

日本における総合防除とIPM

誌名	日本植物病理學會報 = Annals of the Phytopathological Society of Japan
ISSN	00319473
著者名	對馬,誠也
発行元	日本植物病理學會
巻/号	80巻
掲載ページ	p. 188-196
発行年月	2014年11月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



日本における総合防除と IPM : 多様な農業に対応した様々な戦略の必要性

對馬 誠也^{1*}

TSUSHIMA, S.^{1*} (2014). Integrated control and integrated pest management in Japan: the need for various strategies in response to agricultural diversity.

Key words: 総合防除, 総合的病害虫管理 (IPM), 圃場カルテシステム, DRC 診断, 農林水産省 IPM ガイドライン, ヘソディム

緒 言

我が国においても安全・安心な食品への要望が高くなり環境保全型農業の推進や農業の効率的利用を行うための新しい技術の開発が求められている。総合的病害虫管理 (IPM, Integrated Pest Management) はそうした要望を解決する一つの強力な手段であり, 2012 年に開催された OECD の IPM ワークショップでも様々な IPM が取り上げられている (OECD, 2012)。Stern ら (1959) に始まる総合防除 (Integrated Control) とそれに続く IPM は 60 年以上の歴史をもち, 多くの防除技術が報告されるとともに, IPM についての定義や戦略についても報告がなされている (Epstein and Bassein, 2003; Jacobsen, 1997; Lewis *et al.*, 1997; Savary *et al.*, 2006; Zadoks 1985)。Jacobsen (1997) は, IPM の定義の変遷, 戦略 (Strategy), 手段 (Tactics) の紹介や米国における IPM プロジェクトについて紹介し, その中で, 生態学に基づく病害虫管理 (EBPM: Ecologically Based Pest Management) などが紹介されている。これらの戦略においては, 病害虫の数を抑制するような生態系を理解することが最初の手段 (tactics) とし, 農業や物理的対策はその次の対策としている。これらの報告は, たとえ IPM の対象作物が同じでも, その戦略は地域により (site-specific), また多くの利害関係者 (stakeholder) のニーズにより異なることを示している。

日本では薬剤耐性菌の出現により農業の削減や効率的な活用法の開発が求められ (農林水産省, 2011; OECD, 2012), さらに 2012 年に廃止された臭化メチル代替技術の開発も急務となっている。そこで, IPM 推進のため, コスト削減, インセンティブ, 環境影響, 生物防除戦略などの検討が必要となっている (OECD, 2012)。

Integrated control (Stern *et al.*, 1959) という用語は, 日本では昆虫学者によって「総合防除」と和訳された (深谷・桐谷, 1973) が, 一方で, わが国の植物病理分野では 1932 年に伊藤が「総合防除」(伊藤, 1932) を提唱した関係で, それ以降, 植物病理分野では, 総合防除と題した研究が報告されていた。その後, 浜屋 (1990) は, 病理分野においても, 総合防除を示す英語訳として Integrated control を用いた。Stern ら (1959) は Integrated control を「生物防除と農薬防除を組み合わせて統合する pest 管理」と定義し, そこでは, 個体群を管理するための基準として経済的被害許容水準 (EIL: Economic Injury Level) と経済閾値 (ET: Economic Threshold) を導入した (Jacobsen, 1997)。伊藤 (1932) による総合防除には, EIL と ET の考えは含まれていない。しかし, イネの複数の重要病害を同時に防ぐために総合的に伝染源を減らすことが重要であることを提案している点などは, まさに IPM における予防的プログラムとも言える。以上から, 国内で従来行われた総合防除と IPM での取り組みとの区別は難しいことから, 国内で報告された総合防除も含めて紹介することにした。

加えて, 日本では, 多様な農業の栽培条件 (栽培法, 気象条件の違い, 作物, 土壌の種類, 小規模農家/大規模農家) や多様な利害関係者 (生産者, 消費者, 政策決定者など) のニーズに対応するために, 様々な IPM が実践されている。本誌では, 農林水産省の IPM プロジェクトなどを中心に, 国内で取り組まれた様々な総合防除と IPM に関する研究と事例を紹介する。

日本の IPM の取り組み

日本の植物病理分野においては, Integrated Control や IPM

¹ 独立行政法人農業環境技術研究所農業環境インベントリーセンター (〒305-8604 茨城県つくば市観音台 3-1-3) Natural Resources Inventory Center, National Institute for Agro-Environmental Sciences, 3-1-3, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8604, Japan

* Corresponding author (E-mail: seya@affrc.go.jp)

この総説は先に Journal of General Plant Pathology の 80 巻 5 号の pp. 389 ~ 400 に掲載された総説 (<http://dx.doi.org/10.1007/s10327-014-0538-y>) の抄訳です。報文としてのプライオリティは JGPP 掲載の総説にありますので, 引用の際には本総説ではなく JGPP の総説を用いるようにご注意ください。

を意識した研究は1980年代に始まったと考えられる。その一方で、国内では、北海道大学の伊藤が1932年代にイネいもち病、ばか苗病、ごま葉枯病の3病害の対策として、第一次伝染源である稲藁を水田から持ち出すことや種子消毒の徹底を行うことが必要として総合防除を提案した（伊藤, 1932; 宇井, 1982）。この後、国内では総合防除に関する報告が赤井（1938）など多くなされている。このため、日本の植物病理分野では、現在もIPMではなく、総合防除という用語を論文に使っているケースが多い。

国内では、1980年代に農業研究センターの研究者によって、連作障害を防ぐために、圃場カルテシステム（FDS）の開発とそれを活用した総合防除法の開発を目的とした研究が開始された（大畑ら, 1985）。このプロジェクトでは、ハクサイの根こぶ病と黄化病の発病予測によって防除の要否を決定しようとしている点で、SternらのIntegrated controlやIPMを強く意識した最初の総合防除の取り組みと考えられる。このプロジェクトの成果は、東北農業試験場で野菜のIPMに関する研究が行われた際に、アブラナ科野菜の根こぶ病の対策の中で活用されている。なお、この東北農業試験場のプロジェクトで初めて病害分野でIPMの用語が用いられた（對馬, 2001）。

