

# 植調

第50巻  
第11号

JAPR Journal

沖縄県におけるサトウキビ畑の雑草防除に関するアンケート結果 比屋根 真一

《特集》

## 果実生産における植物ホルモンの働きと利用

果実成長に関わる植物ホルモンの働きと利用 板井 章浩

果実の成熟に関わる植物ホルモンの働きと利用 近藤 悟

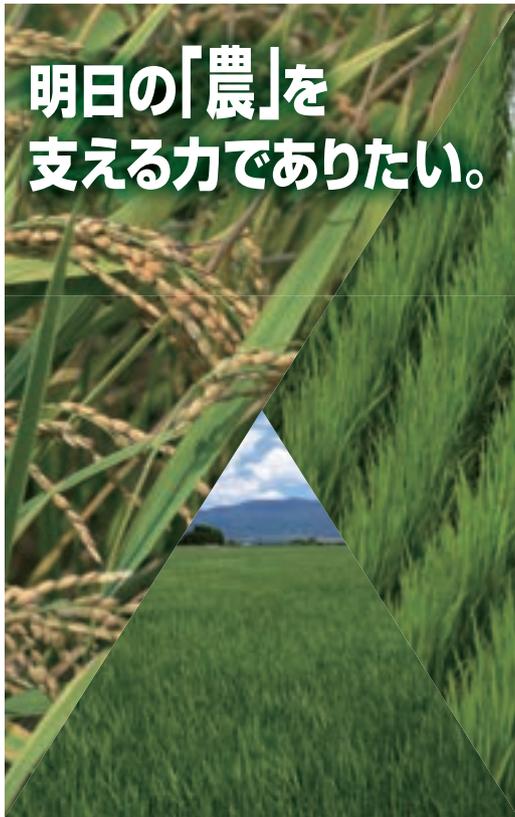
植物ホルモン「オーキシン」の生合成阻害剤の開発と植物成長調節剤としての応用

添野 和雄・立木 美保・嶋田 幸久



公益財団法人日本植物調節剤研究協会

JAPAN ASSOCIATION FOR ADVANCEMENT OF PHYTO-REGULATORS (JAPR)



明日の「農」を  
支える力でありたい。

三井化学アグロの除草剤

**アールタイプ®**

1キロ粒剤・ジャンボ・フロアブル

**シュオイデン®**

1キロ粒剤・ジャンボ・フロアブル

**アルファプロ®**

1キロ粒剤75/51・ジャンボH/L  
フロアブルH/L

**クサトリ-BSX®**

1キロ粒剤75/51・ジャンボH/L  
フロアブルH/L

**キクンジャ〜Z®**

1キロ粒剤・ジャンボ・フロアブル

**イネキング®**

1キロ粒剤・ジャンボ・フロアブル

**オシオキMX®**

1キロ粒剤

**フォロ-アップ®**

1キロ粒剤

**サンバード®**

1キロ粒剤30

**草枯らしMIC®**

●使用前にはラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●本剤は小児の手の届く所には置かないでください。



三井化学アグロ株式会社

東京都中央区日本橋1-19-1 日本橋ダイヤビルディング  
ホームページ <http://www.mitsui-agro.com/>



**カウンシル®**  
コンプリート

新登場



ノビエ、難防除雑草を  
「一発処理」で枯らす除草力。  
鉄コーティング直播栽培にも適応。  
多角化・大規模化に貢献できる  
次世代の水稲用除草剤です。

高葉齢ノビエも！難防除も！  
除草力“の”  
カウンスシル。



●使用前にはラベルをよく読んで下さい。●ラベルの記載以外には使用しないで下さい。  
●本剤は小児の手の届く所には置かないで下さい。 (R)はバイエルグループの登録商標

バイエル クロップサイエンス株式会社

東京都千代田区丸の内1-6-5 〒100-8262 [www.bayercropscience.co.jp](http://www.bayercropscience.co.jp)

お客様相談室 ☎0120-575-078 9:00~12:00、13:00~17:00  
土・日・祝日を除く



## 農業生産額一位の田原市と田原研究所

公益財団法人日本植物調節剤研究協会 評議員  
 BASF ジャパン株式会社農業事業部マーケティング部シニアマネジャー  
 藤原 雅実

弊社 BASF ジャパンは研究開発活動の見直しを行い、2016 年末をもって愛知県田原市の田原研究所を閉鎖いたしました。当研究所の最後の所長を勤めた者として田原研究所と田原市の農業について書かせていただきたいと思います。

愛知県田原市。田原町と赤羽根町が平成 15 年に、続いて渥美町が平成 17 年に合併し現在の田原市が誕生しました。年平均気温 16 度、年降水量は 1,700mm。日照時間に至っては 2,200 時間にも達する温暖な地です。現在は市町村別の農業生産額は発表されていないようですが、平成 18 年の田原市のそれは 724 億円\*にも上り全国一位の生産額を誇っています(\*田原市ホームページより)。ただ昔から現在のように農業に恵まれた環境ではなく、この地方は水源に恵まれず絶えず旱害に悩まされ、所によっては飲料水すらことを欠く始末であったようですが、先人の苦労によって用水事業構想が胎動し、昭和 43 年に豊川用水として全面通水を見ることができました。用水の役割は画期的であり、畑地灌漑が広い面積にわたって実施できるようになり、畑地・施設農業に新しい展開と大きな役割を果たしました。播種作物の発芽揃いが向上し、苗移植作物では育苗日数が短縮され、東三河地域に野菜（キャベツ・ハクサイ等）の露地栽培や、青果（メロン・トマト・きゅうり等）、花卉（特に電照菊）の施設園芸においては我が国有数の主産地が形成され、果物（みかん・カキ等）においても知られるようになりました。いまでは秋冬キャベツでは全国生産の半分を占めるなど生鮮野菜類の産地化と温室・畜産団地の造成もされた全国的にも類を見ない農業先進地域となっています。

このような田原市における研究活動は、旧日本サイアナミッド時代から始まります。同市緑が浜という海岸沿いにあった旧研究所は、常時塩害に悩まされまた手狭であったようで

す。そのため移転を検討し渥美半島内陸部の六連町に土地を購入、建設を始め 1995 年に竣工しました。その後 2000 年に BASF によるアメリカンサイアナミッドの買収を機に、当時の BASF ジャパンの研究拠点であった神奈川県海老名市の施設も閉鎖・統合し規模も拡大して再始動しました。敷地面積はおおよそ 2ha とコンパクトな研究施設でした。ただ BASF の農業事業においては、日本をはじめアジア地域の重要な研究施設としての地位をもち、特に水稻剤の初期スクリーニング試験の実施や、製剤開発分野においては、粒剤・ジャンボ剤などの処方選定を担ってきました。

なかでも、研究所のオープン当社から着手した除草剤シクロスルファミロンを含むジャンボ剤の開発では有効成分の迅速な拡散と均一性を両立するため、おびただしい数の分散助剤を検討・選抜し、目標とした技術性能を有したラジカル処方の製品化にこぎつけました。ラジカル（過激な）とは粒剤が水面を拡散する際、激しく踊るようにはじけて広がっていく様子に由来するものです。また、シクロスルファミロンにつづく大型製品であるオリサストロビン・フィプロニル等の箱粒剤では、各有効成分の粒剤内部からの溶出速度の制御を厳密に行うことにより、処理後、比較的早い時期から長期間にわたり高い稲体内濃度を維持させることに成功しました。これにより初期病害虫はもちろん中後期まで防除することが可能となりました。

このような研究所でしたがこの地での活動は中止し、生物開発については日本植物調節剤研究協会のご厚意で千葉支所の一部施設と圃場をお借りして活動することとなりました。これからもより厳しさを増している日本農業への更なる貢献をめざし邁進する所存でございます。

# 沖縄県におけるサトウキビ畑の 雑草防除に関するアンケート結果

沖縄県農業研究センター  
作物班

比屋根 真一

## はじめに

サトウキビ畑において多くの帰化雑草やつる性雑草等の難防除雑草が発生し、サトウキビの生育、収量および収穫作業等に影響を及ぼしている。このような難防除雑草に対する適切な防除方法については十分には理解されていない。さらに、薬剤の混用や誤用による薬害、他の作物への影響や近隣へのドリフト等、除草剤の使用方法についても問題が生じている。しかしながら、サトウキビ農家における雑草防除の現状把握については十分になされていない。そこで、沖縄県のサトウキビ栽培における雑草防除の実態を把握するため、アンケート調査を行ったのでその結果を報告する。

## 材料および方法

アンケート調査は、2013年8月に開催された沖縄県さとうきび試験成績検討会への参加者を対象に無記名方式で実施した。成績検討会への参加者は、国、県、各市町村の担当者や沖縄

県の各製糖工場の農務員、JA、さとうきび生産振興協議会、農業改良普及員等のサトウキビの技術指導者がほとんどであった。約100名の参加者にアンケート用紙を配布し、調査依頼を行ったところ26名の方から回答を頂いた。調査項目は、除草方法、使用している薬剤名、薬害の発生状況、雑草の発生程度、農業研究センターへの要望とした。

## 結果および考察

### (1) 雑草の防除方法

アンケート調査に協力して頂いた26名全員から何らかの方法で雑草防除を行っているとの回答があった(質問-1)。雑草防除の方法は、除草剤を利用した防除が100%、トラクタ等を利用した耕種的防除が88%、そして、鎌等を用いた人手による除草は46%

質問-3 除草剤は何を使いますか。使用濃度も教えてください。

薬剤名	使用時期	使用率	備考(コメント)
DCMU水和剤	植付け前	0%	・500~1500倍 ・薬量100g/水量100L ・南部地域では土壌処理剤の使用は少ない。高培土後に土壌処理剤を薄めて使用する。
	植付け時(土壌処理)	58%	
	生育時(茎葉処理)	38%	
	畦間処理(スポット)	15%	
2,4-PA液剤	植付け前	4%	・収穫3か月前まで
	植付け時(土壌処理)	4%	
	生育時(茎葉処理)	69%	
	畦間処理(スポット)	23%	
アシュラム液剤	植付け前	4%	・100~300倍 ・濃い濃度が多かった ・2,4-PA液剤と混用
	植付け時(土壌処理)	0%	
	生育時(茎葉処理)	77%	
	畦間処理(スポット)	12%	
メトリブジン水和剤	植付け前	0%	・200倍 ・薬量300g/水量300L ・薬量300g+2,4-PA液剤500g/水量500L ・植溝150g+2,4-PA液剤/10a
	植付け時(土壌処理)	12%	
	生育時(茎葉処理)	50%	
	畦間処理(スポット)	8%	
グリホサート系液剤	植付け前	38%	・100倍、800~1000倍 ・植付け前や畦畔、圃場周縁、畦間にスポット処理
	植付け時(土壌処理)	0%	
	生育時(茎葉処理)	0%	
	畦間処理(スポット)	21%	
ジクワット・パラコート液剤	植付け前	15%	・畦畔で使用
	植付け時(土壌処理)	0%	
	生育時(茎葉処理)	12%	
	畦間処理(スポット)	8%	
イソワロン粒剤	植付け前	0%	
	植付け時(土壌処理)	8%	
	生育時	4%	
	畦間処理(スポット)	0%	

質問-1 雑草防除を行いますか。

やる	やってない
100%	0%

質問-2 どのように除草を行いますか。

除草剤	手でとる	トラクター等による耕起
100%	46%	88%

質問-4 サトウキビに薬害が出たことはないですか。処理濃度とサトウキビ品種名、薬害の症状も教えて下さい。

薬剤名	使用時期	処理濃度	品種名	薬害症状
DCMU水和剤	植付け後土壌処理			・処理濃度が濃い時
2,4-PA液剤	生育時の茎葉処理 または畦間処理		Ni19	
アシュラム液剤	生育時の茎葉処理 または畦間スポット 処理			・2度かけ。農家の使用経験がほとんどなかった。
ジクワット・パラコート液剤	畦間処理	基準量よりも薄め		・薬液の付着部分に縮れ。ただし、収穫茎には大きな影響見られず
アシュラム液剤+展着剤	生育時の茎葉処理			・生育阻害
メトリブジン水和剤+展着剤	生育時の茎葉処理			・生育阻害
DCMU水和剤とアシュラム液剤の混用	生育時の茎葉処理	DCMU水和剤100g/アシュラム液剤500ml/水量100L/10a		
2,4-PA液剤とメトリブジン水和剤、DCMU水和剤の混用	生育時の茎葉処理、 畦間処理	2,4-PA液剤500g/メトリブジン水和剤/DCMU水和剤 300g/水量500L	Ni28	・生育不良
DCMU水和剤+アシュラム液剤+2,4-PA液剤	生育時の茎葉処理		Ni15	・黄化、生育停滞

であった（質問-2）。

## (2) 除草剤の使用について

サトウキビ畑で使用している除草剤は7種類であった（質問-3）。また、それらの使用頻度は、生育時に茎葉処理するアシュラム液剤が77%と最も多く、次の2,4-PA液剤は69%であった。これに対し、土壌処理剤のDCMU水和剤は58%、メトリブジン水和剤は12%、イソウロン粒剤は8%であり、茎葉処理剤と比較すると低かった。春植えや夏植えの植付け時、株出し処理後における土壌処理剤の普及、定着が望まれるところである。

各剤の使用状況を具体的にみると、

DCMU水和剤は土壌処理剤のみの使用ではなく、茎葉処理剤として生育期処理が38%、スポット処理が15%であった。2,4-PA液剤は土壌処理剤としての誤用報告があった。

次に、サトウキビへの薬害の発生について質問した（質問-4）。薬害発生要因の一つとして、DCMU水和剤は標準散布量であっても、栽培面積とタンク容量によっては薬液の注ぎ足しが必要となり、タンク下部への攪拌不足により十分に溶けていない薬液が蓄積し、散布時に高濃度となる場合がある。また、アシュラム液剤の処理効果を待つことができずに短期間に次の薬剤散布による薬害助長の報告例があった。

他には、薬害症状として2,4-PA液剤の散布による芽子の変形の事例があった。非選択性除草剤のジクワット・パラコート液剤のサトウキビ畦間処理による薬害症状は葉身萎縮であり、前述の薬害と状況が異なる（質問-4）。これは、倒伏が認められず、蔗茎下部に枯葉が見受けられる時期に、小型トラクタに薬液タンクを搭載して薬液を散布する方法である。蔗茎下部の枯葉部分付近に薬剤ドリフトによる薬液の付着により縮れが認められたが、植物体内に吸収移行しない接触性の薬剤のため、収穫茎には大きな影響は認められず、畦間の雑草防除を行うことができる。

現地では除草効果を高めるため、展着剤を加えた散布が行われており、展着剤添加によるサトウキビへの生育阻害が見受けられた。さらに、各薬剤の混用による葉身黄化や生育停滞等の薬害が発生している（質問-4）。使用例としては、サトウキビ生育期におけるDCMUやメトリブジン水和剤の土壌処理剤と2,4-PA液剤、アシュラム液剤の茎葉処理剤の混用散布が行われている。雑草の繁茂が著しく、適期の散布が難しい場合は数種類の薬剤を混用して除草効果を高める狙いがあるようだが、適切な薬剤の選択により、薬害の発生を未然に防止するように適期散布の指導が必要である。

## (3) 雑草の発生状況

沖縄県のサトウキビ畑で雑草の発生状況について質問した（質問-5）。イ

質問-5 サトウキビ畑で発生している雑草名と、発生程度を教えてください。

科	雑草名	発生頻度数				発生圃場率
		少	中	多	極多	
イネ	メヒシバ	2	12	4		69%
	ツノアイアシ	2	6	4	4	62%
	ハイキビ	5	4	2		42%
	オヒシバ	3	7			38%
	エノコログサ	3	3	1		27%
	タチスズメノヒエ	3	4	1		31%
	オガサワラスズメノヒ	2	1			12%
キク	アワユキセンダングサ	1	7	5	2	58%
	ベニバナボロギク	4	3			27%
	ハルノゲシ	4	1			19%
	ウスベニニガナ	4	1			19%
	カッコウアザミ	1	1	1		12%
	アキノノゲシ	1	1			8%
	ホウキギク	2				8%
ブドウ	ヒイラギヤブガラシ	3	2			19%
カタバミ	ムラサキカタバミ	5	4	2		42%
	カタバミ	6				23%
アカザ	コアカザ	1	1	1		12%
ナス	テリミノイヌホウズキ	2	2			15%
	センナリホウズキ	3				12%
ヒユ	アオビユ	2	1	3		23%
ヒルガオ	ノアサガオ	3	6	2		42%
	ホシアサガオ	3	2	1		23%
マメ	シロツメクサ		1	1		8%
ツユクサ	シマツユクサ	2	4	2		31%
ツルムラサキ	ツルムラサキ	5	6	1	1	50%
カヤツリグサ	ハマスゲ	4	8	2		54%

発生圃場率(%)=発生頻度数の合計/回答数26件x100

ネ科雑草では、メヒシバ69%、ツノアイアシ62%、ハイキビ42%等が多かった。イネ科雑草はメイチュウ類の宿主となるため、繁茂すると光や栄養分の競合による生育阻害のみでなく、サトウキビの芯枯れにより生育本数が減少する。メイチュウ類防除のためにも宿主となるイネ科雑草の防除に努める必要がある。イネ科雑草以外には、キク科のアワユキセンダングサ58%、カヤツリグサ科のハマスゲ54%、カタバミ科のムラサキカタバミ42%等が発生している。

近年の沖縄県におけるサトウキビの栽培は、宮古地域や先島地域を中心に夏植え1作体系から、夏植え後、株出しを行う農家が増えている。そのため、収穫から株出しへの移行時期となる冬春期は、1年生広葉およびイネ科雑草が繁茂するため、雑草防除が遅れ

ると、サトウキビの萌芽数、生育本数の確保や初期生育に多大な影響を及ぼす。農家にとっては収穫と株出し管理に追われる時期となるため、効率的な雑草防除のためには除草剤の活用が重要となる。DCMU水和剤やメトリブジン水和剤、イソウロン粒剤等の土壌処理剤の活用が有効である。

つる性雑草ではツルムラサキが50%と多く、次いでノアサガオ42%、ホシアサガオ23%であった。沖縄本島南部地域で問題となっているヒイラギヤブガラシは今回のアンケート結果では19%であった(比屋根2012)。つる性雑草はサトウキビの生育期に繁茂し、サトウキビ生育本数を減少させ、茎伸長を抑制する等により収量低下を引き起こすだけでなく、ハーベスタ等による収穫作業にも多大な影響を及ぼす。培土後の生育期以降はつる性雑草

の繁茂に注意する必要がある。

#### (4) 雑草防除技術開発への要望

サトウキビ畑における雑草防除について、多くの要望を頂いた(質問-6)。サトウキビ栽培において登録がない薬剤の適用拡大の推進、他の農薬との混用による使用効果の確認等が要望された(質問-6)。特に、つる性雑草や広葉雑草を防除する薬剤の開発は現場から強く望まれている。これらの問題を解決するためには、メーカーの協力が必要不可欠である。

沖縄県における生産規模の小さい農家には、散布器具を持ち合わせていない方も多数いる。イソウロン粒剤は、薬液タンクや動力噴霧器等の特別な器具を必要としないので省力的な雑草防除が可能であり、今後の普及が期待される。他にも、農業研究センターに対しては、ドリフト低減技術開発、有機栽培技術の開発、安全な散布技術の開発等が要望されている。

#### おわりに

沖縄県のサトウキビ栽培技術の指導者やサトウキビ生産者を対象とした雑草防除に関するアンケート調査を行い、除草作業の実態や除草剤の使用状況を明らかにした。雑草の発生状況については今後も現地における雑草発生の実態調査を行って現状把握に努める。雑草防除技術に関する農業研究センターへの要望については、今後の試験実施の参考にしたい。新規除草剤に

質問-6 サトウキビ畑の雑草防除に関して、農業研究センターへの御要望はないでしょうか。

項目	内容
除草剤	<ul style="list-style-type: none"> <li>・他の作物で使用されている除草剤のスクリーニングの継続</li> <li>・登録のないグリホサート系除草剤のサトウキビへの適応拡大</li> <li>・つる性の雑草を枯らす薬剤の開発</li> <li>・雑草管理と害虫防除をリンクした対策（イネ科雑草内にメイチュウ類の若齢幼虫が多くいるとき、除草剤を処理するとサトウキビに移行し坪枯れが発生する）。</li> <li>・殺虫剤と除草剤の混用技術の開発</li> <li>・農薬散布量低減技術の開発</li> </ul>
品種育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施肥反応が良く、吸肥力が強い品種の育成（雑草よりも早くサトウキビが生育する）</li> </ul>
栽培	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ドリフト低減技術の開発</li> <li>・オーガニック黒糖製造のための機械的除草技術の開発</li> <li>・尿素利用による除草効果の確認</li> <li>・動噴＋タンクをもっている農家は少ない。除草剤も背負式での散布機利用が多い。</li> <li>・イソウロン粒剤の使用</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・除草剤の普及していない地域に除草剤の使用法、効果等を普及、啓蒙する展示圃場を設置する場合、農家にわかりやすい形での設置方法をアドバイス頂きたい。</li> </ul>

については、メーカーへ働きかける等、適用拡大を進めていきたい。

謝申し上げる。

謝辞

沖縄県農業研究センターの高江洲賢文氏には本報告を取りまとめるにあたり、多くの御助言を頂いた。記して感

引用文献

比屋根真一 2012. 沖縄本島南部地域におけるヤブガラシの発生と防除対策、九州の雑草 9-14.

