

特集：ジャガイモそうか病対策に向けた新たな研究

日本におけるそうか病抵抗性品種の育成

北海道農業研究センター 小 林 ばやし あきら

はじめに

ジャガイモそうか病はいもにクレーター状の病徴を呈する土壌病害であり、世界中で問題となっている。本病害は *Streptomyces scabies*, *S. turgidiscabies*, *S. acidiscabies* などのストレプトマイセス属により引き起こされるが (LAMBERT and LORIA, 1989; MIYAJIMA et al., 1998), これらの病原菌は土壌中に生息しており、宿主範囲が広く、ジャガイモ、ダイコン、ニンジン、カブ、テンサイなどにかさぶた状の病斑を作り、コムギ、ダイズ、インゲンマメなどの根にも寄生する。有効な薬剤をはじめとする防除技術が開発されていないため、極めて防除が困難な病害の一つに数えられている。北海道ではこの20年あまり、ジャガイモが作付けされているおよそ20～40%の圃場でそうか病の発生が確認されており、10～20%の圃場で経済的被害が生じている。被害が深刻化してきた1980年代後半には抵抗性品種は日本にはなく、農業関係者からの要望を受けて、我が国におけるそうか病抵抗性品種の育種が始まり、現在、北海道農業研究センター、北海道立北見農業試験場、長崎県総合農林試験場で育種を行っている。今回は北海道農業研究センターを中心に今日に至るまでの品種育成の歩みを紹介する。

I ジャガイモそうか病抵抗性に関する遺伝形質と選抜

1 汚染圃場における抵抗性母本の選抜

そうか病抵抗性母本を選抜するため遺伝資源として保有していた48品種・系統をそうか病汚染強区、汚染弱区に植え、各品種・系統の塊茎罹病率を調査した(図-1)。汚染強区は弱区と比較して塊茎罹病率が高く、また品種・系統間差が明瞭に認められ、全供試品種・系統は抵抗性(左下)、罹病性(右上)、中間(中央から右下)の3群に分けられた。病原体の密度と病徴の発現程度には相関関係があることが一般的であり、右下にとどまる品種があったとすれば、それは汚染程度が高い圃場と低い圃場で発病に関する反応が異なる特異な品種であると

推察できる。そこで、そうか病激発生区、強発生区、弱発生区、微発生区における品種・系統の塊茎罹病率の度数分布を2年間調査した。罹病率に年次変動は認められたものの、度数分布パターンはほぼ同じで、各区におけ

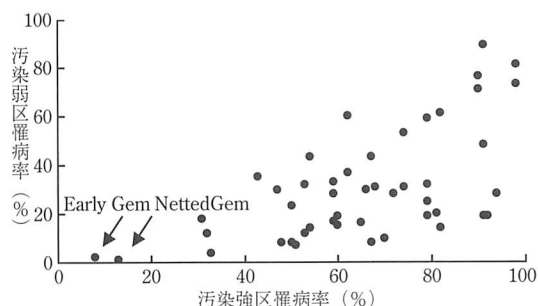
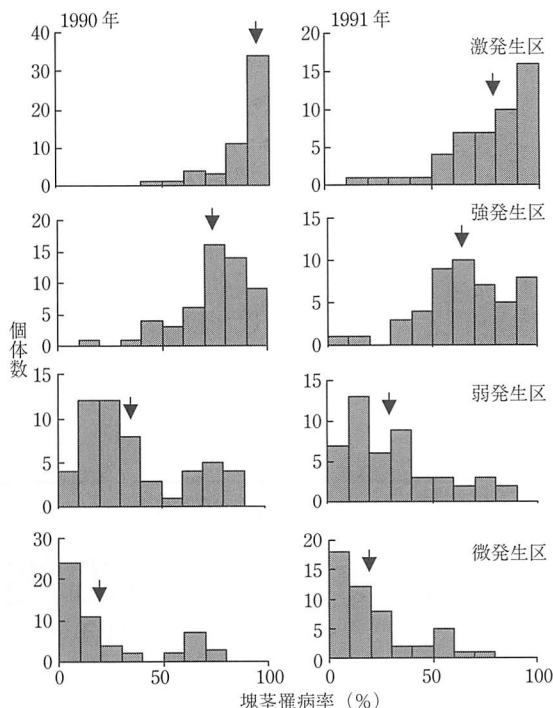


