

環境保全型農業における雑草防除と除草剤の役割

児嶋 清*

Weed management in eco-friendly agriculture

Kiyoshi Kojima*

はじめに

「環境保全型農業」の推進が農業における主要なキーワードの一つになって約10年が経過し、第1表に示すように行政的には様々な取り組みがなされてきた。JAS法の改正などどちらかと言えば消費・流通サイドの施策が多く、生産者サイドからみた場合に「環境保全型農業」を推進するためにはどのような技術を利用したらよいか必ずしも明確になっていない。

環境保全型農業対策室のホームページ (<http://www.maff.go.jp/eco.htm>) に「環境保全型農業」について次のような定義が載っている。「農業の持つ物質循環機能を生かし、生産性との調和などに留意しつつ、土づくり等を通じて化学肥料、農薬の使用等による環境負荷の軽減に配慮した持続的な農業」。

これではなかなか具体的なイメージがつかめないと思

う。長野県農政部(1994)が作成した「環境保全型農業技術の手引き」がわかりやすい(第1図)。そこには現在の一般的な農業から肥料・農薬等の資材投入量を徐々に減らす一方、有機物施用量を最大にする環境保全型農業の姿へと誘導していく考え方が述べられている。化学合成資材を否定する有機農業は個性化農業の一つとして位置づけ環境保全型農業とは別に推進していくとしている。

こうした観点で環境保全型農業における雑草防除技術のあるべき姿を考えてみると、省力性の犠牲をできるだけ少なくしつつ除草剤への依存度を下げる工夫が求められているといえよう。さらには除草剤の水系への流出を阻止し、周辺生物への悪影響を無くすことが重要である。

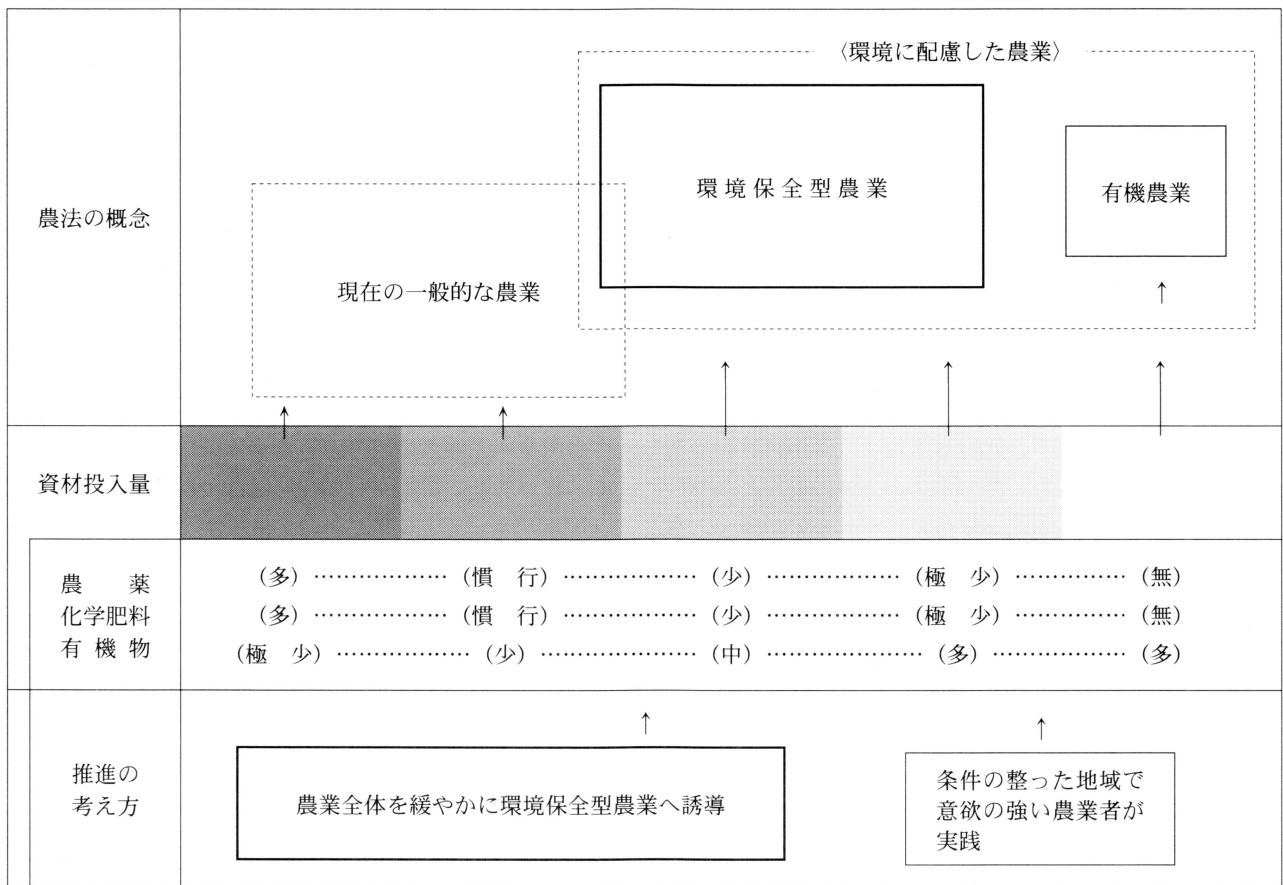
耕地における雑草の防除体系は、荒井(1961)の提示した「耕種的・生態的防除法」、「物理的・機械的防除法」、「化学的防除法(除草剤)」(第2図)に近年開発が

第1表 環境保全型農業に関する農水省の施策の歩み(抜粋)

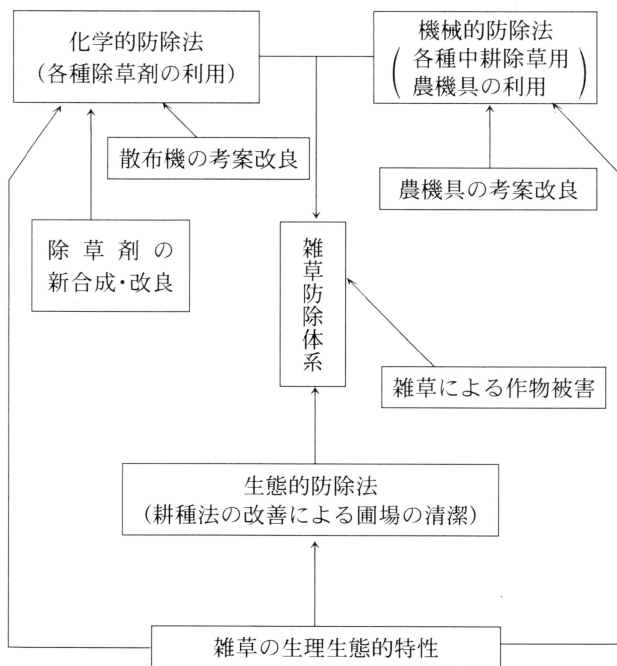
1989年 5月	農林水産省内に「有機農業対策室」設置
1992年 4月	有機農業対策室を改め「環境保全型農業対策室」
1992年 10月	「有機農産物等に係る青果物等特別表示ガイドライン」制定
1994年 4月	農林水産省内に環境保全型農業推進本部設置
1996年 12月	「有機農産物及び特別栽培農産物に係る表示ガイドライン」に改訂
1997年 2月	「環境保全型農業推進憲章」制定
1997年 12月	「ガイドライン」を改訂(米、麦を追加)
1998年 12月	農政改革大綱・農政改革プログラム
1999年 7月	食料・農業・農村基本法成立
1999年 7月	JAS法の一部改正(生鮮食品の原産地表示、有機食品の表示等)
1997年 10月	「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律」が施行
2000年 3月	食料・農業・農村基本計画が閣議決定
2001年 4月	「特別栽培農産物に係る表示ガイドライン」に改訂(有機を削除)

