

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ СИМАЗИНА В ПОЧВЕ

Л. Г. МАЙОРОВА, Е. Н. МАКСИМОВА, В. Т. ЕМЦЕВ

(Кафедра микробиологии)

Симазин относится к триазинам, которые по своему значению и объему применения занимают одно из первых мест среди гербицидов. Триазины в основном не оказывают вредного действия на человека, животных и микроорганизмы, однако их остатки, довольно долго сохраняющиеся в почве, могут причинять существенный вред последующим культурам. Эти соединения могут сохранять свою активность от 2 до 18 мес в зависимости от используемых количеств, типа почвы, климатических особенностей [6].

Передвижение, скорость инактивации и доступность симазина растениям во многом зависят от его адсорбции в почве, в которой принимают участие как органическая, так и минеральная части последней, но основная роль принадлежит органическому веществу [1]. Большой адсорбционной способностью обладают гуминовые кислоты, лигнин, крахмал, хитин, целлюлоза [7], солома [2], зеленые удобрения [8]. На адсорбцию также сильно влияют внешние факторы: рН среды, влажность, температура [8—10].

Изменение содержания симазина в почве может также происходить в результате его разложения (детоксикации). В литературе указываются на два основных пути детоксикации — химический и микробиологический.

Результаты исследований ряда авторов свидетельствуют о большой роли микроорганизмов в разложении триазинов [11, 12]. Доля участия химических и микробиологических процессов в детоксикации триазинов зависит от условий среды. При высоких температурах и низких значениях рН (ниже 5,5) доминирующим фактором инактивации является химический гидролиз. При нейтральной кислотности возрастает роль бактериального разложения. В литературе отмечается ведущая роль грибов в разложении триазинов [1, 11].

По данным сотрудников нашей кафедры, в элективных условиях, где единственным источником С и N служит симазин, развиваются микроорганизмы автохтонной группы: *Arthrobacter*, *Nocardia*, *Micromonospora*, *Bacteroides*.

Для уменьшения длительности сохранения триазинов в почве используются активированный уголь, целлюлоза, лигнин, полисульфиды [3], однако их применение связано с большими затратами. Ускорить исчезновение триазинов в почвенном растворе можно с помощью искусственного полива, а также путем перепахивания почвы [4]. Но наиболее действенным способом, позволяющим избавить почву от остаточных ко-

личеств триазинов, является использование органических удобрений. Их внесение стимулирует кометаболическое разрушение триазинов микроорганизмами при введении дополнительных субстратов. Стимуляторами могут быть различные органические соединения (подстилочный и жидкий навоз, солома, свежие растительные остатки, компосты и т. д.). Так как подстилочный и жидкий навоз наиболее доступен и часто применим в практике, то целесообразность его использования в качестве стимулятора биоразложения симазина в почве очевидна.

В задачу наших исследований входила первичная оценка токсического эффекта симазина по отношению к различным группам почвенных микроорганизмов и установление оптимальных доз навоза, способствующих интенсивному разложению симазина в почве.

Материал и методы исследований

В лабораторном опыте использовалась дерново-подзолистая среднесуглинистая почва с pH_{KCl} 5,7, в которую вносили NPK из расчета 150 кг д. в. на 1 га, известь — по $\frac{2}{3}$ гидролитической кислотности. Доза симазина — 4 кг/га д. в. (1,3 мг/кг). Содержание сухого вещества в жидком навозе — 3%, в подстилочном — 25%.

Схема опыта следующая: 1-й вариант — NPK; 2-й — NPK + симазин; 3-й и 4-й — то же, что во 2-м варианте + соответственно 100 и 300 т подстилочного навоза на 1 га; 5-й и 6-й варианты — то же, что во 2-м варианте + соответственно 100 и 300 т жидкого навоза на 1 га.

Почву смешивали с удобрениями, органическими добавками, вносили препарат и увлажняли до 60% ПВ. Затем набивали ею 5-килограммовые сосуды и высевали семена кукурузы. В каждом сосуде выращивали по 3 растения. Кукурузу убирали в стадии молочной спелости початка. Микробиологические анализы проводили через 3, 25, 90 сут. после посева. Для изучения активной микрофлоры почвы с внесенными симазинном и органическими добавками был применен метод стекол обрастания Холодного в модификации Рыбалкиной и Кононенко, однако вместо КАА среды на стекла наносили минеральную среду Виноградского с добавлением симазина. Состав минеральной среды: KNO_3 — 2,5 г, K_2HPO_4 — 1, $MgSO_4$ — 0,5, $NaCl$ — 0,5, $FeSO_4$ — 0,01, $Mg_2(SO_4)_3$ — 0,01, агар — 5 г, дистиллированная вода — 200 мл. На каждое стекло наносили по 25 мг пестицида.