図-1 ジャガイモそうか病塊茎罹病率の品種間差

図-2 ジャガイモ品種・系統のジャガイモそうか病塊茎罹病率の変動
矢印は各区における罹病率の平均を示す。

Breeding of Common Scab Resistant Variety in Japan. By Akira KOBAYASHI

(キーワード：ジャガイモ, そうか病, 抵抗性品種)

罹病率の平均値を結ぶと対角線上に並び、病害の発生条件と品種反応モデルに一致した(図-2)。これらの結果から、そうか病菌の密度と罹病率には相関関係があることが明らかとなり、そうか病に対する選抜を行う場合、激発区または強発生区において、罹病率が低い系統群から選抜するのが効率的であることが示唆された。図-1における左下の二つの点は‘Early Gem’(のちに誕生する‘ユキラシャ’の片親)および‘Netted Gem’であるが、他の品種・系統に比べて罹病率が際立って低く、そうか病抵抗性が高いことが推測され、育種母本として有望と評価された。これら2品種以外にも‘Cherokee’(のちに誕生する‘スタークイーン’、‘スノーマーチ’の片親)、『Sieglinde’、『Superior’の罹病率も低く、母本としての可能性が示唆された。

2 そうか病抵抗性の遺伝性

CIPAR and LAWRENCE (1972) は‘Avon’と‘Hindenburg’の半数体を用いた研究から、抵抗性反応には複数の遺伝子がかかわっており、遺伝子座も二つ以上であると報告している。また PFEFFER and EFFMERT (1985) は、そうか病抵抗性はポリジーン系の遺伝様式であると報告した。そこでこれらのことが、我々が使っている育種母本にも当てはまるか検討を行った。抵抗性と評価した品種‘Early Gem’を共通の種子親、抵抗性程度の異なる3系統、‘島系561号’(抵抗性中)、『北海79号’(抵抗性やや弱)、『北海80号’(抵抗性弱)を花粉親として交配を行い、次世代集団のそうか病発病度の分離を調べた(図-3)。その結果、集団内には無病徴のものから病徴の激しいものまで連続的に出現し、片親の抵抗性程度が低いものの次世代にはそうか病抵抗性をもたない個体が多く出現し、一方、抵抗性程度が高いものの次世代では、抵抗性個体の出現頻度は高まっていた。また、抵抗性個体の出現頻度も非常に低く、前述の遺伝様式が我々の育種母本についても当てはまることが確認された。

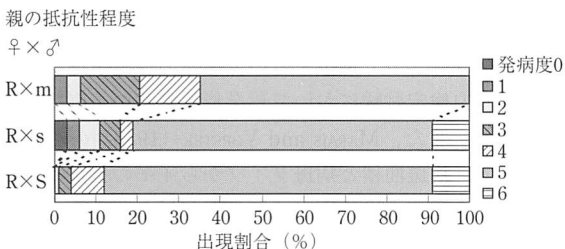


図-3 第二次個体選抜試験における発病度の分離
抵抗性程度 R: 強い, m: 中程度, s: 弱い, S: 非常に弱い。発病度 0: 塊茎罹病率 0%, 1: 1~10%, 2: 11~40%, 3: 41~60%, 4: 61~80%, 5: 81~100%, 6: 100%+病斑数多。

そうか病の病斑は、隆起型、陥没型、表面型の3種に大別できる。表面型病斑形成系統を交雑の共通親とした場合、片親の病斑タイプが隆起型のものの次世代には隆起型病斑や表面型病斑の個体が多く、陥没型病斑のものの次世代には隆起型および陥没型病斑の個体が多く出現しており、病斑タイプも遺伝する形質であることが明らかとなった(図-4)。のちに、これら病斑のタイプは、いもの品種、病原菌の種類、土壌 pH、土壌水分のいずれにも影響されるが、特に品種の影響が大きいことが明らかになった(高橋ら, 1997 a)。

3 圃場選抜の指標

ウイルス抵抗性など主働遺伝子により制御されている形質の次世代集団内における出現頻度は高い。単一優性遺伝子 H_1 によって制御されているジャガイモシストセンチュウ抵抗性を例に挙げれば、 H_1 を一つだけでも simplex ($H_1h_1h_1$) ともたない nulliplex ($h_1h_1h_1$) の交雑後代は、理論的には 50% が抵抗性になる。それに対して、ポリジーンにより支配されるそうか病抵抗性のような量的形質では、抵抗性品種と感受性品種の交雑後代には、抵抗性のものから罹病性のものまで連続して出現するのが一般的である。そのため抵抗性個体の出現頻度は、主働遺伝子が寄与する場合と比べてはるかに低く、抵抗性個体を得るためにはかなり大きな母集団が必要となる。のちに育成された‘ユキラシャ’は、2,896 個体の中からそうか病抵抗性ならびに農業形質に基づく選抜の結果誕生したが、そうか病抵抗性に関しては 2,896 個体中 49 個体、わずか 1.7% しか抵抗性個体は出現しなかった。このことから抵抗性品種の育成は困難であり、優れた母本の選出ならびに選抜手法の確立が効率的な育種のためには不可欠であるといえる。

