

BRAIN

Bio-oriented Technology Research Advancement Institution

平成 23 年 11 月 15 日 (隔月 1 回 15 日発行)
ISSN 1345-5958

TECHNO NEWS

No. 148

15 NOVEMBER, 2011

ブレインテクノニュース

特集 「果樹研究の最前線」



ぼろたん



シャインマスカット



太 秋



はれひめ



あきづき

最近の注目される新品種

果樹研究最前線

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 果樹研究所

長谷川 美典

目 次

特 集

「果樹研究の最前線」

(総説) 果樹研究最前線	1
長谷川美典 ((独) 農業・食品産業技術総合研究機構 果樹研究所)	
カンキツの機能性成分に関する最近の研究	6
小川一紀 ((独) 農業・食品産業技術総合研究機構 果樹研究所 ブドウ・カキ研究領域)	
ナシ萎縮病の原因の特定	13
金子洋平 ¹ ・中村 仁 ² ・塩田あづさ ¹ ・鈴木 健 ¹ ・幸由利香 ¹ (¹ 千葉県農林総合研究センター, ² (独) 農業・食品産業技術総合研究機構 果樹研究所)	
輸送によるイチゴ果実の傷みを大幅に軽減できる包装容器の開発	18
曾根一純 ¹ ・伊東良久 ² (¹ (独) 農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター, ² 株式会社 日本トーカンパッケージ)	
果実の硬度の非接触低侵襲測定器	24
犬塚 博・山川秀敏・大串和弘・水野保則 (静岡大学工学部電気電子工学科)	

地域の先端研究

重イオンビーム照射を利用した吟醸酒用の新しい酵母の開発	29
横堀正敏 ¹ ・阿部知子 ² (¹ 埼玉県産業技術総合センター 北部研究所, ² (独) 理化学研究所 仁科加速器研究センターおよびイノベーション推進センター)	

文献情報

L-carnitine による体外成熟培養中の脂質代謝の亢進は、ブタ卵子の核成熟と卵割率を向上させる	34
Tamas Somfai et al. (<i>Reproduction, Fertility and Development</i> , 23, 912-920, 2011)	
抄訳：下司雅也	
ケシ科自家不和合性の花粉側認識因子Prpsはシロイヌナズナでも機能する	35
B. H. J. de Graaf et al. (<i>Current biology</i> , 22, 154-159, 2011) 抄訳：高田美信	
拮抗的な遺伝子転写産物が新しい生育環境への適応を調節する	36
Bridget L. Baumgartner et al. (<i>Proc. Natl. Acad. Sci. USA</i> , 108(52), 21087-21092, 2011)	
抄訳：渡辺大輔	

表紙の説明

果樹研究としては収益性の高い新品種の開発、省力・低コスト栽培技術、環境に優しい病虫害防除技術、温暖化の影響評価や対策技術、消費拡大に向けた果実機能性の解明、輸出促進に向けた鮮度保持技術の開発などが求められており、これらに対応した研究を農研機構果樹研究所が中心となって行っているところである。本稿では、品種育成、栽培技術、温暖化対応について研究の現状を紹介する。表紙写真は最近の注目される新品種である。

詳細については1頁をご覧ください。

◀ 特集 総説 ▶

果樹研究最前線

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 果樹研究所

長谷川 美典

わが国の果樹産業は担い手の高齢化が進み、果樹農家は60歳以上の経営者が6割を占めるようになっており、栽培面積は近年減少傾向に歯止めがかからない。

しかし、国民の果実消費量はここ十数年間、大きくは変化しておらず、したがって、果実、果実加工品の輸入に依存する割合が増加し、果実自給率は25年前の1985年には77%であったものが、2010年度には38%となっている。

その様な状況の中、2005年度に、農政の見直しが行われ、果実の輸出拡大に力が入れられ、台湾へのリンゴ、ナシ輸出を中心に100億円を越す輸出が行われている。

一方、地球規模の気候温暖化に伴い、果樹の発育不良、着色不良、浮皮などの生理障害が発生し、さらに気象変動が大きくなり、低温、強風雨などによる被害も多発している。

この様な状況の下、果樹研究としては収益性の高い新品種の開発、省力・低コスト栽培技術、環境に優しい病害虫防除技術、温暖化の影響評価や対策技術、消費拡大に向けた果実機能性の解明、輸出促進に向けた鮮度保持技術の開発などが求められている。

本稿では、農研機構果樹研究所（以下、農研機構）が中心となって、これらの問題解決に迅速、適切に対応しようと研究を行っている、品種育成、栽培技術、温暖化対応について研究の現状を紹介する。

1. 消費者ニーズに合致した品種の育成

1) わが国の主要果樹品種を育成

農研機構では、リンゴ「ふじ」、ナシ「幸水」、
「豊水」、カンキツ「清見」、「不知火（デコポン）」など、現在の国内の果樹産業を支えている主要品種を育成してきた。

「ふじ」は1939年に交配し、1962年に命名登録された品種であるが、2001年に生産量が世界一となった。世界のリンゴ生産、約6,000万トンのうち、1,200万トン（21%）が「ふじ」となっている。もっとも、その75%の約900万トンを中国で生産している。一方、国内のリンゴ生産においても、59%が「ふじ」となっており、その優秀性が世界中から評価されていることが分かる。

HASEGAWA Yoshinori

〒305-8605 茨城県つくば市藤本2-1

また、ナシ「幸水」、「豊水」は、それぞれ1959年、1972年に命名登録された品種であるが、現在、両品種を合わせると国内ナシ生産面積の約7割を占めている。

果樹は永年作物で、交配・播種してから着果させるまでに長年を要し、新品種育成までに15～20年の年月がかかる。その間、多くの土地、人、研究費などを要することになる。そのため、民間や県の試験研究機関での品種育成は難しく、農研機構では全国のどの産地でも栽培のできる多くの品種を育成してきた。それには、中長期を見越した樹種ごとの目標を設定する必要がある。特に、熟期の多様性（早生から晩生）、高品質、大玉・大粒、良外観、耐病性、高機能性、省力適性、日持ち性、低低温要求性などが品種育成の重要な目標となっている。このため、豊富で多様な形質をもつ遺伝資源と優良品種・系統の活用や、育種の効率化のため

の優良形質と関連する DNA マーカー利用、統計遺伝学的解析手法などを用いることで達成できている。

2) 近年の注目品種育成

また、最近では、特に消費者ニーズに対応した品質・機能性・貯蔵性などを備えた品種の開発も行ってきた。

近年、育成し将来とも有望な品種には、カンキツでは、「せとか」、「はれひめ」、「津之輝」、「たまみ」、「麗紅」、「ぶちまる」などがあり、リンゴでは、「もりのかがやき」、「さんさ」、「こうたろう」、JM 台木などがある。

ナシでは、「あきづき」、「なつしずく」、「王秋」、「秋麗」など、ブドウでは、「シャインマスカット」、「オリエンタルスター」、「サニールージュ」、「安芸クイーン」、カキでは、「太秋」、「貴秋」、「早秋」、「太天」などがある。

クリでは「ぼろたん」、「美玖里」など、モモでは「あかつき」、「もちづき」、「つきあかり」、「つきかがみ」、ウメでは「露茜」、「翠香」などがある。

特に、図1に示したように、クリ「ぼろたん」はニホンクリでは初めてチュウゴクグリのように渋皮が剥け、大果で良品質な画期的なクリである。カンキツ「はれひめ」は12月に出荷できる、袋が軟らかくそのまま食べられ香りの良いカンキツである。ブドウ「シャインマスカット」は緑色の大粒ブドウでマスカット香があり、果肉がかみ切れて硬く、皮ごと食べられる期待の品種である。ナシ「あきづき」は500g程度になる大果の赤ナシで、食味・外観・日持ち性に優れており、カキ「太秋」は大果で多汁で食味の良い完全甘ガキで、肉質がさくさくして柔らかい特徴が好評である。