Таблица 1

Численность микроорганизмов, использующих минеральный и органический азот (тыс. на 1 г абсолютно сухой почвы), при внесении симазина и навоза. Лабораторный опыт

Вариант опыта	МПА		КАА	
	общее количество	спорные	общее количество	активно-мицеты
Через 3 сут после внесения				
1	5 014	380	5 300	350
2	2 250	1113	3 727	180
3	12 054	920	18 250	820
4	18 360	850	10 880	700
5	15 250	2088	20 000	650
6	18 070	2516	16 814	414
Через 25 сут				
1	3 080	400	4 972	1012
2	3 059	1034	3 000	1163
3	8 104	520	10 486	2412
4	9 643	850	13 972	2460
5	9 300	3000	9 720	2070
6	13 000	4850	10 100	2828
Через 90 сут				
1	4 649	850	2 920	400
2	5 253	1250	3 900	320
3	18 720	1100	6 524	600
4	37 440	1800	14 200	653
5	26 015	2300	9 720	790
6	42 400	4540	28 514	900

Результаты и их обсуждение

Результаты микробиологических анализов, проведенных в лабораторном опыте, показали (табл. 1), что симазин значительно снижал численность микроорганизмов, использующих минеральный и органический азот, при этом возрастала доля спорных микроорганизмов, что говорит об их большей устойчивости к действию симазина. Незначительный ингибирующий эффект снимался через 25 сут.

При внесении навоза обсеменность почвы микроорганизмами повышалась. В вариантах с жидким и подстилочным навозом в дозе 100 т/га численность микроорганизмов увеличивалась, в варианте с 300 т/га через 3 сут их численность не была выше, чем при внесении 100 т навоза на 1 га, что связано, по-видимому, с высокой концентрацией аммиака в нем. В дальнейшем (через 90 сут) численность микроорганизмов при внесении 300 т навоза на 1 га резко возрастала.

Симазин не снижал общего количества микроорганизмов, растущих на НА (табл. 2).

Применение навоза способствовало повышению численности группы автохтонной микрофлоры. Количество микроорганизмов увеличивалось главным образом за счет *Arthrobacter*, *Micromonospora* и *Nocardia*.

Изучение активной микрофлоры на стеклах показало, что через 25 сут обрастание их микроорганизмами было крайне редко.

Через 40—90 сут вокруг частиц симазина появились более многочисленные кокки и мелкие плохо окрашенные палочки. Во всех вариантах с навозом численность клеток микроорганизмов значительно превышала их количество в вариантах без органики. Качественный состав микроорганизмов оставался прежним — мелкие палочки и кокки, характерные для почвы спороносные формы и крупные неспорные палочки отсутствовали. Это подтверждает участие особой группы микроорганизмов в разложении симазина. Вероятно, на стеклах обработки мы наблюдали очень мелкие споры *Micromonospora*, а также мелкие кокки и палочки *Nocardia*. Наличие в почве дополнительного источника азота в вариантах с навозом способствовало развитию этих микроорганизмов.

Симазин оказался токсичен для протозоа. В вариантах с препаратом простейшие не обнаруживались, в то время как в контроле (без симазина) появлялись многочисленные цисты простейших. Добавление навоза снимало токсический эффект на протозоа.

Наиболее важным и объективным показателем активности процессов разложения симазина является содержание остаточного его количества в почве. Наименьшее количество симазина в почве было при внесении

Численность микроорганизмов, растущих на НА (тыс. на 1 га абсолютно сухой почвы), при внесении симазина и навоза. Лабораторный опыт

Вариант	Общее количество	Mycobacterium	Arthrobacter	Nocardia	Micromonospora
Через 25 сут после внесения					
1	2841	1417	358	48	—
2	4683	2014	602	44	21
3	4381	1557	952	149	63
4	6963	2418	1759	367	74
5	5462	2292	982	219	69
6	6423	1900	2119	269	40
Через 90 сут					
1	3780	1041	214	30	14
2	4013	2165	838	45	35
3	4694	1594	687	250	150
4	8539	1435	1101	385	80
5	6030	1017	2800	200	106
6	7325	1700	2119	663	93

подстилочного и бесподстилочного навоза в дозе 100 т/га — соответственно 0,01 и 0,02 мг д. в. на 1 га, во 2-м варианте его содержалось 0,2, в 6-м — 0,1 мг д. в. на 1 га.

