

УДК 631.46:631.417.1:631.872

ИЗУЧЕНИЕ РАЗЛОЖЕНИЯ МЕЧЕННОЙ ^{14}C РИСОВОЙ СОЛОМЫ В ЗАТОПЛЯЕМЫХ ПОЧВАХ

А. Г. ЛАДАТКО, Б. И. ШКАРИН

(Кафедра микробиологии и кафедра прикладной атомной физики и радиохимии)

В связи с использованием соломы в качестве длительно действующего органического удобрения большое внимание уделяется вопросам ее разложения. Благодаря широкому массовому отношению С : N (более 40) солома риса является источником энергии и углерода для ши-

рокого круга почвенных микроорганизмов и оказывает длительное воздействие на плодородие почвы. Ее внесение благоприятно сказывается на свойствах почвы и продуктивности растений [3, 4, 5, 8—13, 15 и др.].

Разложение растительных остатков чаще всего описывается минерализационно-иммобилизационными циклами превращения азота [14]. Что же касается превращения углеродных соединений при разложении соломы риса, то оно изучено недостаточно полно. Наиболее обстоятельные работы в этом направлении проведены Палом и Сейном [17, 19]. И все же вопросы, касающиеся распределения углеродных соединений соломы, разлагающейся в условиях затопляемых почв, не получили должного освещения в литературе. Вместе с тем важно знать, возможны ли направленное сокращение непроизводительных потерь углерода соломы при разложении и более эффективное его использование в синтезе гумусовых веществ.

В этой статье представлены результаты исследования динамики химического состава соломы в процессе ее разложения в условиях затопления и распределения меченного ^{14}C углерода соломы риса в системе почва — вода — воздух.

Материал и методика исследований

Для решения вопроса о распределении и аккумуляции углерода соломы в затопленной почве нами был проведен лабораторный опыт с использованием ^{14}C , который проводился на почвах, длительно используемых под культуру риса — лугово-черноземовидной среднесуглинистой незасоленной и лугово-болотной слабозасоленной хлоридно-сульфатного типа засоления. Характеристика почв представлена в табл. 1.

Для мечения соломы ^{14}C растения затопляемого риса сорта Краснодарский 424, выращиваемые в полиэтиленовых сосудах, дважды за вегетационный период помещали в герметическую ассимиляционную камеру из оргстекла с $^{14}\text{CO}_2$. Чтобы предотвратить попадание $^{14}\text{CO}_2$ в почву и уменьшить испарение воды, водную поверхность в сосуде заливали вазелиновым маслом [12].

Меченую двуокись углерода получали путем разложения углекислого натрия ($\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$) серной кислотой.

Разовая экспозиция растений в атмосфере $^{14}\text{CO}_2$ составляла 4—6 дней. После каждого цикла ассимиляционного мечения камеру с находившимися в ней растениями очищали от газообразных остатков $^{14}\text{CO}_2$ путем пропускания воздуха через насыщен-

ный раствор щелочи. Меченые растения выращивали вне камеры до фазы полной спелости.

Для закладки опыта использовали измельченную солому 0,5—2,0 мм с удельной активностью ^{14}C $4,67 \cdot 10^6$ расп/мин на 1 г сухой массы.

Распределение ^{14}C рисовой соломы в затопленной почве изучали в следующих вариантах: 1 — солома, 1% от массы почвы; 2 — солома, 2% от массы почвы; 3 — то же, что в варианте 2, + 1% азота сульфатаммония от массы вносимой соломы; 4 — то же, что в варианте 2, + 1% азота мочевины от массы вносимой соломы.

Моделный опыт проводили в химических стаканах емкостью 100 мл. Солому риса, меченную ^{14}C , вносили в количестве 0,300 г (1%) и 0,600 г (2%) на 30 г сухой почвы, тщательно очищенной от растительных остатков и просеянной через сито 2,0 мм. После закладки опыта почву в стаканах заливали слоем воды 5 мм и обеспечивали постоянное соотношение почва : вода на протяжении всего опыта. Образцы компостировали в термостате при температуре 28°. Повторность опыта 5-кратная.