そうか病抵抗性が量的形質であることなどに起因し、試験圃場におけるそうか病の発病度にはかなりの区間変動および年次変動が生じた(表-1)。塊茎罹病率および塊茎上に占める病斑面積の割合から発病度を算出したが、発病度のみを指標として単年度の試験だけで抵抗性を評価しようとするとは判定を見誤る可能性がある。そうか病抵抗性に限らず、育種目的がはっきりしている場合

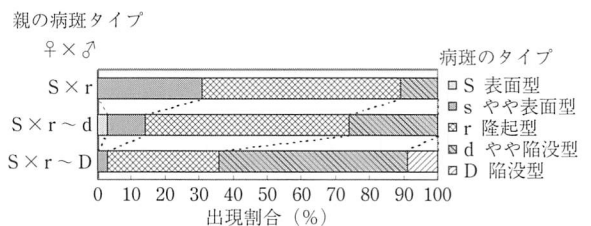


図-4 第二次個体選抜試験における病斑タイプの分離

表-1 発病度および病斑タイプの区間ならびに年次変動

品種および系統	発病度 ^{a)} および病斑のタイプ ^{b)}							
	1994年				1995年			
	1区	2区	3区	平均	1区	2区	3区	平均
島系 572号	5.8	4.7	4.8	5.1	5.0	3.3	2.5	3.6
	d	m	m		D	D	d	
男爵薯	5.3	5.3	3.3	4.6	5.8	4.2	5.8	5.3
	mD	d	mD		d	m	D	
農林1号	3.7	4.2	4.5	4.1	6.0	4.3	5.0	5.1
	mD	m	m		m	d	d	
トヨシロ	5.0	5.2	1.5	3.9	6.0	4.8	4.3	5.0
	d	d	d		d	m	d	
Early Gem	4.8	1.0	3.5	3.1	5.0	4.8	6.0	5.3
	s	S	S		m	S	m	
Netted Gem	3.0	2.5	2.8	2.8	2.8	5.5	5.3	4.5
	s	S	s		m	s	m	
Cherokee	4.0	2.0	1.3	2.4	3.0	1.2	3.6	2.6
	sm	s	s		sm	sm	m	
島系 561号	2.8	1.8	1.0	1.9	4.2	2.8	1.0	2.7
	m	sm	m		sm	m	m	

^{a)} 発病度は塊茎の罹病率および病斑面積により0(無病徴)から6(激発)の7段階に分類した。^{b)} 病斑のタイプS:非常に小さい表面型病斑, s:表面型病斑, m:隆起型病斑, d:陥没型病斑, D:深く陥没した病斑。

には育種の効率化を図るため、できるだけ早期に目的の形質に対する選抜を実施することが望ましい。しかし母集団の大きい育種選抜の初期において、抵抗性検定のために反復試験ならびに複数年の試験を実施することは容易ではない。一方で品種の影響が大きいとされる病斑のタイプは発病度にかかわらず、それぞれの品種・系統でほぼ変わらず単年度の試験でも評価が可能であった(表-1)。これまでに、そうか病に罹病しない遺伝資源は見つかっていないが、イモの利用面において、ピラー剥皮により取り除くことができる浅い病斑は、業務用として支障は少ない(高橋ら, 1997b)。よって塊茎の罹病率が高くても、表面型病斑のみを形成する品種は抵抗性品種と見なすことができる。よって我々はエスケープ個体できるだけ少なくし効率的に選抜を進めるため、区間変動、年次変動が少ない病斑タイプに重点を置き選抜することにした。

II そうか病抵抗性検定法

現在そうか病抵抗性検定法として、ポットに汚染土壌を充てんして温室栽培するポット試験、汚染土壌を充てんしたペーパーポットで育てた苗を圃場に土ごと移植するペーパーポット試験、そうか病汚染圃場で栽培する圃場試験が行われている。ペーパーポット法は、そうか病菌