1999年には、農林水産省のIPMプロジェクトが病害、虫害を対象に開始された。このプロジェクトにおいて、様々な作物を対象として複数の防除手段（物理的、化学的、生物的）が検討され、その成果はマニュアルとして2005年に出された（梅川ら, 2005）。これらの成果等を基に、2011年には農水省からIPMガイドラインが出されWebで公開された（農林水産省, 2011）。このガイドラインでは、FAOの定義（FAO, 2013）を用い、「IPMは、利用可能なすべての防除技術を経済性を考慮しつつ慎重に検討し、病虫害・雑草の発生増加を抑えるための適切な手段を総合的に講じるものであり、これを通じ、人の健康に対するリスクと環境への負荷を軽減、あるいは最少の水準にとどめるものである。また、農業を取り巻く生態系のかく乱を可能な限り抑制することにより、生態系が有する病虫害及び雑草抑制機能を可能な限り活用し、安全で消費者に信頼される農作物の安定生産に資するもの」と定義している。

その後、IPMの取り組みが遅れていた土壌病害についても、新しい土壌病害管理法として、「健康診断に基づく土壌病害管理」（HeSoDiM: Health Checkup Based Soilborne Disease Management）が提案された（Tsushima and Yoshida, 2012）。以下、順に紹介する。

圃場カルテシステムによる総合防除

農林水産省農業研究センターで植物病理学者や農業経済の専門家らにより国内ではじめての総合防除のプロジェクトが開始された（大畑ら, 1985）。門間ら（1988）は、圃場カルテシステム（FDS: Field Diagnosis System）を開発し、ハクサイ根こぶ病で検証を行った。圃場カルテシステムは、経済的、かつ合理的に土壌病害の総合防除を実践するためのコンピュータによる支援システムである。このシステムは、圃場管理と病害の発生に関する環境要因と社会的で経済的な要因、土壌病害の予測、および最適な総合防除手段の決定、の3つのパーツから構成される。圃場毎に発病度と収量の減少を予測し、さらに最適な防除手段の選抜、組み合わせ、評価を行うとともに、その結果を生産者に提供する。40軒の生産者の圃場で試験を行った結果、このサブモデルは正確に個々の圃場の根こぶ病の発病程度を予測した。さらに、天野ら（1995）は、長期予測を基に、キャベツ根こぶ病対策の意志決定を支援するモデルを開発した。

加えて、伊藤ら（1989a, b）は、ハクサイ黄化病の予測モデルを作成した。そのモデルでは、多くの入力データ（たとえば、年、土壌中の病原菌密度、作物名、土壌消毒の時期、石灰窒素、有機物、PCNBの使用、発病率など）が集められている。このモデルは、門間ら（1988）の根こぶ病モデルと同様に、上記の項目を入力して発病程度を予測するものである。これらの研究は、圃場カルテを含むIPMの実践に貴重な情報を提供したが、その一方で、土壌病害の発病程度を正確に予測することは難しいことも示唆された（伊藤ら, 1989a, b）。

日本におけるDRC（Dose-Response Curve）

診断を活用した生物集約的IPM

本プロジェクトでIPMの用語が病害分野を対象にはじめて使われた（Tsushima *et al.*, 1999a, b）。このプロジェクトでは、生物的防除を中心にしたIPM（Frisbie *et al.*, 1992）を行うこととしたが、この中でも根こぶ病は大きな課題の一つとして、おとり植物や生物農薬の研究が進められた。

おとり植物に関する研究では、葉ダイコン（*Raphanus sativus* var. *longipinnatus*）の栽培により、土壌中の根こぶ病菌の休眠胞子数が温室試験と圃場試験でそれぞれ75%、95%まで下がり（Murakami *et al.*, 2000b, 2001）、その結果、次作のハクサイの発病程度も顕著に減少した。この結果から、葉ダイコンは、おとり植物（MacFarlane, 1952）として機能しており、葉ダイコンの栽培は生物的機能を用いたIPMの防除技術の一つとして役立つと考えられた。

しかしその一方で、おとり植物の防除効果は、病原菌密度が低い時に比べ、病原菌密度が高いほど効果が劣ることが考えられた。その理由は、病原菌密度と発病の間にはシグモイド曲線のような関係があるからである。すなわち、シグモイド曲線上で、病原菌密度が高く定常相 (Stationary phase) にある場合には、発病程度は病原菌密度が減少しても顕著に下がらないことが示唆された (Fig. 1)。同時に、このことは、おとり植物の防除効果が DRC (dose response

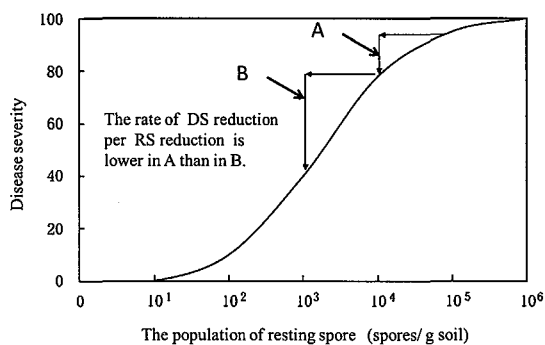


Fig. 1. Estimated relationship between the DS reduction rate by leafy daikon (decoy plant) and RS density in soil on the dose-response curve.

The decrease in the rate of disease severity by using decoy plants is considered lower in soils with high RS density than in soils with low RS density, because the relationship between RS density and disease severity is a sigmoid curve, i.e., the dose-response curve (DRC). DS: disease severity, RS: resting spore.

curve: 菌密度と発病の関係を示す曲線) のパターンと病原菌密度から推定できることを示唆していた (Tsushima *et al.*, 1999a, b). この診断の特徴は、「対象圃場の土壌」と「対象作物」および「対象圃場由来の病原菌」を用いてポット試験により DRC を求める点にある。簡単に実施できる上、この実

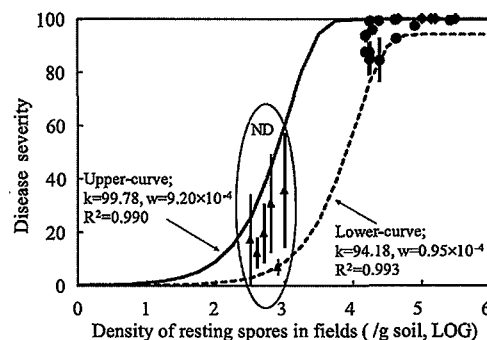


Fig. 2. Graphic validation of the dose-response curves estimated in greenhouse experiments using field experiment data (from Tsushima *et al.*, 2010).