環境保全型農業対策室のホームページ (<http://www.maff.go.jp/eco.htm>) より

* 中央農業総合研究センター耕地環境部 〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1
National Agricultural Research Center, 3-1-1 Kannondai, Tsukuba, Ibaragi 305-8666, Japan



第1図 環境保全型農業の概念と推進の考え方（長野県農政部 1994）



第2図 耕地における雑草防除の技術体系

進んでいる「生物的雑草防除」を加えた4つの個別技術から構成されると考えられる。除草剤の性能が飛躍的に進歩した現在、得てして除草剤以外の技術の重要性を忘れてしまいがちであるが、それぞれの技術の欠点を補い、特徴を生かすように結合させることが肝要である（荒井1961）。本稿では、個々の除草技術の特徴を紹介し、最後に中核技術となる除草剤の環境保全に配慮した使い方を述べることにする。

耕種的・生態的防除

耕種的・生態的防除は、各雑草種の特性を調査して生態的弱点を見出し、耕起法、播種法、灌漑法、作付体系等の耕種的手段をうまく活用して、雑草の発生や増殖に不利になるような状況を作って防除しようとする方法であり、雑草制御技術の根幹をなすものである（荒井ら1951 a, 1951 b, 1955, 1962, 1965）。耕作者は意図せずに生態的雑草制御を行っていることが多い。

1. 栽培法

最も重要なことは適切な栽培管理によって、作物の生育そのものを良好にして雑草との競争力を強化すること

である。同じ作物の栽培でも、初期生育の旺盛な品種（ハイブリッド品種等）の利用、栽植密度を高める、移植する等の方法によって雑草との競合を有利にすることができる（野口ら 1993；佐藤 2000；佐藤ら 2001；西田ら 2002；田中ら 2002）。水稲作の場合、作付けの当初から湛水状態である移植栽培では水生雑草が主体の群落であり、発生が比較的斉一であって発生の期間が短い。水稲による被覆も大きいいため他の栽培法に比較して雑草量は少なく、個体生育量も小さい。播種当初から湛水される湛水直播栽培では、移植栽培と同様に水生雑草が主体の群落であるが、水稲による被覆が移植栽培に比べて小さいので、雑草量が多い。乾田直播栽培では作付けの当初が乾田状態であるため、湿生雑草が主体の群落となり、しかも湿生雑草には個体生育量の大きなものが多く、水稲による被覆が小さいので雑草量は極めて大きい。湛水直播栽培でも最近普及している播種後に落水管理をする場合は乾田直播栽培に準じた雑草発生となる。

2. 作 期

作付時期の早晚及び収穫期の早晚の両面から雑草群落に影響を与える。水稲の場合でみると、早期栽培は普通期栽培に比してタイムピエ、カヤツリグサ、マツバイの発生量が多く、発生期間が長い。雑草量は普通期栽培より少ない。これらの変化は主として気温の高低によるものである。刈取時期の早晚は秋季における雑草の種子及び越冬地下器官の形成量に極めて大きな影響を与え、雑草群落を変化させる。特にミズガヤツリ、クログワイなどの多年生雑草の越冬地下器官は刈取時期が早い早期栽培で形成量が多く、翌年の発生量が増大し、多年生雑草の割合が高い雑草群落に変化していく（坂本 1989）。

3. 耕うん法

耕うん・耕起法もまた雑草防除の重要な手段である。このうち、主に除草を目的とした中耕は機械的防除の範疇に入るもので、ここでは取り上げないが、砕土・整地を目的とした耕起は生態的防除手段として広く利用されている（高林ら 1980, 1981；嶺田ら 1997b）。

耕起法は主として土壤中における雑草の種子及び越冬器官の土中垂直分布を変化させることにより、雑草の発生深度との関係において発生量に大きな影響を及ぼす。荒井（1961）によれば、反転耕は表層の雑草種子を中下層に、下層の雑草種子を上中層に分布させ、雑草種子の土中垂直分布を大きく変化させる。一方、攪拌耕は耕土全層にほぼ均一に雑草種子を分布させる。したがって、雑草種子もしくは越冬地下器官が土壌の表層に多く分布している条件では反転耕によって雑草の発生量は著しく減少する（宮原 1968；高林ら 1980）。

反転耕による雑草発生量の減少は、雑草の種子及び越

冬地下器官を発生深度よりも深い土層に入れることによって現れるものであるから、雑草の種子及び越冬地下器官の土壌下層での生存年数及び発生深度によって発生量の減少程度が変化する。越冬地下器官で増殖する水田多年生雑草の中で、湛水条件では5 cm深の埋土でもほとんど出芽できないミズガヤツリや発生深度の浅いウリカワ（草薙 1984）、発生深度も形成深度も浅いマツバイでは高い効果が期待される。しかし、クログワイやヒルムシロでは越冬地下器官の形成が耕土の中層もしくは下層であり、しかも発生深度が深いので反転耕の効果は小さい。

水田多年生雑草の越冬地下器官は低温・乾燥に弱いため、秋・冬季の耕起が有効な防除法となっている。草薙（1984）は、ウリカワ、クログワイ、ミズガヤツリの越冬地下器官は含水率40%前後で萌芽力を失い、30%になると完全に死滅すること、ミズガヤツリ、クログワイの凍死温度は-5~-7℃であることを明らかにしている。

攪拌耕は、一般に雑草発生抑制効果は反転耕より少なく、むしろ発生を促進する（高林ら 1981）。この現象を利用して、秋に浅く攪拌耕を行って夏雑草の発生を促し、冬の寒さで枯らす方法もある。

砕土および代かきの精粗は雑草の発生活長および発生量に影響する。すなわち、砕土が良好な条件では発生が斉一であり、発生量が多く、水稲栽培の代かきの回数が多いほど発生が斉一となり、発生が少なくなる。ミズガヤツリの塊茎や幼植物、イボクサの茎断片、キシウスズメノヒエスズメの稈切片などは代かき土壌に埋没すると発生できない。

4. 灌 漑 法

水稲の場合、水管理により雑草の発生を制御することが可能である。ノビエ、タマガヤツリ、アゼナ等の湿生雑草（荒井ら 1955b）の発生・生育は初期に15cm程度の深水灌漑をすることによって著しく減少する（荒井ら 1956）。しかし、水生雑草（荒井ら 1955b）のコナギヤキカシグサでは減少程度が小さく、ミゾハコベ、キクモなどのように増加する草種もある（荒井ら 1956；田中ら 2002）。一般に深水によって水稲の草丈は伸長し、分けつの発生が抑えられるが、雑草と水稲の競合関係によっては変動する（佐々木ら 1994）。

