

後作物移行性試験に関する動向

(財) 残留農薬研究所 飯島和昭

1. はじめに

我が国の残留基準値にポジティブリスト制が導入されたことにより、適用外農薬の残留基準値には一律基準値が設定された¹⁾。ポジティブリスト制の導入当初は、残留基準値違反事例において、農薬散布時のドリフト問題や農薬散布の誤用などが原因として話題となることもあったが、今日では生産者に対する農薬の安全使用などの啓蒙活動が浸透し、残留農薬問題に関しては国産農産物の方が輸入農産物よりも安全安心であるという消費者意識が定着してきた感がある。しかしながら、農業生産現場から消費者に至る各工程での残留農薬検査においては、極少数ではあるが一律基準を超える原因特定の困難な残留農薬の違反事例も報告されている。施設内での連作などで収益性を高めている日本の集約農業においては、原因特定が困難な残留農薬の違反事例の一因として、後作物における農薬の残留問題が潜在的な要因として懸念されている。しかしながら、後作物における農薬残留のメカニズムについては未解明の領域が多く、因果関係の有無を検証する科学的な知見が十分ではないため、後作物残留が疑われる問題事例についても解釈が難しいのが現状である。本稿においては、我が国をはじめ、OECD 504²⁾などの諸外国における後作物残留に関する試験指針や残留調査事例を参考として、現在の後作物残留

問題に関する課題を整理する。

2. 後作物残留試験のガイドライン

現行の農薬の国内登録制度^{3, 4)}においては、「当該農薬使用後1年以内に栽培されるもの」を後作物と定義した上で、土壤残留試験における半減期により、後作物残留試験の必要性が判断される。具体的には、土壤残留性試験における当該農薬の有効成分等の推定半減期が、原則として100日を超えない場合には、当該農薬の土壤残留性の程度等からみて、その使用に係る農地において適用農作物の後に栽培される農作物が当該農薬の成分物質等により汚染されるおそれがないものと判断され、後作物残留試験成績の提出は必須要求項目ではなくなる。即ち、現行の国内における後作物残留試験においては、一般的な農業形態の中での後作物への前作に使用した農薬の影響が無いことを確認することを意図して整備されており、残留基準値にポジティブリスト制が導入される以前に関しては、特段の問題が生じることも無く運用されてきていた。

OECD試験指針504においては、「収穫前に農薬が処理されたことのある全ての畑地や水田で収穫されるもの」を後作物と定義した上で、次の3つの調査パターンに分けて後作物への残留性を評価する。なお、OECD試験指針において

は、別途規定される標識化合物を用いた後作物の代謝運命試験結果⁵⁾において、作物および種子への農薬の残留値の蓄積が主に土からの取込みに起因することが示唆された場合に、後作物残留試験を実施する。

一つ目は、栽培ミスや近接栽培など、農薬使用時のワーストケースを想定した場合で、圃場に最大施用量の農薬を散布した後、7～30日後に作付した後作物での農薬の残留性を評価する。この調査パターンでは、農薬の処理を間違えた後に新たに作付される後作物や、順調に発芽・成長しなかった作物の栽培を初期段階で中断して新たに栽培される後作物、近接圃場で処理された農薬に暴露した圃場（裸地）で新たに栽培される後作物（隣接圃場に農作物があればドリフト問題となる）、栽培初期段階での若葉の収穫や間引き菜（つまみ菜）などの実際の農業現場で起こりうるワーストケースが想定されている。この最短期間での後作物残留調査は、播種から収穫までが数週間で完了するコマツナなどの短い栽培周期で農作物を連作する際の残留農薬のリスク評価にも有効と考えられる。なお、この調査パターンでの後作物残留調査は、除草剤などの葉害発生時には適用できないことに留意が必要である。

二つ目は、標準的な農業慣行に従い農薬使用を想定した調査パターンで、圃場に最大施用量の農薬を散布した後、60～270日後に作付した後作物での農薬の残留性を評価する。この後作物の作付周期は、典型的な農作物の栽培を想定したものであり、現行の国内における後作物残留試験は、概ねこの調査パターンに相応する。

三つ目は、農薬の経年使用を想定した調査パターンで、継続的に散布する栽培条件下での後作物での農薬の残留性を評価する。具体的には、

諸外国では季節毎に異なる種類の牧草などの飼料用作物を栽培・収穫する場合での後作物での残留性評価事例^{6,7)}がある。なお、後作物残留性試験においては、アスパラガス、バナナ、ベリー類、イチジク、ブドウ、キーウィ、キノコ、柑橘類、仁果類、核果類、パイナップル、木の実などの永年作物（準永年作物を含む）での後作物残留性は、評価対象としていないことを補足しておく。

