

ダイコンにおけるパーティシリウム黒点病症状等の 障害根の非破壊計測法

北海道立総合研究機構中央農業試験場 こみやま 小宮山 せい 誠 いち 一

はじめに

ダイコンの根部には、しばしば、パーティシリウム黒点病による維管束黒変症状、黒斑細菌病による黒心症、ホウ素欠乏による赤心症等の内部障害が生じる。これらの障害は、根部の外観のみでは判別しにくい場合があるため、選果ラインでの除去が不完全となり、出荷物に混入してクレームを生ずる事例がある。このため、通常、選果場受け入れ時に大型コンテナ1台ごとに一定本数を抜き取り、切断検査を実施し、合格したロットのみを受け入れ、基準に満たないロットはすべてコンテナごと廃棄処分されている(図-1)。しかし、全量検査でないことから、ロット内の障害程度がばらつく場合、障害根の混入が発生することがある。他方、抜き取り検査で不合格となり、廃棄処分されるロットにも流通可能なダイコンが含まれ、生産物の損失につながる。その対策としては、内部障害が検出できる非破壊計測装置を選果ラインに組み込み、ダイコン1本1本について全量検査を行うのが有効と考えられる。

これまで、青果物の光学的手法による内部障害の非破壊計測については、ジャガイモの内部障害(澤山ら, 2001)、メロンの水浸状果(伊藤, 2007)、パイナップルの熟度と内部罹病果(大森, 2003)、ナツダイダイのス上がり果(鈴木・石田, 1979)、ナシのみつ症(猪俣, 1989)、リンゴの密入り果(Tsuchikawa et al., 2002)、褐変果肉果(Clark et al., 2003)等の報告がある。

ダイコンの場合、選果施設で受け入れられたものは、水洗後コンベア上で人手および外観選別機により、曲がり、分岐根、表皮の傷等の外観および規格により選別されている。しかし、内部障害については外観による判別が困難なため、ライン上での全量選別技術は導入されていない。本稿では、パーティシリウム黒点病症状を中心に、ダイコンの障害根を光学的手法を用いて非破壊計測・選別する技術の事例について概説する。

Nondestructive Determination of the Symptom of *Verticillium* Black Spot and the Other Disorders of Roots in Japanese Radish.
By Seiichi KOMIYAMA

(キーワード: ダイコン, パーティシリウム黒点病, 障害根, 非破壊計測, 透過光, PLS 回帰分析)

I ダイコンのパーティシリウム黒点病症状の 非破壊計測

ダイコンの難防除病害であるパーティシリウム黒点病は、*Verticillium dahliae* (北沢・鈴木, 1980) および *V. albo-atrum* (角野ら, 1997) の感染により発生し、根部には維管束の黒変症状が現れる(口絵①)。同病害について、生産現場で適用可能な防除技術が開発されてきたが(角野ら, 2001a; 2001b; 小松ら, 2001a; 2001b)、防除が困難な土壌病害であることから、現在でも各産地で発生が見られる。また、同一圃場内でも症状の発現状況が均一でないことに加え、外観による症状の判別が困難であるため、しばしば出荷物に混入してクレームを生ずる。小宮山ら(2010)は、以下のとおりダイコンパーティシリウム黒点病症状を選果ライン上で連続的に非破壊計測・選別する方法を検討した。

1 非破壊計測装置の開発

装置の開発には可視・近赤外分光分析法を適用した。その測定原理は、対象物にハロゲンランプの光をあて、透過した光を波長毎に分光し、CCDセンサーで光強度を測定することにより得られるスペクトルが根内部に発生した症状の種類および強度の違いにより変化することを利用したものである。