5. 田畑輪換

田畑輪換は水田において数年を単位として水田状態と畑状態を交互に繰り返して行う土地利用方式のことで、これまで多くの研究蓄積があり、その技術的効果として土壌の理化学的改善、土壌伝染性病害虫の制御、雑草の制御等が明らかにされてきた。田畑輪換に伴う雑草群落の変化は野口（1992）が総説で詳しく述べているよう

第2表 水稲栽培条件に埋土した畑雑草種子の生存期間（鈴木 1999）

生存期間の区分	雑草名	生存率
長	シロザ	3年5か月後（水稲3作）40%以上
	イヌビエ	
	イヌタデ	
	スカシタゴボウ	
	スベリヒユ	
	オオイヌタデ	
	アキノエノコログサ	
中	メヒシバ	3年5か月後（水稲3作）10%前後
短	イヌビユ	2年5か月後（水稲2作）10%以下～
	ツククサ	3年5か月後 0%
極短	ノボロギク	1年5か月後（水稲1作）～2年5か月後0%
	オニノゲシ	
	ハコベ	

に、輪換直後の草種の交代の結果として輪換畑、輪換田のいずれでも雑草の発生は減少する。さらに輪換に伴う土壌水分の変化が種子や多年生雑草の栄養繁殖器官の寿命に影響を及ぼし、雑草の発生密度を低下させる。このように田畑輪換は耕種の防除技術として極めて効果の高い技術であるといえよう。輪換年数は普通3年程度がよいとされるが、3年5か月間、水稲栽培条件下に埋土した畑雑草種子の発芽力を調べた結果、生存期間の長短は草種によって異なっていた（鈴木 1999）。すなわちシロザ、イヌビエ、イヌタデ、スカシタゴボウ、スベリヒユ、オオイヌタデ、アキノエノコログサは40%以上の種子が生存していたこと（第2表）から田畑輪換を実施する場合は配慮する必要がある。

6. マルチ栽培

ポリエチレンフィルム等を用いたマルチによる雑草防除（佐合ら 1999）は物理的（機械的）防除の範疇に入るものであるが、マルチの材料が稲わらや麦わら等の植物体を使用している場合には耕種の防除ともみなされる。緑肥などの被覆植物（カバークロップ）の利用も耕種の防除の重要な手段である。マメ科植物の休閑期における栽培や樹園地での草生は根粒菌による窒素固定や土壌改良的効果が期待されるだけでなく、被覆による雑草の抑圧も大きな利点で、果樹園や不耕起水田でのレンゲマルチ（嶺田ら 1997）やヘアリーベッチ（Teasdale et al. 1993；藤原ら 2000；花野ら 2000；堀元ら 2002）の効果等が調査された。Teasdale ら（1993）は生きたままのヘアリーベッチとパラコートで枯らしたものと雑草抑制程度を比較し、生きたままの方が抑制効果が大きいことを示した。これは枯殺したことによって透過光のスペクトラムが変化し、枯らしたことにより発芽を抑制する効果が低下したためとしている（第3表）。ヘアリーベッチは葉

に植物生長阻害物質としてシアナミドを含んでいることが最近明らかにされ（藤井ら 2002）、アレロパシー効果も期待されるが、シアナミドの土壌中での動態と雑草の発生や生育との関係解明が望まれる。

7. 密植・密播

飼料畑の難防除雑草の防除にイタリアンライグラスの高密度播種が有効であることが明らかにされている（佐藤 2000；佐藤ら 2001；西田ら 2002）。ダイズの狭畦栽培は、植物の物理的な遮光力を積極的に利用して除草必要期間を短縮する有効な方法である（野口ら 1993）。

8. 有機資材

最近水稲作の除草剤に替わる抑草技術として、米ぬか、ナタネ油粕、屑ダイズ、ボカシなどの有機資材を移植前後に水田に散布し、雑草の発生を抑制する技術が注目されている（赤澤 1999；民間稲作研究所 1999；中山 2002；大場 2002）。これらの有機資材は施用後急速に発酵し、田面水の溶存酸素量、土壌 Eh の低下を起し（中山 2002）、分解によって生成された有機酸が雑草の根に障害を与えて（田中 2001）、雑草の発芽・生育を阻害すると考えられている（民間稲作研究所 1999）。中山（2002）は雑草発生前の米ぬか 100～200g/m² 処理でカヤツリグサ類、アゼナ類、ミゾハコベ、キカシグサ、イヌビエの発芽が抑えられたが、タイヌビエ、イヌホタルイ、コナギでは発芽の抑制程度は小さいが、初期生育が抑えられるとしている。学会等への報告はまだ少ないが、各地で圃場試験が行われており、抑草効果については賛否両論があるようである。一定の効果があることは間違いがないが、水稲への障害程度と残草量の両面から処理時期と処理量についてさらに検討が必要であろう。また、発酵時の悪臭、水田内の生物への影響、田面水の水系への流失

第3表 生きたままのヘアリーベッチと枯らしたものと雑草量の比較 (Teasdale ら 1993)
Biomass of major weed species growing in desiccated or live hairy vetch^a.

Year	Hairy vetch treatment ^b	Weed dry weight			
		ECHCG	SETVM	SETLU	CYPES
		g m ⁻²			
1990	None	28 a	58 a	180 a	97 a
	Desiccated	147 a	137 a	134 a	42 a
	Live	89 a	46 a	28 b	28 a
1991	None	110 a	376 b	32 a	66 a
	Desiccated	57 a	853 a	10 a	11 a
	Live	92 a	199 c	20 a	1 a

^aValues within columns and years followed by the same letter are not significantly different according to the protected LSD test (P=0.05).

^bHairy vetch was either desiccated with paraquat or permitted to remain alive until natural senescence at approximately week 6.

等、除草剤ではそれなりに安全性が確認されているが、有機資材だからそんな心配は要らないと考えるのは単純すぎまいか？

9. 石灰窒素

肥料として用いられる石灰窒素にはノビエ種子に対して休眠覚醒効果があり (石原ら 1966), 水稻休閑期に施用することにより, 不適切な時期にノビエを発芽させて冬の寒さで枯死させることが期待できる。近年, 畑麦の問題雑草となっているカラスムギについても石灰窒素による出芽促進作用が検討されている (浅井ら 2002)。いずれの場合も埋土種子数をどの程度低減する効果があるのかデータの蓄積が望まれる。

機械的・物理的防除

除草剤が出現する以前の雑草防除手段のほとんど全ては, 手取り除草を含む機械的防除であった。ところが除草剤が今日のように急激に普及してくると, それに反比例して機械的防除の利用頻度は低下してしまった。これは本手段が除草剤による防除に比較して, 一般に除草効果が低く, 作業機が高価であり, 作業能率が劣るなどの欠点があるためであろう。しかしながら機械的防除は, 人畜や生態系に対する悪影響がきわめて少なく, 非選択的に防除できることから近年また見直されつつある。本手段の除草効果や作業能率の面については, 現在のところ改良すべき点も多いが, 雑草と作物を識別するセンサーを開発するなどのハイテク技術を駆使すれば, 将来的には除草剤に劣らない能力をもつ除草機 (除草ロボット等) の開発も夢ではないと考えられる。