本項では、農薬を処理後の後作物の作付時期の調査パターンについて解説してきた。土壌に処理された農薬は、各種の環境要因により分解し、移行拡散して減衰するので、後作物の作付時期の相異は、土壌中の残留農薬濃度と後作物での残留農薬との関係を反映すると考えられる。しかしながら、実際の後作物残留試験における作付時期の変化は、季節的な変化でもあるため、単純な土壌残留濃度と後作物残留性との比較実験とはならない。例えば、夏季に農薬を圃場に処理した後に、作付時期を1, 2, 3ヶ月後と変化させて後作物（比較的栽培期間の短いコマツナなど）を栽培した場合には、図-1に示すように作付時期が遅くなるにつれて、冬季にわたる栽培となるため栽培期間も長くなる。そのため、後作物が土壌中の残留農薬を取り込む期間が長

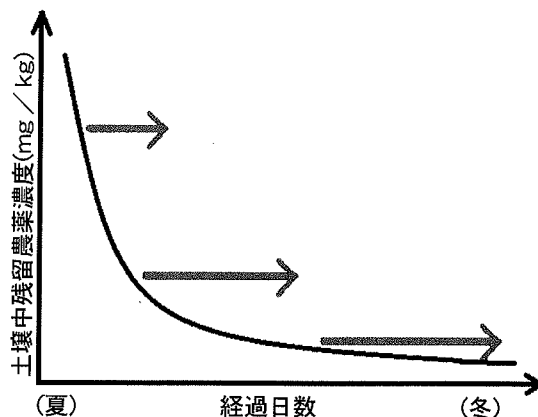


図-1 土壌残留濃度と作物の栽培期間の例

くなり、土壌残留農薬濃度が低い状態で栽培した後作物中での残留農薬濃度の方が高くなる場合も生じてくる。

後作物残留試験のOECD試験指針では、供試作物として土壌と可食部が接触するニンジンやカブなどの根菜類、一般的な葉菜類、および小麦や大麦などの小粒穀類の3種類の後作物での試験を推奨し、さらに各地域における代表的な後作物での試験も推奨している。また、土壌残留農薬の作物残留問題の代表的事例としては、ディルドリンなどのシクロジエン系POPs農薬のウリ科野菜への特異的な取込みが知られている^{8,9)}。後作物の栽培土壌については、異なる2種の土性での試験を推奨し、その一方はSandy Loamとすることを推奨している。

3. 後作物残留に関する既存データ

農薬の残留基準値の設定に際しては、後作物に対する安全性を評価するための試験成績も必要に応じて提出されている。そこで、食品安全委員会で公開されている農薬評価書(約200報)¹⁰⁾における植物体内運命試験および後作物残留試験の報告事例を閲覧し、それぞれ表-1および表-2に整理した。土壌からの植物体への取込みの可能性を調査することを目的とした植物体内運命試験での調査事例では、11例の内の9例で植物体中への取込みが報告されていた。なお、一般に植物体内運命試験での検出事例は、総放射能量(TRR)で報告されるため、必ずしも有効成分である農薬そのものの残留性を示すものではないこと、また、その試験目的から標準的な投薬量よりも多い農薬量が処理される場合があることに留意する必要がある。一方、標準的な農業慣行に従い栽培した後作物中での残留性を調査することを目的とした後作物調査事例で

は、20例の内の19例について残留性が無いことを報告していた。その内、唯一の検出事例であるクロランスラムメチルについても、通常の残留性調査では分析対象としない麦わら試料においてTRRとして0.004 ppm相当が残留との報告であった。残留性の有無の評価が相反するこれらの報告事例から、農薬を処理した土壌で栽培した植物体中には一定量の農薬が取り込まれる可能性が確認されているが、標準的な農業慣行に従い栽培した後作物中では農薬の残留性は認められない程度であると解釈できる。