2. 省力・低コスト栽培技術

最初に果樹産業の現状について触れたが、今後、TPP（環太平洋戦略的経済連携協定）参加への対応が取りざたされている中、国内果樹産業は高品質果実生産という形で、輸入果実との差別化を行い、今後もこのような対応をしていくのであろう。さらに、今後は、より一層の低コ

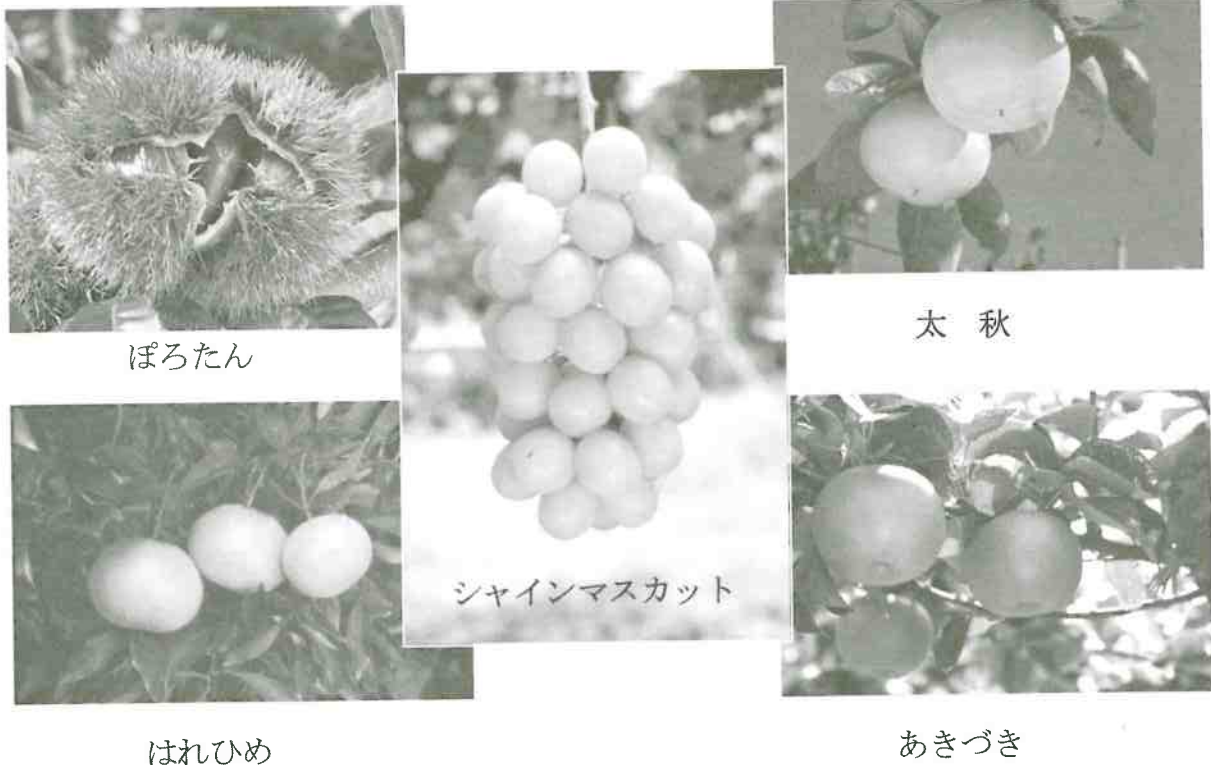


図1 最近の注目される新品种

スト生産が求められている。

省力・低コスト・安定生産技術には、わい性台木、リンゴ単植化栽培、カンキツ隔年交互結実、ブドウ花穂整形、カンキツマルドリ栽培、カラムナータイプリンゴなどの開発・利用技術を作ってきた。

1) わい性台木の開発

例えば、わい性台木利用に関しては、リンゴでは、JM 台木 (JM1, JM2, JM5, JM7, JM8) を育成した。世界で初めて挿し木繁殖性と、わい化性を兼備する台木である。また、耐水性、根部疫病抵抗性が高いなどの優れた性質も有している。

JM 台木のリンゴ栽培面積は過去10年間で急増し、2010年で630haになっている(図2)。苗木の販売本数は2004年～2007年の合計で20万本を超えた。リンゴの主産県ではJM7台の「ふじ」果実が品評会で上位を占めており、穂木となる品種の品質にも好結果を与えている。

さらに、JM 台木を利用して、低樹高整枝法を開発している。3m以下の低樹高にすることによって、収穫、摘果、剪定などの作業時間を約2割削減することができた(図3)。

カンキツでは、ヒリュウ台の利用、さらにカキでもわい性台木の開発を行っている。

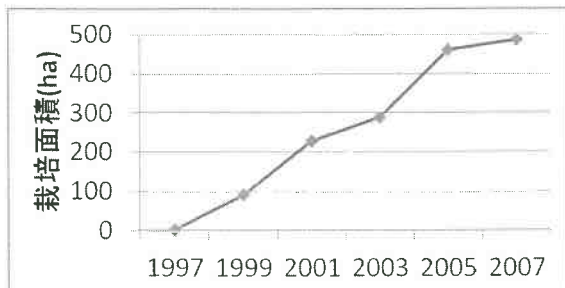


図2 JM台木利用のリンゴ栽培面積の推移

2) リンゴの単植化栽培

リンゴは自分の花粉で実を付けることができないため、単一の品種の園地で良好な結実を確保するためには、他品種の花粉を人工授粉する



図3 JM台木利用の低樹高栽培

ことが不可欠で、多くの労力を必要とする。一方、人工授粉に代わる省力的な結実管理法として、園地への授粉専用品種の導入と訪花昆虫の利用が注目されており、生産者への技術指導の際に役立つ「リンゴ単植化の手引き」を作成し、省力的な結実管理法を開発している。栽培管理の単純化や病害虫防除の効率化など生産コストの低減や収益性の向上が期待できる技術として、生産者の関心が高まっている。

3) ブドウの花穂整形器、花冠取り器

また、ブドウでは、花穂整形器を開発し、市販化している。ブドウの花(花穂)を一定の大きさに切り整える作業は、高品質な果実を生産するために不可欠な作業であり、簡単な操作で短時間に花穂整形ができる新規の道具、花穂整形器を利用すれば、花穂整形時間の約7割削減ができ、大幅な省力効果がある。

また、種なし処理のためジベレリン処理する際に、ジベレリン処理用カップの上部に円形のブラシを付けることによって、ジベレリン処理と同時に花冠取りができる道具が花冠取り器である。これも簡単な装置で、作業が省力化できるので、大いに利用してもらいたい。

4) カンキツのマルドリ栽培

カンキツの高品質果実生産技術として、マルドリ方式と呼ばれる高品質果実栽培法を開発した(図4)。ミカンの果実品質は農家収益と密接

に関連し、しかも品質は夏から秋の雨量に左右され、雨の多い年は品質が低下する。したがって、高品質果実を安定的に生産するために、雨が地中に浸透しないよう地表にマルチを敷き、マルチの下にはドリップ（点滴）かん水チューブを設置して、適度なかん水制御と施肥管理を行える技術を開発し、高品質ミカンを安定的に作る事が可能となった。これを、マルチ + ドリップチューブで、マルドリ方式と呼んでおり、安定的な高品質果実生産技術として、既に全国で約 500ha 以上に普及し、地域ブランド形成に貢献している。

3. 温暖化による果樹栽培への影響対応

1) 迫る温暖化の影響

果樹栽培においては、全ての都道府県で、温暖化の影響あるいは影響らしき現象があることを報告している。一番大きな問題となっているのは、温暖化で花芽が付かなくなってしまうことである。既に九州など温暖地でのナシ栽培に影響が出始めている。

