

除 草 剤 に お け る 薬 害

農業研究センター企画連絡室主任研究官 行本峰子

は じ め に

除草剤は、作物と同じ植物に属する雑草を枯らすための農薬であるので、殺虫剤や殺菌剤に比べて薬害の危険性は大きいといえる。そこで、作物には安全に雑草のみを枯らすため、製剤の改良、処理法の工夫がなされている。すなわち、作物と雑草の間に本質的な選択性、たとえば雑草にはない解毒酵素を作物は持っているというような選択性がない場合は、両者の位置のちがい、生育ステージのちがいなどを利用して選択性を見出し、実用化している。このように、農耕地で使用される除草剤には、何らかの選択性がなければならないが、作物の除草剤に対する感受性は栽培条件や環境条件によって変動するために、時にこれら選択性の幅が小さくなり、作物に薬害を起こすことになる。

以下に、薬害事例、薬害が起こる条件等を、水田・畑地・樹園地にわけて述べ、最後に薬害軽減の試みについてふれたい。

1. 水田除草剤による稲の薬害

水田除草剤は、処理時期によって、初期剤・中期剤・後期剤に分けられている。それぞれの時期によって、薬害の原因には特徴が見られる。

初期剤の場合は、イネ苗が小さいうえに、田植え直後で活着が十分でない時期に処理されるため、水田の水管理や土壌条件、浅植えなどが薬害の発現に影響する。この時期に使用される

除草剤は、イネに対する作用性は弱いものが多いが、ジフェニルエーテル系除草剤による葉鞘褐変、アセトアニライド系除草剤による生育抑制などがある。中後期になると、イネのステージが進み、除草剤に対する感受性は低下するが、高温による薬害などが見られることがある。

1) 土壌中での除草剤の移動による薬害

初期剤といわれている除草剤は、一般に、代かき後濁り水の時期あるいは田植え後湛水してから散布されるが、水に分散した後、土壌表面に処理層が形成される。土壌表面に位置する雑草は発生を抑えられるが、イネは根部が処理層より下方にあるので影響を受けにくいということになる。ところが、土壌の条件や漏水の程度によっては、除草剤が下方へ移動し、イネの根部に影響を与えるようになる。浅植えの場合はこの影響が著しい。主な水田用除草剤の水溶解度を表1に示した。水に溶けやすい除草剤は下方へ移動しやすい傾向があるので、初期剤として用いられている除草剤のうち、比較的水に溶けやすい除草剤では、有機物含量が少なく、吸着の少ない土壌で縦浸透の大きい水田の場合、下方移動による薬害の注意が必要である。このような薬害の例として、アセトアニライド系除草剤があるが、この場合、薬剤が根部から吸収され、生育抑制を起こす。土壌中での下方移動による薬害は、中期剤の場合でも同様であるが、イネの生育が進んでいるため、この種の薬害は

表 1. 主な水田用除草剤の水溶解度

除 草 剤	水 溶 解 度 (ppm)
オキサジアゾン	0.7
クロメトキシニル	0.3
シメトリン	450
ダイムロン	1.7
ナプロアニリド	0.74
ビフェノックス	0.35
ピペロホス	12 ~ 15
ピラゾレート	0.056
ブタクロール	20
プレチラクロール	50
ペンタゾン	500
ベンチオカーブ	30
モリネート	900
C N P	不 溶
D B N	18
D C P A	225
M C P B	44

富沢・上路(1982), 最新農薬データブック(ソフトサイエンス社)による。

少ないといえる。

2) 高温による薬害

中期剤の例として、シメトリンによる葉先枯れがある。シメトリンは比較的作用性の強い除草剤で、イネ苗が若い時には薬害のため使用できず、中期以降に散布することになっているが、軟弱苗の条件に高温が重なったりすると薬害が起こることがある。シメトリンを含むトリアジン系除草剤の温度反応とイネの生育程度の関係については以下のようなものである。すなわち、最高気温が28度前後の場合、移植5日後の処理では薬害がみられるが、およそ10日後、移植時より2葉以上増加してからの処理では薬害はほとんどみられなくなる。一方、最高気温が30度以上になると、移植10日後の処理でも薬害がみられ、15日経過して、移植時より4葉以上増加してからの処理で薬害がみられなくなるということがわかった(金山ら, 1977)。イネ茎葉へのシメトリンの吸収量と薬害の関係について、佐合ら(1981)は、イネ茎葉へのシメトリンの吸収量

は、葉枯れの生じやすい下位葉に多いこと、また表2に示すように、葉枯れの程度(乾物重の

表 2. 温湿度条件を変えた場合のシメトリンの水稲に対する影響 (佐合ら, 1981)

温湿度条件	乾物重 (g/株)		対無処理比
	処 理	無 処 理	
高温 高湿	3.89	4.14	94 %
高温 低湿	3.29	4.41	75
低温 低湿	2.63	3.49	76

減少)は温度条件よりも湿度条件に影響され、低湿条件で薬害が大きく、同時にシメトリンの吸収量も低湿条件で大きいことを報告している。すなわち急激な温度の上昇により、蒸散がさかんにになり、シメトリンの吸収量が増すことが薬害の一原因であり、特に若い苗、軟弱苗では代謝が低下するために薬害が助長されると推定される。