Для определения абсолютной активности ^{14}C отдельных образцов использовали метод жидкостно-сцинтилляционной радиометрии.

Т а б л и ц а 1

Физико-химические свойства почв, используемых под культуру риса

Почва	рН _{вод}	рН _{KCl}	С, %	N, %	С: N	Емкость поглощения, мэкв на 100 г	Содержание, %, фракций, мм		Масса сухого остатка водной вытяжки, %
							< 0,01	> 0,01	
Лугово-черноземовидная	7,18	6,00	1,76	0,19	9,26	43,41	52,87	47,13	0,059
Лугово-болотная	7,70	7,09	2,32	0,27	8,59	68,38	89,08	10,92	0,342

Все радиометрические измерения скорости счета ^{14}C проводили на жидкостно-сцинтилляционном бета-спектрометре «Марк-2».

При измерении скорости счета ^{14}C в жидкой фазе образец представлял собой гомогенную смесь определенного объема водной вытяжки из почвы и сцинтиллятора PCS (фирмы «Амершам-Серл», США).

Подготовка твердых образцов для измерения абсолютной активности по ^{14}C на жидкостно-сцинтилляционном бета-спектрометре заключалась в предварительном их сжигании на приборе «Оксимат» («Интертехник», Франция) при температуре 700° в токе очищенного кислорода при участии специальных катализаторов. Образовавшийся при этом $^{14}\text{CO}_2$ эффективно поглощался в специальном абсорбере сцинтиллятором, рецептура которого приводится ниже. Использование данного прибора позволило стандартизировать обработку твердых образцов и их измерение на жидкостно-сцинтилляционном спектрометре, вследствие чего появилась возможность проводить расчеты абсолютной активности по методу сравнения со стандартным образцом.

При установлении абсолютной активности образцов жидкой фазы поправку на гашение определяли по методу отношения к внешнему стандарту.

Для анализа твердых образцов (почва, растения) использовали жидкий сцинтиллятор следующего состава: толуол — 400 мл, фенилэтиламин — 330 мл, бутил РВД (2,4-тетра-бутилфенил-5(4-бифенил)-1,3,4-оксидиазол) — 70 г, бидистиллированная вода — 50 мл и абсолютный метанол — до 100 мл.

При использовании PCS объем сцинтиллятора составлял 10 мл, а при использовании сцинтиллятора на основе толуола — 20 мл на один флакон.

Объем пробы для радиометрического анализа жидкости — 1 мл, для анализа растений и почвы — по 100—150 мг.

Распределение ^{14}C в системе почва — вода — воздух при разложении меченой соломы риса в затопленной почве изучали по следующей схеме: 1) в срок определения компосты тщательно перемешивали до образования однородной суспензии и подвергали вакуум-фильтрованию на воронке Бюхнера; 2) фильтрат непосредственно анализировали на активность ^{14}C ; 3) определение ^{14}C в почве после предварительной подготовки образцов — высушивание при 60° до сухого состояния; растирание в ступке до фракции, проходящей через сито 0,25 мм; отбор среднего образца; отбор аналитической пробы в ампулы для сжигания в «Оксимате» с последующим определением ^{14}C . При этом способе подготовки образца учитывали суммарную активность ^{14}C — неразошедшей меченой соломы и ^{14}C , включенного в органическое вещество почвы.

Исходная активность ^{14}C в 1 г компоста перед затоплением почвы составляла при внесении 1% меченой ^{14}C соломы риса — $46,7 \cdot 10^3$ расп/мин, а при 2% — $93,4 \cdot 10^3$ расп/мин.

Скорость разложения отдельных компонентов соломы изучали в компосте, состоящем из соломы, инкубированной под слоем воды при температуре 28° .

Анализ биохимического состава соломы, включающий определение общего количества гемицеллюлоз, клетчатки по Кюршнеру и Хаферу, а также лигнина [6] проводили через 10, 20, 30 дней компостирования в условиях затопления.

