран атмосферы.

Некоторый отрицательный эффект ЖФСН на агрохимические свойства почвы может быть связан с тем, что более ценная часть жидкого навоза — органическое вещество — при прохождении через сепарирующий биофильтр остается в твердой фракции. Органическое вещество является не только структуро-образователем почвы, резервом или складом питательных веществ для растений и микроорганизмов, но и источником энергии (топливом) для микробиологических процессов.

ЛИТЕРАТУРА

- Архипченко И. А. Микробиологическая утилизация отходов животноводческих комплексов // Экология, геохимическая деятельность микроорганизмов и охрана окружающей среды. Тез. VII съезда Всесоюз. микробиол. общ. Ч. 6. Алмата, 1985, 14.
- Бойко З. И., Бойко В. И. Действие сточных вод свинооткормочного комплекса на свойства южного чернозема // Химия в с. х., 1984, 22, № 12, 15—18.
- Медведев В. В., Коваленко Е. А. Зміна агрофізичних властивостей ґрунтів при полив освітленим рідким гноем із свинарських ферм // Аґрохімія ґрунтознавство. Респ. міжвід. темат. наук. зб., 1977, 34, 65—72.
- Мурдам Л., Рыис О., Сирп Л., Аксель М., Лийв Я., Арумяэ Т., Вардьяс Н. Влияние возрастающих доз азотных удобрений на биологические свойства луговой почвы // Изв. АН ЭССР. Биол., 1983, 32, № 1, 60—68.
- Apfelthaler, R., Bönschová-Franklová, S., Pokorná-Kozová, J. Effect of storage of pig manure on the activity of soil microflora // Folia microbiol., 1977, 22, 6.
- Bremner, J. M., Blackmer, A. M. Nitrous oxide: emission from soils during nitrification of fertilizer nitrogen // Science, 1978, 199, N 4326, 295—296.
- Ciafardini, G., Barbieri, C. An ecological study of pig slurry purification by the lagoon system: physical and chemical aspects // Agrochimica, 1982, 26, N 2—3, 233—245.
- Firestone, M. K., Firestone, R. B., Tiedje, J. M. Nitrous oxide from soil denitrification: Factors controlling its biological production // Science, 1980, 208, N 4445, 749—751.
- Seiler, W., Conrad, R. Mikrobielle Bildung von N₂O (Distickstoffoxid) aus Mineräldüngern — ein Umwelt-Problem? // Forum Mikrobiol., 1981, 4, N 6, 322—328.

Институт экспериментальной биологии
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
22/VII 1988

MIKROBIOLOOGILISED PROTSESSID SEASÕNNIKU VEDELFRAKTSIOONIGA TÕDELDUD MULLAS

Uuriti kunstliku biopuhastuse läbinud seasõnniku vedelfraktsiooni mõju rähkse rendsiina (mudelkatse, 5×80 t/ha) ja lessiveerunud pruunmulla (põldkatse, kunstlikult niisutatav) bioloogiliste omaduste dünaamikale vegetatsiooniperioodil. Määrati: 1) ammonifitseerivate, nitrifitseerivate, denitrifitseerivate ja aeroobsete tselluloosi lagundavate bakterite, asotobakterite, aktinomütsetide, mullaseente ja -vetikate arvukus ning nende floristiline koosseis, 2) nitraatide ja kaaliumkloriidiga ekstraheeritava ammooniumlämmastiku sisaldus ja 3) mulla nitraatreduktaasne, nitritreduktaasne, ureaasne ja katalaasne aktiivsus.

Rähkse rendsiina mikrofloora esmane kontakt seasõnniku vedelfraktsiooni komponentidega suurendab tugevasti nitrifitseerivate bakterite hulka. Korduval väetamisel kujuneb mikroorganismide kooslus, mis on võimeline väetise lämmastiku kiireks transformeerimiseks. Seasõnniku vedelfraktsioon intensiivistab nitrifikatsiooniprotsessi ja mõningal määral inhibeerib mulla nitraatreduktaaset ja nitritreduktaaset aktiivsust. Ammooniumi oksüdeerimine nitrifikatsiooniprotsessis on kiirem kui nitraatide taandamine. See põhjustab nitraatide akumulereumise ja ilmneb tendents kaaliumkloriidiga ekstraheeritava ammooniumlämmastiku sisalduse langusele. Seasõnniku vedelfraktsiooni negatiivset toimet denitrifikatsiooniprotsessile seostatakse orgaanilise aine kui energeetilise materjali puudumisega. Samuti võib nitrifikatsiooniprotsessi väljalibisemine loodusliku kontrolli alt olla seotud mõningat liiki orgaaniliste ühendite (looduslike nitrifikatsiooni inhibiitorite) puudumisega. Seasõnniku vedelfraktsiooni lämmastik eemaldatakse mullast nitrifikatsiooni- ja denitrifikatsiooniprotsesside kaudu. See leostub või seotakse mikroobse biomassis ja säilib mullas pikemat aega. Taimedeta rähkse rendsiina ja rohumaal oleva lessiveerunud pruunmulla ühesugune reageering seasõnniku vedelfraktsiooniga töötlusele avaldus selles, et tõusis nitrifitseerivate ja aeroobsete tselluloosi lagundavate bakterite aktiivsus ning akumulereusid nitraadid.

MICROBIOLOGICAL PROCESSES IN SOIL FERTILIZED WITH LIQUID FRACTION OF PIG MANURE

During the period of plant vegetation the influence of liquid fraction of pig manure (undergone artificial biological purification) on the dynamics of biological qualities of humus horizon of pebble rendzina (model experiments, 5×80 m³ per hectare) and on the brown lessive soil of grassland (field experiments, periodically artificially irrigated) was analysed. The number of ammonifying, nitrifying, denitrifying and aerobic cellulose-decomposing bacteria, azotobacter, actinomycetes, soil fungi, algae and their floristic composition (blue-green, green and diatoms), the content of nitrate and KCl-extractable ammonium and soil nitratoreductase, nitritoreductase, urease and catalase activities were studied.

The first contact of the pebble rendzina microflora with the ingredients of liquid fraction of pig manure greatly increased the number of nitrifying and denitrifying bacteria. When applied repeatedly, a microbial association appears, capable of rapid transformation of the nitrogen of fertilizers. The application of liquid fraction of pig manure activates the process of nitrification and partly inhibits the nitratoreductase and nitritoreductase activities of soil. The oxidation of ammonium in the process of nitrification is more rapid than the reduction of nitrates. It causes the accumulation of nitrates and lowers KCl-extractable ammonium in soil. The negative effect of liquid fraction of pig manure on the denitrification is connected with the shortage of power stuff in the form of organic matter. Also the shifting of nitrification out of the mechanisms of natural control may be due to the shortage of some kind of organic molecules in the role of biological inhibitors of nitrification. The nitrogen of liquid fraction of pig manure is removed from the soil due to nitrification and denitrification, leaching, or it is immobilized into microbial biomass and remains in soil for a rather long time. Common in the reaction of plantfree pebble rendzina and brown lessive grassland soil to the application of liquid fraction of pig manure were the rise of the activities of the nitrifying and aerobic cellulose-decomposing bacteria and the accumulation of nitrates.