装置は、試料搬送用コンベア1系統、選別用コンベア2系統、センサーボックス(光源と受光部)および計

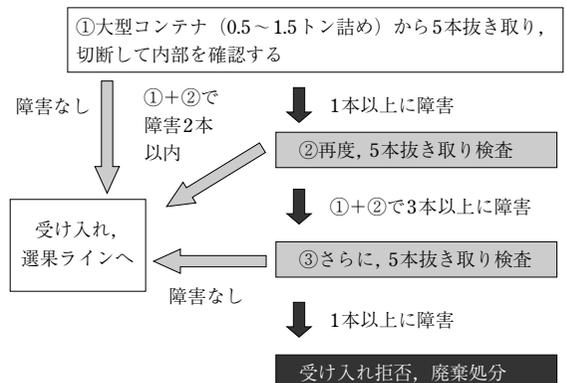


図-1 ダイコン選果場における受け入れ時の内部障害検査例

測・制御用コンピュータで構成される（口絵②，図-2）。試料搬送用コンベアは，V字型バケットを23 cm ピッチで連結した構造であり，計測時には，このV字バケットの窪みにダイコンを進行方向に対して横向き，すなわち，ダイコンの長軸方向とコンベア進行方向が直交するように置く。コンベアは毎分11 mで稼働し，ダイコンはセンサーによる測定の結果，その障害の有無により選別用コンベア2系統のいずれかに移動する。光源は，50 W ハロゲンランプ2灯で，外部光を遮断したセンサーボックス内の上部に装着した。受光部は，コンベア下部のダイコン下面の中央部から透過光を受光できる位置に設置した。分光器は，受光部から光ファイバーを経由した光をスリット通過させ，グレーティングにより分光した後，CCDで受光して光強度を計測する構造とした。ダイコンの透過光スペクトル測定は，コンベア上で連続的に試料を搬送しながら，可視および近赤外領域（測定波長範囲450～1,000 nm）で計測した。

2 検量線の作成とその評価

透過光スペクトルから未知の試料の障害程度を計測するためには，まず検量線（式）を作成し，その後作成した検量線の精度を評価する必要がある。そのための試料は，北海道内で収穫された数品種のダイコンで，選果場においてパーティシリウム黒点病症状が確認された複数のロットから採取したもの，のべ425点を供試した。試料は，検量線作成用と検量線評価用にほぼ同数となるよ

うに2群に分けた。試料は計測に先立ち，通常の選果工程と同様に，茎葉を長さ10 cmに切り揃え，根部を水洗した。このように調製したダイコンをコンベアで搬送して，透過光スペクトルを測定し，その後ダイコンを切断して発病程度を目視により指数化した。指数は，無症状（0），維管束の黒点がわずかで切断面の半周未満に発現（1），維管束の黒点が半周以上に発現（2），維管束の黒点が全周に明確に発現（3）の4段階とした。検量線作成用試料を用いて透過光スペクトルを2次微分したものと発病指数からPLS回帰分析により検量線を作成した。その後，他群を評価用として，その2次微分スペクトルから発病指数の推定値を上記の検量線から算出し，相関係数（ R ）および予測標準誤差（SEP，推定値と目視による評点の残差の標準偏差）から計測精度を評価した。

その結果，2008年および2009年の検量線作成用試料において，相関係数（ R ）はそれぞれ0.979および0.941，検量線標準誤差（SEC）はそれぞれ0.211および0.329であった。この検量線を用いて，評価用試料の2次微分スペクトルから発病指数の推定値を算出した結果，2008年および2009年において，それぞれ R は0.958および0.880（0.1%水準で有意差あり），予測標準誤差（SEP）は0.299および0.472であった（図-3）。したがって，本法により各段階の発病指数を精度よく計測することが可能と判断された。