田畑の草種

仏の座, 三階草 (ホトケノザ)

シソ科オドリコソウ属の一年生あるいは越年生草本。生長すると高さ 10cm ~ 30cm。茎の断面は四角、葉は対生で下部の葉には葉柄があるが上部の葉は無柄で茎を抱く。この対になった葉を蓮華座に見立てて「仏の座」の名がある。上部の葉の葉腋に花をつける。閉鎖花を多数つけるが、開放花は紅紫色の踊り子を思わせる唇形花である。

万葉の昔から、年の初めに野に出て芽を出し始めた若菜を摘むという慣わしがあった。

明日よりは春菜採まむと標めし野に

昨日も今日も雪は降りつつ (万葉集巻 8 山部赤人)

万葉の時代、歌に詠まれる若菜は、特定の草種に限定されていたわけではなく、春に芽吹く野草の総称とも考えられるが、鎌倉時代初期には「芹 薺 繁縷 仏の座 松 蘿蔔」として七種が示され、正月 7 日の朝にこれら七種の野菜を粥

(公財)日本植物調節剤研究協会  
兵庫試験地 須藤 健一

に炊き合わせたものを食す「七草粥」の風習があった。現代でもその風習は引き続いているが、今では、春の野で摘む代わりに、スーパーの棚でパック入りを求めることになる。そのパックの中には、「ホトケノザ」の代わりにキク科の「コオニタビラコ」が入れられている。

どんな図鑑を見ても、どんな七種の解説を見ても、「ホトケノザ」は「コオニタビラコ」であると説明される。これは、牧野富太郎の「植物記」によるものと思われるが、貝原益軒の「大和本草」や室町時代末期の「七草草子」では、七種に「田平子」と「仏座」がともにとりあげられてもいる。

万葉人は何を摘んだのだろうか。例えば、食用「仏の座」として同属の「踊子草」はどうだろうか。それとも、万葉人が摘むのは、「踊子」より「仏」の方がいいのだろうか。

# 果実成長に関わる植物ホルモンの働きと利用

京都府立大学大学院  
生命環境科学研究科  
板井 章浩

果実生産においては、ウンシュウミカンなどを除いて、収益性の高い贈答用、進物用は大玉であることが多く、果実の成長・肥大を促進させることにより、大玉を生産し、高収入を得ることは、果物生産において大きな目的の一つとなっている。しかしながらその成長促進は、糖度の低下などの果実の品質を損なわないようにしないといけない。果実の人為的成長促進には、ジベレリン (GA)、サイトカイニン、エスレル、ジャスモン酸類などの植物ホルモンの利用がされている。いずれにせよ、このような植物ホルモンの利用方法の開発にあたっては、まず果実成長の仕組みを理解する必要がある。

## 1. 果実成長の仕組み

### (1) 細胞分裂と細胞肥大

野生種に比べて栽培種の果実は大きい。野生種の果実と栽培種の最も大きな果実の大きさを比較すると、種によっては数百倍以上の差に達するものもある。栽培化の歴史において、人はより大きく甘い果実を突然変異体の中から見出し、人為的に選抜し、栽培してきた。近代育種においてもその傾向がみられる。

野生種と栽培種の果実の大きさの違いは、複数の遺伝子座、すなわち量的形質遺伝子座 (QTL: quantitative trait loci) によって支配されていると考えられている。ニホンナシにおいては、野生種の果実では細胞数が少ない

ことが報告されている (Zhang *et al.*, 2005)。

果実の大きさは、基本的には果実の細胞数と個々の細胞の大きさで決定される。すなわち、果実の細胞分裂期間とその後の細胞肥大によって決定づけられる。一般に、細胞分裂は、開花・受精前より始まり、活発になり、果実成長のかなり早い時期に終了する。細胞分裂の期間は、果実の種類によって大きく異なっているが、例えば、ブドウでは開花後1~2週間、トマトでは2週間、オウトウやモモのような核果類やリンゴでは3~4週間、柑橘類では7~9週間、ニホンナシでは、早生品種で4~5週間、晩生品種では6~7週間と品種によっても大きく異なっている。またアボカドのように収穫期まで細胞分裂が続くものやキイチゴ類のように開花期までに終わっているものまである。また果実の表皮の細胞分裂は、一般に遅くまで続き、果実内のすべての細胞が同時期に停止するものではなく、部位によって大き

く異なる。代表的な例として、カキでは、果頂部に比べてヘタに近い部分の細胞の分裂は遅くまで続き、ナシ、リンゴでも表皮細胞の分裂は遅くまで続く。

また、一般に倍数性が増大すると、細胞や器官が大きくなる傾向が認められる。二倍体果実であるにも関わらず、モモやオウトウなどの核果類の果実では、果実成長中に細胞分裂によらず染色体が数十倍になる核内倍加が起こり、細胞の倍数性の増加と細胞肥大との関連が示唆されている。ただ、リンゴ、カキ、ナシでは核内倍加はみられない。

### (2) 果実の成長曲線

受精後結実した果実は成熟期まで成長を続ける。成熟までの期間は果物の種類、品種によって大きく異なるが、それぞれの果実の成長は、二つの成長パターンに分類することができる (図-1)。一つは単一S字型成長曲線を示すもので、緩やかな初期成長ののち、

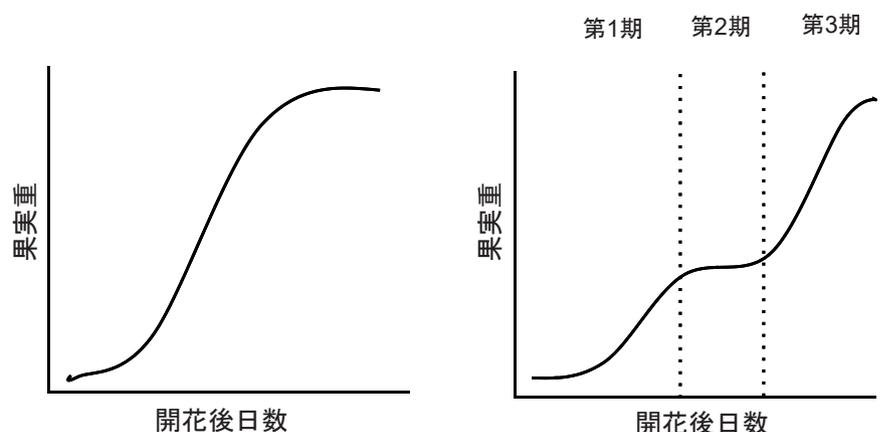


図-1 果実の成長曲線のパターン 左：単一S字型曲線 右：二重S字型曲線

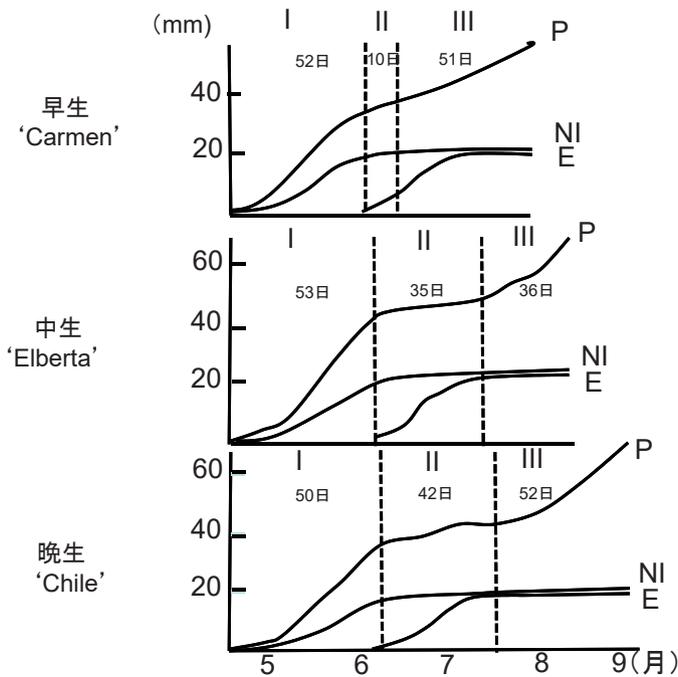


図-2 モモ早生、中生、晩生品種の果実、種子、胚の成長曲線  
 I: 第1期 II: 第2期 III: 第3期 P: 果実(縦径) NI: 種子(縦径) E: 胚(縦径)  
 熟期の早晩は第2期の期間の差による

成長中期には著しく成長し、成熟期前になると肥大速度が鈍くなる。リンゴ、ナシなどの果樹やスイカやキュウリなどの果菜類がこの成長パターンを示す。もう一つは二重S字型成長曲線を示すもので、開花後の緩やかな成長に続き、急激な肥大を示す。その後いったん肥大速度が鈍化し、一時的な成長停滞期を迎えた後、再び成長が活発になり、成熟前になると肥大速度が鈍くなる。このグループでは、初期の急速な肥大期を成長第1期、途中の成長停滞期を第2期、成熟前の肥大期を第3期として区分する。モモ、スモモ、オウトウなどの核果類やブドウ、イチジク、カキなどの果樹がこの成長パターンを示す。第2期の成長停滞期はブドウやカキなどでは種皮が硬化し、モモやオウトウなどの核果類では内果皮がリグニン化する硬核期にあたる。この時期には、種子内部の胚などが発達し、発芽可能な状態に成長する。さらにブドウやカキの無核品種やジベレリンなどで単為結果させた果実では、第

2期が認められにくくなることから、種子成長に多くの養分が奪われ、果実に養分がまわらないことが大きな要因と考えられている。また、モモにおいては品種の熟期の早晩性については、早生、中生、晩生とも第1期の期間にはほぼ差が認められないが、第2期の期間は大きな差異が認められ、第2期の期間の差が成熟期の早晩性の大きな要因となっている(図-2)。

### (3) 生理的落果

果樹の生理的落果は成熟期までの生育期間中に、台風などの物理的な要因や病害虫などの要因以外で落果することをいい、樹性などの生理条件や栄養条件、環境要因などによって起こる。生理的落果の発生の大部分は、開花後1~2ヶ月に起こり、その後はほとんど落果せず、収穫期前になり再び落果するものもある。前者を早期落果といい、後者を後期落果という。

早期落果も主に開花2週間後までに起こる落果とリンゴやカキ、モモな

どでは開花直後に加えて、6月中下旬~7月初旬に起こる落果に分けることができる。開花直後の生理的落果は、胚珠や胚嚢の異常発達や退化や受粉条件不良による不受精が主な原因である。また6月中下旬~7月初旬に起こる落果はジューン・ドロップといわれ、新梢成長や他果実との競合や梅雨による栄養供給不足で起こると考えられている。生理落果と植物ホルモンの関係については、カキやリンゴにおいて、離層を挟む果実側と樹体側のオーキシシン(IAA)の濃度勾配が原因の一つであることが示唆されている。カキでは果頂部にオーキシシンを塗布したところ、落果が抑えられたとの報告がある(寿松木ら1989)。その他、GAもリンゴ、ウンシュウミカン、カキの生理落果防止に効果が認められているが、機構は不明である。

一方、後期落果はリンゴ、カキ、晩生カンキツの一部の品種ではかなり起こることがあり、直接収量に影響するので極めて大きな問題である。この後期落果についてもオーキシシン処理の有効性が示されている。オーキシシン活性を示す物質であるジクロロプロップ(2,4-ジクロロフェノキシプロピオン酸)とMCPB(2-メチル-4-クロロフェノキシ乳酸)、NAA(ナフタレン酢酸)が落果しやすいリンゴのデリシャス系や‘つがる’、ニホンナシなどに実用化されている。

## 2. 果実成長と植物ホルモンの関係

### (1) 果実成長に伴う植物ホルモンの動態

種子の存在が果実の成長に大きな影響を及ぼすことはよく知られており、一般に果実の大きさはしばしば種子数と関連し、種子数の多い果実ほど果実が大きい。また同じ果実の中で、種子の存在する部位はない部位に比べ果肉の発達が促進され、奇形果の原因となると同時に種子が果実の初期成長に極めて重要な役割を担っていることを示している。種子は、珠心、胚乳、胚の順に組織を発達させるが、その際極めて高濃度の植物ホルモンを生成することが知られている。この生成される植物ホルモンが果実成長のための細胞分裂・細胞肥大を制御していると考えられる。植物ホルモンとしては、オーキシン、ジベレリン(GA)、サイトカイニン、アブシジン酸(ABA)、エチレン、ブラシノステロイド、サリチル酸、ジャスモン酸、そして最近になってストリゴラクトン類が同定され、植物の発生、分化、成長、環境応答などの重要な因子として働いていることが知られている。果実中の内生植物ホルモン含量を測定すると、成長初期、中期にはサイトカイニン、ジベレリン、オーキシンの含量が高く、後期になるとABAやエチレンの生成がみられることが多い。しかし果実の成長に伴う植物ホル

モンの含量変化については、これまで生物検定法によって行われたデータが中心となっており、最新の機器や方法で調べられた例は少なくまた、網羅的に植物ホルモンの含量の変化を調べられた例は無かった。最近になってLC-QMSなどの分析機器のレベルの向上により可能になり、及川ら(2015)によってセイヨウナシ‘ラフランス’の開花期から成熟期までの果実内の各種植物ホルモンの推移について発表がなされた(図-3)(Oikawa *et al.* 2015)。彼らは、サリチル酸(SA)、ジャスモン酸類(JA,JA-Ile)、アブシジン酸(ABA)、ジベレリン類(GA<sub>1</sub>,GA<sub>4</sub>)、オーキシン(IAA)、ブラシノステロイド類(BL,CS)、サイトカイニン類(tZ, DHZ, iP, tZR, DHZR, iPR)の植物ホルモンについて開花2週間前から収穫1ヶ月後まで、果実内の含量について経時的に測定した。結果、サリチル酸、ジャスモン酸類、オーキシン、ジベレリン類、サイトカイニン類は開花後2週間目までに激減する傾向が見られ、受精、そしてその後の初期の細胞分裂にこれらの植物ホルモンが大きく関与していることが明らかとなった。ブラシノステロイド類は、中でもブラシノライド含量が果実発育中期上昇することが初めて明らかとなった。ナシ果実におけるブラシノステロイド類の役割はまだ不明である。一方、アブシジン酸は開花期頃に最も高く、開花2週間目頃までに減少する点は、他のホルモンと同様の傾向が見られたが、収穫期そして収穫後

に急激な上昇がみられ、他の植物ホルモンとは異なるパターンを示した。ブラシノステロイド類も収穫後上昇が見られた。収穫後は、樹体からの水分供給が絶たれるため、特にアブシジン酸は水分ストレスに反応した可能性がある。

他の植物種においては、トマトでは、ジベレリンの一つ活性型のGA<sub>1</sub>は、開花10日頃高い含量を示し(Bohner *et al.* 1988)、またスイートオレンジでもGA<sub>1</sub>は開花期頃最も高い含量を示すことが報告されている(Ben-Cheikh *et al.* 1997; Talon *et al.* 1990)。いずれにしても、その含量は、果肉に比べ種子組織で非常に高いことが報告されている。サイトカイニンについては、モモにおいて果肉および種子において、ゼアチン(tZ)、ゼアチンリボシド(tZR)、ジヒドロゼアチン(DHZ)、イソペンテニルアデニン(iP)などが同定され、果肉では、これらの含量は開花1週目頃まで高い含量を示すのに対して、種子では開花後4~7週の成長中期に高い含量を示すことが報告されている(Arnaud *et al.* 1999)。キウイフルーツでは、ゼアチン、ゼアチンリボシド、イソペンテニルアデニン、イソペンテニルアデニン(iPR)が同定され、すべてのサイトカイニンが、開花から成長初期に非常に高い含量を示しその後低下するが、ゼアチン、ゼアチンリボシドについては成熟期にもう一度含量が増加することが報告されている(Lewis *et al.* 1996)。成熟期にサイトカイニン

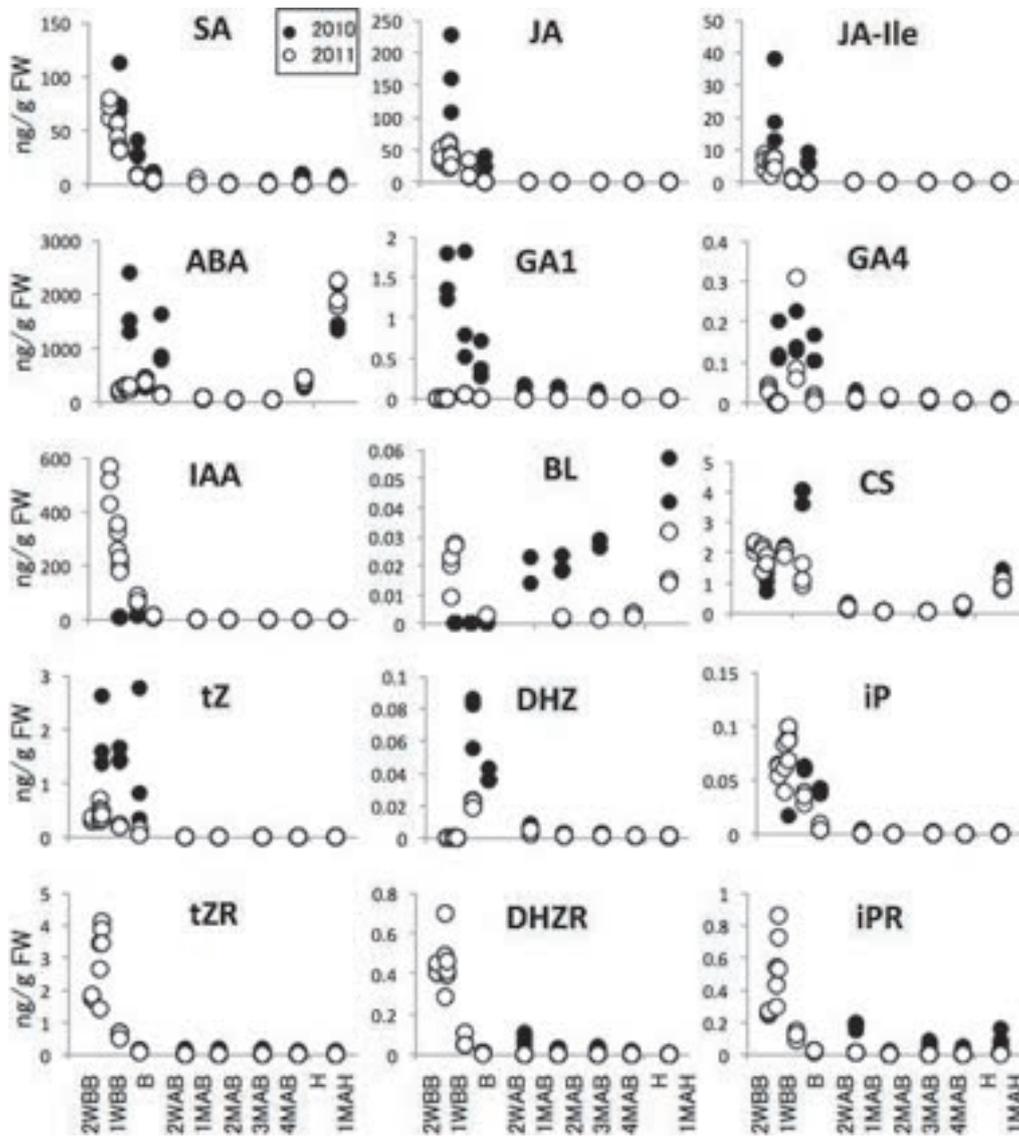


図-3 セイヨウナシ‘ラフランス’果実の発育に伴う植物ホルモン含量の経時的変化

●: 2010年, ○: 2011年

SA: サリチル酸, JA: ジャスモン酸, JA-Ile: ジャスモン酸イソロイシン, ABA: アブシジン酸, GA1: ジベレリン1, GA4: ジベレリン4, IAA: インドール酢酸, BL: ブラシノリド, CS: カスタステロン, tZ: トランスゼアチン, DHZ: ジヒドロゼアチン, iP: イソペンテニルアデニン, tZR: トランスゼアチンリボシド, DHZR: ジヒドロゼアチンリボシド, iPR: イソペンテニルアデニンリボシド