ここでは機具を用いて雑草を除去する手段 (狭義の機械的防除) だけでなく, 何らかの物理的方法によって雑草を直接的に制御する手段すなわち物理的防除 (広義の

機械的防除) 一般について述べる。

1. 除草機

耕うん機具: 反転耕用機具と攪拌耕用機具とに分けられる。これらは碎土均平用機具とともに圃場を均平, 整地して播種や移植に備えるための用途が主目的であるが, 雑草防除効果も大きい。人力用としては鍬類, 鋤類, トラクタには牽引用としてプラウ, 駆動耕用としてロータリー耕うん機, ロータリープラウなどがある。作用深さは 10 ~ 30cm である。

中耕・除草・培土機具: 人力用には鍬類, 万能, ホー, 動力用には全面除草用機としてウイダー (ウイダーマルチャー), 畦間除草機としてカルチベーター, ステアレイジホー, ロータリーカルチベーター, ロータリーホー, 水田用中耕除草機, 畦内 (株間, 株ぎわ) 除草機としてウイダー, 培土機, 土入機などがある。

水田用中耕除草機は 1958 年をピークに生産が減少し, 1972 年には統計調査も打ち切られた (片岡 1979)。しかし最近では環境保全型農業の推進により, 環境負荷の少ない点が見直されている (古池ら 1993; 佐々木ら 1994; 花形ら 2000)。従来の中耕除草機は株間の除草効果が十分でないという欠点があったが, 最近生研機構で開発された高精度水田除草機 (回転式, 回転・揺動式) は株間の除草効果が向上しており, 無除草区と比較すると十分な除草効果が得られたが, 後述の紙マルチに比べるとやや雑草が多かった。

畑地で中耕除草された雑草が枯死するか否かは土壌水分に大きく左右される。中耕による雑草の引抜きと断根, 除草後の放置と埋没, 土壌水分条件の乾燥区と湿区をそれぞれ組み合わせた 8 処理を施した実験によると (中山ら 1977), 乾燥区の 4 処理はいずれも 90% 前後の高い雑草枯死率を示したのに対し, 湿区の雑草枯死率は引抜き・放置区では約 20%, 断根・放置区では約 40%, 引

第4表 コイの処理密度の違いによる雑草発生量
(大場ら 1998)
(風乾重・g/m²)

区名	調査月日	コイ処理日からの精算気温(°C)	一年生雑草	多年生雑草	合計
0尾区	6/15	265 (1.77)	0.1	0.6	0.7
	7/2	587 (18.4)	2.8	2.4	5.2
	7/16	866 (18.8)	19.2	4.9	24.1
50尾区	6/15		—	0.5	0.5
	7/2		—	—	—
	7/16		—	—	—
100尾区	6/15		—	0.8	0.8
	7/2		—	—	—
	7/16		—	—	—

1) 精算気温の項の () 内は日平均気温。

抜き・埋没区では約60%、断根・埋没区では約80%であった。また、草種によって切断後の茎葉からの水分消失速度が異なっており、これが乾燥に対する耐性と大きく結びついていることも明らかにされている。一方、土壌水分が多いと機具への土の付着や車輪のスリップなどにより作業が困難または不能となる。

2. マルチの利用

マルチ(マルチング)は作物の生育している圃場の土面をプラスチックフィルム、敷わら、敷草等によって被覆して雑草を防除する方法である(佐合ら1999)。マルチ栽培は雑草防除効果のほかに地温の上昇または抑制、土壌の乾燥および侵食防止などの効果も兼ね備えているので、耕種の雑草防除に含める場合もある。マルチでは、主に遮光によって雑草の発生と生育を抑制するが、遮光性の少ない透明プラスチックフィルムでも上手に利用すれば高い除草効果を発揮する。例えば露地野菜においては、通常春～秋の栽培では雑草防除のために黒色プラスチックフィルムが用いられるが、秋～冬の栽培では地温上昇効果の高い透明フィルムが用いられる。この場合フィルムと地表面の間の隙間が大きいと発生した雑草が旺盛に生育し雑草害を及ぼすことがあるが、地表面とフィルムとが密着していると高温により雑草は枯死し、高い除草効果を上げることができる(桑田ら2000)。

マルチ栽培は一般に畑作物、野菜、果樹などの雑草防除に適用されているが、近年、水稻栽培にも応用され始めた。再生紙マルチを張りながら同時にイネを移植できる専用の乗用型再生紙マルチ田植機が開発されている(湯谷ら1993)。再生紙の遮光率は98%であり、一年生雑草の発生および生育を十分に抑制しうるものである(梅崎ら1998; 浅野2001b)。ただし、地表面と再生紙の間に隙間ができると効果が劣るため、再生紙を浮かさないような水管理が必要である。再生紙はマルチの役割

を終える設置30日後頃に溶けて分解するので、プラスチックフィルムのようにイネの収穫時まで残存して収穫作業の妨げになる恐れがない。再生紙の色には白と黒の2色があり、黒マルチのほうが抑草程度が高く、白マルチのように地温の低下はみられず、無マルチ区と同程度であった(土田ら1999)。近年は移植栽培のみならず直播栽培にも応用されつつある(山内2001)。

また、液状活性炭(活性炭、澱粉及び水の混合物)が水稻作用雑草抑制資材として市販されている。10a当たり10kgの製品を雑草の発生前に投入し、水を黒く濁らせる。2回目・3回目は濁りの状態を見て7日前後の間隔で投入する。中苗～成苗またはポット苗による深水栽培が抑草効果を高める。水稻に対する害がないので稚苗にも適用できるが、深水にできないので他の除草法(除草機、アイガモ、米ぬかなど)と組み合わせると良い。

この資材は除草剤のような試験設計を統一した連絡試験が十分行われていない。したがって抑草効果について普遍性のある結論をなかなか出せない状況である。

3. 火・熱の利用

火炎式除草機で直接枯殺する方法と焼畑のように火入れする方法とがある。火炎式除草機(火炎放射機)はふつう耕起前の水田、水田の畦畔、開園前の果樹園など作物の生育していない所で使用されるが、ダイズ生育期用の火炎式株間除草機も開発されている。火炎式除草機では、雑草の地上部や地表面に落下した種子を枯殺するだけでなく病虫害の防除も同時に行うことができる。

火入れは収穫後の水田や畑地、自然草地、焼畑などで一般に行われる方法である。焼畑を想定した実験では、火入れによる土壌温度の上昇は、地下2cmまでの層では200～400℃以上の最高温度出現までの時間が25～57分であるのに対し、地下3～6cmでは100℃以上に上昇せず、所要時間も60分以上であった。メヒシバ、エノコログサの種子は土壌温度の継続時間が71℃以上では1時間、56℃以上では3時間で完全に死滅する。したがって、火入れによって土壌中の大部分の雑草種子が死滅するのは地下3cm程度であろう。

