

УДК 502.7:631.4:632.954:621.039.85

РАДИОИНДИКАТОРНАЯ ОЦЕНКА ПОСТУПЛЕНИЯ 2,4-Д В РАСТЕНИЯ ИЗ ПОЧВЫ

В. В. РАЧИНСКИЙ, Л. Г. КРЕТОВА, Е. А. ДЕМЧЕНКО, ТРУОНГ ДИНЬ ХАНГ

(Кафедра прикладной атомной физики и радиохимии)

Галоидфеноксиуксусные кислоты, в частности 2,4-Д, могут проникать в растения как через надземные органы, так и через корни, при этом они воздействуют на метаболические и физиологические процессы, вызывая гибель чувствительных к ним растений. Поскольку 2,4-Д широко используется для обработки полей, имеющих растительный покров, и сенокосных лугов, то в литературе в основном рассматривается поглощение этого гербицида листьями растений. Скорость проникновения 2,4-Д в листья очень велика; в первые 60—90 мин в растение проникает основная часть нанесенного на листья препарата.

Через корни 2,4-Д, другие галоидфеноксиуксусные кислоты и их соли в противоположность эфирам проникают в растения даже с большей интенсивностью, чем через листья. Корни лишены липофильной кутикулы, которая замедляет поглощение гербицидов листьями [1]. Поглощение 2,4-Д корнями растений зависит от сорбционных свойств и рН почвы. Оно возрастает при подкислении раствора за счет увеличения количества недиссоциированных молекул [1, 5].

2,4-Д и другие галоидфеноксиуксусные соединения подвергаются в растениях различным метаболическим превращением, ведущим к детоксикации вещества, иммобилизации и деструкции. Лишь в самых чувствительных к 2,4-Д растениях этот гербицид остается неизменным и концентрируется в клетках-мишенях, в частности в активно делящихся и растущих клетках, вызывая их повреждение и гибель [1]. В остальных растениях препарат подвергается различным метаболическим реакциям: окислительному декарбоксилированию, дезалкилированию, гидроксигированию ароматического кольца [1, 3] и т. д. Основной путь метаболизма 2,4-Д в устойчивых к нему растениях, например в злаках, — это образование конъюгатов 2,4-Д и его гидроксильных производных [3]. Таким образом, в злаках гербицид быстро превращается в неактивные и немобильные метаболиты. Уже через сутки в составе метаболитов содержится до 60 % проникшего в растения метаболита, через 3 дня неизменным остается не более 5 % гербицида [3]. Содержание 2,4-Д в растениях снижается вследствие нарастания биомассы, разложения в них гербицида и отмирания листьев, в которых он нако-

пился в больших количествах. Следует иметь в виду, что конъюгаты 2,4-Д представляют собой весьма лабильные соединения, способные в процессе разложения растительных остатков в почве или в пищеварительном тракте животных вновь в результате гидролиза высвобождать гербицид. В связи с этим для правильной оценки количества 2,4-Д в растениях желательнее использовать методики, которые предусматривают предварительное высвобождение конъюгированного гербицида [4].

Метаболизм гербицидов в культурных и сорных растениях более изучен, чем их превращения в почве. Недостаточно сведений о том, какая доля гербицида переходит в растения из почвы в различных природных условиях и какова роль растений в общих потерях данных веществ, какова судьба гербицида, вновь попадающего в почву с растительными остатками и т. д. Все эти вопросы имеют важное значение не только для практики использования гербицидов в борьбе с сорняками, но и для решения проблемы охраны окружающей среды.

В настоящей работе изучалось поступление 2,4-Д в яровую пшеницу через корни в полевых и лабораторных экспериментах. Лабораторные опыты проводили на дерново-подзолистой песчаной почве и черноземе типичном ($A_{\text{пах}}$), где содержание гумуса было соответственно 2,0 и 5,5 %, илстой фракции — 2,8 и 24,8 %, рН — 5,5 и 6,9, а также на песке. В затемненные стаканчики объемом 200 мл вносили по 100 г песка и дерново-подзолистой почвы и 70 г чернозема. Песок и почва были предварительно перемешаны с 40 мг ^{14}C -2,4-Д. В каждый стаканчик высаживали по 5 пророщенных семян пшеницы. Растения выращивали в лаборатории под лампами дневного света. При выращивании растений на песке в субстрат при поливе добавляли раствор Кнопа. Отбор растительного материала проводили в 5 сроков, по 3 повторности (по 3 стаканчика) для каждого варианта.

