

УДК 63:628.516:632.954:621.039.85

ПРОНИКНОВЕНИЕ, ПЕРЕДВИЖЕНИЕ И РАЗЛОЖЕНИЕ ^{14}C -2,4-Д В ЯЧМЕНЕ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ПРИМЕНЕНИИ СРЕДСТВ ХИМИЗАЦИИ

В. Ф. ЛАДОНИН, В. В. РАЧИНСКИЙ, Л. Г. КРЕТОВА, Л. Н. САМОЙЛОВ

(Кафедра прикладной атомной физики и радиохимии,
Лаборатория комплексного применения средств химизации ВИУА)

Изучали влияние комплексного применения средств химизации сельского хозяйства (удобрений, гербицидов, фунгицидов, ретардантов) на проникновение, передвижение и разложение ^{14}C -2,4-Д в растениях ячменя. Установлено, что внесение удобрений приводит к повышению поглощения гербицида в расчете на 1 растение, хотя концентрация меченого остаточного гербицида и его метаболитов в биомассе уменьшается. При обработке посевов пестицидами и ретардантами не отмечено заметных изменений в поведении ^{14}C -2,4-Д в растениях.

Комплексное применение средств химизации сельского хозяйства является одним из обязательных условий, обеспечивающих получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур хорошего качества, особенно при интенсивных технологиях их возделывания.

Минеральные удобрения, химические мелиоранты, средства борьбы с болезнями растений и сорняками, регуляторы роста, используемые одновременно или последовательно, могут вступать во взаимодействия непосредственно через почву или растения, и эти взаимодействия могут оказывать влияние на все или некоторые звенья цепи, определяющей роль и поведение агрохимиката в сельскохозяйственной экосистеме.

Эффективное, безопасное и экономичное применение средств химизации возможно лишь при глубоком знании процессов, происходящих в этой цепи с каждым из химических препаратов, а также изменений, происходящих в системе под влиянием взаимодействия препаратов. При этом важным является экологический аспект, каким образом взаимное влияние различных агрохимикатов как вероятных загрязнителей может отразиться на их поведении в окружающей среде (миграции, сроках разложения, возможности консервации в виде неэкстрагируемых остатков в почве и растениях).

Изучение взаимодействия различных химических средств, особенно при сочетании гербицидов и удобрений, по их эффективности, в основном по урожайности сельскохозяйственных растений, проводится достаточно давно (с 50-х годов). Подробно вопросы взаимного влияния гербицидов и удобрений рассмотрены в обзоре [4]. В большинстве случаев при их совместном применении возрастала эффективность гербицидов, и вследствие устранения конкуренции сорняков за питательные вещества повышался коэффициент использования удобрений культурными растениями.

Взаимное влияние различных химикатов при совместном применении на их поведение в растении может проявляться на различных этапах и уровнях: проникновение в растение, перемещение и метаболизм. Так, 2,4-Д более интенсивно поступает в растения зерновых на удобренном фоне, чем на неудобренном [3], так же как линурон и монурон в растения бодяка [5]. Отмечается, что при повышенных уровнях питания получаемая сельскохозяйственная продукция содержит меньше остатков гербицидов [5, 6].

Применение смесей гербицидов является важным приемом повышения их эффективности. Но вместе с тем сведения о механизме их взаимодействия в растениях редки. В лабораторных опытах [2] наблюдается антагонистический эффект при одновременном использовании атразина

и 2,4-Д на растениях фасоли за счет снижения под действием 2,4-Д способности корней растений поглощать атразин. Следует заметить, что в полевых опытах смесь 2,4-Д+атразин проявляет высокую эффективность в посевах кукурузы. В некоторых работах [9, 10] отмечено явление антагонизма между дихлофопом или дихлофопметилом и гербицидами, обладающими ауксиновой активностью (2,4-Д и др.) из-за снижения подвижности гербицида в растении и вследствие этого уменьшения действия на чувствительную к нему меристему. Возможно, причина антагонистического влияния 2,4-Д и бромоксинила на фитотоксичность глифосата кроется также в уменьшении проникновения глифосата в растения ячменя из листьев, обработанных смесью гербицидов [8].

