

水田の多年生雑草の生態とその防除

草 薙 得 一

農林水産省農事試験場

Biology and Control of Perennial Paddy Weeds

Tokuichi KUSANAGI

Central Agricultural Experiment Station, Konosu, Saitama 365, Japan

Control of perennial weeds, which have recently begun to grow rampantly in the paddy fields, is creating a new problem in rice cultivation in Japan. The present paper intends to give information on the kinds of perennial weeds grown in paddy fields and their distribution, and to review the ecological characters of the major weeds in Japan and the control measures by herbicides. Those presently causing trouble are *Scirpus hotarui* OHWI, *Alisma canaliculatum* A. BR. et BOUCHE, *Sagittaria trifolia* L., *Sagittaria pygmaea* MIQ., *Cyperus serotinus* ROTTB. and *Eleocharis kuroguwai* OHWI. Among them, *S. hotarui* and *A. canaliculatum* propagating themselves mainly by seeds, are dominant in North Japan, and others which use tubers for propagation, are widely distributed from the eastern part to western districts of Japan. Generally speaking, perennial weeds root deep, and dormancy period of seeds or tubers which rest, is not consistent. Moreover, they grow and decay very slowly. These characteristics do not allow herbicides to bring about a satisfactory result; consequently, the integral control through proper combination of herbicides becomes necessary. Presently emphasis is put on the development and utilization of mixed compounds which are capable of controlling both annual and perennial weeds simultaneously.

生 態

1. おもな種類と分布の現況

最近、水田では全国的に多年生雑草がふえ、防除が大きき問題になっている。とくに多年生雑草の種類がふえてきたことやその発生がしだいに広域化の傾向を強めていることなどは従来にない特徴的な植生変化として注目されている。わが国の耕地雑草の種類は水田と畑を合わせて約 80 科、450 種で、このうち水田雑草が 43 科 191 種といわれている¹⁾。そして水田多年生雑草は水田雑草全体の 1/3 を占める。しかし現在防除上問題になっているおもなものは、ホタルイ、ミズガヤツリ、クログワイ、コウキヤガラ(以上カヤツリグサ科)、ウリカワ、ヘラオモダカ、オモダカ(以上オモダカ科)、セリ、ヒルムシロおよび若干のウキグサ類、藻類など 20 種程度である (Table 1)。

一方、畦畔や水路の雑草についても水田へ容易に侵入してくるものや水路の機能を阻害する雑草はしばしば問

題になる。たとえば前者ではキシウスズメノヒエ、ヨシ、チゴザサ、アゼムシロなどがあり、後者ではヨシ、マコモ、キクモ、ホテアオイ、ササバモ、オオフサモ、キシウスズメノヒエ、イトモなどがある。このほか畦畔、休耕田の雑草は病害虫の媒介源となるため防除を必要とするものも少なくない。とくにイネ科雑草のなかにはイネ縞葉枯病、イネ萎縮病、イネ黒条萎縮病など主要なイネウイルス病の宿主植物となるものが多い^{2,3)}。またサヤヌカグサはイネ白葉枯病菌の冬期の主要な宿主植物となりしかも群生しやすいため地域ぐるみの防除が必要であるといわれている⁴⁾。

これらのうちマツバイ、セリ、ヨシなどは全国に広く分布するが、ヒルムシロ、ヘラオモダカ、ホタルイなどは北海道、東北など寒地や寒冷地に多く、ウリカワ、ミズガヤツリ、クログワイ、キシウスズメノヒエなどは暖地や温暖地に多い。しかし最近、各草種とも発生地域の広域化が進んでおり、とくにウリカワとホタルイではこの傾向が顕著である。一方、多年生雑草のなかには

Table 1 Main perennial weeds in paddy field, creek and levee in Japan.

Family	Scientific name	Growth form ¹⁾	Plant height ²⁾	Adaptability to the soil water ³⁾
<Gramineous weed>				
Gramineae	<i>Paspalum distichum</i> L.	p, b	M	Hygr.
	<i>Isachne globosa</i> O. KUNTZE	t, p	S	Hygr.
	<i>Leersia sayanuka</i> OHWI	t, p	L	Hygr.
	<i>Phragmites communis</i> TRIN.	e	L'	Hygr.
	<i>Zizania latifolia</i> TURCZ.	e	L'	Hydr.
<Cyperaceous weed>				
Cyperaceae	<i>Cyperus serotinus</i> ROTTB.	e	L-L'	Hygr.
	<i>Eleocharis kuroguwai</i> OHWI	t	L-L'	Hydr.
	<i>Scirpus hotarui</i> OHWI	t	M	Hydr.
	<i>Scirpus lineolatus</i> FRANCH. et SAV.	e	S	Hydr.
	<i>Scirpus planiculmis</i> FR. SCHM.	e	L	Hygr.
	<i>Eleocharis acicularis</i> ROEM. et SCHULT. var. <i>longiseta</i> SVENSON	t	S'	Hydr.
<Broad leaf weed>				
Alismatcea	<i>Sagittaria trifolia</i> L.	r	M	Hydr.
	<i>Alisma canaliculatum</i> A. BR. et BOUCHÉ	r	M	Hydr.
	<i>Alisma plantago-aquatica</i> L. var. <i>orientale</i> SAMUELS.	r	L	Hydr.
	<i>Sagittaria pygmaea</i> MIQ.	r	S'	Hydr.
Campanulaceae	<i>Lobelia chinensis</i> LOUR.	p, b	S	Hygr.
Umbelliferae	<i>Oenanthe javanica</i> DC.	p, b	M	Hygr.
Potamogetonaceae	<i>Potamogeton distinctus</i> A. BENNETT	r, b	S'	Hydr.
<Floating weed>				
Lemnaceae	<i>Lemna paucicostata</i> HEGELM.	n	S'	Hydr.
Salvinaceae	<i>Azolla japonica</i> FRANCH. et SAV.	n	S'	Hydr.
Pontederiaceae	<i>Eichhornia crassipes</i> SOLMS	Ps, n	S	Hydr.
<Algae>				
Characeae	<i>Chara brauni</i> GMEL.	b	S'	Hydr.
Zygnemataceae	<i>Spirogyra crassa</i> KÜTZ.	n	S'	Hydr.
<Liverworts>				
Hepaticae	<i>Ricciocarpus natans</i> CORDA	n	S'	Hydr.

1) Growth form: e, Erect form; p, Procumbent form; Ps, Pseudo-rosette form; r, Rosette form; b, Branched form; t, Tussock form; n, Natantia form.

2) Plant height (cm): L', More than 80; L, 60-80; M, 40-60; S, 20-40; S', Less than 20.

3) Adaptability to the soil water: Hydr., Hydrophyte weed, this type grow mostly on arable lands covered with water. Hygr., Hygrophyte weed, this type grow mostly on water-saturated arable lands.

