

УДК 631.872:632.122.2

## О ПРИРОДЕ ПРОДУКТОВ РАЗЛОЖЕНИЯ СОЛОМЫ В ПОЧВЕ, ИНГИБИРУЮЩИХ РОСТ РАСТЕНИЙ

В. Т. ЕМЦЕВ, Л. К. НИЦЭ, М. Х. БРУК, Н. П. ПОКРОВСКИЙ

(Кафедра микробиологии)

При разложении растительных остатков в почве образуются разнообразные соединения, отличающиеся стимулирующими или ингибирующими свойствами. К последним относится, например, дегидроксистеариновая кислота. Это соединение в водном растворе задерживает рост растений, причем корни их темнеют и перестают расти. Однако ингибирующий эффект указанного соединения в почве снижается. Обнаружено также [6], что ванилин и кумарин, окисляясь в почве, разрушаются примерно на 20—50%. Минеральные удобрения не снижают их токсичности, но уменьшают ингибирующее действие дегидроксистеариновой кислоты. Ванилин и салициловый альдегид, внесенные в почву, сохранялись в ней несколько месяцев и присутствовали в почве после уборки урожая [16]. Ванилин в поч-

ве частично разрушается при наличии в ней нитрата натрия.

В соломе при проведении химических анализов были обнаружены салициловая и дегидроксистеариновая кислоты, а также ванилин [5]. В последующем было показано [22], что водный экстракт соломы; а также корней некоторых зернобобовых культур ингибирует развитие растений. Обнаружено, что после жатвы под стерней концентрация ингибирующих веществ выше, чем в почве междурядий. Авторы считают, что фитотоксические вещества являются продуктом разложения остатков зернобобовых культур.

В водном экстракте соломы ячменя, ржи и пшеницы, а также в спиртовом экстракте корней этих же растений присутствуют феруловая, кумаровая, ванилиновая и гидро-

кисбензойная кислоты. Они ингибируют рост ржи и пшеницы в водном растворе в концентрации  $10^{-5}$  г/см<sup>3</sup> [23]. Прилл, Бартон и Солт [13] изучали прорастание пшеницы при наличии в растворе многих органических кислот в концентрации 0,002—6,25 мкмоль. Показано, что некоторые ароматические кислоты уже в концентрации 0,01 мкмоль угнетали развитие растений. В тех же концентрациях бензойная кислота была менее токсичной, чем кумаровая.

Токсичность, обусловленная разложением органических остатков, чаще всего проявляется в плохоаэрируемых и тяжелых почвах [12, 15]. В плохоаэрируемых почвах в результате замедленного разложения органических веществ образуются метан, этилен, уксусная, молочная, муравьиная и другие органические кислоты, фенольные соединения (гидрокоричная, салициловая, кофейная, феруловая,  $\alpha$ -резорциновая, галловая, гентизиновая, сиреневая, ванилиновая, парагидроксibenзойная и бензойная кислоты), разнообразие аминокислоты и др. [8, 24]. Субстратом, способствующим образованию этилена, является почва, обогащенная глюкозой и метионином [9].

Многие из указанных выше соединений были токсичны для растений при их лабораторном испытании. Водный экстракт почвы, в котором находились растительные остатки (ячмень, кукуруза, табак и др.), разложившиеся в условиях, близких к анаэробным, был значительно более токсичен, чем при разложении растительных остатков в почве с низкой влажностью [11]. В тех же опытах при удалении растительных остатков почва не была токсичной.

Опыты показали, что депрессирующее действие на растения внесенной в почву соломы, по-видимому, обусловлено не только иммобилизацией азота, но и образованием при распаде соломы целого ряда промежуточных продуктов, в том числе фенольных соединений. Последние могут быть производными веществ растительного происхождения — флавонов, катехинов, фено-

лов, лигнинов и др. Концентрация этих фенольных соединений иногда достигает такого уровня, при котором наблюдается задержка роста и развития растений [21]. Ванилиновая, бензойная и дегидроксиэтеринаовая кислоты, образуемые при разложении растительных остатков, дают определенный фитотоксический эффект [20].

Использование соломы в качестве органического удобрения обуславливает необходимость выявления способов ликвидации ее ингибирующего действия на растения [2—4]. В связи с этим в задачу наших исследований входило уточнение условий образования и накопления фенольных соединений и этилена в почве при разложении соломы, а также изучение некоторых факторов, ограничивающих ингибирующее действие продуктов ее разложения на растения.

