

北米における作物保護

Crop Protection in North America

ピーター ポピリア (Kumiai America)

1. はじめに

北米の作物保護は安定と変化の両方で特徴付けることができる。栽培面積は極めて安定してきており、全ての主要作物の収穫量は25年間増加傾向にある。にもかかわらず、作物保護に関係する業界や、幾つかの作物の栽培方法には劇的な変化が起きている。米国の総農家戸数はこの80年間で60%以上も減少したものの、農業生産は7倍にも拡大しており、それも以前の3分の1の労働力で実現している (Gardner 2002年)。この農業分野での変化が極めて大きいため、専門家達は米国農業を「技術革命」とさえ呼んでいる。しかし、この傾向が永久に続く訳ではない。米国が、この革命の初期にあるのか、中期、あるいは、終期にあるのかの判断は難しいが、作物保護がこの動きに影響することは明らかである。

物保護がこの動きに影響することは明らかである。

北米の農耕地の約75% が米国内にある (表-1)。栽培作物はかなり違うが、カナダとメキシコを合わせて北米の作物栽培面積の残余の25%を構成している。北米の作物保護は、その農業の勢い、大きさ、多様性から多くの事業の機会を作り出している米国農業の状況によっては形作られている。

栽培面積は安定していたものの、作物保護産業はこの10年間に変化の大波を経験した。1994年の作物保護企業の上位10社の全世界の年間総売上額は約200億ドルであった (Agrow 1995年、図-1) が、1990年代の広範な企業合併の結果、今では僅か上位5社でほぼ同額の売上を実現し

表-1 北米の2003年主要作物栽培面積と1993年比増減(%)

	アメリカ		カナダ		メキシコ	
		(%)		(%)		(%)
トウモロコシ	31,417,761	11	1,449,287	22	7,907,533	4
ダイズ	29,255,206	26	1,046,157	45	63,765	-73
穀類(全種) (1)	57,767,148	-4	18,276,564	-6	10,797,429	13
ワタ	10,036,252	8	0	-	186,068	145
油糧種子作物(2)	668,347	330	5,415,308	18	10,496	-
果樹 ナッツ類	2,281,611	2	882,535	26	412,111	4
野菜 メロン	1,366,392	4	113,804	14	556,026	11
糖糧作物(3)	1,042,420	9	12,095	-46	638,791	14
合計	133,835,137		27,195,748		20,572,218	

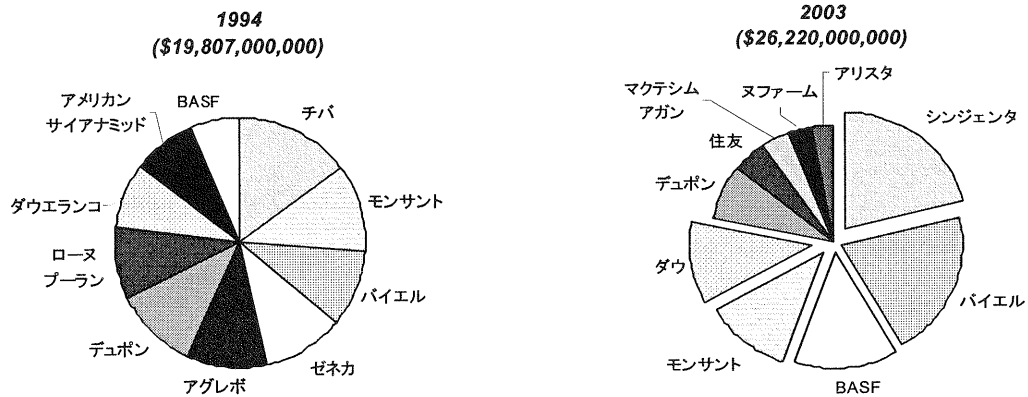
(1) 冬コムギ、春コムギ、オオムギ、オートムギ (2) 西洋アブラナ、亜麻 (3) サトウキビ、テンサイ (FAO 2004年)

著者：ピーター ポピリア (Peter J Porpiglia)

(K-I CHEMICAL U.S.A. INC. Agricultural Chemical Research & Development Director)

翻訳：クミアイ化学工業(株) 国外部、開発・技術課

翻訳責任者：川崎浩(クミアイ化学工業(株) 国外部、開発・技術課)



図ー1 1994年、および、2003年の主要作物保護企業
(世界的な売上データAgrow 1995 2004b.)注：2003年の上位5社の売上額は1994年の上位10社の売上額と同じ)

ている。現在の上位10社の農薬企業は、たった数年前の上位10社とは似ても似つかないほどである。欧州と米国の農薬企業は農業生産資材供給企業としての自らの地位を強化し、種子販売の利益を獲得するため種子企業の買収を続けている。企業規模が大きくなればなるほど、製品開発に要求される利益目標は厳しくなる。合併企業は、重複する品揃えから基幹製品を放出している。小型で隙間(ニッチ)市場用の製品も所有者が変わったり、より良い経営効率を求め続ける結果姿を消すことさえある。ジェネリック品のために大型剤が浸透し、企業が薬剤の技術とは離れた面での新しい差別化の方法を追求するため厳しい競争を強いることになる。今や多くの企業が、他社に対する商売上の優位性を得るためにサービス、金融、流通・供給チェーン管理に焦点を当てている。

