

水田における一年生広葉雑草の発生生態とイネ品種による それらへの抑制効果に関する研究

小荒井 晃*

目 次

I 緒論	59	1. 除草剤抵抗性検定に適用できるイネ粉の 水抽出液を用いた寒天培地によるコナギの 培養法の開発	74
II 水田における代かき時期および代かき前の 土壤水分状態の違いが一年生広葉雑草の 発生に及ぼす影響	63	2. 現地水田におけるスルホニルウレア系 除草剤抵抗性生物型コナギの発生実態	78
1. 代かき時期の違いが一年生広葉雑草の 発生に及ぼす影響	63	IV イネ群落内の光合成光量子束密度の測定による コナギに対するイネの生育抑制力の評価	84
2. 代かき前の土壤水分状態の違いが 一年生広葉雑草の発生に及ぼす影響	68	V 総合考察	92
III コナギの除草剤抵抗性検定法の開発と 水田に出現した除草剤抵抗性生物型コナギの 発生実態	74	VI 摘要	93
		引用文献	95
		Summary	100

I 緒 論

日本の水稲作における雑草防除は、1950年の2,4-Dの実用化以降、除草剤による化学的手段が主流となり、これまでに一年生雑草から多年生雑草まで殺草スペクトラムが広く、かつ効果の高い除草剤が次々と開発・普及されてきた。しかし、一年生広葉雑草の種子は、多年生雑草の塊茎やタイヌビエ、イヌホタルイ等の種子よりも寿命が長い^{(7), (48)}、連年の除草剤の使用にもかかわらず、その防除は現在に至るまで困難を極めている⁽⁴⁸⁾。また、水田における一年生広葉雑草の防除を難しくしている二番目の要因として、水稲 (*Oryza sativa* L.) の栽培管理法あるいは年次的な気象条件の相違等による雑草発生の変動が大きく、除草剤の効果も変動し易いことがあげられる。さらに、水管理を徹底することが困難な水田では、落水により除草剤の残効期間が短くなり、しばしば広葉雑草の残草や除草剤処理後の後発生が生じている。このような除草剤による雑草制御

効果の変動は、水稲の栽培管理にとって大きな問題になっている。

湛水した水田におけるタイヌビエやイヌホタルイの発生生態については、すでに数多くの研究が行われており、温度、土壤水分、土壤還元、種子の埋土深などの要因によって、それら雑草の発生が大きく変動することが知られている。すなわち、タイヌビエの種子は、春からの気温上昇と昼夜間の温度差によりほとんどの休眠種子が覚醒し、稲作の開始にともなう湛水による嫌氣的土壤条件によって覚醒が不十分な種子も完全に休眠覚醒して発芽すること⁽⁵⁹⁾、⁽⁶⁵⁾、高温条件下では湛水土壌の還元が速やかに進行するため斉一な発生になり、低温条件下では土壤の還元が遅く進行するため発生は不斉一で長期間に及ぶこと⁽⁵⁷⁾などが報告されている。また、イヌホタルイの種子は、休眠覚醒後は好氣的な畑土壌条件下では光発芽性を有しているが、嫌氣的な湛水土壌条

件下では光の影響はないこと^{(31), (39)}、夏季の湛水中では温度が高いほど一次休眠覚醒後の二次休眠の誘導が早いこと⁽⁷²⁾、休眠覚醒した種子を覆土した場合、土壌表層2 cm以内の覆土では高い出芽率を示すが、5 cm以上の覆土では出芽せず、土中での発芽率も低いこと⁽²⁶⁾、しかし代かきした土壌条件下では5 cmの深さからでも出芽すること⁽³¹⁾などが知られている。

水田一年生広葉雑草については、代かき前の地温や土壌水分等の環境要因あるいは種子の埋土深が種子の休眠覚醒程度に影響すること^{(1), (4), (6), (8), (38), (76)}等の若干の知見は得られているが、水田に自然発生した一年生広葉雑草について、代かき時期や代かき前の落水下における土壌水分の状態がその発生様相へ及ぼす影響の検討は十分ではない。

また、イネ科雑草を除く多くの水田雑草に対して卓越した効果を有するスルホニルウレア系除草剤は、現在では水稲作付面積の9割以上に使用されているが、1996年頃からそれらに対して抵抗性を有する数種広葉雑草の生物型の出現が報告され始め、各地で雑草の発生生態に変化を生じるようになった^{(24), (28), (29), (53), (85), (91)}。

一方、近年、人や環境への影響に対する危惧や低コスト技術への要請から、環境保全型の農業生産へ向けて、化学除草剤以外の方法による水田雑草の制御技術が求められている。そしてそれに対応する新しい特性としてイネ品種 (*O. sativa*) の耐雑草性、とくにイネの形態的特性やアレロパシーによる雑草抑制効果などが注目されるようになってきており^{(16), (44), (81)}、アフリカでは、雑草抑制効果が優れる *Oryza glaberrima* の形質を *O. sativa* に導入する試みなどが行われている^{(9), (14), (33)}。その中でイネの形態的特性は、品種の特性であるとともに栽培法による成長制御も有効であるため、これを雑草制御に活用することが期待されている。しかし、イネの形態的特性によるイネ科雑草やそれを優占種とする雑草群落に対する抑制力に関する研究は多く行われているが^{(10)-(12), (14), (19), (33), (43), (63), (67), (71), (78), (80)}、一年生広葉雑草への生育抑制効果についての研究は行われていない。

上述のように、一年生広葉雑草は、水稲作において大きな問題となっている雑草であるにもかかわらず、イネ科雑草ほど十分な研究が行われていない。

そこで本研究では、数種一年生広葉雑草について、発生様相の変動要因とともに、現在除草剤による雑草制御を困難としている除草剤抵抗性生物型の発生実態を明らかにし、さらにイネの形態的特性を活用した、除草剤に依存しないそれら雑草の抑制法の開発に資することを目的として、試験を行った。

本研究で対象とした雑草を含む日本における主要な水田雑草種とその学名および本研究に関連する除草剤の一般名と化学名を表1および表2に示した。

なお、本研究は1990年から1999年にかけて、農林水産省農業研究センター（現農業・生物系特定産業技術研究機構中央農業総合研究センター）において実施したもので、その大半は日本雑草学会に発表しているが^{(45)-(47), (49), (80)}、本論文はこれら投稿論文と未発表の成績を含めて体系的にとりまとめたものである。

本研究を遂行するにあたり、佐賀大学海浜台地生物環境研究センター前教授であり、農業研究センター耕地利用部水田雑草研究室（現中央農業総合研究センター耕地環境部水田雑草研究室）の元室長であった芝山秀次郎博士からは共同研究者として絶大なご支援およびご教示を頂き、さらに本論文を作成するに当たり、終始懇切なご指導とご校閲を賜った。厚く御礼申し上げます。本論文の作成にあたって、お忙しい中、校閲の労をとられた佐賀大学教授有馬進博士、琉球大学教授石嶺行男博士、佐賀大学教授野瀬昭博博士、鹿児島大学助教授佐々木修博士、農業・生物系特定産業技術研究機構中央農業総合研究センター前耕地環境部長野口勝可博士および同センター水田雑草研究室児嶋清室長にも厚く御礼申し上げます。

本研究を遂行するにあたって、水田雑草研究室長の森田弘彦博士（以下、いずれも当時、現同機構中央農業総合研究センター北陸水田利用部長）には、共同研究者として終始懇切なご指導、ご助言をいただいた。同研究室の渡邊寛明主任研究官（現同機構東北農業研究センター）、中山壯一主任研究官（現同機構東北農業研究センター）、李度鎮博士（現大韓民国順天大学校）、川名義明主任研究官、稲沼幸子氏、服部真幸氏（現農業環境技術研究所）、同センター企画調整部業務第1科および業務第2科の職員には実験の遂行にあたって多くの支援を賜った。

農業研究センターの耕地利用部長下田英雄博士

(現八ヶ岳中央農業実践大学校長)、高柳繁博士、與語靖洋博士、中谷敬子博士、澁谷知子主任研究官、浅井元朗博士、赤間芳洋室長(故人)、堀末登室長(現同機構九州沖縄農業研究センター)および須藤充研究員(現青森県農林総合研究センター)、同機構九州沖縄農業研究センターの水田作研究部長下坪訓次博士(現富山県立大学教授)、住吉正室長および大段秀記博士、農業環境技術研究所の根本正之博士(現東京農業大学教授)、伊藤一幸博士(現同機構東北農業研究センター)、藤井義晴博士、松尾和人博士および西村誠一博士、東北農業試験場の内野彰博士、橋雅明主任研究官および汪光熙博士(現京都大学)には数多くのご教示とご助言を賜った。職場の同僚の各位からは、多大なる激励を頂き、協力

を惜しまれなかった。

東北農業試験場水田利用部雑草制御研究室にはコナギ種子の採取および農家の聞き取り調査へのご協力、茨城県江戸崎農業改良普及センターには美浦村内の農家の聞き取り調査へのご協力、岐阜県農業総合研究センターにはコナギ種子の採取へのご協力をいただいた。さらに、農業研究センター畑雑草研究室および稲育種研究室からはイネ種子、農薬会社から各除草剤の原体の提供を頂いた。

以上の方々から心から深謝の意を表する次第である。

本稿は、鹿児島大学審査学位論文に一部加筆修正したものである。

表1 日本における主要な水田雑草種とその学名

一年生雑草		
イネ科		
タイヌビエ	<i>Echinochloa oryzicola</i> Vasing.	
ヒメタイヌビエ	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv. var. <i>formosensis</i> Ohwi	
イヌビエ	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv.	
カヤツリグサ科		
タマガヤツリ	<i>Cyperus difformis</i> L.	
コゴメガヤツリ	<i>Cyperus iria</i> L.	
広葉雑草	ミズアオイ科	
	コナギ	<i>Monochoria vaginalis</i> (Burm. f.) Kunth
	ゴマノハグサ科	
	アゼナ	<i>Lindernia procumbens</i> (Krock.) Borbás
	アメリカアゼナ	<i>Lindernia dubia</i> (L.) Penn.
	ミゾハコベ科	
	ミゾハコベ	<i>Elatine triandra</i> Schk. var. <i>pedicellata</i> Krylov
	ミソハギ科	
キカシグサ	<i>Rotala indica</i> (Willd.) Koehne var. <i>uliginosa</i> (Miq.) Koehne	
ヒメミソハギ	<i>Ammannia multiflora</i> Roxb.	
多年生雑草		
イネ科		
エゾノサヤヌカグサ	<i>Leersia oryzoides</i> (L.) Sw.	
キシウスズメノヒエ	<i>Paspalum distichum</i> L.	
カヤツリグサ科		
ミズガヤツリ	<i>Cyperus serotinus</i> Rottb.	
イヌホタルイ	<i>Scirpus juncooides</i> Roxb. var. <i>ohwianus</i> T. Koyama	
シズイ	<i>Scripus nipponicus</i> Makino	
クログワイ	<i>Eleocharis kuroguwai</i> Ohwi	
マツバイ	<i>Eleocharis acicularis</i> (L.) Roem. et Schult. var. <i>longiseta</i> Sven.	
広葉雑草	オモダカ科	
	ウリカワ	<i>Sagittaria pygmaea</i> Miq.
	オモダカ	<i>Sagittaria trifolia</i> L.
	セリ科	
	セリ	<i>Oenanthe javanica</i> (Blume) DC.

表2 本研究に関連する除草剤の一般名とその化学名

一般名	化学名
[スルホニルウレア系]	
ベンスルフロンメチル	methyl α -[[3-(4,6-dimethoxypyrimidin-2-yl)ureido]sulfonyl]- <i>o</i> -toluate
ピラゾスルフロンエチル	ethyl 5-[[3-(4,6-dimethoxypyrimidin-2-yl)ureido]sulfonyl]-1 <i>H</i> -1-methylpyrazole-4-carboxylate
イマゾスルフロン	3-(2-chloroimidazo[1,2- <i>a</i>]pyridin-3-yl)sulfonyl 1-(4,6-dimethoxypyrimidin-2-yl)urea
[フェノキシ系(植物ホルモン系)]	
2,4-D	(2,4-dichlorophenoxy)acetic acid
[カーバメート系]	
ベンチオカーブ	<i>S</i> -(4-chlorobenzyl) <i>N,N</i> -diethylthiocarbamate
エスプロカルブ	<i>S</i> -benzyl 1,2-dimethylpropyl(ethyl)thiocarbamate
モリネート	<i>S</i> -ethyl perhydroazepine-1-carbothioate
ジメピペレート	<i>S</i> -(α,α -dimethylbenzyl)piperidine-1-carbothioate
[酸アミド系]	
テニルクロール	2-chloro- <i>N</i> -(3-methoxy-2-thienyl)methyl-2',6'-dimethylacetanilide
プレチラクロール	2-chloro-2',6'-diethyl- <i>N</i> -(2-propoxyethyl)acetanilide
メフェナセット	2-(benzothiazol-2-yloxy)- <i>N</i> -methylacetanilide
[尿素系]	
ダイムロン	1-(α,α -dimethylbenzyl)-3-(<i>p</i> -tolyl)urea
[トリアジン系]	
ジメタメトリン	2-methylthio-4-ethylamino-6-(1,2-dimethylpropylamino)- <i>s</i> -triazine
[ダイアゾール系]	
ピラゾレート	4-(2,4-dichlorobenzoyl)-1 <i>H</i> -1,3-dimethylpyrazol-5-yl- <i>p</i> -toluenesulfonate
[その他]	
ピリミノバックメチル	methyl 2-[(4,6-dimethoxypyrimidin-2-yl)oxy]-6-[1-(methoxyimino)ethyl]benzoate

注1) [] 内は、除草剤の化学構造による分類を示す。

II 水田における代かき時期および代かき前の土壤水分状態の違いが一年生広葉雑草の発生に及ぼす影響

1. 代かき時期の違いが一年生広葉雑草の発生に及ぼす影響

1) 緒言

水田における雑草の発生生態を解明することは、安定した雑草制御技術を確立するために重要である。日本国内では、タイヌビエ^{(57), (59), (95)-(97)} やイヌホタルイ^{(26), (31), (72), (74)} 等の雑草については、すでに多くの研究が行われているが、一年生広葉雑草については、数種について出芽深度等の若干の知見が得られているのみである^{(18), (25), (40), (64), (85)}。そこで本節では、水稲の栽培条件のなかでも、水田雑草の自然発生に大きな影響を及ぼす環境条件として代かき時期に着目し、水田の代かき時期とその後発生する一年生広葉雑草および同時発生するタマガヤツリを含めて、それらの発生本数、発生消長および出芽深度について、調査を行った。

2) 材料および方法

試験は、茨城県つくば市の農林水産省農業研究センター（現独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構中央農業総合研究センター）で主にコンクリートポット（面積 0.25m^2 、 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ 、高さ 0.35m ）を用いて実施した。1990年3月に同センター谷和原水田圃場（茨城県谷和原村）内の水田から沖積埴土を採取、均一に混和し、4月上旬に降雨遮断用の移動上屋内に設置した上記ポットに充てんした後、それらのポットは代かき直前まで下部の排水口を開けて放置し、土壤を乾燥状態に保った。ポットへの施肥は、代かき時にN、 P_2O_5 、 K_2O を成分量で各

600g/aずつ、土壤表層約10cmに混和して行った。

ポットの代かきは、同年4月16日、5月10日、6月11日および7月10日に実施した。4月代かきは、土壤充てんから代かきまで10日間と短かったため、やや乾燥が不十分な状態で代かきが行われた。5～7月代かきは、土壤が十分に乾燥した状態で代かきが行われた。代かきの翌日に、約3.5葉期（不完全葉を含む）の水稲苗（品種：初星）を1株2本、ポット当たり4株、栽植密度 $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ で移植し、その後のポットは調査終了時まで湛水深3cmに保った。

各ポット内には、1ポット当たり2カ所に直径145mmの円形の調査区を設け、毎週1回ずつ、雑草の自然発生個体を抜き取って、草種別に本数と出芽深度を調査した。コナギ以外の草種については、土壤表面から種子殻の位置までの距離を出芽深度とした^{(3), (44)}。コナギについては、土壤表面からの下胚軸の長さを出芽深度とした⁽⁶⁹⁾。活着できずに表面水中に浮遊していた実生は、調査対象から除外した。反復数は、すべて3とした。なお、アゼナとアメリカアゼナは区別せず、「アゼナ類」としてまとめて調査した。

1990年に同センター谷和原水田圃場5aを用いて、圃場における雑草の発生消長を調査した。6月8日に代かきを行い、6月11日に3.5葉期の水稲苗（品種：初星）を栽植密度 $22.2\text{株}/\text{m}^2$ （ $30\text{cm} \times 15\text{cm}$ ）で移植した。肥料は、代かき時にN、 P_2O_5 、 K_2O を成分量で各600g/aずつ施用した。水管理は、周辺地域

表3 ポット試験における数種一年生広葉雑草の代かき時期による発生本数の変動

雑草名	発生本数（本/ m^2 ）					
	コナギ	アゼナ	ミヅハコベ	ヒメミソハギ	キカシグサ	タマガヤツリ
代かき時期						
4月	252±168	467±241	570±261	259±181	0±0	0±0
5月	1211±588	1807±673	343±49	1090±833	0±0	0±0
6月	2069±563	3714±1231	151±703	1807±1218	1282±689	939±737
7月	1393±842	2443±1072	505±275	2644±1752	737±549	1161±797

注1) 代かき50日後に調査した。

2) 数値は、平均値±標準誤差で示す。

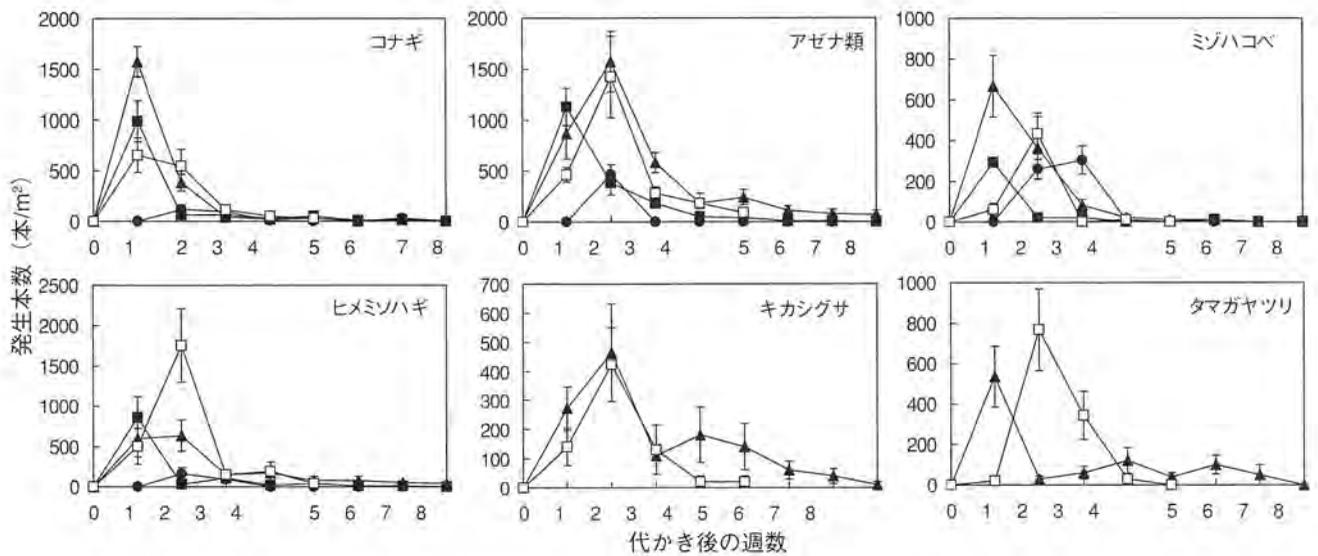


図1 ポット試験における数種一年生広葉雑草の代かき時期による発生消長の変動

注1) 代かき時期：● 4月 ■ 5月 ▲ 6月 □ 7月
2) 縦棒は、標準誤差を示す。

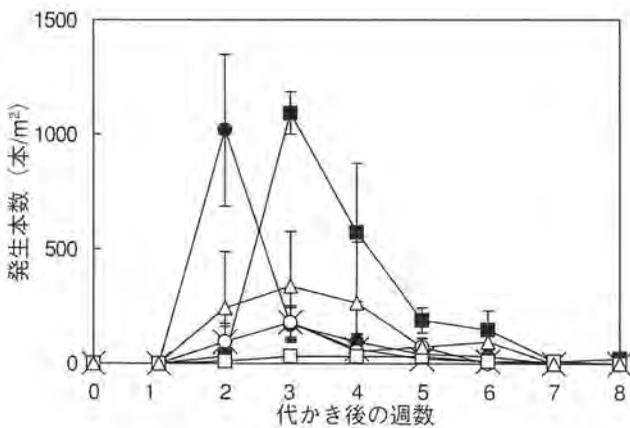


図2 圃場における数種一年生広葉雑草の発生消長 (6月8日代かき)

注1) 雑草種：●-コナギ ■-アゼナ類 △-ミゾハコベ
○-ヒメミソハギ □-キカシグサ ▲-タマガヤツリ
2) 縦棒は、標準誤差を示す。

の慣行に従った。圃場内の3カ所に直径200mmの円形の調査区を設け、毎週1回ずつ雑草の自然発生個体を抜き取り、草種別に本数を調査した。反復数は、2とした。

なお本試験においては、ポットおよび圃場試験ともに、イネ科雑草や多年生雑草の発生は少なく、これら草種の発生個体は適宜手取り除草を行うなどして、調査対象から除外した。

3) 結果

発生草種および本数

ポットに発生した一年生雑草は、コナギ、アゼナ類、ミゾハコベ、ヒメミソハギ、キカシグサの広葉雑草およびタマガヤツリの6草種であった(表1参照)。これら草種の発生の様相を代かき時期別にみると、4月および5月代かき区ではコナギ、アゼナ類、ミゾハコベおよびヒメミソハギの4草種のみが発生し、6月および7月代かき区では上記4草種の他にキカシグサおよびタマガヤツリの2草種も発生した(表3)。各草種の発生本数は、ミゾハコベを除いて4月代かき区が最も少なく、6月までは代かき時期が遅くなるほど多くなった。ヒメミソハギ、タマガヤツリでは7月代かき区の発生本数が最も多くなったが、コナギ、アゼナ類、ミゾハコベおよびキカシグサは7月代かき区で発生本数が減少した。

発生活消長

4月代かき区は、各草種とも1週目には発生せず、発生盛期はコナギ、アゼナ類、ヒメミソハギは2週目、ミゾハコベは3週目であった。5月代かき区は、1週目が発生盛期であった。6月代かき区は、コナギ、ミゾハコベ、タマガヤツリは1週目が発生盛期であったが、アゼナ類、ヒメミソハギおよびキカシグサは、2週目の発生本数が多かった。7月代かき区は、1週目も若干の発生が認められたが、コナギ

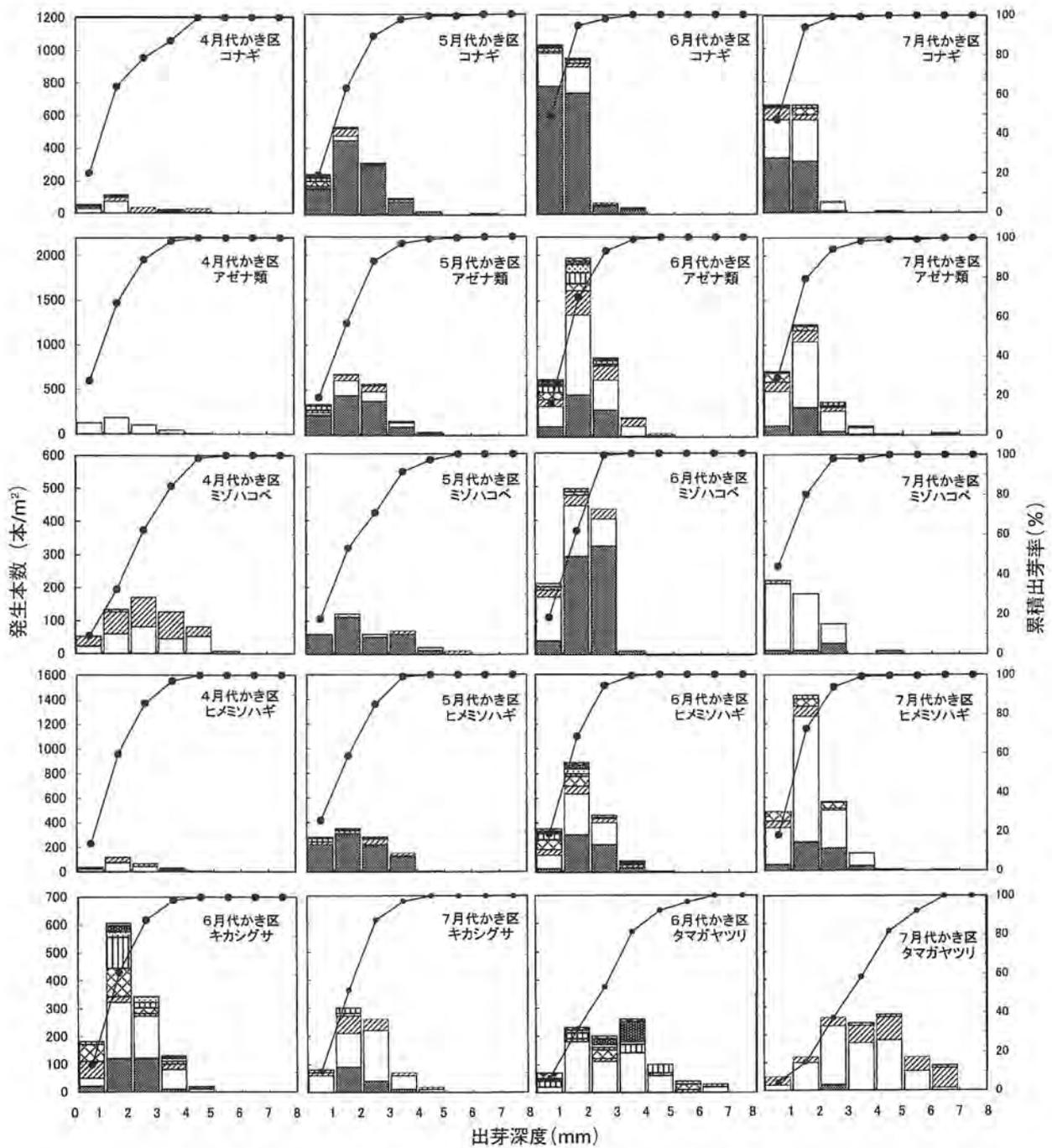


図3 ポット試験における数種一年生広葉雑草の代かき時期による出芽深度の変動

注1) 代かき後の週数：■ 1週目 □ 2週目 ▨ 3週目 ▩ 4週目 ▪ 5週目 ▫ 6週目 ▬ 7週目 ▮ 8週目
 2) 縦棒は発生本数、折れ線は累積出芽率を示す。