特定の立地に局所的に発生するものもある。コウキヤガラ、ウキヤガラ、ヒメホタルイ、サンカクイなどがその例で、これらの草種は干拓水田や海岸沿いの瘦薄な砂質水田、河川敷などに分布しており、熟田化された水田にはきわめて少ない。なおサジオモダカ、アギナシ、デンジソウ、ミズハコベなどは常在度が低くなってきた。

雑草の分布の緯度や標高による差異は本来、温度や日長に対する適応性の違いに基因する。しかし塊茎の耐凍限界が同じであっても塊茎の土中の形成位置によって分布域が異なったり、また分布は生育地の立地条件とくに土壤の乾湿などによっても変動する。

なお最近、ホタルイ、ミズガヤツリ、キシウスズメ

ノヒエなどでは同一種のなかで、草丈や葉幅、出穂期や塊茎形成期など形態的あるいは生態的な特性の異なる種内変異の存在が認められている。広い範囲に分布する種には普遍的にこのような生態型の分化が見いだされるとい⁵⁾。生態型の分化は日長、温度、風など異なる環境に対する反応、生育地の立地条件の差異など多様な要因によってもたらされ、その分化過程も種によって長短があり、複雑多岐にわたるものと推察される。また自然交雑による系統の派生も多いとみられている。そしてこのような生態型の変異は作物被害や防除効果に差異をもたらす一つの要因になっている。

2. 発生生育

1) 休眠と出芽の特性

種子や塊茎の休眠現象は雑草の発生に変動をもたらす一因となる。実際場面では休眠覚醒時期の早晚や休眠覚醒の斉一性が問題である。たとえばクログワイやオモダカの塊茎には長い休眠がみられ、しかも両草種の休眠覚醒はきわめて不斉一であるため出芽が揃いにくく、防除効果があがりにくい原因の一つになっている。

つぎに休眠が覚醒していても発芽は温度、水分、光、酸素などの外的条件が満たされなければ行なわれない。水田多年生雑草の種子や塊茎の発芽温度は最低 10°C 前後、最適 30~35°C、最高 40~45°C のものが多い。こ

れは一年生雑草種子の発芽温度とほぼ同じである (Table 2)。ただイネ科およびカヤツリグサ科雑草では概して変温で発芽の促進されるものが多い。土壤水分についてはその適応性の違いから乾生雑草、湿生雑草、水生雑草に分けられる⁶⁾。ウリカワ、ヒルムシロなどは典型的な水生雑草であり、オモダカ、ヘラオモダカなども湛水状態でないと出芽しない。しかしミズガヤツリ、クログワイ、ホタルイ (株基部発生) などは畑水分条件でも発生する。ウリカワやオモダカの塊茎は土壤水分が最大容量の 80% 以上では出芽が速やかであるが、60% 以下では土中で発芽しても出芽しないか、出芽しても生育が停止する⁷⁾。

雑草種子は明暗いずれの条件下でも発芽が行なわれるものが多いが、ホタルイ、ヘラオモダカ、セリなどは明所で発芽が促進される。また発芽における酸素要求度は一般に水生雑草では小さく、湿生雑草や乾生雑草では大きい。ミズガヤツリの塊茎は水田多年生雑草の栄養繁殖器官のなかで最も酸素要求度が高く、煮沸水中では水深 10 cm で発芽が不可能になる⁸⁾。水田では代かき後土中 5 cm 程度の浅いところに塊茎が埋没しても湛水状態で経過させるとほとんど出芽しない。しかし乾田状態では地表下 15~20 cm のところからも出芽する。ミズガヤツリが移植栽培よりも乾田直播栽培で発生が著しく、優

Table 2 Temperature for germination of some paddy weeds.

Weed	Propagules	Temperature (°C)			Source
		minimum	optimum	maximum	
<i>Echinochloa crus-galli</i>	Seed	10-15	30-35	40-45	Arai <i>et al.</i> (1962)
<i>Scirpus hotarui</i>	Seed	10	About 35	About 45	Ishikura <i>et al.</i> (1975)
<i>Eleocharis acicularis</i> var. <i>longiseta</i>	Rhizome	About 5	30-35	40-45	Shimajima (1967)
<i>Sagittaria pygmaea</i>	Tuber	10	25-30	30-35	Kojima <i>et al.</i> (1972)
<i>Cyperus serotinus</i>	Tuber	10	30	40-45	Yamagishi (1974)

Table 3 Effects of C₂H₄ and CO₂ on growth and C₂H₄ production of *Sagittaria pygmaea* (Suge *et al.*, 1975).

Condition (Dark)	Length of 1st internode (mm)	Plant height (mm)	C ₂ H ₄ detected (μl/liter)
Sealed control	5.1±0.7	54.0±1.9	0.29
-C ₂ H ₄	0	19.2±1.6	—
-C ₂ H ₄ , -CO ₂	0	11.0±0.6	—
-CO ₂	2.6±0.3	21.8±1.7	0.27
-CO ₂ ; +20 μl/liter C ₂ H ₄	3.2±0.2	52.6±2.4	—
Sealed control, +20 μl/liter C ₂ H ₄	6.3±0.9	87.6±2.2	—

占化しやすいのは主として酸素要求度が高いことと、水分要求度が低いためである。この点ミズガヤツリの塊茎の出芽は湿生雑草としての性格を端的に現わしており、水田雑草としては特異的である。

またホタルイやヘラオモダカなどは不耕地では株基部が主たる繁殖源となるが、株基部の出芽には酸素が必要である。ところが水田では耕起や代かきによって土中に埋没されるためほとんど枯死する。この2草種が水田でおもに種子繁殖を行なうのはこのためである。なおミズガヤツリとは対照的にウリカワやヒルムシロなどは不耕起状態よりも耕起代かきを行ない湛水状態に保つことで出芽が揃いやすい。最近この2草種の発芽や生育がエチレンや炭酸ガスで促進されることがわかった (Table 3)⁹⁾。内生エチレンのほかに湛水によって土壌から発生するエチレンや炭酸ガスが発生育に重要な役割を果たしているのではないかと考えられる。またクログワイやオモダカも還元状態の強い土中から容易に出芽する。

代かき後の発生深度はホタルイ、ヘラオモダカなど種子発生のものでは一年生雑草種子と同様に 1~2 cm 以内、多くは 5 mm 前後である。栄養繁殖器官の場合にはミズガヤツリを除いて形成位置に対応していて一般に深い。クログワイ、オモダカ、ヒルムシロなどは耕土の底盤位置からも容易に出芽する。しかし地下茎や根を伸

ばし、分株を発生するにはある程度の溶存酸素が必要で、その位置は土中深くから芽が伸びてきても地表下 3~5 cm の比較的浅いところである。

一方、栄養繁殖器官の芽の形態や機能は本来、種の特性であるが、出芽、増殖と密接な関係をもっている。オモダカのように塊茎に芽を1個しかもたない草種では地表下 3~5 cm の根出葉の叢生してくるところよりも深い位置で機械的に切除すると株絶やしできる。しかしウリカワ、クログワイのように塊茎に複数の芽を有している草種では最初に出芽した地上部が除去されても貯蔵養分が保有されていれば続いて残りの芽から出芽する。遅発生が多い一つの原因もここにある。

2) 発生消長

雑草の種子や塊茎が出芽するまでには吸水、発芽、幼芽の伸長の3過程を経過する。出芽日数はこの間に温度、土壌の乾湿、耕深などの影響を受けて変動する。一般に出芽歩合は発芽の適温から離れるに従って低下し、そして出芽期間が長くなる。とくに発芽温度の低温限界付近では発生がだらつきやすい。寒地と暖地について発生時期や発生消長を比較して特徴的なことは寒地は暖地よりも代かき後雑草の初発生までの日数が長いこと、また発生始期から発生揃いまでの発生期間が長いことであり、寒地では雑草の発生が著しく緩慢である¹⁰⁾。もちろ