さらに、我々は弊所における作物残留調査事例の内(非公開資料)、除草剤等の土壌処理剤での検出事例の有無と農薬の水溶解度およびオクタノール/水分分配係数(log POW)との関係を整理した。その検出事例の有無と水溶解度および分配係数との相関性を図-2に示す。土壌処理剤での作物残留調査事例131例の内、75例については、何らかの残留値の検出事例(一部の試験条件や作物種)が確認されていた。この解析結果では、水溶解度10 g/L以上またはlog POW -4以下の農薬については全て検出事例が確認されたが、それ以外の領域では検出事例と不検出事例が混在していた。但し、これらの調査対象農薬には登録が抹消された製剤や、調査実施年が古いデータも含まれることから、その試験条件が必ずしも現行の登録要件に沿っていない場合が相当数含まれることに留意が必要である。また、当該調査事例での定量限界または検出限界は多様であったことから、本データ解析においては、検出/不検出の評価にあたり一律基準(0.01 ppm)への配慮は行わなかった。これらの調査結果から、土壌へ農薬を処理した後、短期間の内に後作物の栽培を開始して後作物残留調査を行った場合には、相応数の農薬と

表-1 植物体内運命試験での後作物調査事例

農薬名	施用量 (g ai/ha)	作付時期	後作物	残留値 (mg/kg)	備考 (収穫期)
1 [dif-14C]ルフェヌロン (ポット: t1/2=140-d)	150	2ヶ月後	レタス 春小麦 玄麦 わら とうもろこし にんじん 根 葉部	0.047 <0.01 0.023 <0.01 0.023 <0.01	処理 126-d 処理 161-d 処理 126-d
[dif-14C]ルフェヌロン (圃場: t1/2=154-d, 1-d: 0.279mg/kg --> 519-d: 0.134mg/kg)	150	76-d 126-d 306-d	レタス 冬小麦 玄麦 麦わら てんさい とうもろこし 茎	<0.001 <0.001 0.004 <0.001 0.003	
2 メトキシフェノジド標識体	2240	31, 91, 364-d	カラシ はつか大根 冬小麦 葉 根/葉 茎葉/根	0.009 ~0.033	OECD-504準拠
3 [4me-14C]ペンディメタリン	9169	4-m	わた だいず 種子 子実	0.016 0.06	
4 14C-フルフェニルエチル	60	31, 89, 221-d	キャベツ にんじん 小麦 葉 根/葉 子実 飼料 麦わら	<0.004 <0.004 <0.002 0.013 <0.001	OECD-504準拠
5 [phe-14C]-フルシラゾール	60	30, 120-d	キャベツ かぶ 大麦 大豆 葉 根/葉 穀粒/わら 子実	0.02~ 2.16	(大豆, 大麦穀粒~ 大麦わら)
6 ピリプロキシフェン標識体	250	30, 120-d	キャベツ かぶ 大麦 大豆 葉 根/葉 穀粒/わら 子実	0.02~ 2.16	(大豆, 大麦穀粒~ 大麦わら)
7 ピコリナフェン標識体 (通常散布×2倍)	100	30-d, 11-m	にんじん えんどう てんさい ひまわり 大豆	0.006 <0.003 0.004 <0.003 0.005	根/葉部 根 茎葉
8 ニトラピリン標識体	560	20, 120, 365-d	小麦 エン麦 大豆 レタス カラシナ	ND ND ND ND ND	6-CPAは検出
9 ジチオピル標識体	120	2-w	にんじん 根 葉部	0.052 0.022	
	120		きゅうり	0.001-0.002	
	75		小麦	0.002	
9 14C-ジクロロイミド	560	30, 120, 365-d	小麦 にんじん 大豆	0.017-0.295 0.038 0.019-0.039	OECD-504準拠
10 14C-ジクロスラム		120-d	小麦 ばれいしょ レタス ふだんそう	<0.01 <0.01 <0.01 <0.01	
11 ¹⁴ C-イソキサフルトール	200	34, 123, 365-d	レタス ソルガム はつか大根 小麦	det. 0.13-0.24 det. det.	OECD-504準拠

出典：農薬評価書：http://www.fsc.go.jp/fscis/evaluationDocument/list?itemCategory=001/ 2011年2月18日閲覧