В случае совместного применения гербицидов и других химикатов отмечается замедление или ускорение разложения первых в растениях. Например, детоксикация 2,4-Д в растениях озимой пшеницы замедлялась при совместном применении гербицидов с регулятором роста — хлорхолинхлоридом. Однако в урожае не обнаруживалось остатков пестицидов [1, 7].

Сведений об изучении механизмов взаимного влияния средств химизации очень немного, и развитие этого направления представляется весьма важным для теории и практики применения удобрений и пестицидов. Наиболее информативным для подобных исследований, безусловно, является метод радиоактивных индикаторов (в сочетании с другими физическими и химическими методами). Этот метод позволяет проследить судьбу изучаемого вещества на фоне многих других и, обеспечивая большую оперативность наблюдений при высокой чувствительности, дает возможность изучать процессы в динамике.

В настоящей работе приводятся результаты исследования поведения 2,4-Д в растениях ячменя под влиянием комплексного применения средств химизации сельского хозяйства в условиях микрополевого опыта.

Методика

Исследования проводили в 1986—1987 гг. в Московской обл. (Домодедовский р-н) на хорошо окультуренной тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве, среднеобеспеченной подвижными формами азота, фосфора и калия.

В опытах использовали 2,4-дихлорфеноксиуксусную кислоту, меченую радиоактивным изотопом углерода ^{14}C в метильной группе, поставляемую Всесоюзным объединением «Изотоп».

Радиометрические измерения активности ^{14}C в составе ^{14}C -2,4-Д и ее метаболитов проводились на жидкостном сцинтилляционном спектрометре Рак-бета 1215 фирмы ЛКБ-Валлак (Финляндия).

В 1986 г. изучали поведение ^{14}C -2,4-Д в ячмене сорта Московский 121 при внесении его в смеси с лонтрелом, обработке посевов фунгицидом (тилт, 0,5 л/га) и ретардантами (смесь хлорхолинхлорида с кампозаном М, 3 л/га+1 л/га). Обработки растений проводили на двух фонах питания: без удобрения (варианты I—IV) и 180N90P150K (варианты V—VIII). Варианты опыта следующие: I и V — обработка ^{14}C -2,4-Д; II и VI — обработка смесью ^{14}C -2,4-Д + лонтрел; III и VII — обработка смесью ^{14}C -2,4-Д+лонтрел+обработка фунгицидом; IV и VIII — обработка смесью ^{14}C -2,4-Д+лонтрел+обработка фунгицидом+обработка ретардантами. Размер полянок — $1,1 \times 2$ м.

Гербициды растворяли в 20 % этиловом спирте, добавляли твин-40. В фазу кущения (4—5 листьев) по 10 мкл раствора,

содержащего 90 мкг ^{14}C -2,4-Д (в вариантах I и V) и 90 мкг ^{14}C -2,4-Д и 14 мкг лонтрела (в остальных вариантах), наносили на нижний лист растения. Количество гербицида на растение рассчитывали исходя из дозы 0,6 кг 2,4-Д и 0,09 кг лонтрела на 1 га (по д. в.).

Сроки отбора проб растений: 1-й и 2-й (кущение) — соответственно через 1 и 3 сут после обработки ^{14}C -2,4-Д или смесью ^{14}C -2,4-Д с лонтрелом (варианты I; V и II, VI); 3-й — в фазу трубкования, через 12 сут после обработки (варианты II и VI). В тот же день растения вариантов III и VII обработали фунгицидом, а в вариантах IV и VIII — смесью фунгицида и ретардантов. 4-й срок отбора проб растений из всех вариантов — через 5 сут после этой обработки или через 17 сут после обработки гербицидами; 5-й и 6-й — соответственно через 34 (колошение) и через 68 сут (полная спелость) после обработки гербицидами. В каждый срок отбирали по 30 растений.