2WBB: 開花2週間前, 1WBB: 開花1週間前, B: 開花期, 2WAB: 開花1週間後, 1MAB: 開花1ヶ月後, 2MAB: 開花2ヶ月後, 3MAB: 開花3ヶ月後, 4MAB: 開花4ヶ月後, H: 収穫期, 1MAH: 収穫1ヶ月後

含量が上昇する珍しい例である。オーキシンについては、メロン果実では、受精時から開花3週間頃まで高いインドール酢酸 (IAA) 含量を示すことが (Hayata *et al.* 2002), ウンシュウミカンやヒュウガナツ果実では、インドール酢酸含量は、開花10日頃ピークを迎え、その後低下することが報告されている (Kojima *et al.* 1996)。以上のことから、主要な植物ホルモンのジベレリン、サイトカイニン、オー

キシン含量は、果実の初期成長と密接に関わっているものと思われる。

## (2) それぞれの植物ホルモンと果実成長との関係

### 1) ジベレリン (GA)

ジベレリンは、現在その化学構造の違いと発見順から GA<sub>1</sub> から GA<sub>136</sub> まで存在が明らかになっている。また、*Gibberella fujikuroi* (イネ馬鹿苗病菌) の培養により、GA<sub>3</sub> の大量生産がな

され、果実肥大促進に最も用いられる植物ホルモンである。効果のある GA は、C20 位と C3 位が酸化されている GA<sub>1</sub>, GA<sub>3</sub>, GA<sub>4</sub>, GA<sub>7</sub> であり、活性化型 GA と呼ばれている。実際、GA 受容体タンパク質 (GID) は GA<sub>1</sub>, GA<sub>3</sub>, GA<sub>4</sub>, GA<sub>7</sub> と高い親和性を示すことが報告されている (Ueguchi-Tanaka *et al.* 2005)。

果実肥大への取り組みは、ブドウのレーズン用無核品種に用いられたの



図-3 GAの種類がニホンナシ‘幸水’果実の成長に及ぼす影響  
ニホンナシではGA<sub>3</sub>では肥大促進効果が見られない

が、果実肥大促進の最初の例である。現在でも2倍体ブドウ品種‘デラウエア’、‘マスカット・ベリーA’などの無核果生産および果実肥大促進・熟期促進や4倍体品種‘巨峰’、‘ピオーネ’などの花振るい防止、無核果生産および果実肥大促進にGA<sub>3</sub>が用いられている。‘デラウエア’においては、満開14日前に1度目のGA<sub>3</sub>の水溶液(100ppm)を果房に浸漬処理を行い、胚珠と花粉の受精能力をなくし、無核化をはかり、満開10～14日後の2度目の水溶液処理で、果実肥大促進をはかるものである。GA処理と同時にストレプトマイシン(SM)を処理することにより、無核果率が上昇し、また1回目の処理期が拡大する。この技術も実用化されている。一方、ニホンナシでは、GA<sub>4</sub>に効果が認められ、GA<sub>3</sub>には効果が認められない、開花後40日までにGA<sub>4</sub>を含むペーストを果梗に処理することに果実肥大促進・熟期促進効果がある(図-4)。このように果実の種類によって効果のあるGAの種類が異なっている。その他、GAはネーブルオレンジやカキの落果防止やトマトの空洞果防止にも利用されている。

## 2) サイトカニン

サイトカニンは、細胞分裂を促進するホルモンの総称である。果実発育初期の細胞分裂による細胞数増大に深く関わるものと考えられる。事実、カキやキウイフルーツの開花前から開花後すぐの子房に強い活性と同時にサイトカニン代謝の阻害を示すフェニル尿素系合成サイトカニン(ホルクロルフェニユロン, CPPU, 商品名フルメット)を処理することにより、細胞数増大に伴う果実肥大促進がみられる。また現在、巨峰系四倍体品種においては、満開後3～5日にGA<sub>3</sub>の水溶液(100ppm)にフルメット(2.5～10ppm)を混用し、浸漬する1回処理により、現在、ブドウの着粒確保と果実肥大が促進される技術が実用化されている。その他、キウイフルーツ、ビワなどの果実肥大促進に実用化されている。開花初期に活発に細胞分裂が行われ、その後停止するメカニズムは、まだはっきりしていないが、近年、細胞の分裂する過程(細胞周期: Cell Cycle)に関わる遺伝子の関与が考えられている。トマトにおいては細胞周期関連のサイクリンD3遺伝子の発現が胚珠において開花・受精後に急

激に上昇し、受精3日後ピークに達する(Kvarnheden *et al.* 2000)。ちょうどこの時期、サイトカニン含量もピークを迎えることから、サイトカニンによる細胞分裂促進にこのサイクリン遺伝子の関与が考えられている。

## 3) オーキシン

オーキシンと果実肥大の関係については、イチゴの果托(通称果実)の成長には、瘦果(一般に種子と呼ばれている)からのオーキシン供給が鍵になっていることが示され、以後果実肥大に重要な役割を担っていると考えられてきた。天然型としてインドール-3-酢酸(IAA)とインドール-3-酪酸(IBA)が植物体内に存在するが、非常に不安定なため、合成オーキシンである4-クロロフェノキシ酢酸(4-CPA)、商品名トマトーンがトマトなどの果菜類の着果促進・果実肥大の目的に用いられている。この着果促進機構としては、4-CPAがGA生合成系の遺伝子の発現を増大させ、GA含量を高めることが一因になっていることが示唆されている。トマトにおいてはオーキシン関連の突然変異体で単為結果の促進や果実の肥大が抑制される現象がある。この原因として果実成長初期に、オーキシンの受容体タンパク質(TIR)と結合しオーキシンの情報伝達を負に制御する転写因子*Aux/IAA*の発現上昇がみられることが要因の一つになっていることが報告されており(Balbi *et al.* 2003)、オーキシンの情報伝達が、果実の初期成長に大きな役割を果たしていることが示唆されている。また、

細胞肥大には細胞壁の構造変化に伴う伸長性が関与すると考えられるが、オーキシンはこの構造変化に関わることで、果実肥大を促進している可能性がある。実際、トマトにおいて細胞壁のヘミセルロースとセルロースの分解や再構成に関わるエクспанシン遺伝子、エンド型キシログルカン転移/加水分解酵素、エンドグルカナーゼ遺伝子がオーキシン処理により発現が増大することおよび果実の急激な肥大時期に発現が増大することが報告されている (Catala *et al.* 2000)。

#### 4) その他の植物ホルモン

ブドウはベレゾーン以後、ABA 含量が上昇し、果実肥大の促進と糖含量の上昇がみられる。またブドウ果実に外生的に ABA を処理すると着色そして成熟が促進されることから、ABA が後期肥大に関与していると考えられている。ブドウ果実において、糖と ABA のクロストークによる制御を受けるタンパク質遺伝子の存在が明らかになっており、後期肥大への関与が示唆されている (Carrari *et al.* 2004)。また ABA は種子内の胚の成熟や休眠に関わると考えられ、種子の果実内での発芽を抑制することにより、果実の後期肥大を促している可能性がある。ジャスモン酸類については、プロヒドロジャスモン酸 (PDJ) によるリンゴおよびブドウの着色および成熟促進が報告され、成熟促進技術として実用化されている。プロヒドロジャスモン酸はまた GA<sub>3</sub> との混合処理でウンシュウミカンの浮皮防止にも効果が認められ

ている。また成熟促進ホルモンであるエチレンの発生剤であるエテホン (エスレル: 2-クロロエチルスルホン酸) をナシの開花 50 ~ 60 日頃に 12.5 ~ 25ppm 程度の濃度で葉面散布することにより、果実の成長と成熟が促進される。エテホンの成熟促進は、ナシの他、オウトウ、カキ、イチジクなどで実用化されている。

以上、これらの他の植物ホルモンも含めて、植物ホルモンと果実成長との関係についてはまだまだ不明な点が多い。しかし現在、それぞれの植物ホルモンの定量技術の改良や生合成および情報伝達経路が分子レベルで急速に明らかになりつつある。また、それぞれの植物ホルモン同士のクロストークの機構についても進展が見られる。今後、それらの知見による果実成長への役割が急速に解明されていくと考えられ、新しい植調剤の開発にもつながると期待される。

#### 引用文献

Arnau, J.A. *et al.* 1999. Cytokinins in peach: endogenous levels during early fruit development. *Plant Physiol.* Biochem. 37, 741-750.  
Balbi, V. and Terri L. Lomax 2003. Regulation of early tomato fruit development by the *Diageotropica* Gene1. *Plant Physiol.* 131, 186-197.  
Ben-Cheikh, W. *et al.* 1997. Pollination Increases Gibberellin levels in developing ovaries of seeded varieties of citrus. *Plant Physiol.* 114, 557-564.  
Bohner, J. *et al.* 1988. Identification and quantitation of gibberellins in fruits of *Lycopersicon esculentum*, and their

relationship to fruit size in *L. esculentum* and *L. pimpinellifolium*. *Physiol. Plant.* 73, 348-353.

Carrari, F. *et al.* 2004. Heard it through the grapevine? ABA and sugar cross-talk: the ASR story. *Trends Plant Sci.* 9, 57-59.

Catala, C. *et al.* 2000. Auxin-regulated genes encoding cell wall-modifying proteins are expressed during early tomato fruit growth. *Plant Physiol.* 122, 527-534.

Hayata, Y. *et al.* 2002. Pollination and CPPU treatment increase endogenous IAA and decrease endogenous ABA in muskmelons during early development. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127, 908-911.

Kojima, K. *et al.* 1996. Changes in ABA, IAA and GAs contents in reproductive organs of Satsuma Mandarin. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 65, 237-243.

Kvarnheden, A. *et al.* 2000. Isolation of three distinct CycD3 genes expressed during fruit development in tomato. *J. Exp. Bot.* 51, 1789-1797.

Lewis, D.H. *et al.* 1996. Cytokinins and fruit development in the kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). I. Changes during fruit development. *Physiol. Plant.* 98, 179-186.

Oikawa, A. *et al.* 2015. Metabolic profiling of developing pear fruits reveals dynamic variation in primary and secondary metabolites, including plant hormones. *PLOS One* 10(7), e0131408,

寿松木章ら 1989. カキ果実の生理落果に関する生理学的研究 - 5. 果実のオーキシンと生理落果との関係. *果樹試報 A* 16, 31-37.

Talon, M. *et al.* 1990. Gibberellins in citrus sinensis: a comparison between seeded and seedless varieties. *J. Plant Growth Reg.* 9, 201-206.

Ueguchi-Tanaka, M. *et al.* 2005. Gibberellin insensitive dwarf1 encodes a soluble receptor for gibberellin. *Nature* 437, 693-698.

Zhang, C. *et al.* 2006. The impact of cell division and cell enlargement on the evolution of fruit size in *Pyrus pyrifolia*. *Ann. Bot.* 98, 537-543.

# 果実の成熟に関わる 植物ホルモンの働きと利用

千葉大学大学院  
園芸学研究科

近藤 悟

果実の成熟にともなって果実では様々な生理的変化が起こる。果実の成熟促進に関わる植物ホルモンとしては、エチレン、アブシシン酸、ジャスモン酸などがあげられる。植物ホルモンの作用機構と、これらが実用的に利用されている植物成長調節剤について記述する。

## 1. 果実成熟にともなう果実の収穫前落果

果実は収穫前になると果柄の基部に離層という細胞層が形成され、この部分から落果しやすくなる。離層の形成には、主に果実で生合成されるエチレンおよびアブシシン酸が関わる。収穫前落果は果実および品種によってその程度が異なり、たとえば、リンゴ‘つがる’では収穫前落果が多く、一方‘ふじ’ではほとんど見られない。収穫前落果を防止するため、オーキシンを主成分とする収穫前落果防止剤がリンゴとナシで登録されているが、収穫前落果の被害はリンゴで多く報告されている。オーキシンは収穫前の果実に処理されると、果柄部の離層形成を抑制する働きを持つ。収穫前落果防止効果は果実に直接散布されることにより効果的に発揮され、有袋で栽培されている場合には効果が低下するので、散布前の除袋が望ましい。

一般にオーキシスが果実に散布されると、果実成熟が促進される場合が多い。これはオーキシスがエチレン合成経路の ACC 合成酵素遺伝子およ

び ACC 酸化酵素遺伝子の発現を促進し (Kondo *et al.* 2009), 結果的にエチレン産生が促進されることに原因する。エチレンは果柄離層部のセルラーゼ活性を促し果実落果を助長する。このことは一見矛盾するが、収穫前のオーキシシン剤散布により落果が抑制されるのは、この発育段階でのオーキシシンによる離層形成抑制作用が、エチレンによる離層形成促進作用を上回るためと考えることが出来る。

現在、収穫前落果防止のために利用できる登録のある薬剤は、ジクロロプロップ液剤(有効成分:ジクロロプロップ 4.5%, 商品名:ストッポール液剤), MCPB 乳剤(有効成分:MCPB20%, 商品名:マデック) および 1-ナフタレン酢酸ナトリウム水溶液(有効成分:1-ナフタレン酢酸ナトリウム 4.4%, 商品名:ヒオモン水溶液) の 3 剤である。ジクロロプロップ液剤は、リンゴについては 1,000 ~ 1,500 倍希釈で収穫開始予定日の 25 ~ 7 日前に 1 ~ 2 回の散布を行う。ジクロロプロップ液剤による収穫前落果防止効果は比較的長く持続するので、収穫前落果がそれほど多くない地域では 1,000 倍による 1 回散布で十分である。日本ナシの場合は品種によって若干異なるが、1,500 ~ 3,000 倍希釈で収穫開始予定日の 14 ~ 7 日前(‘王秋’では 30 ~ 7 日前)に 1 回散布を行う。また MCPB 乳剤は、リンゴでは 6,000 倍希釈で収穫開始予定日の 25 日前および 15 日前の 2 回に、日本ナシでは 6,000 倍希釈で収穫開始予定日の 14

日前に 1 回散布を行う。カンキツの収穫前落果防止としては、着色期から収穫前 20 日まで 1 ~ 2 回、2,000 ~ 3,000 倍希釈で散布する。1-ナフタレン酢酸ナトリウム水溶液は、リンゴ、ナシとも 1,000 ~ 1,500 倍の濃度で、収穫開始予定日の 21 ~ 7 日前に 1 回、もし低濃度 2,000 倍希釈で散布をする場合は、収穫開始予定日の 21 ~ 14 日前に 1 回その 7 ~ 10 日後に 2 回目の散布を行う。

## 2. 果実の成熟と着色

### (1) アントシアニン生合成

果実は成熟期に達すると各果実独特の着色を開始する。これには主にエチレン、アブシシン酸およびジャスモン酸が関与している。リンゴ、ブドウ、モモ果実等の赤、青色はアントシアニンと呼ばれる色素である。果実のアントシアニンはいくつかの段階を経て合成される。一般にリンゴでは、シアニジン 3-ガラクトサイドが主要アントシアニンで(図-1)、フェニルアラニン→カルコン→フラバノン→ジヒドロフラボノール→ロイコアントシアニン→アントシアニン→アントシアニンの順に合成され、それぞれの生合成にカルコンシターゼ(CHS)、フラバノン 3-ジヒドロキシラーゼ(F3H)、ジヒドロフラバノール 4-レダクターゼ(DFR)、アントシアニンシターゼ(ANS)および UDP グルコース・フラボノイドグルコシルトランスフェラーゼ(UFGluT)等の酵素が関連する。

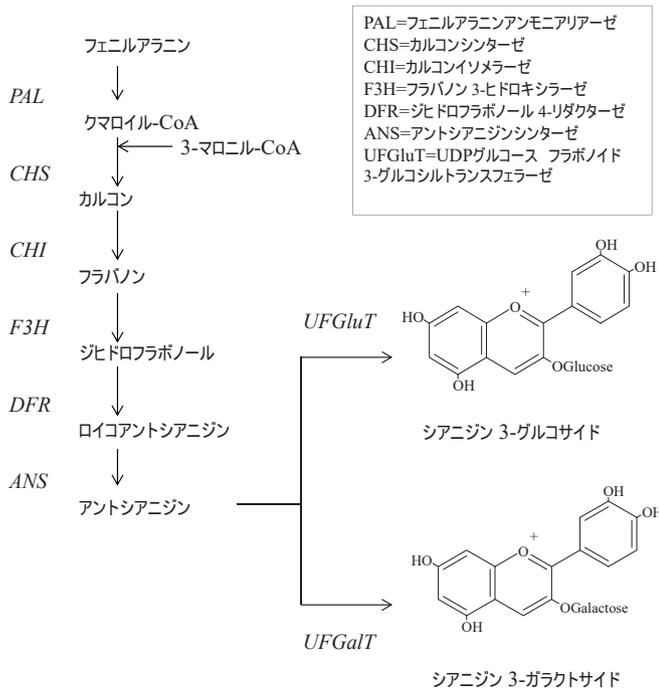


図-1 リンゴ果実におけるアントシアニン合成経路

リンゴ‘つがる’果実の発育中におけるいくつかのアントシアニン合成酵素遺伝子の発現は果実発育に伴うアントシアニン合成の消長と対応し、とくに *MdCHS*, *MdANS* および *MdUFGluT* 遺伝子の発現はアントシアニンの発現が観察されない時期には減少するか消失した。また、*MdCHS*, *MdANS* および *MdUFGluT* 遺伝子は光依存遺伝子であった (Kondo *et al.* 2002)。この結果はこれらの遺伝子がリンゴ果実のアントシアニン発現に直接的に関与していることを示す。一方ブドウで、アントシアニン合成酵素遺伝子の発現を制御する転写因子遺伝子が単離解析され、その役割が解明されている (小林ら 2004)。ブドウへの植物ホルモン、アブシシン酸 (ABA) 処理による転写因子遺伝子とアントシアニン合成酵素遺伝子の発現の一致も報告されている (Jeong *et al.* 2004)。最近の研究では、ブドウ‘巨峰’果房への夜間の青色 LED の照射により、アントシアニン合成が促進されたことが報告された (図-2)。

着色は商品性を左右する大きな要素である。着色向上のために従来より着色期の摘葉作業が行われている。植物ホルモン剤ではないものの、殺虫剤の成分として使用されているキノキサリン系剤とフェニトロチオン (MEP) 剤を主成分とした水和剤 (有効成分：キノキサリン系 12.5%, MEP25%, 商品名：ジョンカラープロ) の利用による着色管理作業の軽減化が行われている。本剤は現在のところ、リンゴ‘ふじ’および‘ジョナゴールド’に登録があり、収穫の 40～50 日前に 500 倍の希釈濃度で処理することにより、主に果そう葉の落葉を誘起する。従来より、果面全体の良好な着色を目的とする摘葉作業は、果そう葉を主体に一部の新梢基部葉についても行われているが、本剤の使用によりその作業時間が 30～50% 短縮されたとの報告もある。本剤は果実の着色に直接的に関与するものではないが、光環境の改善を通じて間接的に着色向上に寄与するものといえる。

これに対して果面に処理されることにより、直接的に着色 (アントシアニン合成) 促進に働く薬剤として現在登録されているものに、植物ホル

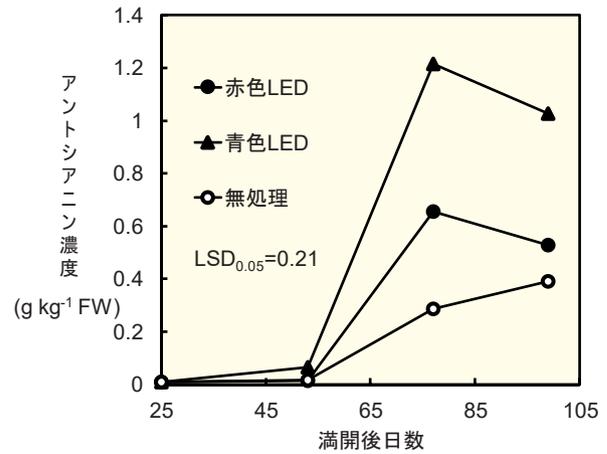


図-2 LED 補光とアントシアニン合成 (近藤悟ら, 2014)