Circles show fields in which the resting spore (RS) value was not detected (detection limit: $L < 10^4$ resting spores g^{-1} soil). Bars show the SE. ●: 1996–1998 field (A), ◆: 1997 field (B), ▲: 1998 field (C). The “upper curve” and “lower curve” show somewhat conducive and somewhat suppressive values, respectively, in the three curves obtained in greenhouse experiments over 3 years. The curves are estimated by changing parameters k and w of the modified one-hit model as follows, $Y = k(1 - \exp[-wx])$, in which Y and x are DS and RS density in the soil and k and w are the parameters, respectively.

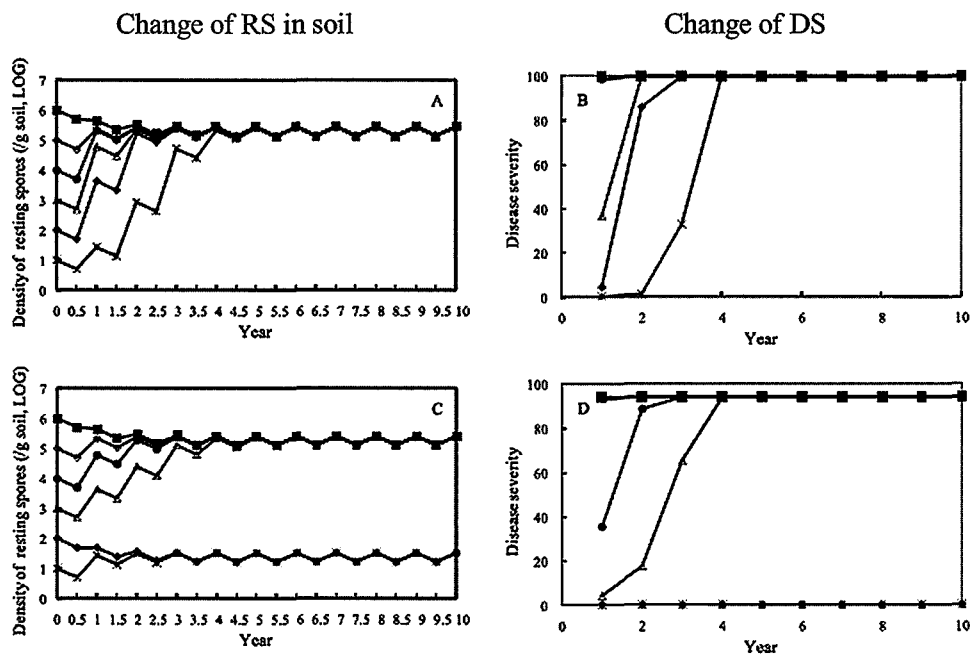


Fig. 3. Long-term simulation of the dose-response curve (DRC) model at various initial resting spore (RS) densities of *Plasmodiophora brassicae* in the soil in a monoculture field of Chinese cabbage where clubbed roots were plowed in after harvest (from Tsushima *et al.*, 2010).

A and C, yearly change in the density of resting spores by simulation using the “upper curve” and “lower curve,” respectively, of Fig. 2; B and D, yearly change in the disease severity of clubroot by simulation using the “upper curve” and “lower curve,” respectively.

Inoculum density (resting spores g^{-1}), ■: $10^6 g^{-1}$, ◇: $10^5 g^{-1}$, ●: $10^4 g^{-1}$, △: $10^3 g^{-1}$, ◆: $10^2 g^{-1}$, ×: $10^1 g^{-1}$.

験系には、門間ら (1988) や天野ら (1995) が記している根こぶ病の発病要因 (土壌理化学性、品種、病原菌等) がある程度含まれ、試験結果はそれら要因の発病への影響をある程度反映していると考えた。葉ダイコンを用いたポット試験の結果、発病程度の低下は、菌密度が低い時ほど大きいという仮説が支持された (Murakami *et al.*, 2001)。加えて、3年間の圃場試験結果 (病原菌密度と発病の関係) は、ポット試験で得た DRC 結果とほぼ一致した (Tsushima *et al.*, 1999a, 2010; Fig. 2)。以上から、ポット試験で得た DRC が、圃場での防除対策に役立つと考えた。例えば、DRC は、生物的防除技術の発病抑制効果を評価することに有効であった (村上, 2000)。同様に、石灰、品種、土壌タイプ、有機物 (Murakami *et al.*, 2002) および抑止土壌 (Murakami *et al.*, 2000a) の発病抑制効果が評価された (村上, 2000; Murakami *et al.*, 2000b; 2002, 2011)。その後、東北地域のハクサイ、キャベツ、ブロッコリーなどの栽培圃場の DRC 診断がなされるなど、DRC 診断が IPM に役立つことが示唆された。

対馬らは、ポット試験で得た DRC を用いて土壌中の病原菌密度推定モデルを作成した (Tsushima *et al.*, 1999a, 2010)。このモデルを使い長期シミュレーションを行うことは、長期的視点での病害管理や、病気が出る前の予防的対策を行う際に役立つと考えている。このモデルによる 10 年間のシミュレーションの結果は、初期の病原菌密度が低いほど病気の進展も遅くなることや、病勢進展の速度が DRC で評価された「助長的土壌」(Fig. 3C, D) より「やや抑止的土壌」(Fig. 3A, B) で低下することを示した。また、DRC は *Fusarium* 属菌によるキュウリつる割病やダイコン萎黄病の病勢進展に及ぼす影響を評価するためにも利用された (Murakami *et al.*, 2003)。

IPM プロジェクト

1999 年、農林水産省委託プロジェクト (IPM プロジェクト) が、イネ、トマト、ナス、キャベツ、ダイズ、ジャガイモおよびナシなど多くの作物を対象に開始された。このプロジェクトでは、様々な農薬代替技術の開発や、防除技術を組み合わせた技術が試された。加えて、農薬の施用回数や防除コストが比較され、2005 年にはこれらの成果を基に IPM マニュアル (梅川ら, 2005) が作成された。その中のいくつかの例を紹介する。

