

Mefenacet および fentrazamide
の作用特性に関する研究

2008年1月

寄贈
伊藤整志氏

伊藤整志

09009271

Mefenacet および fentrazamide
の作用特性に関する研究

筑波大学大学院
生命環境科学研究科
生物機能科学専攻
博士（農学）学位論文

伊藤 整志

目次

緒言		—	1
第1章	水稻除草剤としての作用特性	—	6
1-1 節	水田主要雑草に対する除草効果	—	8
1-2 節	水田 1 年生雑草に対する除草活性	—	10
1-3 節	タイヌビエに対する除草効果	—	19
1-4 節	タイヌビエに対する残効性	—	21
1-5 節	アゼナ、コナギ、イヌホタルイに対する残効性	—	25
1-6 節	移植水稻に対する処理時期別薬害性	—	27
1-7 節	移植水稻に対する移植深度別薬害性	—	29
1-8 節	移植水稻に対する減水深別薬害性	—	32
1-9 節	考察	—	34
第2章	異なる環境条件下での作用特性	—	35
2-1 節	ノビエ類に対する発生深度別の除草効果	—	36
2-2 節	タイヌビエに対する温度別の除草効果	—	39
2-3 節	タイヌビエに対する土壌別の除草効果	—	41
2-4 節	移植水稻に対する温度別薬害性	—	43
2-5 節	移植水稻に対する土壌別薬害性	—	45
2-6 節	田面水流亡と除草効果	—	47
2-7 節	考察	—	50
第3章	生育及び形態に及ぼす影響	—	52
3-1 節	ノビエ類の生育に及ぼす影響	—	53
3-2 節	タイヌビエの初期生長に及ぼす影響	—	58
3-3 節	タイヌビエの外部形態に及ぼす影響	—	63
3-4 節	ノビエ類の内部形態に及ぼす影響	—	65
3-5 節	ノビエ類の細胞伸長に及ぼす影響	—	71
3-6 節	考察	—	76
第4章	水稻及びイヌビエにおける吸収、移行、代謝	—	79
4-1 節	吸収部位と除草活性	—	80

4-2 節	移植深度と除草活性	— 83
4-3 節	水稻およびノビエ類での吸収、移行、代謝	— 86
4-4 節	浸漬時間と除草活性	— 90
4-5 節	考察	— 92
	総合考察	— 93
	概要	— 99
	謝辞	— 101
	参考文献	— 102

本論文に記載されている略語は以下の通りである。

DAT: Days after transplanting (移植後日数)

LS: Leaf stage (葉齢)

1LS: 1st leaf stage (第1葉)

2LS: 2nd leaf stage (第2葉)

3LS: 3rd leaf stage (第3葉)

4LS: 4th leaf stage (第4葉)

Pre: Pre-emergence (出芽前)

Coty: Cotyledon (子葉)

At: At emergence(出芽時)

Prop.: Propagation stage(増殖期)

P: Primary root (種子根)

M: Mesocotyl (中胚軸)

MR: Mesocotyl root

C: Coleoptile (子葉鞘)

CR: Coronal root (冠根)

S: Spikelet(小穂)

2.5%GR: 2.5% granule (2.5%粒剤)

A.I.: Active ingredient (有効成分)

T1: Tiller at 1st leaf

T2: Tiller at 2nd leaf

緒言

水稲栽培における除草作業は、過去の手作業で行われた時代には 10 アール当り 50 時間程度が必要であったのが、選択性に優れた除草剤の開発により、近年ではほぼ 3 時間で済むようになってきている。水稲栽培において水稲除草剤が果たした役割は極めて大きいといえる。

Mefenacet(化学名：2-ベンゾチアゾール-2-イルオキシ-N-メチルアセトアニリド)は、当時普及していたカーバメート系の benthocarb (化学名：S-(4-クロロベンジル)-N,N-ジエチルチオカーバメート) やクロロアセトアニリド系の pretilachlor (化学名：2-クロロ-2',6'-ジエチル-N-(2-プロポキシルエチル)アセトアニリド)に比べて、水稲の移植後からノビエ類の 3 葉期までの処理適期幅を持つノビエ防除剤として注目をあびた。またその混合剤は水田用初中期一発剤としてわが国の水稲栽培地域において広く使用されている。本剤は、バイエルクロップサイエンス(株)の除草剤研究開発部門が、除草活性を示すアミド系化合物の中のヘテロアリルオキシアセトアミド系化合物に着目したことから発見された。この化合物群は、水田の重要雑草であるノビエ類等に対して特に高い除草効果を示し、また移植水稲にも高い安全性を示した。それらの一連の化合物の中で最も性能が優れた mefenacet を昭和 52 年度に選抜した(Fig. 1)。本剤の実用化に当っては、殺草スペクトラム、処理適期幅が広い、適正な残効性を有するなど当時の水稲用除草剤に求められる特性を考慮して混合剤が開発された。しかしながら、mefenacet は、ha 当たり 1000 g ai と施用薬量が比較的多いこと、直播水稲で使用できないなどから後継剤の開発が望まれた。本剤の特性は、主にバイエルクロップサイエンス(株)の温室および圃場での試験、公的機関での圃場試験から評価されているが、詳細な特性について報告した事例はほとんどない(Aya *et al.*,1985;Yasui, 1986;Yasui *et al.*,1987)。

後継剤の研究開発は、環境に対する安全性の向上など、また除草労力の省力化、簡便な散布方法の開発、散布コストの削減、環境への配慮、さらに直播水稲で使用可能な薬剤など、近年の水稲作農業

事情の要望を満たす薬剤の選抜を念頭に行われた。バイエルクロップサイエンス(株)は、まず活性の手がかりとなるリード化合物の探索から始めた (Goto *et al.*,2002)。本社の合成部門は、アブラナ科作物の根瘤病防除に効果を示すことが 1980 年代に知られていたベンゼンスルフォンアニリド系化合物に着目した。その中で作物に対する薬害性が強い部分構造として、3-クロロ-4-トリフルオメチルアニリンを見出した。そして、この薬害性を新たな除草剤開発への糸口として、アニリンを原料とする合成展開を試みた。その結果、チエニル酢酸アニリド誘導体とシクロプロパンカルボン酸アニリド誘導体に除草活性を見出した。また、アニリド誘導体に関する文献検索の途上、アニリンから誘導される含窒素複素環化合物で既存の農薬にない化学構造として1-アシル-5(4*H*)-テトラゾリノンに着目し、併せて除草活性の増大を期待して1-(置換)フェニル-4-カルバモイル-5(4*H*)-テトラゾリノン誘導体の合成を始めた。その中で、ノビエ類に活性が高い3-クロロ-4-トリフルオロメチルフェニル基を有する4-(*N,N*-ジメチルカルバモイル)-5(4*H*)-テトラゾリノンを用いたリード化合物として、ノビエ活性に特化した最適化を進めた。ベンゼン環上2-位または2,6-位の置換基が、水素、ハロゲン、メチル基、トリフルオロメチル基などの時に、高い対ノビエ類、*Echinochloa oryzicola* VASING. (タイヌビエ)、*Echinochloa crus-galli* (L.) BEAUV. var. *crus-galli* (イヌビエ)、*Echinochloa crus-galli* (L.) BEAUV. var. *formosensis* OHWI (ヒメタイヌビエ) 活性を与え、4-位へのハロゲン導入は活性を著しく低下させた。またベンゼン環上2-位または2,6-位の置換基が、フッ素及びトリフルオロメチル基などにおいては、水稻とノビエ類との選択性が低いことも示された。活性および選択性の両面から水稻除草剤に適するベンゼン環上の置換基は、2-位または2,6-位のクロロ、及び/またはメチル基であることが判明した。ベンゼン環上2-位または2,6-位の置換基を水素およびメチル基に絞り、カルバモイル基上の置換基効果を検討した。置換基の一方がエチル基、*n*-プロピル基、もう一方が *sec*-ブチル基またはシクロペンチル基、シクロヘキシル基、シクロヘプチル基の時、最も良好な除草活性と選択性を与え、カルバモイル上の炭素鎖がいずれも直鎖アルキル基の時、いずれも分枝鎖アルキル基であるか、

もしくは総炭素数が6以下である時は著しい薬害をもたらすこと、場合によっては活性が低下することが判明した。以上、ベンゼン環及びカルバモイル基上の置換基の検討結果を基に、最適化を図った。構造活性相関をまとめると、①ベンゼン環上の置換基は、2-位及び/または2, 6-位の置換基が、塩素及び/またはメチル基であり、カルバモイル基上の置換基は、一方が炭素数2~3の直鎖アルキル基であり、もう一方が炭素数4の分枝鎖アルキル基または炭素数5または6のシクロアルキル基であり、かつ2つの総炭素数が7または8である組み合わせの時、最も良好な除草活性と選択性を与えた。その結果、重要な水田雑草であるヒエに対して高い除草効果を示し、また水稲に対する最も良好な除草活性と選択性を示す fentrazamide (化学名: 1-(2-クロロフェニル)-4-(*N*-シクロヘキシル-*N*-エチルカルバモイル-5(4*H*))-テトラゾリノン)の合成に至った(Fig. 1)。

Fentrazamide は、ノビエ類防除薬剤として、mefenacet が開拓した初中期一発処理剤の分野に加えて、その水溶解性の低さ、土壌吸着性が強いことなどの物理化学的な特性から、省力で簡便な散布方法である田植同時処理を可能とした。また東南アジアの一部地域では湛水直播水稲用除草剤として使用されており、mefenacet の後継剤としての役割を果たしている。本剤の特性についてもわずかな報告のみである (Ito *et al.*,1998;Yanagi *et al.*,2002)。

今後新規水稲用除草剤を開発するには、薬剤開発にはコストが多く必要なことを考えると、移植水稲地域(日本、韓国、台湾、中国等)だけではなく、直播水稲地域(東南アジア、北米、南米等)でも使用できる薬剤の開発が必要となる。また、除草剤の開発には、抵抗性雑草が発現するリスクを考慮しておかなければならない。わが国の水稲除草剤においても、スルホニルウレア系除草剤に抵抗性を示す数種雑草、例えば、*Lindernia spp* (アゼナ類)、*Scirpus juncoides* ROXB. subsp. *juncoides* ROXB. (イヌホタルイ)、*Monochoria vaginalis* (BURM.f.) PRESL. (コナギ) 等が確認されている。しかし、mefenacet、fentrazamide およびクロロアセトアニリド等の生育抑制症状を示す薬剤では、抵抗性雑草が発現している事例が少ない。抵抗性のリスクを回避するには、抵抗性雑草が発現しにくい抑制型

の症状を示す化合物を開発の目標とすることが良いと考えられる。

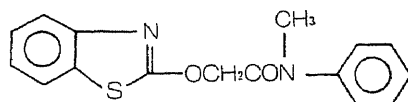
本研究の課題は、**mefenacet** および **fentrazamide** の水稲除草剤としての作用特性を雑草の形態的な反応を主体として研究し、作用機構解明を目指すとともに、両薬剤の効果発現と各種変動要因（耕種条件、環境条件）との関連を調べることである。また、水稲用として新たな薬剤を開発するために、また両薬剤の普及拡大のために、両薬剤の水稲除草剤としての特性を研究することは意義が大きい。更に **mefenacet** による水稲およびノビエ類との選択性の要因を解明することにより、新規薬剤開発の一助とする。

Mefenacet

Chemical Name: 2-(2-benzothiazolyloxy)-*N*-methyl-*N*-phenylacetamide (IUPAC)

Common Name: mefenacet (ISO proposed)

Chemical Structure:



Chemical Formula: C₁₆H₁₄N₂O₂S

Appearance: White crystal

Water Solubility: 4.0 mg/L at 20°C

Molecular Weight: 298.36

Melting point: 135°C

Vapor Pressure: 6.4x10⁻⁹Pa

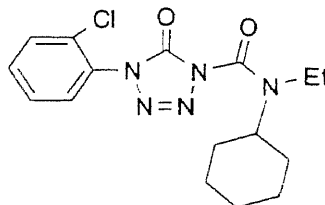
Partition Coefficient: log Pow 3.23

Fentrazamide

Chemical Name: 4-(2-chlorophenyl)-5-oxo-4,5-dihydro-1H-tetrazole-1-carboxylic acid cyclohexylethyl-amide (IUPAC)

Common Name: fentrazamide (ISO proposed)

Chemical Structure:



Chemical Formula: C₁₆H₂₀ClN₅O₂

Appearance: Colorless crystal

Water Solubility: 2.3 mg/L at 20°C

Molecular Weight: 349.82

Melting point: 79°C

Vapor Pressure: 5.0x10⁻¹⁰ Pa (20°C)

Partition Coefficient: log Pow 4.01

Fig. 1. Chemical and physiological properties of mefenacet and fentrazamide..

第1章 水稲除草剤としての作用特性

Mefenacet は、1987年に、スルホニルウレア系除草剤との混合剤（商品名：ザーク）が農薬登録され、水稲のノビエ防除薬剤として今日まで広く使用されている。その理由は、水田の重要雑草であるノビエ類などの主として1年生水田雑草に高い除草活性を示し、特にノビエ類には発芽前から3葉期までの広い処理適期幅を示したこと、またノビエに対する残効性が十分であること、移植水稲に選択性が高いことなどが挙げられる（Table 1）。人力による除草作業から化学物質による除草へと変わり、更に安全で、利便性の高い薬剤の開発および普及が望まれた歴史の中で、本剤の果たした役割は大きいと考えられる。一方、近年、人畜や魚介類に対する安全性ばかりでなく、環境保全の面からの安全性や湛水直播など低コスト水稲栽培の要望をも満たす、より性能が優れたノビエ類防除薬剤の開発が強く要望されていた。このような中で、我々は、mefenacet と類似の殺草症状である生育抑制を示すフェニールテトラゾリノン系を基本構造とする化合物群に着目して検討を重ねた結果、fentrazamide を見出した。わが国では、2000年にスルホニルウレア系の bensulfuron-methyl（化学名：メチル=α-(4,6-ジメトキシピリミジン-2-イルカルバモイルスルファモイル)オートルアート）との混合剤（商品名：イノーバ）が散布時の省力化を目指した田植同時処理も可能な剤として農薬登録された。現在、粒剤のほか簡便な処理も可能なジャンボ剤、顆粒水和剤、フロアブル剤などに剤型化され、販売されている。東南アジア諸国ではプロパニルとの混合剤（商品名：レクサプロ）が湛水直播水稲用除草剤として使用されている。本章では fentrazamide の水稲除草剤としての作用特性を研究するために、水田主要雑草に対する除草活性、ノビエ類の葉齢と除草活性、ノビエ類に対する残効性、移植水稲に対する薬害性について、mefenacet と比較して温室試験の結果をもとにまとめた。

Table 1. Weed-control spectrum of mefenacet to major paddy weeds

Weed species		Application rate:1200 gai/ha		
Scientific name	Japanese name	DAT#		
		5 0.5LS	10 2LS	20 3LS
<i>Alisma canaliculatum*</i>	heraomodaka	+++	++	++
<i>Ammannia multiflora</i>	himemiso-hagi	++	++	+
<i>Aneilema keisak</i>	ibokusa	+	-	-
<i>Bidens tripartita</i>	taukogi	+	-	-
<i>Blyxa echinosperma</i>	subuta	+	-	-
<i>Cyperus compressus</i>	kugugayatsuri	+++	++	+
<i>Cyperus difformis</i>	tamagayatsuri	+++	+++	+++
<i>Cyperus microiria</i>	kayatsurigusa	+++	+++	+++
<i>Cyperus serotinus*</i>	mizugayatsuri	++	++	+
<i>Dopatrium junceum</i>	abunome	++	+	+
<i>Echinochloa crus-galli</i>	inubie	+++	+++	+++
<i>Echinochloa crus-gallivar.caudata</i>	keinubie	+++	+++	+++
<i>Echinochloa crus-gallivar.formosensis</i>	himeta-inubie	+++	+++	+++
<i>Echinochloa crus-gallivar.oryzicola</i>	tainubie	+++	+++	+++
<i>Eclipta prostrata</i>	takasaburo	+	-	-
<i>Elatine triandra</i>	mizhakobe	++	+	+
<i>Eleocharis acicularis*</i>	matsubai	+++	+++	++
<i>Eleocharis kuroguwai*</i>	kuroguwai	-	-	-
<i>Eriocaulon miguelianum</i>	inunohige	++	+	-
<i>Eriocaulon sieboldianum</i>	hoshikusa	+	-	-
<i>Gratiola japonica</i>	ooabunome	++	+	+
<i>Lindernia pyxidaria</i>	azena	++	+	+
<i>Ludwigia prostrata</i>	choujitade	-	-	-
<i>Monochoria vaginalis</i>	konagi	+++	+++	++
<i>Oenanthe javanica*</i>	seri	-	-	-
<i>Potamogeton distinctus*</i>	hirumushiro	+	-	-
<i>Ranunculus sceleratus</i>	tagarashi	+	-	-
<i>Rotala indica</i>	kikashigusa	++	+	-
<i>Sagittaria pygmaea*</i>	urikawa	+	-	-
<i>Sagittaria trifolia*</i>	omodaka	+	-	-
<i>Scirpus juncoides*</i>	hotarui	++	+	+
<i>Vandellia angustifolia</i>	azetougarashi	++	+	+

#:DAT=days after transplanting

*: Perennial weeds

Efficacy: +++ Excellent, ++ Good, + less effective, - Poor

1-1 節 水田主要雑草に対する除草活性

材料と方法

500cm²のプラスチック製ポットに沖積埴土を充填し、施肥後、供試雑草を播種または塊茎を植え付けた。薬剤処理はポットを3cmに湛水した後、雑草が発生始期及び2葉期に達した時に、fentrazamide原体（純度98%）の乳化懸濁液（アセトン0.1%を用いた）を用いて行った。評価は供試雑草20個体について、薬剤処理3週間後に肉眼観察で実施した。試験は3反復で実施した。なお、供試雑草はバイエルクロップサイエンス（株）結城中央研究所で育成したものを使用した。

結果

本剤は、タイヌビエ、イヌビエ、*Cyperus difformis* L.(タマガヤツリ)、イヌホタルイ、*Lindernia pyxidaria* L.(アゼナ)、コナギなどの1年生雑草や*Alisma canaliculatum* A.Br.et BOUCHE(ヘラオモダカ)、*Cyperus serotinus* ROTTB.(ミズガヤツリ)などの数種多年生雑草に対して高い除草活性を示した(Table 2)。処理薬量125 g ai/haでは、2葉期のタイヌビエ、イヌビエ及びタマガヤツリに対して強い抑制効果を示し、発生始期のイヌホタルイ、アゼナ、コナギにも効果が高かった。

考察

Fentrazamideは、ノビエ類を含む1年生水田雑草から数種の多年生水田雑草までの広い殺草スペクトラムを有し、mefenacetに比べて低薬量で葉齢の進んだタイヌビエ及びイヌビエに対して高い除草活性を示すことが判った。ノビエに対して、発生前から3葉期までで高い除草効果を示した。以上の結果から、mefenacetとfentrazamideの殺草スペクトラムは類似しているといえる。更に両薬剤の作用特性を検討するために、水田1年雑草の葉齢別の除草活性を温室試験で評価した(1-2節)。

Table 2. Herbicidal spectrum of fentrazamide under paddy conditions.

Weed species	Japanese name	Appli. timing	Herbicidal activity							
			8*	15	30	60	125	250	500	
<i>Echinochloa oryzicola</i>	tainubie	at	90	100	100	100	100	100	100	100
<i>Echinochloa crus-galli</i>	inubie	2LS	0	10	20	70	90	93	95	
		at	70	80	100	100	100	100	100	
<i>Cyperus difformis</i>	tamagayatsuri	2LS	0	20	70	80	95	98	98	
		at	80	90	90	100	100	100	100	
<i>Scirpus juncooides</i>	inuhotarui	2LS	20	60	80	80	90	90	100	
		at	0	0	20	60	90	90	93	
<i>Lindernia pyxidaria</i>	azena	2LS	0	0	0	20	60	85	90	
		at	0	40	80	80	90	90	90	
<i>Monochooria vaginalis</i>	konagi	2LS	0	20	40	60	70	80	85	
		at	20	60	70	90	95	95	95	
<i>Eleocharis acicularis</i>	matsubai	2LS	0	0	20	50	80	85	90	
		at	0	0	0	50	60	80	85	
<i>Sagittaria pygmaea</i>	urikawa	prop.	0	0	0	50	60	60	85	
		at	0	0	30	40	40	60	60	
<i>Cyperus serotinus</i>	mizugayatsuri	2LS	0	0	10	20	40	40	50	
		at	50	70	80	80	95	95	95	
<i>Alisma canaliculatum</i>	heraomodaka	2LS	0	0	0	20	40	50	70	
		at	0	30	50	85	90	90	90	

Herbicidal activity was evaluated visually by a 0 to 100 rating system: 100 complete kill; 80 Good ;0 no effect

*Appli.rate: gai/ha

1-2 節 水田 1 年生雑草に対する除草活性

材料と方法

500cm² のプラスチック製ポットに沖積埴土を充填し、施肥後、3 種類のノビエ類の小穂および供試雑草の種子を含む土壌を土壌表面に播種または施用した。薬剤処理はポットを 3cm に湛水した後、雑草が所定葉齢に達した時に、fentrazamide および mefenacet 原体(純度 98%) の乳化懸濁液(アセトン 0.1% を用いた) を用いて行った。試験は無減水で実施した。除草効果は薬剤処理 3 週間後に供試雑草 20 個体について肉眼で評価し、100% が完全枯死、90% 以上が実用上有効、0% が効果なしで評価した。試験は 3 反復で実施した。以後、肉眼評価は各試験同様に行った。また対照薬剤には、わが国の水稻栽培で使用され、殺草症状が類似するノビエ類防除 2 薬剤 (benthiocarb, pretilachlor) を用いた。また広葉雑草防除の対照剤には、効果が高い bensulfuron-methyl を用いた。

結果

ノビエ類に対する除草活性 : Fentrazamide 300 g ai/ha は、水田で発生が見られる 2.5 葉期から 3 葉期のタイヌビエ、イヌビエおよびヒメタイヌビエに対して、高い除草活性を示した (Table 3)。ノビエ類の種類に関係なく高い効果を示すことが確認された。この効果は mefenacet 1000 g ai/ha とほぼ同等であった。対照薬剤の pretilachlor では、タイヌビエおよびヒメタイヌビエに比べて、イヌビエに対する除草活性がやや劣り、また benthiocarb ではタイヌビエに比べて、イヌビエおよびヒメタイヌビエに対して活性がやや劣る傾向がみられた。

カヤツリグサ科に対する除草活性 : Fentrazamide および mefenacet は、タマガヤツリに対しては 2 葉期まで、イヌホタルイに対しては、0.5 葉期まで同程度の効果を示した (Table 4)。対照薬剤の pretilachlor は両草種の 0.5 葉期で効果を示したが、2 葉期では効果が劣った。広葉類に高い活性を示す bensulfuron-methyl は 2 葉期のタマガヤツリおよびイヌホタルイに対して効果を示した。

ゴマノハグサ科に対する除草活性 : Fentrazamide 300g ai/ha は

アゼナ、アメリカアゼナの 2 葉期まで除草活性を示した (Table 5)。Mefenacet 1000 g ai/ha はアゼナ、*Lindernia dubia* (L.) PENN. (アメリカアゼナ) の発生前で活性を示したが、葉齢が進むと除草活性が劣った。対照薬剤の pretilachlor 600 g ai/ha は、アゼナおよびアメリカアゼナの 2 葉期まで活性を示した。Bensulfuron-methyl 50 g ai/ha は、アゼナ、アメリカアゼナおよび *Dopatrium junceum* (ROXB.) HAMILT. (アブノメ) の 3 葉期まで効果を示した。アブノメに対しては、fentrazamide と pretilachlor は、子葉期まで活性を示したが、mefenacet は効果が劣った。

ミソハギ科に対する除草活性：*Ammannia multiflora* ROXB. (ヒメミソハギ)、*Rotala indica* (WILLD.) KOEHN var. *ulginosa* (MIQ.) KOEHN KOEHN. (キカシグサ) に対しては、fentrazamide、mefenacet および pretilachlor は同様に、それぞれの子葉期まで活性を示した (Table 6)。Bensulfuron-methyl も同様であった。

ミゾハコベ科に対する除草活性：Fentrazamide は *Elatine triandra* SCHK. var. *pedicellata* KRVLV (ミゾハコベ) に対して、3 葉期まで効果を示した (Table 7)。この傾向は pretilachlor と同様であった。Mefenacet は子葉期まで効果を示すが、上記 2 薬剤と比べると効果が劣った。Bensulfuron-methyl は、高い効果を示した。

ミズアオイ科に対する除草活性：Fentrazamide および mefenacet は、コナギおよび *Heteranthera limosa* (SW.) WILLD. (アメリカコナギ) には 0.5 葉期までの処理で効果を示すが、*Monochoria korsakowii* REGEL et MAACK (ミズアオイ) にはやや効果が劣った (Table 8)。この傾向は、pretilachlor においても同様であった。Bensulfuron-methyl は、ミズアオイ以外のコナギ、アメリカコナギには高い除草効果を示した。ミズアオイは本剤に抵抗性を示す系統であり、効果が見られなかった。

考察

水田では現在においても、ノビエ類は最重要雑草である。これら雑草の防除薬剤は今後も必要と考えられる。ノビエ類は、藪野の分類によると 2 種 3 変種に分けられる (藪野、1975)。その内、わが国の水田には、タイヌビエ、イヌビエおよびヒメタイヌビエの 2 種 2

亜種の発生が見られる。タイヌビエおよびイヌビエは全国的に、ヒメタイヌビエは西日本で主に見られる。Mefenacet および fentrazamide は、ノビエ類の種類に関係なく高い効果を示し、3葉までのノビエ類にも効果を示した (Ueno *et al.*, 1996; Kamochi and Otsu, 1998)。ノビエ類の葉齢を薬剤処理の基準とする水田除草剤の散布においては、広い適期幅を持つノビエ防除剤として有用であることを示している。一方、対照薬剤は殺草症状において mefenacet および fentrazamide と類似した生育抑制を示すが、ノビエ類に対する効果には違いが見られた。カヤツリグサ科、ミソハギ科、ミズアオイ科の雑草には、mefenacet、fentrazamide および pretilachlor は同様に高い活性を示した。しかしながら、ゴマノハグサ科およびミズハコベ科に対して fentrazamide は高い活性を示したが、mefenacet は効果が劣った。ゴマノハグサ科のアゼナ、アメリカアゼナはスルホニルウレア系除草剤に抵抗性を示す種類が確認されており、これら抵抗性雑草に効果が高い薬剤の開発は重要である。わが国および韓国 (Kuk *et al.*, 2002) においては抵抗性補強剤としての役割を担って使用されている。従って、今後新規薬剤を開発する場合には、ノビエ類の種類に関係なく効果があり、またノビエ類以外の水田1年生雑草にも効果を示す fentrazamide に類した薬剤の開発を目指すことが重要と考えられる。

Table 3. Herbicidal performance of mefenacet and fentrazamide to *Echinochloa* spp.