Отобранные растения разделяли на корни, листья и стебли, обработанные гербицидами листья, а в последние два срока дополнительно отделяли колосья. Корни отмывали от почвы, а с обработанных листьев смывали не проникший в растение гербицид 20 % раствором спирта. Части растений взвешивали.

Свежую растительную массу замораживали жидким азотом, растирали в ступке и экстрагировали ^{14}C -2,4-Д и его метаболиты — 80 % водным ацетоном при отноше-

нии биомасса: экстрагент 1 : 10. Затем биомассу переносили на воронку Бюхнера, промывали ее на фильтре тем же растворителем. Козкстрактивные вещества (хлорофилл и другие) из водно-ацетонового экстракта отмывали гексаном (до отсутствия зеленой окраски в промывном гексане). Гексан отбрасывали. Промытую биомассу заливали 1 н. раствором NaOH с целью выделения не экстрагируемых ацетоном производных ^{14}C -2,4-Д. Щелочной раствор также отфильтровывали. В водно-ацетоновом и щелочном экстракте измеряли активность меченого углерода, по которой определяли количество ^{14}C -2,4-Д и сумму его метаболитов. Поскольку измеренная радиоактивность относится как к ^{14}C -2,4-Д, так и к его меченым метаболитам, которые могут значительно различаться по молекулярным массам, то результаты измерений приведены в микрограммах меченого углерода независимо от того, в какое соединение он включен.

Измерение активности меченого углерода в водноацетоновом экстракте позволяет проследить за динамикой поступления его в растения, перемещением и перераспределением гербицида и его метаболитов по органам, а также за динамикой исчезновения этих веществ из растения.

Все результаты измерения активности меченого углерода рассчитывали на воздушно-сухую массу.

Величину стандартного отклонения оценивали на основании измерения 10 повторностей (10 растений) выборочно по отдельным вариантам. Коэффициент вариации при измерении массы растений составил в среднем 18,4 %, а коэффициент вариации при измерении активности равняло* 8,6 % к средней суммарной активности в растениях.

В 1987 г. продолжены опыты с ^{14}C -2,4-Д. Так как в этом году получены аналогичные результаты, ниже приводятся данные по 1986 г.

Результаты

Данные измерений активности меченого углерода (без учета ^{14}C в обработанных листьях) в процентах к массе меченого углерода ^{14}C -2,4-Д, нанесенного на растения в начале опыта, приведены в табл. 1.

Всего в растениях (после смыва непроникшего ^{14}C -2,4-Д) обнаруживалось около 20 % к нанесенному, но большая часть меченого углерода находилась в обработанных листьях. Поскольку эти листья в течение вегетационного сезона частично опали, то содержащийся в них меченый углерод в расчет не принимали. В остальных органах накапливалось 2,5—3 % меченого углерода.

Содержание меченого углерода в мкг на 1 растение для всех отборов показано на рис. 1.

Наибольшая масса меченого углерода в растениях отмечалась через 1—3 сут после обработки растений гербицидами. В дальнейшем поступление ^{14}C -2,4-Д в растение из обработанных листьев прекращалось и содержание меченого углерода в растениях уменьшалось в результате деградации пестицида.

При таком способе расчета (т. е. на одно растение) и сведения баланса нанесенного на растения и поступившего в него меченого углерода 2,4-Д видно, что на фоне внесения удобрений в растения поступает больше меченого пестицида, чем без удобрений. Различия между этими вариантами (I и V, II и VI) достоверны: например, относительная разность содержания меченого углерода в растении в вариантах I и V (табл. 1) через 68 дней вегетации существенно превышала средний коэффициент вариации в опыте. Причем это превышение на удобреном фоне было постоянным во время всего вегетационного периода. В вариантах с внесением удобрений выявлена тенденция к уменьшению скорости разложения гербицида. В течение вегетации масса меченого