1) 各種防除技術の開発：温室で栽培したトマトの例

実用的と考えられる次の防除技術がリスト化されている。すなわち、病害抵抗的な 11 の接ぎ木と 28 の台木、抵抗性品種、生物防除剤、吸湿性フィルムなどである。物理的防除としては、土壌還元消毒、太陽熱消毒、熱水消毒などもリスト化された。

また、近い将来利用できると思われる防除技術として、カラシナ、メチオニン、非病原性 *Fusarium*、弱毒ウイルスなどがあげられている。たとえば、カラシナの鋤き込みが *Fusarium* 属菌による萎凋病を抑制した。前川ら (2011) は、その後、ハウレンソウ萎凋病において、カラシナの栽培と土壌還元消毒の組み合わせが土壌還元消毒単独よりも高い防除効果を示すことを報告した。

2) 慣行栽培と IPM の比較

農業使用回数と防除コストは、IPM でそれぞれ 9 回、263,000 円、慣行栽培では 23 回、123,000 円であった (Table 1)。IPM では明らかに防除回数が減っているが、防除コストは増加していた。こうした傾向は他の作物でもみられた。以上から、さらに効率的で、低コスト、省力的な防除技術の開発が必要となっている。

3) IPM マニュアルで整理された各種防除技術

(1) 物理的防除法 土壌病害対策としては太陽熱消毒、熱水処理、土壌還元消毒などが、空気伝染性病害対策では、光 (近 UV, UV-B)、フィルム (UV カット、吸湿性) などがあげられている。これらの防除技術は、単独または他の技術と組み合わせて利用されている。たとえば、土壌還元消毒は太陽熱消毒や有機物との組み合わせでより高い効果が得られている。新村 (2002) は糖やフスマを混入して還元状態にした場合、従来の稲わらや石灰を混ぜて還元消毒した時に比べ、ネギ根腐萎凋病が抑制された。さらに、米本ら (2006) はこの消毒法において、土壌温度が 30°C 以上の期間が 280 ~ 300 時間の時に、特に高い防除効果を示すことを報告した。土壌還元消毒は Momma *et al.* (2010, 2013) によってさらに詳細な研究が進められている。

(2) 生物的防除法 生物的防除は IPM の中でも重要な手段である。このマニュアルでは、化学農薬の代替技術として *Bacillus subtilis* がトマト灰色かび病の防除に推奨されている (Table 1)。生物防除剤の数は近年日本では増加し、2009 年時点で 8 剤が商品化となり (田口, 2009)、年間販売額は 10 億円弱となっている。特に、日本では 4 剤 (*B. subtilis*, nonpathogenic *Erwinia carotovora*, *Talaromyces flavus*, *Trichoderma atroviride*) が、野菜の灰色かび病、軟腐病やイネの細菌病の防除に使われている。一方、土壌病害では有効な生物防除剤は少なく、とくに生物防除剤の商品化が難しい。日本で生物防除剤が十分に普及していない理由については多くの研究者によってまとめられている (田口, 2009; 対馬, 2001; 安井, 2012)。それらによると、防除効果や保存中の剤の安定性が不十分であることが大きな課題となっている。近年、*B. subtilis* については防除効果を高めるため、パチルスパウダー (10 g/ハウス) を夜間にダクトを通してハ

Table 1. Case study 1. Comparison of IPM farming and conventional farming on tomato cultivation

Time	Growth	Disease (<i>insect</i>)	IPM farming	Conventional farming
late-Jul	Preparation of field	Gray mold, Leaf mold, Sclerotium disease, Fusarium wilt, Bacterial wilt	Hygroscopic films, Near-UV cutting materials Hot-water treatment	Vinyl, PO, Soil fumigation (1)
mid-Aug	Transplantation (First crop)			
Sep				
Oct		Leaf mold, bacterial wilt	Resistant variety, Resistant rootstock	Susceptible variety
Oct-Dec	Raising seedlings	Leaf mold, late blight <i>Insect</i> (2)	Resistant variety, Fungicide (1) <i>Insecticide</i> (2)	Fungicide (2), <i>Insecticide</i> (2)
Nov	Harvest (First crop) finish Preparation of field	Soil-borne disease	Soil fungicide (1)*	Soil fumigation (1)
Dec	Transplantation (Second crop)	<i>Insect</i> (1)	<i>Insecticide</i> (1)	<i>Insecticide</i> (1)
Jan				
late-Feb	Harvest (Second crop) start	Gray mold	Temperature-moisuture management	Fungicide (2)
Mar		Gray mold, Leaf mold <i>Insect</i> (1)	Temperature-moisuture management, Fungicide (2), <i>Insecticide</i> (1)	Fungicide (2), <i>Insecticide</i> (1)
Apl		Gray mold, Leaf mold <i>Insect</i> (2)	Biocontrol (1), Resistant variety, Temperature-moisuture management, <i>Insecticide</i> (2)	Fungicide (6), <i>Insecticide</i> (1)
May	Late growth stage	Gray mold, Leaf mold <i>Insect</i> (2)	Temperature-moisuture management, <i>Insecticide</i> (BT) (1)	Fungicide (2), <i>Insecticide</i> (1)
mid-Aug	Harvest finish	<i>Insect</i> (1)	<i>Insecticide</i> (1)	<i>Insecticide</i> (1)
Total number of chemicals			9	23
Control cost per 10 a (Yen)			263,000	123,000

* chemicals was treated only in planting hole.

ウス内に流し、作物の葉の表面を覆うようにした結果、従来の細菌懸濁液を処理する方法に比べ高い効果が確認されている (安井, 2012).

農林水産省 IPM ガイドラインとその推進

農林水産省は2005年にIPMガイドラインを策定した。この中には、IPMを行うためのチェックシート (IPM実践指標) が含まれている。チェックシートはイネ (2005) に始まり、キャベツとカンキツ (2006)、りんご、なし、トマト、いちご、大豆、さとうきび、茶、きく (2008) が公開されている (農林水産省, 2011; OECD, 2012).

