

УДК 632.954:581.11

ПЕРЕДВИЖЕНИЕ АТРАЗИНА В РАСТЕНИЯХ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ОБРАБОТАННЫХ 2,4-Д, И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ФОТОСИНТЕЗ

В. А. КУЗЬМИНСКАЯ

(Кафедра химических средств защиты растений)

Для увеличения эффективности химических прополок в настоящее время все большее применение находят гербицидные смеси, промышленные или составляемые в хозяйстве. При таком способе, помимо расширения спектра токсического действия, нередко проявляется взаимное действие гербицидных соединений, обладающих высокой физиологической активностью.

Накоплен большой фактический материал, свидетельствующий о высокой эффективности гербицидных смесей против сорняков в посевах ряда культур, в частности 2,4-Д и атразина, применяемых для обработки посевов кукурузы [2]. В экспериментах установлен диапазон чувствительных сорняков, изучены отдельные стороны воздействия на физиологические процессы, однако исследований, касающихся вопросов передвижения компонентов гербицидных комплексов, еще далеко не достаточно. Вместе с тем при параллельном воздействии на растение нескольких гербицидных веществ условия их перемещения могут измениться, при этом, по-видимому, изменится содержание токсиканта в местах его действия, что в немалой степени обусловит определенный эффект совместного влияния гербицидов.

Ранее нами довольно детально было изучено перемещение атразина при одновременном его применении с 2,4-Д [3]. Поступление атразина в растение в этом случае снижалось, вследствие чего эффективность комплекса была меньше, чем при аддитивности действия этих гербицидов.

Исходя из указанного, можно было предположить, что поступление атразина, а следовательно, и его фитотоксичность, будут ограничены еще больше, если воздействие 2,4-Д на растение будет опережающим. Подобные условия могут возникать в практике применения данного гербицидного комплекса, в частности при повсходовом опрыскивании смесью 2,4-Д и атразина. 2,4-Д активно проникает через надземную часть растения и быстро оказывает гербицидное действие. Токсичность же атразина вследствие слабого проникновения через листья невелика и проявляется в полной мере будет позднее, после поступления через корни, т. е. в растениях, уже подверженных действию 2,4-Д, что не может не повлиять на содержание атразина в отдельных органах.

В нашей работе ставилась задача определить эффект совместного действия гербицидов атразина и 2,4-Д при опережающем действии последнего и проследить зависимость фитотоксичности атразина от содержания его в отдельных органах растения. О токсичности атразина, являющегося сильным ингибитором фотосинтеза, судили по поглощению обработанными растениями меченой CO_2 .

Методика

Исследования проводили в лаборатории искусственного климата Тимирязевской академии в краткосрочных вегетационных опытах. Растения выращивали в водной культуре с использованием питательной смеси Кнопа. Аналитическая часть работы выполнялась в лаборатории химических средств защиты растений и на кафедре прикладной атомной

физики и радиохимии. В качестве модельного растения была выбрана фасоль — культура, достаточно чувствительная к обоим гербицидам и быстро образующая обильную вегетативную массу. Обработку препаратами проводили во время полного формирования двух первых ярусов листьев — простых и 1-го тройчатого листа и начала разворачивания 2-го тройчатого листа. Раствор триэтаноламинной соли 2,4-Д наносили на 1-й тройчатый лист в виде локального пятна. Водную суспензию 50 % смачивающегося порошка атразина вносили в питательный раствор. В предварительных опытах по снижению массы растений были установлены эффективные дозы (ЕД), при которых угнетение растений достигало 20, 50 и 80 %. Эти дозы были соответственно для атразина 0,2; 0,6 и 1,6 мг на 1 л питательной смеси, для 2,4-Д — 34, 269 и 538 мкг на растение. Варианты обработки гербицидами были следующими: I — атразин-¹⁴C (контроль); II — 2,4-Д, 34 мкг на растение + атразин; III — 2,4-Д, 269 мкг + атразин; IV — 2,4-Д, 538 мкг + атразин.