2. 作物の傾向

トウモロコシ(*Zea mays*), ダイズ(*Glycine-max*), 穀類(cereals), および、ワタ(*Gossypium-hirsutum*)が北米の作物栽培面積の95%以上を占めている(表ー1)。これら4作物の場合、2003年には、それぞれの77%, 96%, 67%, 98%が米国で栽培されている(FAO※1 2004年)。トウモロコシは20世紀以前から米国の最重要作物であり、2003年の生産金額は200億ドルと金額でも米国の最大作物である(USDA※2 2004年)。2004年のトウモロコシ、ダイズ、および、ワタの栽培面積は過去最高を記録する勢いである(表ー2)。歴史的には栽培面積の大きな作物が作物保護で最も注目されてきたが、これも最近では大きく様変わりしている。栽培作物の選択、気候条件、世界的な政治問題、その他のマクロ経済的要因には大きな幅があるにも関わらず作物の栽培面積は毎年比較的安定してきている。

表ー2 アメリカの2004年の推定栽培面積

(単位：ヘクタール)					
トウモロコシ	32,766,697	イネ	1,354,083	ジャガイモ	515,976
ダイズ	30,274,230	ヒマワリ	761,621	サトウキビ	402,623
コムギ	31,101,815	乾燥豆	568,990	菜種/西洋アブラナ	382,834
ワタ	5,644,170	テンサイ	552,560		

(USDA、FAO 2004年)

過去四半世紀の間、殆どの主要作物の栽培面積は僅かな誤差の範囲内で予想可能であった。トウモロコシ、ダイズ、穀類の実栽培面積は(1983年の政府命令による一度だけのトウモロコシ減反計画を除き)25年間の傾向の中で15%以下の変動に留まってきた(USDA 2004年)。トウモロコシの栽培面積は25年間にわたり比較的変動していないが、平均収穫量は約40%増加している。同じ期間中ダイズ栽培面積は僅かに増加したが、収量は35%も増えている。ワタとイネ(*Oryza sativa*)の栽培面積はトウモロコシに比べやや変動したが、過去25年間の内20年間は傾向線の20%の範囲内に留まっている。ワタの栽培面積は25年前と比べ平均で約30%増え、イネでは約5%増加している。両作物の収量はこの期間それぞれ30%、40%、増加している。穀類は過去25年間で栽培面積が約30%減った唯一の主要作物であるが、収穫量は30年前を平均15%上回っている。この穀類栽培面積の著しい減少の原因は複雑である。“穀類”には春コムギ、および、冬コムギ(*Triticum aestivum*)、オオムギ(*Hordeum vulgare*)、エンバク類(*Avena sativa*)、および、グレインソルガム(*Sorghum bicolor*)が含まれる。穀類栽培面積のこのような下降傾向は、穀物価格(コムギの生産はコーンより少ない資金投入しか必要としないが、コムギの粗収入も総収入もトウモロコシやダイズに較べて少ない)、および、コムギの藁が家畜の飼料となることが多いため家畜生産の影響と考えられる。冬穀類は、コムギが異なる気象条件に順応するため、農家がトウモロコシとダイズからリスクの分散を望む場合しばしば代替作物と考えられている。また、政府の補助政策も穀類生産にマイナスの影響を与えていたのかも知れない。

- ※1 FAO: Food and Agriculture Organization
(国連)食糧農業機関
- ※2 USDA: United States Department of
Agriculture 米国・農務省
- ※3 CropLife: 米国・農薬工業会
- ※4 EPA: Environmental Protection
Agency 米国・環境保護庁



写真-1 ジャガイモ畑

3. 作物保護

米国の作物保護の全ての用途での総支出額は2003年で71億ドルを超えている(CropLife※3 2004年)。この内、61%が除草剤、24%が殺虫剤、10%が殺菌剤、3%が植物生育調節剤、2%以下が殺線虫剤、および、その他の剤である。トウモロコシとダイズの除草剤は最大の作物別市場分野で、両者合わせて全作物保護支出額の約30%を占める。これに次いで大きな市場分野はトウモロコシの殺虫剤、ワタの殺虫剤、ワタの除草剤で、それぞれ作物保護市場全体の3~5%ずつを構成している。

米国作物保護市場は1990年代中頃まで成長が長年にわたって続いた後、1997年から2002年の間20%の売上額の減少を経験した(CropLife 2004年)。これは、主に遺伝子組み換え害虫抵抗性作物の導入と、ジェネリック品の浸透による販

売価格低落の圧力によるものであった。作物保護製品の年間総売上額は、2003年は全般的に横這いに留まり、2008年までの成長率を年当たり僅かに1～2%と予測する向きもある(Agrow 2004年)。しかし、低い有効成分量で使用される製品が登録され、遺伝子組み換え作物の利用が増えているため、製品の物量は恐らく引き続いて減少するであろう。

市場規模が大きく、除草剤使用によるコスト・利益比率が高いため、米国では雑草防除が大きな関心を集めている。米国の耕作地の85%以上を占める40種の作物について行われた最近の広範囲な調査で、除草剤の経済的利益は年間210億ドルと見積もられている(Gianessi and Sankula 2003年)。その内訳は、他の雑草防除方法の費用(主に手取り除草と耕起による除草)77億ドル、および、除草剤が使われなかった場合の不十分な雑草防除による減収133億ドルである。同じ調査の中で、この著者は1ドルを除草剤に使うことによって栽培農家は3.2ドルの見返りを得たと計算している。調査対象の40種の作物の内30種の作物で、栽培面積の85%以上で除草剤が使用されたと推定している。トウモロコシ、ダイズ、ワタ、および、イネの4作物