を除く5草種は2週目が発生盛期であった(図1)、圃場での発生は、同時期に代かきをした6月代かき区のポットでの発生と比べると約1週間遅かったが、各草種の発生消長の様相については、圃場試験とポット試験の間に大きな差異は認められなかった(図2)。

出芽深度

調査した6草種の出芽深度は、土壌表面から最大でも数mm程度と概して浅く、7.0mmより深い土層からの発生は全くなかった。コナギは出芽深度が2.0mm以下の個体が多く、深いものは5.0mmの深度から発生した。例外的に5月代かき区で全発生本数の0.8%の個体が6.0~7.0mmの深度の土層から発生し

た、アゼナ類は、3.0mmまでの出芽深度の個体が多く、深いものは5.0mmから発生したが、本種もコナギと同様に、例外的に7.0mmまでの深度から発生する個体が認められた。ミゾハコベ、ヒメミソハギおよびキカシグサは、アゼナ類と同様の出芽深度分布を示した。一方タマガヤツリは、一年生広葉雑草と比較して出芽深度がやや深く、とくに7月代かき区では7.0mmまでの土層からの発生が目立った(図3)。

コナギ、アゼナ類、ミゾハコベおよびヒメミソハギは、4月および5月代かき区では、3.0mm(コナギは2.0mm)より深い土層からの発生本数が、全発生本数の11~36%を占めていたが、6月および7月代かき区では深い土層からの発生割合は著しく小さく、3.0mm(コナギは2.0mm)までの浅い土層からの発生本数が発生本数の90%以上であった(図3)。これら草種の深い土層からの発生本数は、各代かき時期を通じて大きな差異は認められなかった。すなわち、浅い土層からの発生本数の多少が、代かき時期による発生本数の多少に相当した。

4) 考察

湛水によって急激に低下する水田土壌の酸化還元電位は、温度が15~35℃の間では、温度上昇にともない大きく促進される⁽⁹¹⁾。そして、酸化還元電位が100mV以下では、雑草の発芽が抑制されることが知られている⁽⁵⁷⁾。ポット試験は、圃場試験と比べて透水性がないため灌漑の量が少なく、同様の気温下でも水温が高くなり⁽⁸²⁾、土壌還元も速く進行する。しかし、6月代かき区のポット試験と圃場試験とを比較すると、水温の違いによって発生のピークが圃場試験より1週早まること以外に差異は認められなかった(図1、図2)。したがって、本試験で明らかになった代かき時期の違いが発生本数、発生消長あるいは出芽深度に及ぼす影響は、おおむね圃場条件でも適用できるものと考えられる。また、ポットは、移動上屋内に設置したため、代かき前の土壌は、代かき時期が遅くなるほど強い乾燥条件にさらされていた。代かき前の土壌水分状態の違いが一年生広葉雑草の発生に及ぼす影響については、次節で検討を行いたい。

一般に水田では、代かき時期の移動によって雑草発生の様相が異なり、代かき時期が早いと雑草はだらだらと発生し、代かき時期が遅いと一斉に発生するとされ⁽⁹¹⁾。それは種子の休眠覚醒程度のばらつ

き⁽⁵⁹⁾、代かき後の発生時期の気温の相違⁽¹⁸⁾、水稻の繁茂による水温の低下⁽³⁰⁾、土壌の還元程度の相違⁽⁵⁷⁾等による。また、代かき時期を遅らせることによって雑草の発生盛期が異なること、代かきの時期を移動させても代かき後40日目以後の発生本数はおおよそ同じであることが報告されている⁽⁷⁷⁾。本試験においても、これらの報告と同様に、代かき時期の移動によって雑草発生の様相が異なることが観察された(図1)。しかし、代かき時期が最も早い4月代かき区における雑草の発生期間は21日以内であり、各地の現地水田で報告されているような「だらだら発生」は見られなかった。これは、前述のように、圃場では湛水深の減少にともない頻りに灌漑を行うため水温は低くなりがちなのに対して、ポットでは灌漑の頻度が少なく圃場と比較して水温が高くなったこと⁽⁸²⁾や土壌の還元が進行したこと⁽⁹¹⁾などが要因として考えられる。

本試験における代かき後の日平均気温は、代かき時期が遅くなるほど高かった(図4)。4月から6月までの代かき区の雑草の発生本数の増加(表3)は、このような気温の上昇によるものと考えられる。しかし、7月代かき区では、気温が高くなったにもかかわらず、4草種の発生本数は6月代かき区よりも少なくなった(表3)。これはこれらの草種の種子の休眠状態が変化し、一部の種子に二次休眠の導入が始まったことや土壌の還元が急速に進行し、発芽が抑制されたことなどが考えられる。また、キカシグサおよびタマガヤツリは東北地方における研究

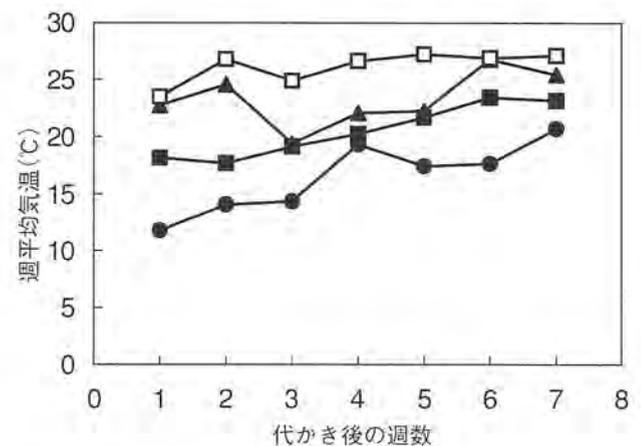


図4 ポット試験における代かき後の平均気温の推移
注1) 代かき時期: ●-4月 ■-5月 ▲-6月 □-7月

で9~10℃および13~14℃での発生が報告されているにもかかわらず⁽⁷⁵⁾、それよりも気温の高かった4月および5月代かき区で発生が認められなかった。これは、種内変異などの要因が考えられるが、この他に溶存酸素量⁽⁸⁰⁾、二次休眠への導入^{(11), (6), (70)}、種子の死滅^{(7), (48)}など様々な要因が複雑に影響を及ぼしあったものと考えられる。

次に本試験では、水田における一年生広葉雑草の出芽深度は、主として土壤表層の3mm以内に限られることを明らかにした。自然発生した雑草の出芽深度の測定法は、土壤表面から種子殻の位置までの距離を出芽深度とする方法が一般である^{(3), (64)}。しかしコナギは子葉展開時に種子殻が子葉先端に付着するため、出芽深度はこの方法では測定できない。コナギについては土壤表面からの下胚軸の長さを測定することで、出芽深度を測定できることが報告されているので⁽⁶⁹⁾、本試験ではこの方法を適用した。水田一年生雑草の種子の発芽、休眠や出芽深度などの発生生態に関わる研究では、本試験で行った方法以外に前年に採取して低温あるいは室内風乾で人為的に貯蔵した種子を用いて、所定深度の土壤中に播種、覆土する方法がある^{(8), (26), (31), (35), (40), (89)}。覆土する方法では、測定上の誤差が少なくなる利点はあるが、層位を細かく設定することは困難である⁽⁶¹⁾。また土壤表層に落下した雑草種子は、耕起・代かきによって土層全体に種子を分布するとされているが⁽⁵⁸⁾、種子重の小さい一年生広葉雑草の種子は、代かき時に土層全体に一樣に分布するとは考えられない。本試験で用いた方法では、発生した雑草の結実年次は不明で種子の休眠状態を把握することは困難であるが、普通の水田条件下で結実し、土壤中に落下、埋土された種子からの発生個体によるものであること、実験法としては、より屋外の水田に近い条件であるという利点がある。

光および酸素の要求性、置床温度、種子サイズ等が雑草種子の出芽可能深度に影響するため、小粒種子や光発芽種子は出芽深度が浅く⁽⁵⁹⁾、種子重と平均出芽深度および最大出芽深度の間には高い正の相関があるとされている^{(21), (35), (64)}。本試験で調査した草種は、最も千粒重が重いコナギでも約130mgとされる^{(30), (61), (88)}など、いずれも種子重が軽く、かつ光発芽種子であり^{(8), (35)}、出芽深度はきわめて浅かった。コナギは、覆土深0.2cmではほとんど出芽しな

いこと⁽⁴⁰⁾、湛水土中1.0~1.5cmの深度ではわずかながら出芽すること⁽⁸⁾、覆土深1.5cmでは2%が出芽すること⁽³⁵⁾、覆土深1.5cmでは42%、2cmでは6%が出芽すること⁽⁸⁰⁾などの報告、キカシグサおよびタマガヤツリは、覆土深1.5cmでは出芽しないこと⁽³⁵⁾、覆土深0.5~1.0cmではわずかに出芽すること⁽⁸⁾などの報告がある。これらの報告は、無代かきでの試験や播種後に覆土した条件で調査しており、実験方法の相違によって、土壤の酸化還元電位などの環境要因が本試験とは異なり、そのためにこのような結果の違いを生じたと思われる。

湛水土壤から発生する一年生広葉雑草のコナギ、アゼナ類、ミゾハコベおよびヒメミソハギは、4月から7月まで代かき時期を遅らせることによって、3.0mmまでの浅い土層からの発生本数は大きく増加したが、3.0mmより深い土層からの発生本数は、ほとんど変化しなかった。気温の上昇や種子の休眠状態の変化などの要因による雑草の発生消長の変化は、ほとんどすべて出芽深度3.0mm（コナギは2.0mm）までの浅い土層からの発生個体数の増減によるものであることが分かった（図3）。4月および5月代かき区で発生が認められなかったキカシグサおよびタマガヤツリについては、さらに検討する必要がある。特にタマガヤツリは、調査した一年生広葉雑草類とは異なり、土中深度5.0mm以上からも全体の7.5~18.3%の本数が発生したが（図3）、その要因については、タマガヤツリの種子内部における生理的条件等による影響の有無など、さらに検討が必要である。

代かき後の日数が異なっても各草種の出芽深度ごとの本数の頻度分布には大差がなく、代かき後の発生時期と出芽深度との間には明確な関係は認められなかった（図3）。これは、調査対象とした6草種が、本試験の結果のごとく、タイヌビエ^{(46), (57)}やイヌホタルイ^{(29), (31), (40)}の種子あるいは多年生雑草の塊茎⁽⁵⁵⁾などに比べて発生可能な深度が浅いため、発生の不斉一性が出芽深度よりも種子の休眠状態のばらつきによる影響が大きいととえられる⁽³⁵⁾。

本試験のポット試験結果をただちに圃場条件に適用することはできないが、これら各草種の発生消長と出芽深度に関する知見は、防除の適期や除草法、とくに土壤処理型の除草剤の薬剤処理層の形成や残効性を解明するために重要であると考えられる。

2. 代かき前の土壤水分状態の違いが一年生広葉雑草の発生に及ぼす影響

1) 緒言

前節では、水田における一年生広葉雑草およびタマガヤツリの発生様相が、代かき時期により大きく変化することを明らかにした⁽⁴⁹⁾。この要因としては、代かき時の気温、土壤の還元状態や土中種子の休眠覚醒程度の相違等が考えられる。いくつかの草種では、代かき前の地温や土壤水分等の環境要因による種子の休眠覚醒程度の変化について研究が行われている^{(1), (4), (6), (8), (38), (56)}。また、雑草の生育期あるいは結実期における土壤水分は、形成される種子の休眠状態に大きく関与することも報告されている^{(73), (92)}。これらの報告では、土壤水分による影響を湛水および落水条件で調査しているが、落水条件下における土壤水分の違いについての検討は行われていない。そこで本節では、代かき前の落水下での土壤水分状態（含水比）の違いが、一年生広葉雑草およびタマガヤツリの発生様相に及ぼす影響を2年間の試験により検討した。

2) 材料および方法

試験は、前節と同様に農業研究センターで、コンクリートポット（面積0.25m²、0.5m x 0.5m、高さ0.35m）を用いて1991年および1992年に実施した。両年とも3月に同センター谷和原水田圃場内の水田から沖積埴壌土を採取、均一に混和し、4月上旬に降雨遮断用の移動上屋内に設置した上記ポットに充てんした。それらのポットは、代かき直前まで下部の排水口を開けて放置し、土壤を乾燥状態に保つ乾燥区、4月上旬から毎週1回、排水口を開けたまま

土壤が冠水するまで水を与えて湿潤状態に保つ湿潤A区（1992年のみ）、代かきの10日前まで乾燥状態に保ち、その後は排水口を開けたまま毎日1回冠水するまで水を与えて湿潤状態に保つ湿潤B区を設けた。土壤の含水比は、1992年に調査を行ったが、ポット充てん時および代かき直前の入水前に土壤を新鮮重で150gずつ採取・秤量し、それを熱風乾燥機により105℃で3日間乾燥させて十分に水分を蒸発させた後、土壤の乾燥重量を秤量する方法で調査した。ポットへの施肥は、両年とも代かき時にN、P₂O₅、K₂Oを成分量で各600g/aずつ、土壤表層約10cmに混和して行った。

ポットの代かきは、1991年は4月12日、5月10日、6月12日、7月11日および1992年は4月20日、5月12日、6月10日、7月9日に実施した。両年とも乾燥区の4月代かきは、土壤充てんから代かきまでが約10日間と短かったため、やや乾燥が不十分な状態で代かきが行われた。乾燥区の他の代かき時期の区は、土壤が十分に乾燥した状態で代かきが行われた。代かきの翌日に、約3.5葉期（不完全葉を含む）の水稲苗（品種：初星）を、1株2本、ポット当たり4株、栽植密度30cm x 30cmで移植し、その後のポットは調査終了時まで湛水深3cmに保った。

調査対象雑草は、前節と同様に供試水田土壤からの発生が多かった一年生広葉雑草を主とする6草種とし、自然発生個体のみを調査した。1ポット当たり2カ所に直径145mmの円形の調査区を設け、毎週1回ずつ雑草の自然発生個体を抜き取って、草種別に本数を調査した。1992年は全発生個体の出芽深度を調査したが、その測定は前節と同じ方法で行った。

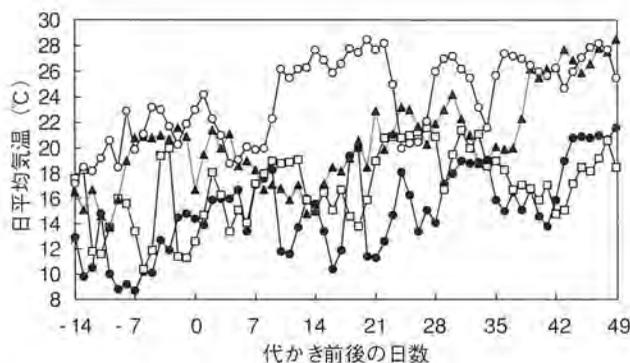


図5 1992年の試験における各代かき時期の平均気温の推移

注1) 代かき時期：●—4月 □—5月 ▲—6月 ○—7月
2) 代かき日は、0で示す。

表4 1992年の試験における供試水田土壤の代かき直前の含水比

代かき時期	含水比 (%)		
	乾燥区	湿潤A区	湿潤B区
4月	22.1	44.7	51.4
5月	14.1	50.8	50.1
6月	12.8	49.7	51.8
7月	6.4	39.7	56.9

注1) 含水比 (%) = (新鮮土重 - 乾土重) / 乾土重 x 100

2) 水田土壌は、4月上旬にポットに充てんした。

3) 充てんした時の土壤の含水比は、31.1%であった。

4) 湿潤A区は、排水口を開けたまま、4月上旬から毎週1回、湿潤B区は、代かきの10日前まで乾燥状態に保ち、その後は排水口を開けたまま毎日1回冠水した。

反復数は、すべて3とした。前節と同様にアゼナとアメリカアゼナは区別せず、「アゼナ類」としてまとめて調査した。得られた試験データは、Tukey法によって統計処理を行った。なお本試験においては、イネ科雑草や多年生雑草等の発生は少なく、それらを含めた対象外草種は、発生後に適宜手取り除草を行って除外した。

3) 結果

試験は2年間行ったが、両年で大きな相違はなかった。以下、主として1992年の結果について述べる。

代かき前の土壤の含水比

ポット土壤充てん時の供試水田土壤の含水比は31.1%であった。乾燥区の代かき直前の含水比は、4月代かきで22.1%、代かき時期が遅くなるほど低下し、7月代かきで6.4%であった。7月代かきの湿潤A区の代かき直前の含水比は、代かき7日前に行った最後の冠水処理後の気温(図5)が他の代かき時期より高かったため39.7%と低くなったが、それ以外は44.7~50.8%と高かった。湿潤B区の代かき直前の含水比は、代かき時期にかかわらず高く、50.1~56.9%であった(表4)。

発生草種および本数

本試験で供試水田土壤から発生した主な草種は、代かき時期や土壤水分状態の違いにかかわらず、コナギ、アゼナ類、ミゾハコベ、キカシグサ、ヒメミソハギの一年生広葉雑草およびタマガヤツリであり、それらを調査対象雑草とした。湿潤A区および湿潤B区では代かき前にメヒシバ等の細雑草が発生したが、調査対象草種は代かき前に発生することはなかった。調査対象雑草の全発生本数は、乾燥区と

湿潤B区では、代かき時期が遅いほど発生本数が多くなり、同月代かき間では乾燥区の発生本数が湿潤B区よりも多かった。一方、湿潤A区は、各代かき時期を通して全発生本数に有意な差はなかった(表5)。1991年の試験でも、乾燥区および湿潤B区の全発生本数は、代かき時期が遅いほど多く、いずれの代かき時期も乾燥区の発生本数が湿潤B区よりも多かった。

各草種の発生本数を代かき前の土壤水分状態別に比較すると、コナギの発生本数は、5月代かきの湿潤B区で他の区よりも多くなったが、それ以外は区間で有意な差は認められなかった。アゼナ類、ミゾハコベ、ヒメミソハギおよびタマガヤツリの発生本数は、乾燥区で代かき時期が遅くなるにしたがって増加する傾向が認められ、6月(ヒメミソハギを除く)および7月代かき(ミゾハコベの湿潤B区を除く)の発生本数は、湿潤A区や湿潤B区よりも有意に多く、湿潤B区の発生本数は乾燥区と湿潤A区の間値であった。キカシグサの発生本数は、いずれの区も6月および7月代かきで減少したが、上記の草種と同様に、乾燥区の発生本数が他の区よりも多かった(図6)。同じく1991年の試験においても、4月代かきの大部分の草種および5月代かきのキカシグサを除き、同一代かき時期では乾燥区の発生本数が湿潤B区よりも多かった。

発生消長

各雑草の発生消長は草種によって若干のずれはあるものの、代かき前の土壤水分状態の違いにかかわらず類似したパターンを示した。すなわち、4月代かきでは代かき後2~3週目、5月代かきでは同2週目、6~7月代かきでは同1週目が発生ピークとなった(図7および図8)。1991年の試験においても、どの草種も乾燥区と湿潤B区の発生消長は類似したパターンを示し、発生ピークは4月代かきでは代かき後2週目、5~7月代かきではおおそ代かき後1週目であった。

出芽深度

各雑草の出芽深度は、前節と同様の傾向を示し、コナギは1.1~3.0mm、アゼナ類は1.1~2.1mm、ミゾハコベは1.7~3.2mm、キカシグサは1.6~3.1mm、ヒメミソハギは1.6~2.9mm、タマガヤツリは0.5~1.6mmであって、いずれも浅い土壤表面から発生しており、それらの深度は各代かき時期および代かき

表5 1992年の試験における代かき前の土壤水分状態の違いが数種一年生広葉雑草の全発生本数に及ぼす影響

代かき時期	全発生本数 (本/m ²)		
	代かき前の土壤水分		
	乾燥区	湿潤A区	湿潤B区
4月	3239.6 a	3101.5 a	2636.9 a
5月	8664.1 ab	6303.4 a	8224.6 ab
6月	8963.4 b	3225.0 a	5935.0 ab
7月	14108.6 b	4330.7 a	10413.0 b

注1) 同符号は、同一土壤水分区の代かき期間で5%水準で有意差が無いことを示す。

2) 平均値の多重比較は、Tukey法による。

前の土壌水分状態の違いによって有意な差は認められなかった (表6).