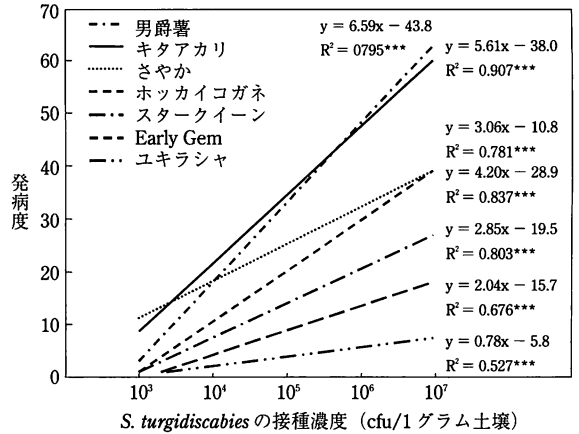


図-5 *S. turgidiscabies* の接種濃度と発病度の関係
x は loge [接種濃度], **, *** は F 検定でそれぞれ 1%, 0.1%水準で有意であることを示す。

培養土を詰めたペーパーポット(直径 5 cm, 高さ 7.5 cm, 日本甜菜製糖(株))にイモを植え、温室で1か月育苗したのち普通圃場にポットごと移植し栽培する方法である。接種源濃度とイモの発病度の間には、有意な正の相関が認められ ($r = 0.726 \sim 0.952, P = 0.05$) (図-5), 信頼性の高い精密な検定を行うことができる。汚染圃場を造成する必要がなく、接種源の調製も容易であるため育種選抜にも適用できる。このほかにも幼苗への接種(高橋ら, 1995a), 萌芽茎への接種(高橋ら, 1995b), 塊茎ディスク片への接種(小林, 私信)等が試みられてきたが、確立するには至っていない。海外では、そうか病菌が産生する毒素 thaxtomin に対する感受性により選抜を行う試みもなされている。

実際の育種現場では、汚染圃場を使った抵抗性評価を主な検定法としている。2003年からは、農林水産省の特性検定試験事業により、地方番号を付与した育成系統の *S. scabies* および *S. turgidiscabies* に対する抵抗性評価が始まった。北海道農業研究センターでは、第二次個体選抜試験および系統選抜試験を汚染圃場で実施し、そうか病抵抗性に基づく選抜を行い、生産力検定予備試験および生産力検定試験において農業形質に基づく選抜を行っている。また、MARAIS and VORSTER (1988) の評価法に準じて、病斑面積と病斑タイプからイモの抵抗性を評価している。育成場によって評価法が異なるため、今後統一が必要と思われる。

III 日本で育成した抵抗性品種

日本においては、抵抗性検定試験の結果に基づき 'Early Gem' (USA), 'Cherokee' (USA), 'Ackersegen'

(GER), 'Andover' (USA), 'Pike' (USA), *S. tuberosum* ssp. *andigena* T-AY-20, BR63.74, V2等を母本にして育成を進めており、現在までにそうか病抵抗性品種として四つの品種が育成されている。

1 スタークイーン

そうか病およびジャガイモシスト線虫抵抗性を有する加工用品種の育成を目標に、1988年に北海道立根釧農業試験場において、'アトランチック'を母、'Cherokee'を父として交配した雑種後代から選抜され、1999年に新品種として登録された日本で初めてのそうか病抵抗性品種である(千田ら, 2000)。「アトランチック」はアメリカで育成されたそうか病に比較的強いポテトチップ原料用品種で、「Cherokee」もアメリカで育成されたそうか病抵抗性品種である。「男爵薯」に比べ明らかに抵抗性は強いが(図-6)、強汚染圃場では罹病塊茎が増加する中程度の抵抗性である。コロケ、サラダなどに向く生食用品種である。

2 ユキラシャ

北海道農業研究センター(旧:農林水産省北海道農業試験場)において、「Early Gem」を母、「86002-100」を父として1991年に交配した雑種後代から選抜され、2000年に新品種として登録された生食用品種である(Kobayashi et al., 2002)。「Early Gem」はアメリカで育成されたラセ