では、除草剤は栽培面積の95%以上で使用されている。

4. 重要作物保護分野

トウモロコシ、ダイズ、ワタ、穀類、イネ等での主要な作物保護分野は伝統的な従来の技術と新しいテクノロジー技術の両方を含んでいる。次にこれらの概要について示すことにする。本報告では芝地、森林等の非農耕地は検討していない。

〔トウモロコシの雑草防除〕

米国では、トウモロコシでの除草剤使用が抜きん出て大きな作物保護市場である。米国で栽培されるトウモロコシ全体の平均約92%が穀物(子実部のみの利用)に利用され、残りの8%が飼料目的(作物全体の利用：子実部、および、茎葉部)に利用される。直接人が消費する“スイートコーン”の市場は比較的小さいため本報告では割愛する。2003年のトウモロコシにおける除草剤の販売総額は13億ドルで、作物保護市場全体のほぼ20%を占める(CropLife 2004年)。米国で栽培されるトウモロコシの95%で雑草防除のため除草剤が処理される。基本的な雑草防除プログラムでは、幅広い発生前の雑草防除のためにアトラジンとアセトアミド系除草剤(メトラクロール、アセトクロール、ジメテナミド)が混合製剤やタンクミックスで使用されるのが一般的である。アトラジンは単用、または、混用でその他の除草剤に較べ依然として広い面積のトウモロコシに使用されている。2002年、USDAには30を超える特徴のある有効成分と50を超える混合除草剤が登録されているにもかかわらず、主要なコーンベルト州のトウモロコシの80%で少なくとも1回はアトラジンが処理されて



写真－2 農薬の散布風景

いると報告している。トウモロコシの収量は雑草との競合の影響を敏感に受けるため、栽培の早い時期の雑草防除が極めて重要である。アトラジンに次いで広く使用されている剤はメトラクロールとアセトクロールで、トウモロコシ栽培面積のそれぞれ約25%で通常はアトラジンとの混用で使用されている。土壌処理除草剤のトウモロコシでの処理時期は、播種直前から播種開始の数週間、または、数ヶ月前とその幅が広い。“播種前早期” “early pre-plant” と呼ばれる播種前処理は、この処理時期に使用できる剤は限られるものの、一部地域では一般的に行われている。北部のコーンベルトでは栽培前年の晩秋の除草剤処理も可能である。その最も良い例がメトラクロールで、残効性があるため土壌が凍結する温度になる直前に処理することが出来る。春までには剤が“自然に”土壌に混和され、春先の雑草を防除する。トウモロコシでの除草剤の秋の処理は比較的新しい慣行で、初めは大規模栽培農家や散布業者の春の仕事量を分散させるために利用された。

アイオワ、イリノイ、ネブラスカ、ミネソタ、インディアナの5州で米国のトウモロコシの半分以上が栽培され、さらに、ニューヨーク州からコロラド州、カナダ国境からメキシコ国境ま



写真-3 トウモロコシ畑-1



写真-4 トウモロコシ畑-2
(アームは散水の様子)

で100万エーカー(約40万ヘクタール)以上の栽培面積を持つ州が広がっている。地理的に広がりが大きいので防除対象雑草は多様であるが、トウモロコシ栽培で最も広く発生する雑草を最近の調査を基に表-3に示した。トウモロコシでは、合成ホルモン系除草剤(2,4-D, ジカンバ), プロモキシニル, スルホニルウレア(SU)剤(ニコスルフロン, プロスルフロン, プリミスルフロン等)等が茎葉処理剤として使用されている。

遺伝子組み換えラウンドアップ・レディ・トウモロコシに伴いグリホサートは1997年に導入され、2004年にはトウモロコシ栽培面積の19%に達した。グリホサートは、土壌処理除草剤や播種前早期処理除草剤の残効が不十分のため茎葉処理除草剤の計画散布が標準となっている地域や、少雨のため土壌処理除草剤の効果が十分に発揮されないか、あるいは、寒冷な気候のため翌年の感受性の高い作物に除草剤の影響が残る可能性のある西部、および、北部コーンベルト地帯で広く使用される。ある地域では、農家はグリホサートを雑草発生後計画的に処理し、土壌処理除草剤の薬量(および、コスト)を減らしている。グリホサートのコストは標準除草剤プログラムと競合可能である。グリホサートは

表-3 主要雑草

トウモロコシ/ダイズ			
中央、および、北部コーンベルト		南部	
ヒユ類	<i>Amaranthus</i> sp. ¹	アサガオ類	<i>Ipomoea</i> spp. ²
アキノエノコログサ	<i>Setaria faberi</i>	ヒユ類	<i>Amaranthus</i> spp. ³
イチビ	<i>Abutilon theophrasti</i>	メヒシバ類	<i>Digitaria</i> spp. ⁴
シロザ	<i>Chenopodium album</i>	オナモミ	<i>Xanthium strumarium</i>
ブタクサ	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	セイバンモロコシ (英名 ジョーンズグラス)	<i>Sorghum halepense</i>
イネ			
南部		カリフォルニア州	
イヌビエ	<i>Echinochloa crus-galli</i>	ヒユ類	<i>Echinochloa</i> spp. ⁵
アメリカツノクサネム	<i>Sesbania exalta</i>	タマガヤツリ	<i>Cyperus difformis</i>
アサガオ類	<i>Ipomoea</i> spp. ²	オニアゼガヤ	<i>Leptochloa fascicularis</i>
カヤツリグサ類	<i>Cyperus</i> spp. ⁶	ヒメカンガレイ	<i>Scirpus mucronatus</i>
レッドライス(野生イネ)	<i>Oryza sativa</i>	タイリンオモダカ	<i>Sagittaria montevidensis</i>
ワタ			
アサガオ類	<i>Ipomoea</i> spp. ²	メヒシバ類	<i>Digitaria</i> spp. ⁴
ヒユ類	<i>Amaranthus</i> spp. ³	カヤツリグサ類	<i>Cyperus</i> spp. ⁶
オナモミ	<i>Xanthium strumarium</i>		