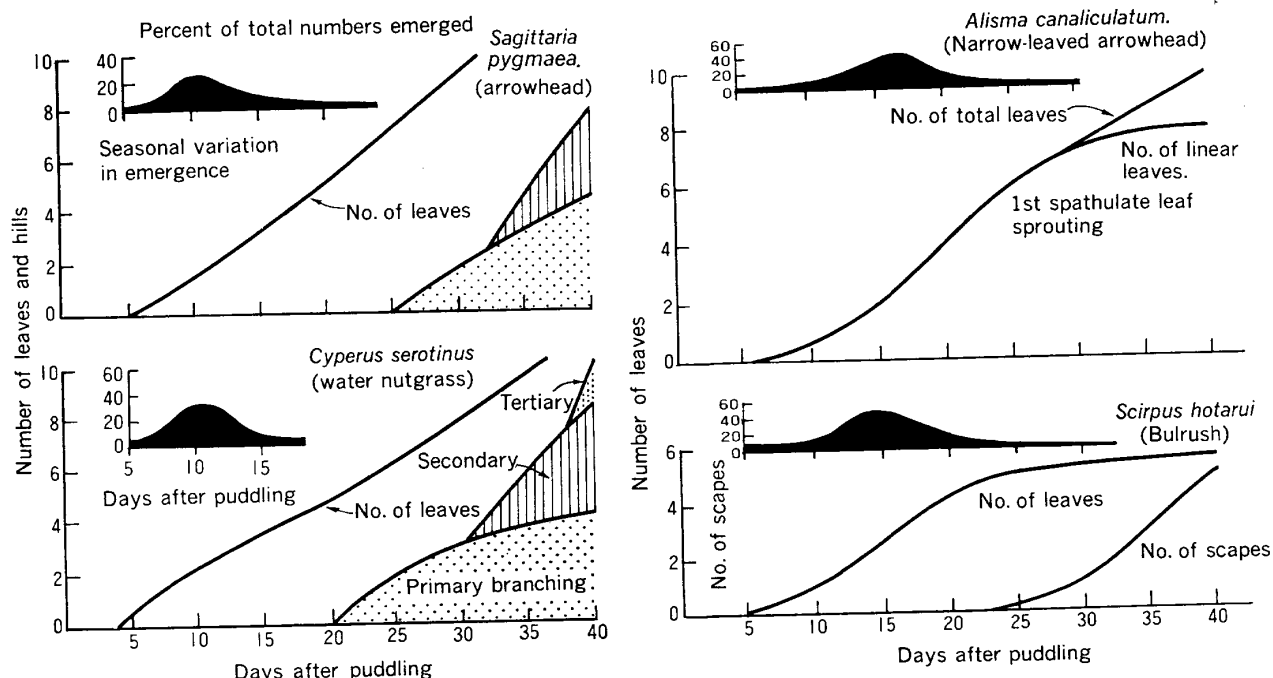


Fig. 1 The seasonal variation in emergence and growth of perennial weeds after puddling. (Kusanagi et al. 1975)

Note: Survey of leaf number and hill number was done about the plants growing in a/400 pot after puddling on June 11. Survey of seasonal variation in emergence was done about plants growing in the field after puddling on June 13.

ん暖地でも早期栽培のように田植時期が早い場合には寒地に類似した発消長を示すようになる。最近、裏作の減少や機械移植栽培の普及に伴い田植時期が全国的に早まっている。一般に田植の早期化は雑草の発消量を多くし、発消期間を長くし、雑草の繁茂を助長しやすい。これは田植時期が早い場合には高温による雑草の二次休眠種子の割合が少なく、発消に好適な期間が長いこと、土壌の還元化の進行がおそいことなど発消の環境がよいためである。おもな多年生雑草の代かき後発消始期までの平均積算温度をみると、ミズガヤツリ（塊茎）100～120°C、マツバイ、ヘラオモダカ（種子）150°C、ホタルイ（種子）180～200°C、ウリカワ 250°C、オモダカ、ヒルムシロ 300°C、クログワイ 400°C である¹¹⁾。すなわち代かき後発消始期までの日数は種子からの発消では5～12日であるが、塊茎からの発消では5～25日で草種によって差異が大きい。なかでもウリカワ、ホタルイ、ヘラオモダカは低温で発消がだらつく傾向が強い。

つぎに筆者らが主要多年生雑草4種について初期生育とくに葉数や分株の発消の推移を調査した結果を示すと Fig. 1 のようである¹²⁾。ウリカワやミズガヤツリの分株

の発消、ホタルイの花茎の抽出など初期における生態上の特徴的な変化はいずれも出芽後20～25日にみられる。発消期間はホタルイ、ヘラオモダカなどは30日以上に及び、ウリカワは発消深度が5～6cm以内では25日以内に発消が終わるが、それ以上土中深くに埋没された場合には30日前後かかる¹³⁾。クログワイやオモダカは代かき前の土壌の乾湿で変動が大きい。土壌が多湿条件の場合には代かき後も出芽が早く、発消期間も25～30日程度でほぼ終わるが、乾田状態では遅発消が多い。

3) 増殖・再生

地上部の生育形態の外形的特徴に重点をおいて増殖形態を三つに分けて特徴を述べることにする (Table 4)。

A. 親株型：地下茎や葡萄茎を出さない単立植物で一年生雑草はこのタイプである。多年生雑草ではホタルイ、ヘラオモダカ、オモダカなどがこれに属する。地上部は地際から分けつするかあるいは根出葉を叢生する。種子生産量が多く、種子繁殖が容易な点に特徴がある。

B. 分株型：根茎植物で地上部に3～5枚の葉をつけると地下茎を伸ばし、地下茎の先端や節から地上茎を単生または叢生して次々とふえてゆく。増殖の程度は

Table 4 Propagules and growth type of perennial weeds in paddy field.

Type of growth	Propagules		Weed
Non-clonal growth type (elect plant without rhizome or stolon)	Tuber	Seed	<i>Sagittaria trifolia</i>
	Seed	Over wintering bud (Basal Corm)	<i>Alisma canaliculatum</i> <i>A. plantago-aquatica</i> var. <i>orientale</i>
	Seed	Over wintering bud	<i>Scirpus hotarui</i>
Rhizome type	Tuber	Seed	<i>Sagittaria Pygmaea</i>
	Tuber	Over wintering bud, Seed	<i>Cyperus serotinus</i> <i>Eleocharis kuroguwai</i> <i>Scirpus fluviatilis</i> <i>Scirpus planiculmis</i> <i>Scirpus lineolatus</i>
	Rhizome	Seed	<i>Eleocharis acicularis</i> var. <i>longiseta</i> <i>Scirpus triqueter</i>
	Bulb	Seed	<i>Potamogeton distinctus</i>
	Runner	Rhizome, Seed	<i>Oenanthe javanica</i> <i>Lobelia chinensis</i> <i>Paspalum distichum</i>

