砂壤土水田における土壌処理型除草剤の水稻に及ぼす 形態的影響解明と適正使用に関する研究

藤田 究*

キーワード：砂壤土水田，除草剤，水稻，形態的影響，薬害

Key words : sandy loam paddy field, herbicide, rice, morphological effect, phytotoxicity

水稻作における除草剤による雑草防除は、2,4-PAの開発に始まり、殺草スペクトルの拡大や剤型の改良等によって、この半世紀の間にめざましい発展をとげ、除草に要する労力は格段に低減された。しかし除草剤の使用条件によっては、水稻と雑草間の選択性幅が小さくなって薬害が発生することがあり、その条件の一つとして土壌条件があげられる。香川県は砂壤土水田、特に下層に礫がある透水性の大きい土壌統が多いが、このような水田においては除草剤による薬害が発生しやすい。これに加えて除草剤散布後の気象条件（梅雨明け後の高温、多照）等が重なり、県下の水田において薬害が発生することがある。

一方、除草剤によって薬害を受けた水稻はいかなる生育経過をたどり、また個体形態レベルにおいてどのような変化が生ずるのかについて、形態形成の観点から数量的に捉えた詳細な検討はあまり行われていない。そこで、本研究では除草剤の薬害が発生しやすい砂壤土水田において薬害回避面から見た適正使用法の確立を目的として、その基礎になると考えられる土壌処理型除草剤が水稻に及ぼす形態的影響について検討したものである。

本研究の遂行及び取りまとめに当たり、佐賀大学海浜台地生物生産研究センター教授芝山秀次郎博士に終始懇切なご教示とご指導を賜った。また、本研究の端緒を示された萩森福督氏（前香川県農業試験場主席研究員）をはじめ、農林水産省中国農業試験場及び香川県農業試験場の方々に多大なご指導とご協力を頂き、関係農薬会社からは供試薬剤の提供を頂いた。ここに記して心から感謝申し上げます。

1. ベンスルフロンメチルが水稻に及ぼす形態的影響及びジメピペレートの影響軽減効果

水稻稚苗の移植5～6日後に処理したベンスルフロンメチルが茎葉部や根部に及ぼす形態的影響及びジメピペレートの影響軽減効果について、苗の植付深度、土壌の種類及び処理薬量を変えて検討した。なお、根の調査は主茎の冠根を対象とし、川田ら⁸⁾の要素の考え方（第1図）に従って要素根別に分けた上で、根数や根長の測定及び形態観察等を行った。

第1図 水稻における要素の考え方の模式図

注) 第N葉の抽出期に第(N-3)要素の上位根及び下位根がおおよそ同時期に発生する。
(川田ら⁸⁾より作成)

* 香川県農林水産部農業経営課専門技術員室
〒761-8031 香川県高松市郷東町587-1
Kiwamu Fujita: Studies on morphological effects of
soil application herbicides on rice plant and its
proper use on sandy loam paddy field. Branch
Office of Agricultural Management Division, Agriculture,
Forestry and Fisheries Department, Kagawa Prefectural Government, 587-1 Goto, Takamatsu, Kagawa, 761-8031, Japan
(2000年6月5日受理)

1) ペンスルフロンメチルによる形態的影響

茎葉部においては処理後に生長する葉身と葉鞘の伸長抑制、葉幅の狭化及び分げつの形成抑制等の生育抑制が観察された。また根部については、処理後に発生する要素の冠根において極端に短い伸長停止根(第2図)⁵⁾や正常根に比べてかなり短い伸長抑制根が観察された(第3図)⁶⁾。

2) 苗の植付深度⁵⁾

苗の植付深度を1 cm, 0 cm, 0 cm(浮根)の3種類に変えた場合、浅植とするほどペンスルフロンメチル処理による生育抑制が強く現れ、葉の伸長抑制、分げつの形成抑制及び冠根の伸長停止根等の形態異常根の発現が見られた。なお、0 cm(浮根)とは土壌表面に苗を置くだけとし、根が露出した状態としたが、根を土壌に埋没させた0 cm植よりも形態異常が強く現れた。

3) 土壌の種類⁶⁾

埴壤土(中国農試水田土壌)、川砂混合土(埴壤土：川砂=1:1に混合)及び砂壤土(香川農試水田土壌)の3種類の土壌を供試して検討した。水稻の茎葉部に対する影響については、塩基置換容量(CEC)が低く、粘土含量の少ない川砂混合土と砂壤土では、埴壤土に比べてペンスルフロンメチル処理による葉