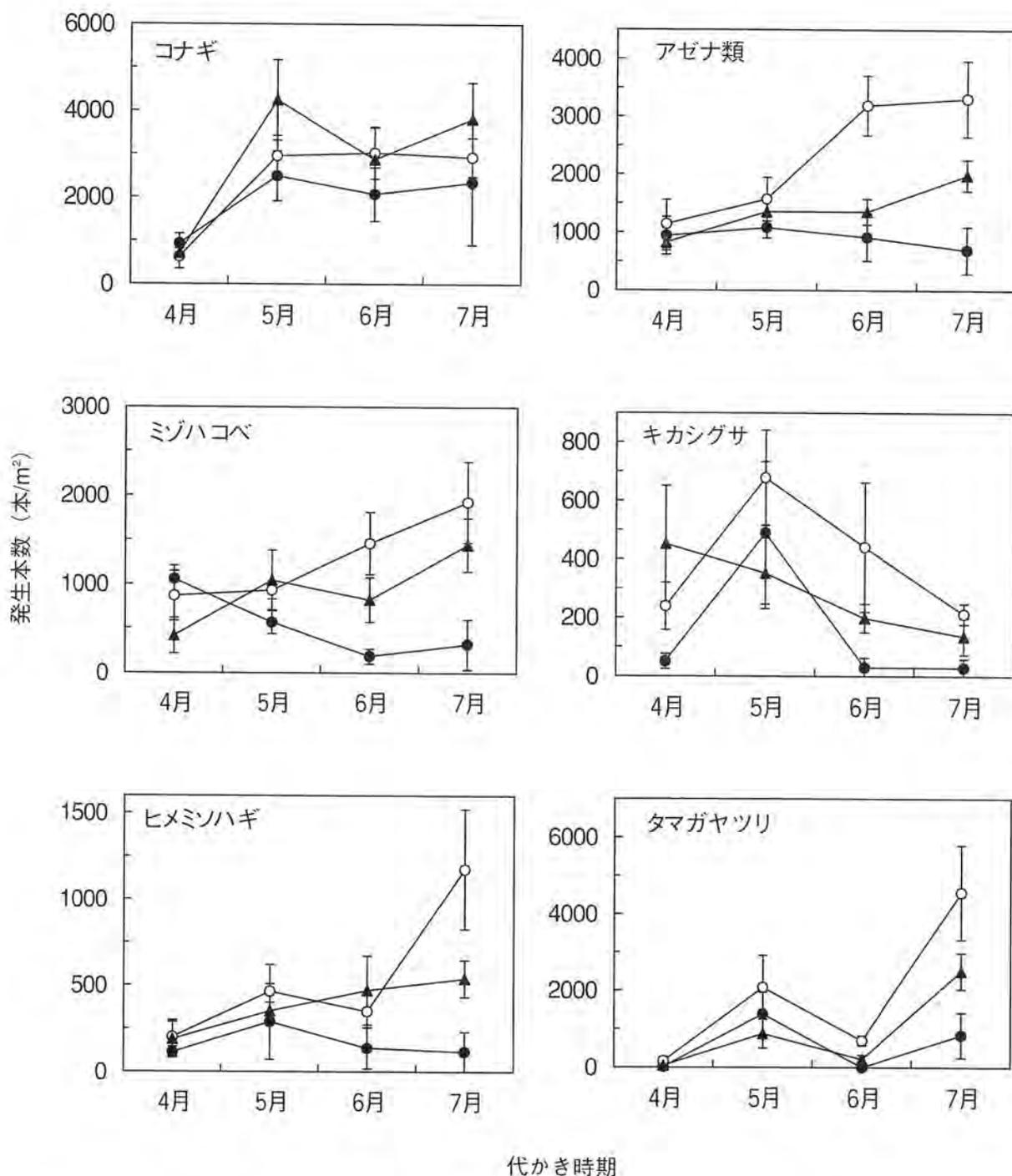


図6 1992年の試験における代かき時期と代かき前の土壌水分状態の違いが数種一年生広葉雑草の発生本数に及ぼす影響

注1) 代かき前の土壌水分: ○ 乾燥区 ● 湿潤A区 ▲ 湿潤B区
 注2) 縦棒は標準誤差を示す。

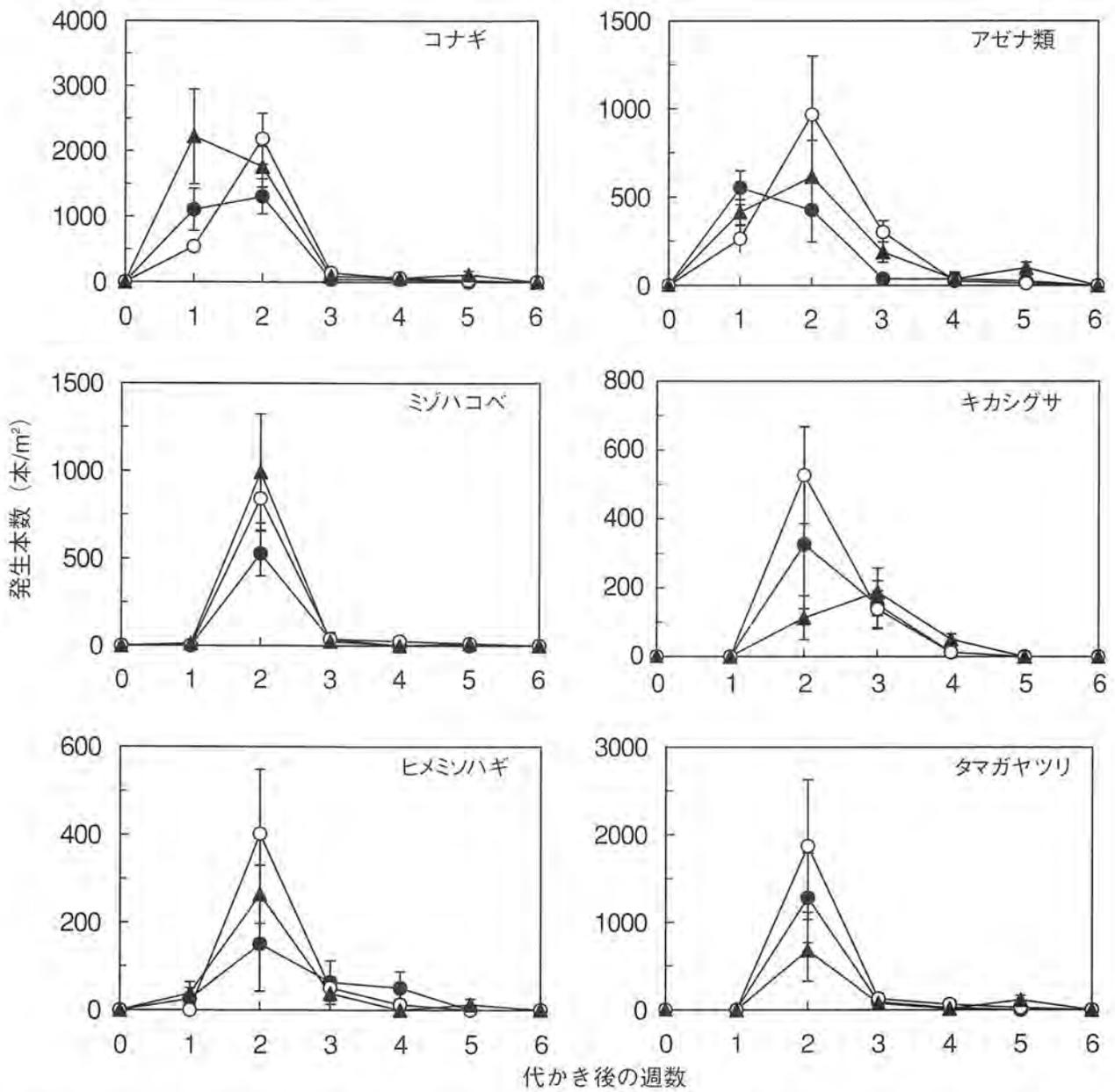


図7 1992年の試験における5月代かきでの代かき前の土壌水分状態の違いが数種一年生広葉雑草の発生消長に及ぼす影響

注1) 代かき前の土壌水分：○-乾燥区 ●-湿润A区 ▲-湿润B区
 2) 縦棒は標準誤差を示す。

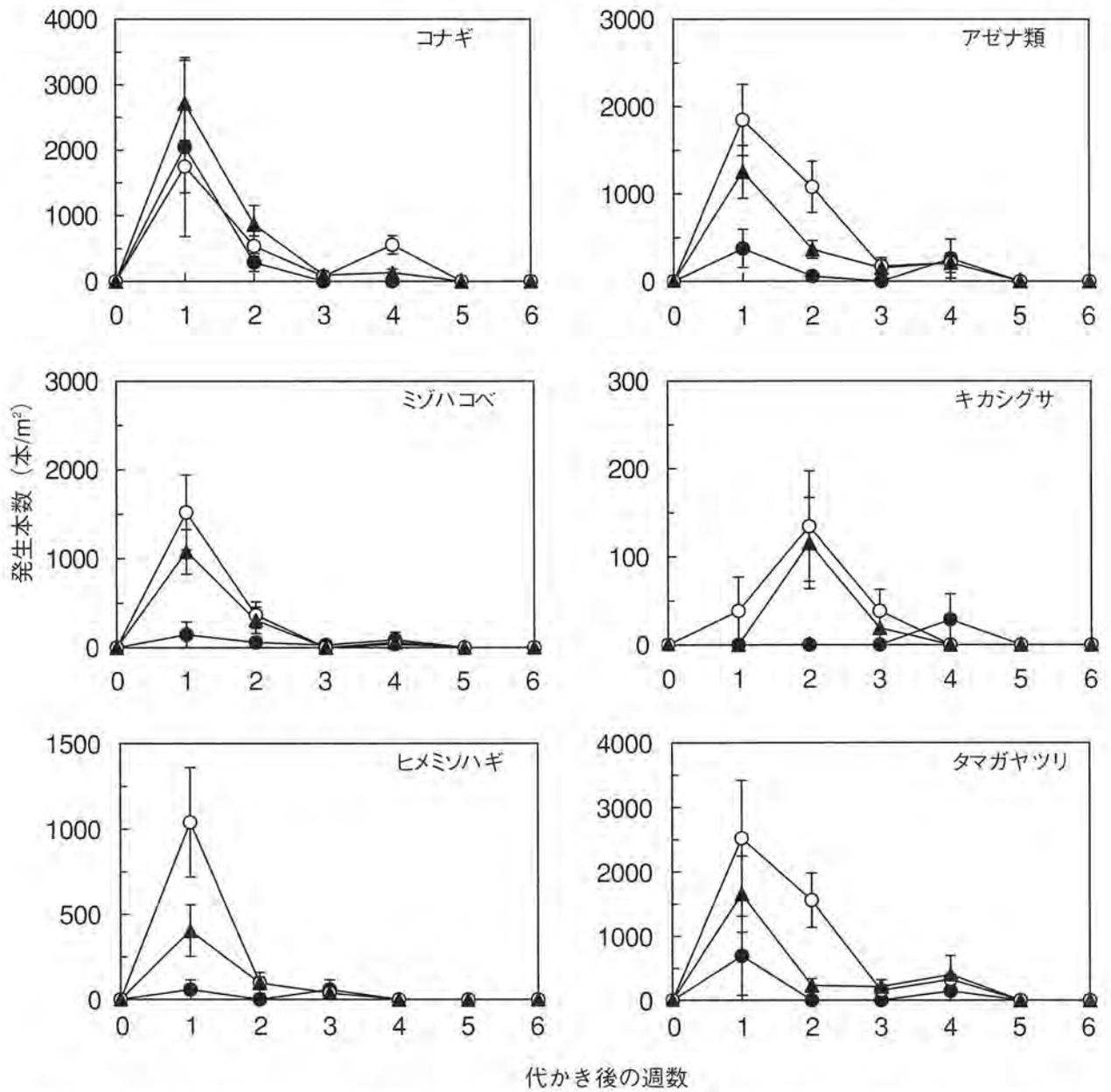


図8 1992年の試験における7月代かきでの代かき前の土壤水分状態の違いが数種一年生広葉雑草の発消長に及ぼす影響

注1) 代かき前の土壤水分: ○-乾燥区 ●-湿潤A区 ▲-湿潤B区
 2) 縦棒は標準誤差を示す。

表6 1992年の試験における代かき前の土壌水分状態の違いが数種一年生広葉雑草の出芽深度に及ぼす影響

草種	代かき前の 土壌水分	出芽深度(mm)			
		代かき時期			
		4月	5月	6月	7月
コナギ	乾燥区	1.9a	1.2a	1.9a	1.1a
	湿潤A区	2.4a	1.2a	2.6a	1.5a
	湿潤B区	3.0a	1.5a	2.7a	1.3a
アゼナ類	乾燥区	1.7a	1.1a	1.9a	1.9a
	湿潤A区	2.1a	1.2a	2.4a	1.6a
	湿潤B区	2.1a	1.3a	2.0a	1.5a
ミゾハコベ	乾燥区	2.2a	2.0a	2.5a	2.5a
	湿潤A区	2.6a	2.5a	2.8a	2.5a
	湿潤B区	3.2a	1.7a	2.5a	2.1a
キカシグサ	乾燥区	2.2a	1.6a	2.4a	3.0a
	湿潤A区	3.1a	1.8a	3.1a	3.1a
	湿潤B区	2.8a	1.7a	3.0a	2.8a
ヒメミノハギ	乾燥区	2.1a	1.6a	2.1a	2.2a
	湿潤A区	2.1a	1.9a	2.9a	2.8a
	湿潤B区	2.1a	1.6a	2.9a	2.5a
タマガヤツリ	乾燥区	1.5a	0.7a	0.8a	0.9a
	湿潤A区	0.5a	1.0a	—	1.3a
	湿潤B区	1.1a	0.9a	1.6a	1.2a

注1) 出芽深度は、全出芽個体の出芽深度の平均値。

2) 同符号は、各草種の同一代かき時期の土壌水分区間で5%水準で有意差が無いことを示す。

3) —は、発生が認められなかった。

4) 平均値の多重比較は、Tukeyの法による。

5) 湿潤A,B区は、表4を参照。

4) 考察

本節では、代かき前の土壌水分状態の違いが、代かき後の湛水した土壌からの雑草の発生本数に大きく影響を及ぼすことを明らかにした。この点については、例えば乾田と湿田で雑草の発生の様相が異なることは古くから経験的に知られており、除草剤が開発される以前は乾田では少なくとも4回、湿田では3回の除草を行う必要があるとされていた⁽⁷⁹⁾。本試験では、乾燥条件により雑草の発生本数は、気温の上昇にともなって湿潤条件と比較して増加しており、このような現象の裏付けとなるものであり、種々の水田における雑草発生の要因を解析する上で基礎知見として役立つものである。

水田一年生広葉雑草およびタマガヤツリの発生本数や発生消長等の変化は、温度⁽⁷⁵⁾、一次休眠の覚醒^{(4), (8), (38), (76)}、二次休眠への導入^{(4), (5), (76)}、種子の死滅^{(7), (48)}、溶存酸素量⁽⁸⁰⁾、土壌還元⁽⁵⁷⁾など、様々な要因が複雑に影響を及ぼしあった結果と考えられている。

本試験で調査対象とした雑草種子の一次休眠の覚醒に関しては、コナギ種子は休眠が浅く、湛水土中、

畑土中および風乾のいずれの貯蔵条件でも速やかに休眠から覚醒すること⁽⁸⁸⁾、アゼナ種子は畑地埋蔵後に4月から乾燥貯蔵すると発芽率が高くなること⁽⁷⁵⁾などが報告されている。二次休眠への導入に関しては、年間湛水土中貯蔵によってアゼナおよびキカシグサ種子は6月から8月にかけて発芽率が低下すること⁽⁶⁾、タマガヤツリ種子は二次休眠が認められないこと⁽⁶⁾、台湾における研究では、コナギ種子は湛水土中貯蔵より畑土中貯蔵の方が二次休眠の導入がされやすいこと⁽⁴⁾などが報告されている。このように土壌水分や気温が種子の休眠状態に与える影響は大きい。本試験の結果からは、代かき前の土壌水分状態の違いがコナギを除く5草種の種子の休眠状態に影響を与えていることが推察された。

本試験では、代かき前の土壌水分状態の違いによるコナギの発生本数に及ぼす影響は、アゼナ類、ミゾハコベ、キカシグサに比べて小さかった。コナギは、アゼナ、ミゾハコベやキカシグサよりも二次休眠への導入が遅く、発生可能期間が長いとする報告^{(76), (77)}がある。本試験の結果は、5月から7月にかけてコナギの休眠状態に大きな変化がなかったこと

によるものと考えられる。

千坂ら⁽¹⁷⁾は、戸外のポット試験によって、耕起によるかく乱のない土壤に雑草種子を埋め込んだ場合、コナギ、アゼナ、キカシグサおよびタマガヤツリ種子は、乾田状態では10年目でも種子の生存率は高いこと、湿田条件では乾田状態よりも生存率が低く、アゼナおよびキカシグサは2～4年目でほとんどの種子が死滅したことを報告している。本試験は、2年間実施しているが、それぞれ単年度の試験であり、長期的に継続して確認する必要がある。

土壤の酸化還元電位は、代かき前の土壤水分状態の違いよりも有機質土壤や有機物の量によって変動する⁽³⁴⁾。本試験で供試した土壤は、いずれも同一圃場内から採取したものであるため、代かき後の土壤の酸化還元電位は、同時期に代かきをした土壤間で、大きくは異なっていないものと推察している。

4月代かきでは、各草種ともに乾燥区、湿潤A区および湿潤B区の発生本数の差異が不明瞭であったが(図6)、これは乾燥あるいは冠水処理の期間が短かったために代かき前の土壤水分の差異が小さかったことによるものであろう。湿潤A区の雑草の発生本数は、コナギを除いて湿潤B区より有意に少な

い区が多かった。これは、湿潤条件の中でも、代かき10日前から毎日冠水処理するより4月から毎週1回冠水処理する方が、代かき後の雑草の発生本数に及ぼす影響が大きいことを示すものと考えられる。

本節では、乾燥区のアゼナ類、ミゾハコベ、ヒメミソハギおよびタマガヤツリの発生本数は、代かき時期が遅くなるにしたがって増加したが、前節では、アゼナ類およびミゾハコベの発生本数は、7月代かきで減少するなど若干異なった様相を示した。これは試験期間の気象(図5)および供試土壤の採取圃場などの試験条件が年次によって異なったためと考えている。一方、本節で調査した水田一年生広葉雑草の発生活消長および出芽深度については、前節の結果と同様の結果であり、代かき前の土壤水分状態の違いによる影響は無いと考えられる。

片野⁽³⁷⁾は、水稻の移植前1カ月間湛水状態を維持し、その間に1ないし数回の代かきを行うことによって雑草の発生がほとんどなくなるとの報告をしている。本試験では、さらに検討が必要であるが、代かき前の土壤水分を制御することが雑草発生制御に有効であることが示唆された。

Ⅲ コナギの除草剤抵抗性検定法の開発と水田に出現した除草剤抵抗性生物型コナギの発生実態

1. 除草剤抵抗性検定に適用できるイネ科の水抽出液を用いた寒天培地によるコナギの培養法の開発

1) 緒言

現在日本の水田で実用化されている初期および初・中期一発型水稲用除草剤は、そのほとんどがスルホニルウレア系除草剤(以下、SU剤)を含む混合除草剤(以下、SU混合剤)である。SU剤は、いずれも低濃度でコナギを含む広葉およびカヤツリグサ科などイネ科を除く雑草全般に対して広い殺草スペクトラムを持ち、かつ水稲に対する安全性が高い除草剤である(表2参照)。SU混合剤が日本の水田で広く使用されるようになって以来、まず1996年に北海道においてミズアオイ⁽⁵⁹⁾のSU剤抵抗性生物型の出現が報告され、その後は各地のSU混合剤連用水田において、イヌホタルイ⁽⁵⁸⁾、アゼトウガラシ⁽²⁰⁾、

アゼナ類⁽⁸⁵⁾、ミゾハコベ⁽²⁴⁾、キカシグサ⁽³⁸⁾およびキクモ⁽⁹¹⁾についてSU剤抵抗性生物型の出現が報告されている。一方、代表的な一年生広葉雑草であるコナギについても、近年は除草剤処理後に大量に残存する水田が各地で散見されている。コナギは、すでにSU剤抵抗性生物型が出現したミズアオイと同属の雑草であるだけに、他草種と同様のSU剤抵抗性生物型の出現が懸念される。

雑草の除草剤抵抗性の検定を行う場合、土壤を用いないシャーレ検定法、従来のガラス管検定法や水耕検定法などがある^{(22), (60), (83)}。しかし、シャーレやガラス管を用いた検定法では、根が屈曲捻転するために根長を正確に測定することが困難になることが多く、それを防ぐために種子を発泡スチロール製のディスクに固定して被験液に浮かべる水耕検定法が開発されている⁽⁶⁶⁾。コナギ種子は、発芽に低酸素

分圧条件が必要であり^{(81), (36)}、しかも子葉先端に種子殻を付着した状態で発芽するため、上記の生物検定法や藤井らが開発したアレロパシー物質の生物検定法⁽¹⁵⁾をコナギに適用することは難しく、除草剤や生理活性物質の作用を検定するための新しい培養法を開発する必要があった。またKawaguchiらは、コナギ種子をイネ初と一緒にガラス管内の水中に置床する方法を用いて、コナギの発芽率や種子根の伸長が向上することを報告しているが^{(41), (42)}、根の屈曲捻転は上記の実験^{(22), (60), (68)}と同様に生じている。

そこで本節では、Kawaguchiらの結果^{(41), (42)}と藤井らの生物検定法⁽¹⁵⁾を応用した除草剤抵抗性検定に適用できる寒天培地による簡便なコナギの培養法を開発を試みた。

2) 材料および方法

供試イネおよびコナギの種子の準備

1997年(実験1.(2)は1999年)5~10月に前章の農業研究センター谷和原水田圃場でイネ43品種を栽培し、成熟期(9月~10月)に種子を採取した。コナギ種子は、1997年(実験1.(2)は1999年)に同水田圃場に自然発生した個体から成熟期(同年とも10月)に採取した。イネおよびコナギ種子は、採取後、風乾状態のまま低温(5℃)で貯蔵し、コナギ種子は実験開始3日前に5℃の水中に浸漬した。実験1.(1)および実験2は1998年7月に行い、実験1.(2)は1999年11月に行った。

寒天培地の作成

イネ初100gあるいは初穀20g(イネ初100g中に含まれる初穀のおおよその量)を1000mlの蒸留水中に5℃暗条件で約48時間浸漬し、ろ液(以下、水抽出液とする)を得た。この水抽出液をさらに蒸留水で一定倍量に希釈し、藤井らの方法⁽¹⁵⁾に従って0.5%濃度となるように寒天粉末を加え、加熱溶解後直ちにプラントボックス(Magenta社製 60mm x 60mm x 100mm)内に300mlずつ注ぎ、自然冷却により固化させた。固化した寒天表面には、1個当たり各20粒のコナギ種子を約1mmの深さに置床した。

寒天培地におけるコナギの培養条件の検討(実験1)

(1) 培養温度

イネ初(品種：初星)の水抽出液を蒸留水で2倍に希釈し、上述の方法で寒天培地を作成した。ついでコナギ種子を置床して、15、20、25、30、35、40、45℃(明暗12時間周期)の恒温器内で7日間培養し

た後、コナギの発芽率と種子根長を調査した。実験の反復は、すべて3とした。

(2) 水抽出液の希釈倍率

イネ初あるいは初穀(品種：初星)の水抽出液を蒸留水で1、2、4あるいは10倍に希釈し、上述の方法で寒天培地を作成した。ついでコナギ種子を置床して、30(明)-25(暗)℃(12時間周期)の恒温器内で7日間培養した後、コナギの発芽率、種子根長および子葉長を調査した。また、蒸留水を用いて作成した寒天培地を無処理区とした。実験の反復は、すべて3とした。

イネ初の水抽出液によるコナギの発芽および幼植物の成長に対する影響の品種間差(実験2)

日本型およびインド型イネの計43品種の初の水抽出液を蒸留水で2倍に希釈し、上述の方法で寒天培地を作成した。ついでコナギ種子を置床し、30(明)-25(暗)℃(12時間周期)の恒温器内で7日間培養した後、コナギの発芽率、種子根長および子葉長を調査した。また、蒸留水を用いて作成した寒天培地を無処理区とした。実験の反復は、すべて3とした。

3) 結果

寒天培地におけるコナギの培養条件の検討(実験1)

(1) 培養温度

コナギ種子は、20~35℃の寒天培地上で77.5~93.3%の高い発芽率を示したが、40℃では38.3%、15℃および45℃では発芽しなかった。そして発芽したコナギの種子根は、下方に真直ぐに伸び、それらの根長は、25、30および35℃では、それぞれ24.0mm、28.8mmおよび24.9mmであったが、20℃および40℃では伸長が抑制され、それぞれ3.6mmおよび1.6mmと極めて短くなった(表7)。

表7 寒天培地におけるコナギ種子の発芽率と種子根の伸長に及ぼす培養温度の影響

培養温度(℃)	発芽率(%)	種子根長(mm)
45	0.0 ± 0.0	—
40	38.3 ± 19.2	1.6 ± 0.2
35	77.5 ± 8.7	24.9 ± 0.4
30	85.8 ± 2.4	28.8 ± 0.5
25	93.3 ± 4.4	24.0 ± 0.5
20	93.3 ± 4.4	3.6 ± 0.3
15	0.0 ± 0.0	—

注1) 平均値±標準誤差で示す。

2) 明暗12時間周期で置床7日後に調査した。

表8 コナギ種子の発芽率と種子根の伸長に及ぼすイネ籾および籾殻の水抽出液の影響

水抽出液の希釈倍率(倍)	発芽率(%)	種子根長(mm)	
籾	2	81.7 ± 4.4	31.5 ± 0.5
	4	68.3 ± 7.3	32.2 ± 0.6
	10	33.3 ± 8.8	30.9 ± 1.0
籾殻	1	41.7 ± 7.3	26.3 ± 0.6
	2	66.7 ± 10.9	24.4 ± 0.4
	4	25.0 ± 5.0	24.0 ± 0.7
	10	23.3 ± 6.0	24.7 ± 2.0
無処理	0.0 ± 0.0	—	

注1) 平均値±標準誤差で示す。

2) 30 (明) -25 (暗) °C (12時間周期) で7日間培養後、調査した。

3) イネ品種は、初星を使用した。

(2) 水抽出液の希釈倍率

コナギ種子の発芽率は、無処理区で0.0%であったが、籾の水抽出液の2および4倍希釈液、および籾殻の水抽出液の2倍希釈液の寒天培地で、それぞれ81.7、68.3および66.7%であった。また、発芽したコナギの種子根長は、水抽出液の希釈倍率に関わらず籾より籾殻の水抽出液区での方が短かった(表8)。

イネ籾の水抽出液によるコナギの発芽および幼植物の成長に対する影響の品種間差(実験2)

コナギ種子の発芽率は、置床後7日目には無処理区で13.3%であったが、イネ籾の水抽出液添加区では、最小でも「昆明小白谷」で78.3%、最大で「日本晴」および「Rok 7」で96.7%であった。コナギの種子根長は、無処理区では19.0mmであったが、水抽出液添加区では、「Rok 7」、「神力」および「昆明小白谷」の3品種では無処理区よりも抑制され、最短が「神力」で17.4mmであった。しかし残りの40品種では、無処理区よりも長く、「サルペー」で31.1mmと最も長かった。コナギの子葉長は、無処理区では6.5mmであったが、水抽出液添加区では、最短でも「Desi Sua 1」で9.1mm、最長で「雲南73-1」で15.2mmであった(表9)。発芽促進と幼植物の成長促進の効果の品種間の差異は一致せず、たとえば「Rok 7」では発芽率が96.7%と高かったが、種子根長は無処理よりも短かった。逆に「遼梗152号」では発芽率は83.0%と低かったが、種子根長は長くなった。また、すべてのイネ品種区において、水抽出液添加区における置床20日後のコナギ幼植物の成長は、ともに無処理区よりも良好であった(データは省略)。