モンであるオーキシン系の MCPB 乳剤 (商品名：マデック), ジャスモン酸誘導体であるプロヒドロジャスモン (PDJ) 液剤 (商品名：ジャスモメート液剤) およびオーキシン系のエチクロゼート乳剤 (商品名：フィガロン乳剤) がある。MCPB 乳剤 (有効成分 MCPB20%) はリンゴに登録があり、3,000～4,000 倍の希釈濃度で、収穫開始予定日の 30～20 日前に、果実を中心に樹全体に処理する。MCPB 剤処理により、果実のエチレン発生が促進され、品種によっては成熟が促進される場合があるので、収穫適期に留意する必要がある。また、ジャスモメート液剤 (有効成分：プロヒドロジャスモン 5%) はリンゴおよびブドウ (巨峰) に登録があり、リンゴでは 500 倍の希釈濃度で収穫予定の 30～25 日前に果実を中心に樹全体に、またブドウ (巨峰) では満開後 35～40 日に 500 倍の希釈濃度で果房に散布処理する。フィガロン乳剤 (有効成分：エチクロゼートエチル 20%) はカキ果実の着色促進に登録があり、満開後 70～80 日後およびその 15～20 日後の 2 回、5000 倍で樹全体に散布処理を行う。

## (2) 果実の着色と抗酸化活性

果実に含まれる抗酸化物質は多数あ

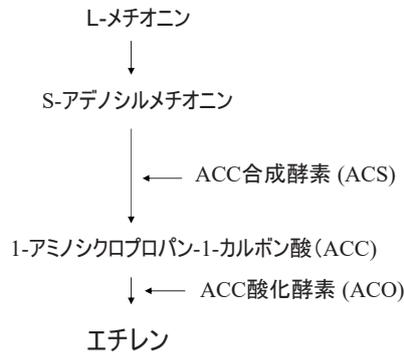


図-3 エチレンの生合成経路

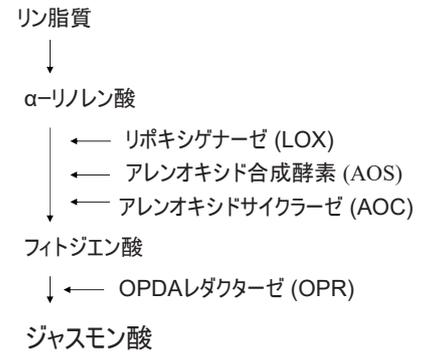


図-4 ジャスモン酸の生合成経路

るが、果皮に多量に含まれる成分としてポリフェノールがある。ベンゼン環に水酸基が結合した物質をフェノールと呼んでいるが、この構造の多数結合したものがポリフェノールである。植物中のポリフェノールは、紫外線や病原菌、虫などから自らを守ろうとする防御システムの一つと考えられている。果実の着色色素であるアントシアニンもポリフェノールの一種である。果実のアントシアニン生成はUV-A域の可視光域に近い380nm付近の波長で活発になる。果実に紫外線が当たると果実中に活性酸素が生成する。細胞など組織内に生じる活性酸素を除去するためポリフェノールの一種であるアントシアニンが生成される。樹体中で日当たりの良い箇所に着果している果実の着色が優れるのはこのような理由による。同様に、果実の着色面では抗酸化物質であるビタミンC濃度も高い。

### (3) 植物ホルモンによる果実の着色促進機構について

エチレンおよびジャスモン酸は果実の着色をはじめとした成熟現象に直接的な関わりを持つ植物ホルモンである。果実中でエチレンは、メチオニンを出発物質とし、1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸 (ACC) を経て生合成される (図-3)。またジャスモン酸はリノレン酸よりフィトジエン酸を経由して生成される (図-4)。このように両者の生合成経路は異なるが、果実の着色などに促進的な作用を持つ。エチレンおよびジャスモン酸と

も果実の成熟期には増加し、着色など果実の成熟現象に関わる。たとえばACC合成酵素の生合成を阻害することでエチレン産生を抑制するアミノエトキシビニルグリシン (AVG) を果実に処理すると、エチレン産生が抑制されるとともに着色 (アントシアニン合成) も抑制された。一方 MCPB 乳剤が散布されたリンゴ果実のエチレン濃度は無処理に比べ高くなり、果皮のアントシアニン合成が促進された。プロヒドロジャスモン液剤もまた、エチレン合成経路のACC合成酵素遺伝子の発現を促進し、エチレン濃度を増加

させリンゴ果実の着色を促進した (図-5)。エチレンは果実のアントシアニン合成に大きな影響を持つが、リンゴ‘つがる’ではAVGとジャスモン酸メチルとの混合処理もアントシアニン合成を促進したことから (図-6)、ジャスモン酸とエチレンはそれぞれ独立してアントシアニン合成に作用するものと考えられる。しかしながら、エチレンとジャスモン酸の両者が相乗的に果実に作用した時に果実の着色が最も促進される。たとえば、エチレン産生量が多い‘つがる’へのPDJ処理では顕著な着色促進効果が観察されている。

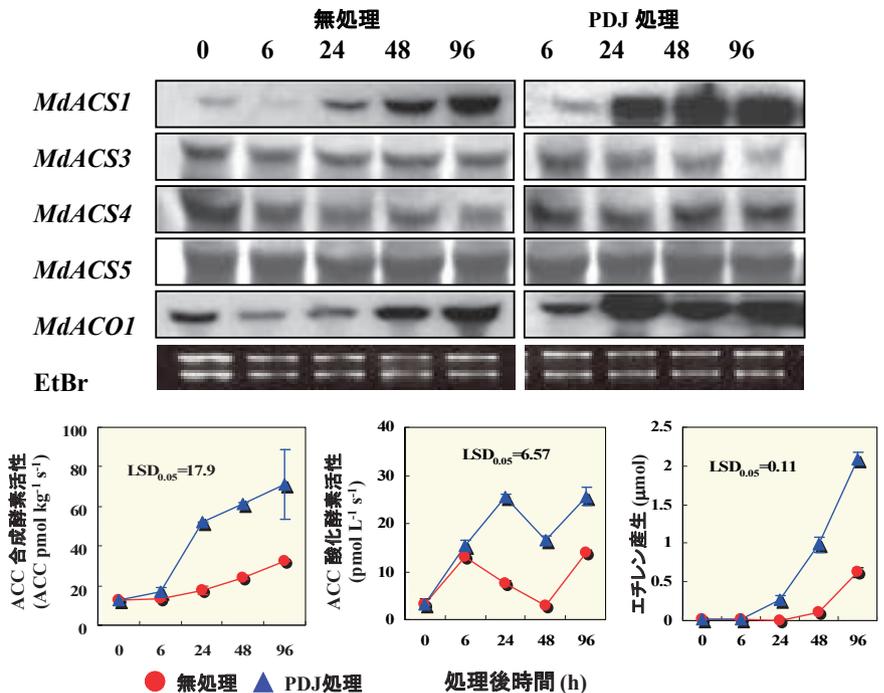


図-5 クライマクテリック前期でのPDJ処理がリンゴ‘つがる’果実のエチレン産生に及ぼす影響 (Kondoら、2009)

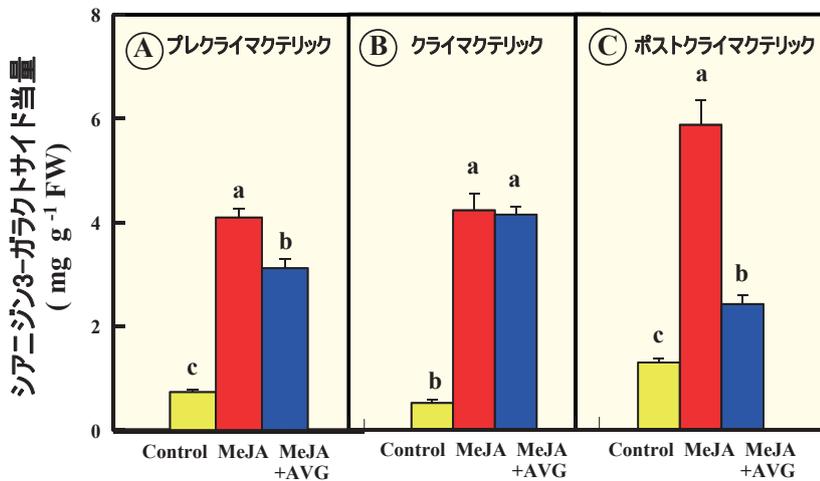


図-6 リンゴの着色に及ぼすジャスモン酸とエチレンの影響 (Kondoら、2001)

アブシシン酸 (ABA) もまた果実の着色に関連している。果実中で ABA は  $\beta$ -カロテンよりゼアキサンチン、ピオラキサンチンそしてキサントキシンを経由して生成される (図-7)。植物体内で合成される内生 ABA が着色に大きく影響する果実としては、ブドウおよびオウトウなどを上げることが出来る。ABA の農業としての登録はないが肥料として登録されている (商品名: ミヨビ) (水溶性カリ 8.0%, 水溶性リン酸 5.0%, 天然型アブシシン酸 10% など含有)。果実の着色などの向上のために、土壌灌水処理の効果が報告されている (禰 2011)。処理としては 10 アールあたり 1 トンの水にミヨビを 50,000 倍に希釈し樹の根部に灌水する。果実に直接処理する場合は、100 ~ 250 倍液を着色初期に散布する。

### 3. 果実の貯蔵性向上

#### (1) 果実の鮮度保持剤

果実は呼吸量の推移から二つの異なる成熟のパターンに分類できる。すなわち成熟に向けて呼吸量が増加するクライマクテリック型と、漸減していく非クライマクテリック型である。クラ

イマクテリック型果実としてはリンゴ、モモ、バナナなどが代表的なものであり、非クライマクテリック型果実としてはブドウ、オウトウなどがある。クライマクテリック型の果実では、呼吸量の増加に先行して果実のエチレン濃度が上昇し果実成熟を誘導する。すなわち成熟期のエチレン濃度の上昇を抑制すれば果実の貯蔵性が向上することになる。これまでもエチレン合成を抑制する植物生長調節剤が開発されたが、果実の貯蔵性向上のために使用されるには至らなかった。そのような中、2010 年 11 月に 1-メチルシクロプロペン (1-MCP) くん蒸剤 (1-MCP をシクロデキストリンに包摂した粉末状製剤) (有効成分: 1-メチルシクロプロペン 3.3%, 商品名: スマートフレッシュくん蒸剤) が、リンゴ、ナシ、カキ果実を対象に登録となった。1-MCP 剤は 2002 年にアメリカで最初に販売されて以来現在 37 カ国で販売されており、日本での登録は 38 カ国目である。

使用方法としては、果実を貯蔵する貯蔵庫など施設内で、リンゴでは  $1\text{m}^3$  あたり 68mg の本剤 (濃度では 1ppm) を、水を入れた容器に入れ 1-MCP を発生させて果実をくん蒸する (図-8)。使用時期としては果実の

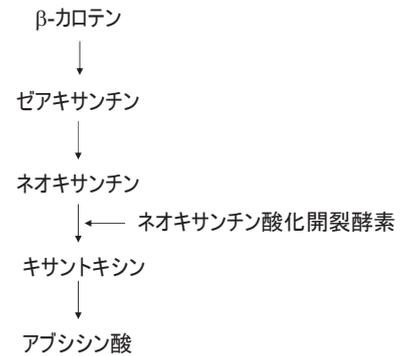


図-7 アブシシン酸の生合成経路

収穫直後から収穫後 6 日までに処理すると効果が高い。またナシおよびカキでは  $1\text{m}^3$  あたり 34 ~ 68mg (濃度では 0.5 ~ 1ppm) を同様に処理する。使用時期としては果実収穫直後 ~ 収穫後 2 日の処理で効果が高い。本剤にて果実をくん蒸する際は、少なくとも 12 ~ 24 時間密封されている必要がある。製剤からの有効成分の速やかな発生のためには 20 ~ 25°C が適するが、低温下ではスマートフレッシュによるくん蒸の時間を長くする。なお水に溶解した後発生する 1-MCP は無色無臭の気体であり、毒性も認められていない。使用回数は 1 回のみである。

#### (2) 1-メチルシクロプロペン (1-MCP) による果実鮮度保持の機構

果実がエチレンなど植物生長調節物質に反応するためには、植物ホルモンの存在を認識する受容体と呼ばれるタンパク質の存在が必要である。エチレン受容体の働きについてはほぼ明らかになっており、この受容体は植物の中で、本来エチレンへの反応を抑制する性質を持っている。しかしこの受容体がエチレンと結合すると、エチレンへの反応を抑制していた受容体の働きが抑えられ、その結果様々な酵素の活性がエチレンに反応して高まり、果実成熟、老化が促進されることになる。したがって受容体の働きを維持するに

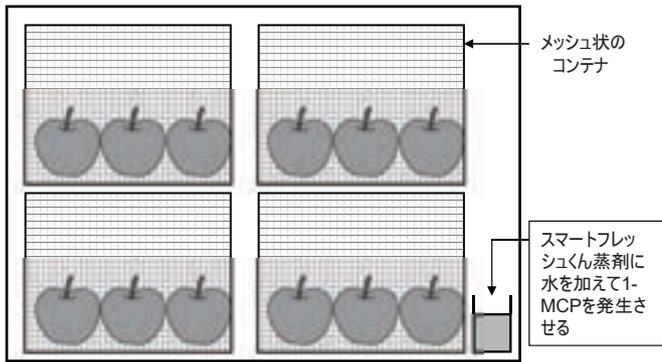


図-8 果実への1-MCP処理(12~24時間の密封処理)

は、受容体にエチレンを結合させないこと、すなわち本来の受容体の働きを停止させない物質をエチレンよりも早く受容体に結合させれば良いことになる。このような発想のもと1-MCPは1996年にアメリカで開発された物質であり、アメリカでは2010年に、リンゴの市場流通量の6割に1-MCPが利用されているとの報告もある。

1-MCPはエチレン受容体と結合しやすく、エチレン発生を速やかに抑制し、貯蔵中の果実硬度の維持など低濃度で効果を発揮する。さらに1-MCPで一旦処理された果実は、その後のエチレンへの反応が抑制されるため、ある一定期間は(受容体は新たに徐々に合成されてくるため)エチレンを生成する他の果実と貯蔵されても効果に影響がない。この特性は海外も含めた遠隔地への果実の輸送等において発揮されるものと考えられる。一方で、受容体が一度エチレンと結合してしまうとその効果は発揮されない。そのため果実の収穫時期が1-MCP処理にあたって重要なポイントとなる。樹上で完熟状態の場合にはすでに相当量のエチレンが果実中に存在していると考えられ、このようなケースでは収穫直後の1-MCP処理でも一般に効果は低い。1-MCPの効果を最大限に発揮させるには、理想的には果実でエチレンが発生する前に収穫し、くん蒸処理することである。果実からのエチレンが発生

する前の時期は、果実内容としては未熟さが残る時期と言える。ただしエチレン発生量の少ない品種では、成熟初期に1-MCP処理されても十分な効果が観察されており(kondo *et al.* 2005)、品種(エチレン発生量の多少)によって収穫時期および処理時期を選択していく必要がある。たとえばエチレン発生量が多い早生品種の‘つがる’では、収穫直後の処理により貯蔵性の向上が図れる。一方で1-MCPはエチレン生成を抑制し貯蔵性を向上させるが、エステルおよびアルコールなど香り成分生成も抑制するため、果実の香りを減少させてしまう(図-9)。そのため使用に当たっては貯蔵期間など目的に応じて使用されることが必要であろう。

日本ナシでも1-MCP処理による果実の貯蔵性の向上が報告されている。リンゴと同様、早生品種の‘幸水’では収穫直後の処理により、通常常温下で5日程度の日持ちが2週間、‘豊水’でも常温下で2週間以上の日持ちが可能であることが報告されている(中村2011)。カキ果実は1-MCPへの感受性が高いため、リンゴ果実に比べ果実の軟化抑制に低濃度で効果がある。渋柿では通常、脱渋処理は収穫当日に

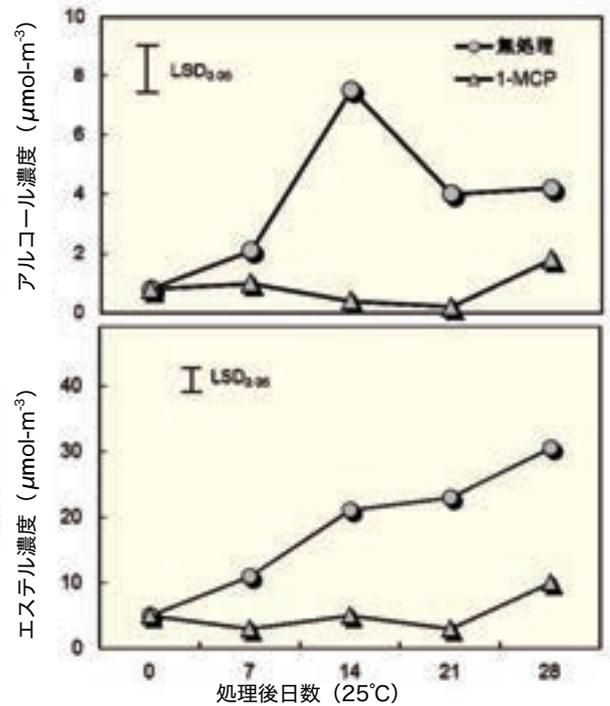


図-9 リンゴの着色に及ぼすジャスモン酸とエチレンの影響(Kondoら、2001)

行われることが多いが、炭酸ガスでの脱渋処理と1-MCP処理を同時に行っても脱渋には影響しなかったことが報告されている(播磨2004)。

### (3) カンキツの浮皮軽減に利用されるジベレリンとジャスモン酸

温州ミカンなどでは成熟が進むと、果皮のアルベドとじょうのうとの間に隙間が生じることがある(浮皮)。一般に浮皮果実の貯蔵性は低くなる。浮皮の軽減のため、ジベレリン剤(3.3~5ppm)とPDJ(25~50ppm)の混合剤を、収穫前3カ月に散布する。浮皮を軽減する機構は明かでないが、処理により果皮の内生アブシシン酸濃度が低下し、果皮の含水率低下による浮皮軽減効果が指摘されている(中嶋ら2009)。

### 参考文献

農業技術大系 共通技術 植物成長調整剤の利用

# 植物ホルモン「オーキシン」の生合成阻害剤の開発と植物成長調節剤としての応用

農研機構 西日本農業研究センター  
添野 和雄

農研機構 果樹茶業研究部門  
立木 美保

横浜国立大学木原生物学研究所 教授  
嶋田 幸久

## はじめに

オーキシンは、発生、細胞分裂、細胞分化、成長促進、環境応答などほとんど全ての成長過程に関与する、植物の成長制御において極めて重要な役割をこなす植物ホルモンである (Davis 2004 ; Teale ら 2006 ; Woodward & Bartel 2005)。主要な天然オーキシシンであるインドール-3-酢酸 (IAA) は、その単純な構造にもかかわらず、様々な生理作用を示すことから、農業としての利用を目指してこれまで数多くの合成オーキシシンが開発されてきた。それらの中には IAA と同様にインドール骨格を持つインドール酪酸 (IBA) や 5-クロロ-3(1*H*)-インダゾリル酢酸エチル (品目名:エチクロゼート), フェノキシ酢酸系オーキシシンの 2,4-ジクロロフェノキシ酢酸 (2,4-D) や *p*-クロロフェノキシ酢酸 (品目名: トマトーン), ナフチル系オーキシシンであるナフタレン酢酸 (NAA; 植物化学調節剤としてはナフタレン酢酸ナトリウム) や 1-ナフチルアセトアミド, およびピリジン系オーキシシンであるピクロラム (picloram) などがあり、植物成長調節剤や除草剤として利用されている。一方、今日提唱されている生合成経路はきわめて複雑で、L-トリプトファン (Trp) を経由する経路 (トリプトファン経路) と Trp を経由しない経路 (非トリプトファン経路) の2つが提唱されている。ト