В ходе опыта фасоль в течение 3 сут подвергали воздействию 2,4-Д в разных дозах и только после этого в питательный раствор части растений вносили меченый атразин в дозе 1,6 мг/л. Одновременно в питательный раствор другой части растений вносили обычный немеченый атразин в такой же дозе. По истечении суток эти растения 30 мин экспонировали в искусственной атмосфере с использованием индикаторных количеств меченой углекислоты. Контролем в этом случае служили растения без обработки. В сыром растительном материале определяли радиоактивность экстрагируемых этанолом ассимилятов.

Параллельно, т. е. также через 24 ч и позднее, через 72 ч, в растениях устанавливали содержание меченого атразина. Для этого навески тонко измельченной пробы наносили на металлические диски площадью 5,309 см², закрепляя этанолом и просчитывали на радиометре. При пересчете радиоактивности на единицу массы вводили поправки на фон, мертвое время счетчика и самопоглощение.

Ожидаемый суммарный эффект атразина и 2,4-Д (снижение фотосинтетической ассимиляции меченой углекислоты) рассчитывали по уравнению Говинга [10]:

$$E = x + y(100 - x)/100,$$

где x — процент снижения значения показателя (радиоактивности ассимилятов) от гербицида А (атразина); y — то же от гербицида В (2,4-Д); E — ожидаемый процент снижения от совместного воздействия А и В.

Если фактический эффект смеси выше ожидаемого, то наблюдаемое взаимодействие гербицидов является синергистическим, если меньше — антагонистическим.

Результаты исследований и их обсуждение

В контроле перемещение атразина в 1-й и 2-й тройчатые листья происходило примерно с равной интенсивностью и большей, чем в простые листья (табл. 1).

2,4-Д в больших дозах резко ограничивала поступление атразина в 1-й тройчатый лист (в 1,5—3 раза в зависимости от дозы 2,4-Д и времени экспозиции), но в простых листьях в течение первых суток гербицида накопилось даже больше, чем в контроле. Меньше тормозилось передвижение атразина и во 2-й тройчатый лист — через 72 ч концентрация гербицида в этом ярусе незначительно отличалась от контроля. Таким образом, поглощенный корнями атразин поступал главным образом в простые и 2-й тройчатый листья, минуя средний ярус листьев — место непосредственного нанесения 2,4-Д.

Содержание меченого атразина (тыс. имп/100 с на 1 г) в отдельных частях растений через 24 ч (в числителе) и 72 ч (в знаменателе)

Части растения	Варианты			
	I	II	III	IV
Простые листья	21,4	40,0	55,5	58,2
	52,3	68,5	42,6	53,6
1-й тройчатый лист	54,6	44,4	16,6	23,4
	89,3	65,2	56,1	31,3
2-й » »	61,8	79,0	16,2	56,8
	86,4	119,1	65,2	71,5
Стебель выше 1-го тройчатого листа	19,8	26,9	11,5	24,3
	28,3	38,6	31,6	26,0
Стебель до 1-го тройчатого листа	30,8	37,0	30,7	30,1
	38,4	42,0	47,6	46,5
Корень	84,0	88,3	79,2	84,3
	92,8	99,1	76,6	102,9

П р и м е ч а н и е. Деление стебля от 1-го тройчатого листа обусловлено тем, что на этот лист была нанесена 2,4-Д.

Концентрация атразина в стебле и корне при воздействии 2,4-Д изменялась незначительно.

Суммарное содержание атразина-¹⁴C в растении (табл. 2) при обработке фасоли 2,4-Д в самой низкой дозе было на 12 % выше, чем в контроле, но большие дозы 2,4-Д приводили к его снижению соответственно на 26 и 29 % (через трое суток).

По истечении суток в контроле более трети внесенного атразина обнаруживалось в корневой системе. В листьях, местах действия этого гербицида, содержание его составило 45 %.