そこまで行かなくても、リンゴやブドウなどで着色不良が問題となっている。ミカンでは浮

皮と言って、皮と実が離れてしまい、貯蔵性や流通性が悪くなり、腐敗や品質低下につながり、問題となっている。

果樹は永年生作物であり、温暖化が進んできたと言って、簡単に品種を更新できないため、農研機構では温暖化による果樹の栽培適地の移動予測を行っている。これらのデータを基本に、早めに対策をとるよう指導している。

2) カンキツグリーンング病の本土侵入阻止

温暖化に関連した重要な問題としては、今まで熱帯・亜熱帯地域におけるカンキツ類の重要病害で、罹病樹はやがて枯死するグリーンング病が、温暖化に伴い北上してきた。わが国では 1988 年に西表島で確認されて以来、病害が北上し、沖縄県から鹿児島県の喜界島まで発生がみられるようになった。

また、媒介昆虫のミカンキジラミは、本病害が未発生地の鹿児島県指宿市まで分布拡大している（図 5）。そのため、ミカンキジラミの生態調査から、生息可能域は最寒月における日最低気温平均が 4.5℃以上で、日最高気温平均が 12.5℃以上であることを解明した。また、グリーンング病細菌の早期診断法や病原細菌を検出

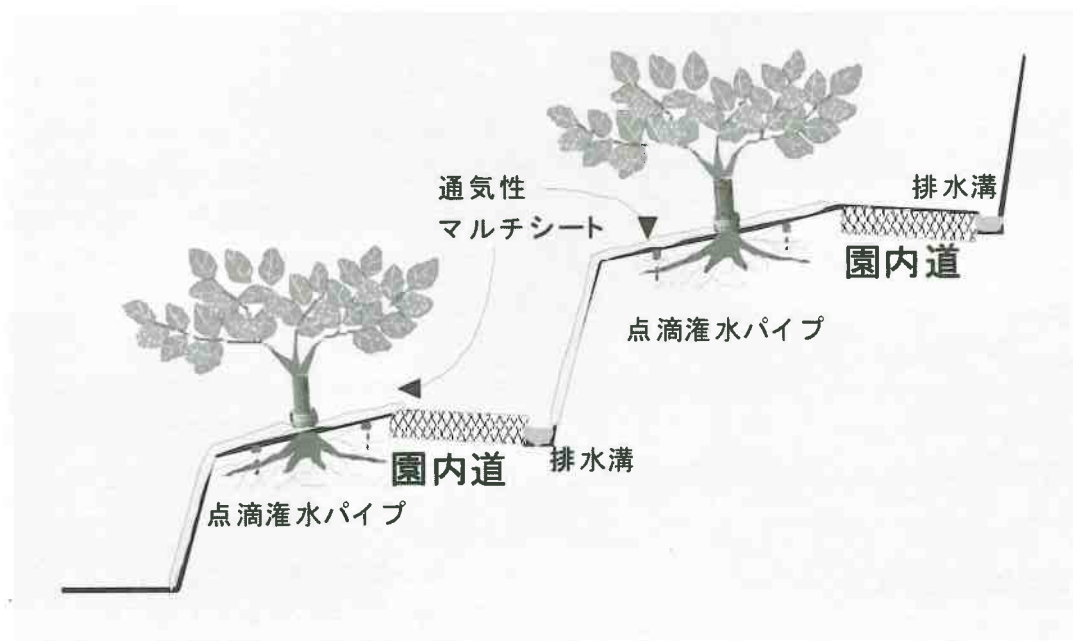


図 4 マルドリ方式によるカンキツの高品質栽培

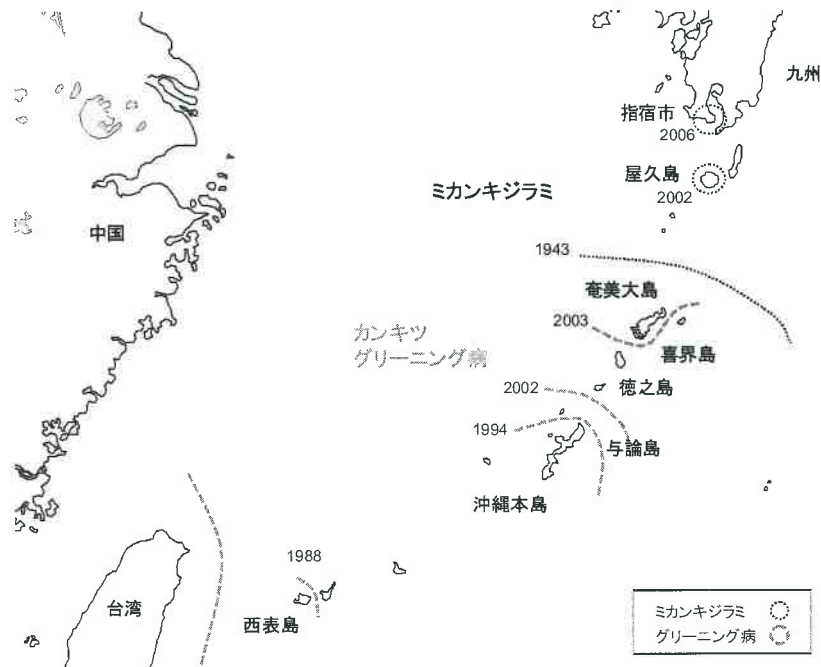


図5 グリーニング病およびミカンキジラミの分布状況

するためのサンプリングに最適な時期・部位を明らかにし、高精度な早期診断法を開発した。

早期診断キットを利用して得られた結果から、幼虫期に病原細菌を獲得させると、極めて媒介能力の高い危険な虫になることや、成虫時に病原細菌を獲得した場合には増殖量が少ないことが明らかとなった。

これらの基礎的な知見や早期検出、適正・適期防除などを駆使して、グリーニング病を阻止することでわが国のカンキツ園地を危険病害から守ることができる。さらに、グリーニング病が国内で発生すると、中国などの既発生国からの生果実の輸入を阻止できなくなり、安価な生果実の輸入が国内カンキツ産業をピンチに陥らせる可能性が非常に高くなる。こういった面からもグリーニング病はしっかり制御しなければならない。

4. おわりに

これからの果樹産業の発展のためには、果樹品種を利用した産業化を推進していく必要がある。また、果実、果樹の食生活での位置づけの効果的なアピールと広報による消費拡大や、生産者だけでなく消費者などにも新品種の特徴の広報を行い、品種開発とともに関連した研究成果を新たな6次産業化、消費拡大に活かす必要もある。果物の持つ機能性の利用法と製品の開発や新たな観点からの育成品種の再評価、付加価値の付く加工技術の開発や加工専用果樹園の開発なども必要である。

生産者から消費者まで、いずれの方々にも喜ばれる研究開発を続けていきたい。

◀ 特集 ▶

カンキツの機能性成分に関する最近の研究

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
果樹研究所 ブドウ・カキ研究領域

小川 一紀

カンキツ類には多様な成分が含まれている。ノビレチン、オーラプテン、 β -クリプトキサンチンはカンキツ類に特徴的で、他の食品からは摂取しにくい成分と考えられる。これらの成分には、発がん抑制効果、抗肥満作用、脂質代謝改善、動脈硬化抑制、骨密度低下抑制など生活習慣病予防作用が期待されている。動物実験の結果、疫学研究など最近の話題を紹介する。

全世界の2010年におけるカンキツ類の生産量は約1億2千万トンに達している。バナナ(調理用バナナを除く)は約1億トン、リンゴは約7千万トンでカンキツ類に次ぐ。熱帯地域を除けば、日本を含め摂取する果物の約三分の一はカンキツ類である。植物性食品に由来する二次代謝成分は、細胞・動物レベルで種々の生理活性が知られており、健康維持において重要な役割を果たすと考えられている。果実に含まれる成分は多様で、天然物化合物事典(ver. 16:1)には、カンキツ類に含まれる成分として509の記載がある。リンゴ、ブドウと比較すると成分の多様さが特徴であり、含有量も高いものが多い(表1)。カンキツ類の成分として特徴的で、他の食品からは摂取しにくい成分と考えられる、ノビレチン、オーラプテン、 β -クリプトキサンチンについて健康に関わる最近の話題を述べる(図1)。