ンドール-3-ピルビン酸 (IPyA), トリプタミン, インドール-3-アセトアルドキシム, インドール-3-アセトアミドを経由する経路など、網目状の複数の経路が提唱されているが (図-1), IAA が単離されてから 60 年以上たった現在もその生合成経路は未解明な部分が多い。それぞれの経路に異なる遺伝子と酵素が関与するとされているが、それぞれの経路の種特異性や器官特性、生理的な機能分担などはほとんど不明のままである (Normanly 2010)。最近になって、モデル植物であるシロイヌナズナなどを用いた研究から、Trp から Trp アミノ基転移酵素 (TAA1/TARs) により IPyA が生

合成され、次いでフラビン含有一酸素添加酵素の一種である YUCCAs により IPyA から天然型オーキシシンである IAA が生合成される IPyA 経路が主要なオーキシシン生合成経路の一つであると考えられている (Mashiguchi ら 2011 ; Won ら 2011)。

オーキシシンの生合成は、その複雑さから、生合成阻害剤を設計することが困難であると考えられてきた。このような状況でも、D-シクロセリン、ヒドロキシアミンやインドール化合物などが *in vitro* でオーキシシン生合成酵素の活性を阻害したという報告は古くから行われており (Koshiba ら 1993 ; Simpson ら 1997), *in vivo* に

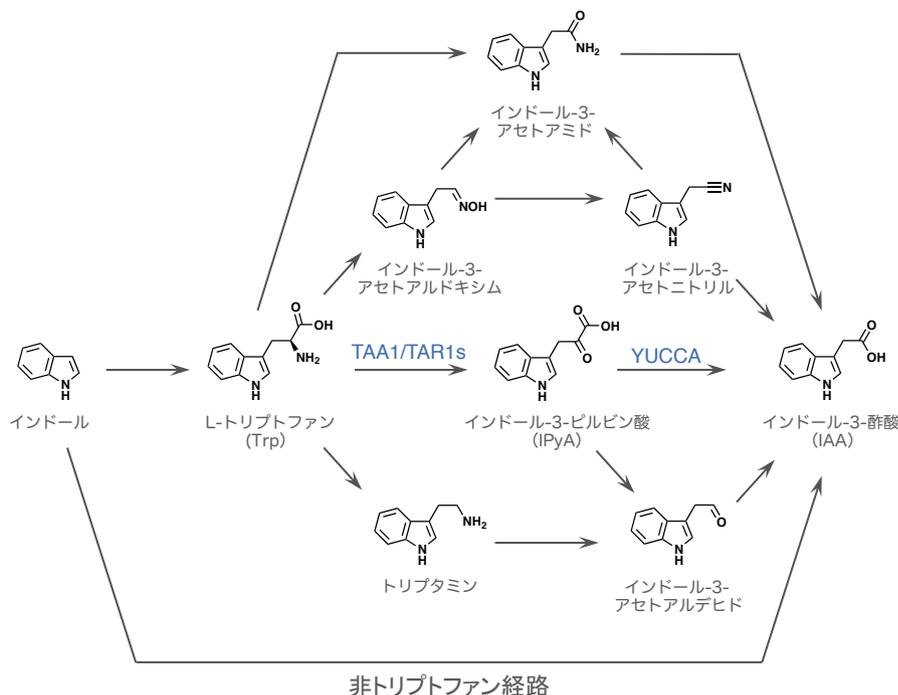


図-1 提唱されているオーキシシン生合成経路  
黒字は代謝物の名称、黒線は代謝経路、青字は酵素名を示す。

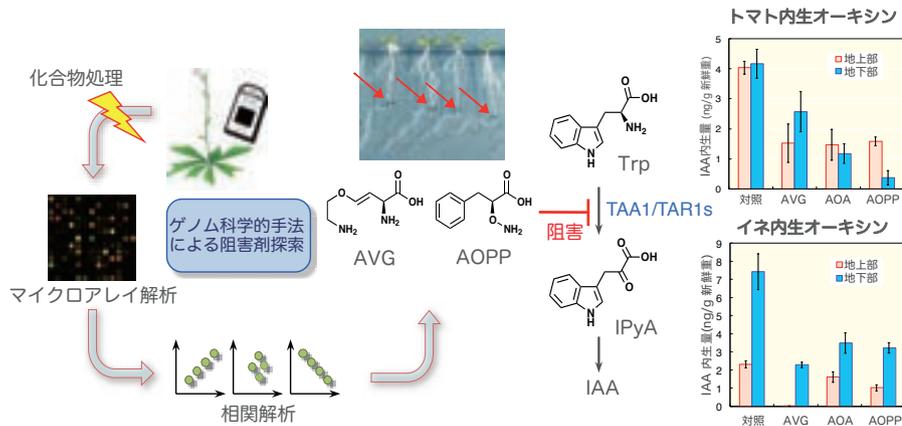


図-2 ゲノム科学的手法によるオーキシシン生合成阻害剤の発見

において生育阻害や代謝阻害が起きることも報告されている (Law ら 1987; Ludwig-Muller ら 2009)。しかし、これら阻害剤を処理した際に植物体の内生の IAA 量が欠乏するという証拠は得られておらず、オーキシシン生合成阻害剤として確立した化合物は存在していなかった。オーキシシン生合成阻害剤の開発が成功すれば、阻害剤をケミカルプローブとして活用することで、オーキシシン生合成経路とオーキシシンの働きについてのより詳細な解析を行うことが可能となる。特にオーキシシンにより制御される植物の形態的・生理的变化や作物生産性などの知見が得られ、将来的には植物成長調節剤や除草剤として農業面での利用技術開発への寄与が期待される。

## 1. オーキシシン生合成阻害剤の発見

筆者らは、シロイヌナズナの DNA マイクロアレイデータの解析結果から L- $\alpha$ -アミノエトキシビニルグリシン (AVG) がオーキシシン反応性遺伝子発現を阻害する活性があることを見いだした (Soeno ら 2010, 図-2)。AVG はエチレン生合成経路におけるピリドキサルリン酸 (PLP) 依存性酵素である 1-アミノシクロプロ

パン-1-カルボン酸合成酵素 (ACS) の阻害剤であったことから、オーキシシン生合成経路で PLP 依存性酵素が想定されるステップをターゲットにオーキシシン生合成阻害剤のスクリーニングを行い、L-アミノオキシフェニルプロパン酸 (AOPP) を活性物質として同定した。AVG や AOPP をエチレン機能が阻害されない条件でシロイヌナズナに与えると、大幅な内生 IAA 量の減少を観察した。シロイヌナズナのオーキシシン生合成経路において、Trp から IPyA への変換を触媒する TAA1/TARs は PLP 依存性酵素であることから、AVG および AOPP の作用点は Trp から IPyA への変換ステップである可能性が考えられた。そこで、シロイヌナズナの粗抽出酵素を用いた *in vitro* アッセイ系で、Trp を基質として IPyA への変換実験を行ったところ、AVG および AOPP は濃度依存的に IPyA 生成を阻害した。さらに、AOPP はシロイヌナズナの根の生育を阻害し、その阻害はオーキシシンやその前駆体の投与により、ほぼ完全に回復した (Soeno ら 2010)。また、シロイヌナズナのリコンビナントタンパク質を用いたアッセイ系で TAA1 酵素活性に対する阻害実験を行ったところ、AOPP は TAA1 の酵素活性を濃度依存的に阻害した (Narukawa-

Nara ら 2016)。こうした一連の実験結果から、これらの化合物がオーキシシン生合成における Trp から IPyA のアミノ基転移ステップを阻害することを確認した。これら生合成阻害剤を、単子葉のイネや双子葉のトマト、ペチュニアなどに与えて内生 IAA 量を測定すると、植物種および器官 (地上部と地下部) ごとに阻害剤の効果が異なっていた。すなわち、オーキシシンは植物種や器官によって異なる生合成メカニズムで合成されることが示唆された (Soeno ら 2010)。

## 2. TAA1/TARs 特異的阻害剤 (ピルバミン) の開発

AVG はエチレン生合成における 1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸合成酵素 (ACS) 阻害剤として、AOPP はフェニルアラニンアンモニア分解酵素 (PAL) の阻害剤として用いられてきた歴史があり、オーキシシン生合成に特異的な阻害剤としてはこれらの副作用が問題となる (図-3)。そこで AOPP をリード化合物として構造展開を行い、アミノオキシ基もしくはその誘導体を有する 50 種以上の構造類縁体を化学合成し、これら化合物を様々な角度から評価した。その結果、AOPP および AVG よりも TAA1 に対して特異性の高い阻害剤の候補として側鎖にアミノオキシ基を持つ化合物群 (ピルバミン: PVM) を見いだした (Narukawa-Nara ら 2016)。その中でもナフトレン骨格にアミノ

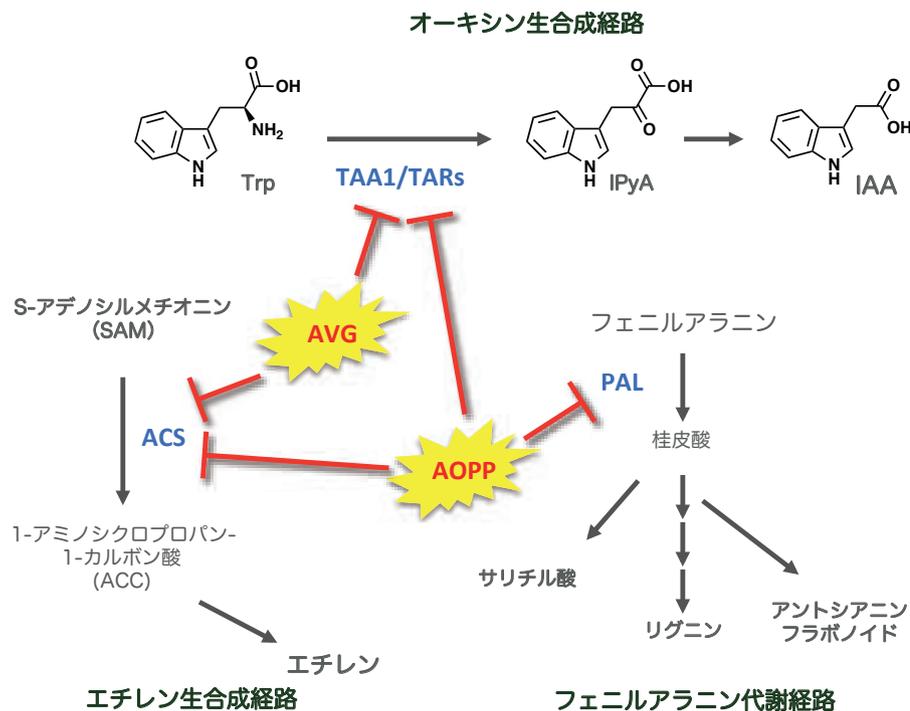


図-3 AVG および AOPP の阻害作用

黒字：代謝物の名称，黒線：代謝経路，赤字：阻害剤の名称，赤線：阻害作用，青字：酵素名を示す。

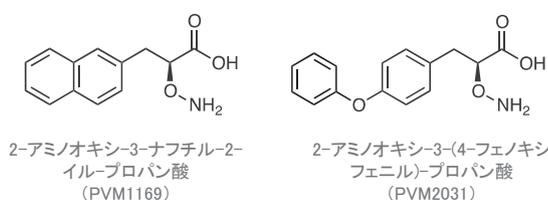


図-4 PVM1169, PVM2031 の構造

表-1 ティクソン-プロット解析より求められた阻害定数 ( $K_i$  値)

	TAA1	AtPAL2	AtACS8
AVG	8.6 $\mu$ M	N.D.	37.6 nM
AOPP	350 nM	3.9 nM	848 nM
PVM1169	76.8 nM	245.8 nM	244.5 nM

N.D.: 阻害活性未検出

TAA1: シロイヌナズナトリプトファンアミノ基転移酵素1

AtPAL2: シロイヌナズナフェニルアラニンアンモニア分解酵素2

AtACS8: シロイヌナズナ1-アミノシクロプロパン-1-カルボン酸合成酵素8

オキシ基が結合した2-アミノオキシ-3-ナフチル-2-イル-プロパン酸 (PVM1169, 引用文献中での呼称はKOK1169, 図-4) は, *in vitro*においてAOPPと比べシロイヌナズナのTAA1に対する $K_i$ 値は76.8nMと低い一方, シロイヌナズナのAtPAL2に対する $K_i$ 値は高く, AVGと比較してもシロイヌナズナのAtACS8に

対する $K_i$ 値が高かった(表-1)。*in vivo*においては, AOPPと比較してシロイヌナズナにおけるフェニルアラニン蓄積への影響が抑制されるとともに, AVGと比較してもエチレン発生への影響がほとんど見られなかった。また, 低濃度でシロイヌナズナの主根の伸長を抑制する一方, IAAの同時処理により主根の伸長抑制は回復した(図-5)。また, PVM1169は濃度依存的に, シロイヌナズナのオーキシン応答性遺伝子*Aux/IAA1*および*Aux/IAA5*の発現をAOPPよりも低濃度で抑制するが, IAAの同時処理により遺伝子発現は回復した。これらの結果からオーキシン生合成経路における最初のステップであるTrpからIPyAへの変

換を触媒するTAA1/TARsに対して, PVM1169はAOPP, AVGよりも特異的で高活性な阻害剤であることが確認できた。なお, イネやペチュニアなどシロイヌナズナ以外の植物種においてもPVM1169処理によりIAA内生量が減少することを確認している。

一方で, PVMライブラリ化合物をイネのTARホモログであるOsTAR1リコンビナントタンパク質に処理すると, シロイヌナズナでは強い阻害活性を示さなかった化合物PVM2031 (2-アミノオキシ-3-(4-フェノキシフェニル)-プロパン酸, 図-4) がもっとも高い阻害活性を示した(Kakeiら2016)。これらの結果から, TAA1/TARs阻害剤として最適な構造は植物種により異なることが明らかとなった

### 3. YUCCA 特異的阻害剤の開発

主要なオーキシン生合成経路の最終段階であるIPyAからIAAへの変換ステップは, PLP酵素とは異なりフラビン含有酸化酵素であるYUCCAが触媒しているため, 阻害剤リード化合物のスクリーニングから研究に着手した。シロイヌナズナのYUCCA2リコンビナントタンパク質を用いた*in vitro*アッセイ系を確立し, 600以上の化合物についてYUCCA阻害活性を調べた結果, リード化合物としてフェニルボロン酸(PBo)を見いだした(Kakeiら2015)。そこで, 市販の31種の芳香族ボロン酸化合

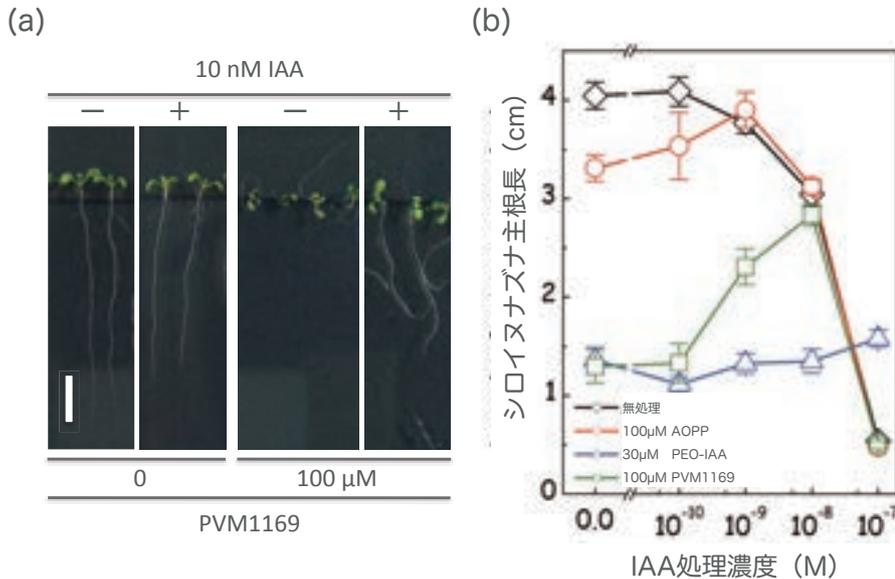


図-5 阻害剤処理によるシロイヌナズナ幼苗の生育阻害と IAA 同時処理による回復  
 (a) 播種 8 日目のシロイヌナズナ幼苗の形態。1/2MS 寒天培地に PVM1169 (100μM) および IAA (10nM) を添加 / 無添加して育成 (スケールバー: 1cm)。  
 (b) 阻害剤処理したシロイヌナズナ幼苗の主根長。AOPP (100μM) ,PEO-IAA (オーキシンの受容阻害剤, 30μM) および PVM1169 (100μM) 含有 1/2MS 寒天培地に, IAA を濃度段階を振って添加し, 8 日間育成。

物 (図-6) について, シロイヌナズナ主根の伸長抑制活性, シロイヌナズナの内生 IAA 量の減少, および *in vitro* アッセイにおける YUCCA 阻害活性を指標としたスクリーニングを行い, YUCCA 阻害剤の候補化合物の選抜を進めた。最終的にはシロイヌナズナの YUCCA 過剰発現形質転換体 (AtYUC1ox) の芽生えを用いた *in vivo* アッセイにより 4-ピフェニルボロン酸 (BBo) および 4-フェノキシフェニルボロン酸 (PPBo) を選抜した (図-7)。AtYUC1ox の芽生えは YUCCA の過剰発現により内生 IAA 量が増加しているため, 野生型と比べて主根の伸長が著しく抑制されるとともに根毛を過剰に形成したオーキシン過剰の形態を示す。BBo および PPBo は, 芽生えにおいてオーキシン生合成酵素以外の酵素への非特異的な阻害作用を示さず, 内生 IAA 量を特異的に減少したことにより, 芽生えが野生型と同様の形態に回復したと考えている。一方, 根毛の過剰形成は抑制する

が主根の伸長が回復しない化合物も見られた。これらの化合物は, YUCCA 阻害活性を持つため AtYUC1ox の内生 IAA 量を減少させるが, 同時に YUCCA 以外の芽生えの生育において必要な酵素にも作用する非特異的阻害剤と思われる。BBo および PPBo の *in vitro* における YUCCA2 リコンビナントタンパク質に対する *K<sub>i</sub>* 値はそれぞれ 67nM および 56nM であった。シロイヌナズナ芽生えにおいて, BBo および PPBo は濃度依存的に内生 IAA 量を低下し, YUCCA タンパク質の基質である IPyA を蓄積した。また, 低濃度処理による主根の伸長抑制と芽生えの新鮮重の減少は IAA の同時処理により回復した。さらに, PPBo を用いたオーキシン応答性遺伝子 *Aux/IAA1* および *Aux/IAA19* の発現を解析したところ, PPBo 単独処理ではコントロールと比較して *Aux/IAA1* および *Aux/IAA19* の発現量が減少した (図 8-a)。また, IAA 単独処理と比較して PPBo と IAA の同時処理で

は *Aux/IAA1* および *Aux/IAA19* の発現量に差は見られなかったのに対し, IPyA 単独処理と比較して PPBo と IPyA の同時処理では *Aux/IAA1* および *Aux/IAA19* の発現量が減少していることから, オーキシンの受容や信号伝達は阻害せず, YUCCA による IPyA から IAA への変換を阻害していることが示された。これらの結果から, BBo および PPBo は YUCCA に特異的な阻害剤であることが確認された (図 8-b)。

#### 4. その他の阻害剤について

以上のように, 我々はオーキシンの主要な生合成経路と考えられている IPyA 経路において Trp から IPyA への変換を触媒する酵素 (TAA1/TARs) に対して特異的阻害剤 PVM を開発した。また, IPyA から IAA への変換を触媒する酵素 (YUCCA) の特異的阻害剤として芳香族ボロン酸を開発した。我々がこれらの阻害剤を開発している間に, 他のグループにより TAA1/TARs に対する阻害剤として L-キヌレニン (Kyn) が (Heら 2011), また YUCCA に対する阻害剤として YUCASIN が報告されている (Nishimuraら 2014)。しかしながら Kyn の TAA1/TARs に対する *K<sub>i</sub>* 値は 11.5μM と PVM1169 の 150 倍近く高い値である。また, Kyn はアミノ酸の一種で Trp からナイアシン (ビタミン B<sub>3</sub>) が生合成される際の生合成中間体であり, TAA1/TARs に対す