表-2 国内での後作物残留試験の調査事例

農薬名	施用量 (g ai/ha)	作付時期	後作物	残留値 (mg/kg)	備考
1 イミダクロプリド			水稻, 大根	<0.005	
2 インドキサカルブ			レタス, ニンジン, 小麦, 大豆	<0.01	
3 ウニコナゾール-P			小麦, 大豆, ばれいしょ, 大根, 白菜	<0.01	
4 オキシリニック酸			きゅうり, キャベツ, にんじん, 小麦,	<0.01	
5 クロマフェノジド			はつか大根, 大根, こまつな	<0.005	
6 クロランスラムメチル	55	120-d	小麦, レタス, ばれいしょ	0.004	賞行×1.6, TRR, 麦わら 調査対象薬剤
7 クロラントラニリブロール			大根, 白菜, キャベツ, 小麦	<0.01	
8 ジクロシメット	300, 120×3		小麦, 大豆, 大根, 白菜, きゅうり	<0.01	
9 ジメトモルフ			だいこん, はくさい	<0.01	
10 シロマジン			チンゲンサイ, きゅうり, カブ	<0.005	
11 トリフロキシストロビン		30-d	きゅうり, かぼちゃ	<0.02	
12 バクロブトラゾール			にんじん, さやえんどう	<0.01	
13 ピメトロジン			白菜, 大根	<0.005	
14 ピリダリル			白菜, 大根	<0.01	
15 ププロフェジン			大根, 小麦	<0.01	
16 フルオピコリド			きゅうり, 大根	<0.01	
17 フルベンジアミド			大根, レタス	<0.01	
18 [bzt-14C]メフェナセット	4.8 mg/ポット		大根, なす, トマト, 水稻の可食部でND		
19 マンジプロバミド			カブ, ホウレンソウ	<0.01	
20 メタフルミゾン			レタス, 大根	<0.01	

出典：農薬評価書：http://www.fsc.go.jp/fscis/evaluationDocument/list?itemCategory=001/ 2011年2月18日閲覧

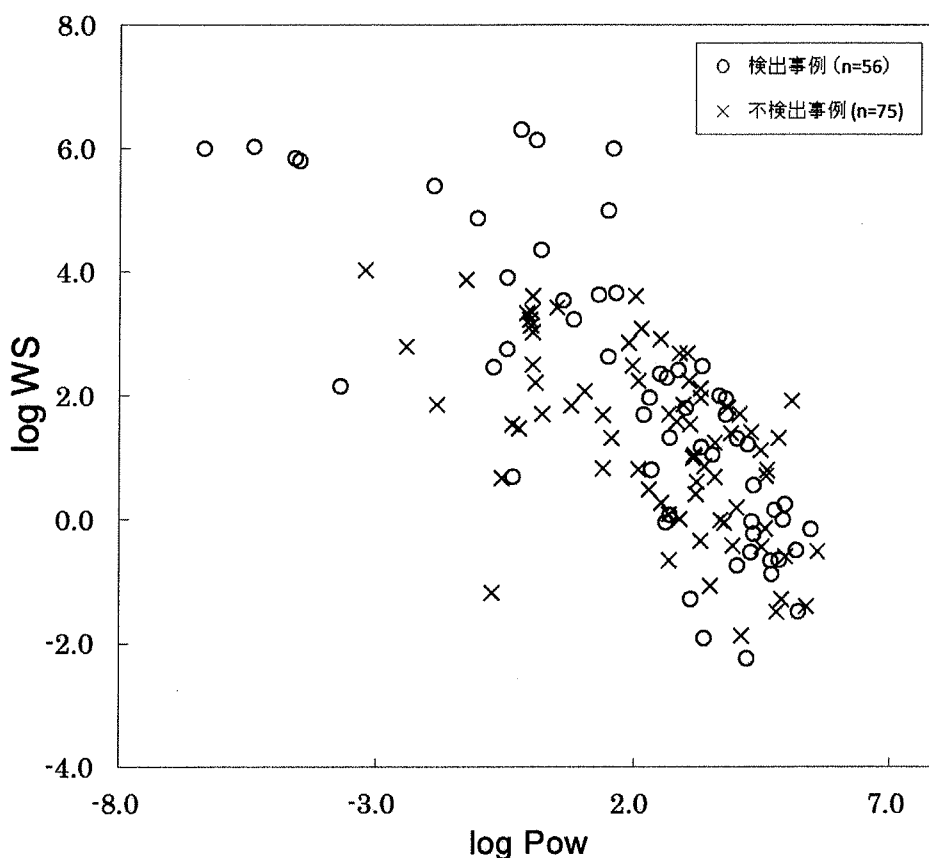


図-2 土壌処理剤での検出事例の有無と水溶解度および分配係数との相関
残留調査事例と水溶解度 (WS, mg/L) および分配係数 (log Pow) との相関

作物の組み合わせで後作物中での農薬の残留性が確認される可能性が示唆された。そして、比較的水溶解度が高い農薬では、後作物残留調査での検出頻度が高くなることが予測された。しかしながら、土壌から作物への農薬の取込みは、農薬の施用条件（濃度、回数、時期・・・）、作物種、栽培条件（施設）土壌および気象条件（気温、降水量・・・）等の広範な試験条件の影響を受けることから、農薬の物理的・化学的特性値による後作物残留性の予測は難しいものと推察された。