秋冬どりのニンジン、ダイコン栽培において、夏季に透明フィルムを被覆して、太陽熱で地温を上昇させる雑草防除法が検討されている(桑田ら2000)。7月上旬から30日間の透明フィルム被覆により、被覆下5cmの最高地温は50℃以上となり、被覆除去後75日目でのメヒシバなどの発生はほとんどなかった。被覆処理後に耕うんすると抑制効果はみられなくなった。40℃以上の積算時間よりも50℃以上の積算時間が長い方が雑草発生の抑制効果が高かった。草種別にみるとメヒシバは深さ9～11cmまで発生が少なく、アカザは表層0～2cmでの発生は少ないが、それ以下では発生が増加する傾向がみら

れた。フィルム被覆処理の省力化が課題である。

土壌消毒剤臭化メチルの使用制限に伴い、代替技術として熱水土壌消毒法が一部で利用されているが、これを雑草防除に流用し、埋土種子量を直接的に低減させることが試みられている(牛木ら 2002)。50×50cmの方形コンクリートポットに水田耕土を充填し、所定の深さに雑草種子を埋設した後、90℃の熱湯を30L処理した。土壌温度は表層下6cmで最高約60℃にまで達し、50℃以上の温度を約2時間保持していた。約1ヶ月後の雑草発生数は熱水処理区で除草剤処理区より少なかった。5か月後に回収したイネとノビエの種子は全て腐敗していたが、イヌホタルイでは埋設深度3cmでは全ての種子が腐敗していたものの、埋設深度12cmの種子は65%が発芽した。室内実験から熱水処理の効果は乾燥種子では劣り、湿潤種子では70℃・10分の処理で供試した全ての雑草種子が発芽力を失ったが、60℃・10分ではイネ<タイヌビエ<イヌホタルイの順に発芽力を失う種子の割合が高かった。

生物的防除

貝類、甲殻類、魚類、鳥類などの小動物を雑草防除に応用する場合には、通常現場技術としてそのまま普及しても問題にはならない。しかし、微生物や昆虫の利用は農業取締法に規定される「生物農薬」として、化学合成農薬と同等に、その効果や安全性の審査を受けて登録するため、実用化までに多くの時間と経費が必要である(小川 2001)。また、除草目的での事例は少ないものの、生物防除のために導入した天敵による生態系への影響に注意を払う必要性が指摘されている。

1. 鳥類、魚類の利用

水田にアイガモ(合鴨)の幼鳥を放飼して雑草や害虫を食べさせることが無農薬の水稲栽培法として行われている(古野 1992)。雑草防除効果は直接的な食害のほか、水かきによる土壌の攪拌効果がある(江頭 2001)。この農法の経営・技術的な解析の結果、除草効果は高い(磯部ら 1998; 浅野 2001a; 浅野ら 2001)が野犬などからのアイガモの保護や飼育にコストを要するほか、殺菌剤による病害防除が制限されるなど、必ずしも省力的な技術とは言えない。しかし、高付加価値米生産の一環として各地で取り組まれている。また、窒素固定を行う浮遊性シダ植物として知られるアゾラ(オオアカウキクサなど)との複合体系も試みられている(岸田ら 1998)。アゾラはアイガモの餌になると同時に田面を被覆して雑草の発生を抑える効果もある。

魚類の利用では、かつて水路やため池の雑草防除にソウギョの利用が試みられた(土屋 1977)が、近年は水田

でコイを飼養して水稲作雑草も摂食させることが試みられている(野島 1952; 高橋ら 1993; 大場ら 1998; 片野ら 2000;)。大場ら(1998)は、密度と処理時期を検討し、ふ化2年目のコイを水稲移植7日後の雑草発生始めに10a当たり250匹の密度で45日間処理する方法が除草効果が高く、水稲の生育・収量が安定するとしている(第4表)。アイガモと同様にコイの安定的な入手法、利用後の処分法、一時貯留池の確保などが問題点としてあげられている。

2. 軟体動物、甲殻類の利用

スクミリングガイはジャンボタニシの別名と呼ばれ、南アメリカから食用に導入された淡水性の巻き貝である。西日本を中心に広く野性化して湛水直播をはじめ水稲の栽培に被害を与えている。一方、殻高3cmの個体は1日に生重で約3gの雑草を旺盛に摂食することから、生育の進んだ苗の移植や浅水管理などの条件でスクミリングガイを雑草防除に利用できる(大隈ら 1994a)。m²当たり3~7匹の貝が分布する水田で、水管理と水稲苗の大きさを変えた場合のスクミリングガイの除草効果が実証されている(大隈ら 1994b)。この貝の効果的な制御法が未確立なため、既に貝が侵入している水田に限定すべきで、雑草防除の目的でスクミリングガイを新たに導入することは厳に慎むべきである。

カプトエビは脚で土壌表面を攪拌して雑草の幼苗を浮上させる効果を持っているが、これによる水田雑草の防除も引き続き試みられている(片山ら 1974; 松中ら 1974)。カプトエビの耐久卵は保存性に優れていることから生物農薬的な使い方が期待されている。篠川(1997)は卵のふ化率を高める土壌水分条件を検討し、産卵後の土壌を湿潤状態で保存し、常温(25℃)で徐々に風乾して土壌含水率を10%wt以下にした後、水田に施用するのが望ましいとしている。

3. 昆虫類の利用

イトトガ(*Calamotropha shichito* Marumo)の幼虫が水田雑草ミズガヤツリに食入してその生育を強く抑制することから、生物防除の素材としての可能性が調べられている(坂本ら 1973)。カヤツリガサ属の雑草でもイトトガの食入の程度に種間差があり、誘引物質として同属植物に特有なセスキテルペン類が抽出されている(榎本ら 1993)。

ホソメイガ(*Emmalocera* sp.)は水田の主要雑草であるタイヌビエやイヌビエの葉鞘や茎に特異的に食入し、タイヌビエに大きな被害を与えることが認められ、北日本におけるホソメイガの生態の解明を基礎に生物防除の素材としての可能性が検討されている(後藤ら 1991)。

4. 微生物の利用

特定の雑草に寄生する糸状菌を探索して微生物除草剤に活用するための研究が進められている。水田の多年生雑草クログワイの茎葉に寄生する病原菌の中で、*Hyphomycetes* 綱に属する不完全菌が特に顕著に斑紋を形成し、枯死に至らしめることが見いだされ、病原体の多量形成法、宿主範囲、クログワイへの接種条件と除草効果などが調べられた（鈴木 1991）。この菌は新属新種の糸状菌 *Epicoccosorus nematosporus* と同定され、生物的防除剤としての利用法が検討されている。

水稲作の最も普遍的な雑草であるノビエに寄生して枯殺する糸状菌の1種 (*Drechslera monoceras*) が見いだされ、イネには無害であることが認められた（塚本ら 1997）。本菌を対象に、微生物除草剤としての開発が進められた結果、微生物除草剤 MTB-951 の除草効果・葉害の評価が一昨年末に概ね終了し、九州を除く地域で農薬登録のための使用基準が作成された。本剤は2葉期までのノビエを対象とし、ノビエが完全に水没する条件下で効果を発揮するため、ノビエの生育進展速度が速い西南暖地の普通期水稲作では効果がやや不安定である。また、二次的な感染がなく、効果の持続期間が短いため、寒地・寒冷地などのノビエの発生期間が長い地域では葉齢限界の範囲内ですできるだけ処理時期を遅くすることが望ましい。