### Методика исследования

Опыты по определению фенольных соединений ставили в лабораторных условиях в стеклянных стаканах на 200 г почвы. Использовалась дерново-подзолистая почва с Лесной опытной дачи Тимирязевской академии. Солому пшеницы и гороха вносили из расчета 1 или 2 %. Влажность почвы 60 или 85 % ПВ. Температура инкубации 15—16 и 28—30°.

Содержание фенольных соединений в почве определяли на газовом хроматографе Хром-4 по методике Куватцук и Шиндо [8]. Разделяли их на колонке ( $l=2$  м,  $d=3$  мм) с хромосорбом W; программирование температуры 100—280° при нагреве 5° в 1 мин; газ-носитель — азот, давление на выходе — 30 мл/мин. Идентификация фенольных соединений была проведена с помощью метчиков и коэффициента улетучивания [14].

В одном из опытов изучалось образование этилена в почве при внесении в нее пшеничной и гороховой соломы из расчета 1 %. Инкубацию проводили в анаэробных

Таблица 1

Образование фенольных соединений в процессе разложения соломы в дерново-подзолистой почве (+ означает, что кислота обнаружена, — не обнаружена)

Кислота	60% ПВ								85% ПВ							
	15—16°				28—30°				15—16°				28—30°			
	время от начала опыта, дни															
	10	20	30	50	10	20	30	50	10	20	30	50	10	20	30	50
Парагидрокси-бензойная	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
Салициловая	+	+	+	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	—	—
Ванилиновая	+	+	+	+	+	+	—	—	—	+	+	+	+	+	—	—
Феруловая	+	+	+	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+
Кофейная	+	+	—	—	—	+	—	—	—	+	+	+	+	+	—	—
Хлорогеновая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	—	—	—	—	—
Протокатеховая	+	+	—	—	+	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+
Кумаровая	+	+	+	+	+	+	+	+	—	+	+	+	+	+	+	+

Изменение содержания фенольных соединений в почве  
(мг на 1 г абсолютно сухой почвы) при внесении в нее 1,0 и 2,0% соломы

Кислота	1,0%			2,0%		
	время от начала опыта, дни					
	10	20	30	10	20	30
Парагидроксибен- зойная	0,140	0,440	0,060	0,270	0,210	0,150
Протокатеховая	0,095	0,020	0	0,116	0,070	0,023
Ванилиновая	0,110	0,085	0,034	0,205	0,124	0,076

Примечание. Компостирование почвы с соломой проводили при влажности почвы 85% ПВ и температуре 20—22°.

условиях при комнатной температуре, влажность почвы 65% ПВ. Этилен определяли на газовом хроматографе Хром-4 [9].



Рис. 1. Образование  $C_2H_4$  при разложении пшеничной (а) и гороховой (б) соломы в почве.

При изучении влияния сроков внесения соломы в почву на рост и урожайность проса использовали сосуды на 5 кг дерно-

во-подзолистой почвы. Минеральные удобрения применяли в тех же количествах и формах, что и в предыдущей работе [1]. Измельченную пшеничную солому в количестве 5 г на 1 кг почвы вносили за 35, 25, 10 и 5 дней до посева проса. Влажность в вегетационных сосудах составляла 60% ПВ.

Влияние размера частиц измельченной пшеничной соломы (0,5; 5 и 10 см) на рост и развитие овса изучали на фоне NPK. Доза соломы та же, что и в предыдущих опытах.

Отдельные модельные опыты были посвящены изучению роли минерального азота в проявлении отрицательного действия соломы на проростки озимой пшеницы. Солому вносили в дерново-подзолистую почву в количестве 1% на сосуд, азот в виде  $NH_4NO_3$  — по 100 и 200 мг д. в. на 1 кг, фосфор и калий в виде  $K_2HPO_4$  — по 100 мг д. в. на 1 кг.

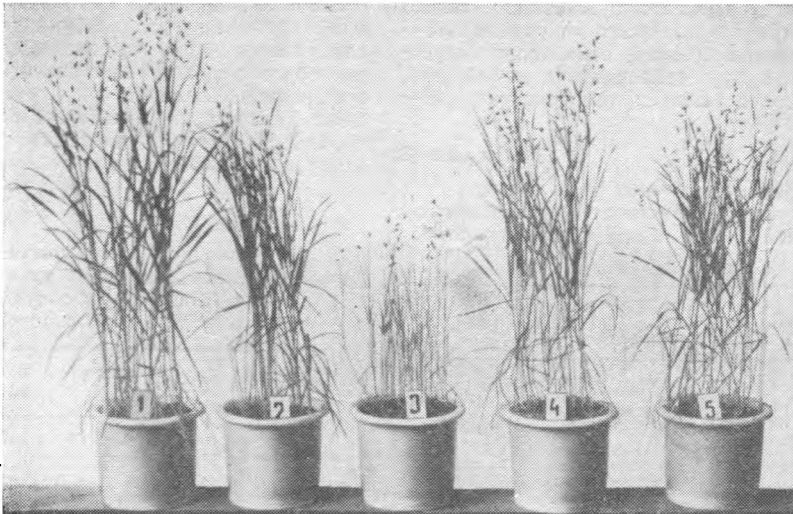


Рис. 2. Влияние соломы на рост и развитие овса при 60% влажности почвы.