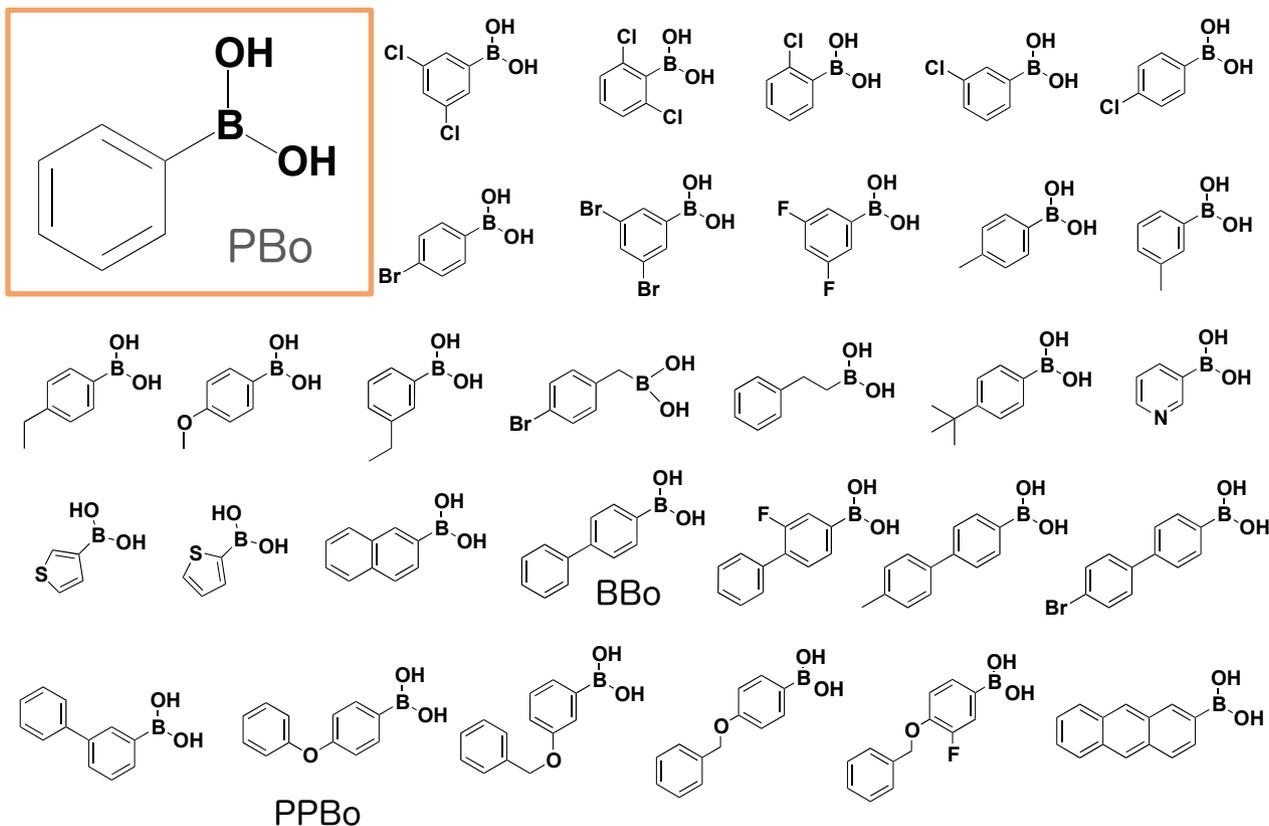


図-6 YUCCA 阻害剤のスクリーニングに用いた 31 種の芳香族ボロン酸

る阻害活性とナイアシン生合成との関係は不明である。また、YUCASIN は YUCCA に対する  $K_i$  値は報告されておらず、野生型シロイヌナズナに対する阻害活性も限定的であることから、これらの阻害剤を植物成長調節剤として利用することは難しいと思われる。

一方、オーキシンの生合成経路は図-1に示したように IPyA 経路以外にも複数の経路が存在する。そこで、TAA1/TARs や YUCCA 以外の生合成ステップをターゲットとした阻害剤の開発も進めている。これまでに、PVM の側鎖官能基を改変した化合物群の中から、*in vitro* において TAA1/TARs や YUCCA に対する阻害活性をほとんど持たないが、*in vivo* においてシロイヌナズナ芽生えの内生 IAA 量を低下させる化合物を数種類見だしている。現在、それらの化合物の作用部位について解析を進めている。

## 5. オーキシン生合成阻害剤の植物成長調節剤としての可能性

我々はこれまでに開発した阻害剤をケミカルプローブとして活用し、シロイヌナズナやイネなどのモデル植物を中心にオーキシン生合成経路とオーキシンの働きについてのより詳細な解析を実験室レベルで進めている。この研究と平行して実用植物に対する活性評価も行ってきた。AOPP および構造展開した化合物について、ポットで育苗したトマト苗に散布処理を行い、トマト苗の生育に対する影響を調べたところ、AOPP 処理では生育に影響は見られなかったが、AOPP のアミノオキシ基をフタルイミド基に置換した PVM1101 (引用文献中の呼称は KOK1101) 処理により、地上乾物重、莖長、葉面積および地上部乾物含量において阻害活性が認められた

(Higashide ら 2014)。フィールドにおいて阻害剤が植物成長調節剤として活性を示すためには、安定した構造と膜浸透性のための適度な疎水性が求められる。しかし、AOPP のアミノオキシ基は反応性が高く植物培養用の培地中でも分解してしまうように構造が不安定であり (Soeno ら 2010)、また親水性が高い構造のため、膜浸透性が低く植物体への吸収や移行性が乏しいため、強い活性を示さなかったと思われる。一方、PVM1101 は AOPP 側鎖のアミノオキシ基がフタルイミド基に置換されたことで、AOPP と比較して安定性が向上するとともに、分配係数を表す  $\log P$  値も増加 (Narukawa-Nara ら 2016) したことで、散布処理でも活性を示したと考えられる。なお、PVM1101 は *in vitro* においては TAA1 に対する阻害活性をほとんど持たないことから、トマト苗に吸収された後、AOPP に代謝されて活性を示す

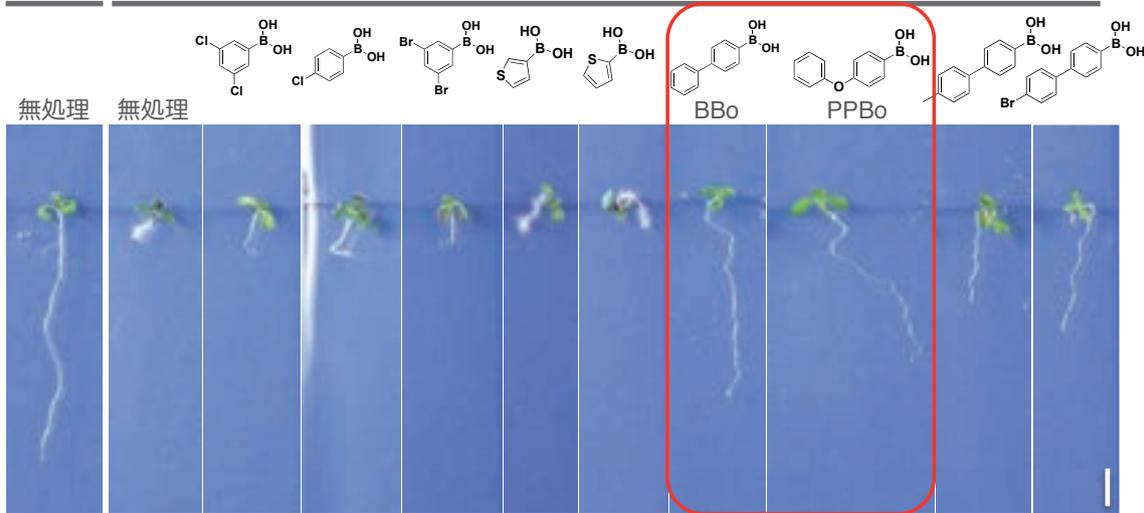


図-7 シロイヌナズナの YUCCA 過剰発現形質転換体を用いた *in vivo* アッセイ

YUCCA 阻害剤候補化合物を含んだ 1/2MS 寒天培地にシロイヌナズナの YUCCA 過剰発現形質転換体を置き 7 日間培養。左端はシロイヌナズナの野生型 (阻害剤無処理)。無処理の YUCCA 過剰発現形質転換体 (左から 2 番目) は IAA が過剰生産されるためオーキシン過剰の形態を示すが、BBo および PPBo 含有の培地で育成すると、IAA の過剰生産が抑制され、表現型が野生型に回復する。スケールバー：5mm。(Kakei ら 2015 より改変)

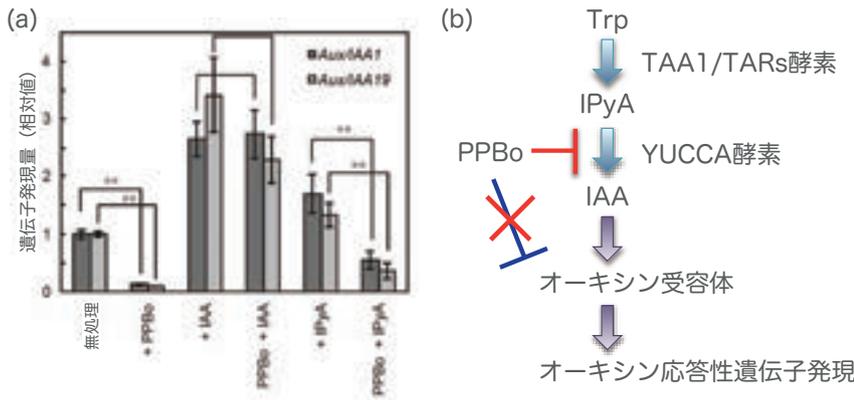


図-8 シロイヌナズナのオーキシン応答性遺伝子発現に対する PPBo の影響

(a) シロイヌナズナ幼苗に PPBo, IAA および IPyA を処理した際のオーキシン応答性遺伝子 (*Aux/IAA1* および *Aux/IAA19*) の発現量を RT-PCR により定量 (無処理の発現量を 1 とした相対値)。  
(b) BBo および PPBo の作用機構の模式図。(Kakei ら 2015 より改変)

すと考えられる。このように、フィールドにおける植物成長調節剤としてオーキシン生合成阻害剤を利用するには、PVM1169 を始めとする PVM や、BBo や PPBo などの芳香族ボロン酸について構造の安定化と分配係数の最適化など、さらなる改良が必要である。

一方、青果物や生花などの場合、活性型の阻害剤を直接処理することで効果的な作用を示す例もある。例えば、1-メチルシクロプロペン (1-MCP) は、植物体中のエチレン受容体と結合することでエチレンの生理作用を阻害する化合物

であり、1-メチルシクロプロペンくん煙剤として、リンゴやナシ、カキにおいて収穫果実の熟期抑制を目的とした鮮度保持剤として農薬登録 (第 22804 号および第 23484 号) されている。

このように、果実の老化にはエチレンが深く関与していることが知られているが、我が国で一般に栽培、消費されているモモ (普通モモ) においても、成熟期になるとエチレン生合成に関わる ACS アイソジーンの一つ *PpACSI* の発現量が増加することでエチレン生産量が増加し、果実の成熟

が起こる。普通モモは収穫後に果肉が急激に軟化するため、日持ち性はきわめて低く、流通過程で廃棄される果実も多い。しかしながら普通モモに 1-MCP を処理しても、リング等で見られる強い鮮度保持効果は認められない。一方、モモには硬肉と呼ばれるタイプがあり、成熟に伴う果皮色の変化や糖度の上昇などは普通モモと同様に進行するが、果肉は収穫後もほとんど軟化しない。硬肉の原因を調べた結果、成熟期の硬肉モモでは *PpACSI* の発現量増加が起こらずエチレン生産も上昇しないため軟化しないことが明らかとなった (Tatsuki ら 2006)。また、硬肉モモの成熟果実において *PpACSI* 遺伝子発現が特異的に抑制される原因を調べた結果、オーキシンが関与していることが明らかとなった (Tatsuki ら 2013)。普通モモおよび硬肉モモ果実の生育期間における内生 IAA 量は、細胞分裂や細胞肥大が著しい幼果期に最も多く、その後果実の生育に伴い徐々に減少し、収穫適期の 2 週間ほど前には検出限界値以下となる。その後、普通モモでは収穫適期に向けて内生 IAA 量が急激に増加する

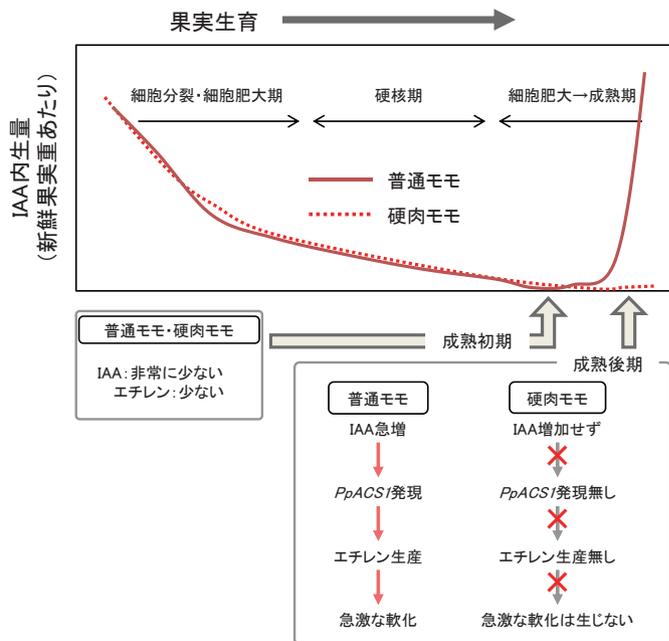


図-9 モモ果実生育期における内生 IAA 量の変化と成熟期における植物ホルモンの影響 (立木 2016 より改変)

が、硬肉モモでは収穫期に達しても内生 IAA 量は低いままである (図-9)。硬肉モモ果実に合成オーキシン剤を処理すると *PpACS1* が誘導されるとともにエチレンが生産され、果肉が軟化する。すなわち、硬肉モモでは成熟期に達しても内生 IAA 量が増加しないため、*PpACS1* の発現誘導およびエチレン生産が起らないため軟化しないと考えられる。そこで、普通モモの果実に我々が開発した PVM とその類縁体を処理したところ、*PpACS1* の発現量、エチレン生産量ともに無処理と比較して低く、果肉硬度も無処理と比較して高い値を示すことを見いだした (立木ら 2014)。普通モモの果実に対する鮮度保持効果は現状では弱く、鮮度保持剤としての実用化に向けては安全性の問題など含めさらなる研究が必要であるが、オーキシン生合成阻害剤の植物成長調節剤としての可能性を示す事例と言えよう。

## おわりに

オーキシンは、発生、細胞分裂、細

胞分化、成長促進、環境応答など植物のほとんど全ての成長過程に関与する植物ホルモンであることから、効果的にオーキシン生合成を制御して、植物の成長を調節する技術が確立されれば、低濃度で作用する環境にやさしく選択性の高い除草剤の開発や、農作物の短期育成技術や多収・多産技術、花芽や側芽を制御し農産物の品質を高める技術など、農業面での利用技術開発につながるものと思われる。我々が開発したオーキシン生合成阻害剤がその端緒となることを期待している。

なお、本稿の一部は「オーキシン その代謝・輸送・情報伝達経路を制御するケミカルツール (林・嶋田 2010)」, 「モモの成熟後期の軟化にかかわるエチレン生成の引き金はオーキシンである—硬肉モモを用いた解析から (立木 2016)」, および引用文献に記載した原著論文の内容を改変したものである。

## 謝辞

本稿のうち、筆者らの研究に関わる部分は、農林水産業・食品産業科

学技術研究推進事業「ケミカルプローブを活用したオーキシン生合成の解析と制御」および JSPS 科研費 JP25450054, JP26450046 の助成を受けてなされたものである。ここに深く感謝申し上げる。

## 引用文献

- Davies, P.J. 2004. The plant hormones: Their nature, occurrence and function. In *Plant hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!*, 3rd edn (Davies, P.J. ed). Netherlands: Springer, pp.1-15.
- 林謙一郎・嶋田幸久 2010. オーキシン その代謝・輸送・情報伝達経路を制御するケミカルツール. *化学と生物* 48, 485-492.
- He, W., *et al.* 2011. A small-molecule screen identifies l-kynurenine as a competitive inhibitor of TAA1/TAR activity in ethylenedirected auxin biosynthesis and root growth in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, 23, 3944-3960.
- Higashide, T., *et al.* 2014. Suppression of elongation and growth of Tomato seedlings by auxin biosynthesis inhibitors and modeling of the growth and environmental response. *Sci. Rep.*, 4, 4556.
- Takei, Y., *et al.* 2015. Small molecule auxin inhibitor that target YUCCA are powerful tools for studying auxin function. *Plant J.*, 84, 827-837.
- Takei, Y., *et al.* 2017. Biochemical and chemical biology study of rice OsTAR1 revealed that tryptophan aminotransferase is involved in auxin biosynthesis; identification of a potent OsTAR1 inhibitor, pyruvamine2031. *Plant Cell Physiol.* In press.
- Koshiba, T., 1993. L- and D-tryptophan aminotransferases from maize coleoptiles. *J. Plant Research*, 106, 25-29.
- Ludwig-Muller, J., *et al.* 2010. An Inhibitor of Tryptophan-Dependent Biosynthesis of Indole-3-Acetic Acid Alters Seedling Development in *Arabidopsis*. *J. Plant Growth Regul.* 29, 242-248.
- Narukawa-Nara, M., *et al.* 2016. Aminoxy-naphthylpropionic acid and its derivatives are inhibitors of auxin biosynthesis targeting L-tryptophan

aminotransferase: structure-activity relationships. *Plant J.* 87, 245-257.

Nishimura, T., *et al.* 2014. Yucasin is a potent inhibitor of YUCCA, a key enzyme in auxin biosynthesis. *Plant J.* 77, 352-366.

Normanly, J. 2010. Approaching cellular and molecular resolution of auxin biosynthesis and metabolism. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.* 2, a001594.

Mashiguchi, K., *et al.* 2011. The main auxin biosynthesis pathway in *Arabidopsis*. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 108, 18512-18517.

Simpson R.M., *et al.* 1997. Partial purification and characterisation of an aromatic amino acid aminotransferase from mung bean (*Vigna radiata* L.

Wilczek). *Planta*, 201, 71-77.

Soeno, K., *et al.* 2010. Auxin biosynthesis inhibitors, identified by a genomics-based approach, provide insights into auxin biosynthesis. *Plant Cell Physiol.* 51, 524-536.

立木美保 2016. モモの成熟後期の軟化にかかわるエチレン生成の引き金はオーキシンである—硬肉モモを用いた解析から. *化学と生物*, 54, 457-458.

Tatsuki, M., *et al.* 2006. The involvement of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase isogene, *Pp-ACSI*, in peach fruit softening. *J. Exp. Bot.*, 57, 1281-1289.

Tatsuki, M., *et al.* 2013. Increased levels of IAA are required for system 2 ethylene synthesis causing fruit

softening in peach (*Prunus persica* L. Batsch). *J. Exp. Bot.*, 64, 1049-1059.

立木美保ら 2014. 果実の鮮度保持剤. 特許第 6078351 号.

Teale, W.D., *et al.* 2006. Auxin in action: signalling, transport and the control of plant growth and development. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 7, 847-859.

Won, C., *et al.* 2011. Conversion of tryptophan to indole-3-acetic acid by TRYPTOPHAN AMINOTRANSFERASES OF *ARABIDOPSIS* and YUCCAs in *Arabidopsis*. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 108, 18518-18523.

Woodward, A.W. and B. Bartel 2005. Auxin: regulation, action, and interaction. *Ann. Bot.* 95, 707-735.