表9 イネ籾の水抽出液がコナギの発芽および種子根と子葉の伸長に及ぼす影響のイネ品種間の差異

イネ品種名	発芽率(%)	種子根長(mm)	子葉長(mm)
日本晴	96.7 ± 1.7	28.1 ± 0.4	10.3 ± 0.2
Rok 7	96.7 ± 1.7	17.5 ± 0.5	13.6 ± 0.2
Saturn	95.2 ± 2.8	23.0 ± 0.6	12.6 ± 0.2
Tadukan	95.1 ± 0.1	19.8 ± 0.3	12.4 ± 0.2
紅尾花螺	95.0 ± 0.0	26.4 ± 0.6	11.5 ± 0.5
豊国	95.0 ± 5.0	23.4 ± 0.6	12.8 ± 0.3
Benamurl	94.8 ± 3.0	29.3 ± 0.4	12.2 ± 0.3
Barabhadeu	93.5 ± 1.5	24.4 ± 0.4	11.9 ± 0.3
Si Li Gu	93.3 ± 3.3	29.6 ± 0.3	12.0 ± 0.3
唐干	93.3 ± 1.7	27.7 ± 0.4	11.5 ± 0.3
旭	93.3 ± 6.7	25.9 ± 0.7	12.7 ± 0.2
神力	93.3 ± 3.3	17.4 ± 0.6	11.0 ± 0.3
麗江新団黒谷	91.9 ± 3.1	20.3 ± 0.3	10.9 ± 0.2
初星	91.7 ± 4.4	28.6 ± 0.7	10.7 ± 0.3
IR30	91.7 ± 1.7	26.0 ± 0.4	12.2 ± 0.4
ネパール18	91.7 ± 4.4	25.7 ± 0.6	13.4 ± 0.2
十石	91.7 ± 1.7	22.1 ± 0.3	12.4 ± 0.3
Dular	90.2 ± 0.2	29.8 ± 0.7	10.6 ± 0.3
コシヒカリ	90.0 ± 7.6	25.9 ± 0.6	13.1 ± 0.3
朝日	90.0 ± 2.9	21.5 ± 0.4	12.9 ± 0.3
愛国	88.8 ± 4.1	21.6 ± 0.5	12.7 ± 0.3
サルペー	88.3 ± 6.7	31.1 ± 0.5	10.7 ± 0.3
Nova	88.3 ± 3.3	28.6 ± 0.6	11.5 ± 0.5
Desi Kishora	88.3 ± 3.3	27.8 ± 0.6	11.9 ± 0.3
IR36	88.3 ± 4.4	27.5 ± 0.7	11.9 ± 0.4
Dawn	88.3 ± 4.4	27.0 ± 0.4	12.6 ± 0.2
Bhutkalmi	88.3 ± 1.7	26.6 ± 0.4	11.1 ± 0.4
Shankha Jata	88.3 ± 4.4	22.7 ± 0.7	11.2 ± 0.7
Teloirirana	87.0 ± 3.0	22.0 ± 0.5	12.2 ± 0.3
Colusa	86.7 ± 4.4	28.3 ± 0.6	12.3 ± 0.3
Stripe	86.7 ± 8.3	24.3 ± 0.9	11.7 ± 0.6
吐白糯	86.7 ± 4.4	20.5 ± 0.3	12.9 ± 0.4
南京11号	85.9 ± 6.7	22.8 ± 0.8	11.4 ± 0.3
Labelle	85.0 ± 5.0	28.8 ± 0.4	13.1 ± 1.8
Gardeh	85.0 ± 5.0	27.9 ± 1.0	11.0 ± 0.5
Desi Sua 1	85.0 ± 2.9	24.9 ± 0.9	9.1 ± 1.0
ネパール8	85.0 ± 8.7	22.7 ± 0.4	12.5 ± 0.3
バン農1号	84.8 ± 2.7	22.6 ± 0.3	12.5 ± 0.2
Chitta	83.3 ± 14.2	27.8 ± 0.8	9.5 ± 0.7
雲南73-1	83.3 ± 1.7	24.9 ± 0.5	15.2 ± 1.4
Rasoolpur Desi	83.3 ± 4.4	23.1 ± 0.4	13.2 ± 0.3
遼梗152号	83.0 ± 2.0	29.4 ± 0.6	11.2 ± 0.4
昆明小白谷	78.3 ± 7.3	17.7 ± 0.6	14.5 ± 0.6
無処理	13.3 ± 4.4	19.0 ± 1.9	6.5 ± 0.5

注1) 平均値±標準誤差で示す。

2) 30 (明) -25 (暗) °C (12時間周期) で7日間培養後、調査した。

4) 考察

本試験で用いた培養条件は、従来のシャーレやガラス管などの検定法^{(229, 141), (142), (60), (83)}とは異なり、コナギは斉一に発芽し、根が屈曲捻転せず、真直ぐに伸びて測定しやすく、幼植物の生育は良好であった。さらに本培養法は、ガラス管などで水中に置床する場合と異なり、寒天培地中に種子を固定することができるため、短期間に大量の異なる来歴のコナギ種

子を同一の寒天培地中に並べて植え付け、生育を比較、検討することなども可能で⁽⁴⁵⁾、コナギによる簡便な生物検定法のひとつとして有効であることが分かった。

次に本培養法を適用して、イネ初の水抽出液によるコナギへの影響の品種間差について検定を行ったが、その結果についても、若干の新しい知見を得ることができた。Kawaguchiらは、イネの初殻、莖葉部および根部の水抽出液はコナギの種子根の伸長を促進すること⁽⁴²⁾、および日本型、インド型および日印交雑イネの計12品種の初はコナギ種子の発芽に対して明暗条件下で促進作用を示し、とくに明条件下では品種間差異がみられること⁽⁴¹⁾を報告している。本実験では、さらに、a. イネ初の水抽出液は、種子根だけでなく、コナギの子葉の伸長に対しても促進作用を示すこと、b. コナギの種子根および子葉の伸長への効果は、イネ品種間で差異があるが、その場合、種子根の伸長に対して効果のない品種もみられること、c. コナギの種子発芽に対して促進効果を示す品種とコナギ幼植物の成長に対して促進効果を示す品種とは必ずしも一致しないこと、などを明らかにした。

イネ品種間によるコナギへの影響の差異をみると、「コシヒカリ」以外は本実験とKawaguchiら⁽⁴¹⁾とでは用いた品種が異なっているが、品種間の差異については、Kawaguchiら⁽⁴¹⁾と同様に品種の類縁関係等によるグループ分けはできなかった。しかし、本実験の結果では、日本型イネ品種によるコナギの種子発芽への促進効果はインド型よりおおむね高い傾向がみられた。コナギの発芽率、種子根長および子葉長は、置床7日後に測定したが、調査時のコナギ幼植物は、約0.8-1.2葉期で冠根がすでに発生しており、発芽した個体の生育ステージはほぼ斉一であった。したがって品種間での種子根長および子葉長の差異は、発芽の遅延による生育の遅延によるものではなく、品種による生育促進効果の差異と考えられる。

また藤井らは、生きているイネの根から滲出する物質がレタスの根の伸長に及ぼす影響を調べ^{(10) (17)}、イネがレタスの幼根伸長を阻害する程度には品種間で差異があり、概して改良品種や香り米の品種で低く、在来種や赤米の中に阻害効果の高い品種が多い傾向があるとしているが、同様に品種の類縁関係等

によるグループ分けはできなかった。本実験と藤井らの結果^{(10) (17)}では、15品種が重複している。両者の実験方法は異なるが、本実験では、「日本晴」、「唐干」、「Si Li Gu」、「初星」、「Dular」は、コナギの種子根に対して伸長促進の効果が高く、一方、藤井らの結果^{(10) (17)}では、「日本晴」、「Si Li Gu」、「初星」、「Dular」は、レタスの種子根に対して伸長阻害の効果が低く、「唐干」は伸長阻害の効果が高いとしており、結果は一致しなかった。これらの差異については、検定植物が異なることや供試材料がイネ初と生きているイネ根との相違など種々の要因が考えられる。

イネ初殻の水抽出液は、タイヌピエの種子発芽と幼植物の成長に対して、イネ品種によって抑制もしくは促進効果を示すことが報告されている⁽⁵⁴⁾。この報告で用いられたイネ品種と本実験で用いた品種は、「Labelle」以外は異なるが、品種間で幼植物の成長への促進効果と抑制効果があることなどは本実験の結果と一致する。

「初星」を用いた本実験では、コナギ種子は20～25℃の間で発芽率が最大となり（表7）、「月の光」を用いたKawaguchiら⁽⁴¹⁾のガラス管実験では、コナギ種子は19～35℃の間で発芽率が最大となった。このような発芽率における若干の差異は、両者の実験方法の相違とともに、供試したイネ品種やコナギ種子の来歴や休眠状態の違い⁽³⁸⁾が影響したものであろう。同様に実験1、(2)と実験2で無処理区のコナギの発芽率が異なったが、これも両実験で用いた種子の採取年次や試験実施年次が異なったことによる影響と考えられる。

コナギの種子発芽および種子根や子葉の成長に対するイネ初の水抽出液の作用は、イネ初に含まれる生理活性物質⁽⁴¹⁾によるものとされる。この物質は、本実験で行った方法によって作成した寒天培地と1%寒天水溶液を100℃近い高温で加熱し、40℃程度まで冷却後、等量のイネ初水抽出液を添加、かく拌して冷却、固化した寒天培地による培養結果とを比較した場合で大きな差異はなかったため（データは省略）、加熱による変性は少ない物質と考えられる。

イネ初の水抽出液における吸水量は、品種間で大きな差異はなく、得られたイネ初の水抽出液は、そのまま寒天培地の作成に供試した。水1000ml当たり

200g以上のイネ粉を浸漬した水抽出液はコナギ種子の発芽への促進効果があると報告されているが^{(41),(42)}、本実験では、1000ml当たり100gのイネ粉抽出液をさらに4倍に希釈した液で促進効果が認められ、また活性はやや低いが、粉殻の水抽出液も活性を持つことを確認した。イネ粉の吸水量やコナギ種子の発芽促進に必要なイネ粉の量については、粉の抽出液中に含まれる発芽促進物質⁽⁴¹⁾の特性や濃度と関係があると思われるが、今後の検討が必要であろう。

前章で明らかにしたようにコナギは自然条件下では代かきした土壌表面のごく浅い土層から出芽するが、本実験ではコナギ種子の置床深度を1mmとして極めて良好な結果が得られた。レタス種子の場合には0.5%のゲル濃度が適していることが報告されており⁽¹⁵⁾、本実験でも0.5%のゲル濃度で極めて良好な結果が得られた。コナギの培養に最も適した播種深度およびゲル濃度については、さらに検討する必要があるが、本実験で行った条件でも、良好に培養することが十分可能である。

本培養法は、コナギに対する除草剤作用の検定を目的として開発したが⁽⁴⁵⁾、生理活性物質の検定や発生初期のコナギの根部の観察などにも簡易に適用可能である。

2. 現地水田におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性生物型コナギの発生実態

1) 緒言

前節では、Kawaguchiらの結果^{(41),(42)}と藤井らの生物検定法⁽¹⁵⁾を応用した寒天培地による簡便なコナギの培養法を開発した。そこで本節では、秋田県、茨城県および岐阜県内における若干の地域の水田において、除草剤処理後に特異的に多く残存したコナギから種子を採取し、前節で開発した培養法により検定を行い、SU剤抵抗性生物型コナギの発生実態を調査した。

2) 材料および方法

コナギの種子の準備

供試したコナギ種子は、1998年9～10月に秋田県大曲市、協和町、茨城県関城町、下妻市、水海道市、谷和原村、伊奈町、荳崎町、美浦村土浦A、江戸崎町、岐阜県岐阜市Aおよび岐阜市Bの3県12カ所の地点において、また1999年10月に茨城県美浦村の土浦B、根火

および余郷入の3カ所において、コナギが特異的に大量に残存している水田から個体別に採取した(同地区のAおよびBは、異なる水田を示す)。採取したコナギ種子は、採取直後から乾燥状態のまま5℃の暗所で貯蔵し、実験に供した。

寒天培地の作成

寒天培地は、前節に準拠して作成し、コナギ種子を置床した。イネ粉(品種:初星)100gあるいは粉殻20g(イネ粉100g中に含まれる粉殻のおおよその量)を1000mlの蒸留水中に5℃暗条件で約48時間浸漬し、ろ液を得た。このろ液をさらに蒸留水で2倍に希釈し、0.5%濃度となるように寒天粉末を加え、加熱溶解後直ちにプラントボックス(Magenta社製60mm×60mm×100mm)内に300mlずつ注ぎ、自然冷却により固化させた。固化した寒天表面に、1個当たり各60粒のコナギ種子を約1mmの深さに置床した。本実験は、1998年11月から1999年3月まではイネの粉、1999年12月は粉殻を使用して実施した。

寒天培養法によるSU剤抵抗性の検定

(1) ベンスルフロンメチル(BSM)によるコナギへの成長抑制効果(実験1)

コナギ種子は、5℃乾燥貯蔵1カ月後から試験開始まで、5℃の暗所で水中に浸漬貯蔵した。1998年に採取したコナギ種子は同年11月から1999年3月にかけて、1999年に採取したコナギ種子は同年12月に、それぞれ採取地別に表10に示した個体数を検定に供した。寒天培地には、1個当たりそれぞれ12個体のコナギ種子各5粒ずつ、合計60粒を置床した。寒天上面に0, 0.1, 1, 10, 100, および1000 $\mu\text{g a.i./l}$ のBSM水溶液を30mlずつ注ぎ、ふたをした後、プラントボックスを30(明)–25(暗)℃(12時間周期)の変温条件下の恒温器内に置き、7日後に発芽したコナギ幼植物の種子根長を調査した。ここで供試したBSM濃度の100 $\mu\text{g a.i./l}$ は、湛水深5cmの水田で本除草剤を基準通りに使用し、その有効成分が田面水にすべて溶解した場合の濃度に相当している。また一部の採取地の種子は、上記の除草剤濃度のうち1, 10および100 $\mu\text{g a.i./l}$ のみの処理により検定を行った(表10)。反復数は、すべて3とした。寒天培地におけるコナギの種子根長を50%に抑制する除草剤の処理薬量(以下、I₅₀)は、Seefeldtら⁽⁶⁹⁾に従って非線形回帰により算出した。

表10 BSM処理が採取地を異にするコナギの種子根の伸長に及ぼす影響

種子採取地	調査個体数	生物型	I ₅₀ ($\mu\text{g a.i./l}$)	種子根長(mm)					
				無処理	BSM処理濃度($\mu\text{g a.i./l}$)				
					0.1	1	10	100	1000
1998年									
秋田県大曲市	38	S	9.9	31.8±0.2	35.2±0.5	36.7±0.4	21.7±0.3	8.6±0.2	—
秋田県協和町	42	R	>1000	35.5±0.2	40.9±0.9	41.2±1.2	34.3±0.3	33.1±0.2	34.4±0.3
秋田県協和町	18	S	9.4	37.8±0.3	41.1±0.6	40.6±0.7	30.3±0.5	21.1±0.4	10.9±0.7
茨城県岡城町	35	S	9.8	30.7±0.3	—	33.3±0.5	19.7±0.4	8.7±0.2	—
茨城県下妻市	38	S	9.7	31.0±0.2	—	33.2±0.3	19.3±0.3	8.5±0.1	—
茨城県水海道市	42	S	10.2	33.5±0.2	—	35.4±0.3	23.3±0.3	9.3±0.1	—
茨城県谷和原村	38	S	10.0	34.8±0.2	—	36.7±0.5	23.3±0.3	10.0±0.1	—
茨城県伊奈町	38	S	9.9	33.4±0.3	—	34.7±0.4	21.2±0.3	9.0±0.2	—
茨城県茅崎町	38	S	9.6	40.2±0.4	—	—	23.4±0.3	9.0±0.2	—
茨城県美浦村土浦A	16	R	>1000	37.3±0.4	—	33.4±0.8	39.6±0.6	35.5±0.4	33.8±0.9
茨城県美浦村土浦A	40	S	10.3	35.8±0.3	—	34.2±0.5	25.4±0.4	14.1±0.2	—
茨城県江戸崎町	38	S	10.6	35.4±0.3	—	36.3±0.7	27.5±0.3	12.8±0.2	—
岐阜県岐阜市A	24	S	10.4	32.9±0.2	—	32.1±0.4	23.3±0.3	10.9±0.2	—
岐阜県岐阜市B	35	S	9.9	34.7±0.2	—	36.6±0.5	23.0±0.3	10.7±0.3	—
1999年									
茨城県美浦村土浦B	19	R	>100	24.0±0.3	—	—	—	25.5±0.3	—
茨城県美浦村根火	19	R	>100	26.8±0.3	—	—	—	29.5±0.2	—
茨城県美浦村余郷入	20	S	—	27.6±0.3	—	—	—	14.5±0.3	—

注1) 同一採取地名は、同一水田内の異なる生物型個体を示し、また同地区のAおよびBは、異なる水田を示す。

2) コナギの生物型は、BSM100 $\mu\text{g a.i./l}$ 処理で種子根長が抑制されなかった個体をR型、抑制された個体をS型とした。

3) I₅₀は、種子根長の伸長を50%抑制するBSM処理薬量。

4) 茨城県美浦村土浦Bおよび根火は、各20個体ずつを調査したが、R型の各19個体のデータのみを示す。

5) 種子根長は、平均値±標準誤差で示す。

(2) 非SU系除草剤によるコナギへの成長抑制効果 (実験2)

実験1で用いた秋田県協和町産および茨城県美浦村土浦A産のコナギ種子を供試して、1999年1月に非SU系除草剤に対する感受性を検定した。供試除草剤は、市販のSU混合剤に含まれるSU剤以外の除草剤成分として、メフェナセット、プレチラクロール、ジメピペレートおよびベンチオカーブを選び、それぞれの原体を水で希釈して、メフェナセットは2.0および0.2 mg a.i./l、プレチラクロールは1.2および0.12 mg a.i./l、ジメピペレートは6.0および0.6 mg a.i./lおよびベンチオカーブは3.0および0.3 mg a.i./lの濃度として用いた(表2参照)。これらの濃度は、市販SU混合剤を使用基準に基づいて使用した場合に、含有するそれぞれの成分が湛水深5 cmの田面水に全て溶解した場合に相当する濃度およびその1/10の濃度である。反復数は、すべて3とした。

ポット試験によるSU剤抵抗性の検定

(1) BSMによるコナギへの成長抑制効果 (実験3)

1998年に採取した秋田県協和町産、茨城県美浦村土浦A産および茨城県谷和原村産のコナギ種子を供試したが、コナギ種子は5℃乾燥貯蔵8カ月後に

5℃水中の暗所で7日間浸漬貯蔵し、1999年6月にポット試験に用いた。供試土壌(農業研究センター谷和原圃場から採取した水田土壌(沖積堆積土))は、あらかじめ105℃、3日間の加熱処理によって雑草種子を死滅させた後、1/5000aワグネルポットに充填した。ポットへの施肥は、コナギ播種日の前日にN、P₂O₅、K₂Oを成分量で各600g/aずつ、代かきと同時に土壌表層約10cmに混和して行った。除草剤処理時期として2時期を設け、コナギの1葉期および5葉期に処理し、他に無処理区を設けた。1葉期処理区は6月15日に、5葉期処理区は6月1日に、ポットの湛水土壌表面から約1mmの深さにポット当たり20粒ずつのコナギ種子を播種した。その後常時3cmの湛水深を保った。各ポットは、コナギの1葉期および5葉期区ともに6月26日にBSM水溶液の滴下処理を行った。その処理濃度は、同除草剤の使用基準に基づく処理量(0.51 g a.i./a; 湛水深5 cmの場合は100 $\mu\text{g a.i./l}$ の濃度)の1, 3, 10および30倍濃度液(0.51, 1.53, 5.10, および15.30 g a.i./a)で、谷和原村産のコナギのみは0.25, 0.50および1倍濃度液(0.13, 0.26および0.51 g a.i./a)とした。ポットに発生したコナギを7月28日に抜き取り、地上部の乾

表11 SU単剤およびSU混合剤等を用いたコナギ1, 5葉期処理の実験の概要

供試除草剤 (カッコ内は、成分含有率)	コナギ1葉期処理			同5葉期処理		
	播種日	処理日	調査日	播種日	処理日	調査日
A ピラゾスルフロンエチル(0.07%) 3 kg 粒剤	6月15日	6月26日	7月28日	6月1日	6月26日	7月28日
B イマゾスルフロン(0.30%) 3 kg 粒剤	〃	〃	〃	〃	〃	〃
C ジメピペレート(10%)・ペンシルフロメチル(0.17%) 3 kg 粒剤	〃	〃	〃	〃	〃	〃
D ペンシルフロメチル(0.51%)・プレチラクロール(6.0%) 1 kg 粒剤	〃	〃	〃	〃	〃	〃
E タイムロン(4.5%)・ペンシルフロメチル(0.51%)・メフェナセット(10.0%) 1kg 粒剤	7月10日	7月18日	8月18日	—	—	—
F ペンシルフロメチル(0.51%)・ベンチオカーブ(15.0%)・メフェナセット(3.0%) 1kg 粒剤	〃	〃	〃	—	—	—
G ピラゾスルフロンエチル(0.3%)・メフェナセット(10.0%) 1 kg 粒剤	〃	〃	〃	—	—	—
H ピラゾレート(10%) 3 kg 粒剤	6月15日	6月26日	7月28日	6月1日	6月26日	7月28日

注1) 各除草剤の基準使用量は、1a当たり300g (3kg剤) あるいは100g (1kg剤) (製品量)。

2) —は、実施なし。

3) 供試除草剤成分の詳細については、表2を参照。

表12 R型のコナギの出現が確認された水田におけるR型個体の比率

種子採取地	R型個体数	S型個体数	全調査個体数	R型比率(%)
秋田県協和町	42	18	60	70.0
茨城県美浦村土浦A	16	40	56	28.6
茨城県美浦村土浦B	19	1	20	95.0
茨城県美浦村根火	19	1	20	95.0

注1) R型およびS型は、表10を参照。

2) R型比率(%) = R型個体数/調査個体数x100。

物重を調査した。反復数は、すべて3とした。

(2) 数種SU混合除草剤のコナギへの成長抑制効果 (実験4)

実験3と同様にポットとコナギ種子を準備し、表11に示す播種日にコナギ種子をポット当たり20粒ずつ播種した。市販のSU単剤およびSU混合剤等を供試除草剤として、コナギ1葉期および5葉期に使用基準に基づいて製品量で100あるいは300g/aずつを各処理日に処理した。ポットに発生したコナギは、各調査日に抜き取り、地上部の乾物重を調査した(表11)。反復数は、すべて3とした。

3) 結果

寒天培養法によるSU剤抵抗性の検定

(1) BSMによるコナギへの成長抑制効果 (実験1)

秋田県協和町産、茨城県美浦村土浦A産、美浦村土浦B産および美浦村根火産を除く地点から採取したコナギは、すべてBSM 100 $\mu\text{g a.i./l}$ 処理で種子根の伸長が抑制された(表10)。

協和町産および美浦村産のコナギには、BSM100 $\mu\text{g a.i./l}$ 処理により、種子根の伸長が抑制されない

生物型(以下、R型)と著しく抑制される生物型(以下、S型)が存在した。100 $\mu\text{g a.i./l}$ 処理区で種子根長が無処理区と比べて80%以上になった個体をR型とすると、採取全個体数に対するR型個体数の割合は、協和町産コナギが70.0%、美浦村土浦A産コナギが28.6%、美浦村土浦B産コナギが95.0%および美浦村根火産コナギが95.0%であった(表12)。協和町産および美浦村土浦A産で見いだされたR型のコナギは、1000 $\mu\text{g a.i./l}$ の濃度区でも種子根の伸長は全く抑制されず、BSMに対する感受性の低下は顕著であった。協和町産および美浦村土浦A産で見いだされたS型のコナギは、他地点から採取したコナギと同様にBSM処理によって種子根の伸長が抑制された。

供試したコナギに対する I_{50} 値は、産地にかかわらずS型のコナギでは9.4~10.6 $\mu\text{g a.i./l}$ であるのに対して、R型のコナギでは100 $\mu\text{g a.i./l}$ 以上であった。とくに協和町産および美浦村土浦A産のR型のコナギに対する I_{50} 値は1000 $\mu\text{g a.i./l}$ 以上であり、S型のコナギと比較すると100倍以上の感受性の差異が認