1 — NPK; по NPK: 2 и 3 — солома соответственно в дозах 0,5 и 2% в слое 0—20 см; 4 и 5 — солома в тех же дозах в слое 0—6 см.



Рис. 3. Влияние соломы на рост и развитие овса при 85 % влажности почвы. Обозначения те же, что на рис. 2.

### Результаты и их обсуждение

Исследования показали (табл. 1), что такие соединения, как парагидроксibenзойная и кумаровая кислоты, обнаруживаются при всех уровнях влажности и температурах инкубации. По-видимому, эти соединения являются промежуточными продуктами разложения соломы, а возможно, и нативными органическими веществами почвы. Наличие данных соединений в почве во всех вариантах, вероятно, объясняется постоянным их синтезом как в окисленных, так и в восстановленных условиях. Следует отметить, что салициловая кислота при влажности почвы 60 % ПВ обнаруживается только при низких температурах инкубации (15—16°) в течение 30 дней, ванилиновая кислота — при низких температурах до 50 дней, а при более высоких температурах (28—

30°) — только на протяжении 20 дней. То же можно сказать и про феруловую, протокатеховую, кофейную кислоты.

При повышенной влажности почвы (85 % ПВ), когда аэрация затруднена (полуанаэробные или ближе к анаэробным условиям), кофейная, феруловая, протокатеховая кислоты обнаруживаются в более поздние сроки, особенно при низкой температуре инкубации почвы. В таких условиях микробиологическое разложение органических веществ продолжается дольше.

Увеличение количества вносимой в почву соломы приводит к повышению содержания в ней фенольных соединений (табл. 2).

Влияние количества фенольных соединений в почве на рост растений хорошо прослеживается при использовании водных растворов оксibenзойной кислоты в разной концентрации в опыте с кукурузой и горохом. Токсичность оксibenзойной кислоты находится в прямой зависимости от ее концентрации. Лабораторные опыты показали,

Таблица 3

Общая масса овса (г на сосуд; среднее из 3 повторностей) в вариантах с соломой в 1975 г. при влажности почвы 60 и 85 % ПВ

Вариант опыта	60% ПВ	85% ПВ
Фон (РК), без соломы	21,6	17,8
Солома по фону РК в слое 0—20 см:		
0,5%	8,9	10,5
2%	2,9	2,9
Солома по фону РК в слое 0—6 см:		
0,5%	11,5	8,1
2%	11,2	7,3
НСП <sub>05</sub>	1,1	0,82

Таблица 4

Влияние размера частиц измельченной соломы на урожай овса в 1974 г. (г на сосуд, среднее из 3 повторностей)

Вариант опыта	Размер частиц соломы, см		
	0,5	5	10
НПК	9,7	9,7	9,7
Солома по НПК в слое, см:			
0—20	8,5	9,3	9,9
0—6	9,4	10,3	10,9
НСП <sub>05</sub>	0,58	0,62	0,57



Рис. 4. Влияние продолжительности разложения соломы в почве на рост проса.  
 1 — NPK; по NPK солома 0,5% в слое 0—6 см: 2 — за 35 дней; 3 — за 20; 4 — за 10; 5 — за 5 дней до посева.

что первые корешки, попадая в раствор с фенольными соединениями, развиваются нормально, при этом рост растений задерживается. Как известно [10, 12], токсические вещества почвы могут изменять проницаемость клеток растений, в результате чего увеличивается выделение углеводов и других веществ, заметно изменяются также физиологические и биохимические процессы в растениях.

Этилен относится к основным газообразным продуктам разложения органических веществ в почве. Его продуцентами являются некоторые представители грибов и бактерий [7]. Наблюдалась задержка роста корневой злаков под влиянием этилена при плохой аэрации почвы [17—19].