身及び葉鞘の伸長抑制(第4図)及び分げつの出現遅延(第5図)等の生育抑制が強く現れた。根部の生育に対する影響についても同様であり、埴壤土よりも砂壤土の方が処理直後に出根する要素根において伸長停止根の発現が多く、1要素当たりの冠根数の減少が見られた(第6図)。

4) 処理薬量⁶⁾

埴壤土条件において、標準薬量の300g/aと倍量の600g/aを処理した場合、高薬量区では茎葉部及び根部共に生育抑制及び形態的影響が強く現れており、その程度は茎葉部では川砂混合土300g/a処理とほぼ同等であり、根部では1要素当たり発根数の減少が著しかった(第4～6図)。

第2図 ペンスルフロンメチル処理によって生じた形態異常根(伸長停止根)

注1) 処理14日後、第5要素下位根

2) 1987年稚苗移植、角ポット試験、埴壤土、移植5日後300g/a(製品量)処理

無処理 ペンスルフロンメチル・ジメピペレート ペンスルフロンメチル

第3図 ペンスルフロンメチルとそのジメピペレート混合剤の処理後28日目における第5要素上位根の形態的様相

注) 1987年稚苗移植、1/5000ワグネルポット試験、埴壤土、移植6日後300g/a(製品量)処理

第4図 除草剤処理が葉位別葉身長、葉鞘長及び葉幅に及ぼす影響（対無処理区比）

- 注1) ペンスルフロンメチル・ジメピペレート●: 300g/a, ○: 600g/a
 ペンスルフロンメチル▲: 300g/a, △: 600g/a
 ジメピペレート■: 300g/a, □: 600g/a
- 2) 1987年稚苗移植, 1/5000a ワグネルポット試験
 植付深度 0 cm, 移植 6 日後処理

第5図 除草剤処理が葉位別1次分げつ出現に及ぼす影響（対無処理区の日数差）

注) 凡例及び試験条件は第4図と同じ

5) ジメピペレート の薬害軽減効果

ベンスルフロンメチルにジメピペレートを混合して処理することによって、植付深度、土壌の種類及び処理薬量を変えたいずれの条件においても茎葉部及び根部の生育抑制程度が小さくなっており、顕著な薬害軽減効果が認められた(第3～6図)^{5,6)}。

2. フェノチオール・シメトリンが水稻に及ぼす形態的影響及びジメピペレート の薬害軽減効果⁷⁾

水稻稚苗の移植21日後に処理したフェノチオール・シメトリンが茎葉部や根部に及ぼす形態的影響及びジメピペレート の薬害軽減効果について、土壌の種類及び処理薬量を変えて検討した。

1) フェノチオール・シメトリンによる形態的影響

第6図 除草剤処理が主茎の要素別根数及び根長に及ぼす影響

注1) S: 種子根, 1～8: 要素番号, U: 上位根, L: 下位根

2) 試験条件は第4図と同じ。

茎葉部においては、試験条件の範囲内では株が開張した以外は明らかな薬害症状は観察されなかった。根部においては、種々の形態異常が現れ、処理時にすでに伸長していた要素根ではねじれや屈曲を起こす根(第7図①)、根の途中が変形していびつになる根(同②)が観察され、また処理直後に出根する要素根では冠根基部の肥大とともに著しく伸長が抑制される根(同③)、その後発生する要素根では冠根長はほぼ正常であるが、基部が肥大する根(同④)等が観察された。

2) 土壌の種類

埴壤土、川砂混合土及び砂壤土の3種類の土壌について検討した結果、フェノチオール・シメトリン処理による根部に対する影響は、埴壤土よりも川砂混合土及び砂壤土の方が強く現れており、形態異常

第7図 フェノチオール・シメトリン処理によって生じた種々の形態異常根

- ①ねじれ・屈曲根 (第7要素上位根)
- ②基部いびつ根 (第7要素下位根)
- ③基部が肥大した伸長抑制根 (第8要素下位根)
- ④基部肥大根 (右) と正常根 (左) (第9要素下位根)