表13 R型のコナギの出現が確認された水田における除草剤使用歴

種子採取地	年次	使用した除草剤(カッコ内は、成分含有率)
秋田県協和町	1996	エスプロカルブ(15.0%)・ジメタメトリン(0.6%)・ピラゾスルフロンエチル(0.3%)・プレチラクロール(4.5%)1kg 粒剤
	1997-1998	エスプロカルブ(21.0%)・ベンスルフロンメチル(0.51%)1kg 粒剤
茨城県美浦村土浦A	1990-1997	ダイムロン(1.5%)・ベンスルフロンメチル(0.17%)・メフェナセット(3.5%)3kg 粒剤 もしくは、ダイムロン(4.5%)・ベンスルフロンメチル(0.51%)・メフェナセット(10.0%)1kg 粒剤
	1998	ピリミノバックメチル(0.3%)・ベンスルフロンメチル(0.51%)・メフェナセット(2.25%)1kg 粒剤
茨城県美浦村土浦B	1994-1996	ダイムロン(1.5%)・ベンスルフロンメチル(0.17%)・メフェナセット(3.5%)3kg 粒剤 もしくは、ダイムロン(4.5%)・ベンスルフロンメチル(0.51%)・メフェナセット(10.0%)1kg 粒剤
	1997	ピラゾスルフロンエチル(0.3%)・メフェナセット(10.0%)1kg 粒剤
	1998-1999	テニルクロール(5.0%)・ベンスルフロンメチル(1.0%)フロアブル剤
茨城県美浦村根火		不明

注1) 各除草剤の基準使用量は、1a当たり粒剤は300gあるいは100gおよびフロアブル剤は50ml(製品量)。
2) 各除草剤成分の詳細については、表2を参照。

表14 SU剤以外の除草剤処理がコナギ種子根の伸長に及ぼす影響

種子採取地	生物型	無処理	種子根長(mm)							
			除草剤名/処理濃度 (mg a.i./l)							
			メフェナセット		プレチラクロール		ジメピペレート		ベンチオカーブ	
0.2	2.0	0.12	1.2	0.6	6.0	0.3	3.0			
秋田県協和町	R	37.8 ± 0.6	12.1 ± 0.6	3.4 ± 0.2	4.3 ± 0.2	3.6 ± 0.1	23.4 ± 0.4	28.8 ± 0.3	24.1 ± 0.3	19.2 ± 0.5
	S	37.4 ± 0.7	11.1 ± 0.6	3.4 ± 0.1	4.5 ± 0.1	3.6 ± 0.1	22.7 ± 0.5	27.8 ± 0.4	24.3 ± 0.4	18.1 ± 0.6
茨城県美浦村土浦A	R	38.0 ± 0.9	10.5 ± 0.9	3.8 ± 0.3	4.2 ± 0.2	4.3 ± 0.2	18.8 ± 0.5	24.6 ± 0.5	21.6 ± 0.6	19.4 ± 0.6
	S	35.0 ± 0.5	7.8 ± 0.6	3.4 ± 0.2	3.6 ± 0.2	3.8 ± 0.2	17.7 ± 0.5	23.5 ± 0.5	20.2 ± 0.4	16.5 ± 0.8

注1) R型およびS型は、表10を参照。
2) 種子根長は、平均値±標準誤差で示す。

められた。R型のコナギを採取した水田の除草剤使用歴をみると、協和町、美浦村土浦Aおよび美浦村土浦Bの水田では、SU混合剤が3年あるいはそれ以上の期間、連用されていた(表13)。

(2) 非SU系除草剤によるコナギへの成長抑制効果(実験2)

秋田県協和町産および茨城県美浦村土浦A産のR型およびS型のコナギの間では、SU剤以外の除草剤に対する感受性には大きな差異は認められなかった。メフェナセットおよびプレチラクロールは、両生物型のコナギともに、寒天培地での種子根の伸長に対して高い抑制効果を示したが、ジメピペレートおよびベンチオカーブでは、両生物型のコナギの種子根伸長に対する抑制効果は低かった(表14)。

ポット試験によるSU剤抵抗性の検定

(1) BSMによるコナギへの成長抑制効果(実験3)

秋田県協和町産および茨城県美浦村土浦A産のS型のコナギは、基準量のBSM処理で完全に防除する

ことができた。一方、協和町産および美浦村土浦A産のR型のコナギは、基準量のBSM処理では十分な除草効果が得られなかった。コナギ1葉期処理区では、協和町産のコナギは本剤を基準(0.51g a.i./a)の10倍量処理した区で乾物重が無処理区の14.7%、美浦村土浦A産のコナギは同3倍量処理した区で乾物重が無処理区の11.0%となり、コナギ5葉期処理区では協和町産のコナギは基準の30倍量処理した区で乾物重が無処理区の27.3%、美浦村土浦A産のコナギは同3倍量処理した区で乾物重が無処理区の30.0%となった(図9)。

(2) 数種SU混合除草剤のコナギへの成長抑制効果(実験4)

SU剤のコナギへの除草効果は、薬剤によって差異が認められた。秋田県協和町産および茨城県美浦村土浦A産のR型コナギに対しては、BSMおよびイマズスルフロンよりピラゾスルフロンエチルのほうが若干高い抑制効果を示したが、コナギへの除草効

表15 SU単剤および混合除草剤等の処理がコナギの地上部乾物重に及ぼす影響

種子採取地	生物型	処理時期	地上部乾物重対無処理区比 (%)							
			SU剤		SU混合剤					非SU剤
			A剤	B剤	C剤	D剤	E剤	F剤	G剤	
秋田県協和町	R	1葉期	—	—	63.6	—	0.0	0.0	0.0	0.0
		5葉期	27.1	66.0	67.4	60.8	—	—	—	0.0
茨城県美浦村土浦A	R	1葉期	21.4	104.4	30.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		5葉期	19.2	69.2	—	—	—	—	—	0.0
茨城県谷和原村	S	1葉期	0.0	0.0	—	—	—	—	—	0.0
		5葉期	0.0	0.0	—	—	—	—	—	0.0

注1) R型およびS型は、表10を参照。

2) 処理時期の葉期は、コナギの葉齢。

3) A～Hの処理除草剤名および処理薬量は、表11を参照。

4) —は、試験無し。

果としては後者の剤も不十分であった。一方供試したSU混合剤は、ジメピペレート・BSM粒剤を除いて、1葉期処理によりR型のコナギに対して十分な除草効果を示した(表15)。

4) 考察

水田雑草におけるSU剤抵抗性の有無の検定は、すでに圃場試験⁽⁸⁶⁾、ポット試験^{(24), (26), (29), (32), (33), (85), (91)}、シャーレ試験⁽⁸⁵⁾および作用部位の酵素活性を利用した試験^{(84), (88)}等、様々な方法で行われている。圃場およびポット試験は、戸外で土壌を介して行うため、検定結果が実際の現場に容易に適用できるという利点はあるが、検定期間として1～2カ月かかるなどの不都合も大きい。SU剤の作用部位であるアセト乳酸合成酵素の活性を調査する方法^{(84), (88)}は、圃場やポットの試験法に比べて極めて短期間に検定できることから、水田で残存した個体を迅速に検定する方法として有利であるが、安定した検定結果を得るためには調査個体の生育ステージが限定される。例えばアゼトウガラシ属雑草については、9～13葉期の生育中期の個体でのみ検定が可能である⁽⁸⁶⁾。イヌホタルイでは、水田に残存した個体をSU剤水溶液で育成し、新たな発根を観察する方法⁽⁶²⁾が考案され、この方法は特殊な器具を必要とせず、水田で残存した個体を迅速に検定する場合に有効である。これらの方法は、いずれも成植物として生育中の雑草個体を供試する方法であるが、SU混合剤は、水田で初期あるいは初・中期除草剤として使用されることから、除草剤の処理時期にあったコナギの生育ステージで抵抗性の検定を行うことが

望ましい。本実験で用いた寒天培地による検定法は、コナギの幼植物期における除草剤反応を明らかにし得るもので、検定期間が短く、またスペースをそれほど広くとらないことから、短期間に大量の個体を検定することが可能な方法といえる。またこの方法は、SU剤以外にも、根の伸張を抑制するタイプの除草剤の検定や発生初期の雑草の根部の生育の観察などにも適用可能である。

本検定法によって、コナギにはBSM処理により種子根の伸長が著しく抑制される生物型と抑制されない生物型が存在することが明らかになった。ポット試験では、S型のコナギは、SU剤の使用基準上の適期を大きく逸脱した5葉期処理でも、完全に枯死した(表15)。一方、R型のコナギは、BSM水溶液の1葉期処理(0.51 g a.i./a)で完全に枯死せず生育していることから(図9)、R型のコナギは、BSM抵抗性生物型であると判断された。したがって、本検定法は、SU剤抵抗性の検定法として有効な手法である。

秋田県協和町産および茨城県美浦村土浦A産のBSM抵抗性生物型のコナギは、BSM以外のSU剤に対しても抵抗性を示し、ポット試験でもSU剤による殺草効果は認められなかった(表15)。SU剤は、感受性生物型コナギに対しては、高い防除効果を持つことが確認されている(表15)ことから、BSM抵抗性生物型のコナギは、他のSU剤に対しても広く交差抵抗性をもつSU剤抵抗性生物型であると判断した。

感受性生物型コナギのI₅₀値は、産地間で大きく変

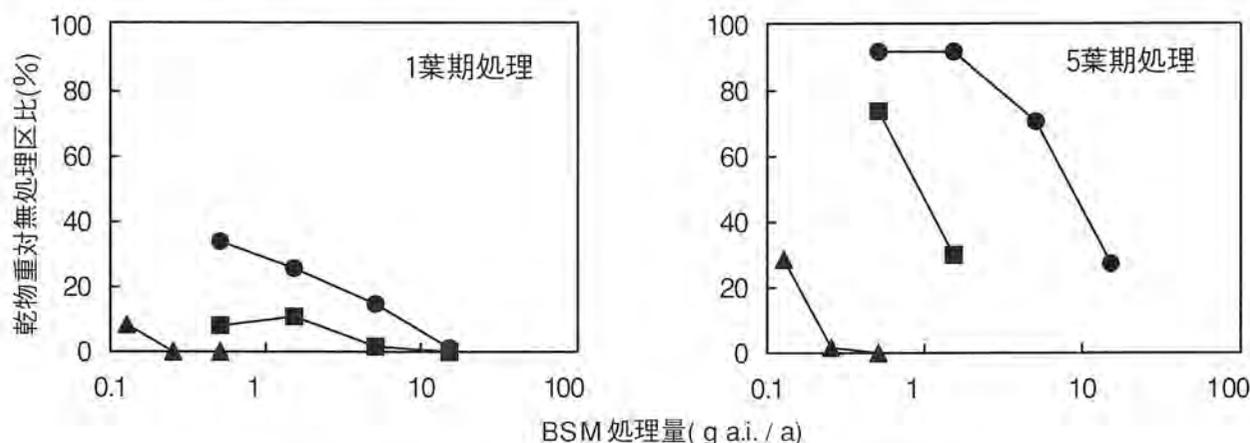


図9 BSM処理のコナギの地上部乾物重低下の産地・生物型間差

- 1) コナギの産地および生物型：●協和町産R型 ■美浦村土浦A産R型 ▲谷和原村産S型
- 2) 処理葉期は、BSM処理時のコナギの葉齢。
- 3) R型およびS型は、表10を参照。

動しなかった。これに対して抵抗性生物型コナギは、本実験では I_{50} 値は明らかではなく、いずれの処理濃度でも種子根の伸長が抑制されなかった。SU剤抵抗性生物型コナギのBSMに対する I_{50} 値の産地間差異の有無は、今後さらに検討したい。

SU剤抵抗性あるいは感受性生物型にかかわらず、秋田県協和町産および茨城県美浦村土浦A産のコナギは、メフェナセットおよびプレチラクロールによって種子根の伸長が大きく抑制された(表14)。これらの剤を含むSU混合剤は、秋田県協和町産および茨城県美浦村土浦A産のSU剤抵抗性生物型コナギに対して、1葉期処理で高い防除効果を示しており(表15)、SU剤抵抗性生物型コナギがSU混合剤に含まれるSU剤以外の有効成分により防除されたことは明らかである。ベンチオカーブは、殺草特性から根部への影響が小さく⁽¹⁷⁰⁾、本検定法でも種子根への抑制はみられなかった。ジメピペレートは、殺草スペクトルの中にコナギは入っていないが⁽¹²⁵⁾、本検定法でも種子根伸長の抑制は示さなかった。

SU剤抵抗性生物型コナギの発生が確認された水田では、抵抗性の確認まで3年以上SU混合剤が連用されていたが、連用されていたSU混合剤は、い

ずれもコナギ1葉期処理では十分な除草効果を示すはずの除草剤である(表13)。大量にコナギの残草が認められた15カ所の水田のうち11カ所は、SU剤感受性生物型のコナギのみが残存しており、SU剤抵抗性生物型の出現が確認された水田を含めて、SU混合剤が十分な除草効果を発揮できる栽培管理条件になっていなかった可能性がある。したがって大量にコナギが残存した水田では、SU剤抵抗性生物型コナギの出現を視野に入れつつ、除草剤の適正使用や水管理など幅広く残存の要因の解析を行う必要がある。また、SU剤抵抗性生物型のコナギの防除には、SU剤とは作用部位が異なり、コナギに対する除草効果が確認されている有効成分を含む混合剤の使用あるいはこれら成分を含む剤の体系処理が有効である。

SU剤抵抗性生物型の雑草の出現は、日本国内だけでなく海外でも多く報告されている⁽¹²⁷⁾。SU剤抵抗性の発現機構については、いくつかの草種についてSU剤の作用部位であるアセト乳酸合成酵素遺伝子の変異によることが明らかになっている^{(13), (57), (93)}。コナギについても、今後SU剤抵抗性の発現機構の解析の検討が望まれる。

IV イネ群落内の光合成光量子束密度の測定による コナギに対するイネの生育抑制力の評価

1) 緒言

東南アジアでの研究では、水田雑草を制御するためにイネ自体が持つ雑草抑制力を有効利用することは、1ないし2回の手取り除草に相当する効果があり、除草剤処理量の低減もしくは処理濃度を低下し得るとされる^{(19), (20)}。日本の水稲作でもこうした特性の有効利用が望まれる。日本の水田で近年問題となっている一年生広葉雑草の中で、とくに代表的な繁茂草種であるコナギは、水田での繁茂量が乾物重で100g/m²となると12%の減収となり⁽⁵⁾、1個体/m²の発生本数で0.05kg/aの減収をもたらす強害雑草である⁽²¹⁾。そこで本章では、コナギを対象雑草として、イネ品種のコナギに対する抑制力を制御に利用する基礎として、イネ品種の形態的特性およびイネ群落内の光合成光量子束密度がその群落内のコナギの生育に及ぼす影響を検討した。

2) 材料および方法

試験は、1998年および1999年の2カ年に前述の農業研究センター谷和原水田圃場（沖積埴壤土）24aを用いて実施した。供試イネ品種は、草丈、茎数などの形態的特性を異にする日本型およびインド型のイネ品種を1998年は8品種、1999年は16品種を供試

した（表16）。約3.5葉期（不完全葉を含む）のイネ稚苗を育成し、早植移植栽培として1998年5月18日（以下、98May試験、8品種）および1999年5月19日（以下、99May試験、16品種）、普通期移植栽培として1999年6月21日（以下、99June試験、14品種）に栽植密度22.2株/m²（30cm x 15cm）で水田に移植した。肥料は、代かき時にN、P₂O₅、K₂Oを成分量で各600g/aずつ基肥として施用し、追肥は施用しなかった。水田に自然発生したコナギを生育させる区（以下、コナギ区）は、初期除草剤としてモリネート粒剤を処理して、イネ科、カヤツリグサ科およびコナギ以外の広葉雑草を防除し、コナギを含む全雑草を防除する区（以下、防除区）は、プレチラクロール粒剤を処理した。除草剤の残効が切れた後の雑草の発生は、一年生雑草および多年生雑草ともなかった。病害虫防除・水管理は、周辺地域の慣行に従った。1区面積は2.1m x 1.8m、反復数は、すべて2とした。

イネ移植43日後（98May試験）、15、21、25、30、35および40日後（99May試験）あるいは15、21、25、30、35および42日後（99June試験）に、防除区のイネの草丈、茎数、乾物重、地際での葉面積指数（以下、LAI）およびイネ群落内の地上20cm以上の部位の葉面積指数（以下、LAI（20cm））を調査した。また、イネ移植64日後（98Mayおよび99May試験）あるいは59日後（99June試験）にコナギ区のコナギの乾物重を調査した。

また98May試験では「IR36」を除く7品種、99May試験では16品種および99June試験では98May試験と同じ7品種について、イネ移植4日後（98Mayおよび99May試験）あるいは12日後（99June試験）からコナギの乾物重を調査した前日〔63日後（98Mayおよび99May試験）あるいは58日後（99June試験）〕まで毎日、イネ群落内地上20cmの位置と群落外（畦畔表面上で水田土壌面から20cm上の位置）の光合成光量子束密度を12時（98May試験）あるいは10、11、12、13、14時（99Mayおよび99June試験）に1分間測定し〔小型光量子センサー（小糸工業 IKS-27）、データロガー（江藤電気 Thermodac-EF）〕、

表16 一年生広葉雑草の生育制御に供試したイネ品種とその育成地

イネ品種	育成地	実験区分		
		98 May	99May	99 June
旭	日本		◎	○
はまさり	日本		◎	
初星	日本		◎	○
十石	日本		◎	○
くさなみ	日本		◎	
日本晴	日本	◎	◎	◎
紅尾花螺	中国		◎	◎
遼梗152号	中国	◎	◎	◎
南京11号	中国	◎	◎	◎
Si Li Gu	中国	◎	◎	◎
唐干	中国	◎	◎	◎
IR 36	フィリピン	○	◎	◎
ネパール 18	ネパール	◎	◎	◎
Teloirirana	マダガスカル	◎	◎	◎
Dawn	USA		◎	◎
Labelle	USA		◎	○

注1) ◎、○は、各試験への供試を示す。

2) ○は、R-PPFDの調査は無し。

その値(98May試験)もしくはその平均値(99Mayおよび99June試験)をイネ群落外の光合成量子束密度との比率で表した相対光合成量子束密度(以下、R-PPFD)の日測定値として算出した。

得られたデータは、すべて単回帰分析によって解析した。

3) 結果

防除区における各イネ品種の生育

イネの生育にともなうLAI、草丈などの形態的特性は供試品種によって異なり、99May試験での移植30日後における生育は、LAI(20cm)は0.25(IR36)~1.45(紅尾花蝶)、草丈は33.1cm(はまさり)~56.0cm(ネパール18)、茎数は9.5本/株(Labelle)~31.2本/株(唐干)、乾物重は68.5g/m²(はまさり)~196.8g/m²(唐干)であった(表17)。一方、99June試験では、LAI(20cm)は0.81(IR36)~2.49(ネパール18)、草丈は52.5cm(十石)~89.8cm(ネパール18)、茎数は13.0本/株(Dawn)~28.5本/株(IR36)、乾物重は126.9g/m²(Labelle)~283.8g/m²(ネパール18)であった(表18)。

イネの作期との関係を見ると、各品種ともに早植栽培(99May試験)より普通期栽培(99June試験)の方が生育は旺盛であった(図10)。

イネ群落内のコナギの生育

コナギ区において自然発生したコナギの発生本数(データは省略)および乾物重(表19)は、イネ品種間で大きく異なった。しかし、供試圃場でのコナギの本数は、各品種の99May試験と99June試験の間で有意な関係($p>0.05$)は認められず(図11)。その変動は、移植したイネ品種による影響ではなく、土壤中におけるコナギのシードバンクが圃場内の場所により異なるための発生ムラなどの要因によるものと推察された。一方、コナギの乾物重は、99May試験と99June試験の間で有意な関係($p<0.01$)が認められ、移植したイネ品種によりコナギの生育が影響を受け、乾物重が変動したことは明らかであった(図12)。成熟期のコナギは、イネ品種間で花茎数に差異はあったが、いずれも種子を結実させていた(観察のみ)。

イネ群落内の光強度の生育時期による変化

1999年の試験では、5月および6月移植ともに群落内の地上20cmにおけるR-PPFDは、「唐干」や「ネパール18」などでは、移植2~3週間後から低下

を始め、移植7週間後には10%以下になった、それに対して「日本晴」や「IR36」などでは、R-PPFDが低下し始めたのは移植4週間後からで、移植7週後は30%前後にしか低下しなかった。例えば99May試験では、初めてR-PPFDが90%以下になった日は、「唐干」が移植23日後、「ネパール18」が21日後であるのに対して、「日本晴」は27日後、「IR36」は35日後であった。また移植30日後のR-PPFDは、「唐干」が45%、「ネパール18」が28%に対して、「日本晴」は86%、「IR36」は100%であり、移植50日後のR-PPFDは、「唐干」が7%、「ネパール18」が5%に対して、「日本晴」は27%、「IR36」は26%であった(図13および図14)。

イネの形態的特性および群落内の光強度がコナギの生育に及ぼす影響

イネ移植の約60日後、すなわち98May試験および99May試験の移植64日後、99June試験の移植59日後におけるコナギの乾物重と移植22日から58日後の期間の平均値でみた場合のR-PPFDとの間に有意な相関関係が3試験とも認められた。各試験ごとに得られた回帰式間で有意な差は認められないことから各回帰式を併合し、3試験を通した直線回帰式を得た。その場合、R-PPFDの測定期間を短くして、移植29日から42日後の間の14日間とすることで、決定係数が最も高い回帰式が得られ、さらに移植29日から35日後の間の7日間まで測定期間を短縮してもひとつの回帰式に併合でき、かつ決定係数は十分に高かった(表20)。同時期に測定したイネの茎数を除くイネの各形質とコナギの乾物重との間に有意な相関関係が認められた(表21)。その場合、相関関係の決定係数は、イネの各形質の測定時期によって大きく変動し、移植21日から35日後の各形質との間がもっとも決定係数が大きくなった。また、LAI(20cm)は、LAIよりも決定係数が大きくなる傾向がみられた。しかし、得られた相関関係の決定係数は、R-PPFDとの間のものより小さかった。

4) 考察

イネ品種の形態的特性の相違による雑草抑制力の変動、とくに雑草乾物重への影響に関する研究は、イネ科雑草やイネ科雑草を優占種とする雑草群落を対象に数多く行われており、大きなLAIおよび高い草丈などの形質が雑草抑制力との間に正の相関関係があることが報告されている^{(16), (12), (22), (43)}。カヤツ