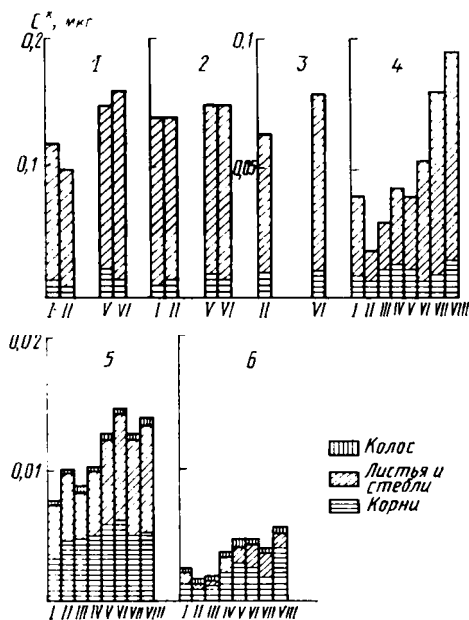


Рис. 1. Динамика содержания меченого углерода ^{14}C -2,4-Д в растениях ячменя (мкг на растение).

I—6 — отборы; I—VIII — варианты опыта.

Динамика содержания меченого углерода ^{14}C -2,4-Д в растениях ячменя
(% к ^{14}C -2,4-Д, нанесенной на растение) без учета меченого углерода
обработанных листьев

Вариант	Время отбора, сут					
	1	3	12	17	34	68
I	2,12	2,47	—	0,71	0,14	0,053
II	1,76	2,47	1,13	0,95	0,18	0,035
III	—	—	—	0,55	0,16	0,035
IV	—	—	—	0,76	0,17	0,069
V	2,64	2,65	—	0,71	0,21	0,083
VI	3,00	2,65	1,41	0,95	0,26	0,084
VII	—	—	—	1,41	0,23	0,071
VIII	—	—	—	1,94	0,25	0,100

Примечания: 1. Средний коэффициент вариации в опытах 8,6 %. 2. Тире означает, что пробы не отбирали.

углерода в растении в вариантах без удобрений уменьшалась в 40—50 раз, а в вариантах с удобрениями — в 30—35 раз.

Сравнение вариантов, в которых обработку ячменя проводили одним ^{14}C -2,4-Д (вариант I) или смесью его с лонтрелом (вариант II), показывает, что в последнем случае поступление ^{14}C -2,4-Д в растение уменьшается, но незначительно (рис. 1). Наблюдалась тенденция к замедлению разложения ^{14}C -2,4-Д и при использовании смеси гербицидов.

К моменту обработки посевов фунгицидами и ретардантами, т. е. через 12 сут после начала опыта, в растениях оставалось около 1 % меченого углерода. Величина стандартного отклонения при определении остаточного меченого углерода ^{14}C -2,4-Д по мере его убывания в растениях возрастает, поэтому в полевом опыте трудно однозначно утверждать наличие значительного влияния обработок на скорость дальнейшей деградации ^{14}C -2,4-Д в растениях. Однако в опыте отмечена тенденция к замедлению разложения гербицида в вариантах, где растения были обработаны фунгицидом и ретардантами, но различия между вариантами при малых количествах остаточного меченого углерода находились в пределах ошибки опыта (варианты IV и VIII). Обработка только фунгицидами такого изменения не вызвала.

Рассматривая распределение меченого углерода ^{14}C -2,4-Д между органами растения, мы видим, что в первое время после обработки гербицидами основная масса меченого углерода накапливается в надземной части растения. В корнях обнаруживается около 10 % общей радиоактивности биомассы (без учета обработанных листьев). В дальнейшем в процессе вегетации растений деградация ^{14}C -2,4-Д в надземной массе идет более интенсивно. Кроме того, возможно перемещение меченых веществ из надземной массы в корни, а также поступление в корни ^{14}C -2,4-Д, вымываемого дождями из отмерших обработанных листьев. В результате к концу вегетации больше половины остаточного меченого углерода ^{14}C -2,4-Д находится в корнях растений.

В зерне к концу опыта также обнаружен меченый углерод, до 10—12 % общей остаточной радиоактивности в растении, что составляет 0,002—0,01 % к нанесенному на растения.