ット皮を有する加工用品種であり、そうか病に対する抵抗性を有している。86002-100は*Solanum tuberosum* ssp. *Andigena*, *S. demissum*, *S. stoloniferum*, *S. comersonii*に由来する種間雑種である。「ユキラシャ」は現在日本において最も高いそうか病抵抗性を有している(図-6, 7)。イモは楕円体、肉は白色、表皮は粗く、生育環境によって中～軽度のラセットを呈する。熟期は中早生、「男爵薯」よりも収量は多い(表-2)。でん粉価は17.8%と「男爵薯」よりもやや高い。休眠が極めて長く、長期貯蔵が可能である。粉状そうか病にも強いがジャガイモシスト線虫抵抗性はない。

3 春あかり

長崎県総合農林試験場において、そうか病に強い「T8973-20」を母、ジャガイモシスト線虫抵抗性で塊茎の早期肥大性および食味に優れる「普賢丸」を父として1994年に交配した雑種後代から選抜された暖地向けの2期作品種である。2002年に新品種として登録された。イモは短楕円形、肉色は淡黄、滑皮で目が浅く、二次生長、裂開はほとんどない。でん粉価は11.8%と「デジマ」よりもやや低い。粉状そうか病には弱い。

4 スノーマーチ

「スタークイーン」と同じく「アトランチック」を母、「Cherokee」を父とする北海道立北見農業試験場が育成した生食用品種である。2004年に新品種として登録され

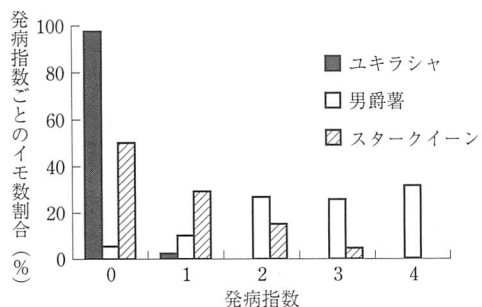


図-6 そうか病汚染圃場におけるジャガイモ塊茎の発病程度(1999年, 北海道農業研究センター)

発病指数は、0:健全, 1:病斑数1~3, 2:病斑数4~10, 3:病斑数11~19, 4:病斑数20以上。



図-7 そうか病汚染圃場で栽培した、「ユキラシャ」と「男爵薯」の発病状況

表-2 主なジャガイモそうか病抵抗性品種の生育・収量特性(2001~03年の3年平均, 北海道農業研究センター圃場)

品種名	枯凋期	茎長 (cm)	株当たりイモ数	平均1個重 (g)	上イモ収量 (kg/10a)	標準比	でん粉価 (%)
男爵薯(対照)	9/2	34	9.4	95	3,920	100	16.3
スタークイーン	9/23	54	10.8	104	4,925	126	17.8
ユキラシャ	9/10	50	9.9	102	4,495	115	17.8
スノーマーチ	9/23	48	8.6	117	4,392	112	17.2

た。いもは倒卵形、肉色は白、熟期は中生、収量は‘男爵薯’よりもやや多い(表-2)。でん粉価は17.2%と‘男爵薯’よりも高い。そうか病抵抗性の程度は‘ユキラシャ’よりは劣るものの、‘男爵薯’の病イモ率が80%以下となるとところで‘スノーマーチ’を栽培すると、病イモ率は栽培許容水準とされる15%以下となる。

おわりに

そうか病抵抗性を目指した育種がスタートして15年以上の月日が流れたが、現在の育種レベルとしては、中程度のそうか病抵抗性にプラスして重要病害であるジャガイモシストセンチュウ抵抗性を付与した段階である。日本においてジャガイモの育種に携わっている研究者の数は非常に少ないため、大量の人材をつぎ込んでいる海外と比べると、どうしても一歩出遅れているというのが現実であろう。そうか病抵抗性品種が市場で広く受け入れられるようになるためには、耐病性だけでなく、栽培特性をより一層改善し安定生産につながるような改良が必要であり、また加熱調理しても煮くずれしない、油加工時に焦げないなど、調理加工適性も向上させ、耐病性、栽培特性、利用特性すべてを含めた総合力でも秀でた品

種の育成に努力していかなければならない。そうか病に対する極度の抵抗性または免疫性を有する遺伝資源は見出されていなかったが、近年母本として利用できる有益な野生種の存在が明らかになってきた(HAWKES, 1990; HOSAKA et al., 2000)。今後は、そうした野生種のもつ抵抗性遺伝子の導入を図り、育種の幅を広げていくとともに、初期選抜を可能にする遺伝子マーカーの開発や簡便な抵抗性検定法の開発にも期待したい。