Образование этилена в почве зависит не только от ее водно-воздушного режима, но и от природы растительных остатков (рис. 1). При разложении соломы пшеницы и гороха максимальное накопление этилена наблюдалось соответственно через 15 и 20 дней. Причем при разложении соломы гороха он образуется в большем количестве, что, по-видимому, связано с большим содержанием в ней белков, в результате де-

полимеризации которых появляется метионин — предшественник этилена [9]. Этим, вероятно, можно объяснить отмечаемый исследователями факт большей токсичности для растений разлагающейся соломы бобовых (люцерна) по сравнению с соломой злаковых культур [5].

Таким образом, на начальных этапах разложения соломы в почве могут образовываться различные вещества фенольной природы, а также этилен, токсически влияющие на рост и развитие растений.

Ингибирующее действие соломы на рост растений зависит от глубины ее заделки в почву [3, 4, 5]. Так, наши опыты показали [1], что наиболее слабым оно бывает при внесении соломы в слой 0—6 см, поскольку здесь она быстрее разлагается, а образующиеся токсичные соединения, во-первых, меньше контактируют с корневой системой, разлагающейся обычно в более глубоких слоях, во-вторых, быстрее подвергаются дальнейшим превращениям.

Повышение влажности почвы (до 85 % ПВ) в определенной степени снижало депрессирующее действие соломы на рост растений (табл. 3, рис. 2 и 3). Подобное явление, по-видимому, можно объяснить повышением интенсивности диффузионных

Таблица 5

Урожай проса (г на сосуд, среднее из 3 повторностей) при разных сроках компостирования соломы в 1974 г.

Вариант опыта	Срок внесения соломы в почву (количество дней до посева)			
	5	10	20	35
NPK	17,2	17,2	12,2	17,2
Солома по NPK в слое, см:				
0—20	9,6	10,2	11,3	14,1
0—6	13,1	15,4	16,3	16,4
HCP <sub>05</sub>	1,56	1,01	1,45	0,7

Таблица 6

Длина проростков озимой пшеницы (см, среднее из 60 измерений) при разложении соломы в почве и внесении минерального азота

Вариант опыта	Солома крупная (8—10 см)	Солома мелкая (1 см)
100P100K (контроль)	15,8	15,3
100N100P100K	17,7	17,0
200N100P100K	18,2	17,9

процессов при увеличении влажности почвы, что обуславливает снижение концентрации фитотоксических продуктов разложения соломы в почвенном растворе.

Из табл. 3 и рис. 2 видно, что с увеличением доз соломы по фону РК и НРК ее токсическое воздействие повышается, особенно при внесении в слой 0—20 см.

Размер частиц соломы также имеет определенное значение в проявлении ее ингибирующего действия. При увеличении размера частиц соломы с 0,5 до 5 см отрицательный эффект ее снижается, если размер частиц возрастает до 10 см, солома может даже стимулировать рост и развитие растений (табл. 4). Это, вероятно, связано с разной скоростью разложения соломы. Более крупные частицы разлагаются дольше. В этом случае образование токсичных продуктов распада соломы происходит в такой период развития растений, когда их восприимчивость к ингибирующему влиянию данных веществ оказывается незначительной. Более крупные фрагменты соломы также обуславливают лучшую аэрацию почвы, в результате усиливается аэробный процесс разложения соломы, при котором накопление токсических соединений носит временный характер.

В снижении токсического действия соломы на растения важную роль играют более ранние сроки ее запахивания, при которых минерализация соломы начинается задолго до посева сельскохозяйственных культур. В вегетационном опыте с просом мы наблюдали заметное снижение ингибирующего эффекта соломы на рост (рис. 4) и урожай культуры (табл. 5) с увеличением срока компостирования.

Отрицательный эффект соломы проявляется с момента ее поступления в почву и держался на достаточно высоком уровне в течение 20 дней, и только после 35 дней наблюдалось его снижение.

Проявление ингибирующего действия соломы на растения зависит от наличия в

почве минерального азота. Отрицательный эффект соломы, внесенной в почву с минеральным азотом, был значительно ниже, чем в контроле (табл. 6). При увеличении дозы азота отрицательное действие токсических продуктов уменьшалось. По-видимому, в присутствии азота растения развиваются быстрее и становятся менее восприимчивыми к действию токсических веществ в почве. Токсичность фенольных соединений снижается при более высоком уровне азота в тканях растения.

Проведенные опыты показали, что отрицательное действие вносимой в почву соломы можно уменьшить или даже полностью его избежать, если заделывать солому в верхний слой почвы. Положительного результата можно достигнуть также и посредством повышения влажности почвы, заделывания соломы в почву задолго до посева растений, внесения повышенных доз азота.