Herbicide	Rate g ai/ha	<i>Echinochloa oryzicola</i>			<i>E. crus-galli</i> var. <i>crus-galli</i>			<i>E. crus-galli</i> var. <i>formosensis</i>		
		Leaf stage 1.6-2.0	2.2-2.6	2.7-3.3	Leaf stage 1.6-2.0	2.2-2.6	2.7-3.3	Leaf stage 1.6-2.0	2.2-2.6	2.7-3.3
mefenacet	1000	#	100**	98	#	95	90	#	100	90
fentrazamide	300	#	100	98	#	98	95	#	100	95
pretilachlor	600	100	#	#	85	#	#	98	#	#
benthiocarb	3000	100	#	#	90	#	#	90	#	#

** : Efficacy : 100 excellent, 90 good, 60-80 less effective, 0 poor

: Not tested

Table 4. Herbicidal performance of mefenacet and fentrazamide to *Cyperus difformis* and *Scirpus juncooides*.

Herbicide	<i>Cyperus difformis</i>		<i>Scirpus juncooides</i>	
	Rate g ai/ha	Leaf stage	Leaf stage	Leaf stage
mefenacet	1000	100**	90	95
fentrazamide	300	100	90	95
pretilachlor	600	100	80	100
benthiocarb	3000	100	95	90

** : Efficacy : 100 excellent, 90 good, 60-80 less effective, 0 poor

Table 5. Herbicidal performance of mefenacet and fentrazamide to *Lindernia procumbens*, *Lindernia dubia* and *Dopatrium junceum*.

Herbicide	Rate g ai/ha	<i>Lindernia procumbens</i>			<i>Lindernia dubia</i>			<i>Dopatrium junceum</i>							
		Leaf stage	pre.	coty.	2.0	3.0	Leaf stage	pre.	coty.	2.0	3.0	Leaf stage	pre.	coty.	3.0
mefenacet	1000		80**	70	50	40	80	60	60	50	40	70	70	70	40
fentrazamide	300		98	95	80	70	100	100	80	70	60	95	95	95	60
pretilachlor	600		100	95	80	70	100	100	80	70	60	95	95	95	60
#bensulfuron-methyl	50		95	90	90	90	90	90	80	80	80	95	95	95	80

** : Efficacy : 100 excellent, 90 good, 60-80 less effective, 0 poor

: bensulfuron-methyl = standard herbicide which is effective to broadleaf weeds

Table 6. Herbicidal performance of mefenacet and fentrazamide to *Ammannia multiflora* and *Rotala indica*.

Herbicide	Rate g ai/ha	<i>Ammannia multiflora</i>		<i>Rotala indica</i>	
		Leaf stage	coty.	Leaf stage	coty.
mefenacet	1000		90**	40	85
fentrazamide	300		90	40	90
pretilachlor	600		90	40	90
bensulfuron- methyl	50		90	60	95

** : Efficacy : 100 excellent, 90 good, 60-80 less effective, 0 poor

Table 7. Herbicidal performance of mefenacet and fentrazamide to *Elatine triandra*

Herbicide	<i>Elatine triandra</i>		<i>Elatine triandra</i>	
	Rate g ai/ha	Leaf stage	pre. coty.	2.0 3.0
mefenacet	1000		100**	70
fentrazamide	300		100	95
pretlachlor	600		100	90
bensulfuron- methyl	50		100	95

** : Efficacy : 100 excellent, 90 good, 60-80 less effective, 0 poor

Table 8. Herbicidal performance of mefenacet and fentrazamide to *Monochoria vaginalis*, *Monochoria korsakowii* and *Heteranthera limosa*

Herbicide	Rate gai/ha	<i>Monochoria vaginalis</i>		<i>Monochoria korsakowii</i>		<i>Heteranthera limosa</i>						
		Leaf stage	0.5	2.0	Leaf stage	0.5	2.0	Leaf stage	0.5	2.0		
mefenacet	1000		95**	70		70		60		95		70
fentrazamide	300		95	70		80		60		100		70
pretilachlor	600		100	60		50		40		95		70
bensulfuron- methyl	50		90	80		10		0		95		80

** : Efficacy : 100 excellent, 90 good, 60-80 less effective, 0 poor

1-3 節 タイヌビエに対する除草効果

材料と方法

500cm²のプラスチック製ポットに沖積埴土を充填し、施肥後、タイヌビエを播種した。薬剤処理はポットを3cmに湛水した後、雑草が所定葉齢に達した時に、供試薬剤の原体の乳化懸濁液(アセトン0.1%を用いた)を用いて行った。評価は薬剤処理3週間後に供試雑草20個体について肉眼観察で実施した。試験は3反復で実施した。また減水は、処理翌日から、0.5cm/日を試験期間中に行った。

結果

Fentrazamide 300 g ai/haは、タイヌビエに対して発生前から3葉期までのいずれの処理時期においても高い除草効果を示し、その活性の程度はmefenacet 1000 g ai/haと同等であった(Fig. 2)。一方、対照薬剤であるbenthiocarb及びpretilachlorは2葉期及び3葉期のタイヌビエに対して、それぞれ80%及び70%の除草活性を示した。

考察

委託試験および現地試験において、mefenacetはタイヌビエに対して、発生前から3葉期までの広い処理適期で、pretilachlorは、1.5葉期まで、benthiocarbは2葉期までの処理適期でそれぞれ除草効果を示す。本試験から、Fentrazamideはmefenacetと同様に、タイヌビエの発生前から3葉期までの広い処理適期幅で除草効果を示した。Fentrazamideは、mefenacetと同様に高いノビエ類防除効果を示し、処理適期幅も、雑草の出芽前から3葉期までと広い。従って、fentrazamideは一発処理薬剤のノビエ類防除の母剤として有効であり、Bensulfuron-methyとの混合剤(商品名:イノーバ)は幅広い水田雑草を防除対象とする初中期一発剤として実用化され、勢力的に展開が図られている(宮内、2001)。

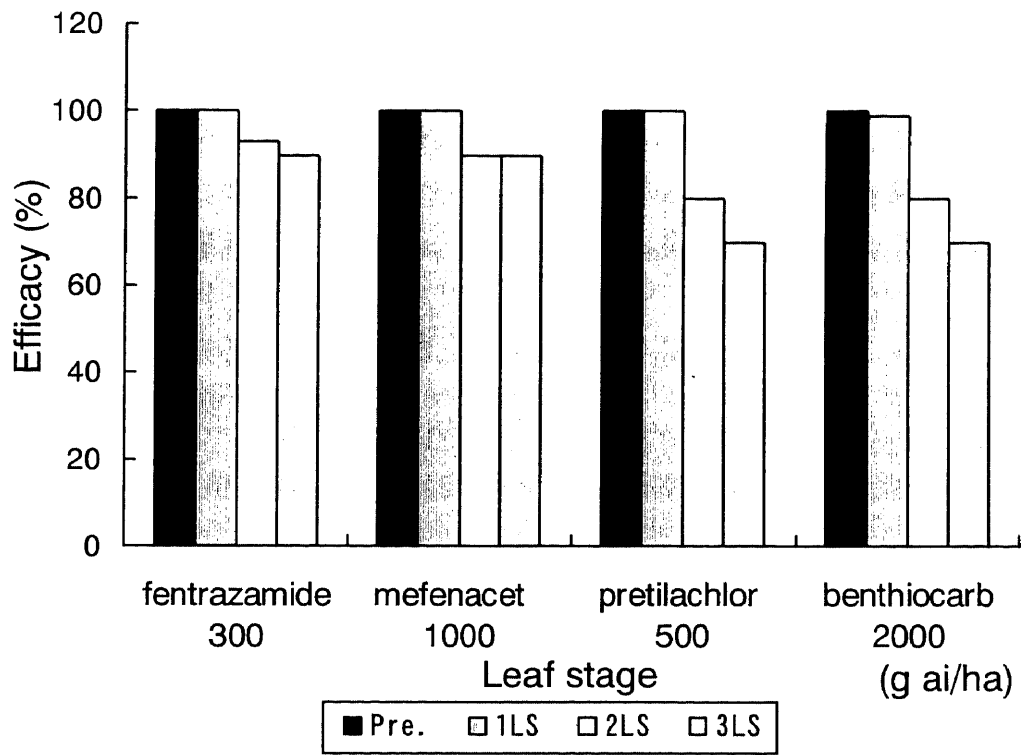


Fig.2 Efficacy of fentrazamide on *Echinochloa oryzicola* at different growth stages.

1-4 節 タイヌビエに対する残効性

材料と方法

1000cm² のプラスチック製ポットに沖積埴土を充填し、3cm に湛水した後、供試薬剤原体の乳化懸濁液(アセトン 0.1%を用いた)を湛水土壌処理した。残効性は薬剤処理後 7 日ごとに催芽したタイヌビエの小穂を接種して評価した。評価は薬剤処理後 7 日ごとに処理 8 週間後まで供試雑草 20 個体について肉眼で観察して行った。また減水は、薬剤処理翌日から 0.5cm/日を試験期間中実施して行った。試験は 2 反復で実施した。

結果

タイヌビエに対する残効性は、fentrazamide 300 g ai/ha で 50 日間以上であった(Fig.3)。また fentrazamide 200 g ai/ha では 42 日間であり、mefenacet 1000 g ai/ha とほぼ同等であった。一方、対照薬剤である pretilachlor 600 g ai/ha では 28 日間、benthiocarb 3000 g ai/ha では 21 日であった。

考察

Fentrazamide 及び mefenacet のタイヌビエに対する長い残効性は、両剤の強い土壌吸着性と低い水溶解性によるものと考えられる(Yasui, 1986 ; Yanagi *et al.*, 2002)。Yogo and Tagaki(1996)によると水稻除草剤の残効と残留の関係に関する研究では、mefenacet および pretilachlor の残効性は、土壌表層 1cm の液層(土壌溶液)中の薬剤濃度に依存することが示唆されている。Mefenacet の土壌への吸着性を評価するために、ガラスカラムを用いて試験を行った(石井, 1985)。その結果、土壌に処理された mefenacet は、土壌表層 0.5cm までに 80%、1cm までに 99%が分布した(Fig.4:Yasui, 1986)。比較薬剤の benthiocarb は土壌表層 1-2cm においても 9%が分布していた。また butachlor(*N*-ブトキシメチル)-2-クロロ-2',6'-ジエチルアセトアニリド(水溶解性が 20ppm(20℃))は、pretilachlor(水溶解性: 50ppm(20℃))と同じクロロアセトアニリド系の薬剤であるが、土壌表層 1-2cm において 6%が分布した。以上のことか

ら、mefenacet の残効性は土壤表層、特に土壤溶液濃度が残効性に関与していると考えられる。また mefenacet の土壤水中濃度は土壤有機物が多いほど低く、有機物に吸着されるとの報告があり (Nakamura *et al.*,1996)、薬剤の残効性を評価するには土壤有機物含量も重要な要因と考えられる。Fentrazamide に関しては、土壤を用いたクロマトグラフィにより薬剤の移行性を評価すると、mefenacet に比べて土壤移行性が小さく、本剤の土壤吸着性が強いことが示唆される (Schmidt *et al.*,1984:Table 9)。従って、両薬剤は、処理後土壤表層に強固で安定した処理層を速やかに形成し、その後は過度の漏水や降雨の影響などによる垂直及び水平方向の田面水の動きに対して薬剤の移動が少ないことから、安定した除草効果が長期間保持されるものと考えられる。

わが国の水稲用除草剤としては、fentrazamide は mefenacet に見られる物理特性 (水溶解性が低い、土壤吸着が強い等) を有する化合物が適度の残効性を示し、また降雨等の影響が少ないことなどから好ましいと考えられる。

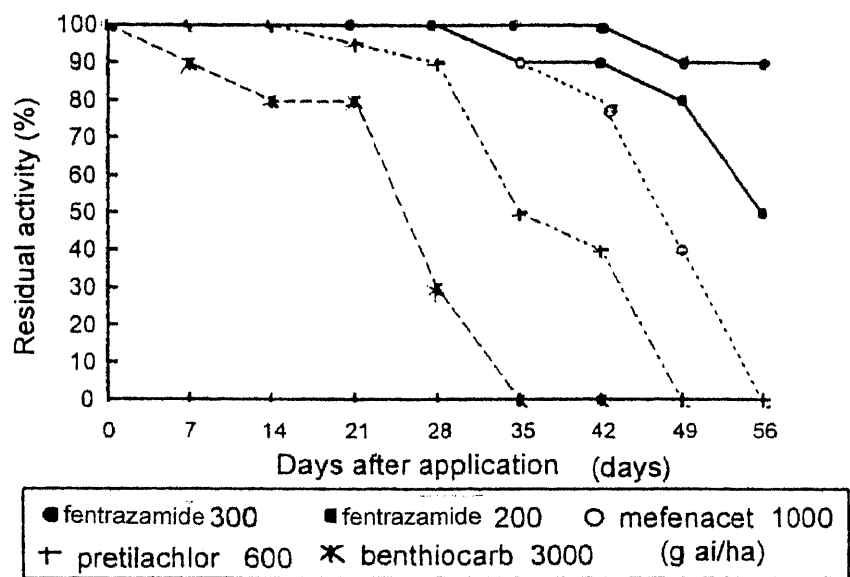


Fig. 3 Residual activity of fentrazamide to *Echinochloa oryzicola*.

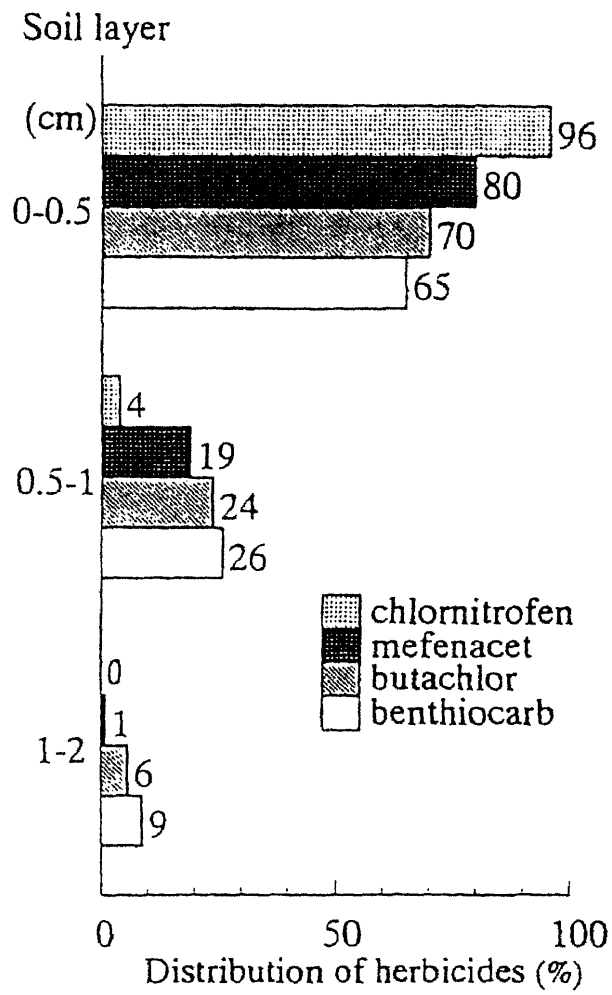


Fig.4 Vertical movement of mefenacet in soil

1-5 節 アゼナ、コナギ、イヌホタルイに対する残効性

材料と方法

1000cm² のプラスチック製ポットに沖積埴土を充填し、3cm に湛水した後、供試薬剤原体の乳化懸濁液(アセトン 0.1%を用いた)を湛水土壌処理した。残効性は薬剤処理後 7 日ごとに雑草種子を含む土壌を接種して評価した。評価は薬剤処理後 7 日ごとに処理 8 週間後まで供試 20 個体について肉眼で観察して行った。また減水は、薬剤処理翌日から 0.5cm/日を試験期間中実施して行った。試験は 2 反復で実施した。

結果

Fentrazamide 300 g ai/ha では、アゼナに対して 42 日間、イヌホタルイに対しては 50 日間、しかしコナギに対しては 35 日間とやや短かった(Table 9)。Mefenacet 1000 g ai/ha では、イヌホタルイには 40 日間、コナギには 30 日間、しかしアゼナに対しては 14 日間と fentrazamide に比べて残効性は短かった。Pretilachlor 600 g ai/ha ではアゼナ、イヌホタルイに対して 30~35 日間、コナギに対して 20 日であった。

考察

Fentrazamide は、ノビエ類、イヌホタルイ、アゼナに対して残効性が 40 日以上、コナギに対しは 35 日と主要水田 1 年生雑草に対して比較的安定した残効性を示す。一方 mefenacet は、ノビエ類、イヌホタルイ、コナギには残効性が 30 日~40 日であるが、アゼナには 14 日と短い。また pretilachlor は、上記両剤に比べると、コナギで 20 日、アゼナ、イヌホタルイで 30 日~35 日とやや短い。以上の結果から、fentrazamide は、水溶解性が低く、また土壌吸着性が強く、ノビエ類を含む 1 年生雑草に効果があることから、ノビエ類を含む水田 1 年生雑草に適度の残効性を有すると考えられる。

Table 9. Residual effect of mefenacet and fentrazamide to annual paddy weeds.

Herbicide	Rate g ai/ha	Residual activity(days after treatment)			
		<i>Echinochloa oryzicola</i>	<i>Lindernia procumbens</i>	<i>Monochoria vaginalis</i>	<i>Scirpus juncoides</i>
mefenacet	1000	45	14	30	40
fentrazamide	300	50	42	35	50
pretilachlor	600	40	30	20	35

1-6 節 移植水稻に対する処理時期別薬害性

材料と方法

1000cm²のプラスチック製ポットに沖積埴土を充填し、代掻き後2葉期の水稻（品種：日本晴）を2cmの深さに移植した。供試薬剤はポットを3cmに湛水した後、供試薬剤の乳化懸濁液（アセトン0.1%を用いた）を移植3日、7日及び10日後に各々湛水土壌処理した。また減水は、薬剤処理翌日から0.5cm/日を試験期間中実施して行った。調査は処理4週間後に草丈及び地上部生体重を20個体について測定して実施した。試験結果はF L L S Dテストを用いて、5%レベルで無処理区との有意差検定を行った。

結果

水稻移植3,7及び10日後のfentrazamide 300 g ai/ha処理では、3日後処理の場合に無処理区の生体重に比べて4%の低下が認められたが、7日及び10日後処理においても有意差は認められなかった（Fig. 5）。Mefenacet 1000 g ai/ha処理では、移植7日後において、無処理区と有意差が認められた。一方、pretilachlorでは、いずれも処理時期においても無処理に比べて生体重が少なく、有意差が認められ得た。Benthiocarb処理では、移植3日および10日処理において10%程度減少し、有意差が認められた。

考察

Mefenacetは移植5日後からノビエ類3葉期までの初中期一発処理剤として、水田において広く使用されている水稻に高い安全性を示す薬剤である（宮内、2001）。本試験の結果から判断すると、fentrazamideは、mefenacetと同等以上に、処理時期に関係なく移植水稻に対して安全性が高いといえる。対照薬剤のpretilachlorは、移植3日後処理で強い生育抑制が移植水稻に見られている。またbenthiocarbは処理時期に関係なく軽微な薬害が認められた。従って、mefenacetおよびfentrazamideは移植水稻に対して薬害が少ない剤といえる。

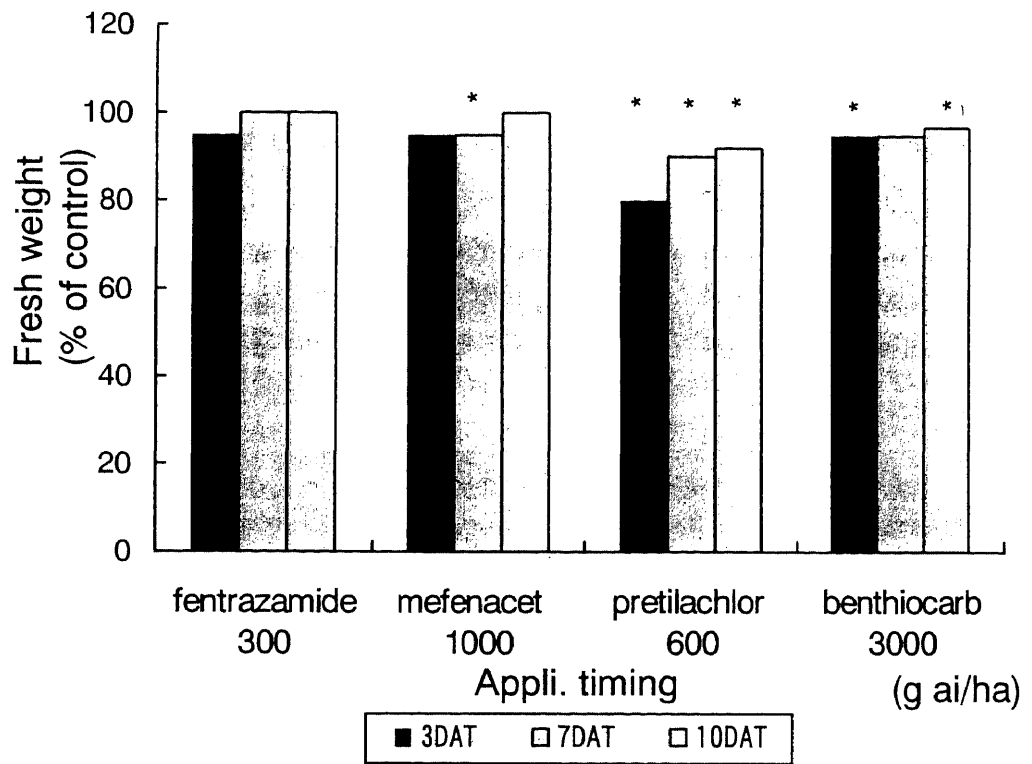


Fig. 5 Crop safety of fentrazamide on transplanted rice at different application timings.