4. 土壌残留農薬の根からの吸収移行

昨年10月に、「土壌中に残留する農薬等化学物質の根からの吸収移行」をテーマとしたセミナー¹¹⁾と、「土壌残留農薬の挙動と農作物および周辺環境への影響」をテーマとしたシンポジウム¹²⁾が相次いで開催され、後作物残留に関連した話題の社会的な関心の高まりが伺われた。これらの講演会における神戸大学の乾秀之氏の講演「残留性有機汚染物質の植物による吸収および蓄積機構の解明」¹¹⁾や、農業環境技術研究所の大谷卓氏の講演「POPs農薬の土壌残留メカニズムと作物吸収」¹²⁾では、残留性有機汚染物質（POPs）の吸収・蓄積メカニズムの解明事例が紹介され、ファイトレメディエーション法の開発やPOPsの吸収抑制技術の開発に及ぶ詳細な科学的な知見が紹介された。

また、日本植物防疫協会の藤田俊一氏の講演「土壌中残留農薬の後作物移行に関する実態」¹¹⁾では、多くの後作物残留調査事例に基づき、後作物へ移行し易い農薬として、比較的水溶性が高く後作物に取込まれ易い農薬や、土壌中での半減期が比較的に長く土壌中から継続的に後作物に取込まれ易い農薬があることが紹介された。

弊所での後作物における調査事例においても、藤田らの報告と同様の傾向が確認されており、後作物に吸収され易い農薬を予測することも容易な印象を受けるかも知れない。しかしながら、土壌中での半減期が比較的に長く土壌中から継続的に後作物に取込まれ易い農薬の多くは非極性の農薬であり、他方の後作物に取込まれ易い農薬である比較的水溶性が高い農薬であり、この相反する農薬の特性の兼ね合いを的確に予測することは容易ではない。

前述の他にも後作物に関連した土壌残留農薬の根からの吸収移行に関する報告事例は多く、個々の事例については科学的なメカニズムの解明も進んできている。しかしながら、広範な物理的・化学的性質を有する多数の農薬について、多種多様な農作物における後作物の残留性を予測するには、さらに多くの科学的な知見の集積が必要と考えられる。

5. まとめ

後作物残留試験の動向におけるキーポイントは、OECD試験指針504に準じた短周期（7～30日間）での後作物残留試験への対応と考えられる。施設内での短い周期での連作で生産性を高めている我が国の近郊農業において、前作に使用した農薬の後作物への残留に対する懸念を排除するためには、短周期での後作物残留試験による影響評価の導入は必要なものと考えられる。しかしながら、このワーストケースを想定した短周期での後作物残留試験の安易な導入には、多くの課題が存在する。具体的には、ワーストケースを想定した短周期での後作物残留試験では、非常に多くの農薬と作物の組み合わせで残留性を示唆する調査結果が得られる可能性が高く、残留基準値のポジティブリスト制度を採

用している我が国においては、一律基準に対する多くの見直しが必要となることも想定しなければならない。また、農薬登録における安全性評価データの増大は、使用可能な農薬の減少を招くことから、生産量の少ない農作物に使用可能な登録農薬が不足するマイナー作物問題が拡大し、農作物の栽培に必要な不可欠な農薬の確保が困難となる可能性も想定しなければならない。

ワーストケースを想定した短周期での後作物残留試験の導入の影響を小さくする方策としては、農薬の物理的・化学的特性値等により後作物での残留性を予測し、実際に後作物での残留性調査が必要な農薬に限定してデータを要求することが考えられる。しかしながら、土壌から作物への農薬の取込みは、農薬、作物種、栽培および気象条件などの広範な要因の影響を受けることから、農薬の物理的・化学的特性値による後作物残留性の的確な予測には、さらなる科学的な知見の集積を要すると考えられる。仮に、JMPRでの評価事例のように後作物残留に配慮した残留基準値を設定して行く場合には、農作物をグループ化して設定する方策なども検討する必要があると考えられる。その他、前作での農薬使用後の後作物の植付禁止期間を設定などの方策も考えられるが、そのためには栽培周期の後作物残留への影響に関する科学的な知見の集積が必要となると考えられる。