本センサーは2系統の選果ライン振り分け機能とリンクしており，出荷ラインと除去ラインへの振り分け基準は，任意の計測値（閾値）で設定できる。例えば，2008年の評価用試料群を対象に，「推定値1」を閾値として症状の有無を判定すると，発病指数0（無症状）の試料は100%「症状なし」，発病指数1以上の試料は91%，発病指数2以上の試料は100%が「症状あり」と判定できる（図-3）。また，発病指数0の試料のうち，推定値が最高値を示した試料の「推定値0.72」に閾値を設定した場合，発病指数1以上の試料は98%が「症状あり」と判定できる。一方，2009年の評価用試料群を対象に，「推定値1」を閾値として症状の有無を判定すると，発病指数0（無症状）の試料は100%「症状なし」，発病指数1以上の試料は96%，発病指数2以上の試料は100%が「症状あり」と判定できる。

発病指数の計測にあたって，2次微分スペクトルのどの波長の吸光度が推定値と相関が高いかを検討した。その結果，最も正の相関が高かった波長帯は580～610 nm付近で，最も負の相関が高かった波長帯は550～560 nm付近であり，いずれも可視光域であった。本症状が肉眼で観察可能な維管束の黒変であることから，

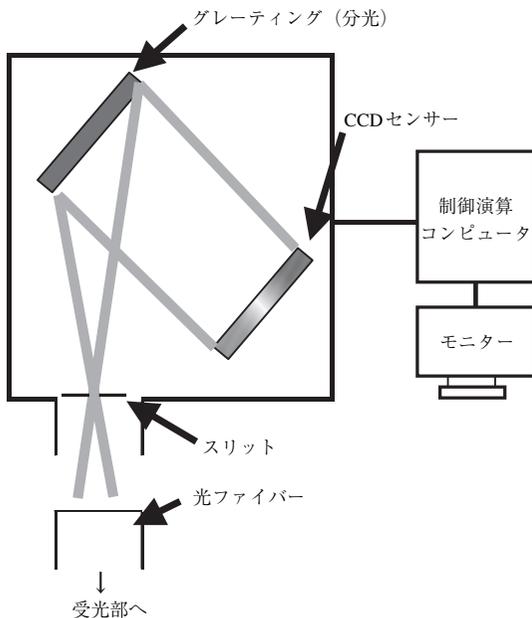


図-2 ダイコン内部障害計測・選別機センサーの模式図

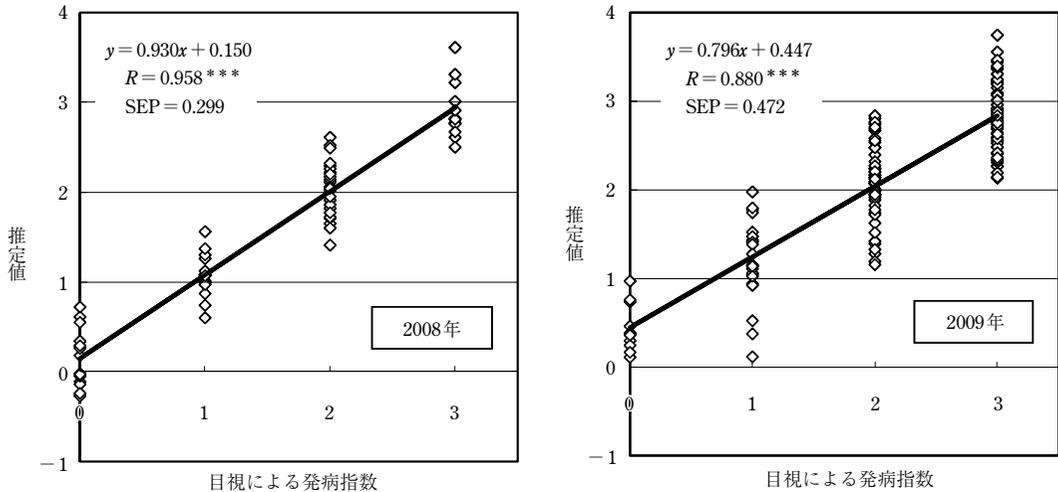


図-3 検量線評価用試料の目視による発病指数とセンサーによる発病指数推定値との関係
***: $P < 0.001$.