*Significantly different from untreated control (P < 0.05)

1-7 節 移植水稻に対する移植深度別薬害性

材料と方法

1000cm²のプラスチック製ポットに沖積埴土を充填し、代掻き後2葉期の水稻（品種：日本晴）を3cm、2cm、1cm及び0cmの深さに移植した。薬剤はポットを3cmに湛水した後、供試薬剤の原体の乳化懸濁液（アセトン0.1%を用いた）を移植5日後に湛水土壌処理した。また減水は、薬剤処理翌日から0.5cm/日を試験期間中実施して行った。調査は処理4週間後に草丈及び地上部生体重を20個体について測定して実施した。試験結果はF L L S Dテストを用いて、5%レベルで無処理区との有意差検定を行った。

結果

Fentrazamide 300 g ai/ha 処理では、0cm 及び 1cm の移植深度において 8% 程度の生育抑制が見られたが、2cm 及び 3cm の移植深度では影響はほとんど見られなかった (Fig.6)。Mefenacet 1000 g ai/ha 処理では、0cm 及び 1cm の移植深度において 10%、8% の生育抑制が見られたが、2cm 及び 3cm の移植深度では影響はほとんど見られなかった。一方、pretilachlor 処理では、0cm 及び 1cm では強い生育抑制がみられた。Benthiocarb 処理では、0cm で 15% の生育抑制が見られた。

考察

Fentrazamide 及び mefenacet は、水溶解性が低く、土壌吸着が強く、土壌表層 1 cm に多く分布することから判断すると、2cm 及び 3cm の通常的水稻の移植深度においては、高い選択性を示すと考えられる (Fig.3, Table 9)。移植深度 0cm と 1cm では、薬剤処理層に水稻の茎頂部分が存在することになり、生育抑制が強く見られることになる。その中では、0cm の移植深度において、fentrazamide が、mefenacet に比べて薬害がやや軽い傾向にあった。一方対照薬剤は、移植深度 0cm と 1cm において、強い生育抑制がみられている、薬剤の水溶解性が高いこと、土壌移動性が高いことが要因と考えられる。従って、新規薬剤を開発する場合には、生理的に移植水稻に安全な

薬剤が開発できれば望ましいが、少なくとも土壌移行性が少ない、水溶解性が適度に低い薬剤が望ましいといえる。

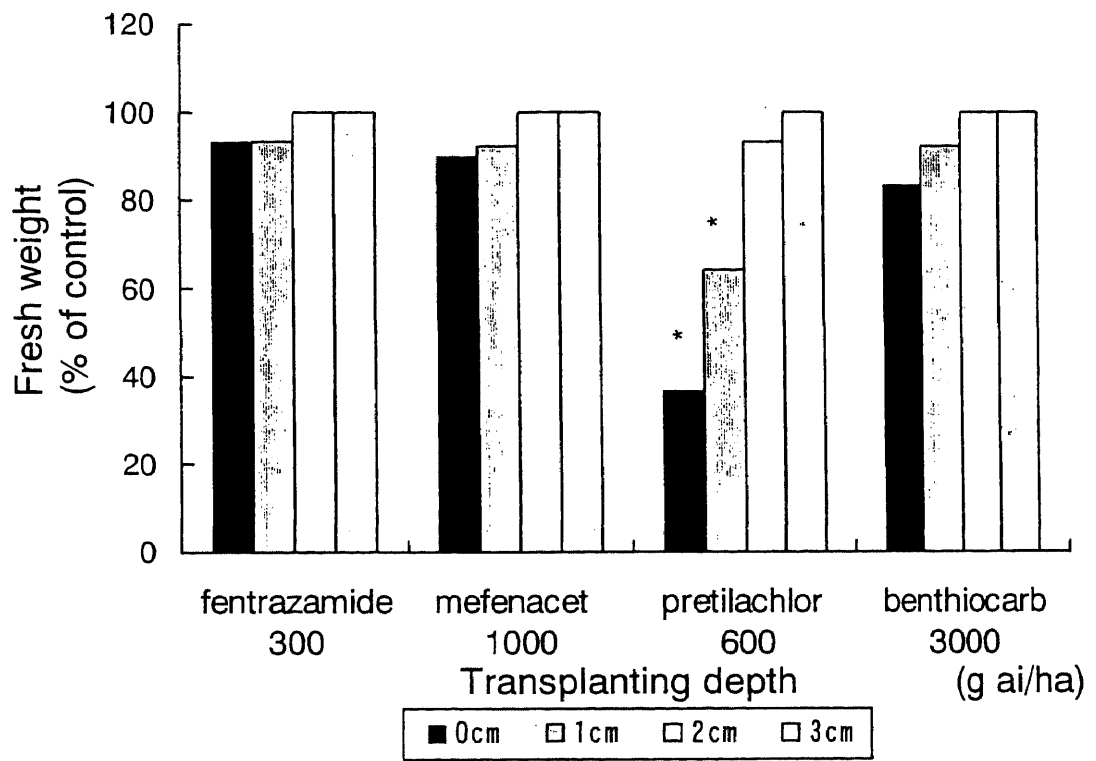


Fig. 6 Crop safety of fentrazamide on transplanted rice at different transplanting depth.

*Significantly different from untreated control ($P < 0.05$)

1-7 節 移植水稻に対する減水深別薬害性

材料と方法

1000 cm²のプラスチック製ポットに沖積埴土を充填し、代掻き後2葉期の水稻（品種：日本晴）を2 cmの深さに移植した。薬剤はポットを3 cmに湛水した後、供試薬剤の原体の乳化懸濁液（アセトン0.1%を用いた）を移植5日後に湛水土壌処理した。減水は処理翌日から、0.5、1及び2 cm/日を試験期間中に行い、減水の影響を検討した。調査は処理4週間後に草丈及び地上部生体重を20個体について測定して実施した。

結果

試験期間中2 cmの減水を行った fentrazamide 処理区において、移植深度0.5 cm及び2 cmにおいて草丈、生体重の減少が認められた（Table 10）。移植深度が2 cmであれば、減水深1 cm/日及び0.5 cm/日において、本剤による薬害はほとんど認められなかった。

考察

Fentrazamideは水溶解性も低く、また土壌表面への速やかな吸着により、減水の影響が受けにくい薬剤であるが、減水深2 cmでは薬剤が土壌移行して、水稻の根部から吸収されることで薬害を引き起こしていると考えられる。従って、移植深度が2 cmであった場合でも、2 cmの減水深により薬害を受けることが考えられる。減水による影響が実圃場では大きな薬害要因であることが想定される。

Table 10 Effect of leaching extent on the crop safety of fentrazamide to transplanted rice.

Treatemnt	Leaching (cm/day)	0.5 cm*		2.0 cm	
		Fresh weight (g)	Plant height (mm)	Fresh weight (g)	Plant height (mm)
Untreated	0.0	**9.6±1.0	756.0±20.3	10.3±0.8	762.1±10.2
fentrazamide	0.0	9.2±0.7	754.6±10.5	10.0±0.9	771.4±11.0
(300 g ai/ha)	2.0	8.3±0.7	642.5±15.7	8.6±0.9	668.0±16.0
	1.0	10.6±0.6	711.3±16.6	10.1±0.9	742.9± 7.5
	0.5	10.2±0.8	744.8±15.5	10.1±1.0	765.6± 6.5

*: Planting depth

** : Means ±SD(n=20)

1 - 9 節 考察

近年の水稲用除草剤は、主にノビエ類防除薬剤と広葉類および多年生雑草に効果を示す薬剤の混合剤として広く普及している。その中で、ノビエ類防除薬剤に求められる特性としては、ノビエ類に対する処理適期幅が広いこと、十分な土壌残効性を示すこと、移植水稲に対する安全性が高いことが求められる。Mefenacet は上記特性を有する薬剤として、スルホニルウレア系の薬剤との混合剤が広く普及し現在に至っている。本試験の結果から確認された fentrazamide の特性は、わが国の水田で発生が見られるタイヌビエ、イヌビエおよびヒメタイヌビエのいずれのノビエ類に対しても効果を示した (Table 3)。またタイヌビエに対する残効性は 40 日から 50 日と長い (Fig. 3)。移植水稲に対しては、移植時期、移植深度に関係なく高い安全性を示した (Fig.5, Fig.6)。これらの特性は mefenacet と共通すると特性であった。Mefenacet に比べて fentrazamide が優れる特性は、水田 1 年生雑草の広葉類にも効果が見られることである。スルホニルウレア系除草剤に抵抗性を示すアゼナ類、コナギ類、イヌホタルイに対する補強剤しても有効と考えられる。また移植水稲に対しても薬害程度はやや低いと考えられる。また処理薬量が少ないことである。薬害に及ぼす要因として減水深の影響を評価した (Table 10)。1 日当たり 0.5 および 1.0cm の減水では移植深度に関係なく薬害は少ないが、減水が 2.0cm では強い薬害が見られた。本剤を使用する場合には、減水が激しい水田においては薬害に留意する必要があることが確認された。本剤のノビエ類に対する広い処理適期幅 (ノビエ類の発生前から 3 葉期)、ノビエ類に対する適度な残効性 (移植後 40-45 日)、移植水稲に安全であることはノビエ類防除薬剤として有望と考えられる。

第2章 異なる環境条件下での作用性

本章では *fentrazamide* の効果発現、薬害性と各種変動要因（耕種条件、環境条件）との関連について、*mefenacet* と比較して評価した。*Mefenacet* の特性については、バイエルクロップサイエンス（株）の温室および圃場試験、公的な委託試験で評価が行われている（Aya *et al.*, 1985; Yasui *et al.*, 1987; Kamochi and Otsu, 1998）。*Fentrazamide* と *mefenacet* とを比較することで、両薬剤の特性の違いを検討した。まず重要雑草であるノビエ類に対する両薬剤の作用性を、発生深度、温度、土壌、田面水の流亡等の実際の水田で想定される環境条件を設定して検討した。またノビエ類の種類、発生深度によって、除草剤の効果が劣る場合が見られるために、本試験ではタイヌビエおよびイヌビエを用いて本剤の除草効果を検討した。

さらにわが国の水稻栽培地域は、南北に細長く、水稻の移植時期及びその後の温度は地域によって異なっている。例えば、北海道の移植時期は5月下旬、平均温度は13~15℃、東北地域は5月中から下旬、平均温度15~18℃、一方、九州地域は、5月下旬から6月中旬、平均気温20~23℃である。このような条件下で、両剤の除草効果及び移植水稻に対する安全性を確認することは重要である。また委託試験成績に見られる様に、土壌条件の違いにより薬剤の効果、薬害性に影響が見られる。本試験では両薬剤の異なる土壌条件下で除草効果及び移植水稻に対する安全性を検討した。水田土壌は、大半が沖積土壌であるが、その他、火山灰土壌、洪積土壌に分けられる。本剤の特性を沖積土壌及び洪積土壌で評価した。更に除草剤による薬害は砂質土壌で強い傾向にあり、砂質土壌での本剤の移植水稻に対する薬害性を評価した。最後に処理直後の田面水流亡は、薬剤の除草効果に影響を及ぼすことが多い。ここでは *fentrazamide* の除草効果に及ぼす田面水流亡の影響についても評価した。

2-1節 ノビエに対する発生深度別の除草効果

材料と方法

1000cm² のプラスチック製ポットに沖積埴土を充填し、催芽したノビエの小穂を所定の深度になるように接種した。ノビエ 1.5 葉期に湛水深を 3cm とした後、供試薬剤の原体の乳化懸濁液(アセトン 0.1%を用いた)を湛水土壌処理した。評価は処理 3 週間後に供試 20 個体について肉眼観察で行った。試験は 2 反復で実施した。

結果

Fentrazamide および mefenacet は、発生深度が 0, 1 及び 2cm のタイヌビエ及びイヌビエに対して高い除草効果を示した(Table 11)。Pretilachlor も両ヒエに対して高い効果を示した。一方 benthocarb はタイヌビエには効果を示したが、イヌビエには効果が劣った。特に発生深度が 2cm の場合には防除率が 70%であった。

考察

水田で発生するノビエは、2種3変種であり、タイヌビエ、イヌビエおよびヒメタイヌビエである。この中で、わが国の水田で発生が多いのはタイヌビエ及びイヌビエである。委託試験においてノビエ類の効果不足が見られる事例がある(日本特殊農薬、1986)。その原因としては、薬剤の処理適期を逸して雑草が大きくなりすぎた場合、また薬剤の残効不足などから後次発生の雑草が見られる場合が考えられる。タイヌビエの発芽は嫌気条件において認められるが、イヌビエは発芽が見られない(山末、1989)。ノビエ類の後次発生は酸素要求濃度に依存すると考えられ、イヌビエのただら発生が近年多くみられるようになってきているのは、農家の水管理がずさんになってきて、落水状態の水田が多いために発芽に好気条件を好むイヌビエが発生しやすいためとの指摘もある。本試験においては後次発生のノビエ類による効果を検討するために試験を行った。ノビエ類の発生は温度条件が低温であるとただら発生が続き、雑草の発生期間が長くなり、従って防除も長くなる傾向にある。温度条件以外の発生深度が深い場合には、出芽までの期間が長くなり、発生が長くな

る要因となる。圃場での発生深度については、タイヌビエの限界深度が 8cm から 10cm、イヌビエが 2.5cm から 3 cm との報告がある (Nakayama *et al.*, 1966)。この発生深度が除草剤の効果不足に関与する場合が想定される。本試験においては発生深度を最大 2cm とし て試験を行った。ノビエ類の出芽時期は、発生が深い場合には 10 日から 14 日程度出芽が遅くなった。本試験においては、mefenacet および fentrazamide は、0cm、1cm および 2cm の深さから発生する両草種に対して高い効果を示した。本試験条件は湛水深 3cm であり、また発生深度が最大 2cm であったことによるかもしれない。しかし、対照薬剤の benthocarb においてはイヌビエにおいて効果が劣ったのは、本剤のイヌビエに対する感受性がタイヌビエに比べて劣ること (Table 3)、あるいは 2cm の深度から発生したイヌビエの出芽時期が薬剤処理約 14 日後であったことにより、残効が比較短い本剤 (Fig. 3) では効果不足となったことによるかもしれない。発生深度と薬剤の防除効果については、今後圃場で検討することが重要である。Mefenacet はノビエ防除薬剤としての使用者の評価が高いが、後次発生のノビエ類にも効果が高いことによっていると推察される。本試験結果から fentrazamide は mefenacet と同様に後次発生のノビエ類に対して安定した除草効果を実圃場で示すことが想定される。

Table 11. Effects of mefenacet and fentrazamide on the growth of *Echinochloa* spp. by different emergence depth.

Herbicide	Rate g ai/ha	<i>Echinochloa oryzicola</i>			<i>Echinochloa crus-galli</i>		
		0*	1	2	0	1	2
mefenacet	1000	95	95	95	95	95	95
fentrazamide	300	98	95	95	95	95	95
pretilachlor	600	95	95	95	95	95	95
benthoiocarb	3000	95	95	95	85	85	70

*cm: Emergence depth in soil Efficacy: 100 excellent, 90 good, 0 poor

2-2節 タイヌビエに対する温度別の除草効果

材料と方法

1000cm² のプラスチック製ポットに沖積埴土を充填し、催芽したタイヌビエの小穂を接種し覆土した。その後高温（温室/25-30℃）・自然光条件・湿度 80%条件下及び低温（人工気象器/13-21℃）・12時間日長（6klx）湿度 80%の条件下でタイヌビエを育成し、2葉期および3葉期に達した時に、供試薬剤原体の乳化懸濁液（アセトン 0.1%を用いた）を湛水土壤処理した。評価は処理3週間後に地上部生体重を20個体について測定して行った。

結果

Fentrazamide 及び mefenacet は、温度条件に関係なくタイヌビエの2葉期及び3葉期の処理において、高い除草効果を示した（Fig.7）。しかしその効果は葉齢にかかわらずに高温条件下において低温条件下よりやや活性が高かった。対照薬剤である pretilachlor および benthocarb は、2葉期処理では高い効果を示したが、3葉期処理では両薬剤共に効果が劣った。

考察

Mefenacet は、広葉類、多年生雑草に効果が bensulfuron-methyl との混合剤（商品名：ザーク）として北海道から九州および沖縄までのわが国の水稻栽培地域で幅広く使用されており、ノビエに対する効果は高い評価を受けている（Yasui,1986）。温度条件が異なる地域、すなわち移植時期が比較的低温である北海道、東北、北陸地域、一方高温である九州、四国地域において優れた効果を mefenacet は示している。本試験において、Fentrazamide の除草効果は、mefenacet と同様に温度条件に関係なく高いことを示している。Fentrazamide と bensulfuron-methyl との混合剤（商品名：イノーバ）は、ザークと同様に低温および高温条件下で高いノビエ防除効果の評価を受けている（宮内、2001）。

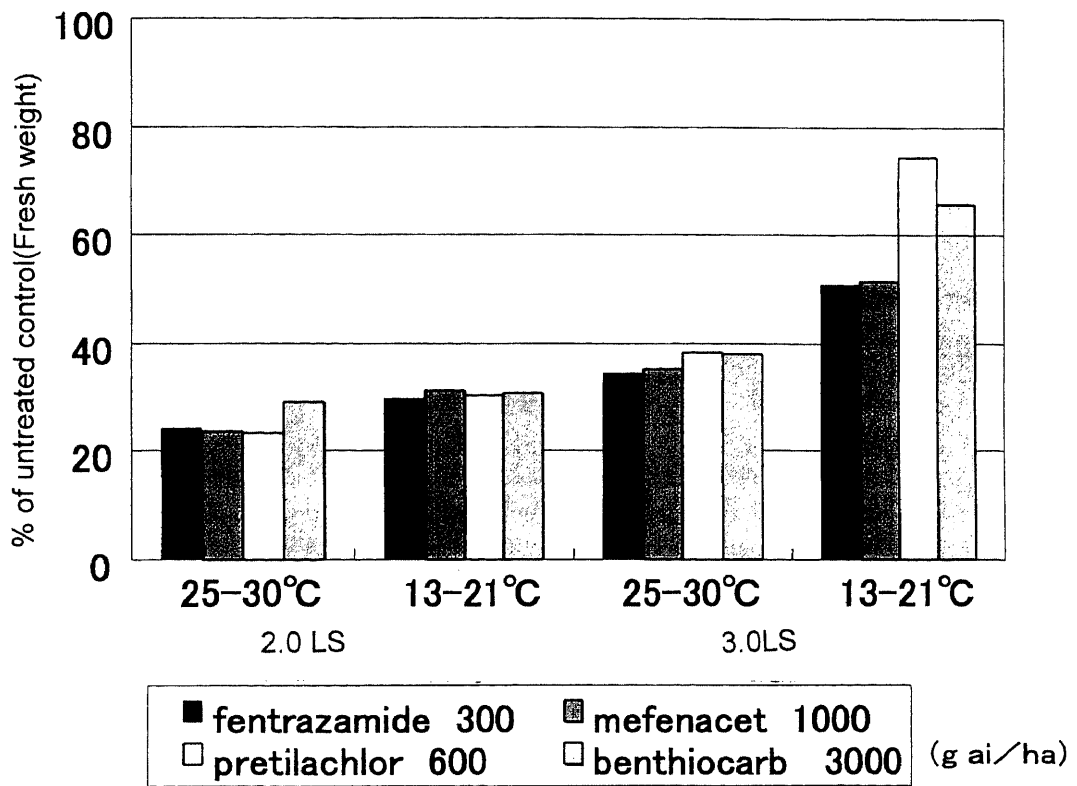


Fig. 7. Effects of mefenacet and fentrazamide on *Echinochloa oryzicola* by different temperature

2-3 節 タイヌビエに対する土壌別の除草効果

材料と方法

1000cm² のプラスチック製ポットに水田土壌（沖積埴土、洪積壤土：茨城県結城市の水田土壌）を充填し、催芽したタイヌビエの小穂を接種した。タイヌビエが所定の葉齢に達した時に、供試薬剤原体の乳化懸濁液（アセトン 0.1%を用いた）を湛水土壌処理した。評価は処理 3 週間後に供試 20 個体について肉眼観察によって行った。試験は 3 反復で実施した。

結果

水田に多く見られる沖積土壌と洪積土壌を用いて、fentrazamide および mefenacet の除草効果を検討した。両薬剤は、本試験土壌条件では 2.5 および 3 葉期のタイヌビエに対して、いずれも高い除草効果を示した (Table 12)。

考察

水田土壌条件によって除草効果の変動する除草剤が見られるが、mefenacet は土壌条件に関係なく比較的安定した除草効果を示す (日本特殊農薬、1986)。Fentrazamide は、mefenacet と同様に土壌条件に関係なく高い除草効果を示すことが委託試験等においても実証されている (宮内、2001)。しかしながら、砂質土壌、漏水が激しい (2cm/日以上) 水田においては、多くの薬剤において、薬剤の土壌移行に伴い、残効性が短くなる傾向にある。土壌条件は地域によりかなり異なることが想定されるので、実証試験を通じて両薬剤の評価を実施したい。

Table 12. Effects of mefenacet and fentrazamide on *Echinochloa oryzicola* by different soil

Herbicide	Rate (g ai/ha)	Loam(Alluvial)		Clay(Diluvial)	
		2.5*	3.0	2.5	3.0
mefenacet	1000	98**	98	95	95
fentrazamide	300	100	95	100	95

*:Leaf stage

*:Efficacy: 100 excellent, 90 good, 0 poor

2-4節 移植水稻に対する温度別薬害性

材料と方法

1000cm²のプラスチック製ポットに沖積埴土を充填し、代掻き後2葉期の水稻（品種：日本晴）を2cmの深さに移植した。その後高温条件（温室/25-30℃）及び低温条件（人工気象器/13-21℃）下で水稻を育成した。薬剤はポットを3cmに湛水した後、供試薬剤の原体の乳化懸濁液（アセトン0.1%を用いた）を移植5日後に湛水土壌処理した。調査は処理4週間後に供試20個体の地上部生体重を測定して実施した。

結果

Fentrazamide 及び mefenacet は、温度条件に関係なく、移植水稻に対して高い安全性を示した。また低温条件下では、fentrazamide の2倍量施用の薬害程度は、mefenacet よりやや軽かった(Fig. 8)。

一方、対照薬剤である pretilachlor 及び benthocarb は、高温より低温条件でやや抑制が強い傾向であった。

考察

除草剤の薬害は、薬剤処理後の温度変動、特に高温条件により移植水稻に薬害を生じる場合が多く見られる。その中で mefenacet は温度条件に比較的に関係なく移植水稻に安全性が高い薬剤と評価されている（日本特殊農薬、1986）。本試験において fentrazamide は、mefenacet と同様に温度条件に関係なく移植水稻に高い安全性を示した。委託試験においても本剤の移植水稻に対する安全性は確認されている（宮内、2001）。対照薬剤は両薬剤共に、薬剤処理後の高温条件下において強い薬害を生じる事例が見られるが、本試験では一定の温度条件下であったために薬害が見られなかったと考えられる（Table 9）。以上の結果から、fentrazamide は移植時期の気温が異なる北海道から九州・沖縄までの各地域において使用可能な薬剤であることが確認された。

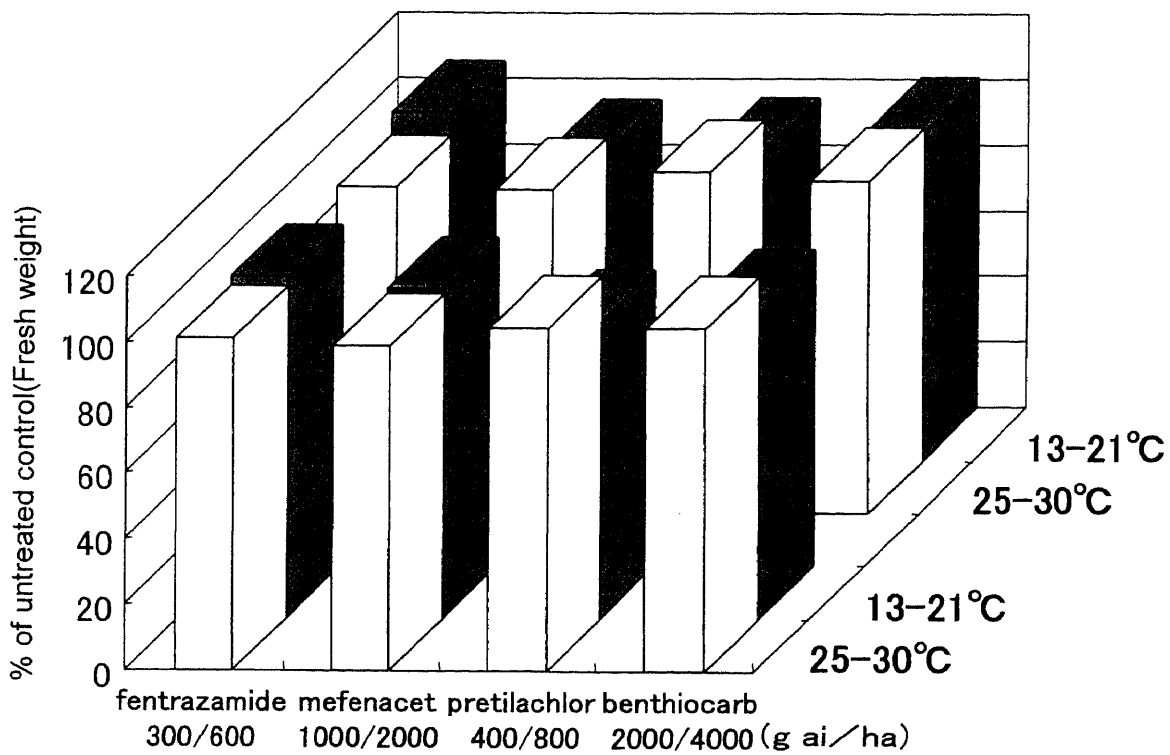


Fig. 8. Effects of mefenacet and fentrazamide on transplanted rice by different temperature