В случае, если содержание остаточного гербицида (и его метаболитов) рассчитывается на единицу массы растения (именно в таком виде приводятся обычно данные в литературных источниках), то получается результат, обратный описанному выше. Вследствие более интенсивного роста растений на фоне внесения удобрений содержание меченого углерода на единицу воздушно-сухой массы меньше, чем в вариантах без удобрений, начиная со 2-го отбора, т. е. через 3 сут после обработки растений гербицидами. Удельное содержание меченого углерода в растениях ячменя для вариантов II и VI смесь ^{14}C -2,4-Д с

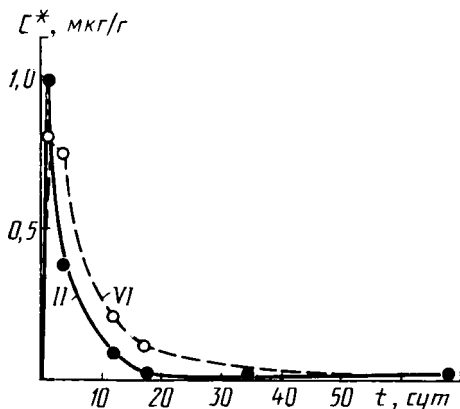


Рис. 2. Относительное содержание меченого углерода ^{14}C -2,4-Д в растениях ячменя, выращенных без удобрений (вариант II) и на фоне их внесения (вариант VI),

дальнейшей обработке растительной массы, полученной в опыте, было учтено, какая часть углерода принадлежит исходному гербициду, а какая — его метаболитам. Полученные при этом данные требуют отдельного рассмотрения.

Все приведенные выше результаты относятся к ^{14}C -2,4-Д и метаболитам, которые могут быть экстрагированы использованным в опыте растворителем (80 % водным ацетоном), т. е. к экстрагируемым остаткам. Однако известно, что после экстракции часть метаболитов гербицида, не извлекаемая органическими растворителями, остается в растениях. К таким метаболитам могут быть отнесены эфиры гидроксилированных производных 2,4-Д с полисахаридами, полипептидами и т. д.

В табл. 2 приведены результаты определения активности меченого углерода неэкстрагируемых остатков ^{14}C -2,4-Д (щелочного экстрак-

лонтрелом без удобрения и на фоне удобрений) показано на рис. 2. Быстрое снижение удельного содержания меченого углерода в растениях вариантов с удобрениями происходит не за счет более интенсивной деградации меченого гербицида, а за счет большего разбавления метки немеченой биомассой.

К концу вегетационного периода в растениях содержалось 0,001—0,002 мкг меченого углерода на 1 г воздушно-сухой массы (в среднем на все растение без опавших обработанных листьев), или 0,0015—0,0030 мкг ^{14}C -2,4-Д на 1 г, в том числе в зерне — 0,0003—0,0006 мкг меченого углерода или 0,005—0,009 мкг ^{14}C -2,4-Д. Расчет на ^{14}C -2,4-Д не абсолютно верен: при

Таблица 2

Динамика образования неэкстрагируемых остатков ^{14}C -2,4-Д (% к общей активности меченого углерода в растении) в корнях (числитель), листьях и стеблях (знаменатель) ячменя

Вариант	Время отбора, сут				
	1	3	17	34	68
I	Сл.	Сл.	Сл.	30,8	68,2
	3,2	3,3	18,5	34,4	70,1
II	Сл.	Сл.	41,0	34,4	56,1
	0,90	6,0	16,5	30,8	71,6
III	—	—	23,3	48,8	57,7
	—	—	23,6	51,1	73,8
IV	—	—	16,2	34,2	66,7
	—	—	17,2	49,1	77,8
V	Сл.	1,5	23,3	34,9	48,8
	0,97	1,5	36,8	37,4	54,9
VI	Сл.	0,71	23,2	38,1	55,1
	0,62	2,1	11,0	41,0	63,2
VII	—	—	27,2	35,9	57,9
	—	—	30,3	28,4	61,0
VIII	—	—	29,5	26,7	56,6
	—	—	20,3	33,1	64,3

Примечание. Тире означает, что пробы не отбирали.