¹ アオゲイトウ (*A. retroflexus*)、オオホナガアオゲイトウ (*A. palmeri*)、ミズアサ (*A. tuberculatus*)、ホソバイヌビユ (*A. rudis*)

² アメリカアサガオ (*I. hederacea*)、マメアサガオ (*I. lacunosa*)、マルバアサガオ (*I. purpurea*)

³ ホナガアオゲイトウ (*A. hybridus*)、アオゲイトウ (*A. retroflexus*)、オオホナガアオゲイトウ (*A. palmeri*)、イガホビユ (*A. powellii*)、ハリビユ (*A. spinosus*)

⁴ メヒシバ (*D. ciliaris*, *D. sanguinalis*)、キタメヒシバ (*D. ischaemum*)

⁵ タイヌビエ (*E. phyllopogon*, *E. oryzoides*)、イヌビエ (*E. crus-galli*)

⁶ ショクヨウガヤツリ (*C. esculentus*)、ハマスゲ (*C. rotundus*)

\$5/エーカー (\$12.4/ヘクタール) (有効成分量として1.3ポンド/エーカー) (約1.5キログラム/ヘクタール) で、散布経費を除いて現在エーカー当たり平均約\$25/エーカー (\$61.8/ヘクタール) である他のプログラムと競争可能である。EPAに登録されているグリホサートには少なくとも39の異なった商標の製品がある。グリホサート・プログラムでは、遺伝子組み換え種子を使用するために\$8/エーカー (\$19.8/ヘクタール) の追加の種子技術料 (ロイヤリティー、または、ライセンス料) が必要である。コーンベルトには地域条件に適した数千ものハイブリッド・コーンがあるが、現時点ではその全てのハイブリッ

ド・コーンがグリホサート耐性遺伝子を含む訳ではない。魅力的な価格、効果、作物安全性のために、トウモロコシでのグリホサートの使用は新しい遺伝子組み換えハイブリッド・コーンの導入と共に増加を続けるであろう。しかし、大学の雑草科学者の多くは、発生前雑草防除プログラムはトウモロコシの収量を最大にするためには必要であり、今後もトウモロコシの基本的雑草防除プログラムとして存続していくと考えている。これが新しい系統の化合物であるトリケトン系除草剤 (メソトリオン) が土壌、および、茎葉処理除草剤として急速に、且つ、広く受け入れられた理由である。抵抗性雑草 (米国

では19草種)が拡大したり、地下水汚染の可能性から規制当局が使用量を制限している地域があるにもかかわらず、アトラジンの使用は依然として多い。アトラジンの登録保有者は、アトラジンが農薬業界の中では他に例を見ないほどの経済的利益をトウモロコシ生産者にもたらしていることを繰り返し証明してきた。しかし、今や新しい技術が広葉雑草防除に非アトラジンの代替除草剤を生み出している。

トウモロコシの80%以上が毎年ダイズとローテーションされていると推定され、両作物は隣接して作付け・栽培される。トウモロコシ、ダイズの双方に使用できる作物保護製品は散布業者や農家にとって極めて都合の良い製品である。

〔トウモロコシの害虫防除〕

2003年には3億ドル近くがトウモロコシ害虫の化学的防除に費やされている(CropLife 2004年)。多くの種類の害虫が多様な場所や年で問題となるが、2つの害虫が米国のトウモロコシ生産に大きな影響を与えてきた。ヨーロッパコーンボラー(*Ostrinia nubilalis*)とコーンルートワーム(*Diabrotica spp.*)類である。コーンボラーはトウモロコシに最も大きな被害を与える害虫のひとつである。一般的にコーンボラーの防除は、栽培慣行と播種時、または、生育時に必要に応じ殺虫剤によって行われて来た。圃場を調査し、被害が予定の水準を超える場合には、殺虫剤の使用が推奨される。1997年、コーンボラーに抵抗力を持つ遺伝子組み換えトウモロコシが米国で導入された。“Btコーン”は、コーンボラーに有毒な殺虫作用のある蛋白質を1つかそれ以上生産するバクテリア(*Bacillus thuringiensis*)由来の遺伝子を持っている。

Btコーンの安全性と効果は証明済みであり、ほぼ完全にコーンボラーを防除する。現在、単一の形質のみを持つBtコーンは米国のトウモロコシ栽培面積の27%を占め、2003年から11%増加している(USDA 2004年)。更に、栽培面積の5%にはBtとグリホサート除草剤耐性の両方の遺伝子(stacked genes)を持つトウモロコシが栽培されている。Btコーンの栽培農家には害虫の抵抗性獲得リスクを最小限にするために少なくとも栽培面積の20%に従来品種の栽培を義務付ける厳格な管理指針がある。Btコーンの利用者にも約\$8/エーカーの種子技術料の支払い義務がある。