2-5 節 移植水稻に対する土壌別薬害性

材料と方法

1000cm² のプラスチック製ポットに水田土壌（沖積埴土、洪積砂質埴土）を充填し、代掻き後 2 葉期の水稻（品種：日本晴）を 2cm の深さに移植した。薬剤はポットを 3cm に湛水した後、供試薬剤の原体の乳化懸濁液（アセトン 0.1% を用いた）を移植 5 日後に湛水土壌処理した。調査は処理 4 週間後に供試 20 個体の地上部生体重を測定して実施した。

結果

Fentrazamide 及び mefenacet は、埴土および砂質埴土において、移植水稻に対して高い安全性を示した (Fig. 9)。一方、対照薬剤である pretilachlor 及び benthicarb は、砂質埴土ではやや移植水稻の生育を抑制した。この傾向は倍量処理で顕著であった。

考察

本試験の砂質埴土において、mefenacet は移植水稻に対して安全性を示したが、砂質埴土においては他の薬剤と同じように薬害を生じる場合が見られる（日本特殊農薬、1986）。その理由は砂質埴土においては、薬剤が土壌中を移行し、水稻の茎頂付近および根部から薬剤が取り込まれるために薬害が引き起こされると考えられる。従って、他の薬剤と同様に、砂質土壌においては使用する場合には留意する必要がある。

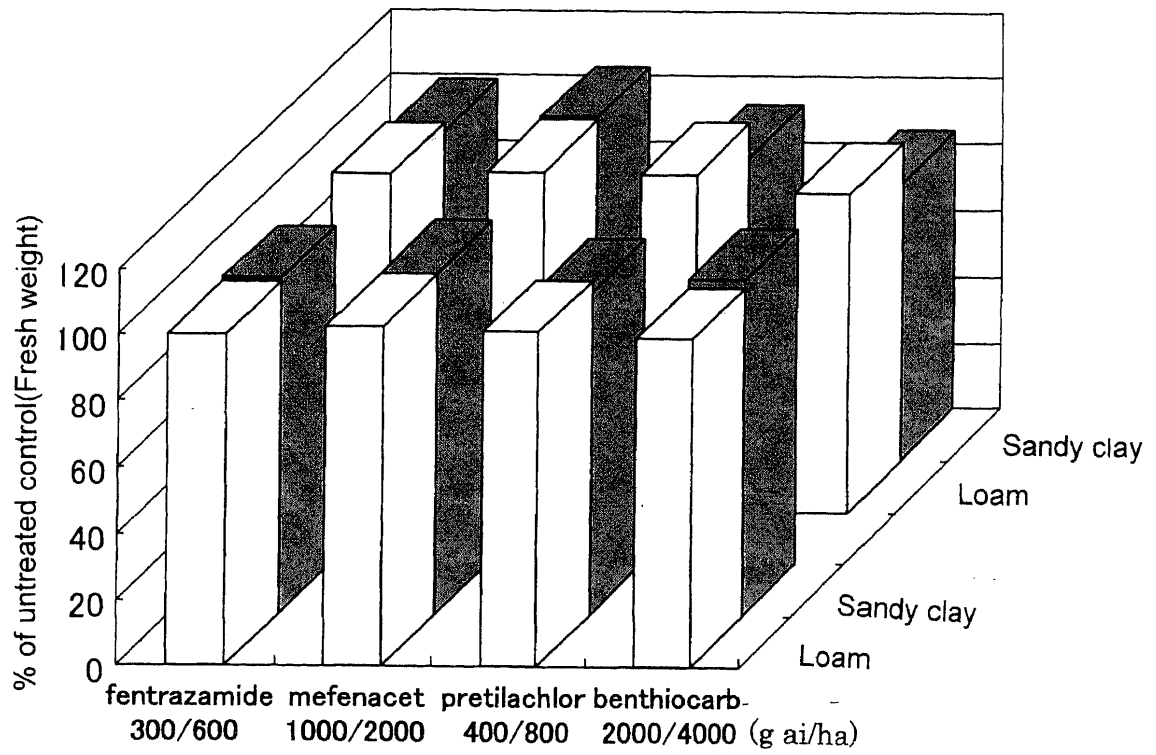


Fig. 9. Effects of mefenacet and fentrazamide on transplanted rice by different soil

2-6節 田面水流亡と除草効果

材料と方法

1000cm² のプラスチック製ポットに沖積埴土を充填し、催芽したタイヌビエの小穂を接種し覆土した。タイヌビエが 2 葉期に達した時点で湛水深を 3cm とし、fentrazamide 原体の乳化懸濁液(アセトン 0.1%を用いた) および粒剤 (有効成分 2.5%を含む) を湛水土壌処理した。田面水の流亡操作は、所定時間ごとに水深 3cm 相当の田面水をマイクロポンプを用いて静かに排出し、無処理水と交換することで行った。評価は処理 3 週間後に供試 20 個体について肉眼観察で行った。試験は 2 反復で実施した。なお、本剤の田面水中の濃度 (ppm) はガスクロマトグラフィにより分析測定した。

結果

田面水流亡による fentrazamide の除草効果は、処理 3 時間後の流亡において、原体処理で効果が劣ったが、粒剤処理では除草効果に影響が見られなかった(Fig.10)。薬剤処理 6 時間後以降の流亡処理では、原体及び粒剤ともに高い除草効果を示した。

流亡操作をしない無処理区での原体および粒剤の田面水中の有効成分濃度は以下の通りであった。原体の濃度は薬剤処理 3 時間で 0.6ppm と最も高く、その後 24 時間で約半分の濃度となり、72 時間後では 1/5 となった。一方粒剤は処理 3 時間後が 0.08ppm、薬剤処理 24 および 48 時間後に最大の濃度、0.14ppm および 0.13ppm となった。原体では、薬剤処理 3 時間後の流亡処理において 0.05ppm、6 時間後、24 時間後、48 時間後には、それぞれ 0.06ppm、0.065ppm、0.06ppm であった。

考察

水稻除草剤を水田に処理した場合には、処理後少なくとも 3～4 日間は止水をするようにとの農林水産省の指導が使用者に徹底されている。その理由は、水田での薬剤の除草効果の安定と流亡による河川の汚染を防ぐためである。湛水処理された mefenacet は速やかに土壌表面に吸着される。本剤の田面水での半減期は約 7 日であり

(Yasui, 1986)、また土壌吸着は主に土壌中の有機炭素量に依存するとされる (Watanabe *et al.*,2006)。Fentrazmide の田面水中での半減期は約 2 日であり (Yasui *et al.*,1997)、mefenacet に比べても速やかに土壌表層に吸着される。両薬剤は薬剤処理後、速やかに土壌表層に吸着されるが、処理後の降雨また水管理により影響が大きいことから、他の薬剤と同様に薬剤処理後 3 ～ 4 日は止水することが重要である。

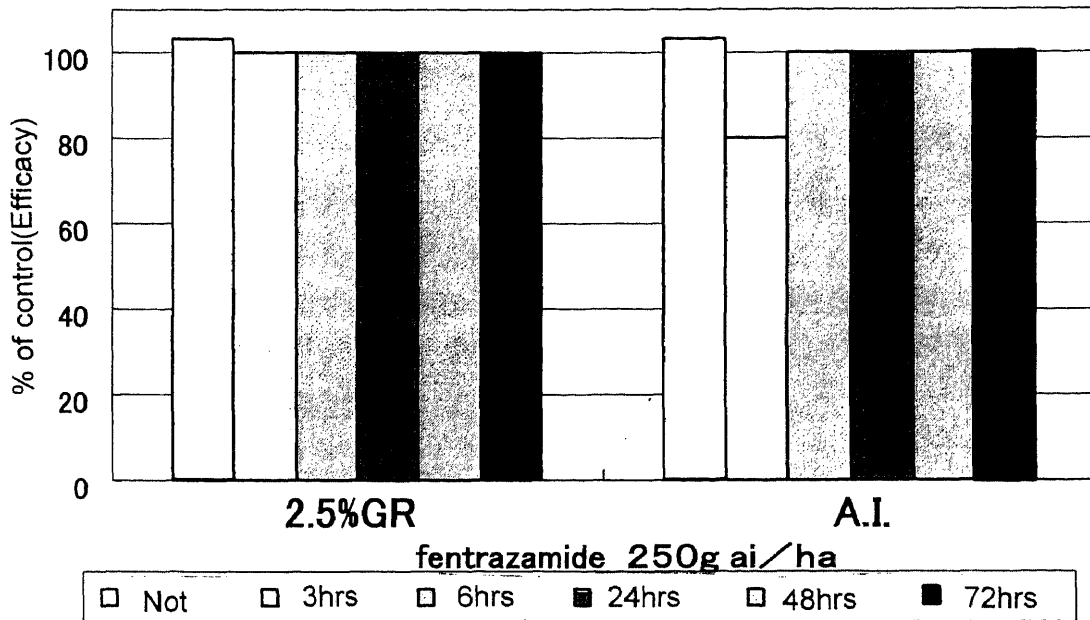


Fig. 10. Effect of fentrazamide on the growth of *Echinochloa oryzicola* by run-off of flooded water.

2-7節 考察

第1章においては、fentrazamideの基本特性をmefenacetと比較して評価した。Mefenacetの特性は、1000 g ai/haの処理量で水田の重要雑草であるノビエ類には発芽前から3葉期までの広い処理適期幅を示したこと、またノビエに対する残効性が十分であること、移植水稻に選択性が高いことなどが上げられる。Fentrazamideの特性は、ノビエ類を中心とする主要水田雑草に対して300 g ai/ha以下の施用量で有効であること、ノビエ類に対する処理適期幅が広いこと、水田1年生雑草に高い効果を示すこと、移植水稻に安全性が高いことが上げられる。両薬剤の基本特性は類似しているといえる。

第2章においては、圃場において想定される環境条件を設定して、両薬剤の作用特性に及ぼす影響について評価した。試験結果からfentrazamideの特性は温度や土壌要因に影響を受けにくく、また田面水の移動に影響されにくいといえる。Mefenacetも同様に、温度および土壌条件の影響が少なく、また田面水の移動の影響も少ない薬剤である(Yasui,1986)。環境条件を変えて影響を評価した本試験においても両薬剤の特性は類似していた。Fentrazamideの物理化学性は、水溶解性が2.3ppmと低く、土壌中での移行性も極めて低い(表21)。Mefenacetと比較しても土壌移行性は低い。それゆえ、湛水土壌処理されたfentrazamideは土壌表層に強く吸着され、有効な処理層を形成し、ノビエ類に対する優れた効果や長い残効性、更に移植水稻に対する高い安全性をもたらしていることが示唆される。この特性に着目して、mefenacetにはない田植同時処理という新しい分野での検討がなされた(鶴川、2001)。近年低コストで省エネルギーな水稻栽培が指向されており、除草剤の田植同時処理法も究極な省エネルギー技術のひとつと考えられる。田植同時処理は移植作業と同時に除草剤を処理する方法であり、温室試験の結果の基づき処理薬量を200 g ai/haと決定し、bensulfuron混合剤(商品名:イノーバ)についてその適用性を圃場において検討した。除草活性に影響を及ぼす気温や降雨等の気象要因、除草剤の不均一処理、薬剤処理後入水までの時間間隔等の条件下で試験を行った。その結果、混合剤は安定した効果と高い作物安全性を得ることができた。その

後、委託試験での評価を経て、2000年に登録となった。Mefenacetはその特性により初中期処理分野を開拓したが、fentrazamideは初中期処理分野に加えて、田植同時処理という新しい分野を開拓した。今後は、直播栽培で使用が可能な薬剤の開発が望まれる。

第3章 生育および形態に及ぼす影響

第1章および第2章においては、fentrazamide および mefenacet のノビエ類を含む主要水田雑草に対する作用性を生態的要因(発生深度、残効性、葉齢限界、土壌条件、温度条件、土壌吸着と水稻に対する安全性および残効性等)との関連から研究した。ノビエ類に対する作用性は、fentrazamide および mefenacet で類似していた。また両薬剤の水溶解性は共に低いものの、土壌移行性は、fentrazamide が mefenacet に比べて小さかった。本章では、水田主要雑草であるイヌビエおよびタイヌビエに対する形態的な影響を主体として研究した。

Mefenacet の作用機構としては細胞分裂を阻害するとされる(Fedke *et al.*,1991)。一方、fentrazamide の作用機構はいまだ不明であるが、細胞分裂の阻害、あるいは長鎖脂肪酸 (very long chain fatty acids:VLCFAs) 合成の阻害(Mattes *et al.*,1998)、また最近の研究ではタンパク質の分解過程に関与するとの知見があげられている(Lim *et al.*,2007)。今まで得られた細胞の所見等から、本剤は植物の細胞分裂組織に作用する結果、生育を停止させ、枯死に至らしめると考えられる(Yasui *et al.*,1997)。水田の主要雑草であるタイヌビエ及びイヌビエを用いて、殺草症状、殺草過程、植物の各器官に対する影響を外部形態及び内部形態的に詳細に検討して、本剤の作用機構の解明の一助とすることを目的とした。

3・1節 タイヌビエの生育に及ぼす影響

材料と方法

沖積埴土を充填した 1000cm² のプラスチック製ポットに、催芽したタイヌビエの小穂を播種し、覆土深 0.5cm、湛水深 3cm として、温室内(25±5℃)で育成した。タイヌビエの小穂の播種当日及び 1,2,3 葉期まで生育した時点で、mefenacet 1000 g ai/ha 及び fentrazamide 300 g ai/ha 相当量を含む懸濁液(アセトン 0.1%を用いた)を、それぞれ湛水土壌処理した。殺草症状については、薬剤処理後経時的に 21 日後まで肉眼で観察した。

結果

Mefenacet が引き起こす殺草症状は、葉身の濃緑化、葉の出すくみ、植物体全体の生育抑制であった(Fig. 11)。この症状は fentrazamide による症状と類似していた(Fig.12, 13)。

発芽前処理では、mefenacet は中胚軸及び子葉鞘には影響が見られなかった。しかし、第 1 葉、第 2 葉及び種子根は強く抑制された。殺草症状は処理 3 日後には認められなかったが、最初の症状は処理 5 日後に、第 1 葉の抑制、子葉鞘の濃緑化として認められた。その後、子葉鞘節の基部が褐色となり、その症状が全体へと広がった。処理 9 から 10 日後には、壊死が子葉鞘基部に見られ、その後、植物体は枯死に至った。

1 葉期処理では、第 1 葉及び子葉鞘は影響が見られなかったが、第 3 葉及び第 2 葉鞘が強く抑制された。処理 4 日後には、第 2 葉の出すくみ、その基部の褐色化が見られた。処理 7 から 10 日後には、植物体の基部が壊死し、14 日後には枯死に至った。

2 葉期および 3 葉期処理では、その後に抽出する第 3 葉および第 4 葉、第 4 葉および第 5 葉が、それぞれ抑制された。また冠根の生育も著しく抑制された。

考察

Mefenacet および fentrazamide の殺草症状は、生育抑制、新葉の濃緑化である。また根の抑制が強い。作用機構による殺草症状から

類似性、相違点をまとめた。長鎖脂肪酸 (very long chain fatty acids: VLCFAs) 合成の阻害とされるクロロアセトアニリド系の pretilachlor, butachlor やカーバメート系の benthocarb と類似している (Chen *et al.*, 1981; Nirmal *et al.*, 1972)。しかし benthocarb (Shibayama *et al.*, 1976) や bensulide (化学名: *O*, *O*-ジイソプロピル-2-(ベンゼンスルホンアミド)エチルジチオホスフェート) (Elizabeth *et al.*, 1968) では根の抑制程度が小さい点が異なる。微小管形成阻害の trifluralin (化学名: α, α, α -トリフルオロ-2,6-ジニトロ-*N*, *N*-ジプロピル-パラトルイジン) や Dithiopyr (化学名: *S, S'*-ジメチル=2-ジフルオロメチル-4-イソブチル-6-トリフルオロメチルピリジン-3,5-ジカルボチオアート) は新葉の生育抑制が見られるが、茎葉基部と根の肥大がみられる (Donald *et al.*, 1968; Armbruster *et al.*, 1991)。肥大症状が mefenacet および fentrazamide と異なる。有糸分裂を阻害する cinmethylin (化学名: (1*RS*,2*RS*,4*SR*)-1,4-エポキシ-*p*-メンター-2-イル=2-メチルベンジル=エーテル) は生育停止が見られるが、基部の肥大、葉身と葉鞘との間の部分の黄化としおれがみられる点が異なる (EL-deek *et al.*, 1986)。セルロース阻害剤である dichlobenil (化学名: 2,6-ジクロロベンゾニトリル) は生育停止と共に、茎葉基部が肥大する (Shimizu *et al.*, 1963)。また植物全体が速やかに褐変する点が異なる。ACCase 阻害の sethoxydim (化学名: (±)-2-(1-エトキシイミノブチル)-5-[2-(エチルチオ)プロピル]-3-ヒドロキシシクロヘキサ-2-エノン) (Hosaka *et al.*, 1986) と diclofop (化学名: 2-[4-(2,4-ジクロロフェノキシ)フェノキシ]プロパノエート) (Morrison *et al.*, 1981) は新葉の成長停止が見られるが、新葉の黄化症状、生長点の膨化が異なる。以上の結果から、fentrazamide の症状からは、mefenacet (細胞分裂阻害) と長鎖脂肪酸合成阻害のクロロアセトアニリド系の pretilachlor および butachlor と類似している。

5 days after treatment



10 days after treatment



Fig. 11 Herbicidal symptom of mefenacet on *Echinochola* spp.

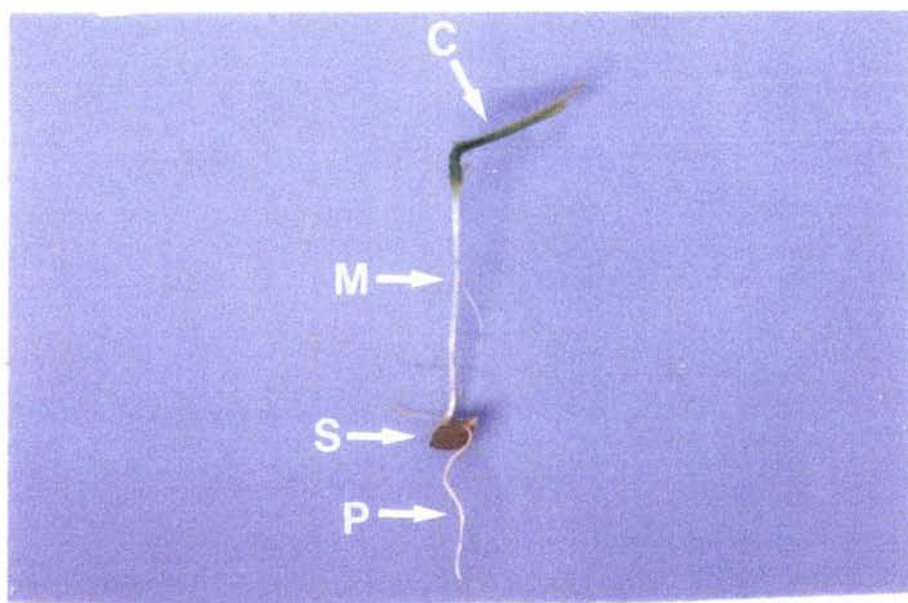
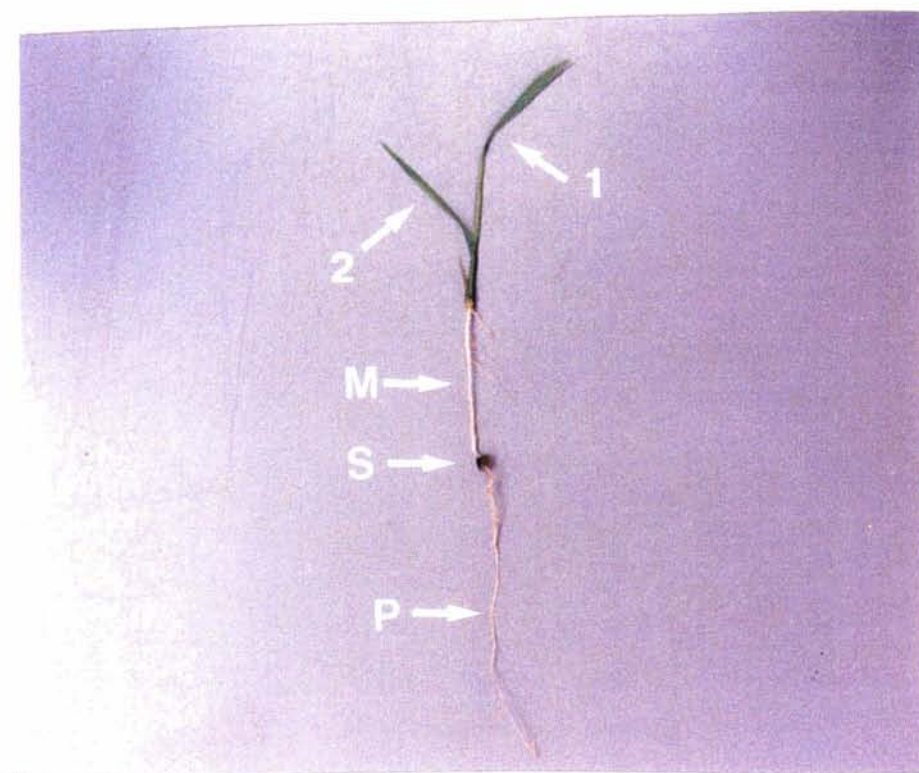


Fig. 12 *Echinochloa oryzicola* seedling treated with mefenacet before emergence and at 1 leaf stage.
 P:Primary root S: Spikelet M:Mesocotyl C:Coleoptile
 1 and 2: 1st and 2nd leaves

3-2 節 タイヌビエの初期生長に及ぼす影響

材料と方法

沖積埴土を充填した 1000cm² の防水加工した紙ポット (7x7x24.5cm) に、催芽したタイヌビエの小穂を播種し、覆土深 1 cm、湛水深 2 cm として、温室内 (25±5°C) で育成した。タイヌビエ小穂の播種当日及び 1, 2, 3 葉期まで生育した時点で、mefenacet 1000 g ai/ha 相当量を含む懸濁液を湛水土壌処理した。薬剤処理 10 日後に無処理区と薬剤処理区からそれぞれ 20 個体を採取し、各器官の数、長さを測定調査した。

結果

タイヌビエは水田主要雑草であるにもかかわらず、その初期生長について形態的に研究された事例がほとんどない (Nakayama, 1968)。本研究ではタイヌビエの初期生長を観察した (Table 13)。本種の第 1 葉では葉身が葉鞘より短かったが、第 2 葉以降は葉身が葉鞘より長くなった。葉身長の葉鞘長に対する割合は、後次葉ほど大きくなった。葉身の幅は第 2 葉以降順次広くなった。1 次分げつの原基は 4 葉期になると第 2 葉と第 3 葉の葉腋に肉眼でも認められた。第 1 葉の分げつは発達せず、第 2 葉の分げつも発達しない場合があった。根系については、1 葉期では種子根およびその 2 次根、メソコチル根が観察された。第 1 冠根の原基が子葉鞘節に肉眼で観察される個体もあった。2 葉期では種子根は伸び、2 次根も増えた。メソコチル根の 2 次根が観察される個体もあった。冠根は 1 ないし 2 本であったが、その 2 次根は観察されなかった。3 葉期では、種子根が更に伸び、2 次根も増加、3 次根が認められる個体もあった。冠根 3~4 本に増え、最初の冠根には 2 次根が認められた。第 2 冠根にも 2 次根が認められる個体があった。4 葉期では、冠根が 4~7 本に増え、第 3 冠根まで 2 次根が認められる個体が多くなった。