Полевые опыты проводили в 1982 г. в Московской области. Почва опытных участков (с пшеницей и многолетними травами, площадь $1 \times 1 \text{ м}^2$) дерново-подзолистая. ^{14}C -2,4-Д вносили в виде порошка, предварительно перемешанного с кварцевым песком, из расчета 10 кг гербицида на гектар. Доза препарата была выбрана намеренно высокой, что позволило проследить поступление его в растения в течение всего вегетационного периода. Пшеницу и многолетние травы (надземные органы и корни) убирали в конце вегетации. При уборке отделяли от субстрата, корни отмывали, растительный материал сушили до воздушно-сухого состояния, взвешивали и после соответствующей обработки измеряли активность меченого углерода.

Лабораторные и натурные опыты проводили с использованием 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты, меченой ^{14}C в карбоксильной группе. Количество ^{14}C -2,4-Д в растениях определяли по активности меченого углерода. Применение меченой таким образом ^{14}C -2,4-Д представляется правомерным, поскольку весь обнаруженный в растениях меченый углерод (в виде неизменной ^{14}C -2,4-Д, конъюгатов его с углеводами и аминокислотами и в других формах) отражает масштаб поглощения гербицида из почвы. Кроме того, практически весь определяемый в растениях меченый углерод можно отнести к ^{14}C -2,4-Д в свободной и конъюгированной форме, так как почти все метаболиты (кроме конъюгатов) образуются в результате декарбоксилирования молекулы, а $^{14}\text{CO}_2$ выделяется из растений в процессе дыхания.

Для определения свободного и конъюгированного ^{14}C -2,4-Д (и других метаболитов) в растительной массе использовали методику, предложенную Д. И. Чканиковым и сотрудниками [4]. Согласно этой методике, растительную массу обрабатывают 10-кратным объемом 0,05 н. раствора NaOH. Щелочной раствор отделяют центрифугированием, а растительную массу дважды промывают щелочью. Все растворы-экстракты соединяют, а в аликвотной части смешанного раствора измеряют активность ^{14}C . Измерения проводят на жидкостном сцинтилляционном радиометре Марк II (фирма Нуклеар, Чикаго). Жидкостным сцинтиллятором служит сцинтиллятор ЖС-8.

Поступление ^{14}C -2,4-Д в растения (в числителе — 2,4-Д, мг на всю биомассу; в знаменателе — % внесенного в почву ^{14}C -2,4-Д)

Органы растений	Время уборки, сут				
	5	13	23	33	49
Песок					
Надземная часть	$0,008 \pm 0,004$ 0,20	$0,007 \pm 0,001$ 0,17	$0,022 \pm 0,001$ 0,54	$0,057 \pm 0,012$ 1,42	$0,172 \pm 0,002$ 4,30
Корни	$0,072 \pm 0,008$ 1,80	$0,158 \pm 0,036$ 3,95	$0,476 \pm 0,016$ 11,90	$0,548 \pm 0,048$ 13,70	$0,236 \pm 0,036$ 5,90
Сумма	$0,080 \pm 0,009$ 2,00	$0,165 \pm 0,037$ 4,12	$0,498 \pm 0,017$ 12,40	$0,605 \pm 0,060$ 15,10	$0,408 \pm 0,038$ 10,20
Дерново-подзолистая почва					
Надземная часть	$0,006 \pm 0,001$ 0,14	$0,002 \pm 0,001$ 0,04	$0,002 \pm 0,001$ 0,06	$0,002 \pm 0,001$ 0,06	$0,002 \pm 0,001$ 0,06
Корни	$0,032 \pm 0,004$ 0,80	$0,026 \pm 0,005$ 0,63	$0,039 \pm 0,012$ 0,98	$0,039 \pm 0,002$ 0,98	$0,018 \pm 0,003$ 0,45
Сумма	$0,038 \pm 0,005$ 0,94	$0,028 \pm 0,006$ 0,67	$0,041 \pm 0,013$ 1,04	$0,041 \pm 0,003$ 1,04	$0,020 \pm 0,004$ 0,51
Чернозем					
Надземная часть	$0,003 \pm 0,001$ 0,08	$0,002 \pm 0,001$ 0,01	$0,003 \pm 0,001$ 0,05	$0,003 \pm 0,001$ 0,07	$0,001 \pm 0,001$ 0,24
Корни	$0,009 \pm 0,001$ 0,23	$0,003 \pm 0,001$ 0,08	$0,004 \pm 0,001$ 0,09	$0,003 \pm 0,001$ 0,08	$0,005 \pm 0,001$ 0,12
Сумма	$0,012 \pm 0,002$ 0,31	$0,005 \pm 0,002$ 0,09	$0,007 \pm 0,002$ 0,14	$0,006 \pm 0,002$ 0,15	$0,006 \pm 0,002$ 0,14