## Выводы

1. На начальных этапах процесса разложения соломы в почве могут образовываться различные вещества фенольной природы (парагидроксibenзойная, ванилиновая, феруловая, кумаровая, кофейновая, салициловая и протокатеховая кислоты), а также этилен, оказывающие токсическое действие на рост сельскохозяйственных культур.

2. Образование и накопление токсических веществ в почве находятся в прямой зависимости от количества внесенной свежей соломы.

3. Отрицательное действие соломы на рост и урожайность растений может быть уменьшено при неглубокой заделке соломы в почву, увеличении срока ее компостирования, повышении влажности почвы, а также при укрупнении частиц соломы и внесении азотных удобрений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Емцев В. Т., Ницэ Л. К., Покровский Н. П., Брук М. X. Развитие микрофлоры и урожайность сельскохозяйственных растений при внесении соломы в почву. — Изв. ТСХА, 1980, вып. 2, с. 93—104. — 2. Ерофеев Н. С. Влияние соломы на микробиологические процессы в почве. — Автореф. канд. дис. М., 1964. — 3. Мишустин Е. Н. Использование соломы в качестве удобрения. — Агрохимия, 1971, № 8, с. 49—54. — 4. Мишустин Е. Н., Верниченко Л. Ю., Миллер Ю. М. Влияние соломы на источники азотного питания сельскохозяйственных культур. — Изв. АН СССР. Сер. биол., 1977, № 2, с. 176—185. — 5. Collison R. C., Conn H. Y. — New-York (Geneva) Agr. Exp. Stat. Tech. Bull., 1925, N 114. — 6. Fraps G. S. — Texas Agr. Exp. Stat. Bull., 1913, N 174, p. 1—13. — 7. Hag L., Curtis R. W. — Production of ethylene by fungi. Sci., N. Y., 1968, vol. 159, p. 1357—1358. — 8. Kuwatsuka S., Shindo H. — Soil Sci. Plant Nutr., 1973, vol. 19, p. 219—222. — 9. Lynch I. M., Harper S. H. T. — J. Gen. Microbiol., 1974, vol. 80, p. 185—195. — 10. Linderman R. G., Toussoun T. A. — Phytopathology, 1968, vol. 58, p. 1571—1574. — 11. Patrick Z. A., Toussoun T. A., Koch L. N. — Ann. Rev. Phytopath., 1964, N 2, p. 267—292. — 12. Patrick Z. A., Toussoun T. A. — In: Ecology of Soil Borne Plant Pathogens. Univ. California Press, Berkeley, 1965, p. 440—459. — 13. Prill E. A., Barton L. V., Solt M. L. — Contrib. Boyce Thompson Inst., 1949, N 15, p. 429—435. — 14. Quat Hao N., Metche M. — Bull. Ecol. Nat. Sup. Agric. Ind. Alim., 1974, N 16, p. 77—85. — 15. Skinner J. J. — In: Practical agriculture. J. Franklin Inst., 1918, vol. 186, p. 165—186, 289—316. — 16. Skinner J. J., Wolf C. F. — J. Am. Soc. Agron., 1916, N 8, p. 273—298. — 17. Smith A. M. — Soil Biol. Biochem.,

- 1976, vol. 8, p. 293—298. — 18. Smith K. A., Russel R. S. — Nature. L., 1906, vol. 222, p. 769—771. — 19. Smith K. A., Restall S. W. F. — J. Soil Sci., 1921, vol. 22, p. 430-443. — 20. Toussoun T. A., Patrick Z. A. — Phytopat., 1963, vol. 53, p. 265—270. — 21. Wang T. S. C., Jang T. K., Chuang T. T. — Soil Sci., 1967, vol. 103, p. 239—245. — 22. Winter A. G., Schönbeck F. — Naturwiss., 1953, Bd 40, S. 513—514. — 23. Winter A. G., Schönbeck F. — Naturwiss., 1954, Bd 41, S. 145—146. — 24. Whitehead D. C. — Nature. L., 1969, vol. 202, p. 417—418.

*Статья поступила 21 января 1980 г.*

#### SUMMARY

At the early stages of straw decomposition different substances of phenol nature (**para-hydroxybenzoic, vanillic, ferulic, caffeinic, salicylic, cumaric and protocatechuic acids**), as well as ethylene, producing a toxic effect on the plant growth may be formed in the soil. Formation and accumulation of toxic substances in the soil are in direct correlation with the amount of straw supplied.

The negative effect of straw on plant growth and yielding capacity may be reduced by its shallow covering in the soil, by longer period of composting the straw and higher content of mineral nitrogen in the soil, as well as by finer cutting the straw.