注1) 図中のスケールは1cm

2) 1987年稚苗移植, 1/5000a フグネルポット試験, 埴壤土
移植21日後600g/a (製品量) 処理

根数が多かった。

3) 処理薬量

埴壤土条件において標準薬量の300g/aと倍量の600g/aを処理した場合、高薬量の方が株の開張角度が大きくなり、冠根の形態異常もかなり強く現れた。

4) ジメピペレート の薬害軽減効果

フェノチオール・シメトリンにジメピペレートを混合処理することによる薬害軽減効果は、形態異常根の根数及びその程度から判断すると、若干ではあるが認められた。

3. 土壌処理型除草剤が水稻乳苗に及ぼす形態的影響¹⁾

近年、新たな低コスト栽培法である乳苗移植栽培が開発・普及されつつあるが、水稻用除草剤の使用基準は基本的に稚苗移植栽培で検討されたものである。そこで、育苗日数7日程度で稚苗より約1葉若齢である乳苗に対する適用性を知るため、稚苗移植栽培で使用されている土壌処理型除草剤が乳苗に及ぼす影響を検討した。

乳苗は播種7日後で草丈約6cm、葉齢2.1(不完全葉を第1葉とする、以下同様)、稚苗は播種21日後、草丈約13cm、葉齢3.3のものをを用い、各除草剤の使用基準における処理早限の時期に処理した。ピラゾレートでは乳苗、稚苗共に薬害はほとんど認められなかったが、CNP等の褐変型の薬害症状を示す除草剤では、乳苗が稚苗よりも褐変症状の発現程度が大きかった。また、酸アミド系のブタクロール、プレチラクロールやスルホニルウレア系除草剤を含む混合剤では、草丈の伸長や分げつ形成の抑制等の症状が現れたが、それらの程度は稚苗より乳苗の方が明らかに大きかった。葉位別の葉の伸長抑制は、乳苗は稚苗に比べて発現の葉位がおおよそ1葉低く、その抑制程度は大きかった。

根部においては、除草剤処理によって冠根の伸長抑制や基部がいびつになる等の形態異常が観察され、それらの形成率は乳苗の方が稚苗よりも高かった(第1表)。また冠根数の減少及び冠根の伸長抑制は、乳苗では稚苗よりもより低位の要素根から発現しており、その程度も大きかった¹⁾。

また乳苗の育苗日数を変えた場合、育苗日数が短いほど除草剤による影響は大きくなり、育苗日数を長くするほど影響は小さくなった。さらに除草剤の処理時期を遅くすることによって影響は小さくなった²⁾。

これらのことから、乳苗に対する除草剤の影響が大きかったのは、乳苗が稚苗より約1葉若齢であること、戸外での硬化が行われないため茎葉部が軟弱であること、草丈が短く小型であること等から、生理的、形態的な違いに基づいて発現する除草剤の選択性が低下したためと考えられる。

第 1 表 除草剤処理による形態異常根形成率の乳苗と稚苗の比較

供試薬剤	苗の 種類	処理時期 (移植後日数)	主茎の形態異常根形成率%				株当たり全形 態異常根形 成率%
			伸長 停止	伸長 抑制	基 部 いびつ	計	
ピラゾレート粒剤	乳	+ 1	0	3	0	3	2
	稚		0	1	0	1	0
ブタクロール粒剤	乳	+ 3	7	2	54	63	48
	稚		1	2	34	37	24
プレチラクロール粒剤	乳	+ 3	18	16	29	61	46
	稚		5	8	31	45	28
ベンスルフロンメチル・ジメピペ レート粒剤	乳	+ 5	3	1	0	4	2
	稚		0	1	0	1	0
ベンスルフロンメチル・ベンチオ カーブ・メフェナセット粒剤	乳	+ 5	22	22	0	45	41
	稚		4	9	0	13	11
ピラゾスルフロンエチル粒剤	乳	+ 5	9	18	0	27	18
	稚		2	12	0	13	6
ピラゾスルフロンエチル・メフェ ナセット粒剤	乳	+ 5	11	12	33	56	50
	稚		1	4	0	4	4

注 1) 1992年, 1/5000a ワグネルポット試験, 砂壤土, 400g/a (製品量) 処理
育苗日数は乳苗 7 日, 稚苗 21 日とし, 移植 21 日後に調査した。
2) 伸長停止は 2 cm 以下で伸長が停止した根, 伸長抑制は 2 cm より長く, 正常根の半分以下の根, 基部いびつ
は根長はほぼ正常であるが, 冠根の基部がいびつに変形している根とした。