### 統計データから

## 国民経済における農業の地位

国内総生産（国内で新たに生産されたサービスや商品の付加価値（儲け）の総額＝GDP）に占める農業総生産のシェアは、40年前の1975年度の4.2%から、2005年度以降は1%へと大きく低下している。その間、GDPは約3.3倍に増加するなか、残念ながら農業総生産は約0.8倍と縮小している。

農産物の輸出入をみると、この40年間、輸出は3.1倍に増え、輸入の1.9倍を大きく上回る伸び率であるが、その実際的な金額は農産物輸入額の5.6%にしか過ぎず、輸出額全体に占める農産物輸出額のシェアはより小さく、0.5%にとどまっている。

総人口のうち農家人口（販売農家の世帯員）の割合は、1975年度には約20%と一大勢力であったが、今日では当時の1/4にまで減少し、その割合は4.2%と、地域社会・経済の衰退につながっている。

一般会計国家予算に占める農業関係予算の割合の推移を2014/1975対比で見ると、国家予算は4.7倍に伸びているのに対し、農業関係は0.9とほとんど伸びておらず、そのシェアも9.6%から

1.9%に低下している。わが国農業の競争力強化を図るためには、一層の国家のてこ入れが求められる。また、農業、農村は、市場価格によっては測れない効果をもつ多面的な機能を有していることも忘れてはならない。

(K.O)

項目 / 年度	昭和 50 年度 (1975)	平成 7 年度 (1995)	平成 17 年度 (2005)	平成 26 年度 (2014)	2014/1975
国内総生産 (10 億円)	148,327	501,707	503,903	486,939	3.29
うち農業総生産	6,198	7,100	5,134	4,772	0.77
シェア (%)	4.2	1.4	1.0	1.0	
輸出 (10 億円)	16,545	41,531	65,657	73,093	4.41
うち農業総生産	115	162	217	357	3.10
シェア (%)	0.7	0.4	0.3	0.5	
輸入 (10 億円)	17,170	31,549	56,949	85,909	5.00
うち農業総生産	3,326	3,919	4,792	6,322	1.90
シェア (%)	19.4	12.4	8.4	7.4	
総人口 (千人)	111,940	125,570	127,768	127,083	1.13
うち農家人口	23,197	12,037	8,370	5,388	0.23
シェア (%)	20.7	9.6	6.6	4.2	
一般会計国家予算額 (億円)	208,372	780,340	867,048	990,003	4.75
うち農業関係予算	20,000	34,230	22,559	18,662	0.93
シェア (%)	9.6	4.4	2.6	1.9	

平成 27 年度 食料・農業・農村の動向 参考統計表より

# ウスゲチョウジタデ

公益財団法人日本植物調節剤研究協会研究所  
飯田 華代

*Ludwigia epilobioides* Maxim. subsp. *greatrexii* (H. Hara)  
P. H. Raven (異名: *L. greatrexii* (H. Hara) H. Hara)  
アカバナ科 チョウジタデ属。

ウスゲという語感、さも本体よりも毛が薄い状態を指すように思われるが、チョウジタデの方に毛があるわけでは無い。チョウジタデが、問題雑草として取り上げられることはあまりないが、稀に何らかの要因で、水田に多発することがある。本種の存在があまり知られていないため、チョウジタデだと思っていたら実は本種だったということもあるようだ(写真-1)。当協会研究所(茨城県牛久市)の周辺の農家水田では主にウスゲチョウジタデがみられ、同千葉支所(千葉県山武市)の「チョウジタデの多発圃場」においても、ウスゲチョウジタデが多く確認されている。

## ■分布

東京近郊の本州東部から九州、沖縄に分布し、母亜種チョウジタデ(subsp. *epilobioides*)と混生することもある。東南アジアを含むチョウジタデの分布域で、日本以外でのウスゲチョウジタデの存在は判然としない。

## ■形態と見分けるポイント

1941年に東京大学の原寛氏によりチョウジタデに類似の新種として発表され(原 1941)、現在ではチョウジタデの亜種に扱われる(Hoch & Raven 1999)ものの、「がく片がやや長く、5枚」などの性質を重視して別種とする見解が採用されることもある(天野 2003)。

ウスゲチョウジタデは、茎は低い稜を持ち、直立して分岐し、高さ80cmほどになる。茎葉の形態はほぼチョウジタデと同様であるが、茎と葉の若い部分に細毛が生え、茎はチョウジタデに比べるとあまり紅色を帯びない点で、開花前でも識別できる(写真-2)。夏から秋にかけて、葉腋に直径1cmほどの黄色い花を一つ付ける。花卉は通常5枚で、花盤に白毛を生じる。果実は長さ2cmほどで無柄の円柱状、先端にがくが残り、チョウジタデと同様にスパイスの「丁子(チョウジ)」に似た形となる。種子は長さ0.8mmほどでチョウジタデより小さく、チョウジタデと同様に果実がくずれて白色の内果皮片に包まれた状態で散布される。幼植物では、チョウジタデよりわずかに小ぶり、あまり紅みを帯びない傾向にあるが、そこに明確な差異はなく、判断は難しい(飯田ほか 2016)。

## ■雑草としての情報

チョウジタデは、水田や休耕田、湿地に生育し、水田では畦畔際や落水時に田面が露出した場所に多い(浅井 2015)



写真-1 農家水田に多発したウスゲチョウジタデ 畦から黄色の花を確認できる



写真-2 水田畦畔に生育するウスゲチョウジタデ(左)とチョウジタデ(右)

とされているが、ウスゲチョウジタデについて、これとの違いは分かっていない。環境省の2012年版レッドリスト(RD)で「準絶滅危惧(NT)」に含められる。自治体段階でも国と同様か、あるいは評価区分を引き上げる場合もあるが、「水田雑草としてしばしば出現する」ことを理由に保護対象としない場合もある。茨城県牛久市においても、「絶滅危惧IA類」と指定されたものの(村中ほか 2006)、のちに解除された。

## ■防除に関する情報

はじめに記したように、現在使用されている水稲用除草剤でチョウジタデが残存することは少ないが、関東地方以西の地域で残存した場合に、その雑草がウスゲチョウジタデか、またはチョウジタデかという亜種の段階までは確認されていない。ウスゲチョウジタデは、水田雑草としてよく知られたチョウジタデより数が少なく保護されるべき弱い植物なのか、あるいは水田の管理の仕方によってはチョウジタデより多数発生する雑草性を持っているのか、水田での発生実態や発生生態の特徴は調べられていない。これらの点をチョウジタデとの対比で検討する必要がある。

## ■参考文献

- 天野誠 2003. 『アカバナ科(千葉県史料研究財団編、千葉県の自然誌別編4 千葉県植物誌)』. 千葉県, pp.394-405.
- 浅井元朗 2015. 『植調雑草大鑑』 全国農村教育協会, p.67.
- 原寛 1941. 東亜植物考(其十九), 植物研究雑誌 17:335-347.
- Hoch, P. C. and P. H. Raven 1999. 『ONAGRACEAE in Flora of Japan II c edited by K. Iwatsuki et al.』, Kodansha, Tokyo, pp.224-246.
- 飯田華代ほか 2016. 茨城県牛久市における水田雑草ウスゲチョウジタデの生態と形態に関する予備的調査, 日本雑草学会第55回講演会要旨集 p.89.
- 村中孝司ほか 2006. 『牛久市版レッドデータブック 牛久における絶滅のおそれのあるある野生生物<植物編>』 牛久市建設部緑化推進課

## フロリゲン・クwest-I

東京大学・法政大学名誉教授  
日本メンデル協会会長

長田 敏行

2007年に報じられたフロリゲン（花成ホルモン）が決定されたというニュースは、相当多くの人々にいったいどんなものであるかという関心呼び起こしたのではないかと思います。ちょっと前の話題であるが、実に数奇な運命をたどったこの件を、今回の話題として紹介する。実際、このフロリゲン説ほど劇的な過程を経た学説はないだろう。提出されたのは1937年で、最終的にその実体の判明したのが2007年であり、その間実に70年の隔たりがある。そのくらい隔たりがあると、研究者でも同一人物で始めと終わりを見届けた人はほとんどいないであろうし、実際に70年以上前に正確に何があったかを知っている人も少ないと考える。この件に関して、私は次のような事情からその過程をつぶさに知ることとなったので、そのたぶん稀な経験を披露したいと思う。

最終的な実体判明が2007年と書いたが、実は2005年にはその実体がほぼ明らかになった。その直後の2006年1月6日に、私は長年お世話になり、1998年に亡くなられたマックス・プランク生物学研究所のメルヒヤース（Georg Melchers）教授が存命であれば100歳を迎えられるという記念のコロキウムがドイツ南西部の大学都市チュービンゲンの同研究所で開催され、私もお案内いただいたので参加した（図-1）。その折、記念講演があったが、それはまさにフロリゲンがFT遺伝子の産物であるという論文を、京都大学の荒木 崇博士らの論文と並んでScience誌に発表したマックス・プランク発生学研究所のヴァイゲル（D. Weigel）教授によるものであった。そこでは、フロリゲンの提唱者の一人メルヒヤース教授とそれに重要なかわりを持つ生物時計の先駆的研究者であるチュービンゲン大学の教授であったビュニング（E. Bünning）教授が称えられた。両名ともチュービンゲンを代表する科学者であるが、誕生日が1ヶ月違いの同年で、しかも、ともに北ドイツ出身という不思議な縁でつながっている。ただし、その時点ではフロリゲンはFT遺伝子の遺伝子産物ではあるが、それがRNAであるのか、それともその翻訳産物のタンパク質であるかは決定されていなかった。

実はこのメルヒヤース教授がフロリゲン提唱者の一人であることは、今日それほど知られておらず、もっぱらフロリゲンという名前を与えたロシアのチャイリヤヒャン（M. Chailakhayan）のみが広がっている。実際、2016年6月にベルリン自由大学でお話した、植物ホルモンの優れた研究者であるシュミュリング（T. Sch Müller）教



図-1 メルヒヤース教授

授ですら知らなかった。ちなみに、もう一人はオランダのクイパー（J. Kuiper）である。当時、3人の研究者が同様な論文を発表したのであり、フロリゲンという名前の他に花成ホルモンという名前も付けられていたのである。1937年のことであった。実は、私はこのメルヒヤース教授とは1974年にフンボルト財団研究員として彼の研究所に滞在して以来、深く、長くお付き合いいただいた。メルヒヤース教授といえば、むしろトマトとジャガイモプロトプラストの細胞融合による体細胞雑種であるポマトやトパトの育成、あるいは、それ以前のタバコモザイクウイルスの塩基の変異による外被タンパク質のアミノ酸の置換の研究をご存知の方もおられるかもしれない。そして、ある時、君は自分の4番目の息子であるといわれた。それは彼一流の冗談であると思ったのであるが、その長男で著名な免疫学者であるフリッツ（Fritz Melchers）から、研究者の中で息子といったのは君が最初であるといわれて、それ以来他の3人の息子さんらとは親しくお付き合いさせていただいている。このメルヒヤース教授が亡くなる半年ほど前に自ら書いた論文をすべて送ってこられたが、相当な大きさの小包であった。その小包への添え書きとして、自分が亡くなれば多分君が追悼文を書くことを



図-2 ジャイアント・マンモス  
同一の植物を長日条件下に置くと右のように巨大になるが、短日条件下では速やかに花をつける(左)。アマシノ (R. Amasino) 教授提供。

フロリゲン関係の論文を知ることになったが、それらはほとんどがドイツ語であることが人々の記憶から消えてしまった一つの理由かもしれない。これらにより、チャイリヤヒャンやクイパーとの関係もつぶさに知ることとなった。それで、フロリゲン説提出当時の状況を述べたいのであるが、その前に光周性について最低限述べることがあろう。

光周性は1902年にアメリカ農務省研究所(USDA)のガーナー(W.W. Garner)博士とアラード(H.A. Allard)博士により発見されたが、当時タバコ栽培が盛んであったヴァージニア州のタバコ畑で見つかった突然変異株がきっかけであった。長日条件では花をつけず、葉を増やすので巨大な植物体となることからメリーランド・マンモスと名付けられたタバコであるが、ここでは一枚の図に明確に示されているのでその図を示す。図-2の右Aは長日条件で巨大となった突然変異のメリーランド・マンモスであるが、その左Bは、同じ植物が短日条件ではすぐ花をつけたもので、両者が並べられている。これは、フロリゲンとも密接にかかわっているヴァーナリゼーション(春化処理)の研究を先駆的に進められている旧知のウィスコンシン大学アマシノ(R. Amasino)教授よりいただいたものである。座っているのは彼のお嬢さんであるが、写真自体は10年前にいただいたものである。その時彼女は既に大学生であるとのことであった。これが光周性の発見の発端であり、植物生理学の教科書には必ず載っ



図-3 ヒヨス (*Hyoscyamus niger*)  
短日性の一年生ヒヨスに誘導をかけ、それを誘導条件に置かれていない長日の二年生ヒヨスに接ぎ木すると、二年生植物が花成に至る(図A)。図Bは、対照で、誘導されていない一年生日ヨスを、長日性ヒヨスに接ぎ木したものでは花芽がつかない。

依頼されるだろうから送るといふものであった。そんな次第で、彼の初期のフロ

リゲンを参照されたい。これは、生理現象としては、地球上の中緯度の植物は環境情報のシグナルを光周性として葉で受け止め、それを茎頂へ伝え、生殖サイクルへと移行させるものである。その結果花をつけ、生じる種子などは人間の生存の糧となっている。そのシグナルがフロリゲンなのである。フロリゲンの特徴に関して、メルヒヤース教授の示したことは、フロリゲンは短日植物でも長日植物でも同一であり、しかも接ぎ木により伝達でき、種や属を超えるというものである。その実験はメンデル法則の再発見者として知られるコレンス(C. Correns)が見出していたナス科ヒヨス(*Hyoscyamus niger*)の一遺伝子突然変異株を用いてなされた。即ち、二年生の長日植物ヒヨスに、誘導をかけた一年生短日植物ヒヨスを継ぐと、長日性植物のヒヨスが花をつけるというものである(図-3)。接ぎ木の相手を種属間に広げてもそれは成立し、それらの論文がメルヒヤース教授から送られてきた論文の束の中にあつた。

その当時フロリゲンは花成ホルモンとも呼ばれたのは、植物成長ホルモンオーキシンが発見されたばかりであり、ともにホルモンの要件である作用点が生産の場所より離れていることから名づけられた。発見された植物ホルモンはいずれも化学物質であったから、もしもフロリゲンが物質として同定されれば、それを散布すれば花がつくかもしれないという期待のもと、極めて多くの人々がこの問題に取り組んだ。しかし、それは容易に同定されず、生理学的証拠は積み重ねられたが、皆目その正体はわからず、1980年代には物質ではなく電気刺激ではなかろうかという論文も登場することになった。それが、解け始めたのは1990年代に入って、分子遺伝学が進み、ゲノム情報が得られるようになってからで、それからフロリゲンが同定される話は、次号へ譲ることとする。

# 平成27年度冬作関係 除草剤・生育調節剤試験判定結果

(公財)日本植物調節剤研究協会 技術部

平成27年度冬作関係除草剤・生育調節剤試験成績検討会は、平成28年9月8日(木)に浅草ビューホテルにおいて開催された。  
この検討会には、試験場関係者34名、委託関係者29名

ほか、計79名の参集を得て、除草剤19薬剤(129点)について、試験成績の報告と検討が行われた。  
その判定結果および使用基準については、次の判定表に示す通りである。

## 平成27年度冬作関係除草剤・生育調節剤試験判定

### A. 除草剤 (1) 小麦

薬剤名 有効成分 及び含有率(%)	判定	使用基準							継続の内容	
		対象雑草	処理法	処理時期	使用量 (/10a)	適用土壌	適用地域	使用上の注意		
1.AH-01 液 グルホシネートPナトリウム塩:11.5%  [北興化学工業 *Meiji Seika ファルマ]	継								・効果、薬害の確認(耕起または播種前, 周縁部)	
2.BCH-109 細粒 ジフルフェニカン:0.2% フルフェナセット:0.6%  [バイエルクロップサイエンス]	実	一年生雑草	土壌	播種後～小麦2葉期, イネ科雑草1葉期まで	4kg～5kg	全土壌(砂土を除く)	東北以南	・葉に白斑や黄化, 褐変を生じる場合がある。 *SU抵抗性, ジントロアニリン抵抗性, およびその複合抵抗性に有効		
		カズノコグサ								
		*抵抗性スズメノテッポウ								
		ネズミムギ								播種後～小麦2葉期, ネズミムギ発生始期まで
3.MBH-075 乳 プロスルホカルブ:46% リニュロン:11.5%  [丸和バイオケミカル]	実	一年生雑草	土壌	播種後出芽前, 雑草発生前	300～600mL 散布水量 25～100L	全土壌(砂土を除く)	全域	・砂壌土では生育抑制を生じる場合がある。 ・少水量散布(25～50L/10a)の場合は専用ノズルを使用する。 *SU抵抗性, ジントロアニリン抵抗性, およびその複合抵抗性に有効		
		カズノコグサ			400～600mL 散布水量 25～100L					東北以南
		*抵抗性スズメノテッポウ			500～600mL 散布水量 25～100L					
4.NC-360 フロアブル キザロホップエチル:7%  [日産化学工業]	実・継	一年生イネ科雑草	茎葉	耕起10日前まで, 雑草生育期(草丈10cm以下)	100～150mL 散布水量 100L	全土壌	東北以南	・スズメノカタビラには効果劣る	・薬量75mL/10a処理での効果, 薬害の確認(耕起前) ・薬量500mL/10a処理での効果, 薬害の確認(周縁部) ・多年生イネ科雑草に対する除草効果の確認(周縁部)	
				小麦生育期 雑草生育期(草丈20cm以下)(圃場周縁)	750～1000mL 散布水量 100L					

薬剤名 有効成分 及び含有率(%)	判定	使用基準							継続の内容
		対象雑草	処理法	処理時期	使用量 (/10a)	適用土壌	適用地域	使用上の注意	
5.NC-622液 グリホサートカリウム塩: 48% [日産化学工業]	実・継 (従来 どおり)	一年生雑草	茎葉	耕起または播 種前 雑草生育期 (草丈30cm以 下)	200~500mL 散布水量 25~100L	全土壌	全域	・散布水量4~6L/ 10a, 25~50L/10a の場合は専用ノズ ルを使用する。 ・周辺作物に飛散し ないように注意す る。	・薬量500mL/10a, 散 布水量4~6L/10aでの 年次変動の確認(耕起 前, 北海道) ・薬量500mL/10a, 散 布水量5~6L/10aでの 年次変動の確認(周縁 部, 北海道)
				播種後出芽前 雑草生育期 (草丈30cm以 下)	200~500mL 散布水量 25~100L				
				小麦生育期 雑草生育期 (草丈30cm以 下) (圃場周縁)	200~500mL 散布水量 25~100L  500mL 散布水量 5~6L				
		多年生イネ科雑 草(シバムギ, レッドトップ)	耕起前 雑草生育期 (草丈30cm以 下)	200~500mL 散布水量 25~100L	東北以南	北海道			
6.NH-009 液 グルホシネート:18.5% [日本農薬]	継								・効果, 薬害の確認
7.SCC-010 液 グルホシネート:18.5% [日本アグロサービス]	継								・効果, 薬害の確認
8.トリフルラリン 乳 トリフルラリン:44.5% [ダウ・ケミカル日本]	実・継 (従来 どおり)	一年生雑草(ツ ユクサ, カヤツリ グサ, キク, アブ ラナ科雑草を除 く)	土壌	播種後出芽前 雑草発生前	200~300mL 散布水量 100L	全土壌 (砂土を 除く)	全域	・小麦生育期処理 は, 播種後の土壌 処理剤との体系で 使用する。	・カズノグサに対する 効果の変動要因の確認 ・小麦生育期における効 果, 薬害の確認(北海 道)
		一年生イネ科雑 草		播種後~小麦 3葉期, イネ科 雑草1葉期まで			北海道		
		一年生イネ科雑 草, カズノグサ		小麦生育期, 雑草発生前			東北以南		

#### A. 除草剤 (2) 大麦

1.NC-360 フロアブル キザロホップエチル:7.0% [日産化学工業]	実・継	一年生イネ科雑 草	茎葉	耕起10日前ま で, 雑草生育 期(草丈10cm 以下)	100~150mL 散布水量 100L	全土壌	東北以南	・スズメノカタビラに は効果劣る	・薬量75mL/10a処理で の効果, 薬害の確認(耕 起前) ・多年生イネ科雑草に対 する除草効果の確認(周 縁部)
				大麦生育期 雑草生育期 (草丈20cm以 下) (圃場周縁)	500~ 1000mL 散布水量 100L				
2.NC-622 液 グリホサートカリウム塩: 48% [日産化学工業]	実	一年生雑草	茎葉	耕起または播 種前 雑草生育期 (草丈30cm以 下)	200~500mL 散布水量 25~100L	全土壌	全域	・散布水量4~6L/ 10a, 25~50L/10a の場合は専用ノズ ルを使用する。 ・周辺作物に飛散し ないように注意す る。	
				播種後出芽前 雑草生育期 (草丈30cm以 下)	200~500mL 散布水量 25~100L				
				大麦生育期 雑草生育期 (草丈30cm以 下) (圃場周縁)	200~500mL 散布水量 25~100L  500mL 散布水量 5~6L				