コーンルートワーム類(western, northern, および, southern)は最近まで作物のローテーションや作付け時期の変更などの栽培慣行によって管理されてきた。しかし、1990年代になってそのライフサイクルの完成にダイズを含む幅広い範囲の宿主を利用する異種のコーンルートワーム類の個体群が発見された。もはやローテーションはコーンルートワーム防除の有効な手段ではなくなったため、化学殺虫剤が重要な防除の選択肢となっている。1997年、1,200万ポンド(約5,400トン)の土壌処理殺虫剤がコーンルートワーム防除に使用された(Gianessi等 2002年)。一般的に、有機リン剤、ピレスロイド剤、および、カーバメート系殺虫剤の粒剤、または、液剤が作付け時に処理される。市場の規模が極めて大きく、EPAの登録システムが毒性の低い植物保護剤の開発と登録を優遇してきたので、ネオニコチノイド系(例えばイミダクロプリド)やフェニルピラゾール系(例えばフィプロニル)のように多くの作物に安全な新しい系統の化合物が急速に広まり使用されている。コーンルートワーム

ム類、および、幅広く鱗翅目害虫を防除する新しいBt遺伝子を持つ第2世代のBtコーン品種が2004年に導入された。これらの新しい遺伝子組み換え品種はトウモロコシでのコーンルートワームやハリガネムシ(*Melanotus cormmunis*), ネキリムシ, ヨトウムシなどの他の害虫に対する高い防除効果を発揮する可能性を持っている。

【ダイズの雑草防除】

過去8年間、単一の作物保護慣行の中でダイズの雑草防除ほど大きな影響を受けたものはない。米国の農家にとっては幸いにも、ダイズの雑草防除への出費は1997年以来55%減少している(CropLife 2004年)。それでも、ダイズ除草剤市場は7億5,000万ドルと依然として米国作物保護市場で2番目に大きな分野である。市場価格の下落は、遺伝子組み換えグリホサート耐性ダイズの急速な採用とジェネリック製品との競合によるグリホサート除草剤の価格下落のためである。現在、米国のダイズ栽培面積の85%以上でグリホサート耐性品種が栽培されている(USDA 2004年)。遺伝子組み換えダイズ栽培面積は2004年も前年比約7%の増加を続けている。米国農務省の統計ではダイズの雑草防除に平均約2回の除草剤処理となっている。一方、多くの農家が、畝間隔の狭いダイズ栽培法に移行し、年間の除草剤プログラムとしてしばしばグリホサートの1回の処理が必要となるだけである。伝統的に、殆どのダイズはトウモロコシ同様30インチ幅の畝間隔で植えられてきたが、狭い7インチの畝間隔は雑草防除の役目をする草冠(キャノピー)をより早く形成する。その何れの管理方法でも、農家は静観主義的対応“Wait and See”をとり、必要に応じグリホサートの2回目の処理を行うことが出来る。ダイズでも



写真-5 大豆畑

トウモロコシ市場と同価格に設定されているグリホサートは、\$17-\$20/エーカー(\$42.0-\$49.4/ヘクタール)が基本的な非グリホサート除草剤プログラムのエーカー当たりの平均コストであることを考えると、農家にとって非常に経済的であると考えられている。およそ\$8/エーカー(\$19.8/ヘクタール)の種子技術料と2回処理の可能性があっても、グリホサートはダイズの雑草防除の魅力的な選択肢である。グリホサートは6,000万エーカー(約2,400万ヘクタール)以上ダイズ圃場に処理されているが、他に30種以上の有効成分がダイズ用除草剤として登録されており、さらにそれ以上の数の混合剤がある。ダイズ除草剤市場ではグリホサートが最も大きな製品だが、ジニトロアニリン系の剤も土壌処理除草剤として、プロトポルフィリン酸化酵素(PP0)阻害剤、および、シクロヘキサジオン剤が茎葉処理除草剤として、さらに、イミダゾリノン剤、および、スルホニルウレア剤が土壌、および、茎葉処理の両方に使用されている。ダイズは殆ど常にトウモロコシと毎年ローテーションされているため、防除対象雑草は両作物で類似している。

〔ワタの雑草防除〕

ワタ栽培農家は、1996年に導入された直後からグリホサート耐性の遺伝子組み換えワタを急速に採用している。ワタの75%以上が害虫抵抗性、および、除草剤耐性の遺伝子組み換え品種である(USDA 2004年)。ワタの60%が除草剤耐性(ラウンドアップ・レディ、リバティ・リンク、BXN)品種、46%が害虫抵抗性(Bt ワタ)品種、30%が除草剤耐性と害虫抵抗性の双方の形質を併せ持つものである。リバティ・リンク・ワタはグルホシネートに耐性を持ち、BXNはプロモキシニルに耐性がある。グリホサートは使用面積だけでなく、使用量からも圧倒的に重要なワタ用除草剤である。ワタの栽培期間は長期にわたるため、4回の除草剤処理も珍しくはない。残効性のある除草剤、および/あるいは、グリホサートの複数回の処理が大いに必要である。ワタでのグリホサートの使用量は、次に多く使用されている除草剤であるトリフルラリンの3倍以上である(Agrow 2004年)。最近まで、ピリチオバックナトリウム塩が唯一、遺伝子組み換え、および、非遺伝子組み換えワタの両方に使用できる残効性のある茎葉全面処理(post-over-the-top)が可能な広葉用除草剤であった。2番目の剤として、トリフロキシスルフロンの

2004年に茎葉処理除草剤市場に導入された。BXN ワタはラウンドアップ・レディ・ワタのような成功は収めておらず、ワタの雑草防除では小さな役割しか果たしていない。2004年に導入されたリバティ・リンク・ワタは、まだ導入段階にある。リバティ・リンク・システムはアサガオ類(*Ipomoea* spp.)のような幾つかの草種に対してラウンドアップ・レディよりも高い広葉雑草防除効果を示すが、イネ科雑草やヒユ類(*Amaranthus* spp.)に対する効果は弱い。表-3にワタでの主要雑草を示している。2004年は栽培面積が記録的に多くなる可能性があるため、ワタの除草剤処理面積は5,000万エーカー(約2,000万ヘクタール)を超える可能性がある。ワタでは従来型の除草剤や遺伝子組み換え関連除草剤が多数あるので、農家は雑草防除を最適化するために除草剤や防除プログラムを幅広く選択することが出来る。