вегетации. За 100 % принята общая активность меченого углерода в та из промытой ацетоном биомассы) в растениях ячменя в процессе экстрагируемой и неэкстрагируемой формах на момент отбора. Из данных табл. 2 видно, что с течением времени в растениях увеличивается относительное содержание неэкстрагируемых остатков. К концу вегетационного периода меченого углерода остается больше в неэкстрагируемой форме, чем в экстрагируемой. Причем в вариантах, где растения выращивались на удобренном фоне, доля неэкстрагируемых остатков несколько меньше, чем в вариантах без удобрений.

Заключение

Изучение поведения в растениях ^{14}C -2,4-Д при одновременном или последовательном внесении ретардантов и фунгицидов, а также смеси гербицидов на разных фонах питания показало, что наиболее заметное влияние на поглощение, миграцию и разложение ^{14}C -2,4-Д оказывает внесение удобрений.

В этом случае растения поглощают больше гербицида и этот гербицид разлагается медленнее. В расчете на единицу массы растения остаточное содержание меченого углерода ^{14}C -2,4-Д в вариантах с внесением удобрений меньше, чем в вариантах без их внесения, за счет разбавления метки немеченой биомассой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Груздев Л. Г. Совместное применение ретардантов, гербицидов и удобрений под зерновые. — Химия в сельск. хоз-ве, 1985, № 1, с. 9—11. — 2. Калинин В. А., Дорожкина Л. А., Груздев Г. С. О взаимодействии гербицидов при их совместном применении. — В кн.: Механизм действия гербицидов и регуляторов роста растений и их судьба в биосфере / X Междунар. симп. стран — членов СЭВ, 1975. Пушчино, ч. II, с. 140—143. — 3. Ладонин В. Ф. Комплексное применение средств химизации в современном земледелии. — Земледелие, 1985, № 8, с. 7—8. — 4. Ладонин В. Ф., Алиев А. М., Цимбалист Н. И. Рациональное сочетание гербицидов и удобрений в посевах сельскохозяйственных культур. — ВНИИТЭИСХ, 1984. — 5. Ладонин В. Ф., Гальпер-Бличенко Е. М. Влияние минерального питания на поступление гербицидов в растения. — Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии, 1973, № 8 (244), с. 17—18. — 6. Ладонин В. Ф., Каракулиев В. В., Лукин С. М. и др. Теоретические и практические аспекты совместного применения гербицидов и удобрений. — Агрохимия, 1985, № 3, с. 81—91. — 7. Лунев М. И., Груздев Л. Г. Детоксикация 2,4-Д в растениях пшеницы при различных фонах азотной подкормки и хлорхолинхлорида. — Докл. ВАСХНИЛ, 1981, № 8, с. 19—21. — 8. O'Donovan J. T., Sullivan P. A. — Weed Sci., 1982, vol. 30, p. 30—34. — 9. Hall C., Edington L. V., Switzer C. Weed Sci., 1982, vol. 30, p. 676—872. — 10. Todd. B. G., Stobbe E. H. — Weed Sci., 1980, vol. 28, N 4, p. 371—377.

Статья поступила 16 апреля 1987 г.

SUMMARY

The effect of complex application of chemical agents (fertilizers, fungicides, retardants, complex herbicides) on entrance, transference and decomposition of ^{14}C -2,4-D in barley plants was studied in microfield experiments by radioactive indicators technique. It is found that fertilizers produce the greatest effect on the behaviour of ^{14}C -2,4-D in plants. In this case the plants absorbed more labelled herbicide (in relation to its total mass applied in plants), and this herbicide in our experiment is decomposing more slowly. Treatments with other agrochemicals did not essentially change the behaviour of ^{14}C -2,4-D in plants. When ^{14}C -2,4-D is applied in combination with lontrel, less herbicide enters the plants, and decomposition is slowed down by treatment with lontrel and retardants.