Для анализа почвы использовали общепринятые методы: емкость поглощения определяли по методу Алевина [7], механический состав — по Качинскому [7], органический углерод — по Тюрину [2], общий азот — методом дистилляции [1], водную вытяжку — по Ариушкиной [2], реакцию почвенного раствора — на pH-метре 121 с помощью электродов ЭСЛ-43-07 и ЭВЛ-1М3.

Результаты

Солома риса подвергается активному воздействию процессов разложения (табл. 2), причем отдельные компоненты растительной ткани обладают разной устойчивостью к воздействию различных ферментативных систем. Значительному разложению подвержены гемицеллюлозы. За 30 дней компостирования измельченной соломы под слоем воды выщепление гемицеллюлоз из ее состава составило около 50%. Разложение гемицеллюлоз по срокам компостирования шло равномерно (близко к линейному распределению во времени).

Поскольку бактериальное преобразование веществ затрагивает прежде всего простые углеводы, в остатках соломы риса с увеличением сроков компостирования возрастает содержание целлюлозы и лигнина, что связано с их относительной устойчивостью к расщеплению.

В процессе разложения рисовой соломы без азота удобрения удельная активность ^{14}C в затопленной почве изменялась неравномерно (табл. 3). Распад углеродных соединений соломы наиболее интенсивен в первые 5 дней затопления. В промежутке между 5- и 20-ми сутками затопления интенсивность разложения снижалась, а с 20-го по 30-й день — вновь резко возрастала.

Таблица 2

Динамика химического состава соломы риса в процессе разложения вне почвы под слоем воды (% на сухую навеску)

Объект исследования	Исходное содержание веществ	Срок компостирования, дни		
		10	20	30
Зола	1,07	0,95	0,73	0,61
Общее количество гемипеллюлоз	6,2	5,5	3,9	2,9
Клетчатка	38,8	44,4	58,8	61,7
Лигнин	21,3	24,3	24,7	28,5

Увеличение дозы соломы не оказывало существенного влияния на ее расщепление в условиях затопления. Засоление почвы при избыточном увлажнении несколько активизировало процессы разложения (табл. 3). В засоленной лугово-болотной почве солома разлагалась более интенсивно, чем в незасоленной лугово-черноземовидной. Это различие выражалось не только в меньшей удельной активности ^{14}C соломы в почве на протяжении всего срока компостирования, но и в более раннем ослаблении процессов ее разложения. Если в лугово-черноземовидной почве активное разложение углеродных соединений соломы продолжалось в течение всего 30-дневного компостирования, то в засоленной лугово-болотной почве оно заканчивалось приблизительно к 20-му дню.

Поскольку интенсивность разложения углеродной части растений микроорганизмами определяется наличием доступных соединений азота, в нашей работе была сделана попытка выявить влияние формы азотного удобрения на трансформацию углерода соломы в затопленной почве.

Дополнительное внесение азотного удобрения из расчета 1% от дозы соломы резко усилило процессы ее углеродного расщепления в первые 5 дней компостирования (табл. 3). В последующем этот процесс несколько ослабевает, что способствует сохранению углерода соломы в почве.

Форма азотного удобрения не оказывает существенного влияния на аккумуляцию углерода соломы в затопленной почве. Можно лишь отметить, что при внесении сульфат-аммония ^{14}C в почве содержалось несколько больше, чем при внесении мочевины.

Так как разложение соломы в почве протекает в условиях избыточного увлажнения, было проведено наблюдение за поступлением ^{14}C из соломы риса в почвенный раствор. В первые 5 дней затопления он обнаруживался в наибольшем количестве, в дальнейшем его содержание

Таблица 3

Динамика ^{14}C в затопленной почве в процессе разложения меченой ^{14}C соломы риса (расп/мин на 1 г компоста)

Вариант опыта	Срок компостирования, дни			
	5	10	20	30

Лугово-черноземовидная почва

1	29820±790	28800±890	28470±460	15290±940
2	56500±630	55850±670	53300±2500	17320±290
3	40250±760	41480±670	42100±1100	44300±1200
4	33250±670	39630±650	41130±840	43290±940