IPM ガイドライン戦略

1. 作物毎のIPM実践のためのチェックシートを各都道府県が作成する。
2. 各都道府県は生産者のためのIPMの有効性を評価するために、チェックシートを活用するモデル圃場を準備する。
3. 予防、意志決定、防除の3つのステップを含むIPMシステム (Fig. 4) である。予防は病害虫、雑草を防

ぐための環境作りを目指している。たとえば、輪作、抵抗性品種の活用、種子消毒、在来天敵の活用、フェロモンの活用などがある。意志決定では、許容できる病害虫のレベルを決定し、予察に基づいた防除適期の決定を目的としている。防除は、生物的、物理的、化

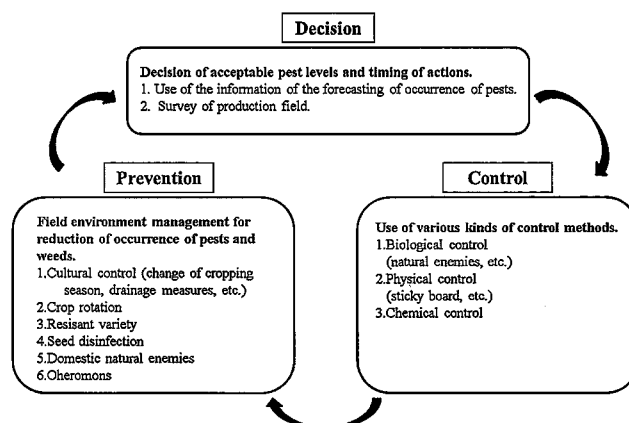


Fig. 4. System of integrated pest management (IPM) constructed by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF), Japan. This system consists of "prevention," "decision," and "control."

Item of management	Point of management	Score	Check		
			Status of implementation last year	Goal for this year	Status of implementation in this year
Management of paddy field and its environment	Prevention of water leak from paddy fields by improvement of ridge between paddy fields and ridging for increasing control effect of pesticide and preventing water pollution	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Stamp out wintering insect by weeding ridge between paddy fields, farm road, fallow field, and decrease disease severity next year.	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Except nontillage cultivation, to achieve the tilling and harrowing implement just after rice reaping to prevent the growth of the perennials such as <i>Sagittaria trifolia</i> L., <i>Eleocharis kuroguwai</i> Ohw.	1			
	Treatment of silica fertilizer, if necessary, according to soil diagnosis	1			
Proper variety	Use of rice blast-resistant and lodging-resistant variety in area where rice blast and lodging always occurs	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
[Redacted Section]					
Participation in the training course by prefectural office or Agricultural Cooperatives		1			
Total number					
Total of target IPM contents a)					
Assessment b)					

a the IPM points: This point depends on the target diseases that occurred in this year. The score is obtained as follows:
 $IPM\ index = (Total\ Number) / (Sum\ of\ maximum\ IPM\ management\ point\ obtained\ based\ on\ disease\ development) \times 100$
 b IPM indexes are used for assessment of IPM practices of individual farmers.

Fig. 5. Checklist of the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF) integrated pest management (IPM) guidelines for rice. This checklist is a self-appraisal system. The IPM index can be obtained from a checklist and is used to evaluate the level of IPM used by the farmer.

学的防除の活用を目指す。

チェックシート (IPM 実践指標)

農林水産省は 11 のチェックシートを作成し、それらを基に 678 件のチェックシート (2010 年 193 件; 2011 年 238 件; 2012 年 247 件) が全国の都道府県で準備された (農林水産省, 2011, 2012; OECD, 2012)。2012 年には、247 件のチェックシートのうち 84 件については生産者が活用し、残りのチェックシートについては都道府県の普及センターが取り組んでいる。たとえば、イネのチェックシートに関しては、水田やその周辺の管理、品種、健全種子・苗、種子消毒、育苗箱内の消毒、移植、雑草防除などの 10 項目以上について、チェックする必要がある。生産者は収穫後に自らチェックリストに記載することになっている (Fig. 5)。その結果から求められた IPM インデックスを基に、IPM レベルが評価される。このチェックリストは、生産者自身が評価する自己評価システムであるという特徴がある。

日本における IPM の普及

農林水産省はレポート (OECD, 2012) で、普及のために以下の点が必要と報告している。すなわち、リーダーと指

導者の訓練、IPM 技術のコスト削減、IPM 実践のためのインセンティブ、IPM の環境への影響評価、生物的防除の普及拡大である。このレポートは、生産者、リーダー、指導者に対する IPM への理解増進が日本の IPM 普及に重要であることを示唆している。加えて、日本では、多様な農業形態があるため、それに対応する新たな防除技術の開発をこれまで以上に必要としている。

国内で行われている IPM 実践例

ジャガイモそうか病の総合防除が北海道で行われている (田中, 2005)。このプロジェクトでは、前作の発病度 (0%, 1-5%, 6-15%, 16-30%, 31-55%, 56-80%, 81-100%) に応じて対策が採られている。たとえば、前作の発病度が 6-15% の時、生産者は、3 つの対策 (ジャガイモ栽培前のエンバク野生種か豆類の栽培、pH 5.0 に維持、抵抗性品種の利用) を講ずる。発病度 31-80% の時には、抵抗性強の品種が勧められ、発病度 81% 以上では食用ジャガイモに適した防除手段がないことから、加工用ジャガイモの栽培が推奨されている。

兵庫県では、レタスで総合防除が実践されている (岩本・

相野, 2010). 太陽熱消毒と生物防除資材の組み合わせ (防除価 70–90) が, 太陽熱消毒単独 (同 20–30) より高い防除効果を示した. 一方, ウイルス病についても検討がなされ, 藤永ら (2009) は, トルコギキョウに発生するウイルス対象に総合防除を実践した. ここでは, 健全種子, 病気の進展とウイルス媒介虫のモニタリング, 防虫網の使用, 熱水土壤消毒が使われている.

農林水産省委託プロジェクト (2008–2012) では 2012 年に廃止された臭化メチル対策のための新しい栽培マニュアルを作成し公開している (中央農業総合研究センター, 2012). このプロジェクトでは, ピーマン, メロン, キュウリ, ショウガなどの重要作物について臭化メチル代替技術が開発された. たとえば, Pepper mild mottle virus (PMMoV) に効果のあるウイルスワクチンも生物防除剤として開発され農業登録された.

DNA 解析を用いた新しい土壤病害管理

2006 年に開始された農林水産省委託プロジェクト (eDNA プロジェクト) では, 土壤 DNA 解析手法が開発され, 異なる土壤タイプの地域で土壤病害等の試験等が行われた. その結果, DNA 解析が土壤病害管理に役立つことが示唆された.