1. ノビレチン

ポリメトキシフラボノイド(PMF)は、フラボンあるいはフラボノールが高度にメトキシル化されたもので、ノビレチン(NOBI)はフラボンに6つのメトキシルが結合している。PMF

OGAWA Kazunori

〒739-2494 広島県東広島市安芸津町三津

を含む植物はいくつか知られているが、食品としてはカンキツ類だけである。カンキツ類にはメトキシル化の程度が異なる多数のPMFが含まれるが、多くの場合NOBIとタンゲレチンが主成分となっている。カンキツ類のすべてに含まれることはなく、ブタン類には含まれない。果皮に含まれる成分で、可食部には含まれていても痕跡量である。ウンシュウミカンやオレンジの果皮に含まれるが、ポンカン、タチバナ、シクワシャー果皮中の含量が特に高い。

NOBIには、多様な機能性が認められている(表2)。まず発がん抑制効果であるが、動物実験では発生部位の異なるがんに対する効果が示されている。がん細胞には、増殖・浸潤・転移という特徴があり、関係する多様な物質を産生する。NOBIは、細胞のがん化に関連するシグナル伝達系の制御、浸潤・転移に関連する細胞外マトリクスや血管新生への関与、がんの増殖・浸潤・転移に深く関わる炎症の制御を通して、発がん抑制効果を示すと考えられる。

骨に対する作用としては、卵巣摘出マウスでのエストロゲン欠乏による骨量低下をNOBIが有意に抑制することが報告されている¹⁾。骨吸収は炎症と関連するが、NOBIはIL-1で誘導される骨芽細胞でのPEG2産生を抑制し、破骨細胞の生成を抑制している。

D-グルコサミンにより実験的肝障害を誘導

表1 果物に含まれる成分の種類と代表的成分

種類	代表的成分		
	カンキツ(509)*	リンゴ(44)	ブドウ(145)
精油	リモネン		
カロテノイド	β -クリプトキサンチン ピオラキサンチン		
クマリン	オーラプテン, DHB		
リモノイド	リモニン, ノミリン		
フラボノイド	ヘスペリジン, ナリンジン, ノビレチン, タンゲレチン	ケルセチン配糖体, フロレチ ン, プロシアニジン, エピカ テキン	アントシアニン
ポリフェノール	クロロゲン酸	クロロゲン酸	レスベラトロール

*括弧内はDictionary of Natural Products ver. 16.1での登録数

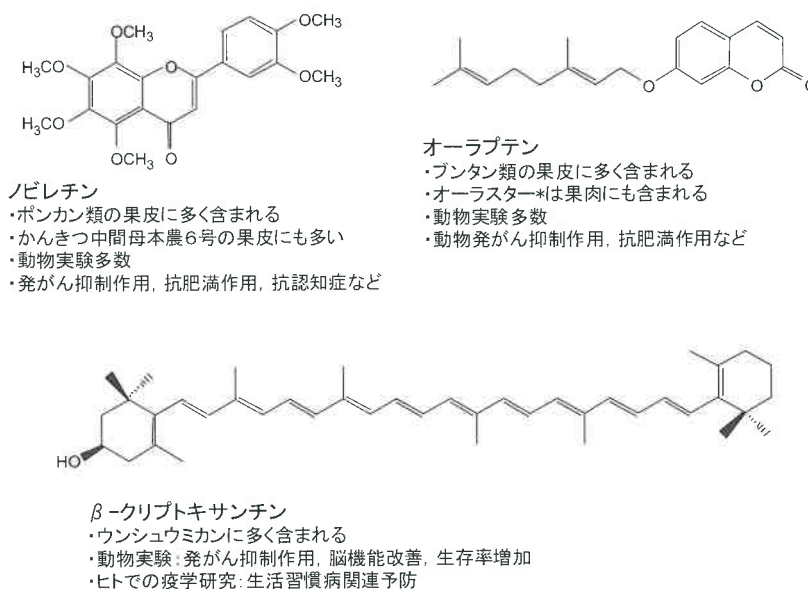


図1 構造式

したラットを用い、経口でシイクワシャー果汁の抽出分画を投与し、ALT値を指標に障害抑制効果を調べている。ヘキササン分画に有意な活性があり、3種のPMFを単離しNOBの活性が最も高いことを示している。TNF- α 、NO産生を抑制することが活性に結びついていると考えられている。なお投与量が300mg/kgと多いが急性毒性は認められていない²⁾。

悪玉コレステロールと呼ばれる低比重リポタンパク (LDL) は、動脈硬化症の原因となる物質である。LDLは受容体を介して、肝臓に取り

込まれ代謝される。LDL受容体欠損マウスでは、脂肪食を与えると脂肪肝、高脂血症、グルコース代謝異常を起こして、アテローム性動脈硬化症を発症する。同マウスでの試験では、脂肪食にNOBを0.3%添加した場合、各種の指標を改善し、最終的には肥満や脂肪組織肥大の抑制、脂質代謝異常、脂肪肝、アテローム性動脈硬化症の予防が認められるという報告がある³⁾。ヒトでの効果は分からないが、少量でもNOB摂取を継続することで疾病予防に効果があるかもしれない。NOB以外のPMF、PMF代謝物の

表2 ノビレチンの機能性

分類	研究例
がん予防	SV40T抗原導入遺伝子を有するラットにおける前立腺がん発症抑制 ヒト乳がんおよび結腸がん細胞のG1期進行抑制 C57B1/6マウスにおける乳腺異型過形成病変抑制(オレンジ果皮) Apc(Min/+)マウスにおける結腸がん進行抑制(オレンジ果皮) AOM誘導によるマウス結腸発がんの抑制 アポトーシス誘導によるマウスにおける抗がん作用 RAW264.7細胞におけるLPS誘導COX-2発現の抑制 血管新生抑制 MMP発現抑制 ノビレチン代謝物に強いMMP-9の生成抑制
動脈硬化	アディポネクチン分泌増加 D-グルコサミンによる実験的肝障害の抑制 3T3-L1脂肪細胞の分化、脂肪分解亢進 コレステロール、トリアシルグリセロール代謝の改善 ホルボールエステルによる単球(TPH-1)の酸化LDLレセプター(LOX-1)mRNA発現の抑制
皮膚関連	メラニン生成誘導、チロシナーゼ活性誘導 チロシナーゼ阻害、B16細胞増殖抑制 UVB照射による表皮肥厚、皮脂腺過形成、皮脂蓄積、角化細胞COX-2発現の抑制
抗炎症作用	NF- κ BのDNA結合活性の阻害 LPS誘導によるNO発生抑制 COX-2の誘導抑制 喘息ラットにおける好酸球による気道炎症に対する拮抗 ウサギ滑膜結合組織のMMP-9/コラゲナーゼB、PGE2の生成、発現の抑制
抗アレルギー	RBL-2H3(ラット好塩基球白血球細胞)からのIgE惹起ヒスタミン、 β ヘキソアミニダーゼ遊離抑制
脳関連	NMDA型受容体アンタゴニストによる学習障害の改善 A β によるグルタミン酸誘導CREBリン酸化抑制に対抗 A β 惹起ADモデルラットの学習障害の予防効果 CRE依存転写、神経突起発生の促進 老化促進マウスでの学習能低下抑制、酸化の抑制、生存率の向上 ノビレチン投与後、マウス脳内に検出される
その他	Caco-2細胞でのP-gpによるタリノロール移行阻害 マウスでの主代謝産物は4'-デメチルノビレチン 抗肥満作用