Лугово-болотная почва

1	27570±520	25830±760	24420±690	19050±790
2	53610±680	49840±960	28400±540	23930±980
3	50200±790	48190±870	42140±720	44530±960
4	45750±600	40030±770	41110±950	42920±880

Динамика меченого углерода, переходящего в почвенный раствор в процессе разложения меченой ^{14}C соломы риса в затопленной почве (расп/мин на 1 мл почвенного раствора)

Вариант опыта	Срок компостирования, дни			
	5	10	20	30
Лугово-черноземовидная почва				
1	1646±9	1542±11	271±5	208±10
2	3551±13	3180±7	433±5	348±17
3	3847±15	3528±14	443±13	473±12
4	3942±16	3792±13	593±13	519±11
Лугово-болотная почва				
1	1634±25	1421±11	410±13	313±9
2	2797±20	2214±11	475±12	362±9
3	3082±16	2418±21	582±8	479±10
4	3189±12	2624±21	659±51	558±13

в почвенном растворе уменьшалось (табл. 4). Наибольшая разница в содержании ^{14}C соломы риса в почвенном растворе отмечалась между 10- и 20-ми сутками компостирования.

При увеличении дозы соломы количество ее меченых углеродных соединений в почвенном растворе повышалось.

Внесение минерального азота усиливало высвобождение меченого углерода из соломы в почвенный раствор. В варианте с амидной формой азота (мочевина) в водной фазе его обнаружено несколько больше, чем в варианте с аммиачной формой (сульфат-аммония).

Данные о выделении газообразных соединений ^{14}C , рассчитанные по разности между количеством его в почвенном растворе и в почве, в процессе разложения меченой соломы представлены в табл. 5. Из них видно, что величина газообразных потерь ^{14}C соединений увеличивается по мере усиления процессов распада углеродных веществ.

Таблица 5

Баланс ^{14}C в системе почва — вода — воздух при разложении меченой ^{14}C соломы риса в затопленной почве (% от исходной активности)

Вариант опыта	Срок компостирования, дни											
	5			10			20			30		
	почва	вода	воз-дух	почва	вода	воз-дух	почва	вода	воз-дух	почва	вода	воз-дух
Лугово-черноземовидная почва												
1	63,9	3,5	32,6	61,7	3,3	35,0	61,0	0,6	38,4	32,7	0,5	66,8
2	60,6	3,8	35,6	59,9	3,4	36,7	57,1	0,5	42,4	18,6	0,4	81,0
3	43,1	4,1	52,7	44,5	3,8	51,7	45,1	0,5	54,4	47,5	0,5	32,0
4	35,6	4,2	60,1	42,5	4,1	53,4	44,1	0,6	55,3	46,4	0,6	53,0
Лугово-болотная почва												
1	59,0	3,5	37,5	55,3	3,0	41,7	52,3	0,9	46,8	40,8	0,7	58,5
2	57,5	3,0	39,5	53,4	2,4	44,2	30,4	0,5	69,1	25,7	0,4	73,9
3	53,8	3,3	42,9	51,7	2,6	45,7	45,2	0,6	54,2	47,7	0,5	51,8
4	49,0	3,4	47,5	42,9	2,8	54,3	44,1	0,7	55,2	46,0	0,6	53,4

Заключение

В затопленной почве солома риса наиболее активно разлагается в первые 5 суток затопления. Разложение разных компонентов соломы происходит неравномерно. Наиболее быстро разлагаются гемицеллюлозы (за 30 дней компостирования соломы под слоем воды — около 50%). При внесении соломы без азотного удобрения газообразные потери углерода за первые 5 дней затопления могут достигать $\frac{1}{3}$ общего количества углерода соломы. В результате внесения соломы совместно с азотными удобрениями газообразные потери в процессе ее разложения уменьшаются, что способствует сохранению углеродных соединений соломы в почве. Заселение почвы (0,392%, хлоридно-сульфатного типа) в условиях затопления способствует некоторому усилению процессов распада соломы. Наибольшее количество углеродных соединений соломы в почвенном растворе содержалось в первые 5 дней после затопления почвы — в среднем около 5% общего содержания углерода соломы.