〔ワタの害虫防除〕

ワタには、タバコガ(*Heliothis virescens*)、オオタバコガ類(*Helicoverpa* sp., *Pecthiophora* sp.), ミドリメクラガメ(*Lygus lineolaris*), アザミウマ, カメムシ類, ネキリムシ等多くの主要な害虫がある。ワタの害虫防除の問題を複雑にしているのは長く暖かい栽培時期と近接して栽培される作物の多様さである。ワタの害虫防除には多面的な対応が必要である。ワタの収量を極大化するには栽培慣行と殺虫剤の両方が重要である。ワタ栽培における害虫防除は、アセフェート, イミダクロプリド, あるいは, チメトキサム(thimethoxam)の種子処理と, それに続く畝間(in-furrow)の粒剤施用, あるいは, 液剤散布が一般的である。ワタでは非常に多くの茎葉処理殺虫剤も登録されている。主要



写真-6 ワタ栽培圃場

な剤はアルジカルブ、アセフェート、ジクロトホス(dichrotophos)で、それぞれ25%, 20%, 15%の面積に処理されている(USDA 2004年)。1996年に導入されたタバコガ、オオタバコガ類対象のBtワタは、毎年1億ドル以上、年間数量にして200万ポンド(約900トン)近くの殺虫剤の使用の減少に貢献している(Gianessi等 2002年)。嘗て全米史上最も高価な害虫と呼ばれたメシコワタミゾウムシ(*Anthonomus grandis*)は根絶プログラムに組み込まれ、もはや経済的な被害を与える害虫ではなくなっている。

[その他の分野]

以上5つの作物保護分野に次いで、市場金額の順に穀類用除草剤、水稻用除草剤、および、ワタの生育調節剤を含むその他の多くの分野がある。“作物群”としての穀類は説明が難しい。理由は、既に述べたように、穀類というのは非常に異なる生育条件下や防除対象害虫が存在する広範囲な地域で栽培される異なる種の集まりであるからである。殆どの冬作穀類はローテーションで栽培されており、雑草はトウモロコシやダイズ等の主要作物で防除・管理されている。穀類は雑草との競合には強いが、雑草防除の基本は地域に適応した品種の適切な選択に始まる。穀類での主要雑草は、作物、地域、および、例えば春作と冬作のように、播種時期によって異なる。冬作穀類の主要雑草は、ハコベ(*Stellaria media*)やナズナ(*Capsella bursa-pastoris*)などの“冬生一年生雑草”である。他の一般的にある雑草には、グンバイナズナ(*Thlaspi arvense*)やカナダアザミ(*Cirsium arvense*)、ワイルドガーリック(*Allium vineale*)、タンポポ(*Taraxacum officinale*)等がある。中部や西部の穀類栽培地域では、ホウキグサ(*Kochia scoparia*)、

カラスムギ(英名ワイルドオート)(*Avena fatua*)が重要である。ジクロホップ系除草剤に抵抗性を持つネズミムギ(英名イタリアンライグラス)(*Lolium multiflorum*)は米国の東部の穀類栽培地域に広く分布し、拡大している。抵抗性ライグラスには代わりの防除方法は少ない。広葉雑草は、必要に応じてホルモン系除草剤(2,4-D, ジカンバ)や、プロモキシニルや、数種のALS阻害剤(チフェンスルフロンメチル, トリベニユロンメチル, プロスルフロン等), および, クロピラリド(特に, アザミの仲間(*Cirsium*)対象)で防除される。南東部や北西部では、ネズミムギが主要雑草でジクロホップメチルに対して広い範囲で抵抗性を示している。

米国の稲作面積は概ね300万から330万エーカー(120万—134万ヘクタール)の間で推移してきている。一方、稲作用除草剤への支出は、2003年1億3,300万ドル(CropLife 2004年)を超えている。イネは主として米国南東部のミシシッピ川流域の州(ミシシッピデルタ地域)とテキサス、および、カリフォルニア両州で栽培されている。面積では、アーカンソー、ルイジアナ、ミシシッピの3州が米国稲作面積の約70%を占める。カリフォルニア州は米国の稲作面積の約15%を占めるが、栽培条件に恵まれているため生産量では米国の全生産量の約30%を上げている。稲作の雑草防除には、州毎に特徴がある雑草を防除するために栽培方法、および、化学的除草方法を慎重に組み合わせることが必要である。表-3に南部とカリフォルニア州の主要雑草を示した。米国では、稲は乾燥した土壤に直接条播き(ドリル播種)されるか(乾田直播), あるいは, 湛水圃場へ全面播種されるか(湛水直播)の何れかである。乾田直播はミシシッピ、アーカン

ソー、および、ルイジアナ州の一部が主である。カルフォルニア州では、ルイジアナ州の大部分と同じようにその殆んどが湛水直播である。水管理は、継続湛水から後期湛水、苗の生育のためや時には除草剤処理のために落水される“ピンポイント”湛水まで大きく異なる。湛水直播と継続湛水は、米国南部で深刻、且つ、拡大している問題雑草であるレッドライス(野生イネ)やカリフォルニアのヒエ(Watergrass:ノピエ類)を強く抑制するが、それには細かな管理技術を必要とする。1990年代、カリフォルニアではベンスルフロンメチルとモリネートが広範囲に使用されたため、雑草の抵抗性が急速に発現した。現在、カリフォルニアのノピエ類は幾つかの系統の除草剤に交差抵抗性を示している。南部諸州でのプロパニル抵抗性ヒエは稲作農家