農林水産省 eDNA プロジェクト (2006–2010)

持続的農業推進のため, 土壤肥沃性を維持し土壤病害を抑制するために, 土壤の物理的, 化学的および生物的性質を解析することは重要であるが, 生物的性質の解析は遅れていた. そこで, 環境 DNA (eDNA) を用いた土壤の生物多様性解析手法の開発と, 栽培歴, 土壤理化学性を含む国内初の農耕地 DNA データベースの構築を目的として研究が行われた (Tsushima *et al.*, 2009; 對馬, 2010). 土壤 DNA 解析技術として, 低コストで簡便であることや, 培養できない微生物の多様性が解析できる PCR-DGGE (変成剤濃度勾配電気泳動法) を基幹技術として選抜した. ただし, PCR-

DGGE は, ゲル間でデータを比較することが難しいことから, 本プロジェクトでは, 最初に細菌, 糸状菌, 線虫を対象にゲル間でも比較ができ, 純度の高い土壤 DNA を回収し解析できる PCR-DGGE マニュアルを作成し公開した (Hoshino and Matsumoto, 2004; Hoshino and Morimoto, 2008, 2010; 森本・星野, 2008; 大場・岡田, 2008). 次に, 土壤からの抽出 DNA の純度と量は土壤の性質に強く影響を受けることから, 国内の様々な土壤タイプについてこの手法がテストされた (村上, 2011). とくに, 畑地の約 45% を占める黒ボク土からの抽出 DNA は課題が多かったが, PCR-DGGE マニュアルが有効であることが明らかになった. 加えて, 農耕地 eDNA データベース (eDDASs : eDNA database for agricultural soils) を構築し公開した. eDDASs には全国からの 3000 件以上の土壤情報が登録されている (Bao *et al.*, 2012, 2013; Tsushima *et al.*, 2011).

こうした研究を基に, 2011 年開始の農林水産省プロジェクトで, 新しい土壤病害管理システムが提案された (Tsushima and Yoshida, 2012). 一般に, 空気伝染性病害では発病予測技術は有効な手段であるが, 土壤病害においては予測が難しく (伊藤, 1989a, b), 労力のわりには実用的ではないと考えた. そこで, Tsushima and Yoshida (2012) は, 発生予測に依存しない手法 (HeSoDiM) を提案した.

HeSoDiM は, ヒトの健康診断を用いた予防医療と同様に, 畑の診断により発病ポテンシャル (発病しやすさ) を求め, そのレベルに応じて対策を講ずるものである. すなわち, ヒトの健康診断では, 医師は血液検査の結果だけから病気の発生を正確に予測することはできないが, 得られた結果から診断項目毎の基準値を基に投薬の要否を判断している. HeSoDiM はこの考え方を導入しようとするものであり, IPM の予防的対策の一つと考える. 現在, 各種の重要病害について, 経済的, 生態的な視点から技術の効果的な組み合わせについて検討がなされている. HeSoDiM の概念は Fig. 6

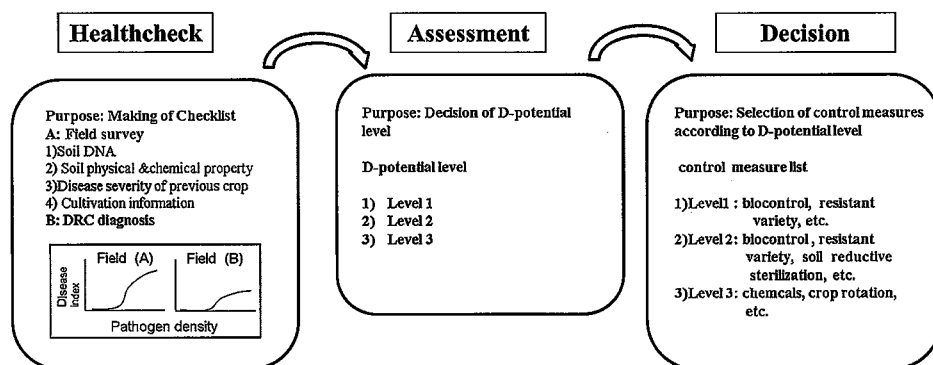


Fig. 6. The Health Checkup-based Soil-borne Disease Management (HeSoDiM) system. This system consists of a “health check,” “assessment of D-potential,” and “decision of tactics.”

に示した。このシステムは下記の3つのステップから構成されている。

1) 第一ステップ:生産者圃場の診断票の作成 このステップでは、栽培前に、生産者の圃場毎に病害防除に必要な診断項目(品種名, 前作発病度, PCR-DGGE 解析結果, DRC 診断結果など)を調べ診断票に記載する。

2) 第二ステップ:発病ポテンシャルの評価 このステップでは、生産者の畑の現在, 過去の診断票を基に, 発病ポテンシャルを評価し, レベル(例:レベル1, 2, 3)をつける。

3) 第三ステップ:発病ポテンシャルに応じた対策 このステップでは、発病ポテンシャルのレベル(例:レベル1, 2, 3)に応じた経済的に最適な対策技術を選抜する。

結 論

IPM 研究は日本で30年以上の歴史がある。そして、多くの農業代替技術は前述のように1930年代から開発されてきた。日本のIPMの特徴は政府主導型と言える。現在、発生予察事業では、農林水産省, 都道府県の農業試験場, 都道府県の病害虫防除所, 生産者が連携し, 都道府県の病害虫防除所は農林水産省がリスト化した主要病害の発生をモニタリングし, そのデータに基づき適切な防除技術を指導している。都道府県によっては普及センターも参加している。IPM 事業もこの発生予察事業のような体制で実施しているからである。しかしながら, 生産者によるIPMに対する理解は未だに低い(OECD, 2012)のも事実である。加えて, このシステムだけでは生産者の意志決定を支援することは難しい。なぜなら, 栽培条件(栽培管理法, 気象条件, 作物, 土壌タイプ, 農家の規模)とステークホルダーのニーズが多様であり, この多様性に対応するためには, 単に意志決定支援技術の開発だけでなく, IPM リーダーやコンサルタント(OECD, 2012)が重要であるからである。加えて, 今後, 新しいシステムでは, 防除費用は栽培管理も含めてトータルで計算されるべきと考える。それは, 生物的防除, 耕種の防除などの防除手段は, しばしば他の病害虫の抑制や, 植物の生育促進などに役立つことがあるからである。

謝 辞

この総説に引用した研究の一部は, 農林水産省委託プロジェクト「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のための技術開発:【土壌病害虫診断技術等の開発】」で実施したものである。

引用文献

赤井重恭 (1938). 稲熱病総合防除法を施行せる水稻葉の灰像に就て. 日植

病報 7: 173-192.