本稿では、後作物残留問題の課題であるワーストケースを想定した事例を中心に解説したため、ネガティブな論調に終始してきた感がある。しかしながら、冒頭で述べたとおり、近年では多方面での農薬の安全使用に対する尽力の成果として、国産農産物への消費者の安心感が定着してきている。このような状況下で、後作物残留が疑われる事例報告は極少数であることから、

複数の要因が重なりあった場合に後作物残留問題は生ずる可能性があるものと考えられる。従って、生産者に対する農薬の安全使用における啓蒙活動として、後作物への残留農薬問題への関心を高めていくことで、後作物残留が疑われる問題事例をさらに減少させていくことが可能と考えられる。具体的には、短周期での連作時には前作での使用農薬についても配慮する必要があること、隣接した圃場に作物が無い状態であっても農薬散布のドリフトにより残留農薬問題が派生する可能性もあること、マルチ農法で農薬を植穴処理した場合に同一の植穴での連作は後作物残留のリスクが高いことなどを周知していくことが大切であろう。そのためには、生産者、行政、農薬メーカー、研究者などの各方面の関係者の連携と協力が重要と思われる。

[謝辞]

本報で紹介した一部の調査事例は、農林水産省の「平成22年度の農薬的資材安全性評価情報整備事業」の一環として実施されました。なお、本報告内容に関しては、著者の責任において取りまとめたものであり、関係機関等の見解を示すものではありません。

[参考資料]

- 1) 厚生労働省告示第497号, 平成17年11月29日.
- 2) The Organization for Economic Co-operation and Development. Residues in Rotational Crops. OECD Test Guideline No. 504, Paris, France, 2007.
- 3) 環境省告示第80号, 平成20年10月22日.
- 4) 農林水産省農産園芸局長通知 12農産第8147号, 平成12年11月24日 (最終改正平成23年4月1日, 22消安第10015号).

- 5) The Organization for Economic Co-operation and Development. Metabolism in Rotational Crops. OECD Test Guideline No. 502, Paris, France, 2007.
- 6) Report of the Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues in Food and the Environment and the WHO Core Assessment Group on Pesticide Residues Rome, Italy, 9-18 September 2008: FAO PLANT PRODUCTION AND PROTECTION PAPER 193.
- 7) Report of the Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues in Food and the Environment and the WHO Core Assessment Group on Pesticide Residues Geneva, Switzerland, 16-25 September 2009: FAO PLANT PRODUCTION AND PROTECTION PAPER 196.
- 8) Hashimoto, Y.: Reduction of dieldrin concentration in cucumber fruits using Cucurbita rootstocks and activated carbon. *J. Pestic. Sci.* 32, 229-234 (2007).
- 9) Otani T and Seike N. Rootstock control of fruit dieldrin concentration in grafted cucumber (*Cucumis sativus*). *J. Pestic. Sci.* 32, 235-242 (2007).
- 10) 食品安全委員会, <http://www.fsc.go.jp/fscis/evaluationDocument/list?itemCategory=001/> 2011年2月18日閲覧.
- 11) 第11回IETセミナー資料集, 財団法人残留農薬研究所, 平成22年10月15日.
- 12) 農薬環境科学研究第18号, 第28回農薬環境科学研究会シンポジウム講演集, 日本農薬学会, 平成22年10月28日.

雑草・病害・害虫の写真 15,000点と解説を 無料公開

病害虫・雑草の情報基地として
インターネットで見られます。
ご利用下さい。



Please access
boujo.net

<http://www.boujo.net/>

病害虫・雑草の情報基地

検索



電子ブックで公開

日本植物病害大事典

農業分野で重要な植物病害を写真と解説で約 6,200 種収録した最大の図書を完全公開。(1,248 ページ)

日本農業害虫大事典

農作物、花卉、庭木、貯蔵植物性食品を含む、害虫 1,800 種を専門家により、写真と解説で紹介した大事典を完全公開。(1,203 ページ)

ミニ雑草図鑑

水田・水路・湿地から畑地・果樹園・非農耕地に発生する 483 余種の雑草を幼植物から成植物まで生育段階の姿で掲載。(192 ページ)

全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東 1-26-6
<http://www.zennokyo.co.jp>