3) 低温による薬害

低温の場合、MCP, MCPBなどホルモン系除草剤によって筒状葉が生ずることがある。イネの生育が停止するような温度、すなわち平均気温が15度前後の状態が3日間位続くような時、このような薬害が起こる。また、イネのステージとも関係があり、薬剤処理時に6葉期以降のイネでは筒状葉の発現は少なくなる。

4) 変化物による薬害

水田に散布された除草剤は、イネに吸収されて代謝されるもの、縦方向あるいは横方向への移動による流亡、蒸発、光分解、土壤吸着、土壤中の微生物による代謝などの作用を受けて減少していく。このうち、土壤中の微生物による代謝は、土壤の条件によって様々であり、場合によっては薬害を起こす物質が生成されることがある。ベンチオカーブの脱クロル化合物によるイネのわい化がこの例である。生わらの多量

施用等による強還元状態では、微生物相が好気的条件とは異なり、代謝物の生成も異なる。嫌気性の細菌によるものと推定されているが、微生物種は同定されていない。薬害軽減剤を添加した製剤が開発されて以来、このようなわい化症状はみられなくなった。

5) 田面水からの蒸発による隣接作物への薬害

イネに対する薬害ではなく、水田に散布した除草剤が蒸発して、隣接するキュウリなどの作物に薬害を起こした例で、当時、殺虫剤か殺菌剤による薬害、あるいは、これら農薬の散布に用いた水が原因ではないかなど水田除草剤との因果関係がなかなかつかめなかった事例である。この事例では、モリネートまたはベンチオカーブにシメトリンまたはシメトリンとMCPBを混合した製剤が問題となったが、蒸気圧が高く、水溶解度が小さい場合に水中からの蒸発が大きくなり、このような薬害に対して注意が必要である。

2. 畑作用除草剤による薬害

麦類・豆類など一般に畑作物といわれているもの、あるいは野菜などを含めた畑地を考えると、作物の種類が多く、栽培法・作期などが一律ではないために、除草剤の処理法は非常に多様である。それぞれの状況に応じて除草剤の選択、処理法を選ばなければならない。したがって、畑作の場面では、水田に比べ薬害の危険は大きいといえる。

1) 作物の栽培条件と薬害

同じ作物であっても、作物の品種、栽培法などが異なると薬害が起こることがある。品種に関しては、サツマイモやインゲンマメがアラクロールに対して品種間差があることが知られており、アメリカでは大豆の品種数百種を用いてベンタゾンに対する感受性を調べ、品種間差を

明らかにした試験例(Waxら, 1974)、日本でも、187種の品種のうち「みさお」、「新2号」がベンタゾンに対して感受性が高かったという報告(御子柴, 1978)がある。

作物のステージは薬害の発現と関係があり、一般に幼苗や新芽の時期では感受性が高いと考えられている。しかし、土壌処理除草剤の場合は、処理時期が作物の播種直後または移植直後であるものが多く、この両者の比較ということになると、移植栽培の場合は、雑草に比べ作物はある程度生育が進んでいるために薬剤に対して抵抗性があるが、直播栽培の場合では、両者に生育の差がないので、薬害が起こりやすいといえる。直播栽培では、覆土の厚さが薬害の発現と関係があるので、覆土深を一定にしなければならないなどの注意が必要である。雑草の茎葉に散布する、いわゆる茎葉処理剤の場合は、作物の生育期に散布するので、感受性の高い時期を避けるなど注意が必要である。

2) 土壌条件と薬害

畑作の場合、土壌の種類すなわち粘土鉱物の種類、砂質土かどうか、有機物含量等、水分含量、砕土の程度などが薬害と関係がある。粘土鉱物の種類、有機物含量については、水田の場合と同様で、粘土含量、特にモンモリロナイト、アロフェン等吸着しやすい粘土鉱物の含有量、腐植含量が多い土壌ほど薬害は起こりにくいといえる。畑地では、水田のように湛水していないので、水による緩衝作用がなく、均一に散布できなかったという状況は、そのまま効果不足、薬害という結果につながることになる。均一散布するためには、ある程度細かく砕土する必要がある。また土壌の水分含量も影響する。

3) 相互作用による薬害

近接散布、同時施用などの場合、農薬が相互

に作用し合って薬害を起こすことがある。DCPA除草剤と有機りん剤やカーバメート系の殺虫剤との近接散布によるイネの薬害が有名であるが、このほかにも同様の薬害例がある。メトリブジンは諸外国ではトマト畑に用いられているが、NACやマラソンとの近接散布により薬害が生ずることが知られている。原因として、これらの殺虫剤がメトリブジンの解毒を抑えるためと推定されており、上に述べたDCPAの場合と類似している。ベンタゾンと有機りん剤の近接散布によるダイズの薬害の場合も同様である。これと異なる例として、これも日本では使われていない除草剤であるが、ethofumesate (図1) をタマネギに散布した場合、あ