作用にも興味を持たれる。

近年、NOBの抗認知症作用についていくつかの報告がある。アルツハイマー病(AD)ではA β の重合・蓄積が発症と関連すると考えられるが、海馬にA β を顕著に重合・蓄積しADと同じような空間認知障害などの病態を示すトランスジェニックマウスでの実験で、NOB投与(10mg/kg)が症状の改善効果を示し、海馬でのA β の沈着を抑制することが示されている⁴⁾。抗認知症へのNOB適用を考える上で、血液脳関門を通過したNOBの脳への移行が必要と考えられる。マウスに経口あるいは腹腔内投与でNOBを投与(50mg/kg)し、脳と血清中の濃度をHPLC法で測定している。投与後すぐに、血清と脳中に検出され、脳中の最大濃度は経口で3.6mg/kg、腹腔内投与22mg/kgである。この濃度は、海馬神経細胞培養系で、cAMP/PKA/ERK/CREBシグナル伝達を促進する濃度と同じであり、十分な濃度で脳に到達

している⁵⁾。マウスでの実験であるが、強制水泳試験や尾懸垂試験によるNOBの抗うつ作用の評価では、うつ行動の改善効果が認められている⁶⁾。

NOBの効果は多様であるが、脱メチル後抱合が起こるため代謝が遅く体内に残ること、組織に分布することが一つの要因になっていると考えられる^{7, 8)}。

冒頭で述べた様に、NOBは果肉には含まれないため、その摂取には果皮を利用したマーマレードのような加工品か、果皮成分を取り込んだ果汁などが必要となる。シクワシャーは、沖縄特産で一定の生産量があり、果実が小さいため果皮ごと搾汁することが前提となるなど、NOBを含む加工品として有用である。果汁の風味とNOB含量については、風味に最も優れるのは、遠心搾汁で、以下ベルトプレス、スクリュープレスの順で、一方果汁中のPMF含量はこの逆であった⁹⁾。未熟果(11月収穫)の

遠心搾汁では、NOB 含量は 20mg/100g 前後である。

2. オーラプテン

カンキツ類果皮には、種々の酸化状態のメバロン酸由来の側鎖や環状構造を有するクマリンが見いだされている。AUR はクマリン骨格の C-7 位にゲラニルオキシ基を持つ単純なクマリンである。カンキツ類の他、いくつかのミカン目に属する植物に見いだされている。AUR は、ハッサク搾汁時に分離するオイルのクマリン類の 70%以上を占め、カンキツ類の主要なクマリンといえる。AUR の機能性に関しては、発がん抑制に関する研究が多くなされている(表3)。抗炎症作用を有する他、解毒酵素である GST 活性を活性化させることが報告されている¹⁰⁾。また、炎症性結腸がんや乳がん予防に関しては、アシル CoA-コレステロールアシル基転移酵素やエストロゲン受容体への結合による作用も考えられている¹¹⁾。

OLETF ラット(過食、肥満、インスリン分泌不全などで 2 型糖尿病を発症する)を用いた試験で、AUR 摂取で体重の抑制、肝臓のトリ

グリセリドレベルの低下が容量依存的に見られる¹²⁾。脂肪分解を促進するためと考えられている。

カンキツ類の AUR 分布をみると、田中の分類のザボン区(グレープフルーツ、ハッサクなど)、ダイダイ区の一部(ナツダイダイなど)、ユズ区(ユズ、カボスなど)に含まれている。ただし、果皮には多く含まれるものの、多くの場合果肉含量は数十分の 1 程度である。カラタチは AUR 含量が極めて高いうえ、果肉含量(0.65g/100gDW)が果皮(0.13g/100gDW)より高いので、摂取源として期待できるが、残念ながらカラタチは不快臭と苦みにより全く食用にはならない。カラタチとミカン属は近縁で、交雑が可能である。そこで、交雑育種により可食で果肉に AUR を含む品種の開発が進められ、高 AUR 含量(果皮、果肉ともに 0.1g/100gDW)の品種「オーラスター」が育成されている。レモンのように酸味を特徴とするため、加工用途として適している。

3. α-クリプトキサンチン

これまで、特定の果実と健康との関係を調べ

表3 オーラオプテンの機能性

分類	研究例
がん予防	L1210細胞に対する増殖抑制 C57BL/KsJ-db/dbマウスのAOM惹起結腸前がん状態病変の抑制 SV40T抗原導入遺伝子を有するラットにおける前立腺がん発症抑制 急性白血病Jurkat T細胞に対するアポトーシス活性は小胞体カスパーゼ-8に関連 ICRマウスのDSS惹起潰瘍性大腸炎において、MMP活性を抑制 CD-1(ICR)マウスの大腸腺腫の発生抑制 ERK1/2介在の4EBP1・eIF4Bリン酸化を中断させproMMP-7蛋白合成の翻訳段階を標的 RAW264.7細胞におけるLPS誘導COX-2発現の抑制 F344ラットにおけるDEN誘導肝臓がんをイニシエーションの前・後投与双方で抑制 フォルボール、エンドキシン誘導によるマウスマクロファージRAW264.7の炎症反応抑制 マウス肝臓においてP-450酵素活性を誘導せずGST活性を誘導 F344ラットにおいてNMBA惹起による食道発がん抑制 F344ラットにおいてAOM惹起による大腸発がん抑制とGSTとQRの活性亢進 F344ラットにおいて4-NQO惹起による口腔発がん抑制 F344ラットにおいてAOM惹起による結腸の異型腺窩巢形成抑制 ICRマウスにおいてDBA、TPAによる皮膚発がん抑制 BALB/cマウスにおいてマクロファージ活性とリンパ球のサイトカイン生成亢進
血液	トロンボキサンA2生成抑制による抗血小板作用 血小板凝集反応抑制
その他	抗菌活性 リーシュマニアの成長阻害 AChE阻害作用

た栄養疫学研究はほとんどない。ウンシュウミカン摂取と血清β-クリプトキサンチン（CRY）関係に着目し、ウンシュウミカン産地である静岡県浜松市の三ヶ日地域で疫学調査（三ヶ日町研究）が行われている。これまでに得られた横断解析の結果をまとめると（表4）、CRYの摂取は種々の生活習慣病の予防に結びつくことが示唆される。カロテノイド種によって効果が異なるが、その理由としてカロテノイド種による組織・臓器局在性の違い、抗酸化作用、抗酸化作用以外の機序などが考えられる。喫煙や飲酒で酸化ストレスが高まると考えられ、喫煙・非喫煙者別に、飲酒レベルで分割したところ、飲酒量が増えると血中カロテノイド濃度が減少し、この減少は喫煙習慣があると顕著であるという解析結果が出ている。喫煙と飲酒は相乗的に作用し血中カロテノイド濃度を減少させる可能性が示唆される¹³⁾。カロテノイド摂取は結腸・直腸がんのリスクを下げるが、喫煙経験者ではその効果が減弱することが疫学研究で示されている¹⁴⁾。CRYは閉経女性の骨密度低下のリスクを下げる事が示されている。抗酸化ビタミン類とカロテノイドの摂取パターンを因子分析したところ、カロテンタイプ、レチノールタイプ、CRYタイプに分類された¹⁵⁾。CRYタイプはビタミンC（VC）の寄与も大きく、骨密度低値出現のリスクが低いのはCRYタイプであった。またCRYとVCの摂取量で解析するとCRYと

VCの両方を高摂取するグループのみ骨密度が高いことが分かった（図2）。食品の組合せが重要であることを示している。

酸化ストレスは老化に伴う諸症状の原因の一つである。老化促進マウス（SAMP10）は、加齢に伴い脳機能に障害が現れて記憶障害が起きるが、CRYそのもの、CRY濃度を同含量に調整したウンシュウミカン果汁のいずれの摂取でも学習機能が改善し、生存率も向上することが報告されている¹⁶⁾。脳中のDNA酸化生成物の8-oxodGの生成量も減少しており、また脳中にCRYが検出されており濃度は容量依存的であることから抗酸化活性が関係していると思わ