表-1 品温が光センサーによる発病指数の推定精度に及ぼす影響

品温	相関係数 R	標準誤差 SEP	供試試料 点数	実測値		推定値	
				平均値	平均値	最小値	最大値
常温 (20℃)	0.877	0.481	52	1.65	1.72	0.11	3.22
低温 (5℃)	0.917	0.410			2.00	-0.12	4.18

可視光域の吸収と相関が高くなったと推定される。

ダイコンが収穫され、選果場に運搬され、洗浄後、選果までの間、外気や水洗等の各種温度変化にさらされることが想定される。このため、試料の品温が光センサーによる測定精度に及ぼす影響を検討した(表-1)。同一の試料群 52 点について、常温 (20℃) でスペクトル測定した後、低温庫で一晩放置して品温を低温 (5℃) にし、再度スペクトル測定し、実測値を測定した。その結果、低温条件の場合においても、常温に比べて測定精度、すなわち相関係数および標準誤差ともに、低下することはなかった。したがって、5 ~ 20℃ の範囲では、本法における測定精度は問題になることはないと考えられた。

II ダイコンの黒斑細菌病症状の非破壊計測

黒斑細菌病による根中心部の黒心症は、*Pseudomonas syringae* pv. *maculicola* の感染に起因する(堀之内ら, 2009)。カスガマイシン・銅水和剤による防除効果が認められているが、多発生時の発病抑制効果は不十分であった。また、パーティシリウム黒点病と同様に、根部の外観からは判別できない場合があり、高品質なダイコン

生産・出荷の観点から大きな問題となっている。

中野 (2007) は、ダイコンにランプの光を照射し、透過した光を近赤外分光器により測定・解析することにより、障害根の非破壊計測法を開発した。すなわち、波長 500 ~ 820 nm における特定波長間の吸光度の比 (バンド比) をあらかじめ設定した閾値と比較して、内部障害の有無を判定した。黒斑細菌病症状のないダイコンでは症状のあるダイコンに比べて 650 ~ 710 nm の光強度が高く、710 ~ 730 nm のピーク低下が著しいことが判明した。この技術において、黒斑細菌病ダイコンの症状の有無を計測したところ、総合判別率は 86.7 ~ 97.1% と高い判別率を示した。

III ダイコンの赤心症の非破壊計測

赤心症は、根内部の中心部が赤褐色に変色する症状を呈し、ホウ素欠乏(門野ら, 1961; 林・石居, 1968)および生育後半の高気温・高地温(川城・武田, 1986; 川合ら, 1992)が原因とされる。赤心症の対策として、ホウ素施用の効果(西田・下野, 1989)および寒冷しゃ被覆での地温上昇抑制による効果(川合ら, 1992)が示

されている。これら栽培上の対策と、赤心症発生の少ない品種の導入に伴い、その発生は軽減された。しかしながら、高温年においては依然として赤心症の発生が認められる。

谷本ら（2003）は、コンベア上でダイコンを搬送しながら、連続的に赤心および黒心症状のあるダイコンを非破壊計測する技術を開発した。すなわち、ダイコンにストロボ光を照射し、透過した光を画像処理カメラでRGB分析し、波長分布変化を測定することにより障害根の判別を可能にした。実施例では、ダイコン300本中92本の障害根が検出され、切断して実測した結果、長さ2～10cmの症状が認められた。

おわりに

ダイコンの障害根発生を低減させるには、適正な防除や肥培管理および高品質栽培技術の励行が基本となる。しかしながら、環境条件や土壌条件により障害を皆無にすることは難しい。このため、品質に関するクレームのないダイコンの出荷・流通を目指すには、選果段階において品質に問題のあるものを除去する取り組みを併用するのが有効と考えられる。すなわち、上述の技術でダイコンを全量非破壊計測することにより、従来の抜き取り検査に比べて、バーティシリウム黒点病症状などの障害