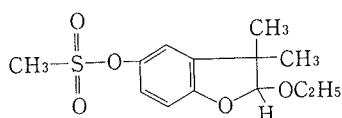


図1. ethofumesate の化学構造

とから散布する除草剤の薬害を大きくすることが知られている。電子顕微鏡による観察結果、タマネギ体内への除草剤の侵入の程度、などの研究結果から、ethofumesate 処理によってタマネギ苗のエピクチクラワックスの沈着が阻害され、あとから散布した除草剤の侵入量が増加するための薬害であることが推定されている。

このように、農薬が相互に作用して薬害が起る場合、一方の農薬が他方の解毒を抑制するか、あるいは、一方の農薬（先に散布した農薬）が作物の浸透性に影響を与え、後から散布する農薬の作物体への侵入量を増加させることが原因である。

3. 樹園地における薬害

果樹園をはじめ、茶・桑などの樹園地では、

一般の畑地と異なり、作物が比較的大型であり、永年性である。また、除草剤を使う目的についても、雑草を完全になくすことだけでなく、草刈り代用もある。前者の場合は、土壌処理が主となり、連年使用による蓄積害が問題となる。一方、後者では雑草茎葉処理が主となり、ドリフトによる薬害が考えられる。ドリフトによる薬害では、果樹などの作物だけでなく、周辺の生け垣や防風樹に対する薬害にも注意が必要である。このほか、土壌処理した除草剤が蒸発し、果樹の新芽に薬害が生じた例がある。

4. 薬害回避対策

以上、条件の異なる場面ごとに薬害例をあげた。薬害を起こさないためには、使用上の注意を守することはもちろんであるが、一方、製剤改良、散布方法の改良も行なわれている。その一つとして、薬害軽減剤の開発があり、トウモロコシに対するEPTCなどの薬害軽減剤として、R-25788 (図2)、NA (図3) などが知ら

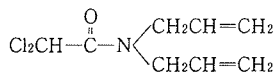


図2. R-25788 の化学構造

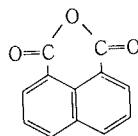


図3. NAの化学構造

れている。NAは、ジニトロアニリン系除草剤によるコムギの薬害に対しても軽減効果が見出されている。また、クロロアセトアニリド系除草剤によるイネ科作物の薬害に対しては、CGA-43089 (cyometrinil) が軽減効果がある (Ellis ら, 1980)。これらはいずれも解毒剤 (antidote) といわれるもので、作物

体内で薬害作用のある物質を解毒すると考えられている。現在開発中の除草剤であるDPX-F 5384 (bensulfuron methyl) のイネに対する薬害は、やはり除草剤であるベンチオカーブやMY-93 (ジメピペレート) との同時処理によって軽減されることがわかり、これは、これらのチオカーバメート系除草剤がイネ体でのDPX-F 5384 の代謝を促進するためと推定されている(湯山ら, 1986) が、同様に解毒剤の例と考えられる。

このほかに作物の生理活性を高め、結果的に薬害を軽減すると考えられる例として、ブラシノライドがあげられる。ブラシノライドは西洋アブラナから見出された植物ホルモンの一種で、移植前のイネ苗に吸収させることにより、本田でのアセトアニライド系あるいはシメトリン除草剤による薬害を軽減する作用がある。ブラシノライドには、耐病性、耐寒性などの効果も確認されており、薬害も含め、ストレス耐性の賦与の可能性も考えられる。

お わ り に

薬害を回避する対策の一つでもある最近の話題を紹介しておわりとしたい。除草剤の耐性については、すでにパラコートに耐性のあるハルジオンが見出されており、その当時すでにバイオテクノロジーの技術を用いてパラコート耐性の作物を作出する可能性が示唆されていた。このように除草剤に耐性の因子を作物に導入し、除草剤に耐性のある作物を作出する試みが実際に行なわれるようになった。いずれも外国の例であるが、培養細胞の選抜によって耐性のある作物を作出した例として、スルファニルウレア系除草剤に耐性のあるタバコ、imidazolinone 類に耐性のあるトウモロコシの例がある。また、サルモネラ菌から分離した、グリフォサート耐性の遺伝子をベクターに組みこみ、アグロバクテリウムを介してタバコの葉に導入し、耐性の植物を作出した例もある。これらはまだ実験段階であるが、近い将来、除草剤に耐性のある種子とその除草剤がセットで販売されるようになるかも知れない。

参 考 文 献

- 1) Ellis, J.F., J.W. Peek, J. Boehle, Jr., & G. Muller (1980), *Weed Sci.* 28 : 1 ~ 5.
- 2) 金山 拡・江口末馬・宮原益次(1977), 雑草研究 22 別号 : 132 ~ 134.
- 3) 御子柴公人(1978), 植調 12 (4) : 24 ~ 28.
- 4) 佐合隆一・田中文隆・西 静雄(1981), 雑草研究 26 : 243 ~ 248.
- 5) Wax, L.M., R.L. Bernard, & R.M. Hayes (1974), *Weed Sci.* 22 : 35 ~ 41.
- 6) 湯山 猛・P.B. Sweetser・R.C. Ackerson・武田俊司(1986), 雑草研究 31 別号 : 101 ~ 102.