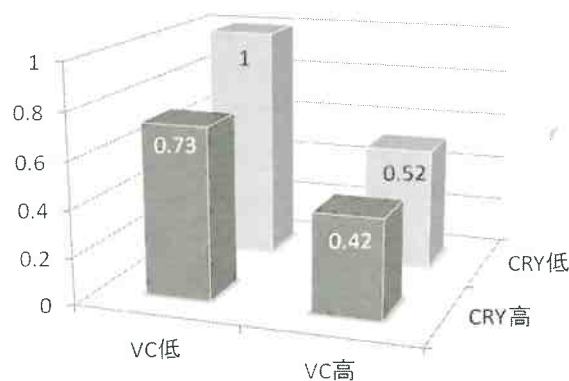


図2 ビタミンC（VC）とβ-クリプトキサンチン（CRY）の摂取量別の骨密度低値出現の多変量調整オッズ比

表4 三ヶ日町における栄養疫学研究のまとめ
- 血清カロテノイドと生活習慣病に関連するリスク -

カロテノイド	肝機能		インスリン抵抗性	動脈硬化	骨密度	メタボリックシンドローム（喫煙者）
	γ-GTP値	ALT値				
炭化水素系						
リコペン	↓↓		↓			
α-カロテン	↓↓		↓	↓↓		↓
β-カロテン	↓↓↓	↓↓	↓↓	↓↓↓	↓	↓↓↓
キサントフィル系						
β-クリプトキサンチン	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	↓↓↓	↓↓
ルテイン						
ゼアキサンチン			↓			

リスク低下: (大きい) ↓ ↓ ↓ > ↓ ↓ > ↓ (小さい)

れる。

CRY は上述のように多様な機能性が示唆される。しかし、これを動物実験により確認することは難しい。市販される CRY の価格が極めて高額で供給量も限られているため、動物実験に必要なグラム単位の CRY を確保する事ができないためである。ウンシュウミカンにはオレンジより高濃度 (1-3mg/100gFW) で CRY を含む果物であるが、フラボノイドなどに比べ含量は遥かに低い。ウンシュウミカン生産量の約 1 割は果汁加工仕向けられる。搾汁工程では CRY を吸着したパルプが加工副産物として発生する。これを CRY の抽出原料として有効利用する試みは既にあり、分取用の大型カラムクロマトグラフ装置を用いた方法が開発されていた。しかしながら、装置のランニングコストや大量に分離溶媒を消費する事から、価格はまだ高いものであった。大掛かりなクロマトグラフ装置を利用せずに、パルプ抽出物から溶媒分画だけで高濃度 CRY 組成物を製造し、加水分解後再結晶で CRY を得る方法が開発されている¹⁷⁾。

4. 栽培・貯蔵条件と機能性成分

植物に含まれる成分は、天然物であるため含有量の変動する。個体差もあるが気象条件などの外的要因も考えられる。また、栽培条件で成分含量が変わることも考えられる。タイで行われた研究では、慣行の農薬栽培 (AB)、GAP に従った農薬管理での栽培 (AS)、タイのガイドラインに従った有機栽培 (OR) で収穫したタンジェリン果実の成分を比較し、カンキツの主要成分であるフラボノイドのヘスペリジン、ナリルチンなどの含量が AB に比べ AS と OR で有意に高いことを報告している¹⁸⁾。また、ウンシュウミカンを緑熟の状態に収穫し、波長の異なる LED を照射し果皮のフラベド部分のカロテノイド組成の変化を調べた研究では、カロテノイド種により色ごとに反応が異なり、CRY に関しては赤色 (660nm) 照射で含有量が増加す

る結果が得られている¹⁹⁾。カロテノイド合成遺伝子の発現が照射波長により制御されていると考えられる。栽培条件や貯蔵条件で、機能性成分を増強することが可能であることを示唆している。

引用文献

- 1) Harada et al. (2011), *J. Pharmacol. Sci.* 115, 89-93
- 2) Akachi et al. (2010), *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 56, 60-67
- 3) Mulvihill et al. (2011), *Diabetes* 60, 1466-1457
- 4) Onozuka et al. (2008), *J. Pharmacol. Exp. Ther.* 326, 739-744
- 5) Saihusa et al. (2011), *Anal. Bioanal. Chem.* 400,3635-3641
- 6) Yi et al. (2011), *Physiol. Behav.* 102, 1-6
- 7) Manthey et al. (2011), *J. Agric. Food Chem.* 59, 145-151
- 8) Walle (2007), *Semin Cancer Biol.* 17, 354-362
- 9) Takenaka et al. (2007), *Food Sci. Technol. Res.* 13, 281-285
- 10) Prince et al. (2009), *Toxicol. Lett.* 185, 180-186
- 11) Mdina et al. (2010), *Mol. Pharmacol.* 78, 827-836
- 12) Nagao et al. (2010), *J. Agric. Food Chem.* 58, 9028-9032
- 13) Sugiura et al. (2009), *Br. J. Nutr.* 102, 1211-1219
- 14) Chaiter et al. (2009), *Cancer Causes Control.* 20, 1327-38
- 15) Sugiura et al. (2011), *Osteoporos. Int.* 22, 143-152
- 16) Unno et al. (2011), *Biol. Pharm. Bull.* 34, 311-317
- 17) 小川一紀ら, (2010), 特願 2010-116988

- 18) Stuetz et al. (2010), *J. Agric. Food Chem.* 58, 6069-6077
- 19) Ma et al. (2012), *J. Agric. Food Chem.* 60, 197-201

◀ 特集 ▶

ナシ萎縮病の原因の特定

¹千葉県農林総合研究センター²独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 果樹研究所金子洋平¹・中村 仁²・塩田あづさ¹・鈴木 健¹・幸 由利香¹

ニホンナシではナシ萎縮病が全国的に問題となっている。この病気の原因は30年以上、不明であった。千葉県では、ナシ萎縮病の罹病樹から分離された菌株をナシ苗木に接種することで萎縮症状を再現し、同菌を再分離できたことから、本菌株がナシ萎縮病菌であることを明らかにした。また、本菌について形態的、分子生物学的に調査し、木材腐朽性の硬質担子菌類である *Fomitiporia* sp.であることを明らかにした。

今後、新たに開発した本病の検出技術を用いて感染過程や罹病樹体内における動態を明らかにする必要がある。

1. はじめに

ニホンナシでは展葉直後に葉の波うちや小型化、葉縁の黒変等の展葉障害を引き起こすナシ萎縮病が、全国的に問題となっている。千葉県では主要品種である「幸水」で発病が著しく、年々被害が激しくなっていることから、迅速な対策を強く求められている。本病は日本植物病名目録に萎縮病と記載されているものの、これまで病原菌は不明となっていた。現場では、病気であるか否かを含め、原因究明に苦慮してきたが、近年、後述する木材腐朽菌の一種である *Fomitiporia* sp. (旧広義の *Phellinus* 属菌) が原因であることが明らかになった。ここでは萎縮症状の分類、ナシ萎縮病の原因究明の経緯、そして千葉県における研究の状況等について述べる。

2. ナシの萎縮症の分類

「萎縮症」とは様々な要因によって起こる春先の展葉障害を示すもの一群(総称)である。その原因は諸説あり、研究機関、指導機関、生産現場の間で、症状、原因に関する認識が一致しておらず、混乱していた。このことはナシ萎縮病の原因究明の妨げにもなっていたと考えられる。このため、中村(2005)は萎縮症を図1のように分類した。