表17 99May試験の防除区における供試イネ品種の生育の推移

イネ品種	移植後日数(日)					
	15	21	25	30	35	40
	LAI (20 cm)					
旭	0.04 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.33 ± 0.12	0.55 ± 0.06	1.19 ± 0.22	2.81 ± 0.28
はまさり	0.01 ± 0.00	0.03 ± 0.01	0.08 ± 0.02	0.25 ± 0.04	0.69 ± 0.11	1.33 ± 0.12
初星	0.04 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.13 ± 0.02	0.51 ± 0.03	1.07 ± 0.17	2.22 ± 0.59
十石	0.03 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.10 ± 0.03	0.33 ± 0.03	1.45 ± 0.57	1.45 ± 0.23
くさなみ	0.06 ± 0.02	0.07 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.38 ± 0.07	0.84 ± 0.17	1.98 ± 0.12
日本晴	0.02 ± 0.00	0.10 ± 0.01	0.25 ± 0.05	0.88 ± 0.17	1.37 ± 0.31	3.21 ± 0.53
紅尾花螺	0.05 ± 0.01	0.15 ± 0.02	0.45 ± 0.07	1.45 ± 0.07	2.49 ± 0.25	3.71 ± 0.43
遼粳152号	0.02 ± 0.00	0.09 ± 0.01	0.17 ± 0.04	0.48 ± 0.03	1.17 ± 0.16	1.75 ± 0.19
南京11号	0.06 ± 0.01	0.13 ± 0.02	0.65 ± 0.37	0.92 ± 0.06	1.37 ± 0.13	2.40 ± 0.22
Si Li Gu	0.06 ± 0.01	0.22 ± 0.04	0.36 ± 0.02	0.84 ± 0.13	1.68 ± 0.17	2.47 ± 0.27
唐干	0.05 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.58 ± 0.03	1.50 ± 0.11	2.49 ± 0.23	4.31 ± 0.44
IR 36	0.03 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.13 ± 0.03	0.25 ± 0.02	0.36 ± 0.05	1.38 ± 0.09
ネパール18	0.03 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.55 ± 0.08	1.32 ± 0.08	2.19 ± 0.30	3.08 ± 0.37
Telorirana	0.04 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.37 ± 0.08	1.11 ± 0.12	1.27 ± 0.08	2.47 ± 0.17
Dawn	0.03 ± 0.00	0.07 ± 0.01	0.16 ± 0.03	0.42 ± 0.06	1.06 ± 0.08	1.64 ± 0.11
Labelle	0.02 ± 0.00	0.06 ± 0.01	0.20 ± 0.03	0.46 ± 0.04	0.80 ± 0.02	1.52 ± 0.21
	草丈 (cm)					
旭	30.2 ± 1.2	35.0 ± 1.9	36.3 ± 2.1	40.7 ± 2.8	50.1 ± 2.5	57.5 ± 2.4
はまさり	24.6 ± 1.1	29.0 ± 2.9	31.3 ± 0.5	33.1 ± 3.5	39.9 ± 3.7	48.0 ± 1.6
初星	29.2 ± 1.3	34.6 ± 1.3	37.3 ± 2.1	42.8 ± 1.3	53.3 ± 2.1	59.0 ± 2.2
十石	29.9 ± 4.3	34.4 ± 2.4	33.8 ± 1.3	36.6 ± 2.0	42.7 ± 2.2	47.3 ± 2.2
くさなみ	27.4 ± 2.4	30.3 ± 1.9	33.8 ± 3.2	36.0 ± 2.5	43.3 ± 1.8	52.8 ± 1.5
日本晴	27.8 ± 1.2	33.7 ± 2.6	33.8 ± 2.6	39.6 ± 1.5	47.3 ± 2.2	57.5 ± 2.4
紅尾花螺	34.4 ± 2.1	45.4 ± 2.0	45.8 ± 3.9	53.9 ± 2.4	64.2 ± 3.6	78.3 ± 2.2
遼粳152号	31.4 ± 1.6	36.9 ± 2.2	40.5 ± 3.7	40.6 ± 2.7	50.4 ± 2.7	58.8 ± 2.6
南京11号	32.4 ± 2.3	41.5 ± 2.5	44.0 ± 3.9	47.8 ± 3.4	50.7 ± 4.2	65.5 ± 5.1
Si Li Gu	34.3 ± 3.9	43.1 ± 2.9	48.0 ± 7.8	50.3 ± 2.1	56.6 ± 3.8	71.0 ± 4.5
唐干	35.4 ± 4.0	45.9 ± 3.1	50.8 ± 2.8	54.8 ± 3.2	62.4 ± 4.3	71.3 ± 2.6
IR 36	26.9 ± 2.7	33.5 ± 2.0	36.5 ± 5.0	37.3 ± 2.4	41.1 ± 3.0	47.8 ± 3.2
ネパール 18	35.9 ± 0.9	46.7 ± 2.5	50.8 ± 4.5	56.0 ± 2.9	69.1 ± 4.3	77.8 ± 5.3
Telorirana	32.9 ± 3.6	39.9 ± 4.9	46.0 ± 1.6	48.6 ± 5.1	56.5 ± 7.5	68.3 ± 2.2
Dawn	29.1 ± 1.5	35.6 ± 3.4	43.3 ± 3.5	44.1 ± 2.4	53.3 ± 3.3	63.5 ± 1.3
Labelle	30.6 ± 3.0	35.2 ± 2.6	42.5 ± 3.5	43.3 ± 4.2	53.1 ± 5.3	61.8 ± 3.5
	茎数(本/株)					
旭	5.1 ± 2.5	13.9 ± 4.2	15.5 ± 2.4	25.7 ± 7.5	28.0 ± 6.5	35.0 ± 4.3
はまさり	2.9 ± 0.7	8.9 ± 3.2	11.8 ± 4.6	17.4 ± 6.4	24.8 ± 6.7	25.5 ± 3.9
初星	4.4 ± 1.3	12.0 ± 2.5	15.3 ± 5.4	20.6 ± 3.6	24.1 ± 3.9	23.5 ± 7.7
十石	3.5 ± 0.7	13.1 ± 3.0	16.3 ± 2.1	25.4 ± 5.4	34.4 ± 7.1	32.0 ± 9.2
くさなみ	3.0 ± 0.7	8.9 ± 2.9	12.5 ± 2.6	17.4 ± 5.3	24.2 ± 6.8	29.8 ± 5.5
日本晴	3.6 ± 0.5	10.5 ± 1.6	14.8 ± 3.3	20.8 ± 2.4	25.4 ± 3.3	26.8 ± 5.5
紅尾花螺	4.0 ± 0.9	10.6 ± 1.8	15.3 ± 2.2	21.2 ± 2.7	25.8 ± 3.5	28.8 ± 4.0
遼粳152号	3.6 ± 0.7	10.4 ± 2.8	18.5 ± 3.3	22.3 ± 6.1	28.7 ± 5.3	31.3 ± 6.1
南京11号	3.1 ± 1.0	8.6 ± 2.1	11.3 ± 1.5	15.6 ± 5.0	22.8 ± 6.6	27.0 ± 2.2
Si Li Gu	6.6 ± 1.1	14.5 ± 3.4	20.0 ± 4.1	27.7 ± 2.8	32.3 ± 3.1	32.0 ± 3.7
唐干	6.0 ± 1.8	14.6 ± 3.0	23.8 ± 3.9	31.2 ± 4.8	42.6 ± 5.9	46.8 ± 6.4
IR 36	3.0 ± 0.7	8.9 ± 2.2	14.3 ± 1.5	21.2 ± 6.0	32.3 ± 8.2	32.3 ± 3.0
ネパール 18	3.8 ± 1.2	10.0 ± 2.4	18.0 ± 1.6	20.3 ± 5.0	25.2 ± 6.1	28.0 ± 6.7
Telorirana	3.5 ± 0.8	10.8 ± 2.3	14.8 ± 2.8	21.3 ± 5.1	26.1 ± 6.1	25.8 ± 5.7
Dawn	3.2 ± 0.8	6.7 ± 2.6	9.5 ± 1.7	11.5 ± 3.4	14.6 ± 4.5	19.0 ± 1.8
Labelle	3.1 ± 0.7	5.0 ± 1.8	8.3 ± 1.3	9.5 ± 2.5	12.6 ± 3.1	12.8 ± 1.7
	乾物重 (g/m ²)					
旭	10.3 ± 1.6	26.2 ± 3.9	74.8 ± 17.2	121.7 ± 32.9	199.3 ± 41.1	317.3 ± 41.1
はまさり	7.9 ± 1.2	19.9 ± 4.9	40.3 ± 18.2	68.5 ± 6.3	129.4 ± 42.9	168.3 ± 30.3
初星	10.3 ± 1.1	22.3 ± 0.7	51.4 ± 5.0	103.8 ± 31.5	161.9 ± 40.6	210.3 ± 106.2
十石	11.7 ± 3.6	31.8 ± 11.1	57.9 ± 17.0	97.2 ± 10.2	167.7 ± 29.9	222.5 ± 72.9
くさなみ	12.2 ± 2.9	24.4 ± 2.9	42.9 ± 3.8	74.6 ± 10.2	152.9 ± 18.9	209.6 ± 17.4
日本晴	11.2 ± 2.8	29.8 ± 8.7	63.4 ± 15.6	115.8 ± 23.2	179.1 ± 84.6	256.8 ± 112.1
紅尾花螺	12.0 ± 2.1	31.8 ± 6.2	89.0 ± 23.4	145.6 ± 28.9	278.3 ± 46.0	315.7 ± 57.5
遼粳152号	8.1 ± 1.1	24.3 ± 5.0	73.5 ± 25.8	121.7 ± 23.5	207.6 ± 46.5	219.2 ± 35.4
南京11号	13.9 ± 2.7	38.3 ± 8.6	81.9 ± 9.3	150.1 ± 20.7	235.8 ± 33.4	298.1 ± 44.2
Si Li Gu	14.6 ± 3.2	50.6 ± 14.5	120.8 ± 25.6	153.6 ± 19.9	262.2 ± 38.5	323.4 ± 20.3
唐干	13.4 ± 2.5	43.2 ± 5.7	111.6 ± 25.5	196.8 ± 47.5	258.9 ± 13.0	339.7 ± 63.4
IR 36	9.0 ± 2.0	17.4 ± 4.6	43.8 ± 11.3	83.4 ± 7.5	106.1 ± 40.7	186.9 ± 33.1
ネパール 18	12.2 ± 2.6	42.8 ± 6.2	110.3 ± 34.6	173.9 ± 42.8	253.7 ± 59.7	329.4 ± 90.5
Telorirana	12.6 ± 2.0	39.9 ± 4.2	92.4 ± 27.4	157.7 ± 27.7	193.9 ± 23.3	253.5 ± 24.4
Dawn	9.8 ± 1.0	20.4 ± 4.2	49.7 ± 14.9	80.7 ± 12.1	157.7 ± 8.5	209.7 ± 19.2
Labelle	7.8 ± 1.8	16.3 ± 5.6	41.2 ± 9.0	68.7 ± 7.4	114.7 ± 12.7	150.7 ± 38.9

注1) 数値は、平均値±標準偏差を示す。

2) イネは栽植密度22.2株/m²、1株3本で移植した。

表18 99June試験の防除区における供試イネ品種の生育の推移

イネ	移植後日数 (日)					
	15	21	25	30	35	42
	LAI (20cm)					
旭	0.07 ± 0.01	0.16 ± 0.05	0.38 ± 0.03	1.19 ± 0.16	2.12 ± 0.18	—
初星	0.02 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.30 ± 0.06	1.35 ± 0.10	2.47 ± 0.17	—
十石	0.06 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.28 ± 0.09	1.26 ± 0.10	2.34 ± 0.23	—
日本晴	0.05 ± 0.01	0.15 ± 0.04	0.65 ± 0.13	1.21 ± 0.05	2.33 ± 0.25	—
紅尾花螺	0.07 ± 0.01	0.12 ± 0.04	0.38 ± 0.11	1.41 ± 0.12	2.18 ± 0.43	—
遼梗152号	0.05 ± 0.01	0.16 ± 0.02	0.53 ± 0.06	1.24 ± 0.09	2.01 ± 0.20	—
南京11号	0.10 ± 0.02	0.27 ± 0.03	0.58 ± 0.13	1.72 ± 0.15	2.27 ± 0.34	—
Si Li Gu	0.08 ± 0.01	0.25 ± 0.05	0.87 ± 0.10	1.85 ± 0.06	2.47 ± 0.25	—
唐干	0.11 ± 0.03	0.34 ± 0.03	0.88 ± 0.08	1.86 ± 0.17	3.76 ± 0.43	—
IR 36	0.01 ± 0.00	0.09 ± 0.02	0.26 ± 0.02	0.81 ± 0.12	2.00 ± 0.33	—
ネパール 18	0.13 ± 0.01	0.45 ± 0.09	1.05 ± 0.12	2.49 ± 0.14	2.80 ± 0.54	—
Teloirirana	0.09 ± 0.01	0.22 ± 0.04	0.67 ± 0.03	1.85 ± 0.04	2.37 ± 0.18	—
Dawn	0.05 ± 0.01	0.19 ± 0.03	0.51 ± 0.08	1.61 ± 0.11	2.11 ± 0.28	—
Labelle	0.04 ± 0.02	0.21 ± 0.02	0.37 ± 0.07	1.89 ± 0.16	3.12 ± 0.20	—
	草丈 (cm)					
旭	31.0 ± 1.2	34.5 ± 1.9	42.8 ± 2.1	56.8 ± 2.8	70.3 ± 6.8	79.8 ± 4.4
初星	29.5 ± 1.7	31.8 ± 1.7	41.3 ± 1.3	59.3 ± 2.2	70.5 ± 4.1	78.3 ± 1.3
十石	32.0 ± 1.8	31.0 ± 1.4	41.3 ± 1.3	52.5 ± 0.6	58.5 ± 2.4	67.0 ± 3.4
日本晴	28.8 ± 1.7	34.8 ± 1.3	42.5 ± 1.7	53.8 ± 2.1	63.8 ± 6.7	80.8 ± 1.5
紅尾花螺	37.0 ± 1.4	45.5 ± 1.3	58.0 ± 1.6	78.5 ± 2.4	91.8 ± 2.2	111.0 ± 1.8
遼梗152号	33.8 ± 2.6	36.5 ± 2.9	46.3 ± 2.2	61.3 ± 4.0	72.0 ± 3.7	80.8 ± 4.2
南京11号	36.0 ± 1.8	41.0 ± 2.6	49.0 ± 2.9	65.3 ± 2.2	71.0 ± 0.8	82.5 ± 1.7
Si Li Gu	39.0 ± 1.4	42.3 ± 2.5	57.5 ± 1.9	82.3 ± 2.6	95.5 ± 4.2	114.8 ± 2.2
唐干	38.3 ± 4.0	43.0 ± 0.8	55.8 ± 3.0	77.0 ± 4.2	93.3 ± 3.3	116.8 ± 5.0
IR 36	27.5 ± 2.5	31.5 ± 2.1	41.5 ± 2.4	54.0 ± 6.3	61.3 ± 2.9	70.0 ± 5.4
ネパール 18	41.5 ± 2.1	47.8 ± 2.5	63.5 ± 1.3	89.8 ± 4.6	107.8 ± 7.3	124.0 ± 2.4
Teloirirana	36.8 ± 1.7	37.0 ± 5.0	51.8 ± 3.9	73.8 ± 3.9	87.3 ± 6.9	108.8 ± 11.9
Dawn	34.5 ± 1.7	35.5 ± 1.0	48.0 ± 3.6	62.8 ± 3.6	80.8 ± 3.3	91.3 ± 3.0
Labelle	34.0 ± 2.0	35.5 ± 1.3	43.8 ± 2.9	59.5 ± 0.6	74.3 ± 2.2	87.0 ± 3.9
	茎数 (本/株)					
旭	8.5 ± 1.0	16.5 ± 2.1	19.3 ± 3.1	20.8 ± 3.9	21.8 ± 3.4	18.3 ± 2.9
初星	8.5 ± 0.6	14.0 ± 1.8	16.5 ± 3.0	20.8 ± 4.0	21.0 ± 1.4	18.8 ± 2.1
十石	9.5 ± 2.1	18.8 ± 2.1	24.0 ± 2.4	26.0 ± 4.1	26.8 ± 4.3	26.8 ± 2.2
日本晴	6.8 ± 1.3	12.5 ± 2.4	18.5 ± 2.5	20.5 ± 1.7	21.3 ± 2.6	21.3 ± 1.7
紅尾花螺	7.3 ± 1.9	14.0 ± 2.9	17.5 ± 2.6	26.0 ± 2.0	16.5 ± 3.3	16.0 ± 2.6
遼梗152号	6.3 ± 1.0	16.0 ± 3.4	21.3 ± 2.5	22.0 ± 1.4	23.8 ± 1.9	21.3 ± 5.3
南京11号	7.0 ± 0.8	13.0 ± 4.2	14.8 ± 3.6	22.3 ± 1.7	18.3 ± 2.1	17.5 ± 2.5
Si Li Gu	7.3 ± 2.5	17.3 ± 3.2	22.5 ± 5.0	25.0 ± 0.8	24.0 ± 5.3	20.0 ± 3.4
唐干	8.8 ± 1.5	19.8 ± 5.4	22.3 ± 5.1	26.0 ± 4.9	31.0 ± 13.1	24.8 ± 10.2
IR 36	8.5 ± 2.6	22.8 ± 5.4	25.5 ± 4.2	28.5 ± 5.7	30.0 ± 1.4	30.8 ± 4.9
ネパール 18	8.3 ± 1.0	15.8 ± 4.1	21.5 ± 3.5	24.3 ± 2.4	19.5 ± 6.1	17.8 ± 2.8
Teloirirana	8.3 ± 1.3	14.5 ± 1.7	19.5 ± 2.1	21.8 ± 1.3	18.5 ± 2.1	15.3 ± 0.5
Dawn	5.3 ± 1.0	9.5 ± 0.6	11.8 ± 2.2	13.0 ± 2.2	12.8 ± 1.0	11.5 ± 1.7
Labelle	5.7 ± 1.5	9.8 ± 1.0	9.8 ± 2.8	14.3 ± 2.1	14.0 ± 2.6	12.5 ± 2.9
	乾物重 (g/m ²)					
旭	16.0 ± 1.3	39.0 ± 5.4	62.6 ± 9.2	130.4 ± 21.3	263.2 ± 38.1	401.7 ± 49.7
初星	16.7 ± 3.2	34.7 ± 1.9	63.8 ± 13.1	140.5 ± 29.3	275.6 ± 36.4	421.8 ± 74.8
十石	15.6 ± 3.2	40.8 ± 4.0	90.4 ± 14.2	147.9 ± 20.8	272.6 ± 42.3	460.8 ± 48.2
日本晴	12.3 ± 1.4	31.8 ± 9.5	78.2 ± 19.9	135.8 ± 10.2	269.1 ± 46.6	508.3 ± 53.8
紅尾花螺	18.3 ± 4.3	49.4 ± 8.2	113.8 ± 35.5	272.8 ± 16.4	345.3 ± 86.5	521.1 ± 72.6
遼梗152号	12.6 ± 2.0	44.4 ± 11.0	75.1 ± 17.5	141.0 ± 8.7	283.1 ± 39.9	481.2 ± 68.3
南京11号	19.7 ± 5.4	64.6 ± 15.5	91.7 ± 23.4	203.8 ± 27.6	340.8 ± 86.3	523.9 ± 97.9
Si Li Gu	19.4 ± 5.6	57.9 ± 13.9	124.5 ± 12.1	257.4 ± 9.3	402.9 ± 92.0	664.4 ± 138.7
唐干	21.3 ± 6.2	53.9 ± 3.1	105.8 ± 8.5	213.2 ± 18.3	429.9 ± 116.4	544.7 ± 75.2
IR 36	10.8 ± 2.2	44.2 ± 9.4	85.1 ± 17.8	148.3 ± 35.5	287.2 ± 32.7	505.1 ± 89.1
ネパール 18	23.5 ± 3.3	54.3 ± 13.8	114.4 ± 7.2	283.8 ± 47.8	370.0 ± 125.0	557.6 ± 106.9
Teloirirana	22.9 ± 1.5	56.4 ± 5.9	109.2 ± 7.7	233.4 ± 18.7	329.4 ± 38.1	458.1 ± 30.0
Dawn	15.6 ± 2.8	29.6 ± 2.9	55.2 ± 14.8	131.2 ± 23.7	208.8 ± 135.0	454.9 ± 121.8
Labelle	19.3 ± 1.9	29.9 ± 2.2	53.2 ± 13.5	126.9 ± 26.3	244.2 ± 39.1	408.1 ± 99.9

注1) 数値は、平均値±標準偏差で示す。

2) イネは栽植密度22.2株/m²、1株3本で移植した。

3) —は、調査無し。

表19 品種を異にするイネ群落内における移植約60日後のコナギの乾物重

品種	乾物重(g/m ²)		
	98 May	99 May	99 June
旭	—	36.8 ± 0.3	27.9 ± 0.7
はまさり	—	59.7 ± 1.7	—
初星	—	61.3 ± 1.5	49.9 ± 1.4
十石	—	52.3 ± 1.7	23.5 ± 0.8
くさなみ	—	64.5 ± 1.0	—
日本晴	52.7 ± 10.5	50.9 ± 1.2	51.3 ± 2.6
紅尾花螺	—	36.6 ± 0.8	2.9 ± 0.1
遼粳152号	77.2 ± 20.5	46.1 ± 1.2	24.6 ± 1.5
南京11号	50.8 ± 15.4	25.4 ± 0.5	16.3 ± 1.3
Si Li Gu	20.6 ± 6.7	25.5 ± 0.4	6.9 ± 0.5
唐千	40.2 ± 12.5	24.3 ± 0.7	7.6 ± 0.5
IR 36	73.6 ± 27.0	41.3 ± 1.4	36.3 ± 1.3
ネパール 18	27.2 ± 6.9	15.6 ± 0.3	4.8 ± 0.2
Teloirana	39.0 ± 7.5	13.7 ± 0.4	9.2 ± 0.5
Dawn	—	71.8 ± 2.3	39.7 ± 0.7
Labelle	—	54.1 ± 1.1	25.9 ± 0.9