В вариантах с 2,4-Д изменения в распределении атразина были аналогичны рассмотренным выше (табл. 1). Например, при экспозиции 72 ч содержание его в листьях в варианте с 2,4-Д (538 мкг) снижалось на 20 %. В обработанных 2,4-Д растениях (540 мкг) в первые 24 ч доля атразина, локализованного в 1-м тройчатом листе, уменьшалась до 4,5 % (в контроле 22 %), а в простых листьях увеличивалась до 19 % (в контроле 6 %).

Гербициды резко подавляли фотосинтез (табл. 3). При действии 2,4-Д в течение 4 сут суммарная радиоактивность ассимилятов значительно снижалась. Следовательно, ингибирующее действие атразина на фотосинтез осуществлялось на фоне весьма существенного фитотоксического эффекта 2,4-Д. При этом количество меченых продуктов было меньше, чем в параллельных вариантах с 2,4-Д. Наиболее сильное подавление фотосинтеза (на 82 %) наблюдалось при использовании обоих гербицидов в максимальных дозах.

Степень действия 2,4-Д на фотосинтез в листьях отдельных ярусов определялась дозой гербицида. Так, при дозе 34 мкг интенсивность фотосинтеза в листьях всех ярусов снижалась на 20—22 %, этот показатель наиболее сильно уменьшался у 1-го тройчатого листа (на 83 %) при дозе 538 мкг.

Чтобы вычленить действие атразина на фотосинтез, из общего ингибирующего эффекта смеси гербицидов вычитали эффект 2,4-Д, полученный в параллельном варианте. Несомненно, при таком расчете допускается некоторый элемент условности, что позволяет дать лишь относительную оценку фитотоксичности атразина.

Таблица 2

Распределение меченого атразина в растениях через 24 ч (в числителе)
и 72 ч (в знаменателе)

Части растения	Варианты			
	I	II	III	IV
Суммарное содержание атразина- ¹⁴ C в расчете на 10 растений, тыс. имп/100 с	$\frac{826}{1151}$	$\frac{927}{1242}$	$\frac{608}{898}$	$\frac{786}{821}$
% от суммарной радиоактивности	45,5	45,8	Не опр.	40,9
Листья	54,2	52,6	48,9	34,3
В т. ч.:				
простые листья	$\frac{6,3}{11,0}$	$\frac{10,5}{13,4}$	$\frac{\text{Не опр.}}{11,5}$	$\frac{18,9}{14,2}$
1-й тройчатый	$\frac{22,4}{26,3}$	$\frac{16,2}{17,7}$	$\frac{\text{Не опр.}}{21,1}$	$\frac{4,5}{4,5}$
2-й »	$\frac{16,8}{16,9}$	$\frac{19,1}{21,5}$	$\frac{17,5}{16,3}$	$\frac{17,5}{15,6}$
Стебель	$\frac{18,2}{17,0}$	$\frac{20,2}{18,6}$	$\frac{\text{Не опр.}}{20,5}$	$\frac{21,5}{21,7}$
Корень	$\frac{36,3}{28,8}$	$\frac{34,0}{28,8}$	$\frac{\text{Не опр.}}{30,6}$	$\frac{37,6}{43,9}$

При совместном применении гербицидов эффект, обусловленный действием атразина, варьировал в зависимости от дозы 2,4-Д и яруса листьев. Он был тем выше, чем меньше доза 2,4-Д.

Из сопоставления фактического действия смеси 2,4-Д и атразина на фотосинтетическую деятельность растения (E_{ϕ}) с ожидаемым эффектом (E_T), рассчитанным по суммарной радиоактивности растения и содержанию ассимилятов в листьях отдельных ярусов, видно, что при временном разрыве воздействия гербицидов проявляется антагонизм между ними (табл. 4).

Снижение суммарной радиоактивности ассимилятов при комплексном применении гербицидов было меньше, чем в случае простого суммирования их токсического действия.