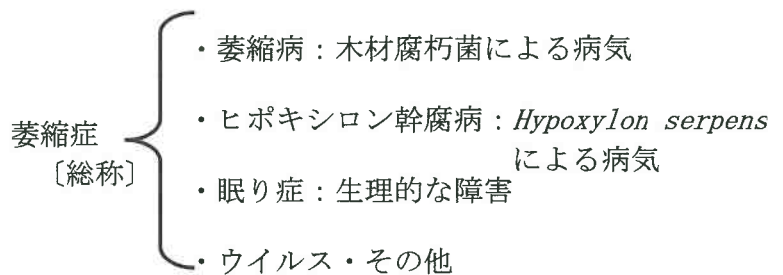


図1 萎縮症の種類、呼称および原因

KANEKO Youhei¹, NAKAMURA Hitoshi²,
SHIOTA Adusa¹, SUZUKI Takeshi¹, MIYUKI
Yurika¹

¹〒266-0006 千葉県千葉市緑区大膳野町 808

²〒305-8605 茨城県つくば市藤本 2-1

(1) 萎縮病は、葉の展葉直後に葉の波うちや小型化、葉縁の黒変、新梢の伸長不良、幼果の奇形・小玉化などの症状を呈する。症状が軽い場合は初夏に病徴は目立たなくなるが、年々症状が激しくなり、発病部位も広がると樹勢は低

下し、枝や樹全体の枯死に至る。葉の先端の葉縁部が黒変枯死するのが特徴である（写真1）。今回、木材腐朽性の硬質担子菌類である *Fomitiporia* sp. によって引き起こされる病害であることを明らかにした。



写真1 萎縮病による展葉障害
(葉に波打ちと先端部での黒変が見られる)

(2) ヒポキシロン幹腐病は子のう菌類の *Hypoxylon serpens* によって引き起こされる病害で、前述の萎縮病と比べて葉の波打ちは顕著でなく、初夏に葉があめ色から紅色に変わり早期落葉する点、維管束が褐変する点で他の萎縮症状と区別される（写真2A, B）。

(3) 眠り症は低温要求量不足によって自発休眠の覚醒が遅れ、開花時に萌芽、展葉が遅れる症状であるが、詳細は不明である。

(4) ウイルスによると考えられていた萎縮症状もあるが、詳細は不明である。

3. ナシ萎縮病の原因究明の経緯

前項で述べた萎縮症のうち、(1)の萎縮病について、これまで、多くのナシ関係者が原因を探索してきた。当初、関本（1978）により本症状はナシの「萎縮症」と呼称され、その症状と、接木伝染するとされたことからウイルス病と推測された。その後、本症状が全国的に発生して問題になってきたことから、1984年に日本植物病理学会病名調査委員会による病名目録の改定にあたって、病原が不明のまま「萎縮病」とされた。この後も、渡辺（1985）により接木伝染を支持する報告がされた。また、植松（1986）らは細菌様微生物が病原であるとした。一方、佐久間ら（1993）により接木伝染が否定され、木材腐朽菌である *Phellinus igniarius* が病原菌として推測された。以降、*Phellinus* 属菌（現在の *Fomitiporia* 属菌）が病原候補として有力視された。安田ら（2005）は萎縮病発症樹から分離した *Phellinus* 属菌の培養形態及びITS領域を調査し、*Phellinus robustus* group（現在の *Fomitiporia* 属菌）に属する菌を候補とした。中村ら（2007）は萎縮病発症樹から *Phellinus* (*Fomitiporia*) 属菌が高率に分離されることを示した。しかし、いずれも病原の証明には至らず、当時は、接種試験による萎縮症状の再現が課題とされた。

なお、原因の究明においては、上で述べた木材腐朽菌を原因とする説の他、非病原菌説もあ



A 展葉障害

B 維管束の褐変

写真2 ヒポキシロン幹腐病の症状
(先端の黒変は見られない。葉が紅色に変色する)

った。牛山ら（1988）は萎縮病発症樹で導管組織の閉塞を観察し、柴田ら（2006）は萎縮病発症樹体内でキャビテーション現象（蒸散流の切断）を確認したことから、本症状は水分障害によって引き起こされるとした。また、松家ら（2008）は土壌環境による樹勢衰弱が萎縮病の発生増加の要因であると推察した。

4. 千葉県におけるナシ萎縮病の原因の特定

（1）症状の再現

千葉県では研究課題「ニホンナシ萎縮病の原因究明と対策」に取り組んできた。萎縮病罹病樹からの分離菌（菌株名：AP170, 木更津 No. 2 等）をそれぞれ培養し、「幸水」苗木の主幹部に接種した結果、翌年あるいは翌々年に萎縮病に特徴的な症状が認められた。一方、対照区では同症状は現れなかった（写真3）。萎縮症状が確認された苗を解体すると、接種部位からその周辺組織に木材腐朽症状が伸展しており、その腐朽部からは接種した菌が再分離された。このことから、AP170 株、木更津 No. 2 株等は萎縮病の病原菌であることを示した（塩田ら, 2010）。