Наибольший урожай кукурузы также получен в вариантах с жидким и подстилочным навозом в дозе 100 т/га (табл. 3).

Таким образом, данные лабораторного опыта подтвердили результаты исследований, проведенных ранее на кафедре микробиологии Тимирязевской академии, согласно которым группа автохтонных микроорганизмов участвует в деградации симазина. Навоз как источник дополнительного субстрата создает благоприятные условия для развития автохтонной микрофлоры: Arthrobacter, Nocardia и Micromonospora.

В полевом опыте численность микроорганизмов, использующих минеральный азот, в день заправки органических удобрений на участках с навозом была выше, чем в контроле, что связано с большой обсемененностью микроорганизмами жидкого навоза (табл. 4). Этого не наблюдалось на МПА.

Через месяц после внесения навоза, особенно в норме 300 т/га, резко возросла численность микроорганизмов, растущих на МПА. Количество микроорганизмов на КАА

значительно увеличилось лишь в варианте с 300 т навоза на 1 га, в других вариантах число их не изменилось по сравнению с исходным.

Общее исходное количество микроорганизмов, растущих на НА, мало возрастало при повышении дозы навоза.

Более интересные данные получены при сравнении численности микроорганизмов в почве через 1 мес после внесения навоза и

Т а б л и ц а 4

Численность микроорганизмов, использующих минеральный и органический азот (тыс. в 1 г абсолютно сухой почвы) при внесении симазина и жидкого навоза. Полевой опыт

Вариант	МПА	КАА	
		общее количество	активно-мицеты
Исходное содержание			
НРК+симазин	2 046	885	109
То же+навоз, 75 т/га	2 338	2 900	666
То же+навоз, 150 т/га	5 431	4 716	1781
То же+навоз, 300 т/га	1 778	3 192	784
Через 1 мес после внесения			
НРК+симазин	1 384	2 278	307
То же+навоз, 75 т/га	16 128	2 022	768
То же+навоз, 150 т/га	17 992	7 440	750
То же+навоз, 300 т/га	76 800	41 986	253

Т а б л и ц а 3

Сухая и сырая масса кукурузы (г) при внесении симазина и навоза. Лабораторный опыт

Вариант	Сырая масса	Сухая масса
1	238,09	52,80
2	222,89	42,28
3	281,12	62,04
4	275,20	47,01
5	324,59	67,70
6	278,12	55,25

Численность микроорганизмов, растущих на НА (тыс. в 1 г абсолютно сухой почвы), при внесении симазина и жидкого навоза. Полевой опыт

Вариант	Общее количество	Mycobacterium	Arthrobacter	Nocardia	Micromonospora
Исходное содержание					
НРК+симазин (фон)	1208	470	630	46	31
Фон+навоз, 75 т/га	1826	502	843	30	40
Фон+навоз, 150 т/га	5484	1049	1326	128	178
Фон+навоз, 300 т/га	4005	930	1538	24	39
Через 1 мес после внесения					
НРК+симазин (фон)	1588	824	191	104	34
Фон+навоз, 75 т/га	6475	2247	980	451	87
Фон+навоз, 150 т/га	4610	2673	312	405	434
Фон+навоз, 300 т/га	4782	3007	503	165	434

на 1 га возросло. Особенно заметно увеличилось количество микромонопор. В противоположность этому численность Arthrobacter в указанных вариантах снизилась в 3—4 раза.

Уменьшение численности Arthrobacter через 1 мес в полевых опытах не противоречит возрастанию численности этой группы через 3 мес в лабораторном опыте, так как развитие этих микроорганизмов может начаться в более поздние сроки, чем у Nocardia и Micromonospora, за счет использования менее доступных продуктов деградации симазина.

Остаточное количество симазина в исходных почвенных образцах контрольного варианта было в 2 и более раза выше, чем в почве с навозом, что говорит о большой адсорбционной способности последнего как органического удобрения. Увеличение содержания симазина в почве в конце опыта связано, по-видимому, с его десорбцией вследствие повышения влажности почвы во время взятия образцов.

мечена в варианте с 300 т навоза на 1 га, следовательно, в почве этого варианта условия для разложения препарата были наиболее благоприятные.