Эффект антагонизма зависел от дозы 2,4-Д и яруса листьев. Силь-

Таблица 3

Содержание меченых ассимилятов в растениях (тыс. имп/100 с на 1 г),
обработанных 2,4-Д (в числителе) и 2,4-Д+атразин (в знаменателе)

Радиоактивность	Контроль (без обработки)	Атразин, 1,6 мг/л	2,4-Д, мкг на растение		
			34	269	538
Суммарная	16300,0	4500,0	$\frac{12600,0}{4800,0}$	$\frac{6900,0}{4600,0}$	$\frac{6900,0}{2900,0}$
В т. ч.:					
в простых листьях	926,2	537,0	$\frac{745,0}{269,8}$	$\frac{534,9}{412,6}$	$\frac{693,9}{333,7}$
в 1-м тройчатом листе	980,0	109,8	$\frac{759,1}{379,7}$	$\frac{420,0}{266,1}$	$\frac{168,1}{126,0}$
во 2-м тройчатом листе	893,6	257,2	$\frac{639,6}{147,6}$	$\frac{503,1}{321,7}$	$\frac{769,6}{178,5}$

Характер совместного действия атразина и 2,4-Д
по содержанию меченых продуктов фотосинтеза в растении

Показатели	В целом растении	В простых листьях	В 1-м трой- чатом	Во 2-м трой- чатом
Ингибирующий эффект, % к контролю:				
E_T	$\frac{78,9}{88,5}$	$\frac{53,4}{66,5}$	$\frac{91,3}{96,2}$	$\frac{77,6}{87,7}$
E_F	$\frac{70,7}{71,7}$	$\frac{70,9}{55,5}$	$\frac{61,3}{78,4}$	$\frac{83,5}{72,6}$
Эффект взаимодействия*	$\frac{-8,9}{-16,8}$	$\frac{+17,5}{+11,0}$	$\frac{-30,0}{-17,8}$	$\frac{+5,9}{-15,1}$

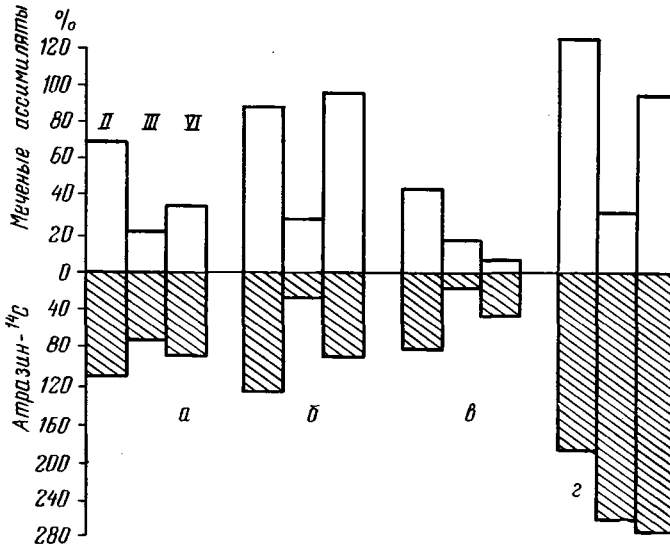
* Антагонизм (—), синергизм (+).

Примечание. В числителе по варианту 2,4-Д, 34 мкг+атразин, 1,6 мг/л; в знаменателе — 2,4-Д, 269 мкг+атразин, 1,6 мг/л.

нее всего он проявлялся в варианте, где доза 2,4-Д составляла 538 мкг на растение. Как правило, в 1-м тройчатом листе, на который наносилась 2,4-Д, этот эффект увеличивался (E_F меньше E_T на 18—30 %). В то же время если судить по снижению количества меченых ассимилятов в простых и 2-м тройчатом листьях, то использование 2,4-Д в минимальной дозе давало некоторый синергитический эффект.