: Main organ of propagation in paddy field

作期のほか遮光、施肥など栽培条件によって異なり (Fig. 2)¹⁴⁾, また同一作期でも発生時期が早いほど水稻との競合を有利に展開して著しい。ミズガヤツリ、クログワイ、ヒルムシロなどはふつう5~6月に発生した1株がイネ刈取ごろには直径1~2mの範囲に広がる¹⁵⁾。発生深度が深く、しかも生育期には地上部を刈り取って

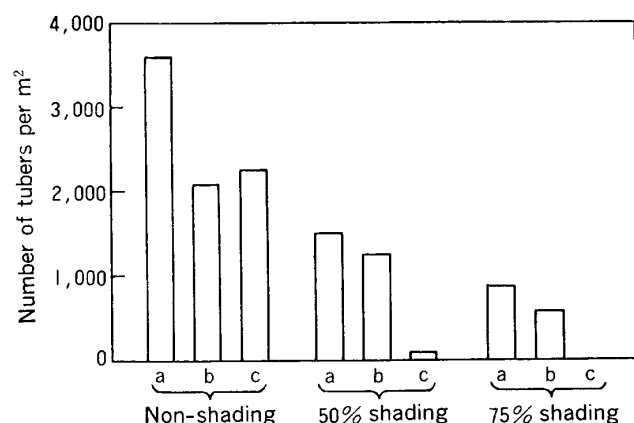


Fig. 2 Effects of fertilization and shading on tuberization of *Sagittaria pygmaea*.

(Itoh *et al.* 1978)

Note: The plants were transplanted on June 18, shaded from July 9 to Oct. 20.

Amount of fertilizer applied

a: 2 kg/a of N, P and K respective,

b: 1 kg/a,

c: Non-fertilization

も再生力が強く防除しにくい。

C. 葡萄型: 葡萄茎が地表または土中の浅いところを横走し、節から芽や根を出して増殖する葡萄茎植物である。茎を切断しても再生がきわめて容易である点に特徴があり、不良な立地や環境に適応する能力が大きい。親株型や分株型には水生雑草が多いが、葡萄型雑草はいずれも湿生雑草である。湿生雑草は生育期間が水生雑草にくらべて長く、水路、畦畔などで繁茂しやすく、休耕田にも侵入しやすい雑草である。

一方、多年生雑草の生態上のもう一つの大きな特徴は再生力が強いことである。セリ、キシウスズメノヒエなどは葡萄茎の切断片から容易に再生し、ヒルムシロも水中茎を切断しても節から発根して増殖する。このように多年生雑草の葡萄茎は再生が容易であり、これらの雑草はロータリ耕では繁殖源を切断してばらまき、増殖を助長することにもなる。この点はミズガヤツリについても同様ながいえる。ミズガヤツリは数個の塊茎が連珠状に連なっており、耕起のさい分断されても各塊茎には側芽があってそこから出芽してくる。多年生雑草の場合には塊茎の形態や塊茎に着生している芽の数によって増殖の態様に著しい変化を生むことになる (Table 5)。

なお、ミズガヤツリやクログワイでは前述のように地上茎は地表下3~5cmのところから叢生し、根や地下茎もその位置から四方へ伸びる。したがって地際で地上部を刈り取っても地中茎の先端の生長点は地表下にある

Table 5 Reproductive organ of perennial weeds in paddy field.

Weed	Vegetative propagules				Seed			
	Form	Diameter (or length) (cm)	One-tuber weight (mg)	Dormancy	Form	1000-kernel weight (mg)	An individual Seeds	Dormancy
<i>Sagittaria pygmaea</i>	Globose-Ovoid (Tuber)	0.3-0.6	75	N	Obovate	380	40	U
<i>Cyperus serotinus</i>	Fusiform (Tuber)	1.0-3.5	250	N	Obovate	270	800	N
<i>Eleocharis kuroguwai</i>	Napiform (Tuber)	0.7-1.3	830	P (Long)	Oval	1,930	10	U
<i>Sagittaria trifolia</i>	Ovoid (Tuber)	0.5-1.5	540	P (Long)	Obovate	460	4,040	P
<i>Potamogeton distinctus</i>	Falcate (Bulb)	0.5-4.0	710	P (Short)	Oval	3,250	50	P
<i>Alisma canaliculatum</i>	Club-shaped (over wintering bud)	—	—	N	Reniform	470	2,510	P
<i>A. plantago-aquatica</i> var. <i>orientale</i>	Club-shaped (over wintering bud)	—	—	N	Obovate	250	—	P
<i>Scirpus hotarui</i>	Ovoid (over wintering bud)	0.2-0.5	—	N	Oval	1,880	3,790	P
<i>S. lineolatus</i>	Fusiform (Tuber)	0.3-0.5	—	U	Oval	70	9	U
<i>S. planiculmis</i>	Ovoid (Tuber)	0.6-1.2	—	U	Obovate	2,500	—	U

Dormancy: N, Nothing; P, Possessing; U, Unknown.

ため温度や土壌水分などの条件が整っていれば再生はきわめて容易である。いうまでもなく早期栽培の稲刈取跡の秋季防除はこの再生作用を利用するもので、再生茎に茎葉処理剤を散布し、繁殖源の形成を阻害する防除法である。

3. 繁殖機構

1) 繁殖様式

雑草の繁殖様式は種子繁殖と栄養繁殖とに大別できる。一年生雑草は種子だけで繁殖するが、多年生雑草は栄養体だけで繁殖するものと、種子と栄養体の両方で繁殖するものがある。水田多年生雑草は種子を形成しても、ふつう、塊茎や根茎などの栄養繁殖器官でふえるものが多い。しかしホタルイ、ヘラオモダカなどのように栄養繁殖器官が株基部のものでは水田ではおもに種子で繁殖する。

2) 繁殖器官の形成

一般に雑草の種子は早産性、早熟性、多産性の三つの特性を備えており、不良な生育環境に遭遇しても子孫を残

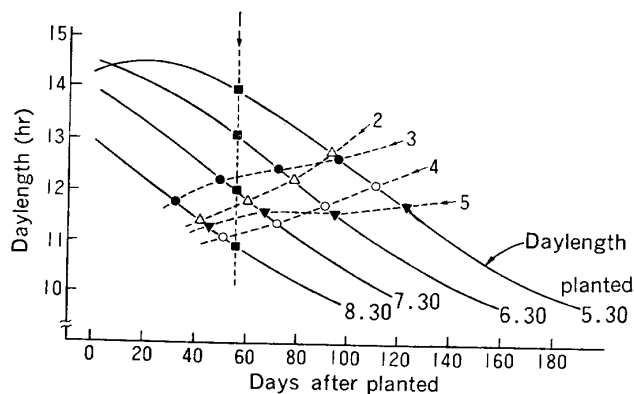


Fig. 3 Relation between number of days from planting to tuberization and daylength. (Kusanagi *et al.* 1975)

Time of tuberization

- 1 ■ *Sagittaria pygmaea*
- 2 △ *Eleocharis kuroguwai*
- 3 ● *Cyperus serotinus*
- 4 ○ *Sagittaria trifolia*
- 5 ▼ *Potamogeton distinctus*