Полученные результаты могут быть использованы при моделировании микробиологических и химических процессов в затопляемых почвах с участием углеродных соединений соломы, переходящих в почвенный раствор на первой стадии ее расщепления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимические методы исследования почв. М., «Наука», 1975. — 2. Ариунскина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. МГУ, 1970. — 3. Востров И. С. и др. Использование рисовой соломы как органического удобрения под культуру риса. — В сб.: Повышение плодородия почв рисовых полей. М., «Наука», 1977, с. 222—238. — 4. Долгих Ю. Р. Влияние внесения соломы на урожай риса. — Докл. ТСХА, 1970, вып. 160, с. 112—117. — 5. Долгих Ю. Р., Ладатко А. Г. и др. Использование соломы в качестве органического удобрения под рис. — В сб.: Повышение плодородия почв рисовых полей. М., «Наука», 1977, с. 252—262. — 6. Ермаков А. И. Методы биохимического исследования растений. Л., «Колос», 1972. — 7. Кауричев И. С. Практикум по почвоведению. М., «Колос», 1973. — 8. Кольбе Г., Штумпе Г. Солома как удобрение. М., «Колос», 1972. — 9. Коновалов В. А., Осадчий В. Н. и др. Рисовая солома как удобрение на рисовых полях. — В сб.: Повышение эффективности орошаемого земледелия. Одесса, 1975, с. 17—20. — 10. Мишустин Е. Н., Долгих Ю. Р. и др. Использование рисовой соломы как органического удобрения под культуру риса. — Агрохимия, 1975, № 7, с. 80—85. — 11. Рао В. Р. Влияние соломы как удобрения на урожай риса. — Изв. АН СССР, сер. биол., 1973, № 3, с. 420—425. — 12. Рачинский В. В. Практикум по применению изотопов и излучений в сельском хозяйстве. Вып. VI. ТСХА, 1960, с. 55—58. — 13. Сидоренко О. Д., Ладатко А. Г., Долгих Ю. Р. Биологическая активность почв и урожай риса при использовании соломы в качестве удобрений. — Изв. ТСХА, 1978, вып. 2, с. 133—138. — 14. Harmsen J. W. — Intern. Congr. of Soil Sci. Bucharest, 1964, vol. 1, p. 193—203. — 15. Hirose S. — J. of the Sci. of Soil a. Manure, Japan, 1973, vol. 44, N 6, p. 211—216. "Abstracts from Soil Sci. Plant Nutr.", 1974, vol. 20, N 3, p. 331. — 16. Pal D., Broadbent F. E., Mikkelsen D. S. — Soil Sci., 1975, vol. 120, N 6, p. 442—445. — 17. Pal D., Broadbent F. E. — Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1975, vol. 39, N 1, p. 59—63. — 18. Russo S. — Riso, 1976, vol. 25, N 1, p. 19—36. — 19. Sain P., Broadbent F. E. — Agron. J., 1975, vol. 67, N 6, p. 759—762. — 20. Sattyanaarayana T., Ramanagoud P., Kulkarni G. N. — Mysore J. agric. Sci., 1973, N 7, p. 357—359. — 21. Yoneyama T., Yoshida T. — Soil Sci. Plant Nutr., 1977, vol. 23, N 1, p. 23—48.

Статья поступила 25 декабря 1978 г.

SUMMARY

Distribution of ^{14}C labelled carbon of rice straw in the soil-water-air system was studied under controlled laboratory conditions (continuous flooding and temperature 28°). The results have shown that decomposition of rice straw under flooded conditions takes place stagersly, releasing carbon from different compounds of the plant tissues. Hemicellulose decomposed more quickly than other compounds. Maximum distribution of labelled carbon compounds of rice straw in this system took place in the first 5 days of flooding. The share of ^{14}C in the soil solution amounts to about 5%, and gaseous losses can reach $\frac{1}{3}$ of the total content of straw carbon. The addition of nitrogen fertilizers increases the releasing of c straw carbon to the soil solution.