微生物除草剤の素材としては糸状菌の他に放線菌や細菌も検討の対象になっている。芝生の難防除雑草であるスズメノカタビラに強い病原性を持ち、同属の芝草であるケンタッキーブルーグラスなどには感染しない *Xanthomonas* 属の細菌の一種 (P-482) が見いだされた。この細菌は芝生の刈り込みなどで二次的にも伝搬することが認められ、微生物除草剤としての1997年に農薬登録を取得した（加藤 2001）。

わが国においても微生物除草剤の実用化段階を迎えているが、それは単独で化学除草剤の代替の役割を果たすものではない。当面は、他の代替手段との併用での使用を通して化学除草剤の低減への寄与が期待される。また、微生物除草剤は、同一の化学除草剤の連続使用で問題になる、雑草の薬剤抵抗性変異の増加を避ける役割も期待されている。なお、「微生物は化学物質より安全」とする考えが一部にあるが、その根拠はないので、微生物除草剤の実用化に当たっては化学除草剤の場合と同様に十分な安全性評価を行う必要がある。

5. 植物の持つ化学的機能（アレロパシー）

植物が放出する化学物質は他の生物に何らかの作用をしていると考えられており、その作用をアレロパシーという（藤井 1989）。日本でも約30年前にアレロパシーの概念が紹介され、植生遷移に化学物質が関与していることが示唆された。農業分野におけるアレロパシーの重要

性も指摘され、連作障害や雑草害に関わる化学物質の研究がなされている。一方、植物に含まれる生理活性天然物質の探索が多くの化学者によってなされ、植物の各器官から植物に対して生理活性を持つ化学物質が単離されている。前記のヘアリーベッチ以外にもアルファルファ（中久ら 1994）、ソバ（續 2001）、イヌビエ（浦島ら 1992）、水稲（福島ら 1994）でここ数年アレロパシーが報告されている。しかし、このような植物の持つ化学物質を雑草制御に結びつけようとする研究が始まったのは最近のことであり、まだ実用化技術として確立していない。

①制圧作物と混作・輪作

作物の中には雑草を抑制する機能を持つものがあるといわれ、制圧作物と呼ばれている。制圧作物としてはオムギ、ライムギ、ソルガム、ソバ、スーダングラス、スイートクローバなどがあり、制圧の機構は主に葉の旺盛な被覆力による物理的な遮光、養分や水の競合によると考えられているが、その他に化学物質の関与が示唆されている。

耐雑草性を付与した品種を育成しようとする試みもあり、最近、イネについても研究が始められ、藤井らはイネが他の植物の生育におよぼす影響を実験室レベルで研究し、品種間差のあることを認めているが、圃場条件下では効果は不安定であり（福島ら 1994）、草型との関係や土壌中での化学物質の移動や安定性などの研究がさらに必要である。

②植物由来化学物質の利用

天然物化学の分野では植物の各器官から、植物に対して生活活性を持つ化学物質を単離、同定する研究が行われている。Fujii らは、*Mucuna pruriens* に含まれる1-3, 4-ジヒドロキシフェニルアラニンが植物に対して生育阻害活性を示すことを明らかにした。この様に植物に生活活性を示す化学物質が発見されればその物質を雑草制御に利用することも考えられる。しかし、天然の化学物質であってもその安全性、作用性や土壌中での動態などについては十分な検討が必要である。

環境保全型農業における除草剤の役割

水稲作用除草剤でみると過去にPCPの魚毒問題、水田周辺作物への揮散による葉害問題、などが表面化したのが、その都度原因の解明と適切な対策が実施され、その後の被害が防止されてきた。毒性についてもほとんど全部の除草剤が普通物であり、通常の取り扱いでは問題がない。魚毒性についても大部分が使用上特に留意を必要としないA類に属するものであり、一部にはB類に属するものがあるが、現状では魚介類への被害が問題になることはない。収穫物への残存による影響についても、使用基準

の中に主として使用回数の制限として示されており、これを守っての使用であれば収穫物中の残存量が問題になることはない。

近年安全性の面で心配されるのが、河川水中の除草剤の存在である。これについては公的な機関での調査実施結果が報告されており(丸1991;小竹ら1993;市原ら1999),水田へ散布した除草剤の河川への流出は調査したすべての除草剤で認められている。流出率が除草剤の種類によって著しく異なることが認められ、水溶解度の高いもので流出率が高くなることが明らかにされている。

今後とも省力性が重視される栽培では将来にわたって除草剤の利用が雑草防除の主体となるが、今後の除草剤利用は対象とする水田雑草の発生に対応して、雑草害の防止と次年度以降の発生とを考慮した必要最小限の除草剤を的確に使用することが重要である。そして、使用する除草剤は省力的に使用できて対象雑草に安定して高い効果があるとともに、使用者に安全で生産物に影響がなく、環境に対しての悪影響がないものであることが必要である。そのため必要とする場合には省力性についてはある程度制限することを考慮する必要がある。

除草剤を使用する水田については畦畔造成を的確に実施して漏水の防止を図ることが除草効果の安定とともに、河川への流出を防止するための基本である。除草剤の選択は発生雑草の種類・量に対応しての選択を第一とし、次いで使用する水田の気象条件・土壌条件・耕種法などを考慮して実施するが、今後は公共河川への流出を考慮した選択も必要であり、基準値の低い除草剤では河川流域としての使用面積割合をある程度抑えることも必要になる。

除草剤を無駄なく、効率的に使用するためには雑草発生・雑草害の診断・予測および次年度以降の発生予測が重要であり、高柳(1997, 2002a, 2002b)や佐合(2001)によって研究が進められているが、発生雑草のよりの確で簡便な予測法の開発が望まれる。また、雑草害についてはおおまかに解明されているが、雑草害防止の観点からみた地域・栽培法別の草種別の具体的な防除水準と要防除期間の明確化が必要である。