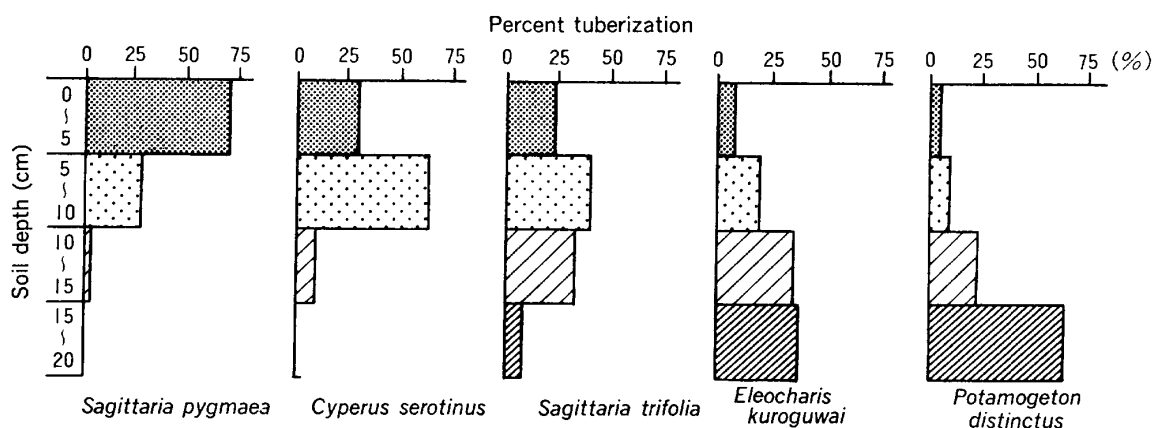


Fig. 4 Distribution of tuberization in soil. (Kusanagi *et al.* 1975)

しうような順応性をもっている。多年生雑草で特徴的なことは、開花後の登熟日数が短いことや出芽時期がおそい場合には開花結実までの日数が著しく短いことなどである。

つぎに栄養繁殖器官の形成について、水田多年生雑草の代表的な5草種をくらべてみることにする。まず植付後塊茎形成始期までの日数を日長時間との関係でみると Fig. 3 のようである¹⁶⁾。ウリカワのみは出芽時期が異なっても、塊茎形成始期は出芽後 50~60 日を経たほぼ一定の時期にみられ、中日(中性)植物の性格をもっている。これに対して他の4草種は、いずれも出芽時期がおそいほど塊茎形成までの日数が短く、強弱の差はあるが短日反応を示し、形成時期は秋期である。

塊茎の形成位置はウリカワやミズガヤツリでは、耕土

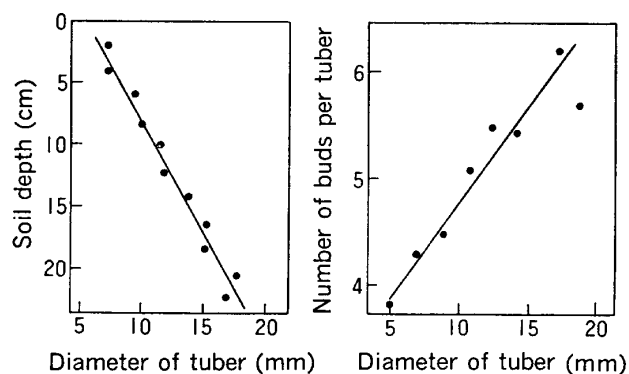


Fig. 5 Relationship between tuber size of water chestnut and position of tuber formed in soil (left) or bud numbers of tuber (right). (Nakagawa *et al.* 1965)

の比較的浅い5~10 cmの層に集中して形成されやすく、ヒルムシロは逆に耕土の底盤付近の深い層に多い。クログワイとオモダカは比較的深い層に形成されるが、土中の垂直分布が大きい点に特徴がある (Fig. 4)。形成量は作期が早いほど多く、とくに一毛作田で著しい。ふつう、イネの立毛中の形成量は最も多いウリカワで m^2 当たり 3,000~4,000 個、最も少ないヒルムシロで m^2 当たり 200~500 個である。なお塊茎は形成位置が深いほど大きい。そしてウリカワやクログワイでは大きい塊茎ほど頂部の芽数が多い (Fig. 5)。

4. 伝播・植生変化

1) 伝 播

繁殖源の伝播には、灌漑水、風などのほか人や家畜、野鳥などの動物、堆厩肥、種苗、農機具などが媒体として介在する。ホタルイ、ヘラオモダカなどの種子やウリカワの塊茎などは灌漑水で運ばれやすいが、最近では機械の普及や生わら施用に伴い、農機具やわらにくっついて伝播されることがむしろ多くなっている。また畦畔や用水路あるいは休耕田に発生しているものが侵入したり、土地基盤整備の際にもち込まれることも多い。このように伝播を助ける要因がたんに灌漑水や風などのほかに最近ではむしろ人為的要因を強めており、多様になっている点にも注目する必要がある。

2) 除草法と植生変化

雑草群落の組成や年次変動に影響を与える要因はこれまで述べてきたように多様であるが、栽培管理の面では除草法が最も大きい。わが国に除草剤が初めて普及に移されたのは1950年であるが、植生変化として最初に注目されたのは1960~'68年ごろのPCPの普及に伴うマツバイの著しい増加であった。これはPCPが一年生雑草には有効であるが、マツバイには効果がまったくなかったからである。その後マツバイに有効な除草剤の開発が急速に進み、マツバイや一年生雑草はほぼ完全に防除できるようになったが、徐々に既存の除草剤では効果の及ばない多年生雑草がふえてきた。こうした植生変化は最近の機械移植栽培の著しい普及と呼応している点に特徴がみられるが、多年生雑草が除草剤に対する抵抗性を獲得して優占化してきたことではない。除草剤に選択殺草性がある、使われている除草剤に効果のない雑草や新たに侵入した雑草が蔓延しているもので、いわゆる種の交代であり、除草法の面では特定の除草剤の連用に要因があるとみられる。

防 除

1. 防除法の種類

生態的防除 (耕起・灌漑法・田畑輪換)、機械的防除 (除草機の利用)、物理的防除 (火焰放射器、焼土機、フィルムマルチなど)、生物的防除 (雑草と天敵との組合せによる防除、草魚、カブトエビ)、化学的防除 (除草剤の利用) などがある。多年生雑草の組成の単純化や発生抑制には生態的防除や機械的防除を組み合わせることが有効な場合も多いが、ここでは除草剤による多年生雑草の防除について述べることにする。

2. 防除体系

除草剤の適用時期は、耕起前 (春季防除)、生育期および水稻刈取後 (秋季防除) の3時期に大別される。さらに水稻作付期間の生育期防除は初期、中期、後期に分けられる。

1) 耕起前防除・秋季防除

耕起前防除は耕起整地作業の障害となる冬雑草の防除が主体で温暖地以西に多い。多年生雑草ではミズガヤツリ (パラコート) の防除で実用化されている。耕起前防除は田植前に雑草が生え揃うことが必要で普通期や晩期の移植が主対象となること、湿田では十分な効果が発揮できないなどの難点がある。