注1) 数値は、平均値±標準偏差で示す。

2) —は、試験無し。

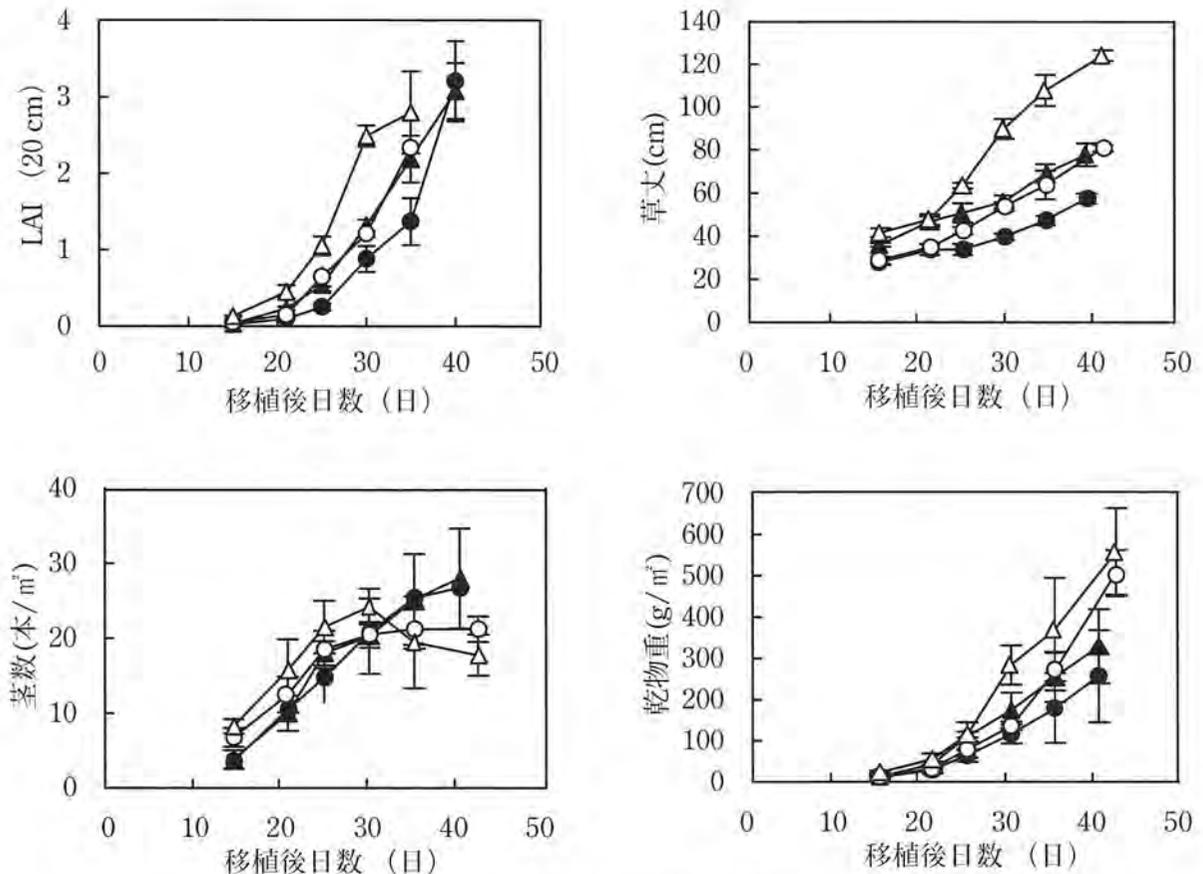


図10 防除区におけるイネ、日本晴（コナギ区においてコナギの生育を抑制しない品種）とネパール 18（コナギ区においてコナギの生育を抑制する品種）の生育の推移

注1) 99May試験： ●-日本晴 ▲-ネパール18

99June試験： ○-日本晴 △-ネパール18

2) 表17および表18の値を用いた。

3) 縦棒は、標準偏差を示す。

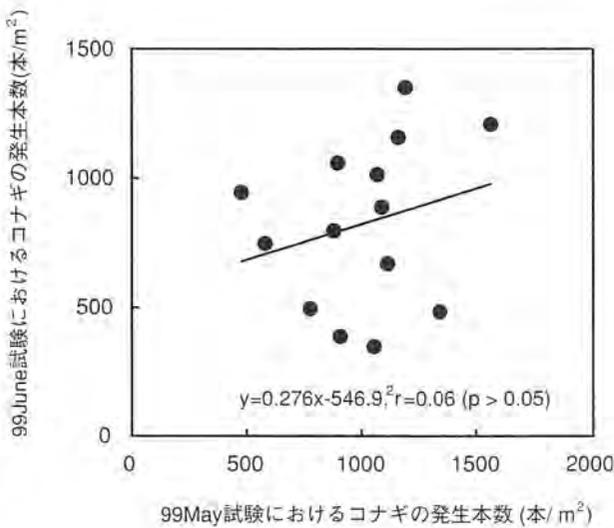


図11 14品種のイネ群落内でのコナギ発生本数の99Mayおよび99June試験間の変動

注1) コナギの発生本数は、移植約60日後に調査した。

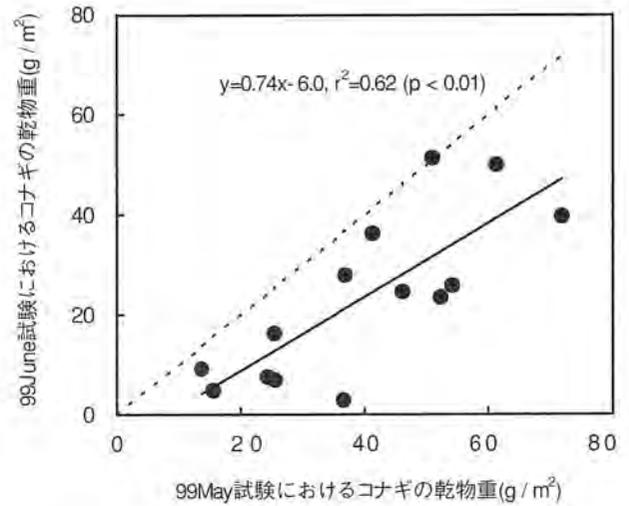


図12 14品種のイネ群落内でのコナギ乾物重の99Mayおよび99June試験間の変動

注1) 表19の値を用いた。

2) コナギの乾物重は、移植約60日後に調査した。

3) 破線は、両試験とも同じ値になった場合を示す。

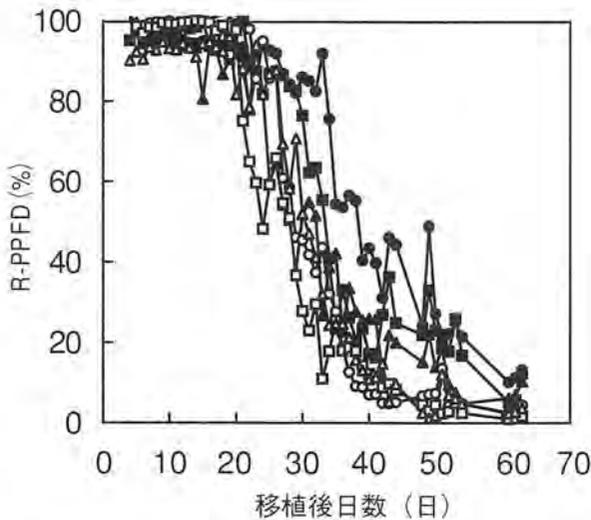


図13 99May試験におけるR-PPFDの経時的な変化

注1) イネ品種：●、日本晴；■、南京11号；▲、Si Li Gu；○、唐千；

□、ネパール 18；△、Telorirana

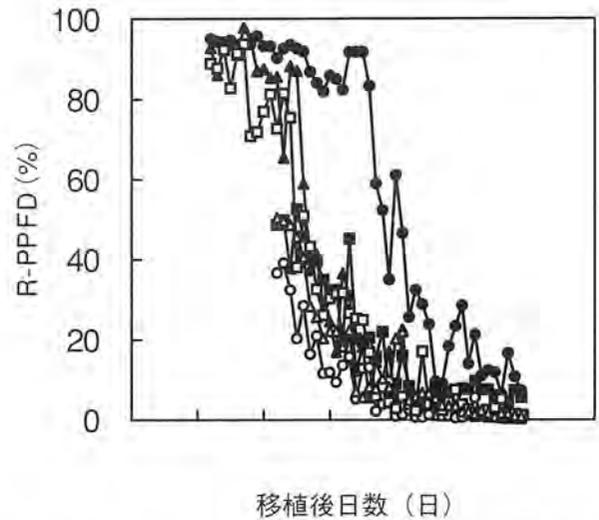


図14 99June試験におけるR-PPFDの経時的な変化

注1) イネ品種：●、日本晴；■、南京11号；▲、Si Li Gu；○、唐千；

□、ネパール 18；△、Telorirana

表20 異なる測定時期でのR-PPFDと移植約60日後のコナギの乾物重との単回帰分析結果

R-PPFDの 測定時期		98 May	99 May	99 June	98May+99May+99 June	
測定期間 (日間)	測定日 (日)	決定係数 (r^2)			回帰式	
42	22-63	0.61*	0.67***	—	—	
37	22-58	0.64*	0.68***	0.88**	0.79***	y=0.97x-5.63
35	22-56	0.66*	0.68***	0.90**	0.79***	y=1.02x-5.80
28	22-49	0.70*	0.71***	0.96***	0.80***	y=0.87x+3.05
28	29-56	0.64*	0.66***	0.78**	0.77***	y=1.17x-14.9
21	22-42	0.76*	0.66***	0.87**	0.80***	y=0.88x-13.5
21	29-49	0.70*	0.71***	0.96***	0.81***	y=0.86x+2.38
21	36-56	0.57*	0.64***	0.98***	=	
14	22-35	0.82**	0.58***	0.80**	0.75***	y=0.79x-18.2
14	29-42	0.74*	0.70***	0.96***	0.81***	y=0.82x-1.11
14	36-49	0.64*	0.69***	0.97***	0.74***	y=0.90x+10.6
14	43-56	0.51	0.53**	0.95***	=	
7	22-28	0.76*	0.45**	0.57*	0.62***	y=0.84x-29.7
7	29-35	0.80**	0.63***	0.93***	0.78***	y=0.69x-3.93
7	36-42	0.66*	0.72***	0.97***	=	
7	43-49	0.61*	0.54**	0.91***	=	
7	50-56	0.32	0.50**	0.93***	=	

注1) *, **, *** は、それぞれ有意水準5%, 1%および0.1%未満を示す。

2) 測定日は、移植後日数を示す。

3) — は、試験無し。

4) 98May+99May+99Juneは、3試験のデータを併合した場合の分析結果を示す。

5) 各試験毎に有意な相関関係があり、かつ得られた回帰式間で有意な差がない場合に併合した。

6) =は、併合できなかったデータを示す。

7) 回帰式の x はR-PPFD (%), y はコナギの乾物重 (g/m) を示す。

表21 異なる測定時期での防除区のイネの各形質と移植約60日後のコナギの乾物重との単回帰分析結果

イネ形質	決定係数(r^2)					
	移植後日数(日)					
	15	21	25	30	30	40-43
98May						
LAI (地上20cm以上)	—	—	—	—	—	0.43
LAI	—	—	—	—	—	0.01
草丈	—	—	—	—	—	0.64*
茎数	—	—	—	—	—	0.03
地上部乾物重	—	—	—	—	—	0.72**
99May						
LAI (地上20cm以上)	0.14	0.66***	0.66***	0.54**	0.32*	0.31*
LAI	0.10	0.24	0.68***	0.46**	0.19	0.11
草丈	0.36*	0.60***	0.48**	0.47**	0.37*	0.40**
茎数	0.01	0.24	0.30*	0.42**	0.26*	0.19
地上部乾物重	0.36*	0.63***	0.72**	0.75***	0.47**	0.54**
99June						
LAI (地上20cm以上)	0.65***	0.10	0.55**	0.49**	0.29*	—
LAI	0.11	0.15	0.20	0.31*	0.05	—
草丈	0.74***	0.62***	0.67***	0.64***	0.53**	0.55**
茎数	0.04	0.05	0.06	0.18	0.00	0.01
地上部乾物重	0.53**	0.61***	0.61***	0.70***	0.58**	0.27

注1) 40-43は、98Mayは43日後、99Mayは40日後、99Juneは42日後に調査した。

2) *, **, *** は、それぞれ有意水準5%, 1%および0.1%未満を示す。

3) — は、調査無し。

リグサ科雑草を優占種とする雑草群落に対するイネ（直播水稻）の抑制力は、播種5週後のイネの乾物重と正の相関関係があること⁽⁶³⁾、イヌビエに対するイネ（移植水稻）の抑制力は移植4週後のイネのLAI、草丈および乾物重との間に正の相関関係があること^{(33), (67)}、タイヌビエに対する抑制力は、移植40日後のイネ（移植水稻）の草丈と被度の積との間に正の相関関係があること⁽⁸⁰⁾など、イネの雑草抑制力は、成熟期の形質よりも生育初期の形質の方との間に高い相関があるとする報告がある一方、オヒシバ、ハマスゲを優占種とする雑草群落に対するイネ（陸稲）の抑制力は、収穫時のイネの草丈との間に正の有意な相関関係があり、生育初期の草丈は収穫時のものほどには高い相関関係はないとする報告⁽¹⁹⁾もある。また、イネ（水稻）の茎数は水田雑草に対する抑制力とは有意な相関関係がないとする報告^{(19), (48)}がある一方、コヒメビエに対するイネ（直播水稻）の抑制力は出芽60日後のイネのLAIおよび茎数との間に正の相関関係があるとする報告⁽¹²⁾もある。

本試験では、イネ移植約60日後のコナギの乾物重は、イネの生育初期（移植約1カ月後頃）のLAI（20cm）、草丈、乾物重との間に有意な相関関係があり、イネの茎数との間には有意な相関関係はなかった（表21）。しかし、これらの相関関係を表す回帰式や決定係数は年次や移植時期によって変動し、コナギに対する抑制力の指標とするには不十分であると考えられた。一方、イネ移植29日～35日後のR-PPFDの平均値とコナギの乾物重との間に高い相関関係があり、3試験を併合した決定係数の高い回帰式が得られた。イネの地上部の形質は主に光競合により雑草を抑制することから^{(12), (78)}、LAI、草丈および乾物重などの形質が複合してイネ群落内のR-PPFDに影響し、それによってイネのコナギに対す

る抑制力が影響されるものと考えられる。これらのことから、R-PPFDは、LAI、草丈および乾物重などの個別の形態的特性よりも高い精度で、イネ品種のコナギに対する抑制力を評価する指標とすることができる結論した。

イネ品種のコナギに対する抑制力を評価するために最適なR-PPFDの測定時期は移植約30日後頃、すなわち29～35日後であったが、これはタイヌビエやイヌビエなどに対する抑制力を評価するために草丈や乾物重などを測定する時期^{(33), (67), (80)}とおおむね一致した。コナギの乾物重は、いずれのイネ品種においても早植栽培（99May試験）に比べて普通期栽培（99June試験）で小さくなっていった（図12）。これは、普通期栽培でイネの移植時期の気温が高く初期生育がコナギよりも旺盛なためと考えられ、イネの初期生育の大きさがコナギの抑制に重要である。

タイヌビエやコナギと競合した条件下でのイネの収量は、タイヌビエやコナギの乾物重と負の相関関係があり⁽⁵⁾、その雑草害は主にイネの穂数の減少によって引き起こされる^{(2), (65)}。本試験では、イネ移植約60日後のコナギの乾物重とイネの収量との関係については未検討であり、移植29日から35日後の間のR-PPFDの平均値の低下による雑草害への影響については不明である。この点については、今後の課題としたい。

本研究および過去の研究^{(10)-(12), (19), (32), (33), (43), (63), (67), (80)}からも明らかのように、イネの雑草抑制力に関与するイネの形態的特性は、対象とする雑草種によって変動する。イネの形態的特性を利用した雑草抑制技術の確立には、今後、他の雑草種に対して抑制力を持つイネ品種の形態的特性を確認する必要があるが、本試験は、除草剤に過度に依存しない環境保全型の雑草制御技術の確立に寄与する基礎資料となるものである。

V 総 合 考 察

近年、日本の水稻作では、化学除草剤の普及によって、省力的な雑草防除技術が確立されている。しかし一方で、除草剤への過度の依存は、生産コストの上昇の他、環境負荷の増大、除草剤抵抗性生物型の出現、生産者や消費者のばく然とした健康への不安などをもたらす要因のひとつとなっている。本研

究で研究対象とした水田一年生広葉雑草、特にコナギは、除草剤が普及する以前からの強害雑草ではあったが、2,4-Dを始めとするいわゆる植物ホルモン系除草剤や各種土壌処理除草剤などの普及によって大部分の水田では簡単に防除できるようになり、除草剤の効きにくい多年生雑草が難防除雑草として考え

られるようになってきた。しかし、緒論でも述べたように、除草剤の効果が変動しやすい一年生広葉雑草は現在でも完全な防除は困難な状況下にある。

本研究では、まずこれまで十分に解明されていなかった一年生広葉雑草の発生生態について、代かき時期および代かき前の土壤水分に着目してその影響を調査し、それらの出芽深度はおおよそ土壤表層の5.0mmまでに限られること、土壤表層からの発生は代かき時期によって変動すること、代かき直前まで土壤を湿潤条件にした場合、代かき後の発生本数は代かき時期にかかわらず一定であることなどを明らかにした。しかしタイヌビエやイヌホタルイでは、種子の登熟時期や登熟期の土壤水分によって形成された種子の休眠状態が変動し、その後の発芽にも影響することが知られており^{(73), (96)}、一年生広葉雑草についても、種子の登熟期の環境要因が翌年以降の各草種の発生様相にも影響していると考えられる。これらの点を含めて、さらに一年生広葉雑草の発生生態を明らかにすることは、それら雑草の生態的防除や発生予察の技術確立に寄与し、それらを省力低コストに防除するだけでなく、除草剤への過度の依存を軽減するために重要である。

ついで、本研究では、一年生広葉雑草の中で特に強害雑草であるコナギについて、除草剤抵抗性生物型が存在することを明らかにした。それまでは除草剤散布後にコナギが特異的に残存した場合、年次的な発生の変動や除草剤散布後の水管理の不手際などによる効果変動と判断されたため、その後何年も効果のない除草剤を処理し続けていることが多かった。本研究で得られた知見は、コナギが特異的に残存した場合、その要因解析にあたって、除草剤抵抗性生物型の出現も考慮する必要があることを示し、かつ除草剤抵抗性生物型コナギに対して効果のある除草剤への変更が必要であることを明らかにした。これによって、除草剤抵抗性生物型コナギが出現した水田における効果のない除草剤の継続使用が避けられ、そうした除草剤の処理による生産コストの上昇や環境負荷の増大の回避に貢献することができた。また、本研究で開発したコナギの除草剤抵抗性検定法は、今後の現場における除草剤抵抗性生物型コナギの簡易検定法として、コナギの制御研究にとって貴重な検定技術となる。

一年生広葉雑草は、本研究で明らかにした発生の

変動や除草剤抵抗性生物型の出現などによって、化学的手法が雑草制御技術の主となった現在の農業生産の場に適応してきた。現在、初期もしくは初・中期一発型除草剤などの土壤処理型除草剤の効果が変動し、雑草が残存した場合、イネの生育中期に散布する茎葉処理剤によって防除を行っている。しかし、これは生産コスト、労力および環境負荷の増大などが懸念される。こうした場合、イネ自体が持つ雑草抑制効果の活用は、過度の除草剤への依存や環境負荷の軽減化などに寄与する技術として注目されるべきと考える。

本研究では、イネによるコナギに対する生育抑制効果について解析を行い、移植約30日から40日後頃のイネ群落内のR-PPFDの平均値が群落内のコナギの乾物重と高い正の相関関係があることを明らかにした。コナギは、播種30日後から寒冷紗で群落外の25%に遮光した場合、種子生産が完全に抑制される⁽⁹⁰⁾。したがって、イネ移植30日後までにイネ群落内のR-PPFDが群落外の25%以下まで低下した場合、コナギは種子の生産が困難と考えられた。しかし、本研究では、99June試験においてイネ数品種で移植30日後にR-PPFDが25%以下になったが、わずかではあるがコナギの種子は結実し、次年度への種子の供給源となっていた。イネ群落による遮光は、寒冷紗による遮光とは質的に異なることから⁽⁵⁶⁾、この点についてはさらに解析する必要があるが、雑草の種子生産を完全に抑制するには、イネの雑草抑制効果だけでなく他の雑草制御法との組み合わせによらなければ難しいのであろう。一方、播種直後から寒冷紗で群落外の50%に遮光した場合、コナギの種子生産は完全に抑制される⁽⁹⁰⁾。前述の通り、寒冷紗による遮光とは質的に異なるが、R-PPFDが50%以下のイネ群落内で発生したコナギは、種子の生産が出来ない可能性がある。コナギに対する抑制効果の優れたイネ品種は、イネ群落内のR-PPFDが50%以下に達するまでに要する期間が現在日本国内で普及している品種に比べて短く、除草剤によるコナギの要防除期間が短くなることが予想される。

日本のイネ品種は、多収性を育種目標として、個々の茎葉が比較的厚く小型で、葉の向きを立ちぎみにして受光態勢がよい草型や耐倒伏性に優れた短稈の半矮性品種に改良されてきた。東南アジアでも多肥多収の半矮性品種「IRS」が育成され、その後、

耐病虫性に優れた「IR 26」, 「IR 36」なども育成され、広く普及されてきた。しかし、これらの改良品種は、受光態勢がよく短稈で、イネ群落内のR-PPFDは高い数値で推移するため雑草抑制力は小さい。しかし、近年、東南アジア、アフリカ、南アメリカでは、イネによる雑草抑制効果を活用した除草剤低投入型雑草制御技術の開発が試みられている^{19)・(12)・(14)・(20)・(33)}。そこで検討されている品種は、*O. glaberrima*の遺伝子を導入した強稈で草丈の大きい品種、在来種の遺伝子を導入した分けつの多い品種、ハイブリッド品種による草丈が大きく、分けつが多い品種などである。

日本では、1950年に除草剤が実用化されて以後、雑草の防除はほぼ除草剤に依存していたため、イネの育種目標に雑草抑制力が挙げられることはなかった。しかし、今後は、日本においても育種目標として、耐病虫性などと同様に雑草抑制力についても取り組む必要があると考える。本研究で得られた結果から、移植約1カ月後の群落内のR-PPFDを30%以下にする品種は、コナギに対する抑制力が強い品種であった。R-PPFDが30%のイネ群落は、その時点

ではまだ過繁茂の状態ではなく、その後に受光態勢がよくなる生育パターンを示す品種の開発が望まれる。今後、雑草抑制力の優れたイネ品種を開発し得るならば、それらは現在日本国内で普及している品種に比べて雑草の要防除期間が短くなり、除草剤の使用量(処理量)を低減することは十分に可能であろう。雑草の種子生産を抑制するためには、イネの雑草抑制効果と除草剤による化学的制御を組み合わせた雑草制御技術が今後ともに必要と思われるが、こうした技術は、除草剤に過度に依存しない、総合的雑草制御技術のひとつとして大いに期待できると考える。また、水田の荒廃化を防ぎ、水田の環境保全機能を維持できる転作作物として近年注目されている粗飼料用イネ栽培では、食用イネ以上の省力・低コスト化が必要であり、イネ茎葉部を家畜が摂取することから、農薬の使用は極力避けなければならない。そのためには、雑草についても除草剤によらない制御技術の確立が望まれている。本研究で得られた知見は、粗飼料用イネ栽培における環境保全型の雑草制御技術の確立にも貢献するものと考えられる⁽³⁾。

VI 摘 要

日本の水稲作における雑草防除は、現在、除草剤による化学的手段が主流となっている。しかし一年生広葉雑草は、長い種子の寿命、水稲の栽培管理法あるいは年次の気象条件の相違等による雑草発生の大きな変動、除草剤抵抗性生物型の出現などによって、除草剤による制御効果変動するため、連年の除草剤使用でも十分な制御が困難な現状にある。また、イネの形態的特性による雑草抑制効果を活用した制御技術は、除草剤に過度に依存しない環境保全型の農業生産に貢献することが期待されている。そこで本研究は、一年生広葉雑草を中心として、雑草発生の変動要因と除草剤抵抗性生物型の発生実態とともに、イネの形態的特性による雑草抑制効果を明らかにすることを目的として行った。

1. 水田における数種の一年生広葉雑草およびタマガヤツリについて、代かき時期別に発生本数、発生消長および出芽深度を調査した。4月から6月までの期間では、代かき時期が遅くなるほど雑草

の発生本数は増加した。ヒメミソハギおよびタマガヤツリは、6月以降も発生本数は増加したが、コナギ、アゼナ類、ミゾハコベおよびキカシグサは、7月になって発生本数が減少した。いずれの草種も、出芽深度が土壌表層の5.0mmまでに限られていたが、例外的には7.0mmまでの深度からも発生した。タマガヤツリの出芽深度は他の草種よりも深く、5.0~7.0mmの土層からも多く発生した。発生本数が多かった6月および7月代かき区では、3.0mmまでの土壌表層からの発生本数が多かったが、3.0mmより深い層からの発生本数については、代かき時期による差異は認められなかった。また、最大出芽深度も、代かき時期によって大きく変化しなかった。

2. 前項の一年生広葉雑草およびタマガヤツリを対象雑草として、代かき時期および代かき前の土壌水分状態の違いが各雑草の発生本数、発生消長および出芽深度に及ぼす影響を調査した。4月上旬

から代かきまで乾燥状態にした区(乾燥区)では、代かき時期が4月から7月へと遅くなるにしたがって、コナギおよびキカシグサを除く調査雑草の発生本数は増加した。4月上旬から代かきまで湿润状態にした区(湿润A区)では、これら雑草の発生本数は代かき時期にかかわらず一定であった。4月上旬から代かき10日前まで乾燥状態に保ち、その後代かきまで湿润状態にした区(湿润B区)では、これら雑草の発生本数は乾燥区より少なかった。コナギの発生本数は、代かき時期や代かき前の土壤水分状態の違いによる影響を受けず、一定であり、キカシグサの発生本数は、湿润A、B区では、上記雑草と同様の傾向を示したが、乾燥区では代かき時期が遅くなるにしたがって減少する傾向を示した。水田土壤から発生した草種、発生活長および出芽深度については、代かき前の土壤水分状態の違いによる影響は認められなかった。

3. コナギの除草剤抵抗性を検定する方法として、新たなコナギの培養法の開発を試みた。イネ粃100gあるいは粃殻20gを1000mlの蒸留水に5℃暗条件下で約48時間浸漬して得られたる液に等量の蒸留水を加え、この希釈液を用いて、0.5%の寒天培地を作成した。次いで寒天培地表面から約1mmの深さにコナギ種子を置床し、培養した。コナギ種子の発芽率は、20~25℃で最も高く93.3%となり、種子根長は30℃で最も長くなった。コナギの種子発芽および幼植物の成長に対する促進効果は、粃だけでなく粃殻の水抽出液でもみられ、粃殻の水抽出液を用いた寒天培地でもコナギの培養が可能であった。

次に本培養法を適用して、日本型およびインド型イネの計43品種の粃の水抽出液を用いた寒天培地を作成し、コナギの置床7日後の成長を比較調査した。イネ粃の水抽出液無添加の寒天培地ではコナギの発芽率は13.3%であったが、イネ粃の水抽出液を添加した寒天培地ではコナギの発芽率は78.3%~96.7%であった。コナギの種子根と子葉の伸長は、一部のイネ品種を除き粃の水抽出液を添加した寒天培地では促進された。これらの促進効果は、イネ品種間で差異が認められた。これらの結果から、本培養法はコナギを用いた生物検定

法として有効であった。

4. 近年、除草剤抵抗性生物型の水田雑草が各地で出現し、問題化している。そこで前項のコナギの培養法を用いて、スルホニルウレア系除草剤であるベンスルフロンメチルに対する抵抗性の検定を行い、秋田県、茨城県および岐阜県の15カ所のコナギが大量に残存している現地水田における発生実態を調査した。

その結果、秋田県協和町の水田および茨城県美浦村土浦および茨城県美浦村根火の水田から採取したコナギは、ベンスルフロンメチルに対して高い抵抗性を示した。ベンスルフロンメチル抵抗性生物型コナギが生育していた水田では、ベンスルフロンメチルを含むスルホニルウレア系除草剤が3年以上連用されていた。ベンスルフロンメチル抵抗性生物型のコナギは、メフェナセットおよびプレチラクロールに対しては感受性であり、種子根長は抑制された。ポット試験の結果、協和町産および美浦村土浦産の抵抗性生物型コナギは、ベンスルフロンメチル以外のスルホニルウレア系除草剤に対しても抵抗性を示したが、メフェナセット、プレチラクロールあるいはベンチオカーブを含むスルホニルウレア系混合除草剤およびピラズレートのコナギ1葉期処理により、完全に防除された。

5. イネのコナギに対する生育抑制力を評価する指標となるイネの形態的特性あるいはイネ群落の特徴を明らかにするために、1998年および1999年に8あるいは16品種を用いて作期を変えた圃場試験を行った。イネ移植約60日後におけるイネ群落内のコナギの乾物重は、イネ品種により大きく異なり、また早植栽培より普通期栽培でより大きく抑制された。イネ移植約60日後のコナギの乾物重は、移植29日から35日後あるいは移植36日から42日後の間の群落内地上20cmの相対光合成光量子束密度(群落外の光合成光量子束密度を100としたときの値)の平均値との間に有意な正の相関関係があった。得られた回帰式は早植あるいは普通期栽培の3回の試験間で有意差がなく、ひとつの回帰式に併合することができ、3試験ともに移植29日から42日後の間の14日間の平均値とすることで、決定係数が最も高い回帰式が得られ、さらに移植

29日から35日後の間の7日間まで短縮してもひとつの回帰式に併合でき、かつ決定係数は十分に高かった。同時期に測定したイネの茎数とコナギの乾物重との間に有意な相関関係は認められなかったが、イネの草丈、地上20cm以上の部位のLAIおよび乾物重とコナギの乾物重との間には有意な相関関係が認められた。しかし、得られた回帰式の決定係数は、相対光合成光量子束密度との間のものより小さかった。これらのことから、移植約1カ月後にイネ群落内の相対光合成光量子束密度を約7日間測定することは、イネのコナギに対す

る生育抑制力の評価に有効であることが明らかになった。

6. 以上、本研究では、水田における一年生広葉雑草の発生生態のほか、近年問題となっているコナギの除草剤抵抗性生物型出現の実態を明らかにするとともに、イネの形態的特性によるそれら雑草の抑制効果についての基礎知見を得ることができた。これらの成果は、今後の環境保全型の水田雑草制御技術の発展に大きく寄与するものである。