第 8 図 除草剤処理が直播水稻の主茎の要素別根数及び根長に及ぼす影響

注 1) S: 種子根, 1~5: 要素番号, U: 上位根, L: 下位根
2) 1996年湛水直播, 1/5000a ワグネルポット試験, 砂壤土, 播種 7 日後処理
■ 伸長停止根 (2 cm 未満) ▨ 伸長抑制根 (5 cm 未満)
□ 伸長抑制根 (5 cm 以上) □ 健全根

4. 土壌処理型除草剤が湛水直播水稻に及ぼす形態的影響³⁾

湛水直播栽培には種々の播種様式があるが、薬害面から見ると播種深度が最も問題になると考えられる。そこで、湛水直播栽培に登録のある土壌処理型除草剤を供試し、表面播栽培を想定した播種深度 0 cm と土中播栽培を想定した播種深度 1 cm で播種した場合の水稻に及ぼす形態的影響について検討した。

水稻の第 2 葉抽出期に当たる播種 7 日後に除草剤処理を行った。ピラゾレートでは処理後すぐに鞘葉あるいは不完全葉においてわずかに白化または壊死が観察されたが、その後の生育にはほとんど影響がなかった。ベンスルフロンメチル・ジメピペレート、ピラゾスルフロンエチル・エトベンザニド及びイマゾスルフロン・エトベンザニド・ダイムロン処理によって、葉の伸長抑制や分げつ形成抑制等の生育抑制が見られ、0 cm 播種は 1 cm 播種に比べてその程度が大きかった。

根部においては、ベンスルフロンメチル・ジメピペレート処理によって、冠根の伸長停止あるいは伸長抑制が認められ、その程度は 1 cm 播種よりも 0 cm 播種の方が大きく、特に第 1 要素における伸長停止根の発現が顕著であった(第 8 図)。第 1 要素根は種子根とともに苗の定着に重要な役割を果たしているが、0 cm 播種では除草剤によってそのほとんどが著しい伸長阻害を受け、浮き苗や転び苗の発生が増加

する結果となった(第 2 表)。これはピラゾスルフロンエチル・エトベンザニド及びイマゾスルフロン・エトベンザニド・ダイムロンの場合も同様であった。

5. 土壌処理型除草剤が水稻の茎葉部及び根部に及ぼす形態的影響の相互関係

水稻体の葉、分げつ及び根を葉位あるいは要素利に見た場合、除草剤が水稻体に及ぼす形態的影響を各器官の分化・生長段階との関係から検討を行った。ある葉位を第 N 葉とした場合、その前に出現した葉を第 (N-1) 葉、また第 N 葉の次に出現する葉を第 (N+1) 葉などとして示すことにする。従来の観察より、第 N 葉の抽出、第 (N-3) 葉の葉腋からの分げつ発生及び第 (N-3) 要素根の伸長がほぼ同時に起こることが明らかにされている⁸⁾。

ベンスルフロンメチルを処理した場合⁹⁾の水稻について、除草剤処理後の葉、分げつ及び根における形態的影響の発現様相を模式的にまとめ、第 9 図に示した。葉の伸長抑制は、処理時に抽出中であった第 N 葉の葉鞘から始まり、第 (N+1) 葉、第 (N+2) 葉で大きく、その後の抑制程度は次第に小さくなった。分げつについては、第 (N-2)、(N-1) 葉の葉腋からの分げつに生長遅延が目立った。また根部では、第 (N-2) 要素根から形態異常根が現れ始め、第 (N-1) 要素根では、冠根の発根数の減少や短い伸長停止根が顕著に現われ、その後は次第に回復していった⁹⁾。

第 2 表 除草剤処理が湛水直播水稻の苗立ちに及ぼす影響

供試薬剤	播種深度	浮き苗発生率 % (+14)	転び苗発生率%		
			+14	+21	+28
ピラゾレート粒剤	0 cm	17	0	0	0
	1 cm	0	0	0	0
ベンスルフロンメチル・ジメピペレート粒剤	0 cm	35	58	29	11
	1 cm	0	0	0	0
ピラゾスルフロンエチル・エトベンザニド粒剤	0 cm	33	58	33	0
	1 cm	0	0	0	0
イマゾスルフロン・エトベンザニド・ダイムロン粒剤	0 cm	38	75	17	0
	1 cm	0	0	0	0
無処理	0 cm	13	25	0	0
	1 cm	0	0	0	0