稲刈取跡の秋季防除はマツバイ (パラコート, 2,4 PANA 塩, MCPNa 塩など)、ミズガヤツリ (パラコート, 2,4 PANA 塩)、クログワイ (パラコート) などで実用化されている。秋季防除は水稻の作季と多年生雑草の生態をうまく対応させ、かつ被害を回避する防除法として注目すべきものであるが、栄養繁殖器官の形成阻害を狙うものであるため、繁殖器官の形成時期よりも稲刈取時期が早い早期栽培地帯に限定される。一般に処理時期がおくると効果が著しく低減する。また生育期間の水稻に対する雑草害を軽減することができない。さらに防除作業が収穫後の調製作業と競合したり、コンバインによるイナわらの切断散布で処理できにくくなっているなどの難点があって現在では水稻の作付期間中に除草剤を散布して雑草害の軽減をはかると同時に繁殖源を根絶するいわゆる「生育期防除」に除草法の重点が移行している。しかし秋季防除が現在において不必要になったというのではなく、栽培の早期化に伴い見直す時期にきているともいえる。

2) 生育期防除

防除体系は雑草の種類や発生量、発消長に対応し、さらに雑草害を消去するのに必要な抑草期間と除草剤の残効期間を念頭において組み立てる必要がある。

一般に雑草害が強く現われる時期は分けつ最盛期を中心とする時期と出穂後から登熟前期までの二つの時期である¹⁷⁾。第1の時期は穂数を決める時期である。この時期には雑草は水稻とおもに養分の利用をめぐる競争し、茎数の減少をもたらす、茎数の減少がそのまま穂数減に結びついて減収するもので、雑草害としては最も強く現われる。初期除草に防除のポイントがおかれるのはこのためである。雑草害を消去するのに必要な除草期間は地域や栽培法によって異なるが、成苗普通移植栽培の場合、寒地、寒冷地では40日前後、温暖地、暖地では25日前後とされている。この期間は同一地域でも稚苗移植栽培では10日ほど、湛水直播栽培では15~20日ほどそれぞれ長くなる¹⁸⁾。多年生雑草が混生している場合もほぼこれと同様であると考えてよい。千葉農試(1969)で行なったミズガヤツリの除去試験では田植後20日間発生を抑えればその後に発生したミズガヤツリは収量にほとんど影響しないことがわかった。ただミズガヤツリは発生が揃いやすいため20日程度で十分であるが、クログワイや低温時のウリカワのように遅発生の多い雑草では温暖地でも30~40日程度の抑草が必要のようである。つぎに雑草害が強く現われる第2の時期は稔実初期である。この時期には水稻は養分と光両要因の競争に基因して一穂重の低下、屑米重の増加などおもに登熟阻害によって減収がもたらされる。多年生雑草は一般に養分吸収力が水稻のそれを上回り、しかも水稻よりもおそくまで養分吸収を持続する。またミズガヤツリは代かき後20~25日、クログワイは代かき後40~50日で水稻の草丈を上回る状態となり、密生すると遮光が大きく、水稻への影響も著しい。

このように雑草の生態面から雑草害を消去するのに必要な抑草期間が検討されているが、現在の初期除草剤の多年生雑草に対する抑草期間はおおむね15~25日である。なかには多年生雑草に効果のない初期除草剤もある。したがって田植時期が低温で雑草の発生がだらつきやすい寒地、寒冷地や温暖地以西でも早期栽培地帯や稚苗の早植栽培地帯などでは雑草の発消長が緩慢としており、上述の雑草害を消去するのに必要な期間や既存の初期除草剤の残効期間などからみて除草剤の組合せ処理が必要な場合が多い。現在の一般的な防除法としては、① 初期処理剤と中期処理剤の組合せによる一年生雑草との同時防除、② 中期処理剤の利用に重点をおいた一年生雑草との同時防除、③ 初期処理剤または中期処理剤と後期処理剤を組み合わせた防除などがある(Fig. 6)。

3. 除草剤の作用性と主要多年生雑草の防除法

1) 除草剤の作用性と効果の変動要因

一般に多年生雑草に対しては強力なホルモン作用をもつか、非ホルモン系除草剤であっても吸収移行性が大きく、光合成作用の阻害や生長点の機能を阻害するもの、また幼芽に対する強度の矮化作用あるいは発根阻害作用や地下茎の伸長阻害作用をもつ除草剤が有効である。たとえば初期処理剤ではミズガヤツリに対するブタクロール、ベンチオカブ、ホタルイに対するブタクロール、ダイムロン、中期処理剤では混合母剤として活用されているシメトリン、モリネート、MCPB、フェノチオールおよびベンタゾンなどがある(Fig. 7)。さらにクロメトキシニルのようなジフェニルエーテル系除草剤もウリカワやクログワイの初生葉には接触作用が強力に働き、生長点の機能を喪失させるか著しく阻害して抑制効果が大

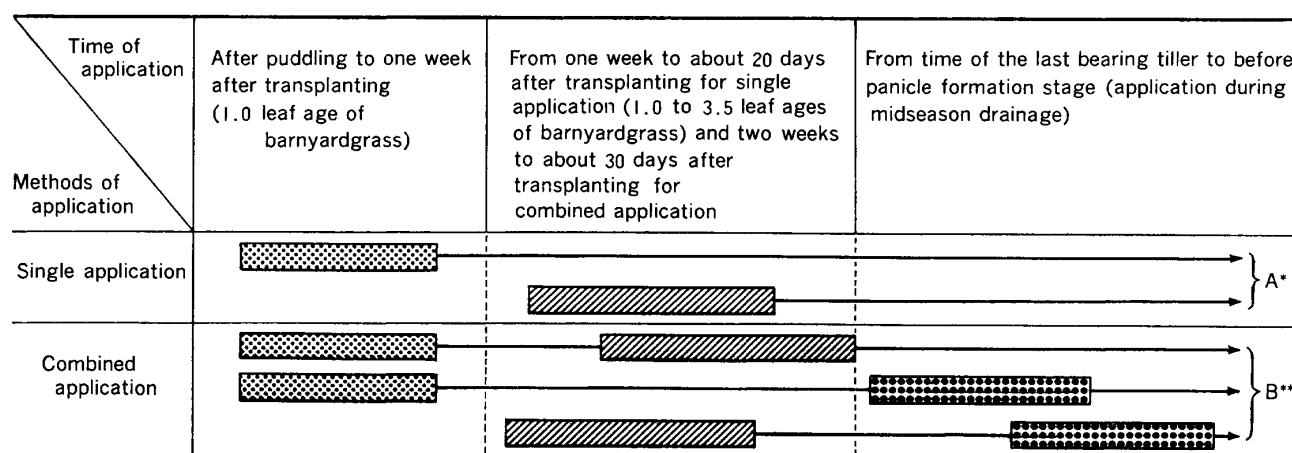


Fig. 6 Methods of weed control by herbicides in paddy fields.

Note: * A is applied for the paddy fields in warm region where weeds emerge in a short time or the paddy field with a little weeds.

** B is applied for the paddy field in warm region where early-planting culture is practiced or cold region, the paddy field with heavy weeds or perennial weeds.