引用文献

- 赤澤昌弘 1999. 菜種油粕によるノビエ種子の発芽及び発根抑制効果. 岡山県農試研究. 17: 1-3.
- 荒井正雄ら 1951 a. 耕地雑草の生態に関する研究 第 I 報 耕地雑草の発生期・開花期・成熟期について. 関東東山農試研報. 1: 27-36.
- 荒井正雄ら 1951 b. 耕地雑草の生態に関する研究 第 II 報 田・畑及び畦畔に於ける雑草生態の差違について. 関東東山農試研報. 2: 46-56.
- 荒井正雄ら 1955 a. 耕地雑草の生態に関する研究 第 III 報 耕地雑草の発生期による分類型について. 関東東山農試研報. 8: 47-55.
- 荒井正雄ら 1955 b. 耕地雑草の生態に関する研究 第 IV 報 耕地雑草の土壌水湿適応性による分類型について. 関東東山農試研報. 8: 56-62.
- 荒井正雄ら 1956. 水稻の本田初期深水灌漑による雑草防除の研究. 日作紀 第 1 報: 雑草の群落構造及び雑草量に及ぼす影響. 第 2 報: 水稻の生育収量に及ぼす影響. 24: 163-165.
- 荒井正雄 1961. 水田裏作雑草の生態学的研究—水田裏作の雑草防除の基礎. 関東東山農試研報. 19: 1-182.
- 荒井正雄 1962. 水田雑草の生態とその防除法. 雑草研究. 1: 15-22.
- 荒井正雄 1965. 雑草の個生態研究の意義. 雑草研究. 4: 1-10.
- 浅井基朗ら 2002. カラスムギ数集団の出芽特性と石灰窒素処理による出芽促進反応. 雑草研究. 47(別): 240-241.
- 浅野紘臣 2001 a. アイガモ農法連用水田における雑草の発生数の変化. 雑草研究. 46(1): 13-18.
- 浅野紘臣 2001 b. 水田雑草の発生に及ぼす遮光の影響. 雑草研究. 46(1): 31-36.
- 浅野紘臣ら 2001. アイガモ農法水田の継続期間と草種別発生数の変化. 熊本県矢部町の事例. 雑草研究. 46(1): 19-24.
- 江頭和彦ら 2001. 合鴨による水田土壌の物理的攪拌について. 土肥誌. 72(2): 271-273.
- 榎本加代子ら 1993. イットガにより食入されるカヤツリグサ属植物とその誘引物質. 雑草研究. 38(別 I): 150-151.
- 藤井義晴 1989. 他感物質利用による雑草防除. 農業及び園芸. 64: 177-182.
- 藤井義晴ら 2002. ヘアリーベッチ葉に含まれる植物生長阻害物質としてのシアナミドの同定. 雑草研究. 47(別): 154-155.
- 藤原伸介ら 2000. 被覆植物ヘアリーベッチのアレロパシーとマルチ資材としての利用に関する研究. 四国農業試験場報告. 65: 17-32.
- 福島裕助ら 1994. 水稻品種のアレロパシーによる雑草防除の試み. 雑草研究. 39(別 1): 98-99.
- 古池寿夫ら 1993. 水稻用株間除草機の試作と作業性能(第 2 報)—作業性能—. 農機誌. 55: 131-136.
- 古野隆雄 1992. 合鴨ばんざい—アイガモ水稻同時作の実際—. 東京, 農文協.
- 後藤三千代ら 1991. 雑草ヒエに寄生するホソメイガ *Emmalocera* sp. の生態学的研究 VII. 野外における越

- 冬幼虫の休眠覚醒と制御要因. 応動昆. 35(4): 291-296.
- 花形敏男ら 2000. 中耕除草による水田の雑草防除. 山梨総農試研報. 10: 47-55.
- 花野義雄ら 1998. ヘアリーベッチを用いた四国地域の耕地雑草制御: 1993年~1997年場内試験並びに現地圃場調査からの考察. 四国農業試験場報告. 62: 45-70.
- 林恭弘ら 2000. 和歌山県における水田雑草の除草法と発生分布の変化. 和歌山農林水技セ研報. 1: 129-137.
- 堀元栄枝ら 2000. ヘアリーベッチ前作圃場における土壌中の硝酸態窒素濃度の推移. 新潟大学農学部研究報告. 52(2): 169-175.
- 堀元栄枝ら 2002. ヘアリーベッチを導入した水田における雑草抑制とイネ生育. 雑草研究. 47(別): 152-153.
- 市原勝ら 1999. 高知県の河川水における水田施用農薬の消長. 高知農技セ研報. 8: 23-30.
- 一前宣正ら 1997. マツバイが水稲収量および水田雑草の初期生育に及ぼす影響. 雑草研究. 42(2): 144-146.
- 石田茂樹ら 1980. 火炎式除草機に関する研究. 農機学会北海道支報. 21: 90-97.
- 石原信一郎ら 1966. 水稲休閑期におけるノビエ防除に関する研究: 第2報 石灰窒素によるノビエ種子の休眠覚醒効果について. 日本雑草防除研究会講演会講演要旨. 5・6・7: 82.
- 磯部勝孝ら 1998. 栽培法の違いが水田における雑草の発生と水稲の生育・収量におよぼす影響: 特にアイガモ農法に着目して. 日作紀. 67(3): 297-301.
- 片野 学ら 2000. 鯉の放魚密度が水稲の生育, 収量, 雑草生育に及ぼす影響. 九州東海大農紀要. 19: 71-77.
- 片岡孝義ら 1978 a. 数種雑草種子の発芽時の酸素要求度. 雑草研究. 23: 9-12.
- 片岡孝義ら 1978 b. 数種雑草種子の出芽深度. 雑草研究. 23: 13-18.
- 片岡孝義 1979. 水田除草機の利用と改良の方向. 雑草とその防除. 16: 12-15.
- 片山寛之ら 1974. 水田雑草の生物学的制御におけるカブトエビの除草効果に関する研究 第1報 アジアカブトエビの除草効果についての野外実験. 雑草研究. 17: 55-58.
- 加藤正広 2001. 微生物除草剤キャンペリコ (R) 液剤の利用法. 農業および園芸. 76(1): 220-224.
- 岸田芳朗ら 1998. 総合技術としてのアゾラ-合鴨水稲同時作に関する農業生産システム (1): 水稲と合鴨の生産性に及ぼすアゾラの影響. 総合農学. 46(1): 19-23.
- 小荒井晃ら 2001. 水田の代かき後における数種一年生雑草の発消長と出芽深度. 雑草研究. 46(1): 5-12.
- 小林浩幸ら 2002. 不耕起大豆作での冬作緑肥導入による夏生一年生雑草の防除. 雑草研究. 47(別): 126-127.
- 近藤哲也ら 1997. セイヨウジュウニヒトエ (*Ajuga reptans* L.) による雑草抑制と除草時間の短縮. 雑草研究. 42(3): 268-276.
- 小竹美恵子ら 1993. 水田排水が流入する小河川への水田農薬の流出. 愛知農総試研報. 25: 69-79.
- 草薙得一 1984. 水田多年生雑草の繁殖特性の解明と防除に関する研究. 雑草研究. 29: 255-267.
- 桑田主税ら 2000. 太陽熱を利用した畑雑草の防除. 千葉農試研報. 41: 35-44.
- 丸 諭 1991. 水系環境における農薬の動態に関する研究. 千葉農試特報. 18: 1-62.
- 松中昭一ら 1974. 水田雑草の生物学的防除にかんする研究: カブトエビとイトトガ (予報). 日本雑草防除研究会講演会講演要旨. 13: 91-93.
- 嶺田拓也ら 1997a. レングス草生マルチを活用した不耕起直播水稲作における雑草の発消長. 雑草研究. 42(2): 88-96.
- 嶺田拓也ら 1997b. 雑草防除法, 耕起法および作付け様式の異なる水田における埋土種子の比較. 雑草研究. 42(2): 81-87.
- 民間稲作研究所編 1999. 除草剤を使わないイネづくり. 東京. 農山漁村文化協会.
- 宮原益欠 1968. 水田雑草群落の耕種操作による変化. 雑草研究. 7: 22-28.
- 宮原益次 1995. 今後の水稲作用除草剤の利用について. 雑草研究. 40(2): 69-74.
- 長野県農政部 1994. 環境保全型農業技術の手引き.
- 中久加菜ら 1994. アルファルファのアレロパシーに関する研究(2): アルファルファのアレロパシー物質の単離と同定. 日作紀. 63(2): 278-284.
- 中山兼徳 1975. 畑作雑草防除の実態と問題点-地域性と関連して-. 雑草研究. 19: 1-6.
- 中山兼徳ら 1977. 畑における機械的除草の作用効果と土壌水分との関係. 農業技術. 32: 221-223.
- 中山幸則ら 2002. 米ぬかの水田雑草に対する除草効果. 雑草研究. 47(別): 118-119.
- 西田智子ら 1999. 畑雑草種子の生存に及ぼす加熱時間の影響 (英文). 雑草研究. 44(1): 59-66.
- 西田智子ら 2002. 飼料作物の厚播によるワルナスビへの抑制効果. 雑草研究. 47(別): 124-125.
- 野口勝可 1983. 畑作物と雑草の光競合に関する生態学的研究. 農研センター研報. 1: 37-103.
- 野口勝可 1992. 栽培技術の変遷に伴う雑草群落の変化: 田畑輪換. 雑草研究. 37: 1-7.