注 1) 1996年, 1/5000a ワグネルポット試験, 砂壤土, 播種 7 日後処理

2) 浮き苗発生率は、種子根以外のほとんどの冠根が土壌中に貫入していない個体の発生割合とした。

3) 転び苗発生率は浮き苗により 45°以上に傾いた個体の発生割合とした。

第9図 ベンスルフロンメチルとそのジメピペレート混合剤が水稲に及ぼす形態的影響の模式図 (埴壤土, 600g/a 処理のデータ⁶⁾を基にして作成)

注) 川田ら⁶⁾の要素の考え方について作図し, 横線は節の位置を示す。→は処理時に抽出中であった葉を示し, 根の数が少ないのは発根数の減少を示している。

以上のことから, 除草剤処理直後においてはほぼ同時期に生長する葉位あるいは要素の葉, 分げつ及び根の各器官, すなわち細胞分裂や組織形成が盛んに行われる生長段階にある部位において形態的影響が強く発現し, その後次第に回復していくことが認められた。このような各器官の相互関係は, 生育段階の異なる水稲, すなわち乳苗や直播水稲においても同様に認められた⁴⁾。そしてベンスルフロンメチルにジメピペレートを混合処理することによって, 形態的影響の程度は葉, 分げつ及び根のいずれにおいても著しく軽減化されていた (第9図)。

6. 砂壤土水田における土壌処理型除草剤の適正使用のあり方

香川県のように薬害の発生しやすい砂壤土水田において薬害回避面から見た適正使用を行うには, 薬害の発生しにくい除草剤の選定, 特に薬害軽減剤を含んだ除草剤の使用が重要であり, また除草剤の使用量の厳守と均一散布, 水稲苗の適正な植付深度とすること等, 適切な除草剤施用法並びに栽培管理が

必要である。さらに乳苗移植栽培や直播栽培においては, 除草剤散布時における水稲の生育ステージが早いため, これらに適した除草剤の選定と施用技術の確立が必要であると考えられる。

発表論文および参考文献

- 1) 藤田 究 1996. 水稲乳苗の生育に及ぼす数種土壌処理型除草剤の影響. 雑草研究41(1), 44-54.
- 2) 藤田 究 1996. 水稲乳苗に対する除草剤の薬害症状の特徴と差異. 植調30(3), 95-103.
- 3) 藤田 究 1999. 播種深度の異なる湛水直播水稲の初期生育に及ぼす数種土壌処理型除草剤の影響. 雑草研究44(1), 43-50.
- 4) 藤田 究 2000. 土壌処理型除草剤が生育段階の異なる水稲に及ぼす形態的影響に関する一考察. 雑草研究45別, 36-37.
- 5) 藤田 究・芝山秀次郎 1988. 数種除草剤が水稲に及ぼす形態的影響とジメピペレートの薬害軽減効果. 第1報 ベンスルフロンメチルとそのジメピペレート混合剤の形態的影響と苗の植付深度. 雑草研究33(4), 278-284.

- 6) 藤田 究・芝山秀次郎 1989. 数種除草剤が水稻に及ぼす形態的影響とジメピペレートの葉害軽減効果 第2報 異なる土壌あるいは処理薬量条件におけるベンスルフロンメチルとそのジメピペレート混合剤の形態的影響の変動. 雑草研究34(1), 1-11.
- 7) 藤田 究・芝山秀次郎 1989. 数種除草剤が水稻に及ぼす形態的影響とジメピペレートの葉害軽減効果 第3報 異なる土壌あるいは処理薬量条件におけるフェノチオール・シメトリンとそのジメピペレート混合剤の形態的影響の変動. 雑草研究34(3), 222-230.
- 8) 川田信一郎・山崎耕宇・石原 邦・芝山秀次郎・頼 光隆 1963. 水稻における根群の形態形成について, とくにその生育段階に着目した場合の一例. 日作紀32(2), 163-180.
- 9) 芝山秀次郎・藤田 究 1988. 数種除草剤が水稻に及ぼす形態的影響とジメピペレートの葉害軽減効果 4. ジメピペレートによる水稻への葉害軽減効果の形態的特徴. 雑草研究33別, 127-128.