引用文献

1. Bouwmeester, H.J. and C.M.Karssen (1989) Environmental factors influencing the expression of dormancy patterns in weed seeds. *Ann. Bot.*, 63(1), 113-120
2. Breen, J.L., J.E.Hill and T.Kusanagi (1999) Tiller density determines competitive outcome between water-seeded rice (*Oryza sativa* L.) and *Monochoria vaginalis* var. *vaginalis*. *J. Weed Sci. Tech.*, 44(3), 180-188
3. Buhler, D.D. and T.Mester (1991) Effect of tillage systems on the emergence depth of giant foxtail (*Setaria faberi*) and green foxtail (*Setaria viridis*). *Weed Sci.*, 39, 200-203
4. Chen, P.H. and W.H.J.Kuo (1999) Seasonal changes in the germination of buried seeds of *Monochoria vaginalis*. *Weed Res.*, 39(2), 107-115
5. 千坂英雄 (1966) 水稲と雑草の競争. 雑草研究, 5, 16-22
6. 千坂英雄・古谷勝司・片岡孝義 (1977) 水田雑草種子の休眠の季節的推移. 雑草研究, 22(別), 97-99
7. 千坂英雄・伊藤一幸・児嶋清・古谷勝司・片岡孝義・宮原益次 (1985) 数種水田雑草の埋土種子の寿命. 雑草研究, 30(別), 133-134
8. 千坂英雄・片岡孝義 (1977) 水田一年生雑草種子の休眠・発芽・出芽の特性. 雑草研究, 22(別), 94-96
9. Dingkuhn, M., M.P.Jones, D.E.Johnson, B.Fofana and A.Sow (1995) Towards new high-yielding, weed-competitive rice plant types drawing from *Oryza sativa* and *O. glaberrima* genopools. *WARDA Ann.Rep.*1995, 27-35
10. Fischer, A.J., M.Chatel, H.V.Ramirez, J.Lozano and E.Guimaraes (1995) Components of early competition between upland rice (*Oryza sativa*) and *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich) Stapf. *Int. J. Pest Man.*, 41, 100-103
11. Fischer, A.J., H.V.Ramirez, K.D.Gibson and B.D.S.Pinheiro (2001) Competitiveness of semidwarf upland rice cultivars against palisadegrass (*Brachiaria brizantha*) and signalgrass (*B. decumbens*). *Agron. J.*, 93, 967-973
12. Fischer, A.J., H.V.Ramirez and J.Lozano (1997) Suppression of junglerice [*Echinochloa colona* (L.) Link] by irrigated rice cultivars in Latin America. *Agron. J.*, 89, 516-521
13. Foes, M.J., L.Liu, P.J.Tranel, L.M.Wax and E.W.Stoller (1998) A biotype of common waterhemp (*Amaranthus rudis*) resistant to triazine and ALS herbicides. *Weed Sci.*, 46, 514-520
14. Fofana, B. and R.Rauber (2000) Weed suppression ability of upland rice under low-input conditions in West Africa. *Weed Res.*, 40(3), 271-280
15. 藤井義晴 (1994) アレロパシー検定法の確立とムクナに含まれる作用物質L-DOPAの機能. 農環

- 研報, 10, 115-218
16. 藤井義晴 (1997) 雑草耐性イネの研究開発の現状. 植調, 31(4), 137-143
 17. 藤井義晴・渋谷知子・奥野員敏 (1992) イネ (*Oryza sativa*) のアレロパシー—プラントボックス法によるアレロパシーを持つ可能性のあるイネの探索—. 雑草研究, 37(別), 158-159
 18. 福島祐助・大隈光善・田中浩平 (1995) 九州北部の水稲早期栽培における雑草の発生消長と除草剤の処理適期. 雑草研究, 40(1), 1-7
 19. Garrity, D.P., M.Movillon and K.Moody (1992) Differential weed suppression ability in upland rice cultivars. Agron. J., 84, 586-591
 20. Gibson, K.D., J.E.Hill, T.C.Foin, B.P.Caton and A.J.Fischer (2001) Water-seeded rice cultivars differ in ability to interfere with watergrass. Agron. J., 93, 326-332
 21. Guyer, R. and W.Koch (1989) Competitive effects of *Echinochloa crus-galli* and *Monochoria vaginalis* in tropical irrigated rice. Proc. 12th Asian-Pacific Weed Sci. Soc. Conf., 195-202
 22. Hagimoto, H. (1970) The herbicidal activity of 2-amino-3-chloro-1, 4-naphthoquinone. Weed Res., 10, 11-17
 23. Hanf, M. (1943) Keimung von Unkräuterun unter verschiedenen Bedingungen im Boden. Landw. Jahrb., 93(2), 169-259
 24. 畑克利・大塚一雄・青木美里・倉持仁志 (1998) スルホニルウレア系除草剤抵抗性ミゾハコベの発現. 雑草研究, 43(別), 28-29
 25. 池田芳 (1982) チオールカーバメート系除草剤, MY-93の除草特性. 植物の化学調節, 17(2), 163-169.
 26. 石倉教光・曾我義雄 (1982) ホタルイ属雑草の生態と防除に関する研究 第3報 イヌホタルイ種子の発芽ならびに出芽. 雑草研究, 27(4), 278-282
 27. 伊藤一幸 (2000) 諸外国の水田における除草剤抵抗性雑草の発生状況. 植調, 34(5), 163-168
 28. 伊藤一幸・内野彰・渡邊寛明 (1998) 秋田県大曲市に出現したスルホニルウレア系除草剤抵抗性のキカシグサについて. 雑草研究, 43(別), 40-41
 29. Itoh, K., G.X.Wang and S.Ohba (1999) Sulfonylurea resistance in *Lindernia micrantha*, an annual paddy weed in Japan. Weed Res., 39, 413-423
 30. 岩切敏 (1964) 水稲植被の繁茂にともなう水面熱収支特性の変化について. 農業気象, 19(3), 89-95
 31. 岩崎桂三 (1983) ホタルイ類の生態と防除. 雑草研究, 28(3), 163-171
 32. Jennings, P.R. and R.C.Aquino (1968) Studies on competition in rice. III. The mechanism of competition among phenotypes. Evolution, 22, 529-542
 33. Johnson, D.E., M.Dingkuhn, M.P.Jones and M.C.Mahamane (1998) The influence of rice plant type on the effect of weed competition on *Oryza sativa* and *Oryza glaberrima*. Weed Res., 38, 207-216
 34. 加村崇雄 (1993) 風乾土たん水後の急速な酸化還元電位の低下. 新潟大農研報, 45, 125-130
 35. 笠原安夫 (1952) 雑草種子の発芽の研究 第4報 雑草種子の発芽に及ぼす覆土の厚さの影響. 農学研究, 40(4), 169-178
 36. 笠原安夫 (1968) 日本雑草図説—種子, 幼植物および成植物—. 養賢堂, 358-359p.
 37. 片野学 (1986) 自然農法水田における水稲栽培に関する研究Ⅷ. 湿田・乾田における水稲の生育, 収量ならびに雑草生態について, 熊本県下の一事例. 九州東海大農紀要, 5, 15-21
 38. 片岡孝義・金昭年 (1977) 数種雑草種子の休眠覚醒の貯蔵条件による差異. 雑草研究, 22(3), 156-158
 39. 片岡孝義・金昭年 (1978) 数種雑草種子の発芽時の酸素要求度. 雑草研究, 23(1), 9-12
 40. 片岡孝義・金昭年 (1978) 数種雑草種子の出芽深度. 雑草研究, 23(1), 13-19
 41. Kawaguchi, S., Y.Takeuchi, M.Ogasawara, K.Yoneyama and M.Konnai (1997) Allelopathic potential of rice seed (*Oryza sativa* L.) on seed germination of *Monochoria vaginalis* var. *plantaginea*. J. Weed Sci. Tech., 42(3), 262-267
 42. Kawaguchi, S., K.Yoneyama, T.Yokota, Y.Takeuchi, M.Ogasawara and M.Konnai (1997)

- Effects of aqueous extract of rice plants (*Oryza sativa* L.) on seed germination and radicle elongation of *Monochoria vaginalis* var. *plantaginea*. Plant Growth Regul., 23, 183-189
43. Kawano, K., H.Gonzales and M.Lucena (1974) Intraspecific competition, competition with weeds, and spacing response in rice. Crop Sci., 14, 841-845
44. Khush, G.S. (1996) "Genetic improvement of rice for weed management". Herbicides in Asian rice: Transitions in weed management. Naylor, R. ed. Manila, Inst. for Int. Stud., Stanford Univ., Palo Alto, CA and IRRI, 201-207p.
45. 小荒井晃・森田弘彦 (2002) 秋田県および茨城県におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性生物型コナギの出現. 雑草研究, 47(1), 20-28
46. Koarai, A. and H.Morita (2003) Evaluation of the suppression ability of rice (*Oryza sativa*) on *Monochoria vaginalis* by measuring photosynthetic photon flux density below rice canopy. Weed Biol. Man., 3(3), 172-178
47. 小荒井晃・森田弘彦・服部眞幸・芝山秀次郎 (2002) イネ初の水抽出液を用いた寒天培地によるコナギの培養法. 雑草研究, 47(1), 14-19
48. 小荒井晃・森田弘彦・李度鎮・伊藤一幸・渡辺寛明・芝山秀次郎・宮原益次 (1998) 22年間耕土下層に埋土した水田雑草種子の発芽率. 雑草研究, 43(別), 224-225
49. 小荒井晃・芝山秀次郎 (2001) 水田の代かき後における数種一年生雑草の発生消長と出芽深度. 雑草研究, 46(1), 5-12
50. 小荒井晃・芝山秀次郎 (2002) 代かき前の水田土壌の水分条件が数種一年生雑草の発生に及ぼす影響. 雑草研究, 46(4), 282-290
51. 小荒井晃・住吉正・児嶋清・大段秀記 (2003) 粗飼料用イネ移植栽培におけるヒメタイヌビエの生育に及ぼすイネ品種の影響. 雑草研究, 48(4), 222-234
52. 古原洋・今野一男・竹川昌和 (1999) 北海道におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性イヌホタルイ (*Scirpus juncooides* Roxb. var. *ohwianus*. T. Koyama) の出現. 雑草研究, 44(3), 228-235
53. 古原洋・山下英雄・山崎信弘 (1996) 北海道における水田雑草ミズアオイのスルホニルウレア系除草剤抵抗性. 雑草研究, 41(別), 236-237
54. Kuk, J. and I-M.Chung (2000) Allelopathic potential of rice hulls on germination and seedling growth of barnyardgrass. Agron. J., 92(6), 1162-1167
55. 草薙得一 (1984) ウリカワの生態と防除. 雑草研究, 29(1), 11-24
56. 松尾和人・根本正之 (1995) メタクリル樹脂フィルターを用いた緑陰環境装置の試作. 雑草研究, 40(2), 110-113
57. 宮原益次 (1965) ノビエの個生態. 雑草研究, 4, 11-19
58. 宮原益次 (1968) 水田雑草群落の耕種操作による変化. 雑草研究, 7, 22-28
59. 宮原益次 (1972) 水田雑草タイヌビエ種子の休眠性に関する生理生態学的研究. 農事試研報, 16, 1-62
60. 森島啓子 (1981) "植物生理活性物質に対する抵抗性の検定法". 農薬実験法 3 除草剤編. 深見順一・上杉康彦・石塚皓三・富沢長次郎編. ソフトサイエンス社, 474-479p.
61. 森田弘彦 (1997) "第2章 水田編". 除草剤便覧 選び方と使い方. 農山漁村文化協会, 75-209p.
62. 村岡哲郎 (2000) イヌホタルイの発根への影響を利用したスルホニルウレア抵抗性の簡易検定法. 植調, 34(2), 67-71
63. Ni H., K.Moody, R.P.Robles, E.C.Paller Jr. and J.S.Lales (2000) *Oryza sativa* plant traits conferring competitive ability against weeds. Weed Sci., 48, 200-204
64. 野田健児・江口末馬 (1969) 雑草の生態に関する研究 第2報 雑草の発生深度と幼苗期生態について. 日本雑草防除研究会第8回講要, 77-79
65. Noda K., K.Ozawa and K.Ibaraki (1968) Studies on the damage to rice plants due to weed competition (Effect of barnyardgrass competition on growth, yield and some eco-physiological aspects of rice plants). Bull. Kyushu Agri. Expt. Sta., 13, 345-367
66. 小笠原勝・渡辺裕美子・尾川新一郎・近内誠登

- (1990) 新しい除草剤作用検定法としての種子根伸長テスト. 雑草研究, 35(2), 95-101
67. Ranasinghe, L.L., and G.D.Crabtree (1999) Plant characteristics associated with rice (*O. sativa*) - barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) competition., Proc. 17th Asian - Pacific Weed Sci. Soc. Conf., 99-104
68. 佐合隆一 (1991) 水田雑草の発生診断と除草剤のローテーション使用. 植調, 25(5), 195-204
69. Seefeldt, S.S., J.E.Jensen and E.P.Fuerst (1995) Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. Weed Tech., 9, 218-227
70. Shibayama, H. and J.F.Worley (1976) Growth responses of barnyardgrass and bearded sprangletop seedlings to benthocarb. Weed Sci., 24(3), 276-281
71. Smith, R.J.Jr. (1974) Competition of barnyardgrass with rice cultivars. Weed Sci., 22, 423-426
72. 住吉正 (1989) 湛水土壤中におけるイヌホタルイ種子の二次休眠に及ぼす貯蔵条件の影響. 雑草研究, 34(1), 62-64
73. 住吉正 (1996) イヌホタルイ種子の一次休眠に及ぼす成熟時期の影響. 雑草研究, 41(4), 302-309
74. 住吉正 (1998) 湛水土壤中におけるタイワンヤママイ (*Scirpus trifolia* L.) 種子の二次休眠に及ぼす貯蔵温度の影響. 雑草研究, 43(3), 237-243
75. 鈴木光喜・須藤孝久 (1975) 水田雑草の発生生態 第1報 温度と出芽との関係. 雑草研究, 20(3), 105-109
76. 鈴木光喜・須藤孝久 (1975) 水田雑草の発生生態 第2報 出芽期間と出芽率. 雑草研究, 20(3), 109-113
77. 鈴木光喜・須藤孝久 (1975) 水田雑草の発生生態 第3報 水稲稚苗移植田における雑草の発生消長と雑草害. 雑草研究, 20(3), 114-117
78. Suzuki, T., T.Shiraiwa and T.Horie (2002) Competitiveness of four rice cultivars against barnyardgrass, *Echinochloa oryzicola* Vasing, with reference to root and shoot competition. Plant Prod. Sci., 5(1), 77-82
79. 鈴木富治 (1917) “第14章 除草”. 稲と米. 丸山舎書籍部, 149-152p.
80. 橘雅明・渡邊寛明 (2001) 空間占有体積による水稲品種のタイヌビエ抑草力評価法 第2報. 雑草研究, 46(別), 86-87
81. 高橋昌一 (1999) 耐雑草性 (3). 植調, 33(4), 130
82. 高見晋一・菅谷博・鳥山和伸 (1989) 水田水・地温の簡易測定法. 農業気象, 45(1), 43-47
83. Tongma, S., K.Kobayashi and K.Usui (1997) Effect of water extract from Mexican sunflower [*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray] on germination and growth of tested plants. J. Weed Sci. Tech., 42(4), 373-378
84. 内野彰 (1999) スルホニルウレア抵抗性水田雑草の迅速検定法. 植調, 33(9), 354-360
85. 内野彰・伊藤一幸・汪光熙・橘雅明 (2000) 東北地方におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性アゼナ類2種1変種の出現と各種除草剤に対する反応. 雑草研究, 45(1), 13-20
86. 内野彰・渡邊寛明 (2000) アゼトウガラシ属雑草の葉齢・葉位によるアセト乳酸合成酵素活性の差異. 東北雑草研究会2000要旨集, 16
87. Uchino, A., and H.Watanabe (2002) Mutations in the acetolactate synthase genes of sulfonylurea-resistant biotypes of *Lindernia* spp. Weed Biol. Man., 2(2), 104-109
88. Uchino, A., H.Watanabe, G.X.Wang and K.Itoh (1999) Light requirement in rapid diagnosis of sulfonylurea-resistant weeds *Lindernia* spp. (Scrophulariaceae). Weed Tech., 13, 680-684
89. 汪光熙・草薙得一・伊藤一幸 (1996) ミズアオイとコナギの種子の休眠, 発芽, 出芽特性の差異. 雑草研究, 41(3), 247-254
90. 汪光熙・草薙得一・伊藤一幸 (1997) ミズアオイとコナギの生育並びに種子生産に対する播種時期, 遮光および施肥量の影響. 雑草研究, 42(2), 135-143
91. 汪光熙・渡邊寛明・内野彰・伊藤一幸 (1998) スルホニルウレア系除草剤抵抗性生物型のキクモの出現. 雑草研究, 43(別), 38-39
92. Wright, K.J., G.P.Seavers, N.C.B.Peters and M.A.Marshall (1999) Influence of soil moisture on the competitive ability and seed dormancy of

- Sinapis arvensis* in spring wheat. *Weed Res.*, 39 (4), 309-317
93. Wright, T.R., N.F.Bascomb and D.Penner (1998) Biochemical mechanism and molecular basis for ALS-inhibiting herbicide resistance in sugarbeet (*Beta vulgaris*) somatic cell selections. *Weed Sci.*, 46, 13-23
94. 山根一郎 (1961) ガス分析法並びに水田土壌におけるガス成分の消長に関する研究. 東北大農研彙報, 12, 261-367
95. Yamasue, Y., K.Ueki and H.Chisaka (1987) Seed dormancy and germination of *Echinochloa oryzicola* Vasing.: An observation through respiration and several enzyme activities. *Weed Res. (J. Weed Sci. Soc. of Jpn)*, 32 (3), 188-197
96. 吉岡俊人 (1988) 水田雑草タイヌビエの不斉一発生に関する種子生態学的研究. 京都大学農学部博士論文, 1-76
97. 吉岡俊人・山末祐二・植木邦和 (1985) タイヌビエの不斉一発生に関する種子生態学的研究 1. 種子重及び登熟日の着粒位置による個体内変異. 雑草研究, 30 (1), 58-64

Studies on Seasonal Changes in the Emergence of Annual Broadleaved Weeds and the Ability of Rice Cultivars to Suppress Them in Paddy Fields

Akira Koarai*

Summary

Herbicides effective against broadleaved weeds have been most widely used to control weeds in paddy rice (*Oryza sativa* L.) production in Japan since the 1960s. Annual broadleaved weeds remain a serious problem, however, due to the seed longevity in the soil, the variation of seasonal changes in the emergence and the occurrence of herbicide-resistant biotypes. The objectives of this study were to investigate seasonal changes in weed emergence in paddy fields, to identify herbicide-resistant biotypes of *Monochoria vaginalis* (Burm. f.) Kunth, and to clarify the growth characteristics of paddy rice transplanted in early and normal seasons for suppressing *M. vaginalis*.

1. Seasonal changes in the number and depth of emergence of annual broadleaved weed were investigated in paddy soil. Such weeds infest Japanese paddy fields even after application of herbicides. Emergence patterns and depth were determined for seedlings of *M. vaginalis*, *Lindernia* spp., *Elatine triandra* Schk. var. *pedicellata* Krylov, *Rotala indica* (Willd.) Koehne var. *uliginosa* (Miq.) Koehne, *Ammannia multiflora* Roxb., and *Cyperus difformis* L. in paddy soils puddled and leveled in mid-April, May, June, and July 1990.

The number of seedlings increased as puddling was delayed from April to June for *M. vaginalis*, *L. procumbens*, *E. triandra* and *R. indica* var. *uliginosa*, and to July for *A. multiflora* and *C. difformis*. Almost all species emerged within 2 weeks after puddling. The emergence depth of seedlings, determined by the length of their underground parts, generally corresponded to soil layers within 5.0 mm of the surface. These seedlings seldom emerged from soil layers 5.0 to 7.0 mm deep. *C. difformis* emerged from deeper than other species. The number of seedlings emerging from the upper 3.0 mm of soil increased with delay in puddling time. The number of seedlings emerging from soil layers over 3.0 mm deep and the maximum emergence depth were constant when puddling time was delayed.

2. The emergence of the above weed species was investigated in paddy soils under different moisture conditions before puddling in mid-April, May, June, and July 1991 and 1992.

The number of emerging seedlings other than for *M. vaginalis* and *R. indica* var. *uliginosa* increased in dry soils from April to puddling when puddling was delayed from April to July. The number of weeds remained almost constant in highly moist soils from April to puddling when puddling was delayed from April to July. The number was lower in highly moist soils during the 10-day period before puddling than in the previous case. The number of *M. vaginalis* weeds was almost constant in paddy soils under different moisture conditions from April to puddling. The number of *R. indica* var. *uliginosa* decreased in paddy soils under different moisture conditions from April to puddling. Weed emergence patterns and depth were similar in paddy soils under different moisture conditions from April to puddling.

3. A germination promoter for *M. vaginalis* was extracted from 100 g of unhulled rice or 20 g of rice hulls with 1,000 ml distilled water at 5°C during 48 hours. Thereafter, water was filtered and diluted 2-fold with distilled water and used for 0.5% agar culture media in plant boxes, in which *M. vaginalis* seeds were sown at 1 mm. Distilled water was used for 0.5% agar culture media in boxes as untreated controls.

M. vaginalis seeds germinated well at incubation between 20 and 25°C in agar media of the water extract of unhulled rice. Seminal roots were a maximum length at 30°C incubation in agar media. Seed germination of *M. vaginalis* was great in agar media of the water extract of unhulled rice diluted 2 or 4 times (by volume) and in agar media of the water extract of rice hull diluted 2 times.

Seed germination and seminal root and cotyledon length of *M. vaginalis* were determined after seeds were cultured in agar media consisting of the water extract of unhulled rice of 43 rice cultivars, including japonica and indica types at 30°C (light) - 25°C (dark) during 7 days. The germination rate of *M. vaginalis* seeds in agar media of untreated controls was 13.3%, while that in agar media of the water extract of unhulled rice of all cultivars ranged from 78.3% to 96.7%. Seminal roots of *M. vaginalis* seedlings were longer in agar media of the water extract of unhulled rice of all cultivars except for 3, compared to media of untreated controls. Cotyledons of *M. vaginalis* seedlings grew longer in agar media of the water extract of unhulled rice cultivars than in media of untreated controls.

4. Susceptibility of *M. vaginalis* to bensulfuron-methyl was investigated in strains collected from 15 paddy fields in Akita, Ibaraki, and Gifu Prefectures in eastern Japan, where the species grows profusely. Susceptibility was assayed based on the effect of the application of bensulfuron-methyl on the seminal root length in agar media. *M. vaginalis* seedlings raised from seeds collected from a paddy field in Kyowa, Akita Prefecture, and from 3 paddy fields in Miho, Ibaraki Prefecture, were found to be resistant to bensulfuron-methyl, where combination products of sulfonylurea herbicides had been applied for more than 3 consecutive years. However, the resistant biotype of *M. vaginalis* was controlled by mefenacet and pretilachlor in the agar culture medium test. The biotype of *M. vaginalis* resistant to bensulfuron-methyl displayed cross-resistance to other sulfonylurea herbicides in pot experiments. A combination of sulfonylurea herbicides including mefenacet, pretilachlor or benthocarb, and pyrazolate controlled the sulfonylurea-resistant biotype of *M. vaginalis* effectively when herbicides were applied at the one-leaf stage in pot experiments.

5. Field experiments involving 8 cultivars were conducted in 1998 and 16 cultivars in 1999 to study the ability of rice to suppress *M. vaginalis* through light competition. Dry weights of *M. vaginalis* shoots in early season culture exceeded those in normal season culture of all rice cultivars. The relative photosynthetic photon flux density (R-PPFD), calculated as the ratio of the photosynthetic photon flux density (PPFD) below the rice canopy to that measured above the rice canopy, varied with the cultivar. A strong linear correlation was observed between the mean R-PPFD 29-35 days after transplanting (DAT) ($r^2=0.80$; $p<0.01$ in 1998; $r^2=0.63$, $p<0.001$; and $r^2=0.93$, $p<0.001$ in 1999), or 36-42 DAT ($r^2=0.66$, $p<0.05$ in 1998; $r^2=0.72$, $p<0.001$; and $r^2=0.97$, $p<0.001$ in 1999), and the dry weight of *M. vaginalis* shoots at roughly 60 DAT. Data from the 3 experiments was pooled into 1 regression line because intercepts and regression coefficients did not differ significantly. r^2 of combined regression was highest when R-PPFD was expressed as the mean of measurements during 14 days (from 29 to 42 DAT; $r^2=0.81$, $p<0.001$). The shortest period for measuring mean R-PPFD to obtain a meaningful relationship with *M. vaginalis* shoot dry weight was 7 days (from 29 to 35 DAT; $r^2=0.78$, $p<0.001$). For that same period, relationships between *M. vaginalis* shoot dry weight at 60 DAT and the rice tiller number or leaf area index (LAI) at ground level were weak. We found a negative relationship between *M. vaginalis* shoot dry weights at 60 DAT

and rice LAI measured 20 cm above the ground, plant heights, and rice shoot dry weight, but these coefficients of determination were smaller than those calculated by R-PPFD for the same period. Thus, the ability of rice to suppress *M. vaginalis* is evaluated most accurately by measuring mean R-PPFD below the rice canopy for 7 days (from 29 to 35 DAT) than by measuring rice LAI, plant height, or shoot dry weight.

6. Our results should help improve paddy weed management for sustainable agriculture in Japan.