薬剤名 有効成分 及び含有率(%)	判定	使用基準							継続の内容
		対象雑草	処理法	処理時期	使用量 (/10a)	適用土壌	適用地域	使用上の注意	
3.NH-009 液 グルホシネート:18.5% [日本農薬]	継								・効果, 薬害の確認
4.SCC-010 液 グルホシネート:18.5% [日本アグロサービス]	継								・効果, 薬害の確認

#### A. 除草剤 (3) 水稲刈跡

1.DBN2.5 粒 DBN:2.5% [アグロカネショウ]	継								・効果, 薬害の確認
2.JC-401 粒 (旧NHS-50) 塩素酸ナトリウム:50% [日本カーリット]	実・継 (従来どおり)	一年生雑草, 多年生イネ科雑草, マツバイ	土壌	水稲刈取後 雑草生育期	20~25kg	全土壌	東北以南		・多年生イネ科雑草に対する薬量と効果の確認 ・オモダカ, セリに対する当年の効果, および翌年の発生量低減効果の確認
3.NH-009 液 グルホシネート:18.5% [日本農薬]	継								・効果, 薬害の確認
4.SCC-010 液 グルホシネート:18.5% [日本アグロサービス]	継								・効果, 薬害の確認
4.YF-65L 液 ジクワット:7.0% パラコート:5.0% [シンジエンタジャパン]	継								・雑草イネに対する密度抑制効果の確認

#### A. 除草剤 (4) 水田畦畔

1.DBN4.5 粒 DBN:4.5% [アグロカネショウ]	実・継 (従来どおり)	一年生雑草, 多年生広葉雑草 (マメ科雑草を除く), スギナ	土壌	秋冬期~春期 (雑草発生前~始期) (水田畦畔)	6~8kg	全土壌			・12kg/10a処理での効果, 薬害の確認
2.SBH-207 粒 塩素酸ナトリウム塩:50% [エス・ディー・エス バイオテック]	実・継	一年生雑草, 多年生広葉雑草	土壌	水稲刈取後, 雑草生育期 (草丈30cm以下) (水田畦畔)	20kg	全土壌	東北以南		・薬量30~40kg/10a処理での効果, 薬害の確認 ・多年生イネ科に対する除草効果の確認

## 協会だより

### 平成28年度 植調関東支部雑草防除研究会・関東雑草研究会 合同研究会

日時：平成29年 3月10日（金）9:15～16:45

場所：文部科学省研究交流センター

（茨城県つくば市竹園2-20-5, 電話：029-851-1331）

日程：

#### 9:20～12:00 関東雑草研究会講演会「都市における雑草問題」

「都市における雑草リスクと緑地管理の問題点：公園緑地を中心に」

伊藤操子（マイクロフォレストリサーチ(株)）

「都市の公園、緑地、緑化の進化とその価値向上にむけて」

入江彰昭（東京農業大学）

「市民による街中での園芸ボランティア活動の実態」

御手洗洋蔵（東京農業大学）

「除草作業にみる若者心理－環境福祉共生を学ぶ大学生の事例から－」

藤岡真実（東京農業大学）

「都市の緑地における化学的雑草制御」

土田邦夫（(公財)日本植物調節剤研究協会）

#### 13:45～16:45 植調関東支部雑草防除研究会「飼料用米・WCS（稲発酵粗飼料）と雑草防除」

「飼料用イネの品種開発の現状と普及状況」

石井卓朗

（農研機構 次世代作物開発研究センター稲育種ユニット）

「飼料用イネの雑草防除に関する話題」

小荒井晃

（農研機構 九州沖縄農業研究センター 水田作研究領域）

「茨城県における飼料用稲の現状と課題」

小山田一郎

（茨城県農業総合センター 専門技術指導員室）

「栃木県における飼料用米の現状と課題」

岡田真（栃木県農政部経営技術課 技術指導班）

「群馬県における飼料用米の取組について」

阿部雅美

（群馬県農政部 技術支援課 普及指導室農畜産係）

「埼玉県における飼料用米の取り組み状況について」

石井博和

（埼玉県農業技術研究センター 高度利用・生産性向上 研究担当）

「温暖地早期栽培における飼料用米多収品種の収量関連特性の評価」

太田和也

（千葉県農林総合研究センター 水稻温暖化対策研究室）

「長野県における飼料用米およびWCSの現状と課題」

宮原薫（長野県農政部 農業技術課）

詳しくは次のサイトをご覧ください。

植調関東支部 <http://www.syokutyokanantou.jp/>

関東雑草研究会 <https://sites.google.com/site/kantozassokenkyukai/home/news>

## 研究会等のお知らせ

### 第13回「果実生産への植物成長調節物質の役割」に関するシンポジウム

－ISHS 13th International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production－

日時：平成29年 8月27日（日）～31日（木）

場所：柏の葉カンファレンスセンター

（千葉県柏市若柴178番地4）

日程：

8月27日（日）登録受付、ウェルカムレセプション

8月28日（月）開会式・基調講演、口頭発表、ポスター発表

8月29日（火）口頭発表、視察ツアー

8月30日（水）口頭発表、閉会式

8月31日（木）ポストツアー

組織委員会 委員長 近藤 悟

〒271-8510 松戸市松戸648

千葉大学大学院園芸学専攻科教授・副研究科長

TEL/FAX: 047-308-8800

※詳しくは<http://www.pgr-fruit2017.org/>をご覧ください。

## 植調第50巻 第11号

■ 発行 平成29年2月24日

■ 編集・発行 公益財団法人日本植物調節剤研究協会  
東京都台東区台東1丁目26番6号  
TEL (03)3832-4188 FAX (03)3833-1807

■ 発行人 宮下 清貴

■ 印刷 (有)ネットワン

© Japan Association for Advancement of Phyto-Regulators (JAPR) 2016

頒布価 500円（消費税・送料は含んでおりません）

販売 株式会社全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6（植調会館）

TEL (03)3833-1821

## SDSの水稲用除草剤有効成分を含有する「新製品」

ホットコンビフロアブル(テニルクロール/ベンゾピシクロン)  
 ベンケイ1キロ粒剤/豆つぶ250/ジャンボ(ベンゾピシクロン)  
 ナギナタ1キロ粒剤/豆つぶ250/ジャンボ(ベンゾピシクロン)  
 ライジンパワー1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ(ベンゾピシクロン)  
 オオワザ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ(ベンゾピシクロン)  
 テマエース1キロ粒剤/フロアブル(ダイムロン)  
 キクトモ1キロ粒剤(カフェンストロール/ベンゾピシクロン/ダイムロン)  
 フルイニング/ジャイブ/タンポエース1キロ粒剤/ジャンボ/スカイ500グラム粒剤  
 (カフェンストロール/ベンゾピシクロン)  
 アールタイプ1キロ粒剤(ベンゾピシクロン)  
 クサトリーBSX1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ(ベンゾピシクロン)  
 ザンテツ1キロ粒剤/豆つぶ250/ジャンボ(ベンゾピシクロン)  
 シリウスエグザ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ/顆粒(ベンゾピシクロン)  
 ニトウリュウ/テッケン1キロ粒剤(ベンゾピシクロン)  
 ビックシュアZ1キロ粒剤(ベンゾピシクロン)  
 ブルゼータ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ(ベンゾピシクロン)  
 プレキープ1キロ粒剤/フロアブル(ベンゾピシクロン)  
 月光1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ(カフェンストロール/ダイムロン)  
 イネヒーロー1キロ粒剤(ダイムロン)  
 銀河1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ(ダイムロン)  
 ツインスター1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ(ダイムロン)

## 「ベンゾピシクロン」含有製品

### SU抵抗性雑草対策に! アシカキ、イボクサ対策にも!

シロノック(1キロ粒剤/ジャンボ/フロアブル)	ハーティ1キロ粒剤
オークス(1キロ粒剤/ジャンボ/フロアブル)	カービー1キロ粒剤
サスケ-ラジカルジャンボ	ハイカット/サンパンチ1キロ粒剤
トビキリ(1キロ粒剤/ジャンボ/500グラム粒剤)	ダブルスターSB(1キロ粒剤/ジャンボ/顆粒)
イッテツ(1キロ粒剤/ジャンボ/フロアブル)/ボランティアジャンボ	シリウスターボ(1キロ粒剤/ジャンボ/フロアブル)
テラガード(1キロ粒剤/ジャンボ/フロアブル/250グラム)	半蔵1キロ粒剤
キチット(1キロ粒剤/ジャンボ/フロアブル)	フォーカード1キロ粒剤
スマート(1キロ粒剤/フロアブル)	イネエース1キロ粒剤
サンシャイン(1キロ粒剤/ジャンボ/フロアブル)	ウエスフロアブル
イネキング(1キロ粒剤/ジャンボ/フロアブル)	フォーカスショットジャンボ/プレッサフロアブル
ピラクロエース/カリユード(1キロ粒剤/フロアブル)	クサスイープ1キロ粒剤
忍(1キロ粒剤/ジャンボ/フロアブル)	



# 根も止める

有効成分「アルテア」は、多年生雑草の地上部を枯らすだけでなく、翌年の発生原因となる塊茎の形成も抑えます。日本の米づくりを根本から進化させる新しい効き目、「アルテア」配合の除草剤シリーズに、どうぞご期待ください。

これからの日本の米づくりに

## アルテア<sup>®</sup>

配合除草剤シリーズ  
<http://www.nissan-agro.net/altair/>



水稲用 中・後期除草剤

**テツケン** 1キロ粒剤

問題雑草に鉄拳!

**ニツリュウ** 1キロ粒剤

二刀流で  
問題雑草をバッサリ!

<写真はイメージです>

水稲用 初・中期一発処理除草剤

**ライジンパワー**

1キロ粒剤 フロアブル ジャンボ

雷神パワーで  
バリツと雑草退治

<写真はイメージです>

SN協議会

事務局  日本農薬株式会社

 イスターバイオテック

- 使用前にはラベルをよく読んでください。
- ラベルの記載以外には使用しないでください。
- 本剤は小児の手の届く所には置かないでください。
- 使用後の空容器・空袋等は圃場などに放置せず、適切に処理してください。

**AVH-301** ホクコーのテフリルトリオン混合剤

新登場!! 水稲用一発処理除草剤

**カチホコ**

SU抵抗性雑草、特殊雑草に有効!  
ノビエに長期残効!!



1kg粒剤 フロアブル ジャンボ 1kg粒剤 フロアブル ジャンボ

新登場!! 水稲用中・後期除草剤

**ワイドショット** 1キロ粒剤



湛水散布可能な  
中後期剤。  
SU抵抗性雑草・  
多年生雑草に有効!

JAグループ  
農協 | 全農 | 経済連

 北興化学工業株式会社

※は北興化学工業(株)の登録商標

## 雑草関係者に必携の雑草図鑑 植調雑草大鑑

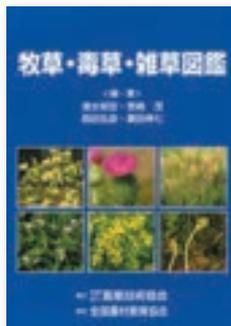


浅井元朗／著  
B5判 360頁  
定価：9,800円＋税  
ISBN978-4-88137-182-4

- ◆水田雑草 129種、畑地雑草 583種、計 712種と多くの種を登載、網羅性が必要な雑草調査に必携。
- ◆芽生え、幼植物から成植物、花・果実まで雑草の一生をカラーで掲載、写真総数は 3,655 点に及びます。
- ◆雑草種子 433 種を掲載しました。
- ◆重要な識別点となるイネ科の葉節部、カヤツリグサ科・イネ科の小穂や多年草の地下部を写真で掲載。
- ◆1968 年以来 3 万 7,000 部を発行してきた「日本原色雑草図鑑」の系譜を引き継ぐ雑草図鑑です。



## 畜産技術者のための植物図鑑 牧草・毒草・雑草図鑑



清水矩宏・宮崎茂・森田弘彦・  
廣田伸七／編著  
B6判 288頁  
定価：2,800円＋税  
ISBN978-4-88137-114-5

- ◆2013 年 3 刷発行の畜産技術者のための植物図鑑です。
- ◆牧草・飼料作物編では、飼料作物 80 種の原産地、利用状況、生態、形態、土壌、気候や環境への適応性について解説しました。
- ◆有毒植物編では、放牧地などに生育したり、飼料に混入しやすい有毒植物 40 種について解説しました。
- ◆草地雑草編では、草地、牧草地、飼料作物栽培畑に発生する問題外来雑草および在来主要雑草 180 種について解説しました。



現在、農耕地で被害が問題になっている雑草は多くが帰化植物

## 日本帰化植物写真図鑑



### 第 1 巻

清水矩宏・森田弘彦・  
廣田伸七／編著  
B6判 556頁  
定価：4,300円＋税  
ISBN978-4-88137-085-8

### 【特長】

- ◆第 1 巻 2001 年、第 2 巻初版 2010 年、増補改訂第 2 巻 2015 年…と、日本帰化植物写真図鑑は年々増え続ける帰化植物にできる限りアップツウアップデートに対応してきました。
- ◆第 1 巻には 600 種、増補改訂第 2 巻には 500 種の帰化植物を掲載し、合計 1,100 種で、現在ほぼ 1,200 種といわれる帰化植物をほぼカバーしています。
- ◆近年、新たに指定されたヒガタアシ、オオバナミズキンバイを含め、特定外来生物に指定されている植物は両巻ですべて網羅されています。
- ◆野外での使用を想定した小型ながら、写真をできるだけ大きく配し、写真を使って識別できるよう配慮しました。
- ◆種子の写真を掲載し、種子による同定を可能にしました。



### 増補改訂 第 2 巻

植村修二・勝山輝男・  
清水矩宏・水田光雄・  
森田弘彦・廣田伸七・  
池原直樹／編著  
B6判 596頁  
定価：5,000円＋税  
ISBN978-4-88137-185-5

全国農村教育協会  
<http://www.zennokyo.co.jp>

〒110-0016 東京都台東区台東 1-26-6  
TEL.03-3839-9160 FAX.03-3833-1665  
Eメール hon@zennokyo.co.jp



# 新規ヒ工剤 『フェノキサスルホン』配合除草剤 新発売

## ◆特長

- ① 発生前～2.5葉期までのノビエに優れた除草効果。
- ② コナギやアゼナ類等の一年生広葉雑草にも有効。
- ③ 残効性に優れ、一年生雑草の後発生を抑制。

3成分で  
雑草防除に隙なし！

水稲用 初・中期一発処理除草剤

### ベンケイ®

1キロ粒剤 ㊦250 ジャンボ



ガンコな雑草  
ガンガン枯らす！

水稲用 初・中期一発処理除草剤

### ガンガン®

1キロ粒剤 ㊦250 ジャンボ



星の女神の  
除草剤

水稲用 初・中期一発処理除草剤

### クマコ®

1キロ粒剤75・51 (L) ㊦250  
(L)ジャンボ (L)フロアブル



JAグループ  
農協 全農 経済連

自然に学び 自然を守る  
クマイ化学工業株式会社  
本社:東京都台東区池之端1-4-26 ㊦110-8782 TEL03-3822-5036  
ホームページ <http://www.kumiai-chem.co.jp>

㊦クマイ化学工業(株)の登録商標です。

●使用前にはラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●本剤は小児の手の届く所には置かないでください。●防除日誌を記帳しましょう。

## 豊かな稔りに貢献する 石原の水稲用除草剤



### 湛水直播の除草場面で大活躍！

非SU系水稲用除草剤

### ブレキープ® 1キロ粒剤 フロアブル

- ・は種時の同時処理も可能！
- ・非SU系の2成分除草剤
- ・SU抵抗性雑草に優れた効果！

### 高葉齢のノビエに優れた効き目



新発売

### ゼンイチ® MX 1キロ粒剤

### フルパワー® MX 1キロ粒剤

### スクイズ® 1キロ粒剤

### ヒエックル® 1キロ粒剤

### フルパワー® ジャンボ

### フルパワー® ジャンボ

### タイズドリル® 1キロ粒剤

そのまま 散布ができる **アンカーマン® DF**



フルセットスルフロ  
ン剤  
ラインナップ

乾田直播  
専用 **ハードパンチ® DF**

ISK 石原産業株式会社

販売 ISK 石原バイオサイエンス株式会社

ホームページ アドレス  
<http://ibj.iskweb.co.jp>



私たちの多彩さが、  
この国の農業を豊かにします。

®は登録商標です。

大好評の除草剤ラインナップ

**新登場!** **ゼータタイガー** 1キログラム ジャンボフロアブル

**新登場!** **ゼータハンマー** 1キログラム 粒剤

**ズエモン** 1キログラム ジャンボフロアブル

**カットタウン** 1キログラム 粒剤

**ゼータワン** 1キログラム ジャンボフロアブル

**メガゼータ** 1キログラム ジャンボフロアブル

**ゼータファイヤ** 1キログラム ジャンボフロアブル

**ブルゼータ** 1キログラム ジャンボフロアブル

**オサキニ** 1キログラム 粒剤

**シウリョクS** 粒剤

**忍** 1キログラム ジャンボフロアブル

**イッテリ** 1キログラム ジャンボフロアブル

**シウリョク** ジャンボ

**ドニチS** 1キログラム 粒剤

**クラッシュEX** ジャンボ

会員募集中 農業支援サイト **i-農力** <http://www.i-nouryoku.com> お客様相談室  0570-058-669

●使用前にはラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●小児の手の届く所には置かないでください。●空袋、空容器は圃場等に放置せず適切に処理してください。

大地のめぐみ、まっすぐくへ   **住友化学**



The miracles of science™



powered by  
**RYNAXYPYR®**

# 「うまい、お米ができた！」

田んぼを守るために、より効果的、より省力的、より環境に配慮した、  
雑草や害虫の防除の提案をしています。  
デュポン社は生産者や消費者の喜び顔を浮かべながら、日本の米作りを応援します。



デュポン・プロダクション・アグリサイエンス株式会社 〒100-6111 東京都千代田区永田町2-11-1 山王パークタワー  
Copyright ©2015 DuPont or its affiliates. All rights reserved. デュポンオーバル、The miracles of science TM、RYNAXYPYR®は米国デュポン社の商標および登録商標です。

第50巻 第11号 目次

- 1 巻頭言 農業生産額一位の田原市と田原研究所  
藤原 雅実
- 2 沖縄県におけるサトウキビ畑の雑草防除に関するアンケート結果  
比屋根 真一
- 5 (田畑の種々) 仏の座, 三階草(ホトケノザ)  
須藤 健一

《特集》 果実生産における植物ホルモンの働きと利用

- 6 果実成長に関わる植物ホルモンの働きと利用  
板井 章浩
- 12 果実の成熟に関わる植物ホルモンの働きと利用  
近藤 悟
- 17 植物ホルモン「オーキシン」の生合成阻害剤の開発と植物成長調節剤としての応用  
添野 和雄・立木 美保・嶋田 幸久
- 24〔統計データから〕 国民経済における農業の地位
- 25〔こんな雑草こんな問題〕 ウスゲチヨウジタデ  
飯田 華代
- 26〔連載〕 植物の不思議を訪ねる旅・第8回 フロリゲン・クwestI  
長田 敏行
- 28 平成27年度冬作関係除草剤・生育調節剤試験判定結果  
技術部
- 31 広場

No.23

表紙写真 《ホトケノザ》



紫色の唇形花を輪生する。

シソ科オドリコソウ属。早春に、全国の日当たりのよい畑地や道ばた、石垣の隙間などで花が咲いているのが見られる冬生一年草。株元で多数分枝し、地表を這った状態で越冬する。茎上部の葉腋に、紅紫色の唇形花を輪生する。アリの種子を散布することが知られている。(植調雑草大鑑より。写真は©浅井元朗, ©全農教)



幼植物。秋冬期出芽し、越冬する。



子葉節からの分枝した幼植物。葉は対生し、茎は赤紫色。



開放花。筒部が細長い。



麦圃で開花した個体。