Mefenacet をタイヌビエの発芽時、1、2、3 葉期に処理すると、処理後最初に抽出する葉の伸長が抑制され、それ以降の葉の生長は著しく阻害された (Table 14)。種子根長は発芽時処理で抑制されるが、冠根数、冠根長総和は全処理で抑制された。また 2 葉期処理におけ

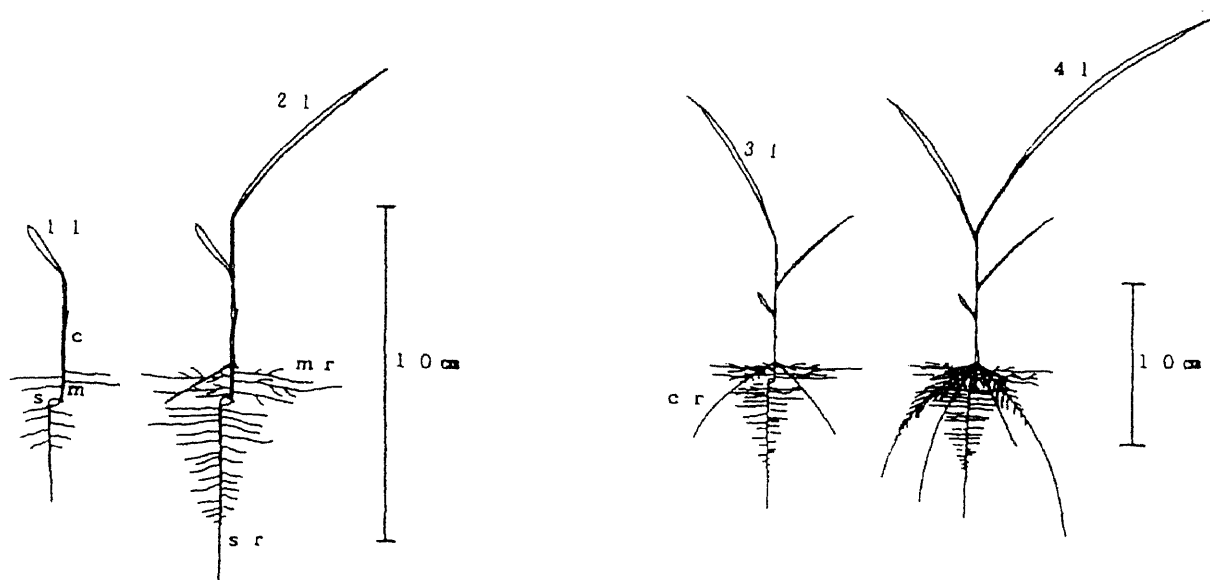
る葉長及び冠根長総和の経時的変化を測定したところ、処理1日後で第3葉葉長に影響が認められ、その後ほとんど伸長しなかった。冠根長総和に対しては、処理7日後から影響が認められ、その後無処理区との差が拡大した。Mefenacet 1葉期処理では、第2葉の葉鞘と葉身の伸長に及ぼす影響を測定したところ、第2葉の葉鞘は、処理時から7日後までに、無処理区の約100倍まで伸長したが、処理区では約8倍の伸長であり、著しく伸長が阻害された(Table 15)。

考察

水田の主要雑草であるタイヌビエの初期生長について形態的に観察された知見はほとんどなく(Ehara, 1950; Kacperska *et al.*, 1963)、薬剤の影響を観察するために初期生長について調査した。タイヌビエは、中胚軸が伸長して土壌表面に茎頂が押し上げられる。その後、地上部基部、あるいは中胚軸から冠根あるいは不定根が発生してくる。ノビエ類の1~3葉期までの冠根は数が少ない。これはイヌビエにおいても同様である(Nakayama *et al.*, 1968)。一方、移植水稻は、ビニールハウス等で育成され2~3葉期に達した苗を田植機で土中2~3cmで移植する。水稻では、茎頂部分が土中2~3cmの深さに存在することになる。また水稻ではノビエ類と異なり冠根の発生量は多い(河村ら, 1979)。本剤の処理によって、処理後に抽出する葉の伸長が抑制され、それ以降の葉の生長は著しく抑制された。根に対しては、発芽前処理の種子根、1葉から3葉期処理での冠根の伸長、本数がそれぞれ阻害された。このように mefenacet は細胞の分裂、伸長が著しい器官に対する影響が大きいと考えられる。Butachlor 処理によっても、新葉の生育抑制、冠根の抑制が見られており、本剤と類似している(Chen *et al.*, 1981)。しかし benthocarb では、新葉の生育抑制は見られるが、冠根への影響はほとんど見られていない(Shibayama *et al.*, 1976)。水稻に対する薬害については、ノビエ類と症状は類似しており、新葉および冠根の生育抑制である。水稻に対する影響は、同じ葉齢であれば、ノビエ類より程度が軽く、回復も早い。この回復に冠根が寄与していると考えられる。

Table 13 Morphological studies on the growth and development of *Echinochloa oryzicola*.

Plant organ	(mm)	Growth stage(leaf stage)			
		1	2	3	4
Coleoptile	length	16			
1 LS	leaf sheath	32			
	leaf blade	25			
	width of leaf blade	1.8			
2 LS	leaf sheath		37		
	leaf blade		68		
	width of leaf blade		1.4		
3LS	leaf sheath			61	
	leaf blade			114	
	width of leaf blade			2.6	
4LS	leaf sheath				79
	leaf blade				188
	width of leaf blade				4.1
Mesocotyl	length	12			
	No. of roots	4.3	5.9		
Primary root	length	29	56	76	79
Coronal root	No. of roots	0.3	1.6	3.2	5.5
	Total length	0.3	24	151	401



C: Coleoptile Cr: Coronal root 1l: 1st leaf 2l: 2nd leaf 3l: 3rd leaf
 4l: 4th leaf m: Mesocotyl mr: Mesocotyl root s: Spikelet sr: Primary root

Table 14 Effect of mefenacet on the growth and development of *Echinochloa oryzicola* at early growth stage.

Treatment	Mesocotyl	Length(mm)										Primary root		Coronal root			
		Coleptile	1st LS	2nd LS	3rd LS	4th LS	5th LS	6th LS	LS	length	Total length	No. of roots	length	No. of roots			
Before emergence																	
Untreated	11	13	43	96				1.9	55	1.5	18						
mefenacet	13	12					0.0	18	0.0	0.0	0.0						
1 LS																	
Untreated			40	98	154			3.0	71	2.9	115						
mefenacet			54	49			1.2	80	2.0	42							
2 LS																	
Untreated				116	182	295	235	4.4	88	7.2	680						
mefenacet				120	83			2.2	98	3.7	302						
3 LS																	
Untreated					219	342	423	308	114	11.7	1519						
mefenacet					215	140		3.4	99	8.7	770						

Table 15 Effect of mefenacet on the length of 2nd leaf of *Echinochloa oryzicola* at 1st leaf stage. (unit:mm)

Treatment	Days after treatment					
	before	1	2	3	4	7
Untreated						
Leaf sheath	0.6	2.4	11.8	43.7	58.0	64.8
Leaf blade	25.2	52.3	74.5	74.1	74.4	75.6
Leaf stage	1.0	1.2	1.5	2.0	2.1	2.9
mefenacet						
Leaf sheath		1.5	1.8	2.2	2.4	5.1
Leaf blade		42.5	42.7	44.9	42.0	44.8
Leaf stage		1.2	1.1	1.2	1.2	1.2

3-3 節 タイヌビエの外部形態に及ぼす影響

材料と方法

沖積埴土を充填した 1000cm² の防水加工した紙ポット (7x7x24.5cm) に、催芽したタイヌビエおよびイヌビエの小穂を播種し、覆土深 1cm、湛水深 2cm として、温室内 (25±5℃) で育成した。タイヌビエ小穂の播種当日及び 1, 2, 3, 4 葉期まで生育した時点で、mefenacet 1000 および 500 g ai/ha、fentrazamide 250 及び 125 g ai/ha 相当量を含む懸濁液 (0.1% アセトンを用いた) を湛水土壌処理した。薬剤処理 21 日後に無処理区と薬剤処理区からそれぞれ 10 個体を採取し、肉眼観察と供試 10 個体の生体重を測定した。

結果

Fentrazamide 250 g ai/ha 処理は、3 葉期までのタイヌビエおよびイヌビエに高い効果を示した。Mefenacet 1000 g ai/ha 処理においても、3 葉期までの両ノビエ類に高い効果を示した (Table 16)。試験結果から、fentrazamide 250 g ai/ha は、mefenacet 1000 g ai/ha とほぼ同等の除草活性を示した。Mefenacet および fentrazamide の殺草症状は、生育抑制、新葉の濃緑化であり、イヌビエおよびタイヌビエにおいて差異は認められなかった。

考察

殺草症状、新葉の抑制、新葉の濃緑化および冠根の阻害は、mefenacet と fentrazamide とで違いは見られていない。Fentramide の作用機構は不明であるが、細胞分裂を阻害する mefenacet と外観的に違いは見出せなかった。従って、本章 3-4 節で内部形態的に比較することで両薬剤の影響を詳細に観察する。

Table 16. Herbicidal effects of fentrazamide and mefenacet on *Echinochloa crus-galli* and *E. oryzicola* in greenhouse.

Application timing	Untreated		Treated with fentrazamide				Treated with mefenacet			
			250 g/ha		125 g/ha		1000 g/ha		500 g/ha	
	FW (mg)*	HE**	FW (mg)*	HE**	FW (mg)*	HE**	FW (mg)*	HE**	FW (mg)*	HE**
<i>Echinochloa crus-galli</i>										
1LS treatment	535±107	0	25± 4	98	26± 7	98	4± 1	99	11± 3	98
2LS treatment	2053±185	0	64± 7	95	106± 8	95	67± 13	95	100± 9	93
3LS treatment	3855±346	0	423± 25	90	476± 32	88	348± 32	90	515± 42	88
4LS treatment	5289±337	0	1357± 64	85	2220±495	70	999± 68	88	1943±282	80
<i>Echinochloa oryzicola</i>										
1LS treatment	1140±106	0	52± 5	98	66± 6	95	55± 5	95	74± 6	93
2LS treatment	1825±119	0	107± 6	95	112± 11	95	99± 6	95	138± 16	93
3LS treatment	3005±222	0	534± 46	90	759± 73	88	546± 43	90	961±137	85
4LS treatment	5048±200	0	965±135	85	2762±363	60	854± 50	88	1600±321	70

* Average fresh weight of 10 plants (mg) ±standard deviation.

** Herbicidal effect by macroscopic observation. 0 : no effect, 100 : completely killed, ≥ 90 : sufficient efficacy

3-4 節 ノビエ類の内部形態に及ぼす影響

材料と方法

沖積埴土を充填した 400cm² のプラスチック製ポットに、催芽したタイヌビエおよびイヌビエの小穂をおのおの播種し、温室内 (25±5℃) で育成した。ノビエ類の播種当日、1, 2 及び 3 葉期に、fentrazamide 300 g ai/ha 及び mefenacet 1000 g ai/ha 相当量を湛水土壤処理した。処理 7 日後に各ノビエ類を採取し、常法に従ってパラフィン切片の作成、染色を行い、検鏡して、両薬剤がノビエの茎頂部の組織に及ぼす影響を観察した。

結果

出芽前処理したタイヌビエの茎頂付近を観察した。無処理区の冠根は、子葉鞘節から生じる第 1 番目の冠根が既に発根し、更にもうひとつの冠根の原基が観察された (Fig.14)。Fentrazamide 及び mefenacet の処理区では、子葉鞘節から発生する第 1 番目の冠根の原基が観察されたが、発根に至っていなかった。また更なる冠根の発生も見られていない。葉の伸長に関しては、両薬剤処理共に、処理した植物は出芽するが、第 1 葉を含む普通葉が子葉鞘から展開せずに枯死に至った。無処理の第 1 葉の葉鞘の細胞は縦長であり、葉鞘の組織内に細胞が壊れた空間、破生通気腔が観察された。これに対して、薬剤処理区では、第 1 葉の葉鞘の細胞は、縦より横に長い平たい形であり、葉鞘の破生通気腔は観察されなかった。細胞の縦方向の伸長が阻害されていた。また無処理区では、第 1 葉の腋芽、すなわち分けつの原基が認められているが、薬剤処理区ではこの分けつの原基は観察されなかった。イヌビエにおいても同様であった。

1 葉期処理では、無処理のタイヌビエは 2.4 葉に達し、第 1 葉だけでなく、第 2 葉の葉鞘の、横断面にも、破生通気腔が見られた (Fig.15)。また第 3 葉以降の葉の組織は濃く染まっており、各葉鞘の間の空間が観察された。一方、薬剤処理区では、処理時に伸長がほぼ終わっていた第 1 葉には破生通気腔が見られたが、第 2 葉の葉鞘には破生通気腔が見られなかった。また第 2 および第 3 葉の葉鞘の組織全体は濃く染まっていたが、第 3 葉以降では、葉鞘どうしの際

間は見られなかった。

2葉期処理では、両薬剤処理区において、節間伸長の抑制、茎頂近傍での若い葉の正常な伸展、分けつの葉の正常な伸展が阻害されていた(Fig.16)。

考察

Fentrazamide 及び mefenacet においては、タイヌビエ及びイヌビエに対して、共通した影響を示した。すなわち、冠根の伸長や分化、葉の正常な伸展、細胞の縦方向の伸長及び分けつの分化の抑制である。この結果は、両薬剤が細胞の分裂、伸長を阻害することを示している。

主な作用機構に分類される薬剤と両剤との内部形態的な影響の類似性、相違点をまとめると次に様になる。細胞分裂阻害の mefenacet による内部形態的な影響は、生長点近傍の新葉の細胞の縦方向の伸長および分けつの分化が阻害された。冠根の発生、伸長も阻害された (Ito *et al.*, 2000)。異常肥大は見られない。茎頂の生長点は影響をうけていないように見られる。本本試験における fentrazamide においても同様であった。長鎖脂肪酸合成の阻害とされるクロロアセトアニリド系の butachlor (Chen *et al.*, 1981) では、生長点近傍の新葉の細胞の縦方向の伸長、冠根の発生および伸長が阻害された。異常肥大は見られない。茎頂の生長点は影響をうけていないように見られる。Fentrazamide および mefenacet と類似している。同じく長鎖脂肪酸合成の阻害とされるカーバメート系の benthicarb (Shibayama *et al.*, 1976) は細胞の垂直方向の伸長を阻害、分けつ芽が肥大した。Fentrazamide および mefenacet と類似している。しかし筒状葉を形成する (ホルモン剤と異なる部位)。根の阻害が小さい点は異なる。微小管形成阻害の trifluralin (化学名: α, α, α -トリフルオロ-2,6-ジニトロ-N, N-ジプロピル-パラトルイジン) では根の肥大がみられ、大きな空隙が組織内に見られる。茎頂の組織細胞では多核細胞がみられる。Fentrazamide および mefenacet とは異なる。セルロース阻害剤である dichlobenil (Shimizu *et al.*, 1963) で特徴的なのは植物表皮、柔組織、維管束などの若い細胞に垂直方向の伸長抑制が見られ、反対に水平方向の著しい肥大が起こる点であ

る。その結果処理植物は形態的に著しい膨張短大化すると同時に、異常肥大した細胞は細胞膜が破れやすく、破生空隙を生じて組織が脆弱化し、植物体は倒伏または挫折しやすくなる。Fentrazamide および mefenacet とは異なる。ACCase 阻害の sethoxydim(Hosaka *et al.*, 1986)は茎頂部ならびに根端分裂組織の細胞伸長および分裂を阻害し生長を停止させる。根端分裂組織においては生長点近傍の分裂組織には影響がないものの、皮層において細胞内空砲化、細胞質の消失が認められた。新葉においても細胞質の収縮による形態異常、茎基部分裂組織の形態異常、部間分裂組織、葉縁形成組織帯の形態異常である。Fentrazamide および mefenacet とは異なる。

以上の結果から、fentrazamide の内部形態の影響からは、mefenacet(細胞分裂阻害)と長鎖脂肪酸合成阻害のクロロアセトアニリド系の butachlor と類似しているといえる。

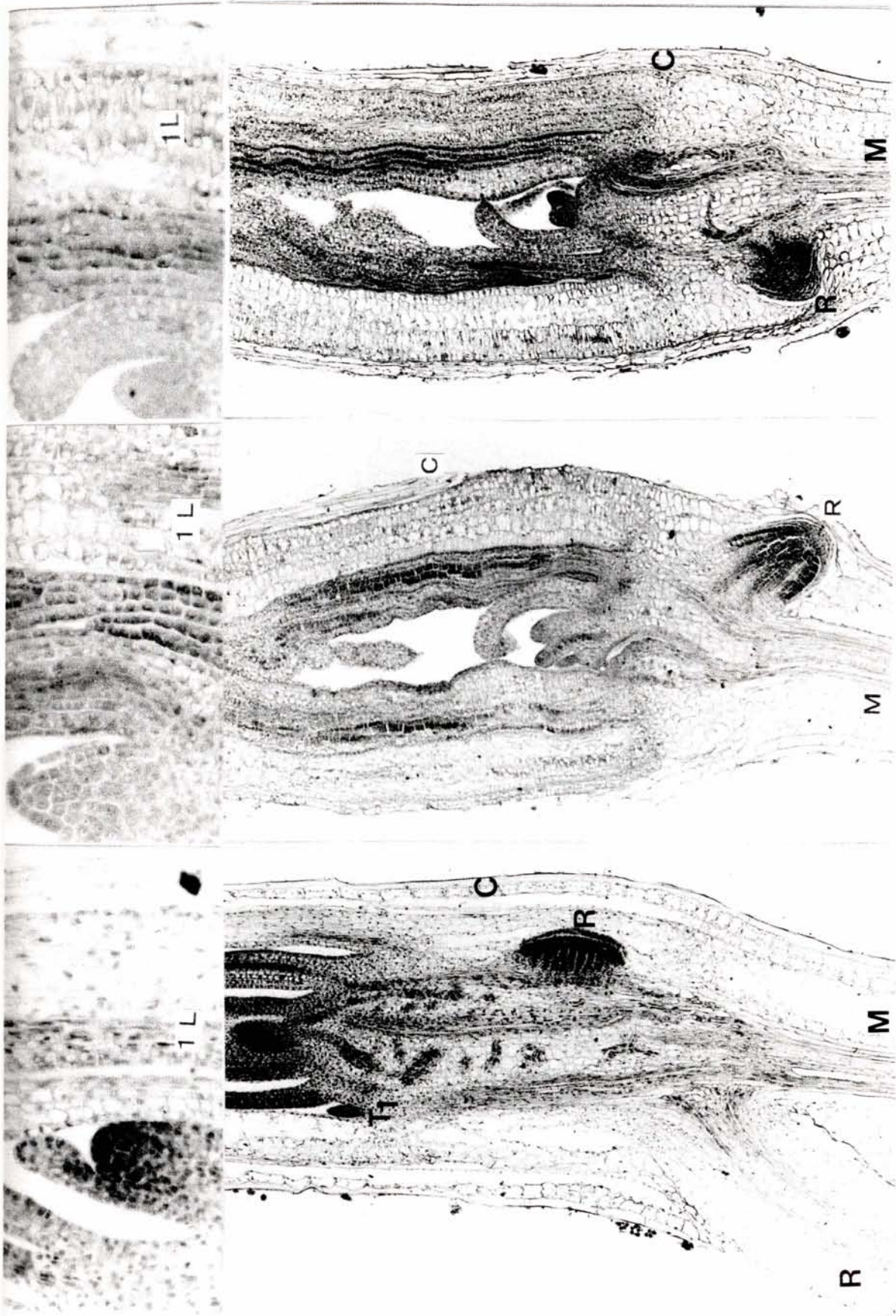


Fig. 1. Longitudinal section of 1st leaf sheath(upper)and shoot apices(lower) of *E. oryzaicola* 7 days after preemergence treatment.

Left:untreated, center:treated with fenitrothion at 300 g a.i.ha⁻¹, right:treated with fenitrothion at 1000 g a.i.ha⁻¹.
 R:crown root, M:mesocotyl, C:coleoptile, 1L:1st leaf, T1:tiller at 1st leaf.

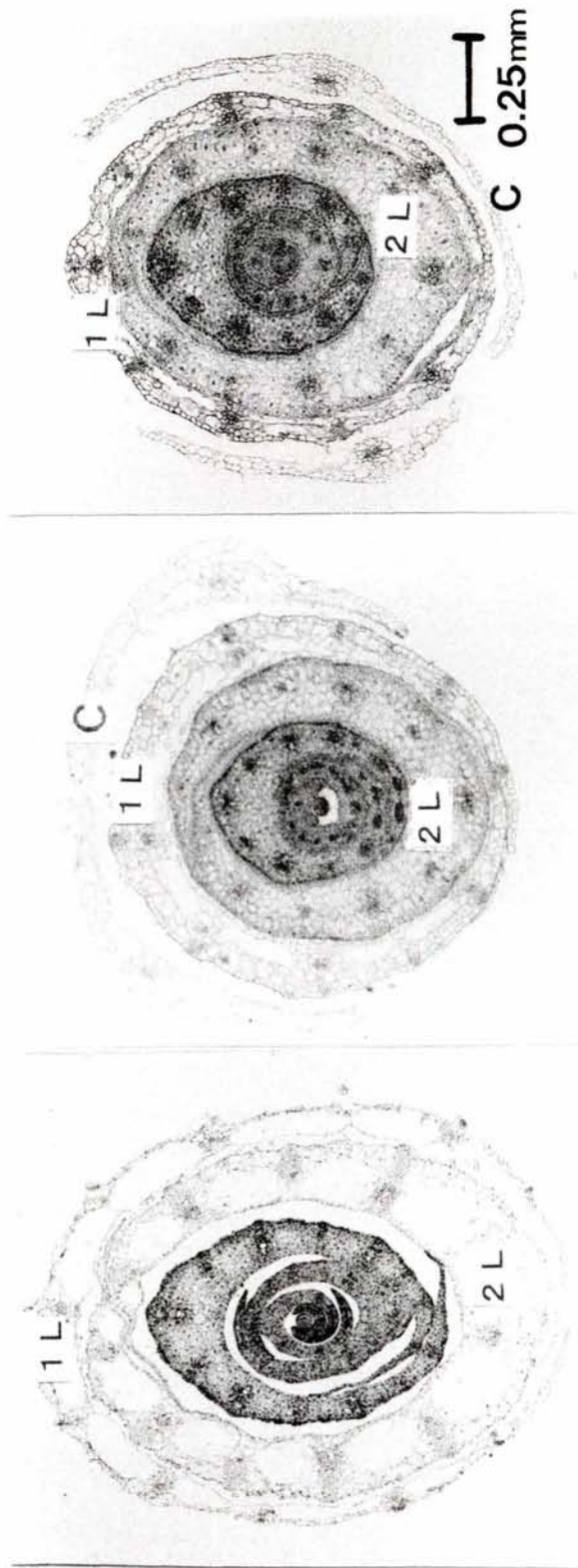


Fig.2. Cross section of *E. oryzaicola* at an apical meristem 7 days after 1LS stage treatment. Left:untreated, center:treated with fenitrothion at 300 g a.i.ha⁻¹, right:treated with mefenacet at 1000 g a.i.ha⁻¹. C:coleoptile, 1L:1st leaf, 2L:2nd leaf.