Таким образом, в полевом опыте подтвердились выводы, полученные в лаборатории, о стимулирующем действии навоза на скорость деградации симазина. Расхождения в оптимальных нормах связаны со спецификой и длительностью лабораторных и полевых исследований. Повышенная концентрация аммиака при внесении 300 т навоза на 1 га в условиях лабораторного опыта оказалась, по-видимому, лимитирующим фактором. Напротив, в поле, вероятно, аммиак быстро вымывается и улетучивается, что приводит к интенсификации жизнедеятельности специфической микрофлоры и разложению симазина.

Выводы

1. Симазин вызывал незначительное снижение численности почвенных микроорганизмов, использующих минеральный и органический азот. Слабый ингибирующий эффект снимался через 25 сут. При этом симазин не унетал развитие автохтонной группы микроорганизмов.

2. Применение жидкого навоза стимулировало развитие микроорганизмов, использующих минеральный и органический азот. В то же время навоз, не увеличивая общего количества микроорганизмов автохтонной группы, вызывал изменения в видовом составе: возрастала численность Arthrobacter, Nocardia, Micromonospora, т. е. тех групп микроорганизмов, которые принимают участие в деградации симазина.

3. В полевых условиях оптимальной нормой жидкого навоза, при которой симазин быстро разлагается, является 300 т/га.

ЛИТЕРАТУРА

1. Круглов Ю. В., Масленникова В. Г. Разложение и распределение ¹⁴C симазина в почве. — Агрохимия, 1975, № 6, с. 112—115. — 2. Круглов Ю. В., Масленникова В. Г. Влияние расти-

Т а б л и ц а 6

Содержание симазина в почве (мг д. в. на 1 кг почвы) при внесении жидкого навоза. Полевой опыт

Вариант	Исходное содержание	Через 1 мес после внесения
НРК+симазин	0,20	0,20
То же+навоз, 75 т/га	0,10	0,15
» » + » 150 т/га	0,10	0,13
» » + » 300 т/га	0,08	Сл.

исходного содержания (табл. 5). И если общее количество микроорганизмов рассматриваемой группы через месяц практически не изменилось по сравнению с исходным в тех же вариантах, то число клеток, относящихся к родам Micromonospora, Nocardia, при внесении 150—300 т навоза

Наименьшая концентрация симазина от-

тельных остатков на детоксикацию симазина в почве. — Химия в сельск. хоз-ве, 1976, № 7, с. 53—55. — 3. Кросби Д., Минг Ю-Ли. Фотохимические реакции разложения гербицидов. — В кн.: Разложение гербицидов (Под ред. П. Керни и Д. Кауфман). М.: Мир, 1971. — 4. Моттис Г. Я. Химическая борьба с сорняками в древесной школе на черноземах. — Лесное хоз-во, 1971, № 8, с. 40—43. — 5. Масленникова В. Г., Круглов Ю. В. Разложение симазина (^{14}C) в культуре *Aspergillus fumigatus*. — Бюл. ВНИИСХ, 1970, № 14, вып. 4, 1970, с. 32—34. — 6. Справочник по пестицидам (Под

ред. Л. И. Медведь. Киев: Урожай, 1974. — 7. Dunigan E. P., McIntosh T. H. — Weed Sci., 1971, vol. 19, N 3, p. 219—282. — 8. Walber A. — Weed Abstracts, 1970, vol. 19, p. 1335. — 9. Lavy T. L. — Soil Sci. Soc. of Amer., 1968, vol. 32, N 3, p. 377—380. — 10. Hurle K. B., Tread V. H. — Weed Res., 1972, vol. 4, p. 119—124. — 11. Kaufman D. D., Blake J. — Soil Biol. Biochem., 1970, vol. 2, p. 73—80. — 12. Hance R. J., Chesters G. — Soil Biol. Biochem., 1969, vol. 1, N 4, p. 309—315.

Статья поступила 7 апреля 1982 г.

Summary

It was shown that the application of simazine causes an inconsiderable decrease in the population of soil microorganisms consuming mineral and organic nitrogen. Slight inhibiting effect is over in 25 days. Simazine does not inhibit the development of autochthonous group of microorganisms.

Application of liquid manure encourages the development of microorganisms consuming mineral and organic nitrogen and causes changes in specific composition of autochthonous group, content of simazine in the soil being reduced. The optimum rate of liquid manure for rapid decomposition of simazine in the soil is 300 tons per hectar.