にとっては難題である。農家はクロマゾンに転換し、クロマゾンは除草剤処理面積の20%近くを占め、広く使用され、且つ、経済的な発生前のイネ科雑草防除の選択肢となっている。ベンチオカーブは、乾田直播の土壌処理と湛水直播の早期茎葉処理で使用されている。モリネートの登録者はモリネートの全ての登録の取り消しを申し出ており、製品は2008年までに完全に市場から引き揚げられることになっている。稲作用除草剤においては茎葉処理剤が多く上市され、種々のオプションが可能となってきた。プロパニルはヒエの抵抗性があるものの依然として“基幹”除草剤であり、主として広葉・イネ科雑草対象に15%を超える面積で使用されている。キンクロラックは主として茎葉処理でイネ科雑草防除に使用されているが、土壌処理の使用もかなり多い。茎葉処理剤の選択肢には、2,4-D、ベンスルフロンメチル、ハロスルフロンメチル、および、トリクロピル、さらに、シハロホップブチルやビスピリバックナトリウム塩の新規剤等多くの剤がある。クリアフィールド(Clearfield)品種にのみに使用できるイマゼタピルは、デルタ地域で特にレッドライスや抵抗性のヒエの防除が必要な条件下で使用され始めている。ラウンドアップ・レディ、および、リバティ・リンク・イネは数年にわたって開発されているが、上市計画は明確ではない。新たな抵抗性雑草の発現を予防するために、これらの技術の慎重な管理が必要となるであろう。

ワタの生育調節剤市場には、生育抑制、ボール開裂、枯凋や落葉等多様な薬剤グループが含まれる。ワタ栽培面積は概ねイネの4倍であるが、ワタの生育調節剤分野は金額では稲作用除草剤と同程度である(CropLife 2004年)。ワタ



写真-7 水稻圃場-1 (条播)



写真-8 水稻栽培圃場-2

は多年生植物であるが、商業用生産には一年生作物として管理する必要がある。多肥や過湿の結果ワタが繁茂しすぎた場合、農家は茎葉部の生育抑制をメピコートクロリドに頼ることになる。過剰な茎葉部の生育を抑制してより多くの光合成産物をボール生産に向ける。最近まで、メピコートクロリド(Pix)だけがこの目的で入手できる製品であったが、現在はその他幾つかの茎葉部生育抑制剤が上市されている。米国で栽培されているワタの約80%が、落葉を促進し機械による収穫をより効率的にする目的で収穫時に落葉剤か枯凋剤で処理されているはずである。長年の間、農家は塩素酸ナトリウム、パラコート、トリブホス、チジアズロン、グリホサートや他の剤をワタの落葉に使用してきた。これらの製品の幾つかは規制のための再審査の対象となり、新しい落葉剤に市場参入の機会を生み出している。カルフェントラゾン、ピラフルフェンエチルのようなプロトポルフィリン酸化酵素(PP0)阻害剤は、他の作物用除草剤としての最初の登録が拡大され、ワタの落葉剤も登録に含まれることになった。この系統の化合物はワタの落葉剤として特に有効で速効的であるように思われる。フルミクロラックペンチル、フルミオキサジン、および、弊社のフルチアセットメチル等のその他のPP0阻害剤もワタの落葉剤として開発中である。ラウンドアップ・レディ・ワタが極めて高い比率を占めているため、グリホサートはもはや落葉に広く使われている製品ではない。最後に、エテホンは、落葉を促進したり、および/または、これなしでは収穫は不可能となる可能性のある登熟に近いボールの開裂を促進するため、種々の薬量で単剤、あるいは、混用で使用される。



写真-9 ワタ収穫の様子
(枯凋剤で効率的な収穫ができる)

5. 将来

米国農務省の予測は、作物の収穫量は僅かながら増加を続けるが栽培面積には大きな変化は予想されないとしている。米国内、および、世界の農産物価格は年毎の農家の作付け意図に影響をおよぼすであろう。農家にとってメリットのあるものではなく、また、企業にとっても市場の独占や競争の制限は合法的ではないため、業界の大規模統合は減速するであろう。製品は、利益性、あるいは、あらゆる規模の企業の必要に基づいて“放出”されたり、買収されたりするであろう。

前述の上位5作物分野には共通することがひとつある。それは新しい技術である。技術は作物保護の力学を変えている。新しい形の除草剤耐性が研究されている。幾つかの企業が第二世代の改良BI品種を登録し、その他の品種も開発中である。グリホサート除草剤の使用を今まで以上に強調することになるグリホサート耐性の新しいメカニズムも発表されている(Yarnell 2004年)。次世代技術は、環境適応性、新しい除草剤耐性、低脂肪、低アレルギー、抗生物質生産等々の有利な生産特性を包含するものになるだろう。病害抵抗性については触れなかった