Задачей настоящей работы было выявление масштаба поступления 2,4-Д в растения из почвы с целью оценки общих потерь его из различных почв. Из данных табл. 1 видно, что наибольшее количество гербицида обнаружено в растениях при их выращивании на песке, меньше поступило его из дерново-подзолистой почвы, совсем мало — из чернозема. Это различие в доступности 2,4-Д растениям связано в основном с разными сорбционными свойствами почв. Из песка в растения может поступать до 15 % внесенного в почву гербицида, из дерново-подзолистой почвы — 1, из чернозема — 0,1 %.

Максимальное накопление препарата наблюдалось через 25—30 сут после начала опыта, в дальнейшем содержание меченого углерода ^{14}C -2,4-Д в растениях снижалось за счет метаболического разрушения гербицида. В корнях меченого углерода накапливалось значительно больше, чем в надземных органах, особенно в варианте с песком.

Относительное содержание меченого углерода ^{14}C -2,4-Д в растениях также различается в зависимости от субстрата (табл. 2). Этот показатель тоже был максимальным на 20—30-е сутки. Поскольку в опыте использовалась очень высокая доза гербицида (начальная концентрация в почве около 200 мг/кг, а предельно допустимое содержание в почве — 1 мг/кг), рост растений был угнетен на субстратах с низкой сорбционной емкостью, биомасса ко времени окончания опыта уменьшилась. Наиболее четко это проявилось при выращивании растений на песке, причем масса корней в варианте с песком почти в 8 раз меньше, чем в варианте с черноземом. Отсюда содержание меченого углерода в расчете на единицу сухой массы растений (корней) в варианте с песком в 30 раз выше, чем в варианте с черноземом. Снижение доступности гербицидов растениям на почвах с высокой сорбционной емкостью широко известно. Для уничтожения сорняков на почвах с высоким содержанием органического вещества, следовательно, и

Поступление ^{14}C -2,4-Д в растения (в числителе — масса растений, г; в знаменателе — ^{14}C -2,4-Д, мг/г)

Органы растений	Время уборки, сут				
	5	13	23	33	49
Песок					
Надземная часть	$\frac{0,025 \pm 0,005}{0,34}$	$\frac{0,034 \pm 0,006}{0,20}$	$\frac{0,034 \pm 0,003}{0,64}$	$\frac{0,062 \pm 0,005}{0,92}$	$\frac{0,069 \pm 0,006}{2,50}$
Корни	$\frac{0,141 \pm 0,010}{0,51}$	$\frac{0,115 \pm 0,018}{1,36}$	$\frac{0,115 \pm 0,008}{4,14}$	$\frac{0,079 \pm 0,009}{6,91}$	$\frac{0,053 \pm 0,005}{4,69}$
Дерново-подзолистая почва					
Надземная часть	$\frac{0,019 \pm 0,003}{0,29}$	$\frac{0,033 \pm 0,004}{0,07}$	$\frac{0,032 \pm 0,004}{0,07}$	$\frac{0,120 \pm 0,010}{0,02}$	$\frac{0,065 \pm 0,010}{0,04}$
Корни	$\frac{0,124 \pm 0,016}{0,25}$	$\frac{0,077 \pm 0,008}{0,33}$	$\frac{0,077 \pm 0,010}{0,51}$	$\frac{0,074 \pm 0,010}{0,53}$	$\frac{0,212 \pm 0,020}{0,084}$
Чернозем					
Надземная часть	$\frac{0,023 \pm 0,004}{0,13}$	$\frac{0,075 \pm 0,007}{0,07}$	$\frac{0,063 \pm 0,008}{0,03}$	$\frac{0,216 \pm 0,021}{0,01}$	$\frac{0,090 \pm 0,012}{0,01}$
Корни	$\frac{0,128 \pm 0,014}{0,06}$	$\frac{0,073 \pm 0,010}{0,05}$	$\frac{0,072 \pm 0,005}{0,05}$	$\frac{0,146 \pm 0,015}{0,02}$	$\frac{0,380 \pm 0,042}{0,01}$