- 天野哲郎・鳥越洋一・小川 奎・駒田 且・伊藤純雄 (1995). 長期発生予測に基づくキャベツ根こぶ病防除の意思決定支援システムの開発. 農業研究センター研究報告 24: 1-40.
- Bao, Z., Ikunaga, Y., Matsushita, Y., Morimoto, S., Hoshino, Y.T., Okada, H., Oba, H., Takemoto, S., Niwa, S., Ohigashi, K., Suzuki, C., Nagaoka, K., Takenaka, M., Urashima, Y., Sekiguchi, H., Kushida, A., Toyota, K., Saito, M. and Tsushima, S. (2012). Combined analyses of bacterial, fungal and nematode communities in Andosolic agricultural soils in Japan. *Microbes Environ.* 27: 72-79.
- Bao, Z., Matsushita, Y., Morimoto, S., Hoshino, Y.T., Suzuki, C., Nagaoka, K., Takenaka, M., Murakami, H., Kuroyanagi, Y., Urashima, Y., Sekiguchi, H., Kushida, A., Toyota, K., Saito, M. and Tsushima, S. (2013). Decrease in fungal biodiversity along an available phosphorous gradient in arable Andosol soils in Japan. *Can. J. Microbiol.* 59: 368-373.
- 中央農業総合研究センター (2012). 植物ウイルスワクチン『グリーンベーパーPM』利用マニュアル. URL: http://www.naro.affrc.go.jp/narc/contents/files/post_methylbromide/narc_manual.pdf
- Epstein, L. and Bassein, S. (2003). Patterns of pesticide use in California and the implications for strategies for reduction of pesticides. *Annu. Rev. Phytopathol.* 41: 351-375.
- FAO (2013). IPM definition. URL: <http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/pests/ipm/en/>
- Frisbie, R.E., Hardee, D.D. and Wilson, L.T. (1992). Biologically intensive pest management in the future choices for cotton. *In Food, Crop Pests, and the Environment.* pp. 57, APS Press, St. Paul, MN, USA.
- 深谷昌次・桐谷圭治編 (1973). 総合防除. pp. 415, 講談社, 東京.
- 藤永真史・宮本賢二・小木曾秀紀・内山 徹・伊山幸秀・守川俊幸・夏秋知英・井上登志郎 (2009). トルコギキョウに発生するウイルスに対応した対策マニュアル. 植物防疫 63: 423-428.
- 浜屋悦次 (1990). 応用植物病理学用語集 (浜屋悦次編). 日本植物防疫協会, 東京.
- Hoshino, Y.T. and Matsumoto, N. (2004). An improved DNA extraction method using skim milk from soils that strongly adsorb DNA. *Microbes Environ.* 19: 13-19.
- Hoshino, Y.T. and Morimoto, S. (2008). Comparison of 18S rDNA primers for estimating fungal diversity in agricultural soils using polymerase chain reaction-denaturing gradient gel electrophoresis. *Soil Sci. Plant Nutr.* 54: 701-710.
- Hoshino, Y.T. and Morimoto, S. (2010). Soil clone library analyses to evaluate specificity and selectivity of PCR primers targeting fungal 18S rDNA for denaturing-gradient gel electrophoresis (DGGE). *Microbes Environ.* 25: 281-287.
- 伊藤誠哉 (1932). 水稻主要病害第一次発生とその総合防除法. 北海道農事試験場報告 28: 1-204.
- 伊藤純雄・駒田 且・門間敏幸・天野哲朗 (1989a). 連作障害総合防除のための圃場カルテシステムの開発 第12報 ハクサイ黄化病発生モデル化のための要因解析. 農研センター報告 16: 33-53.
- 伊藤純雄・駒田 且・門間敏幸・天野哲朗 (1989b). 連作障害総合防除のための圃場カルテシステムの開発 第13報 ハクサイ黄化病の発生予測モデル開発の試み. 農研センター報告 17: 1-53.
- 岩本 豊・相野孝孝 (2010). レタスビッキングペイン病の総合防除. 植物防疫 64: 229-234.
- Jacobsen, B.J. (1997). Role of plant pathology in integrated pest management. *Annu. Rev. Phytopathology* 35: 373-391.
- Lewis, W.J., van Lenteren, J.C., Phatak, S.C. and Tumlinson, J.H. (1997). A total system approach to sustainable pest management. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A* 94: 12243-12248.
- MacFarlane, I. (1952). Factors affecting the survival of *Plasmodiophora brassicae* Wor. in the soil and its assessment by a host test. *Ann. Appl. Biol.* 39: 239-256.
- 前川和正・福嶋 昭・竹川昌宏 (2011). カラシナを用いた還元土壌消毒によるハウレンソウ萎凋病の防除. 関西病虫研報 53: 83-85.
- Momma, N., Momma, M. and Kobara, Y. (2010). Biological soil disinfection using ethanol: effect on *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* and soil microorganisms. *J. Gen. Plant Pathol.* 76: 336-344.
- Momma, N., Kobara, Y., Uematsu, S., Kita, N. and Shimura, A. (2013). Development of biological soil disinfections in Japan. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 97: 3081-3089.
- 門間敏幸・駒田 且・伊藤純雄・大畑貫一・北川靖夫 (1988). 連作障害防止のための圃場カルテシステムの開発 第6報 ハクサイ根こぶ病総合防除のための圃場カルテシステムの開発と実証. 農研センター研報 12: 13-38.
- 森本 晶・星野(高田) 裕子 (2008). PCR-DGGE 法による土壌微生物群集解析法 (1) 一般細菌・糸状菌相の解析. 土と微生物 62: 63-68.
- 村上弘治 (2000). 土壌病害における病原菌密度と発病アブラナ科野菜根こぶ病の場合一. 土と微生物 54: 129-137.
- Murakami, H., Tsushima, S. and Shishido, Y. (2000a). Soil suppressiveness to clubroot disease of Chinese cabbage caused by *Plasmodiophora brassicae*.