が、病害抵抗性のための遺伝子操作技術の開発も行われている(Gianessi等 2004年, Clark 等 2004年, 匿名 2004年)。米国農務省のデータベースでは、1976年から2000年までの間に認可された農業分野のバイオテクノロジーとプロセスに関する米国特許は11,000件以上を数える。これらの技術を陳腐化から守ることは一仕事である。一方、新たな挑戦には新技術の開発が必要となる。ダイズのサビ病(*Phakopsora pachyrhizi*)は、近い将来米国で最初の発生が予想されている^{注1)}。米国農務省の経済研究サービスは、このサビ病の発生初年度だけで生産者の経済的損失が6億4,000万ドルから13億ドルを上ると推定している(Daberkow 2004年)。

年を追うごとに、何百万エーカーという米国の農地でグリホサート除草剤しか見かけないようになるであろう。これは抵抗性雑草という惨事を作り出す処方箋である。2000年には、デラウェアとテネシー両州でヒメムカシヨモギ(*Conyza canadensis*)のグリホサート抵抗性が確認されている。2004年には、この抵抗性株はコーンベルトを横断しアイオワ州まで拡大している。雑草科学者は、シロザ(*Chenopodium album*)、ヒコ類(*Amaranthus sp.*)、イチビ(*Abrus theophrasti*)、そしてブタクサ(*Ambrosia artemisiifolia*)がグリホサートに対する抵抗性を高めている兆しがあると感じている(多数の雑草科学者との著者自身の情報交換から)。ヒメムカシヨモギはトウモロコシの主要雑草ではないが、一旦グリホサート耐性を獲得すると雑草防除戦略に修正を余儀なくするであろう。一方、アトラジンに対する抵抗性は25年以上にわたって知られてもいるものの、アトラジンはト

注1) 2004年11月に確認された

ウモロコシの主要除草剤として依然として広く使用されている。

最後に、作物保護剤はジェネリック農薬として米国では比較的単純で簡単な手続きで登録することが出来る。往々にしてジェネリック登録には新しいデータは要求されないが、それよりむしろ現行登録の裏付けデータの費用負担の申し出が必要となる。ジェネリック品は農家に多くの選択肢を作り出し、小売店間の競争は販売価格を下げさせることになる。成功した製品は自ずと市場価値の低下をもたらし、これは農家には好ましいことだが、農業関係事業にとっては大きな課題である。市場価値の縮小で新製品の開発判断に詳細な検討が必要となる。あれこれ様々な問題を抱えてはいるものの、作物保護は伝統的な農薬と新技術の両方からの質の高い生産資源の投入を引き続き必要とするであろう。

引用文献

- (1) Agrow. 1995. March. 29. No.253.
- (2) Agrow. 2004. July 16. No.452.
- (3) Agrow. 2004b. Sept. 3. No.455.
- (4) Anonymous. 2004. Issues in the Regulation of Genetically Engineered Plants and Animals. Pew Initiative of Food and Biotechnology, 1331 H Street, NW, Suite 900, Washington, DC.
- (5) Clark, David, Harry Klee, Abhaya Dandekar. 2004. Despite Benefits, Commercialization of Transgenic Horticultural Crops Lag. California Agriculture. April-June p.89-97.
- (6) CropLife America. 2004. Industry Profile 1997 and 2003. (formerly American

- Crop Protection Association). 1156 Fifteenth Street, N.W., Washington, D.C.
- (7) Daberkow, Stan. 2004. Amber Waves. Economic Risks of Soybean Rust in the U. S. Vary by Region. Vol.2 (4). p8.
- (8) Food and Agriculture Organization (FAO). 2004. Web page: <http://apps.fao.org/faostat/form>. Accessed Aug. 29, 2004
- (9) Gardner, Bruce L. 2002. American Agriculture in the Twentieth Century. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- (10) Gianessi, Leonard P. and Sujatha Sankula. 2003. The Value of Herbicides in U.S. Crop Production. National Center for Food & Agricultural Policy. 1616 P St., NW, Washington, DC 20036.
- (11) Gianessi, L. P., C. S. Silvers, S. Sankula, and J. E. Carpenter. 2002. Plant Biotechnology: Current and Potential Impact for Improving Pest Management In U. S. Agriculture. National Center for Food and Agricultural Policy. 1616 P St., NW, Washington, DC 20036.
- (12) United States Department of Agriculture (USDA), National Agricultural Statistics Service (NASS). 2004. Crop Production Acreage. Web Page: <http://www.ers.usda.gov/nass/pubs/histdata.htm>. Accessed Sept. 3, 2004.
- (13) Yarnell, A. 2004. Detox Lets Crops Resist Herbicide. Chemical & Engineering News. May 24. p. 10.

SHIBUYA INDEX 2005年版 ことができました。 —10th Edition—

渋谷成美ほか／編集 A4判 956頁 定価45,150円(本体43,000円+税5%)

「SHIBUYA INDEX—10th Edition—」2005年版の特長

前回の2002年版に新たに開発された単剤と混合剤を加え、より充実しました。また、これまでに開発せず不要な剤は削除し、より見やすい形としました。

- ①世界の農薬(殺虫剤、殺菌剤、除草剤、フェロモン、殺そ剤等)の全てを網羅し、世界で最も簡単に利用できる画期的な資料です。
- ②各農薬が構造別に整理されているので、関連化合物を容易に探すことができます。
- ③一般名、商品名、コードナンバー、メーカー名、構造式、主要剤型と濃度、安全性、使用分野に区分し、剤の特性が一目で判ります。
- ④一般名、商品名のある古い剤は全てを含むほか、構造の判明している新しい剤と各種混合剤も記載されています。
- ⑤日本での委託・登録状況が判ります(米国、英国、フランス、韓国等についても一部記載)。
- ⑥米国の再登録現況も収録してあります。

全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
電話 03-3839-9160 FAX 03-3839-9172