высокой сорбционной емкостью дозы гербицидов обычно на порядок выше, чем на легких и бедных органическим веществом почвах.

Результаты лабораторного опыта дают общее представление о масштабах поступления в растения гербицида из почв разного типа. В естественных условиях может быть еще больше дополнительных факторов, влияющих на поступление гербицида в растения из почвы (например, густота растительного покрова и другие). В полевом опыте на дерново-подзолистой почве оценивали поступление ^{14}C -2,4-Д в пшеницу из почвы. Остаточную активность меченого углерода определяли в конце вегетации растений. Она составила в сумме 0,1 % внесенной в почву активности ^{14}C -2,4-Д, при этом в зерне — 0,03 %, в соломе (листья и стебли) — 0,03, в корнях — 0,04 %. Результаты полевого и лабораторного опытов согласуются (вынос ^{14}C -2,4-Д составляет 0,1—1 %).

В опыте с многолетними травами при осеннем внесении ^{14}C -2,4-Д в растениях весной зафиксировано до 30 % гербицида, осенью следующего года активность ^{14}C в растениях уже не обнаружена. Такое высокое содержание гербицида в растениях объясняется тем, что ^{14}C -2,4-Д вносили на дернину многолетних трав, где плотность корней в почве очень высокая. Кроме того, не исключено попадание гербицида в растения и через надземные органы. Этот опыт свидетельствует о том, что потери 2,4-Д в полевых условиях вследствие поступления гербицида в растения и разложения в них могут быть существенными.

Таким образом, непосредственно через корневую систему в растения из почвы поступает относительно небольшая часть внесенного препарата — 0,1—1 % в зависимости от типа почвы. Однако на легких почвах, а также в случае применения гербицида в посевах многолетних трав с высокой плотностью корней масштаб поступления его в растения может быть значительным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чкаников Д. И., Соколов М. С. Гербицидное действие 2,4-Д и других галлодифеноксисульфоновых кислот. М.: Наука, 1973. — 2. Чкаников Д. И., Макеев А. М., Павлова Н. Н., Назарова Т. А. Остатки 2,4-Д в кормовых злаках. — Химия в сельск. хоз-ве, 1978, № 5, с. 52—54. — 3. Чкаников Д. И. Метаболизм 2,4-Д в злаках. — Химия в сельск. хоз-ве, 1981, № 10, с. 25—29. — 4. Чкаников Д. И., Макеев А. М., Павлова Н. Н. и др. Определение остатков

2,4-Д в соломе и зерне злаковых расте- Hauid E. — *Physiol. Plant.*, 1979,
ний. — *Химия в сельск. хоз-ве*, 1981, № 5, vol. 47, N 2, p. 77—80.
с. 60—63. — 5. Zsoldos F., *Статья поступила 11 сентября 1985 г.*

SUMMARY

The work evaluates the scale of uptake of ^{14}C -2,4-D from the soil by plants. Depending on the soil type the plants can absorb from 1% (soddy-podzolic soil) to 0.1% (chernozems) of the applied herbicide. Losses of 2,4-D due to its uptake by plants can be considerable on light sandy soils.