- Soil. Biol. Biochem. 32: 1637–1642.
- Murakami, H., Tsushima, S., Akimoto, T., Murakami, K., Goto, I. and Shishido, Y. (2000b). The effects of growing leafy daikon (*Raphanus sativus*) on populations of *Plasmodiophora brassicae* (clubroot). *Plant Pathol.* 49: 584–589.
- Murakami, H., Tsushima, S., Akimoto, T. and Shishido, Y. (2001). Reduction of spore density of *Plasmodiophora brassicae* in soil by decoy plants. *J. Gen. Plant Pathol.* 67: 85–88.
- Murakami, H., Tsushima, S. and Shishido, Y. (2002). Factors affecting the pattern of the dose response curve of clubroot disease caused by *Plasmodiophora brassicae*. *Soil. Sci. Plant Nutr.* 48: 421–427.
- Murakami, H., Tsushima, S., Akimoto, T., Kanno, T. and Shishido, Y. (2003). Effects of cultivation of preceding plants on the development of Fusarium wilt of cucumber and daikon. *Soil Sci. Plant Nutr.* 49: 703–710.
- 村上弘治 (2011). 根こぶ病防除薬剤の施用が土壤微生物群集に与える影響のPCR-DGGE法による評価. *植物防疫* 65: 461–466.
- Murakami, H., Tsushima, S., Akimoto, T., Kuroyanagi, Y. and Shishido, Y. (2011). Quantitative studies on the relationship between plowing into soil of clubbed roots of preceding crops caused by *Plasmodiophora brassicae* and disease severity in succeeding crops. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50: 1307–1311.
- 農林水産省 (2011). IPMの推進に向けて. *植物防疫* 65: 381–385.
- 農林水産省 (2012). IPM実践指標の策定・活用状況について. URL: http://www.maff.go.jp/syouan/syokubo/gaicyu/g_zirei/index.html
- OECD (2012). Report of the OECD workshop on integrated pest management (IPM) strategies for the adaptation and Implementation of IPM in agriculture, contributing to the sustainable use of pesticides and to pesticide risk reduction, Berlin, Germany, 16–19 October, 2012. URL: <http://www.oecd.org/fr/env/ess/pesticides-biocides/integratedpestmanagementandris584kreduction.htm>
- 大場広輔・岡田浩明 (2008). PCR-DGGE法による土壤微生物群集解析法 (2) 土壤線虫相の解析. *土と微生物* 62: 69–74.
- 大畑賢一・門間俊幸・北川靖夫・伊藤純男・駒田 旦 (1985). 連作障害防止のためのほ場カルテシステムの開発の意義 第1報. *農研センター研報* 4: 1–50.
- Savary, S., Teng, P.S., Willcoquet, L. and Nutter, F.W. Jr. (2006). Quantification and modeling of crop losses: a review of purposes. *Annu. Rev. Phytopathol.* 44: 89–112.
- 新村昭憲 (2002). ネギ根腐病の発生生態と防除に関する研究. *日植病報* 68: 140.
- Stern, V.M., Smith, R.F., van den Bosch, R. and Hagen, K.S. (1959). Integrated control concept. *Hilgardia* 29: 81–101.
- 田口義広 (2009). 生物防除の普及. 「微生物と植物の相互作用」(百町満朗・對馬誠也編). pp. 381–387, ソフトサイエンス社, 東京.
- 田中民夫 (2005). ジャガイモそとか病の発生程度に応じた総合防除. *植物防疫* 59: 218–221.
- Tsushima, S., Murakami, H., Akimoto, T. and Shishido, Y. (1999a). A model for integrated control of clubroot disease caused by *Plasmodiophora brassicae*. Conference handbook of 12th APPS Biennial Conference, pp. 299. (Abstr.)
- Tsushima, S., Murakami, H., Akimoto, T. and Shishido, Y. (1999b). Integrated control of clubroot disease of Chinese cabbage by combining a decoy plant with soil assessment. 14th. International Plant Protection Congress (IPPC). pp. 75. (Abstr.)
- 對馬誠也 (2001). IPMの中における生物防除—現状と展開—. (土屋健一, 對馬誠也編). pp. 1–13, 日本植物病理学会バイオコントロール研究会, 東京.
- Tsushima, S., Fujii, T. and Takenaka, M. (2009). A Japanese research project for analysis of soil biological properties related to agriculture using environmental DNA, BAGECO10 (Bacterial Genetics and Ecology-Coexisting on a Changing Planet). pp. 84. (Abstr.)
- 對馬誠也 (2010). eDNAによる農耕地土壌の生物性解析・評価手法の開発. *土と微生物* 64: 64–69.
- Tsushima, S., Murakami, H., Akimoto, T., Katahira, M., Kuroyanagi, Y. and Shishido, Y. (2010). A practical estimating method of the dose-response curve between inoculum density of *Plasmodiophora brassicae* and the disease severity for long-term IPM strategies. *JARQ* 44: 383–390.
- Tsushima, S., Matsushita, Y., Bao, Z., Iknaga, Y., Nagase, H., Yoshida, S. and Saito, M. (2011). A environmental DNA database for agricultural soils (eDDASs). TUA-FFTC international seminar on emerging infectious diseases of food crops in Asia. pp. 203. (Abstr.)
- Tsushima, S. and Yoshida, S. (2012). A new health-checkup based soil-borne disease management (HeSoDiM) and its use—Introduction of MAFF project (2011–2013)—. TUA-FFTC international seminar on emerging infectious diseases of food crops in Asia. (Abstr.)
- 宇井裕生 (1982). 北大農学部の植物学と北海道. 北大百年史 881–892.
- 梅川 学・宮井俊一・矢野栄二・高橋賢司 (2005). IPMマニュアル—総合的病害管理技術—. pp. 236, 養賢堂, 東京.
- 安井 強 (2012). 微生物殺菌剤の現状と問題点. 「生物が直面している問題点と今後の展開」(對馬誠也・相野公孝編). pp. 28–35, 日本植物病理学会, 東京.
- 米本謙悟・広田恵介・水口晶子・坂口謙二 (2006). 露地における土壌還元消毒法の利用方法とイチゴ萎黄病に対する効果. *四国植防* 41: 15–24.
- Zadoks, C. (1985). On the conceptual basis of crop assessment: The threshold theory. *Ann. Rev. Phytopathology* 23: 455–475.