Взаимосвязь между поступлением атразина и его фитотоксичностью достаточно четко видна на рисунке. Ингибирование фотосинтеза атразином в вариантах совместного действия гербицидов было минимальным в варианте с предварительной обработкой 2,4-Д в дозе 269 мкг. Поступление атразина в растения в этом варианте также было наименьшим.

2,4-Д в дозе 34 мкг на растение, напротив, не снижая поступления атразина, а даже несколько стимулируя его, обеспечивала высокую сте-



Содержание атразина- ^{14}C и снижение количества меченых ассимилятов, выраженное в процентах к соответствующим показателям в контроле с одним атразином. Экспозиция 24 ч. II, III и IV — дозы 2,4-Д соответственно 34; 269 и 538 мкг на растение; а — в сумме на растение; б — во 2-м тройчатом листе; в — в 3-м тройчатом листе; г — в простых листьях.

пень угнетения фотосинтеза: в простых листьях количество меченых ассимилятов снижалось на 122 % по сравнению с вариантом, где применялся только атразин, во 2-м тройчатом листе — на 86 %.

Доза 538 мкг, оказывая сильное локальное действие на 1-й тройчатый лист, практически исключала поступление в него атразина. В результате этого основная часть поглощенного атразина поступала в простые и 2-й тройчатый листья, и ингибирование фотосинтеза в них под действием этого гербицида было почти таким же, как и в контроле (92,5 % в простых листьях и 92,9 % во 2-м тройчатом листе).

Таким образом, в результате воздействия 2,4-Д на растение как в случае одновременного применения с атразином, так и при предварительной обработке последним тормозилось поступление атразина в растение и изменялось его распределение. Наиболее сильно снижалось его содержание в листьях — органах, ответственных за фотосинтез, что может служить одной из причин снижения фитотоксичности и, следовательно, антагонистического характера совместного действия атразина и 2,4-Д.

Причины такого явления могут быть различными. Рассмотрим некоторые из них. Известно, что 2,4-Д обладает способностью быстро замедлять поглощение питательных веществ и их передвижение по растению. Так, в опытах с отрезками корней пшеницы [12] было впервые показано резкое ингибирование поглощения нитратов при добавлении в инкубационную среду 2,4-Д. Высказано предположение, что это происходит вследствие разобщения окислительного фосфорилирования, обусловленного действием 2,4-Д. Позднее другими исследователями [5, 9] было установлено торможение поглощения и передвижения других элементов питания. Замедленное поглощение глицина корнями, по мнению Райта [13], происходит вследствие ингибирующего действия 2,4-Д на реакции окислительного фосфорилирования. К такому же выводу пришли и другие исследователи [1], установившие снижение поглотительной способности корней пшеницы после обработки растений 2,4-Д.

Однако наблюдаемое нами в случае применения 2,4-Д незначительное изменение содержания атразина в корне и стебле (до 1-го тройчатого листа) при резком его уменьшении в листьях позволяет предположить, что снижение уровня энергетического обмена не является единственной причиной ограничения поступления препарата в надземную часть растения.

В ряде исследований [4, 6, 7] отмечалось ингибирующее влияние 2,4-Д на транспирацию растений. Так, этот процесс у фасоли уже через 24 ч был подавлен на 46 % [7]. В то же время известно, что поступление атразина в растение происходит с транспирационным током; тесная корреляция между интенсивностью транспирации и накоплением гербицида в растении показана экспериментальным путем [8, 11]. Следовательно, 2,4-Д, снижая интенсивность транспирации, отрицательно влияет на поступление атразина в листья растений.

Нарушение процессов окислительного фосфорилирования и транспирации является общим для большинства чувствительных к 2,4-Д культур. Поэтому надо полагать, что у растений других видов 2,4-Д будет оказывать аналогичное влияние на передвижение атразина и, следовательно, на его эффективность.

Выводы

1. В результате предварительной обработки фасоли 2,4-Д изменялись последующее передвижение и распределение атразина. Применение 2,4-Д в минимальной дозе (34 мкг) стимулировало поступление атразина в растение. При использовании 2,4-Д в больших концентрациях оно

снижалось на 26—29 %. Наблюдалось перераспределение атразина между ярусами листьев.