根の混入を大幅に減らし、さらに廃棄される生産物も最小限にすることができる。これらの非破壊計測・選別技術が活用され、クレームのない高品質なダイコンの流通を通じ、産地評価の向上につながることを期待したい。

引用文献

- 1) CLARK, C. J. et al. (2003) : Postharvest Biol. Technol. 28 : 87 ~ 96.
- 2) 林 雄・石居企救男 (1968) : 農及園 43 : 829 ~ 832.
- 3) 堀之内勇人ら (2009) : 関西病虫研報 51 : 45 ~ 47.
- 4) 猪俣雄司 (1989) : 今月の農業 33 : 94 ~ 97.
- 5) 伊藤秀和 (2007) : 野菜茶研研報 6 : 83 ~ 115.
- 6) 門野行男ら (1961) : 兵庫農試研報 31 : 153 ~ 158.
- 7) 川合貴雄ら (1992) : 園学雑 61 : 339 ~ 346.
- 8) 川城英夫・武田英之 (1986) : 園学要旨 昭61春 : 210 ~ 211.
- 9) 北沢健治・鈴木孝仁 (1980) : 日植病報 46 : 271 ~ 273.
- 10) 小松 勉ら (2001 a) : 北日本病虫研報 52 : 53 ~ 55.
- 11) ———ら (2001 b) : 同上 52 : 56 ~ 58.
- 12) 小宮山誠一ら (2010) : 園学研 9 : 229 ~ 233.
- 13) 中野和弘 (2007) : 特許公開 2007-71603.
- 14) 西田忠志・下野勝昭 (1989) : 土肥要旨集 35 : 246.
- 15) 大森定夫 (2003) : 食品の非破壊計測ハンドブック, サイエンスフォーラム, 東京, p. 127 ~ 130.
- 16) 澤山一博ら (2001) : 北海道立工業試験場報告 300 : 155 ~ 158.
- 17) 角野晶大ら (1997) : 日植病報 63 (講演要旨) : 203.
- 18) ———ら (2001 a) : 北日本病虫研報 52 : 49 ~ 52.
- 19) ———ら (2001 b) : 同上 52 : 45 ~ 48.
- 20) 鈴木晴夫・石田 隆 (1979) : 静岡柑試研報 15 : 23 ~ 28.
- 21) 谷本政男ら (2003) : 特許 3389098.
- 22) TSUCHIKAWA, S. et al. (2002) : J. Amer. Soc. Hort. Sci. 127 : 303 ~ 308.

登録が失効した農薬 (23.6.1 ~ 6.30)

掲載は、種類名、登録番号：商品名（製造者又は輸入者）登録失効年月日。

「殺虫剤」

- **BPMC・MEP乳剤**
12469：三共スミバッサ乳剤75（三井化学アグロ）11/06/30
12473：ホクコースミバッサ乳剤75（北興化学工業）11/06/30
- **ホサロン・DDVP乳剤**
14632：ホクコーランベック乳剤（北興化学工業）11/06/29
- **アセフェート・アレスリンエアゾル**
15770：双商オルトランAスプレー（北興化学工業）11/06/14

「殺虫殺菌剤」

- **シラフルオフェン・テブフェノジド・カスガマイシン・フサライド粉剤**
19258：カスラブミミックジョーカー粉剤DL（北興化学工業）11/06/07
- **エトフェンプロックス・イソプロチオラン乳剤**

19274：フジワントレボン乳剤（日本農薬）11/06/26

「殺菌剤」

- **銅水和剤**
18380：ナガセコサイドDF（デュボン）11/06/11
18382：三共コサイドDF（三井化学アグロ）11/06/11

「除草剤」

- **ターバシル・DCMU水和剤**
19260：デュボンゾーバー（丸和バイオケミカル）11/06/07
- **カフェンストロール・ハロスルフロンメチル水和剤**
20195：サンシールドDF（日産化学工業）11/06/29
- **シアナジン・DCBN・DCMU粒剤**
21515：GF草退治H粒剤（住友化学園芸）11/06/22