- 野口勝可ら 1993. 大豆の狭畦栽培による雑草抑圧効果. 雑草研究. 38(別1): 156-157.
- 野島和馬 1952. 水田養鯉と水稻の生育収量. 農業及び園芸. 27(5): 555-557.
- 小川 奎 2001. 環境保全型農業における生物農薬の役割. 農業および園芸. 76: 87-97.
- 大場伸一ら 1998. 水稲無農薬栽培におけるコイ利用の水田雑草防除. 山形農試研報. 32: 21-40.
- 大場伸一 2002. 水田雑草発生に及ぼす米糠水面散布の影響. 雑草研究. 47(別): 116-117.
- 大隈光善ら 1994 a. スクミリングガイの水田雑草食性と水稻苗の食害防止. 雑草研究. 39(2): 109-113.
- 大隈光善ら 1994 b. スクミリングガイによる水田雑草防除. 雑草研究. 39(2): 114-119.
- 佐合隆一ら 1999. 畑地の埋土種子量に対するフィルムマルチの影響. 雑草研究. 44(1): 77-79.
- 佐合隆一 2001. 水田雑草の埋土種子にもとづく発生診断に関する研究. 雑草研究. 46(2): 104-109.
- 坂本真一ら 1973. イツトガによるミズガヤツリの生物学的防除について: 1. 宮崎県におけるミズガヤツリの食害実態とイツトガの食性. 雑草研究. 16: 63-67.
- 坂本真一 1989. 暖地水稲早期栽培における水田雑草の生態と防除に関する研究. 宮崎総農試研報. 24: 1-63.
- 佐々木康之ら 1994. 深水管理と中耕処理における水田雑草の防除. 新潟農試研報. 40: 27-39.
- 佐藤節郎 2000. 暖地飼料畑における数種の主要帰化雑草の耕種を中心とした防除に関する研究. 九州農業試験場報告. 37: 19-78.
- 佐藤節郎ら 2001. 難防除雑草の被害を回避する飼料作物栽培. 雑草研究. 46(1): 41-47.
- 芝山秀次郎 1989. 雑草防除技術 (1) イネ. 農林水産文献解題 15 (自然と調和した農業技術編). 269-272.
- 篠川貴司 1997. アジアカブトエビ *Triops granarius* 卵の孵化率を高める土壌水分条件. 応動昆. 41(4): 237-239.
- 鈴木穂積 1991. 水田雑草クログワイの病原菌による防除. 北陸農試研報. 33: 83-105.
- 鈴木光喜 1999. 水稲栽培条件下に埋土した主要畑雑草種子の発芽力. 雑草研究. 44(1): 80-83.
- 高林 実ら 1980. 耕起法の違いが畑雑草の土中種子の分布と発生に及ぼす影響. 雑草研究. 25: 269-272.
- 高林 実ら 1981. 土壌攪拌の有無が畑雑草の発生に及ぼす影響. 雑草研究. 26: 41-43.
- 高橋真二ら 1993. コイ農法(仮称)における水田雑草防除法と水稻の生育特性について. 日本作物学会中国支部研究集録. 34: 28-29.
- 高柳 繁 1997. ダイズに対するメヒシバの雑草害早期診断プログラムの開発. 雑草研究. 41(4): 281-285.
- 高柳 繁 2002 a. インターネットにより雑草の発生を生産現場で予測する (3) 分散した生産現場発信の埋土雑草種子情報を拠点研究室で解析する. 雑草研究. 47(別): 98-99.
- 高柳 繁 2002 b. 水稲成熟期残存雑草量から次年度雑草発生数の予測. 雑草研究. 47(別): 96-97.
- 田中福代 2001. フィールドから展開される土壌肥料学: 新たな視点でデータを採る・見る 2. 水田における施用有機物の分解と水稻生育. 土肥誌. 72(4): 582-587.
- 田中研一ら 2002. 水稲の千鳥密植・深水管理による無除草剤栽培. 雑草研究. 47(別): 122-123.
- Teasdale, J. R. et al 1993. Weed suppression by live and desiccated hairy vetch (*Vicia villosa*). Weed Sci. 41: 207-212.
- 土屋 実 1977. ソウギョの生態及びソウギョのによる水生雑草防除の展望. 雑草研究. 22: 1-8.
- 土田 徹ら 1999. 再生紙の色の違いが雑草抑制効果及び水稻の生育・収量に及ぼす影響. 新潟農総研報. 1: 23-27.
- 塚本浩史ら 1997. 滴下接種による水田雑草のノビエ (*Echinochloa* spp.) の生物防除剤としての病原糸状菌の評価 (英文). 日植病報. 63(5): 366-372.
- 續 栄治 2001. ソバを用いた雑草防除. 農業および園芸. 76(6): 693-700.
- 梅崎ら 1998. 早期水稲の生育に及ぼす新聞古紙マルチの効果. 日作紀. 67(2): 143-148.
- 浦島三真子ら 1992. イヌビエのアレロパシー. 雑草研究. 37(2): 146-152.
- 牛木 純ら 2002. 熱水散布が埋土種子の発芽に及ぼす影響. 雑草研究. 47(別): 234-235.
- 渡辺 泰 1978. 北海道における畑作雑草に関する生理・生態学的研究. 北農試研報. 123: 17-77.
- 渡辺 泰ら 1981. 耕起時期, 中耕・除草体系の差異が雑草の発生およびダイズ, サイトウの収量に及ぼす影響. 北農試研報. 132: 17-32.
- Willard, C. J. 1954. Weed Control: Past, Present, Prospects. Agronomy Journal. 46: 481-484.
- 山内 稔 2001. 水稲の再生紙マルチ直播における苗立ちと収量. 日作紀. 70(2): 164-172.
- 湯谷ら 1993. 再生紙マルチ水稲栽培について 第2報 水田雑草の発生におよぼす影響. 日作紀. 62(別1): 30-31.