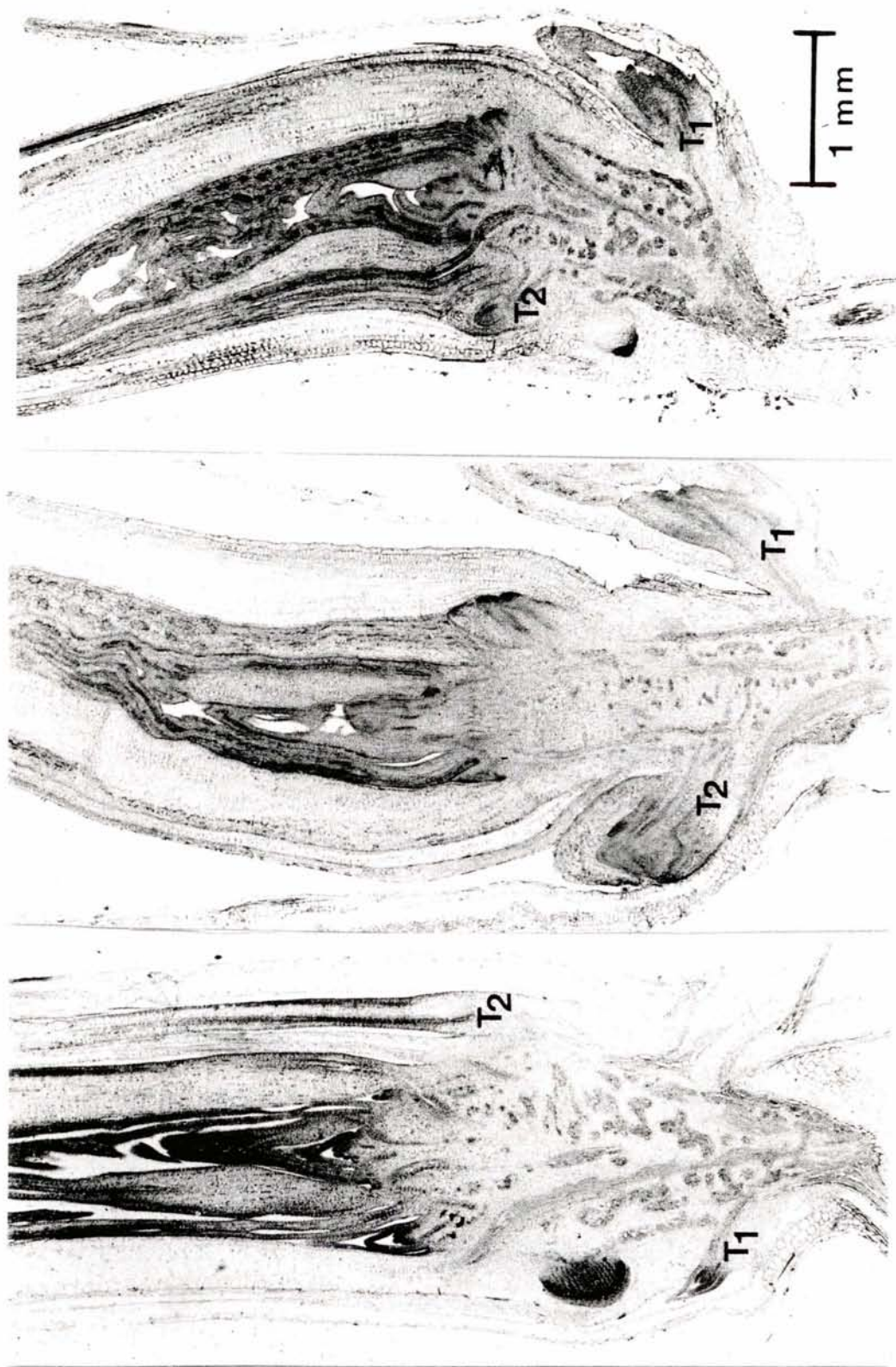


Fig.3. Longitudinal section of shoot apices of *E. oryzicola* 7 days after 2LS treatment.

Left:untreated, center:treated with fenitrazamide at 300 g a.i.ha⁻¹, right:treated with mefenacet at 1000 g a.i.ha⁻¹.

T1:tiller at 1st leaf, T2: tiller at 2nd leaf.

3-5 節 ノビエ類の細胞伸長に及ぼす影響

材料と方法

沖積埴土を充填した 400cm² のプラスチック製ポットに、催芽したタイヌビエおよびイヌビエの小穂をおのおの播種し、温室内 (25±5℃) で育成した。ノビエ類の 1 葉期に、fentrazamide 300 g ai/ha 及び mefenacet 1000 g ai/ha 相当量を湛水土壤処理した。処理時と処理 7 日後に各ノビエ 20 個体をそれぞれ採取して、第 2 葉葉鞘の長さ及びその背軸側表皮細胞の長さ (1 個体あたり 50 細胞、1 処理区あたり合計 1000 細胞) を測定した(Hess, 1987)。

結果

イヌビエの 1 葉期の第 2 葉の葉鞘の全体の長さは 0.4mm で、これが 7 日後には、無処理区でおよそ 80mm に伸長した。Fentrazamide 及び mefenacet 処理区では、7 日後におよそそれぞれ 2.9mm、3.2mm となった(Table 17)。

また第 2 葉葉鞘の背軸側表皮細胞の長さは処理時には平均 13µm であるが、7 日後には、無処理区で平均 307.5µm に伸びた。無処理区の第 2 葉葉鞘全体の長さは、7 日間で約 200 倍になった。一方、fentrazamide 区では、処理 7 日後の細胞の長さは平均 18µm、mefenacet 区では平均 23µm と無処理に比べると細胞の縦方向の伸長が著しく抑制された。

第 2 葉葉鞘の背軸側表皮細胞の長さに及ぼす影響をヒストグラムに示すと、両薬剤処理区では、ほぼ傾向が類似していた(Fig.17, 18)。

考察

両薬剤は、細胞の縦方向の伸長を著しく抑制しており、間接的ではあるが細胞分裂も抑制されていることが類推される。細胞の伸長を阻害する薬剤としては、長鎖脂肪酸合成阻害とされるクロロアセトアニリド系の butachlor(Chenet *et al.*, 1981)、カーバメート系の benthio-carb (Shibayama *et al.*, 1976)、ACCase 阻害の sethoxydim (Hosaka *et al.*, 1986) および細胞壁阻害の dichlobenil(Shimizu *et al.*, 1963)があげられる。この内、sethoxydim とは、新葉組織の細胞の

収縮、空砲化の細胞内部の異常がみられる点で **mefenacet** および **fentrazamide** とは異なる (3-4 節)。また **dichlobenil** のような根の肥大は両薬剤には見られない。**Mefenacet** は、1 次作用点が細胞分裂といわれている (Fedke *et al.*,1991)。また **fentrazamide** は、長鎖脂肪酸合成阻害あるいは、タンパクの分解過程に関与するとの報告がある (Lim *et al.*,2007) が、本試験からは長鎖脂肪酸合成および細胞分裂阻害と類似していると考えられる。

Table 17. Effects of fentrazamide and mefenacet on cell length of abaxial epidermis of the 2nd leaf sheath of *Echinochloa crus-galli* and *E. oryzicola*.

	Untreated		Treated with fentrazamide 300 g/ha		Treated with mefenacet 1000 g/ha	
	1LS treatment	7 days after treatment	7 days after treatment	7 days after treatment	7 days after treatment	7 days after treatment
<i>Echinochloa crus-galli</i>						
Length of 2nd leaf sheath (mm)	0.4±0.1*	80.3±6.5	2.9±0.8	3.2±1.3		
Cell length of abaxial epidermis of the 2nd leaf sheath (µm)	13.0±3.6	307.5±79.9	18.4±7.0	23.0±9.7		
<i>Echinochloa oryzicola</i>						
Length of 2nd leaf-sheath(mm)	0.7±0.1	85.4±6.4	5.2±1.6	5.3±3.6		
Cell length of abaxial epidermis of the 2nd leaf sheath (µm)	11.6±3.5	264.8±66.3	21.6±10.8	21.1±11.7		

*Average length ± standard deviation

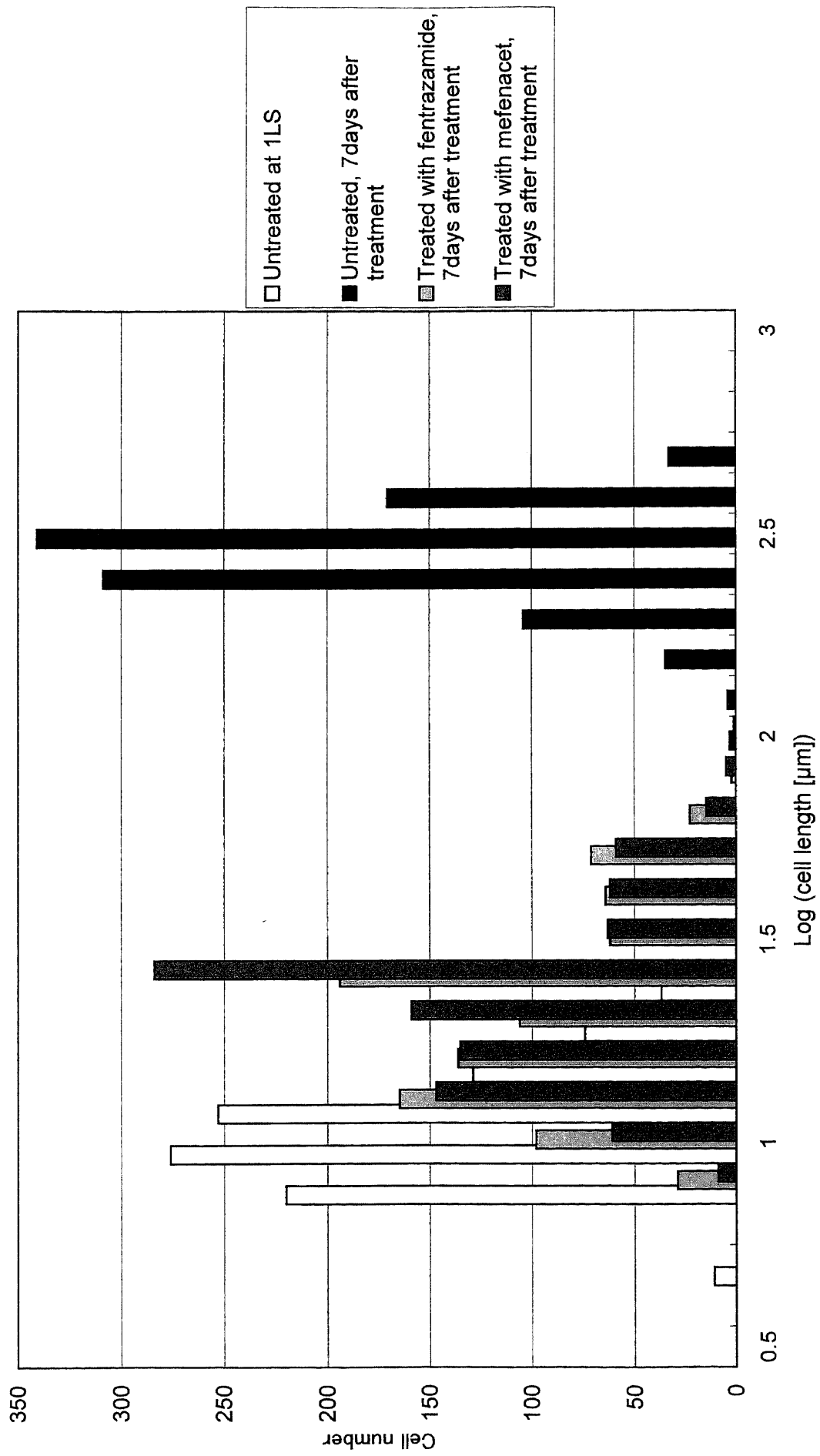


Fig. 17. Effect of fentrazamide and mefenacet on cell length of abaxial epidermis of the 2nd leaf sheath of *Echinochloa oryzicola*

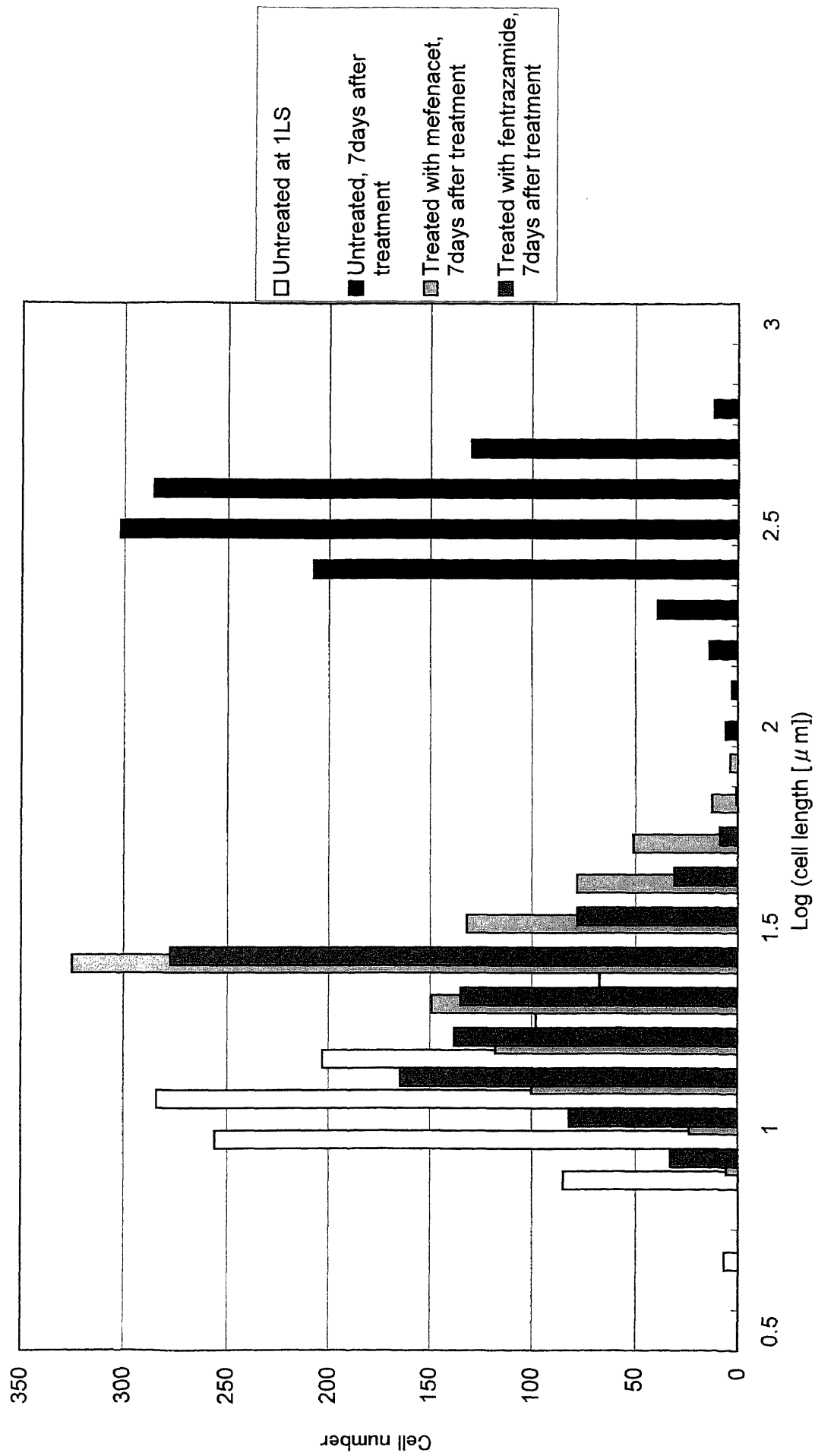


Fig. 18. Effects of fentrazamide and mefenacet on cell length of abaxial epidermis of the 2nd leaf sheath of *Echinochloa crus-galli*

3-6節 考察

Mefenacet の作用機構としては細胞分裂を阻害するとされる (Fedke,1991)。一方、fentrazamide の作用機構はいまだ不明であるが、細胞分裂の阻害、あるいは長鎖脂肪酸 (very long chain fatty acids:VLCFAs) 合成の阻害 (Mattes *et al.*,1998)、また最近の研究ではタンパク質の分解過程に関与するとの知見があげられている (Lim *et al.*,2007)。本章においてはタイヌビエおよびイヌビエを用いて、殺草症状、殺草過程、植物の各器官に対する影響を外部形態及び内部形態的に詳細に検討して、本剤の作用機構の解明の一助とした。

Mefenacet および fentrazamide はノビエ類の 1~3 葉期に除草効果が高い。この理由には、両薬剤が新葉の生育抑制、分げつの抑制および冠根の阻害が強いことが考えられる。特に冠根の阻害が高い効果発現に関与していると思われる。3 葉期までのノビエ類では水稻に比べて冠根数が少ない (Nakayama *et al.*,1968) が、一方同じ葉齢の移植水稻では、ノビエ類と異なり冠根の発生量が多い (河村, 1979)。本剤の処理によって、移植水稻は処理後に抽出する葉の伸長が抑制され、それ以降の葉の生長は抑制される。根に対しては冠根の伸長、本数がそれぞれ阻害された。しかしその後の回復は水稻で顕著であった。このことは水稻がノビエ類に比べて冠根が多いことが関与していると考えられる。Butachlor 処理においても、新葉の生育抑制、冠根の抑制が見られている (Chen *et al.*,1981)。Butachlor と同じクロロアセトアニリド系に属する pretilachlor はイヌビエ 2 葉期処理で防除価が 85%(Table 3)とやや効果不足であった。この効果不足には地上部は抑制が著しかったが、冠根の生育の回復が見られたこと。また分げつの発生も見られたが関係していると考えられる。また benthocarb はノビエ類の 2 葉期には除草効果を示すが 3 葉期では効果が劣る。本剤処理において新葉の生育抑制は見られるが、冠根への影響はほとんど見られていない (Shibayama *et al.*,1976) ことが 3 葉期のノビエ類に対する効果が劣ることに関係していると考えられる。

Mefenacet および fentrazamide の殺草症状は、生育抑制、新葉の濃緑化である。また根の抑制が強い。作用機構による殺草症状から

類似性、相違点をまとめると以下の様になる。長鎖脂肪酸合成阻害とされるクロロアセトアニリド系の pretilachlor, butachlor やカーバメート系の benthocarb と類似している (Chen *et al.*, 1981; Nirmal *et al.*, 1972)。しかし benthocarb (Shibayama, 1976) や bensulide (Elizabeth *et al.*, 1968) では根の抑制程度が小さい点異なる。微小管形成阻害の trifluralin や dithiopyr は新葉の生育抑制が見られるが、茎葉基部と根の肥大がみられる (Donald *et al.*, 1968; Armbruster *et al.*, 1991)。肥大症状は mefenacet および fentrazamide では見られない。有糸分裂を阻害する cinmethylin は生育停止が見られるが、基部の肥大、葉身と葉鞘との間の黄化としおれがみられる点異なる (EL-deek *et al.*, 1986)。セルロース阻害剤である dichlobenil は生育停止と共に、茎葉基部が肥大する (Shimizu *et al.*, 1963)。また植物全体が速やかに褐変する点異なる。ACCase 阻害の sethoxydim (Hosaka *et al.*, 1986) は新葉の成長停止が見られるが、新葉の黄化症状、生長点の膨化が異なる。以上の結果から、fentrazamide の症状からは、mefenacet (細胞分裂阻害) と長鎖脂肪酸合成阻害のクロロアセトアニリド系の pretilachlor および butachlor と類似している。

細胞の縦方向の伸長の結果においても、fentrazamide が細胞分裂阻害の mefenacet と長鎖脂肪酸合成阻害のクロロアセトアニリド系の pretilachlor および butachlor と類似していた。

内部形態的な影響の類似性、相違点についてまとめると次の様になる。細胞分裂阻害の mefenacet による内部形態的な影響は、生長点近傍の新葉の細胞の縦方向の伸長および分げつの分化が阻害された。冠根の発生、伸長も阻害された (Ito *et al.*, 2000)。異常肥大は見られない。茎頂の生長点は影響をうけていないように見られる。本試験における fentrazamide においても同様であった。長鎖脂肪酸合成の阻害とされるクロロアセトアニリド系の butachlor (Chen *et al.*, 1981) では、生長点近傍の新葉の細胞の縦方向の伸長、冠根の発生および伸長が阻害された。異常肥大は見られない。茎頂の生長点は影響をうけていないように見られる。Fentrazamide および mefenacet と類似している。同じく長鎖脂肪酸合成の阻害とされるカーバメート系の benthocarb (Shibayama *et al.*, 1976) は細胞の

垂直方向の伸長を阻害、分げつ芽が肥大した。Fentrazamide および mefenacet と類似している。微小管形成阻害の trifluralin では根の肥大がみられ、大きな空隙が組織内に見られる。また茎頂の組織細胞では多核細胞がみられる。Fentrazamide および mefenacet とは異なる。セルロース阻害剤である dichlobenil (Shimizu *et al.*, 1963) では植物表皮、柔組織、維管束などの若い細胞に垂直方向の伸長抑制が見られ、反対に水平方向の著しい肥大が見られる。Fentrazamide および mefenacet とは異なる。ACCase 阻害の sethoxydim (Hosaka *et al.*, 1986) は茎頂部ならびに根端分裂組織の細胞伸長および分裂を阻害し生長を停止させる。根端分裂組織においては生長点近傍の分裂組織には影響がないものの、皮層において細胞内空砲化、細胞質の消失が認められた。新葉においても細胞質の収縮による形態異常、茎基部分裂組織の形態異常、部間分裂組織、葉縁形成組織帯の形態異常である。Fentrazamide および mefenacet とは異なる。

以上の内部形態の影響の試験結果からは、fentrazamide は細胞分裂阻害を示す mefenacet および長鎖脂肪酸合成阻害を示すクロロアセトアニリド系薬剤と類似しているといえる。

第4章 水稻およびイヌビエにおける吸収、移行、代謝

Mefenacet は移植水稻とノビエ類との間で高い選択性を示すが、この選択性は主に薬剤と接触する位置の違いによる選択性に依存していると思われる。第1章7節、第2章6節から薬剤と触れると移植水稻に対する薬害が強くなる傾向がみられたことから類推される。

松中によると除草剤の選択機構は1) 位置の違いや、時間的なズレを狙った選択性、2) 生理的な差(透過、吸収、移動性)を利用した選択性、3) 生化学的な性質の差(作用点、活性化、不活性化)を利用した選択性に分類される(河村,1979)。Mefenacet はこの分類によると1)に分けられる。また fentrazamide については水稻とタイヌビエとの間で吸収、移行、代謝に顕著な差異はないとの報告がある(Lim *et al.*,2008)。しかし選択性の機構は、必ずしも単一の要因によるものとは限らず、植物の生育および形態による透過性の違い、薬剤接触部位による吸収、植物体内での移行の差異など、実場面では多くの要因が関与していると思われる。

選択性機構に関する要因を解明することは、既存薬剤の適応性の拡大を考える場合に、また新規薬剤の開発を図る場合に重要となる。本章では、mefenacet について、水稻とイヌビエについて吸収、移行、代謝について検討した。

4・1 節 吸収部位と除草活性

材料と方法

2葉期及び3葉期の水稻（品種：日本晴）及びイヌビエを用いて試験を行った。Mefenacet 30、3及び0.3 μ g/mgを含むラノリンを作成し、その1mgを1mmの幅で所定部位（第1葉の葉身、基部から2cm上部、茎頂近傍、中胚軸、冠根、種子根）に塗布した。植物体は、薬剤塗布後、ホーグランド水耕液*を含む黒色ガラス瓶で育成し、人工気象器（温度：25 \pm 1 $^{\circ}$ C、相対湿度：85%、12時間日長条件）に移した。調査は7日後に肉眼観察して行った。

*:ホーグランド水耕液の組成（g/L）：KNO₃ 0.5, Ca(NO₃)₂ 0.82, MgSO₄/7H₂O 0.49, KH₂PO₄ 0.14, 微量元素(ppm)として Fe 3, Mn 0.5, B 0.5, Zn 0.05, Cu 0.02, Mo 0.02.

結果

Mefenacetの作用は、いずれの処理部位においても、水稻よりイヌビエに対して強く発現した(Table 18)。処理部位の中では両植物共に葉鞘基部で最も強く現れた。イヌビエは、水稻より低濃度で影響が見られ、また種子根、第1葉葉鞘および中胚軸においても抑制は強かった。

考察

Mefenacetが湛水土壌処理されると土壌表層に強固に吸着されて、土壌処理層を形成する(Yasui, 1986)。水稻除草剤の残効と残留に関する研究では、mefenacetおよびpretilachlorの残効性は、土壌表層1cmの液層（土壌溶液）中の薬剤濃度に依存することが示唆されている(Yogo and Takagi, 1996)。Mefenacetの土壌への吸着性を評価するために、ガラスカラムを用いて試験（石井ら、1985）からは、土壌に処理されたmefenacetは、土壌表層0.5cmまでに80%、1cmまでに99%が分布した(Fig. 4)。この土壌1cmにはノビエ類の中胚軸が伸長して、茎頂部分を含む葉鞘基部が存在する。本試験では、塗布部分が第1葉葉鞘基部および中胚軸の場合に強い生育抑制が低濃度の場合にも見られている。この部位から薬剤が吸収された場合

にはイヌビエの感受性が高いことが示唆される。一方移植水稻では、通常 2～3cm の土壌深度に移植される。従って、水稻の 1 葉の葉鞘部分（茎頂部分：薬剤に感受性な部位を含む）は *mefenacet* が多く分布する処理層（表層：1cm）よりやや深い土壌中に存在することになる。本試験の塗布部位である第 1 葉の葉鞘の部位が薬剤処理層に存在することになる。試験結果からは *mefenacet* の影響は極めて小さい。また水稻とノビエ類においては葉の形態に差異が見られ、水稻は外皮、表皮細胞、皮層が密で規則正しくなっているのに対して、ノビエ類では外皮がなく、表皮も疎で柔軟である（Nakayama *et al.*, 1968; Hoshikawa *et al.*, 1989）。形態の違いにより、低薬量で影響がみられることから、薬剤の透過性はノビエ類が水稻より高いことも考えられる。

以上、移植水稻では、地上部基部の位置がノビエ類と異なり薬剤処理層の下層にあり（Fig. 21）、またノビエには中胚軸が存在し必ず土壌表層の生長点部分が存在することが選択性に関係していると考えられる。漏水等により薬剤が下方に移動した場合には、移植水稻においても薬害がみられる。このことは除草剤が下方の移行し、感受性が高い生長点が影響を受けたためと考えられる。

Table 18 Response of *Echinochloa crus-galli* and rice plant to mefenacet at the different application sites of plants.