2. Совместное применение гербицидов оказывало сильное ингибирующее влияние на фотосинтез. Эффект от атразина при комплексном применении был тем выше, чем меньше была предварительная доза 2,4-Д.

3. Анализ характера взаимодействия гербицидов по снижению фотосинтетической ассимиляции меченой углекислоты показал, что комплексное действие 2,4-Д и атразина на этот процесс было меньше, чем можно ожидать при простом суммировании эффектов каждого из них.

4. Установлена зависимость между содержанием атразина в растении и его фитотоксичностью. Предварительная обработка растений 2,4-Д снижает поступление атразина и его токсичность, что может служить существенной причиной ослабления эффекта совместного действия гербицидов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брянцева З. Н., Калашникова А. П. Влияние поверхностно-введенной 2,4-Д на физиологическую деятельность корневой системы пшеницы. — В сб.: Физиологически активные вещества и их применение в растениеводстве. Вильнюс: Минтис, 1965, с. 51—55. — 2. Груздев Г. С., Калинин В. А. Действие смесей гербицидов (2,4-Д с атразином) на сорняки в посевах кукурузы. — Химия в сельск. хоз-ве, 1967, № 5, с. 31—35. — 3. Дорожкина Л. А., Калинин В. А., Кузьминская В. А., Гбианза Т. А. Характер взаимодействия атразина и 2,4-Д в растениях фасоли. Поглощение, передвижение и локализация атразина-¹⁴С. — Химия в сельск. хоз-ве, 1974, № 2, с. 47—50. — 4. Ладонин В. Ф. Эффективность гербицидов в системе мер борьбы с сорняками. — Тр. ВИУА, 1962, вып. 39, с. 205—211. — 5. Лихолат Т. В. Влияние 2,4-Д на поглощение и использование питательных веществ растениями разных систематических групп. — Химия в сельск. хоз-ве, 1967, № 4, с. 31—35. — 6. Мелехов Е. И. Влияние 2,4-Д на проводимость корней, поглощение воды и транспирацию. — Физиология растений, 1979, т. 26, вып. 5, с. 1001—1006. — 7. Ракитин Ю. В., Потапова А. Д. Влияние 2,4-Д и хлор-ИФК на транспирацию и некоторые коллоидные свойства протоплазмы. — Докл. АН БССР, 1959, т. 126, № 3. 8. Сабурова П. В., Петунова А. А. К вопросу о физиолого-биохимических причинах избирательного действия гербицида симазина (2-хлор-4,6-бис-этиламино-симм-триазин). — Докл. АН СССР, 1965, т. 160, № 5, с. 1215—1217. — 9. Cooke A. R. — Weeds, 1957, vol. 1, N 1, p. 25—28. — 10. Gowing D. P. — Weeds, 1959, vol. 7, N 1, p. 66—76. — 11. Leonard O. A., Lieder L. A., Glenn R. K. — Weed Res., 1966, vol. 6, N 1, p. 37—49. — 12. Nance L. F. — Sci., 1949, vol. 109, N 2825, p. 174—176. — 13. Wright D. E. — Nature, 1961, vol. 192, N 4807, p. 1044—1045.

Статья поступила 11 февраля 1981 г.

SUMMARY

It is established in pot experiments with three-week plants that minimum dose of 2,4-D (34 μg per plant) stimulates atrazine coming into a plant. At high concentrations of the preparation the amount of atrazine decreased, and the herbicide was redistributed among the leaf stories. The combined effect of 2,4-D and atrazine on photosynthesis proved to be lower than it could be expected if the effects of each of them were simply summarized. The preceding treatment of plants with 2,4-D reduces the amount of atrazine coming into plants and influences the degree of its toxicity, which may be an essential reason of lower combined effect of the herbicides.