引用文献

- 1) CIPAR, M. S. and C. H. LAWRENCE (1972): Amer. potato J. 49: 117 ~ 120.
- 2) DIONNE, L. A. and ——— (1961): *ibid.* 38: 6 ~ 8.
- 3) HAWKES, J. G. (1990): The potato, evolution, biodiversity and genetic resources, Belhaven press, London, 259 pp.
- 4) HOSAKA, K. et al. (2000): Amer. J of Res. 77: 41 ~ 45.
- 5) KOBAYASHI, A. et al. (2002): Breeding Science 52: 327 ~ 332.
- 6) ——— et al. (2005): J. Gen. Plant Pathol. 71: in press.
- 7) LAMBERT, D. H. and R. LORIA (1989): Int. J. Syst. Bacteriol. 39: 387 ~ 392.
- 8) MARAIS, L. and R. VORSTER (1988): Potato Res. 31: 401 ~ 404.
- 9) MIYAJIMA, K. et al. (1998): Int. J. Syst. Bacteriol. 48: 495 ~ 502.
- 10) PFEFFER, C. and M. EFFMERT (1985): Archiv für Züchtungsforschung 15: 325 ~ 333.
- 11) 千田圭一ら (2000): 北海道立農業試験場報 第78号: 1 ~ 18.
- 12) 高橋賢司ら (1995 a): 北日本病虫研報 46: 59 ~ 62.
- 13) ——— (1995 b): 同上 46: 63 ~ 67.
- 14) ——— (1997 a): 同上 48: 59 ~ 62.
- 15) ——— (1997 b): 同上 48: 63 ~ 65.

新しく登録された農薬 (17.3.1 ~ 3.31)

掲載は、種類名、登録番号: 商品名 (製造業者又は輸入業者) 登録年月日、有効成分: 含有量、対象作物: 対象病虫害: 使用時期等。ただし、除草剤・植物成長調整剤については、適用作物、適用雑草等を記載。(登録番号: 21476 ~ 21480) 下線付きは新規成分。

「殺虫剤」

●フェンプロパトリン水和剤

21476: ロディー WDG (住友化学) 2005/03/09

フェンプロパトリン: 10.0%

りんご: カメムシ類, ハマキムシ類, ギンモンハモグリガ, モモシンクイガ, キンモンホソガ: 収穫前日まで, おうとう: オウトウショウジョウバエ: 収穫前日まで, なし: カメムシ類, ハマキムシ類, シンクイムシ類: 収穫前日まで

「殺菌剤」

●シフルフェナミド・トリフルミゾールくん煙剤

21477: パンチョ TF ジェット (日本曹達) 2005/03/09

21478: 新富士パンチョ TF ジェット (新富士化成薬) 2005/03/09

シフルフェナミド: 2.0%, トリフルミゾール: 10.0%
温室・ビニールハウス等密閉できる場所: いちご, きゅうり, メロン: うどんこ病: 収穫前日まで

●イミノクタジン酢酸塩・銅水和剤

21480: 日曹ベフドー水和剤 (日本曹達) 2005/03/30

イミノクタジン酢酸塩: 2.5%, 塩基性塩化銅: 73.5%

茶: 炭疽病, 赤焼病, もち病, 網もち病, 新梢枯死症 (輪斑病菌による), 褐色円星病, 灰色かび病, 黒葉腐病: 摘採14日前まで, きゅうり: 灰色かび病, 炭疽病, 斑点細菌病, ベト病, うどんこ病, 黒星病, 褐斑病, 菌核病: 収穫前日まで, かぼちゃ: うどんこ病, 白斑病, 疫病: 収穫7日前まで, キャベツ: 黒腐病, ベト病: 収穫14日前まで

「その他」

●オリフルア・トトリルア・ピーチフルア・ピリマルア剤

21479: コンフューザー MM (信越化学工業) 2005/03/23

(Z)-8-ドデセニル=アセタート: 18.5%, (Z)-11-テトラデセニル=アセタート: 11.5%, (Z)-9-テトラデセニル=アセタート: 2.0%, 10-メチル-ドデシル=アセタート: 0.30%, (Z)-9-ドデセニル=アセタート: 0.60%, 11-ドデセニル=アセタート: 0.20%, (Z)-11-テトラデセン-1-オール: 0.10%, (Z)-13-イコセン-10-オン: 15.5%, 14-メチル-1-オクタデセン: 26.5%

もも: 交尾阻害: ナシヒメシンクイ, リンゴコカクモンハマキ, モモハモグリガ: 成虫発生初期から終期: ディスペンサーを対象作物の枝に挟み込み, または巻き付け設置する