Application site	Mefenacet (μg)	<i>Echinochloa crus-galli</i>		Rice plant	
		2LS	3LS	2LS	3LS
1st leaf blade	30.0	20#	10	30	0
	3.0	10	10	20	0
	0.3	10	0	10	0
2cm upper from basal part*	30.0	80	50	10	10
	3.0	80	30	10	10
	0.3	30	10	0	10
Basal part**	30.0	90	90	90	90
	3.0	90	90	85	90
	0.3	90	90	50	20
Mesocotyl	30.0	90	85		
	3.0	90	80		
	0.3	85	40		
Coronal root	30.0		50		40
	3.0		40		40
	0.3		10		40
primary root	30.0	90	80	60	70
	3.0	90	70	40	30
	0.3	70	50	30	20

Visual evaluation: 100 perfect ly killed - 0 no effect

*:1st leaf sheath and imperfect leaf(only rice plant) at 2cm upper from basal part

** :Basal part of coleoptile and leaf sheath

4-2節 移植深度と除草活性

材料と方法

1000cm²のプラスチック製ポットに沖積埴土を充填し、代掻き後2及び3葉期の水稻（品種：日本晴）および2及び3葉期のイヌビエを0cm、1cm及び2cmの深さに移植した。薬剤はポットを3cmに湛水した後、mefenacet 原体の乳化懸濁液(0.1%アセトンを用いた)を移植5日後に湛水土壌処理した。調査は処理2週間後に肉眼で評価して行った。試験は3反復で実施した。

結果

Mefenacet による影響は、水稻とイヌビエとの間で差異が認められ、イヌビエの生育は移植深度に関係なく、水稻より強く抑制された(Table 19)。一方、2cm深に移植した水稻には影響は認められなかった。

考察

移植深度が0cmのイヌビエではmefenacetによる効果が高いが、水稻ではイヌビエよりやや薬害が軽い。またイヌビエを水稻と同じように2cmに移植した場合においても、本剤の影響は見られた。一方水稻では2cmの移植深度において薬害は認められなかった。移植深度が1cmにおける薬害がわずかに見られた。このことはイヌビエがmefenacetをより速やかに葉鞘基部等から取り込んでいる、あるいは薬剤が浸透していることを示唆している。水稻の葉の表面は、外皮、表皮細胞が細かく密である。しかしノビエでは外皮はなく、表皮は細胞がやや大きく粗で柔らかい(Fig. 19)。この葉組織の違いもノビエ類による薬剤の取り込みを容易にしている要因と考えられる。

Table 19 Response of *Echinochloa crus-galli* and rice plant to mefenacet at the different transplanted depth in soil(mefenacet:1000 g ai/ha).

Growth stage**	<i>Echinochloa crus-galli</i>			Rice plant		
	0*	1	2	0	1	2
2LS	90	90	80	70	10	0
3LS	90	50	50	60	10	0

*:Transplanted depth(cm)

**:Leaf stage of test plants at the application time

Visual evaluation: 100 perfect killed :0 no effect

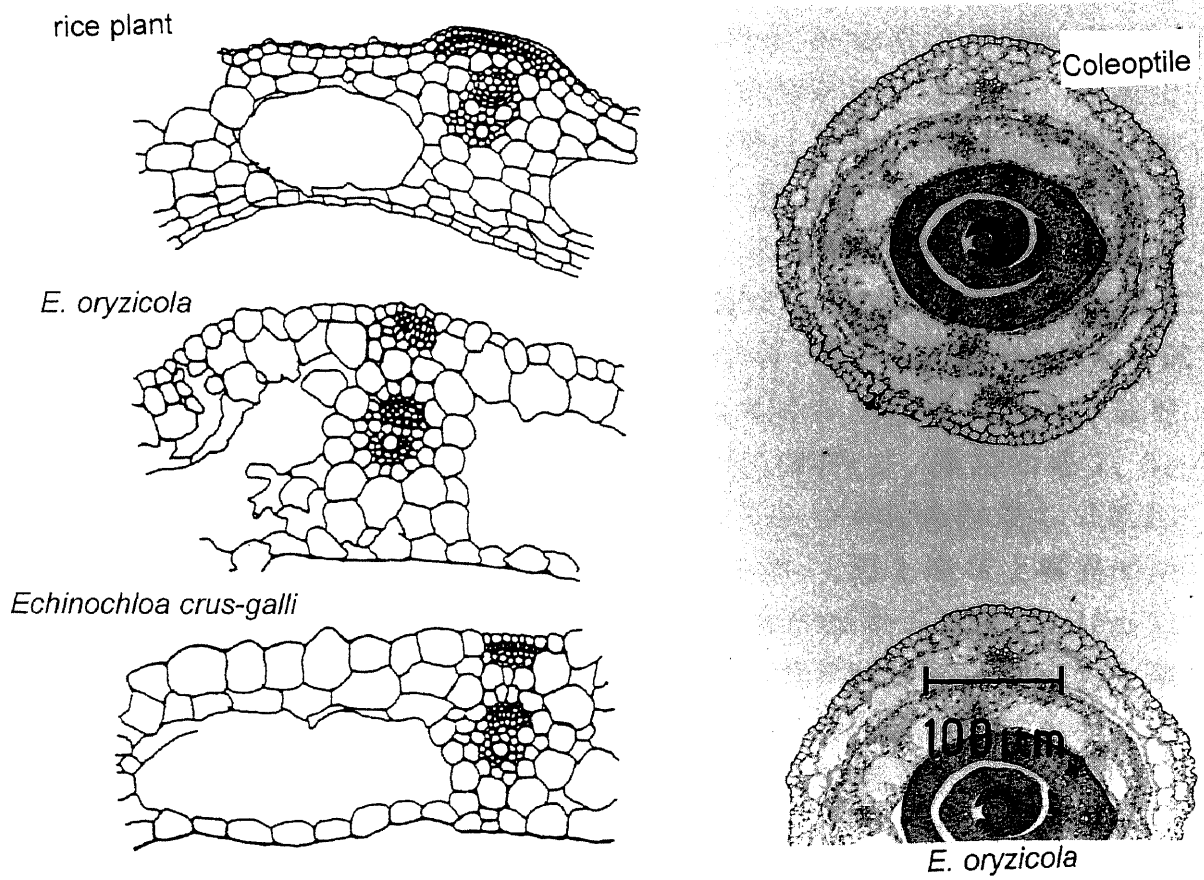


Fig. 19 Cross section of *Echinochloa crus-galli*, *E. oryzicola* and rice plant.
 (revised version of Nakayama, 1968 by Ito)

4・3 節 水稻およびイヌビエでの吸収、移行、代謝

材料と方法

500ml 容量のビーカー（内径 8.6cm、高さ 12cm、表面積 58cm² のパイレックス製）に沖積埴土（有機炭素：1.91%）を深さ 7cm になるように充填した。容器は土壌部分をアルミホイルで被覆して遮光した。水稻（品種：日本晴）およびイヌビエを温室において 3 葉期まで育成し、それぞれ 3 本をビーカー内に 0cm および 2cm の深さに移植した。試験は 5 反復で実施した。処理溶液の調整は、標識化合物溶液 1.14MBq(2 mg ai 相当量)を容器にとり、更に非標識化合物 6mg を加えて混合し、溶媒を除去した。次いでアセトニトリル 5ml で溶解し、ミリ Q 水 800ml に加えた。この溶液の濃度は 9.96mg/L、比活性は 8467dpm/1 μg であった。薬剤処理は 1000 g ai/ha 換算量になるように、¹⁴C 標識 mefenacet（比放射能 0.57 MBq/mg）を供試植物の移植後に、湛水土壌処理した。処理時における田面水の放射能濃度(理論値)は 32145 dpm/ml となった。試料は、薬剤処理 1、3、および 5 日後に採取し、オートラジオグラム(ARG)を作成して放射能の吸収、移行を調べた。更に植物の各部位（地上部が土壌表面から 2.5cm までと 2.5cm 以上、地下部が土壌表面から 1cm と 1cm 以下）ごとに分けて、生体重を測定した後、磨砕抽出し、抽出物を薄層クロマトグラフィーにより成分分析した。また田面水、土壌（土壌表面から 1cm までと 1cm 以下）についても経時的に放射能を測定した。放射能の定量には Beckmann LS-3801 または LS-5801 液体シンチレーションカウンター(LSC)により測定した。試験には供試植物 15 個体のうち 13 個体を分析し、2 個体は ARG に供試した。試験は温度が 25℃、人工ランプを用いて照度 23,000lx の 14 時間日長の温室で行った。

結果

田面水に処理された mefenacet は速やかに土壌表層に吸着された（新木・峯岸、1995）。田面水中には処理 1 日後に約 44%、3 日後には約 25%、5 日後には約 9%の放射能が見出された。土壌表面から 1cm までに存在する親化合物濃度は約 45%から 56%で、5 日後まで

土壌中で安定した濃度を保っていた。また土壌 1 cm 以深では経時的に増加し、処理 1 日後に約 5 から 7%、3 日後には約 9 から 17%、5 日後には約 21 から 29%の放射能が見出された。植物体に吸収された放射能はいずれの植物においても 0cm 植えが 2cm 植えよりも多かった(新木・峯岸、1995)。実際の水田では、水稻は 2cm に移植され、またノビエ類は中胚軸の伸長により土壌表面 0cm に茎頂部分が存在することになる。5 日後の植物体中の放射能を比較すると水稻 2cm では 8.8%、一方イヌビエでは 13.6%となった。植物体全体の放射残留濃度を Table 20 に示した。水稻およびイヌビエ共に、1 日、3 日および 5 日後と経時的に増加した。水稻とイヌビエの代謝物は共通であり、BTA (2-(2benzo- thiazolyloxy)acetic acid)、HBT (2(3H)-benzothiazolone)および HBT-OH(6-hydroxy-2(3H)-benzothiazolone)であった。しかし残留濃度について若干違いが見られ、BTA の残留量はイヌビエで低かった。また親化合物の残留量は水稻で経時的に増加したが、イヌビエでは処理 3 日後をピークして推移した。これを更に田面水部位(土壌表面から 2.5cm まで)と水面上の植物体(2.5cm 以上)とに分けて見ると、処理 3 日後の親化合物の濃度はイヌビエの田面水部位で最も高く 1.07 mg/kg、水稻では < 0.01 mg/kg と低濃度であった。また水面上の植物部位の親化合物は、イヌビエが 2.10 mg/kg、水稻が 0.95 mg/kg であった。以上の結果から、水稻とイヌビエとの mefenacet の植物体内への取り込み量、代謝様式は異ならず、いずれもエーテル結合の開裂で HBT、アミド結合の開裂で BTA を主に生成した。しかしながら、植物体各部位別の代謝能、代謝速度に差異が認められた。特に本剤の吸収部位と推定される葉鞘基部での代謝速度においてイヌビエより水稻が高い代謝の能を有すると推定される。

考察

本試験から吸収および移行性に関しては水稻とイヌビエとの間に違いは見出せなかったが、本剤の吸収部位と推定される葉鞘基部での代謝速度において水稻がイヌビエより高い代謝能を有することが推定された。このことは、本剤の選択性が基本的には水稻とノビエ類との間の‘位置選択性’に依存すると考えられるが、mefenacet の代

謝能が水稻で高いことを関与していると示唆される。

除草剤の選択性、感受性差異に関する報告では、吸収、移行、代謝に差異が見られないとする報告が多い (Carley *et al.*,1995:Waldrop *et al.*,1996:Chun *et al.*,2001)。しかしながら代謝による解毒化による (Mine *et al.*,1975:Koeppe *et al.*, 2000:Koeppe *et al.*, 1997)、代謝の速度の違いによる (TenBrook *et al.*,2006:Park *et al.*,2004)、作用部位までの移行の差異による (Salihu *et al.*,1998) との報告もある。Mefenacet においては水稻の葉鞘基部での代謝が選択性に寄与していると推定される。一方 fentrazamide に関する作用機構、選択性に関する報告は少なく、水稻とタイヌビエとの間で吸収、移行、代謝に差異が見られないとする Lim *et al.* (2007) の報告、またタンパク質の分解において、タイヌビエが水稻より低濃度で影響を受けるとの報告(Lim *et al.*,2007)がある。今後は作用機構の解明と共に選択性についても検討が必要と考えられる。

Table 20 Distribution of ^{14}C -radioactivity in *Echinochloa crus-galli* and rice plant treated with ^{14}C -mefenacet.

	% of dose ^{14}C in plants					
	<i>Echinochloa crus-galli</i>			Rice plant		
	1*	3	5	1	3	5
mefenacet	1.15	1.36	0.80	0.82	0.98	1.65
BTA	0.25	0.45	0.39	0.86	1.09	1.40
HBT	0.90	2.04	2.24	0.87	2.03	1.56
HBT-OH	0.07	0.29	0.66	0.08	0.40	0.29
Total	3.50	10.00	13.60	4.10	11.50	18.50

*: days after treatment

Planted depth: 0 cm

mefenacet: 2-(2-benzothiazolyloxy)-N-methyl-acetanilide

BTA: 2-(2-benzothiazolyloxy)acetic acid

HBT: 2(3H)-benzeothiazolone

HBT-OH: 6-hydroxy-2(3H)-benzothiazolone

4-4 節 浸漬時間と除草活性

材料と方法

2 葉期の水稻(品種:日本晴)及びイヌビエを用いて試験を行った。両植物葉鞘基部および根部を mefenacet の所定濃度を含むホーグラウンド水耕液(4-1 節参照)に浸漬し、黒色ガラス瓶で育成し、人工気象器(温度:25±1℃、相対湿度:85%、12 時間日長条件 6klx)に移した。調査は供試 10 個体について 7 日後に肉眼観察を実施した。

結果

Mefenacet の影響は、イヌビエが水稻に比べて大きかった。イヌビエにおいては、1 から 3 時間の短い浸漬時間においても薬剤の影響が見られた(Fig.20)。一方、水稻では、6 から 12 時間で影響が見られているが、その程度はイヌビエより軽かった。

考察

イヌビエは、水稻に比べて、mefenacet の低濃度(0.01、0.1ppm)の短時間の浸漬において、生育抑制が強い。4-3 節での試験から水稻での代謝がイヌビエより高いことによると推定される。

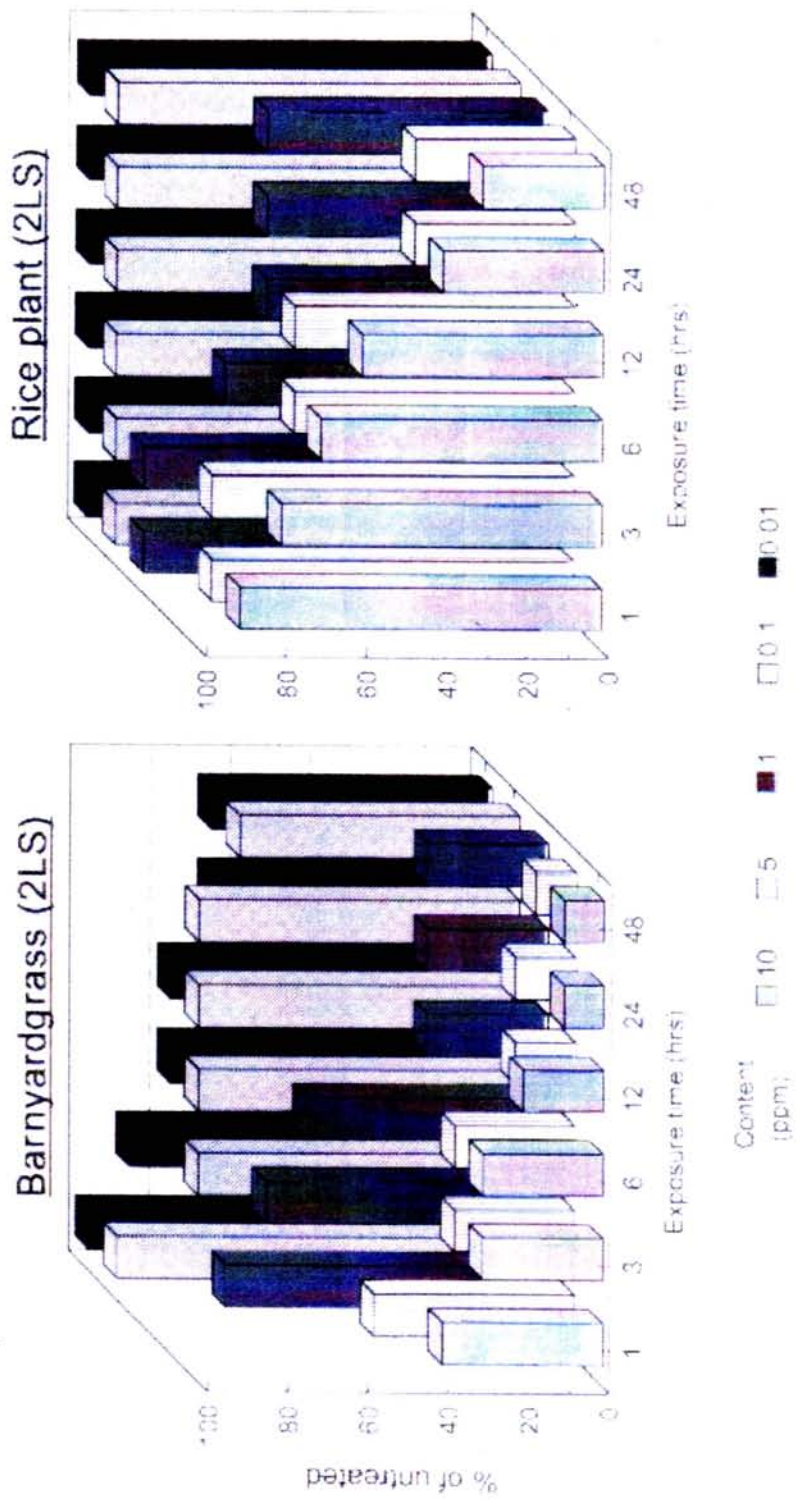


Fig. 20 Effect of mefenacet on the growth of barnyardgrass and rice plant at the different exposure time

4-5 節 考察

湛水処理された **mefenacet** は土壌表層 1cm に速やかに吸着される。ノビエ類は中胚軸が伸長して、茎頂部分を含む葉鞘基部が土壌表面に位置する。一方移植水稻では、通常 2~3cm の土壌深度に移植されたために、薬剤処理層より深い位置に水稻の 1 葉の葉鞘部分（茎頂部分：薬剤に感受性な部位を含む）が存在することになる。

また吸収および移行性に関する試験においては、水稻とイヌビエとの間に吸収および移行に違いは見出せなかった。しかし本剤の吸収部位と推定される葉鞘基部での代謝速度において水稻がイヌビエより高い代謝能を有することが推定された。このことは、本剤の選択性が基本的には水稻とノビエ類との間の‘位置選択性’に依存すると考えられるが、**mefenacet** の代謝能が水稻で高いことも関与していると示唆される。一方 **fentrazamide** に関する作用機構、選択性に関する報告は少なく、水稻とタイヌビエとの間で吸収、移行、代謝に差異が見られないとする *Lim et al.* (2007) の報告、またタンパク質の分解において、タイヌビエが水稻より低濃度で影響を受けるとの報告 (*Lim et al.*, 2007) がある。今後は作用機構の解明と共に選択性についても検討が必要と考えられる。

総合考察

Mefenacet はアセトアミドを基本骨格とする水稲用除草剤であり、わが国の水稲栽培において広く使用されている。バイエルグループはヘテロアリルオキシアセトアミド系化合物が除草活性を示すことに 1975 年頃に着目した。その後、日本国内で検討を加え、水稲用の除草剤として mefenacet の選抜 (1979 年) に至った。本剤の実用化に当たっては、その殺草スペクトラムから 1 年生広葉雑草、ホタルイ類、多年生雑草に有効な薬剤との混合による‘一発処理剤’の開発を目指し、1987 年に混合剤の実用化となった (Yasui, 1986)。

Fentrazamide は mefenacet の後継剤として開発が進められ、2000 年に混合剤が登録となった。本剤はノビエに対する卓効と長い残効性からノビエ発生前から 3 葉期まで、また移植水稲に対する高い安全性から田植直後から使用でき、水稲用除草剤として広い処理適期幅を有する。本剤の開発は、当初からその広い適期幅を活かした除草労力の省力化、簡便な散布方法の開発、散布コストの削減、環境への配慮など近年の水稲作農業事情からの要望を満たす方向で検討が進められた (Yanagi *et al.*, 2002)。本剤を含む商品には田植同時処理が可能な商品、粒剤以外にジャンボ剤、フロアブル剤が販売されている。また東南アジアでは、湛水直播水稲除草剤として使用されている商品 (商品名: レクサプロ) がある。本剤は人畜や魚介類等に対して安全であるばかりでなく、施用薬量が低く、また土壌吸着性が強いことから環境保全面からの安全性が期待できる。

Mefenacet 及び fentrazamide に関する報告は少なく、本報告において温室試験により作用特性を明らかにすることは、新規薬剤を開発する上で重要と考えられる。

Mefenacet は、処理薬量が 1000 g ai/ha で、水田の主要雑草であるノビエを含む水田 1 年生雑草に高い効果を示す。特にノビエの発生前から 3 葉期までの広い適期幅を有し、また移植水稲に対する安全性が高かった。また Fentrazamide は、ノビエを中心とする主要水田雑草に対して 300g ai/ha 以下の施用量で有効であること、ノビエに対する処理適期幅が広いこと、温度や土壌要因に影響をうけ難いこと、また本剤の水溶解度は 20℃で 2.3ppm という比較的低い溶

解性であり、水田土壌中での移行性が極めて小さい。それゆえ、湛水土壌処理された本剤は土壌表層に強く吸着され、強固な有効な処理層を形成し、ノビエに対する優れた効果や長い残効性、さらに移植水稻に対する高い安全性をもたらしていることが示唆される(Fig. 21)。本剤が田植同時処理に求められる特性を有することが室内及び圃場試験において確認され、実用化となっている。

両薬剤の作用特性についてまとめると表 21 の様になる。殺草症状は、mefenacet および fentrazamide 共に、生育抑制で新葉の濃緑化、冠根の抑制である。水田の重要雑草であるノビエ類には発生前から 3 葉期までに効果が有り、薬剤の処理適期幅が広い。殺草スペクトラムには差異がみられ、fentrazamide が mefenacet に比べて、水田広葉雑草に効果が高い。物理化学性は共に水溶解性が低く、土壌移動性も低いことが共通する。Fentrazamide は東南アジアの湛水直播栽培地域で販売されているが、本剤の生理的な選択性によるものではなく、土壌吸着が強いことによる位置選択性に依存していると思われる。以上のことを考慮すると開発薬剤として望まれる特性は、1) 症状は生育抑制を示す 2) 殺草スペクトラムは 1 年生雑草、特にノビエ類に効果が高い 3) ノビエ類には、その発生前から 3 葉期までで処理できる適期幅が広い 4) 物理化学性は水溶解性が低い 5) 土壌中の移動性が低い 6) 移植水稻および直播水稻で使用できる となる。

Mefenacet の作用機構に関してはわずかな報告がある。細胞分裂及び細胞伸長を阻害する報告(Fedke *et al.*,1987; Fedke *et al.*,1991;Hess *et al.*, 1990), また細胞生長の抑制は、アシル・C o A 炭素鎖延長系の阻害と関連しており、マロニル・C o A 及び C 1 8、C 2 0 あるいは C 2 2 -アシル・C o A を初期基質とする脂肪酸炭素鎖延長系が阻害され、C 2 0, C 2 2, C 2 4 の長鎖脂肪酸 (V L C F A s) 合成が強く影響されることによるとされ、mefenacet が属するオキシアセトアミド系、クロロアセトアミド系、カルバモイルスルホニルトリアゾール系は、この V L C F s の合成阻害とされる報告がある (Mattes *et al.*,1998)。