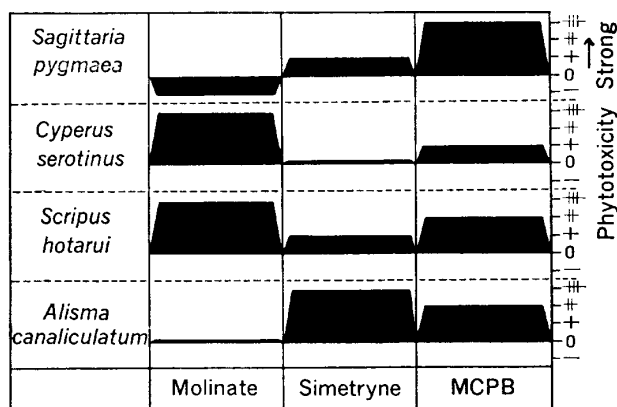


Fig. 7 Efficacy of molinate, simetryne and MCPB on main perennial weeds.

(Kusanagi *et al.* 1974)

きい。ウリカワの場合にはその後の発生を揃え、中、後期処理剤の効果を高めることになり、クログワイの場合には増殖のスタートを遅らせ生育初期を雑草害から回避できる点で枯殺できなくても実用的な意義が大きい。

一方、除草剤の作用性の面でもう一つの着目すべき点は選択殺草性である。また草種によって除草剤に対する感受性の高い生育ステージが存在することである。典型的な例はヒルムシロに対するトリアジン系除草剤の殺草作用である。またマツバイに対する DBN, ベンチオカーブ, ミズガヤツリに対するベンタゾンなどがある。ただ中期処理剤では殺草スペクトラムと処理期幅の拡大を狙った混合剤が多く、しかも現在用いられている母剤は一般に水溶解度が高い。このため効果が処理法や水管理などで変動しやすい。とくにベンタゾン粒剤（フェノキシ系との混合粒剤を含む）は落水処理で効果が高く (Fig. 8)¹⁹⁾、従来の粒剤散布の概念と異なるだけに水管理上留意が必要である。このほか除草効果の変動要因としては処理時期、雑草の発生消長、土壌条件、気象条件などが関与する。また組合せ防除では除草剤の選定と適期散布が重要である。

なお、効果の面だけでなく、トリアジン系やホルモン系除草剤を含む混合剤のように薬害面で適用地域や処理時期が制約を受けるものもあるので、除草剤の性格を十分に把握するなどの留意が必要である。

2) 多年生雑草混生田対策および後期防除

一年生雑草と多年生雑草との同時防除剤はノビエの葉期によって処理時期が制約されることを念頭に入れて多年生雑草の葉齢と合致するように散布時期を決める。この点ノビエと処理適期の異なる多年生雑草が生えている場合や多年生雑草のなかで処理適期の異なるものが混生している水田では同時防除効果があがりにくい。この場

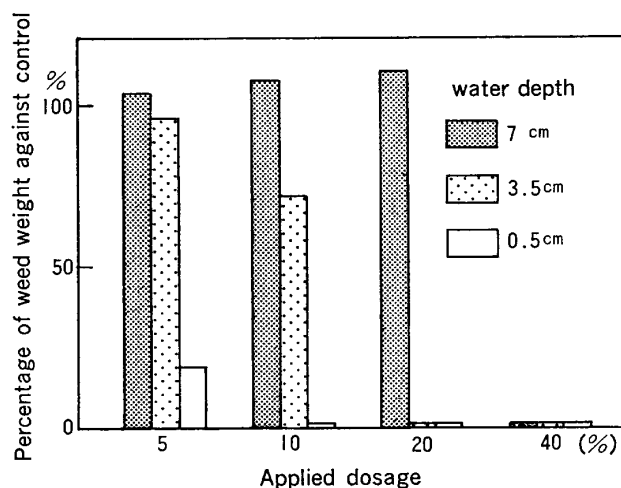


Fig. 8 Effects of water depth on control of *Sagittaria pygmaea* by bentazon.

(Mine *et al.* 1974)

合には中期処理にできるだけ処理適期の異なる多年生雑草を持ち込まないように初期処理にいずれかの多年生雑草に有効な除草剤を組み合わせるようにする。たとえばウリカワとミズガヤツリの混生田では、ウリカワの効果的な処理時期は発生揃後光合成作用が強くなり、塊茎の貯蔵養分の消耗が大きくなった時期であるが、ミズガヤツリは水面から抽出すると生育進度も速く、抵抗性も強くなり、またウリカワにくらべるとシメトリンや MCPB の作用力が弱いので、処理適期はウリカワよりも早い。したがって両草種の混生田では初期処理剤にミズガヤツリに有効なブタクロールやベンチオカーブなどを組み合わせて防除する。

後期防除剤としては 2,4-PA, MCP などのホルモン剤やベンダゾンおよび両者の混合剤などが用いられている。後期処理の狙いは初期、中期処理で抵抗性を示して残存した雑草の優占化を未然に防ぐ点にあり、種子や塊茎の形成を阻害し、翌年の繁殖源を絶ち切る役目を果たす。また後期処理剤の散布時期は雑草が生え揃った時期であり、多年生雑草の混生田であっても同時防除効果があがりやすい。また立地条件に応じて剤型を選択できることや中干しなど水稻の管理作業と有機的に結びつけて処理することができる。ただ留意すべき点は処理時期を失ないように早目に対応することである。

3) 主要多年生雑草の重点防除時期

ホタルイ、ヘラオモダカのように種子繁殖を主体とするものと、ウリカワ、ミズガヤツリのように栄養繁殖器官でふえるものとは防除の重点のおきどころが違ってくる (Table 6, 7).

i) ウリカワ: ジフェニルエーテル系などの初期除草

Table 6 Application time of herbicides for control of perennial weeds in paddy field.

Weed	Propagules	After final puddling to one week after transplanting	From one week to about 20 days after transplanting	From time of the last bearing tiller to before panicle formation stage	Post-harvest	Pre-plowing (in spring)
<i>Scirpus hotarui</i>	Seed	●	◎	○		
<i>Alisma canaliculatum</i>		●	◎	○		
<i>Sagittaria pygmaea</i>	Tuber	△	●	◎		
<i>Cyperus serotinus</i>		◎	●	◎	○	○
<i>Eleocharis kuroguwai</i>		△		●	○	
<i>Sagittaria trifolia</i>			◎	●		
<i>Potamogeton distinctus</i>	Bulb		●			
<i>Eleocharis acicularis</i> var. <i>longiseta</i>	Rhizome	●			○	

1) ●, The most effective application time; ◎, The second; ○=△, The third.

2) △, The herbicides applied at this time is expected to have residual effect.