Fentrazamide と mefenacet が引き起こす殺草症状は類似しており、葉身の濃緑化と葉の出すくみ、植物体全体の生育抑制である (Ito

et al.,2000)。内部形態においても、両薬剤による影響は類似しており、節間伸長の阻害、葉の組織の伸展成長の阻害、細胞の縦方向の伸長の阻害、分げつと冠根の分化及び伸長の阻害などである。しかし、ジニトロアニリン系除草剤で見られるような根端部膨化などの作用性はみられていない(Donald *et al.*,1968; Edward *et al.*,1971; Joseph *et al.*,1968; Lignowski *et al.*,1972)。ノビエ類防除薬剤である dithiopyr も根部の肥大が見られる (Armbruster *et al.*, 1991)。節間伸長の阻害、葉の組織の伸展の阻害、細胞の縦方向の伸長阻害は、脂肪酸の合成阻害剤 bensulide (Elizabeth *et al.*,1968;), Haloxyfop(Hosaka *et al.*,1984), Sethoxydim (Hosaka *et al.*,1984)、Diclofop (Morisson *et al.*,1981)の影響と類似している。しかし、mefenacet 及び fentrazamide で観察されるような新葉の濃緑化は見られず、新葉の退色が観察されることは異なる。また bensulide では、根の先端部分の膨化が見られる。Pretilachlor のようなクロロアセトアミド系, benthocarb などのカーバメート系は VLCFs 合成阻害とされるが、ノビエに対する殺草症状、内部形態で観察される茎頂部の組織の影響は、mefenacet 及び fentrazamide と類似し、新葉の濃緑化、節間伸長の阻害、葉の組織の伸展が阻害される (Chen *et al.*,1981; Deal *et al.*, 1980; Ebert *et al.*,1980; Ishida *et al.*,1965; Nirmal *et al.*, 1972; Piliae *et al.*,1979; Shibayama *et al.*, 1976)。Benthocarb は根の抑制が小さく、この点がノビエ類の 3 葉期に効果がないことと関係していると思われる。細胞分裂阻害とされる Napropamide (Joseph *et al.*, 1988; Michael *et al.*, 1981)においては、根の肥大が見られるが、fentrazamide 及び mefenacet ではこのような症状は見られていない。

外部及び内部形態の観察から判断するに、fentrazamide の作用性は mefenacet 及びクロロアセトアミドと類似している。1 次作用点は異なるかも知れないが、植物の細胞組織に作用する結果、生育を停止し、枯死に至らしめる殺草症状は類似している。Mefenacet は細胞分裂の阻害、クロロアセトアミドは VLCFs 阻害、また fentrazamide は最近の知見から作用点として蛋白質の分解に関与することが示唆されている (Lim *et al.*, 2007)。

Mefenacet の水稻とノビエとの選択性は、主に物理的な‘位置選択

性'によるものと考えられる。しかしながら、ノビエ類の葉の形態が
水稻の葉に比べて表皮細胞が大きく密でないこと、柔らかいこと
(Delmar *et al.*,1981; Ehara *et al.*,1950;Nakayama *et al.*,
1968;Hoshikawa *et al.*,1989; Kacperska *et al.*,1963; 河村、1979;
Maun *et al.*,1986; Nakamura *et al.*,1966;)、またノビエ類に見られ
る中胚軸が吸収部位と重要な役割をしている考えられる。
Fentrazamide に関する作用機構、選択性に関する報告は少なく、水
稻とタイヌビエとの間で吸収、移行、代謝に差異が見られないとす
る Lim *et al.* (2007) の報告、またタンパク質の分解において、タ
イヌビエが水稻より低濃度で影響を受けるとの報告(Lim *et*
al.,2007)がある。今後は作用機構の解明と共に選択性についても検
討が必要と考えられる。

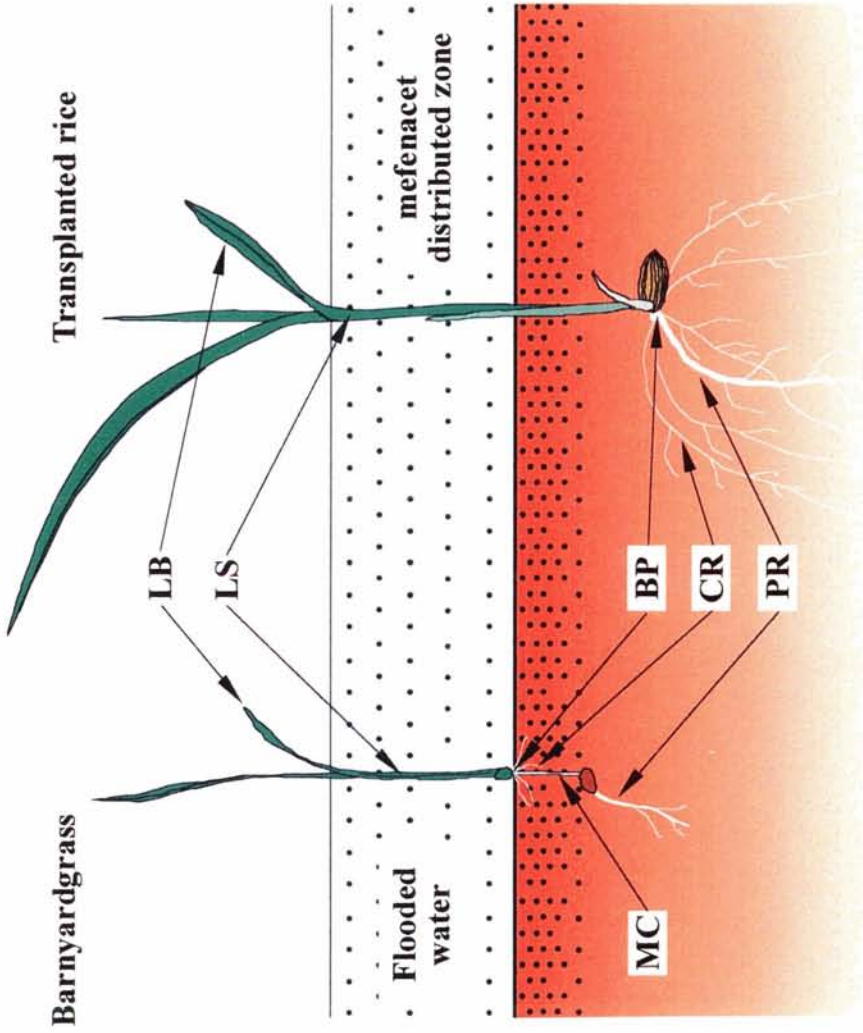
Table 21. Herbicidal performance, chemical and physiological properties of mefenacet and fentrazamide.

Herbicide	Herbicidal symptom (appearance)	Herbicidal spectrum	Appli.Timing (Leaf stage)	Water solubility (ppm)	Mobility in soil (cm)*
Mefenacet	Growth inhibition	Annual paddy weeds	3	4.0	4~5
Fentrazamide	Growth inhibition	Annual paddy weeds (inc.Broad leaf weeds)	3	2.3	3
Pretilachlor	Growth inhibition	Annual paddy weeds (inc.Broad leaf weeds)	1.5	50.0	9~11
Benthiocarb	Growth inhibition	Annual paddy weeds	2	30.0	4~5

* By Soil thick-layer chromatography.

Target properties of new herbicide

- (1) Herbicidal symptom: Growth inhibition(Apperance)
- (2) Herbicidal spectrum: Annual paddy weeds, esp. against *Echinochloa* spp. at 3 Leaf stage
- (3) Chemical and physiological properties: low water solubility, proper mobility in soil.
- (4) To adapt to both transplanted rice and direct sown rice.



LB:1st leaf blade LS:1st leaf sheath MC:mesocotyl
 BP:basal part of coleoptile and leaf sheath CR:coronal root
 PR:primary root

Fig. 21 Growth of rice plant and barnyardgrass and distribution of mefenacet in paddy

概要

水稲用除草剤である **mefenacet** 及び **fentrazamide** の水田除草剤としての特性を温室内で検討した。両薬剤の除草剤としての基本的特性、実圃場を想定しての環境条件を変えた場合の薬剤特性、**fentrazamide** の作用機構を解明するために薬剤による殺草症状、外部および内部形態の影響の観察、更に **mefenacet** における水稲とノビエ類との間の選択性の要因解明を検討した。概要は以下の通りである。

1. Mefenacet 及び fentrazamide の水稲除草剤としての基本特性

Mefenacet はわが国の水稲栽培において、ノビエ類防除薬剤として広く使用されている。**Fentrazamide** の基本特性を **mefenacet** と比較して検討した。**Fentrazamide** は、水田 1 年生雑草に対して高い除草効果を示した。特にノビエに対し発生前から 3 葉期に至る生育期において卓越した除草効果を示した。殺草スペクトラムは、**mefenacet** と類似した。またノビエに対する残効性は、**mefenacet** と同様に長かった。

また移植水稲に対しても、移植 3 日後以降において高い安全性を示し、ノビエ類防除薬剤としての特性を備えていることが判った。

2. 異なる条件下での Mefenacet 及び fentrazamide の薬剤特性

発生深度が異なるノビエに対して **Fentrazamide** は発生深度に関係なく高い除草効果を示した。また温度条件を低温と高温の設定した場合での、ノビエ類防除効果及び移植水稲に対する安全性を確認した。本剤は温度条件に関係なく、高い除草効果を示し、また移植水稲に対して安全であった。この傾向は **mefenacet** と同様であった。土壌条件を変えた条件下においても、本剤はノビエ類防除効果が高く、また移植水稲に対する安全性も高かった。この傾向は、**mefenacet** と同様であった。

3. 田面水流亡が fentrazamide の除草効果に及ぼす影響

薬剤処理 6 時間以降では、有効成分の原体では高い効果を示し、

粒剤では処理 3 時間後において除草効果に影響が見られなかった。本剤の水溶解性は、20℃で 2.3ppm と比較的到低水溶解性であり、水田土壌での移行性が少ないこと、土壌表面に速やかに吸着されることがその要因と考えられる。

4. Mefenacet 及び fentrazamide のノビエの生育、外部形態に及ぼす影響

Fentrazamide によるノビエの殺草症状は、mefenacet と類似しており、葉身の濃緑化、葉の出すくみ、植物全体の生育抑制である。また影響を受ける主な器官は、処理後に抽出する新葉、生育が著しい冠根、節間伸長、茎頂近傍での若い葉、分けつの葉等であった。ノビエの背軸側の表皮細胞を用いた試験では、fentrazamide 及び mefenacet 共に、細胞の縦方向の伸長が阻害された。

5. Mefenacet 及び fentrazamide の内部形態的な観察

イヌビエ及びタイヌビエの茎頂部近傍の組織を解剖学的に観察した。Fentrazamide は、節間伸長、葉の組織の伸展成長細胞の縦方向の伸長、分けつ及び冠根の分化及び伸長の阻害を認められた。この観察結果は、mefenacet と数多い共通性が見出された。Mefenacet は細胞分裂を阻害するといわれており、本剤の作用機構として細胞分裂の阻害が考えられる。しかしながら詳細は不明である。

6. Mefenacet の水稲とイヌビエとの間の選択性について

本剤の選択性は基本的に物理的な‘位置選択性’によるものと思われるが、イヌビエによる本剤の吸収、移行が、水稲よりやや速いこと、また水稲における本剤の代謝がややイヌビエより速いことなど、少なからず水稲とイヌビエとの間で感受性に差異があることが関係していると思われる。

謝辞

本論分をまとめるにあたり、御指導・御高閲を賜りました筑波大学教授 松本宏博士に深く感謝し、御礼申し上げます。

また多くの支援と御助言を賜りました筑波大学教授 田中俊之博士、筑波大学教授 小林勝一郎博士、筑波大学講師 春原由香里博士、バイエルクロップサイエンス(株)結城中央研究所 柳顯彦博士、(前) 除草剤研究室長の五島敏男氏に心から謝意を表します。

本研究を進めるにあたり、筑波大学・博士後期課程への入学の機会を与えていただいたバイエルクロップサイエンス(株)相談役 上山功夫博士(前、研究開発本部長)、安井一臣氏(元、同生物部部長)衷心より感謝の意を表します。

本研究を遂行にあたりご協力いただきましたバイエルクロップサイエンス(株)結城中央研究所及び本社の除草剤関係者の皆様に感謝いたします。

参考文献

新木康夫、峯岸なつこ(1995) ^{14}C -mefenacet のイネおよびヒエにおける吸収、移行および代謝. 日本バイエルクロップサイエンス (株) 環境科学部報告書 pp.44

Armbruster, B.L., W.T. Molin and M.W. Bugg(1991) Effects of the herbicide dithiopyr on cell division in wheat root tips. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 39:110-120

Aya, M., K. Yasui, K. Kurihara, A. Kamochi and L. Eue (1985) Mefenacet -A New Paddy Herbicide(1). *Proceeding of the 10th conference of the APWSS*:567-574

Carey, V.F., S.O. Duke, R.E. Hoagland and R.E. Talbert(1995) Resistance Mechanism of Propanil-Resistant Barnyardgrass 1. Absorption, Translocation, and Site of Action Studies. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 52:182-189

Chen, Y.M.(1981) Effect of butachlor on seed germination and seedling growth of barnyardgrass. *Taiwania* 26:22-35

Chun, J.C., H.J. Lee, S.J. Lim, S.E. Kim and J.O. Guh(2001) Comparative Adsorption, Translocation, and Metabolism of Foliar-Applied Oxyfluorfen in Wheat and Barley. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 70:118-125

Deal, L.M. and F.D. Hess(1980) An analysis of the growth inhibitory characteristics of alachlor and metolachlor. *Weed Science* 28:168-175

- Delmar, V.Z. and R. A. Kennedy(1981) Germination and seedling growth in *Echinochloa crus-galli* var. *oryzicola*.
American Journal of Botany 68:1269-1277
- Donald, P. S., H.H.Funderburk, Jr., and N.S. Negi(1968) Effect of trifluralin on the growth, morphology, and nucleic acid synthesis. Plant Physiology 43:265-273
- Ebert,E. (1980) Herbicidal effects of metolachlor(2-chloro-*N*-- [2-ethyl-6-methyl-phenyl] -*N*- [2-methoxy-1-methylethyl] acetamide) at the cellular level in sorghum. Pesticide Biochemistry and Physiology 13:227-236
- Edward, M. L. and E. G. Scott(1971) Trifluralin and root growth. Plant & Cell Physiology 12:701-708
- Ehara, K.(1950) Studies on the wild Japanese barnyard millet as a weed in the lowland rice field. Morphological studies on the wild Japanese barnyard millet in the lowland rice field. Nihonsakumotsugakkaiki 20:15-18 (in Japanese)
- El-deek, M.H. and F.D.Hess(1986) Inhibited mitotic entry is the cause of growth inhibition by cinmethylin. Weed Science 34:684-688
- Elizabeth, G.C., F.M.Ashton and D. Huffstutter(1968) The effects of bensulide on the growth, morphology and anatomy of oat roots. Weed Research 8:346-352
- Fedtke,C.(1987) Physiological activity spectra of existing graminicides and the new herbicide 2-(2-benzothiazolyl-oxy)-*N*-methyl-*N*-phenylacetamide(mefenacet).
Weed Research 27:221-228

Fedtke, C.(1991) Mode of action studies with mefenacet. Pesticide Science 33:421-426

Furest,E.P.(1987) Understanding the mode of action of the chloroacetamide and thiocarbamate herbicides. Weed Technology 1:270-277

Goto,T., S.Ito, A.Yanagi, Y. watanabe and K.yasui (2002) Studies on herbicidal carbamoyltetrazolinone derivatives: Selection of fentrazamide. Weed Biology and Management 2:18-24

Grossmann,K. and J.Kiwiatkowski(2000) The mechanism of quinclorac selectivity in grasses. Pesticide Biochemistry and Physiology 66: 83-91

Hess, F.D., J.D.Holmsen and C.Fedtke(1990) The influence of the herbicide mefenacet on cell division and cell enlargement in plants. Weed Research 30:21-27

Hess, F.D.(1987) Herbicide effects on the cell cycle of meristematic plant cell. Reviews of Weed Science 3:183-203

Hosaka, H., H. Inaba, A. Satoh and H. Ishikawa (1984) Histological and cytological effects of haloxyfop on sorghum (*Sorghum bicolor*) and unicorn-plant (*Proboscidea louisianica*) root meristems. Weed Science 37:503-511

Hosaka, H., H. Inaba, A. Satoh and H. Ishikawa(1984) Morphological and histological effects of sethoxydim on corn(*Zea mays*)seedlings. Weed Science. 32:711-721

Hoshikawa,K.(1989) The growing rice plant -An anatomical monograph-. pp. 11-208, Nobunkyo, Tokyo.

石井陽一、犬飼初男、有馬弘孝、梅田芳春（1985）農薬抄録 メフェナセット（除草剤）日本特殊農薬製造株式会社 pp.156

Ishida, S. and Y. Kawamura(1965) Studies on the herbicides of α -chloro(or Bromo) acetamide type-mode of action-. Zassoukenkyu 4:103-109 (in Japanese)

Ito, S., K.Yasui, C.Ueno, T. Yamoka, N. Minegishi, N. Hirose and T. Goto(1998) Study on a new herbicide, NBA061 (1) The property as a rice herbicide. Abstracts of the 37th Conference of the Weed Science Society of Japan.pp.134

Ito, S., C.Ueno, T.Goto and K.Yasui(2000) Morphological and anatomical effects of mefenacet on the growth of barnyardgrass (*Echinochloa oryzicola* Vasing.). Journal of Weed Science and Technology 45:81-87

Kacperska-Palacz A. E., Eugene C. Putala and J. Vengris(1963) Developmental anatomy of barnyardgrass seedlings. Weeds 11: 311-316

河村雄二（1979）「作物の形態形成論」、pp. 38-45、養賢堂、東京

Kamochi, A., T. Goto and Y.Otsu(1998) Emergence Pattern of *Echinochloa* spp. and Optimum Application Time of Mefenacet in Paddy Fields in a Warm Region. Zassokenkyu 43:210-219 (in Japanese)

Koeppe, M.K., A.C.Barefoot, C.D.Cotterman, W.T.Zimmerman and D.C.Leep(1997) Basis of selectivity of the Herbicide Flupyr-sulfuron-methyl in Wheat. Pesticide Biochemistry and physiology 59:105-117

Koeppe, M.K., C.M.Hirata, H.M.Brown, W.H.Kenyon, D.P.O'Keefe, S.C.Lau, W.T.Zimmerman and J.M.Green(2000) Basis of selectivity of the Herbicide Rimsulfuron in Maize. Pesticide Biochemistry and physiology 66:170-181

Lim, S.J., Y. Sunohara and H. Matsumoto(2007) Action of fentrazamide on protein metabolism and cell division in plants. Journal of Pesticide Science 32:249-254

Lim, S.J.(2007) Tetrazolinone 系除草剤 fentrazamide の作用機構 博士論文

Lignowski, E.M. and E.G.Scott(1972) Effect of trifluralin on mitosis. Weed Science 20:267-270

Mattes, B., J.Schmalfuß and P.Böger(1998) II.Inhibition of very long chain fatty acid synthesis in higher plants. Zeitschrift für Naturforschung 53c:1004-1011

Maun, M.A. and S.C.H.Barrett(1986) The biology of canadian weeds. 77. *Echinochloa crus-galli*(L.). Canadian Journal of Plant Science 66:739-759

Michael, B. and F.M.Ashton(1981) Napropamide uptake, transport, and metabolism in Corn (*Zea mays*) and Tomato(*Lycopersicon esculentum*). Weed Science 29:697-703

Mine, A., M.Miyakado and S. Matsunaka(1975) The mechanism of bentazone selectivity. Pesticide Biochemistry and physiology 5:566-574

宮内浩(2001) イノーバ1[®]粒剤の実規模試験. 農薬研究 46:48-51

Morrison, I.N., M.G.Owino and E.H.Stobbe(1981) Effects of diclofop on growth, mitotic index, and structure of wheat (Triticum aestivum) and wild oat (Avena fatua) adventitious roots. Weed Science 29:426-432

日本特殊農薬製造株式会社 (1986) 新水稻用除草剤 ヒノクロア粒剤 pp.37

Nakamura, N., K. Kobayashi, I.S.Shim and S. Nagatsuka(1996) Influence of Soil Organic Matter Content on Mefnacetyl Concentration in Soil Water and the Phytotoxic Activity. Weed Research 41:339-343

Nakayama, H., K.Eguchi and E. Yumura(1966) Emergence Ecology of Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* Beauv. Var. *caudate* Kitagawa). Zassokenkyu 5:72-77 (in Japanese)

Nakayama, H.(1968) The leaf anatomy of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* Beauv.). Zassokenkyu 7:46-49 (in Japanese)

Nirmal, S. D. and J.L. Anderson(1972) Morphological, anatomical and biochemical effects of propachlor on seedling growth. Weed Research 12:182-189

Park, K.W., L.fandrich and C.A.mallory-Smith(2004) Absorption, translocation, and metabolism of propoxycarbazone-sodium in ALS-inhibitor resistant *Bromus tectorum* biotypes. Pesticide Biochemistry and Physiology 79:18-24

Salihu, S., K.K. Hatzios and J.F. Derr (1998) Comparative Uptake, Translocation, and Metabolism of Root-Applied isoxaben in *Sjuga* (*Ajuga reptans*) and two Ornamental *Euronmus* Species. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 60:119-131

Schmidt, B.R., L. Eue, H. Forster and V. Mues and Aya (1984) MEFENACET—A NEW HERBICIDE. *Mededelingen van de Fakulteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent* 49:1075-1084

Shibayama, H. and J. F. Worley (1976) Growth responses of barnyard-grass and bearded sprangletop seedlings to benthocarb. *Weed Science* 24:276-281

Shimizu, M. and Y. Ishiguri (1964) Some preliminary experiments on herbicidal antidotes. *Zassokenkyu* 3:57-64 (in Japanese)

Ueno, C., T. Morisawa, S. Ito, T. Goto and K. Yasui (1996) Sensitivity of *Echinochloa oryzicola*, *E. crus-galli* var. *crus-galli* and *E. crus-galli* var. *formosensis* to mefenacet. Morphological approach. Abstracts of the 41th Conference of the Weed Science Society of Japan. pp.156

TenBrook, P.L. and R.S. Tjeerdema (2006) Biotransformation of clomazone in rice (*Oryza sativa*) and early watergrass (*Echinochloa oryzoides*) *Pesticide Biochemistry and Physiology* 85:38-45

鵜川誠治 (2001) 田植同時処理におけるフェントラザミド混合剤 (イノーバ) の適用性 *農薬研究* 46:38-47

Kuk, I.Y., O.D.Kwon, H.II Jung, N.R.Burgos and J.O.Guh(2002) Cross-resistance pattern and alternative herbicides for *Rotala indica* resistant to imazosulfuron in Korea. Pesticide Biochemistry and Physiology 74:129-138

藪野友三郎(1975) ヒエ属植物の分類と地理的分布. 雑草研究 20:97-104

Waldrop,M.P.,T.M.Sterling,R.A.Khan and W.T.Molin(1996) Fate of Prometryn in prometryn-Tolerant and-Susceptible Cotton Cultivars. Pesticide Biochemistry and Physiology 56:111-122

Watanabe,H.,M.H.T.Nguyen, K.Souphasay, S.H.Vu, T.K.phong, Tournebize J. and S.ishihara(2006) Effect of water management practice on pesticide behavior in paddy water. Agricultural Water management 88:132-140

山末祐二 (1989) ヒエ属雑草の適応の生理学. 化学と生物 27:790-797

Yanagi,A., Y. Wtanabe, S.narabu, S.Ito and T.Goto(2002) Development of A New Herbicide, Fentrazamide. Journal of Pesticide Science 27:199-209

Yasui,K. (1986) Hinochloa (Mefenacet) - A new paddy herbicide - .Nouyakukenkyu 33:30-52 (in Japanese)

Yasui,K, T.Goto, H.Miyauchi, A.Yanagi, D,Fuecht and H.Fürsh (1997) BAYYRC2388:A novel herbicide for control of grasses and some major species of sedges and broadleaf weeds in rice. Brighton Crop Protection Cnference-Weeds-:67-72

Yasui,K, K.Kurihara, T.Goto and A.Kamochi(1987) Mefenacet, A New Paddy Herbicide(2) –As a component of one-shot application herbicides-. Proceeding of the 11th conference of the APWSS:393-405

Yogo,Y. and K. Takagi(1996) Herbicide behavior and duration of activity under paddy condition 1) Dissipation of pretilachlor and mefenacet in soil surface and their activity to weeds. Abstracts of the 41th Conference of the Weed Science Society of Japan.pp.224