剤で発生を抑制し、発生が比較的に揃うのをまって中期処理に重点をおいて防除する。中期処理剤では4~5葉期を中心にややおそい時期の処理で効果が高い。後期処理剤を組み合わせる場合にはウリカワは出芽後50日前後に塊茎を形成し始めるので有効茎を確保したらできるだけ早く使用する。

ii) ミズガヤツリ：生育期の防除は中期処理に重点をおいてできるだけ早目に処理する。ミズガヤツリにはベンタゾンが卓効を示すので中期、後期防除が比較的容易になった。混生田では前述のように初期処理剤に有効なものを組み合わせる。早期栽培では稲刈取後、再生してきた株に塊茎を形成するので、パラコートや2,4-PAなどを再生後なるべく早く散布して塊茎の形成を阻害する。

iii) ホタルイ：初期処理に重点をおき、遅発生を中期または後期処理で防除する。初期処理にはブタクロール、CNP・ダイムロン、NIP・ダイムロンなどが有効であり、中期処理剤には有効なものが多い。

ホタルイは遅発生が多く、しかも残存株の種子生産量が多いこと、早期栽培や早植栽培では稲刈取後に出芽しても種子を形成するなど繁殖力が旺盛である。また落下種子は翌年にすべて発生するものではなく、生存種子が土中に残存しているなど一度侵入すると根絶がむずかしい。種子形成前の後期防除を徹底することが重要である。

iv) ヘラオモダカ：初期処理剤はいずれも抑制効果がみられるが、殺草効果はブタクロールが卓越している。ただ発生がだらつくので中期処理剤との組み合わせ防除

が必要である。花茎は発生が早い場合には10本程度抽出し、種子形成量も多い。ホタルイと同様に発生源を絶つためには後期処理剤で種子の形成を防ぐことが重要である。

v) クログワイ：出芽直後の初生茎は細く、ジフェニルエーテル系除草剤のような接触型除草剤で枯れやすい。とくにクロメトキシニルが有効である。しかし塊茎まで移行して発芽を抑える力がないので、20~25日程度抑制して再生してくる。中期処理剤については現在有効なものがないので、有効茎を確保したできるだけ早目に、ベンタゾンや、2,4-PA, MCPあるいは両者の混合剤を散布する。粒剤では多量に散布しないと効果がないので、いずれも水和剤か液剤をクログワイの茎葉によく付着するように散布する。

vi) オモダカ：初期処理剤には有効なものがない。中期処理剤ではモリネート SM のように有効なものも出てきたが、発生が不揃いであること、単立植物で初期の雑草害が小さいこと、塊茎形成がおそいこと、ホルモン系除草剤に弱いことなどから現状では後期処理に重点をおいて防除する。後期処理剤としては2,4-PA, MCPなどのホルモン型除草剤やベンタゾンおよび両者の混合剤などが有効である。いずれも粒剤よりも水和剤、液剤などを用い、茎葉に薬液がよく付着するように散布する。

以上、主要多年生雑草の防除の要点にふれたが、個々の雑草の生活環や生態については不明な点が多い。多年生雑草は栄養体で繁殖するだけでなく、種子と栄養体の

Table 7 Principal herbicides for control of perennial weeds in paddy fields.

Weed	Time of application		
	After puddling to about one week after transplanting	From 8 to 20 days after transplanting for single application, and in case of combined application, from two weeks to about 30 days after transplanting	From time of the last bearing tiller to before panicle formation stage (application during midseason drainage) (Foliage treatment)
<i>Potamogeton distinctus</i>	Before or at germinating stage of weeds (Before barnyardgrass is 1.0 leaf age) (Soil treatment)	Prometryne, ACN, Molinate/Simetryne/MCPB, Dimethametryn/Piperophos and <i>et al.</i>	
<i>Eleocharis acicularis</i> var. <i>longiseta</i>	2, 6-DBN, Benthocarb, Butachlor, Chlormethoxynil, Oxadiazon and <i>et al.</i>	Benthocarb/Simetryne, Molinate/Simetryne, Swep/MCP and <i>et al.</i>	2, 4-D, MCP, Paraquat, Sodium chlorate, AMS
<i>Cyperus serotinus</i>	Benthocarb, Butachlor	Dimethametryn/Piperophos	2, 4-D, Paraquat
<i>Sagittaria pygmaea</i>		Benthocarb/Simetryne/Bentazon, Benthocarb/Simetryne/MCPB, Molinate/Simetryne/MCPB, Dimethametryn/Piperophos/Bentazon, Simetryne/MCPB/Bentazon, Simetryne/Phenothiol, Simetryne/MCPB, ACN.	2, 4-D, MCP
<i>Scirpus hotarui</i>	Molinate, Butachlor, CNP/Dymron, NIP/Dymron	Simetryne/Phenothiol, Swep/MCP, Benthocarb/Simetryne/Bentazon, Benthocarb/Simetryne/MCPB, Molinate/Simetryne, Molinate/Simetryne/MCPB, Simetryne/MCPB, Dimethametryn/Piperophos, Dimethametryn/Piperophos/Bentazon, Simetryne/MCPB/Bentazon	Bentazon 2, 4-D/ Bentazon, MCP/ Bentazon
<i>Alisma canaliculatum</i>	Butachlor		2, 4-D, MCP
<i>Sagittaria trifolia</i>		Molinate/Simetryne/MCPB, Bentazon	
<i>Eleocharis kuroguwai</i>			Paraquat
<i>Oenanthe javanica</i>		Simetryne/Phenothiol	
<i>Scirpus planiculmis</i>		Bentazon (Water dispersible powder)	

両方で繁殖するものも多く、また生育期間が長くて再生や増殖が旺盛であるなど、繁殖機構に生態上の大きな特徴がみられる。それだけに繁殖機構における生態上の弱点は防除に結びつく有力な決め手になりうると考えられる。とくに繁殖器官の寿命、増殖率、伝播あるいは発生予測などは繁殖機構にかかわる重要な課題であるが、現在ほとんど解明されていない。今後この種の研究の推進によって防除の技術的基礎を明らかにし、防除法の早期確立が望まれる。

引用文献

- 1) 笠原安夫: 雑草研究 **12**, 23 (1971)
- 2) 松本和夫・江塚昭典: 中国農試研報 **E10**, 85 (1975)
- 3) 新海 昭: 農技研報 **C14**, 1 (1962)
- 4) 古城斉一・田中昇一・大隅光善・海北 基: 雑草研究 **21**(1), 26 (1976)
- 5) 岡 彦一: 第 3 回日本雑草学会シンポジウム講演要旨 1 (1977)
- 6) 荒井正雄・宮原益次・横森秀文: 関東東山農試研報 **8**, 56 (1955)
- 7) 山岸 淳・橋瓜 厚: 雑草研究 **14**, 24 (1972)
- 8) 山岸 淳: 雑草とその防除 **11**, **12** (合併号), 47 (1974)
- 9) H. Suge & T. Kusanagi: *Plant Cell Physiol.* **16**, 65 (1975)
- 10) 草薙得一・川崎 勇: 中国雑草防除研究 **1**, 8 (1968)
- 11) 高橋周寿: 第 3 回日本雑草学会シンポジウム講演要旨 58 (1977)
- 12) 草薙得一: “水田の多年生雑草”, 全農教 p. 57 (1976)
- 13) 大隅光善・古城斉一・今林惣一郎: 雑草研究 **21**(4), 186 (1976)
- 14) 伊藤一幸・草薙得一: 雑草研究 **23** (別号), 171 (1978)
- 15) 中川恭二郎: 雑草研究 **4**, 42 (1965)
- 16) 草薙得一・高村堯夫: 日本雑草防除研究会第 14 回講演会講演要旨 79 (1975)
- 17) 野田健児・小沢啓男・芝山秀次郎: 雑草研究 **12**, 28 (1971)
- 18) 西川広栄: 雑草研究 **17**, 8 (1974)
- 19) 嶺 昭彦・日野修徳・上田 実: 雑草研究 **17**, 64 (1974)