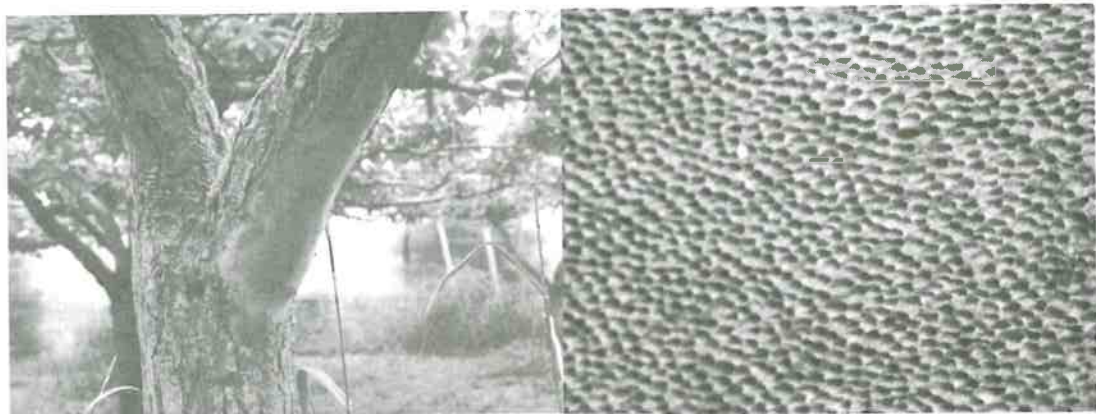


写真3 *Fomitiporia* sp. の接種による萎縮症状の再現

（左：対照，右：AP170 株接種苗）

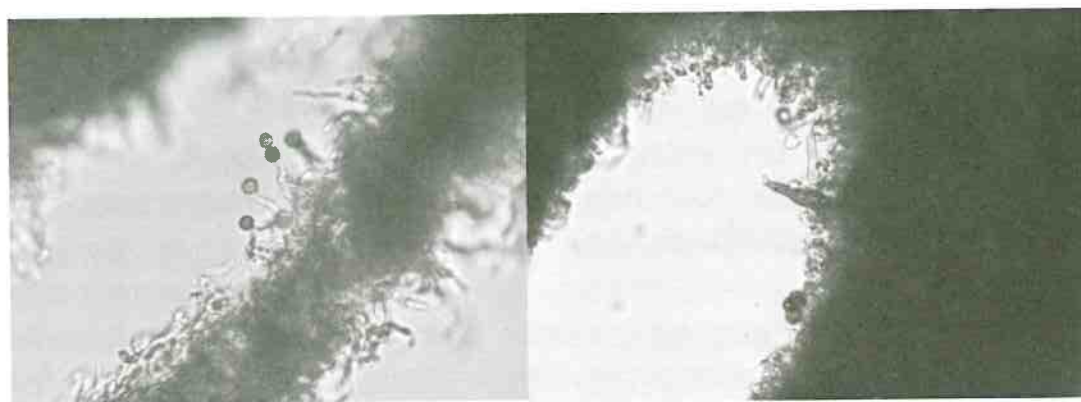
（2）病原菌の同定

AP170 株や木更津 No. 2 株は、その培養形態および遺伝子の情報から *Fomitiporia* 属菌の一種と推定した（塩田ら, 2010）。この *Fomitiporia* 属菌は多犯性の木材腐朽菌であり、主に森林病害を引き起こす菌として知られている。服部ら（2010）は、サワラ、コウヤマキ、スギ、ナシ樹上に形成されている *Fomitiporia* 属菌の子実体の形態調査を行い、これらが同一種（*Fomitiporia* sp. チャアナタケモドキ）であったと報告した。また、太田ら（2010）はこれらの菌について遺伝子レベルの解析を行い、同様のことを支持する報告をしている。そこで、服部ら（2010）における *Fomitiporia* sp. とナシ萎縮病菌（木更津 No. 2）の子実体の形態的特徴の比較および遺伝子レベルの解析をおこない、その異同を調査した。その結果、ナシ萎縮病の病徴を再現した分離菌株“木更津 No. 2”について、子実体は完全背着性、孔口の数は 5～8 個/mm（平均 6.6 個/mm）、担子胞子は類球形、デキストリノイドでありメルツァー液により赤色に染まった。大きさは長径 4.2～5.5 μm （平均 5.0 μm ）、短径 3.8～5.5 μm （平均 4.8 μm ）、剛毛体はまれに存在し、円錐～紡錘形でその大きさはバラつきがあり、13.2～20.1 μm （平均 15.8 μm ） \times 4.1～5.2 μm （平均 4.7 μm ）であった（写真4A～D）。その他、ナシ萎縮病罹病樹からの分離菌株である“PD001 株”、“PES0201 株”、“PP97 株”についてもほぼ同様の結果であった。これらは服部ら（2010）の報告した *Fomitiporia* sp. の特徴と概ね一致した。また、ITS 領域の塩基配列を用いて系統樹を作成したところ、ナシ樹萎縮病菌（AP170 株、木更津 No. 2 株、PD001 株等）と太田ら（2010）の報告したスギ分離菌株、サワラ分離菌等は *Fomitiporia punctatata*, *Fomitiporia bannaensis* とは異なる一つのクレードを形成した（金子ら, 2011）。これらのことから、ナシ萎縮病の病原として *Fomitiporia* sp.（チャアナタケモドキ）を提案した。このことについては「千葉県病害虫発生予察特殊報第 6 号」とし



A 背着性の子実体

B 孔口



C 担子孢子

D 剛毛体

写真4 *Fomitiporia* sp. の形態

て平成23年10月に公表された。

(3) 検出技術について

今後、本菌に関する生態的・菌学的な特徴を明らかにすることで、防除対策の方向性を考えていく必要がある。しかし、ナシ萎縮病菌である *Fomitiporia* sp. は木材腐朽性の硬質担子菌類の中でも形態的特徴が乏しく、変異が大きく分類同定の最も難しい菌群に属しているため、あまり研究が進展しておらず、不明な点が多い。そこで千葉県では、このナシ萎縮病菌の ITS 領域の塩基配列の情報を基に特異的プライマーを設計した。また、樹木組織からの DNA 抽出方法を開発し、接種試験に用いた苗から菌を検出することに成功し、これらを併せてナシ萎縮病菌の検出技術とした(鈴木ら, 2011)。

PCR 法を用いたナシ萎縮病菌の検出技術は、

高感度で子実体の形成を経ることなく迅速に *Fomitiporia* sp. であるか否か判断することができることから、今後、本病原菌の感染過程や罹病樹体内における動態を明らかにする上で非常に有用な技術となる。

5. おわりに

これまで原因の究明に 20~30 年もの時間が費されたが、ナシ萎縮病の原因が明らかになったことにより、今後、研究の進展が期待される。千葉県では、研究課題「ナシ萎縮病菌 *Fomitiporia* sp. の検出技術の開発及び菌学的諸性質の解明」を設定し、ナシ萎縮病の問題解決に向け、研究に取り組んでいる。

参考文献

- 1) 服部 力ら (2010), 日林学術講, 121, 703 (講要)
- 2) 金子洋平ら (2011), 日植病報, 77, 掲載予定 (講要)
- 3) 松家義克ら (2008), 平成 19 年度近畿中国四国農業研究成果情報
- 4) 中村 仁 (2005), 農業技術体系, 果樹編第 3 卷 (追録第 20 号), 12-15
- 5) 中村 仁ら (2007), 日植病報, 74, 37 (講要)
- 6) 太田祐子ら (2010), 日林学術講, 121, 704 (講要)
- 7) 佐久間 勉ら (1993), 果樹試報, 24, 45-59
- 8) 関本美知 (1978), 農業および園芸, 53, 1265-1266
- 9) 柴田健一郎ら (2006), 園芸学雑誌, 75 (別 2), 155
- 10) 塩田あづさら (2007), 日植病報, 76, 156 (講要)
- 11) 鈴木 健ら (2011), 日植病報, 77, 掲載予定 (講要)
- 12) 植松勉ら (1986), 日植病報, 52, 90-91
- 13) 牛山欽司ら (1988), 神奈川園試研報, 35, 7-21
- 14) 渡辺博幸 (1985), 日植病報, 51, 81 (講要)
- 15) 安田文俊ら (2005), 日植病報, 71, 220 (講要)

◀ 特集 ▶

輸送によるイチゴ果実の傷みを大幅に軽減できる 包装容器の開発

¹独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター
²株式会社 日本トーカンパッケージ

曾根 一純¹・伊東 良久²

開発した容器は、ホールトレーと合成樹脂製の外装内面に伸縮性フィルムを張ったものを組み合わせた包装容器で、上下のフィルムによりイチゴを固定することで、輸送時の物理的傷害により生じる果実の傷みを軽減し、鮮度保持を図る。本容器を利用した輸送試験では、従来の平詰スポンジ敷き仕様の包装形態と比べ、果実の傷み程度を約1/4以下に軽減でき、レターパック500等の簡易包装で新たな販売チャンネルの構築が可能である。

1. 緒言

日本産のイチゴは東南アジアの富裕層を中心として高い人気があり、本格的な輸出が始まった2004年からの4年間で約11倍に急増し、リーマンショック、円高の進行等の影響を受けているものの2010年度実績で数量ベースでは101t、金額では1.85億円と、今後も堅調な需要が期待されている。輸出用イチゴの主要な包装は、国内の流通形態と同様の形態で行われることが多く、機械的傷害により品質が低下しやすい。このため、輸出過程における機械的傷害や鮮度低下を抑制できる輸送形態の確立が課題であった。

そこで、本研究では、国内外の輸送試験を通じて輸送振動および出荷資材がイチゴの品質に及ぼす影響を評価することにより、現状の輸送形態における問題点の把握を進めた。さらに、得られた知見から輸送過程における物理的傷害や鮮度低下を抑制できる緩衝材等の包装資材の開発を進め、それらを用いた輸送試験を行った結果、いくつかの有効な知見を得たので報

SONE Kazuyoshi¹, ITOH Yoshihisa²

¹〒839-8503 福岡県久留米市御井町1823-1

²〒141-0022 東京都品川区東五反田2-18-1
大崎フォレストビルディング

告する。

なお、本研究は平成21年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「国産果実の輸出促進に向けた低コスト生産・流通システムの開発」の一課題として、実施した。

2. 新包装容器の概要

国内の流通形態は、大きく分けて300gを基準重量とする2段詰めかホールトレーまたはウレタンを敷いたパックに1段詰めする仕様が多数。主として、2段詰めはレギュラー一品で用いられ、果実どうしの接触による傷みが発生しやすく、特に下段の果実の傷害程度が高くなり、果実が軟化しやすい3月以降に品質低下が生じやすい。そのため、3月以降の高温期ならびに大玉果実については、ウレタンスポンジ敷きの1段詰め仕様を用いることにより、輸送による生じる果実の傷みを軽減している(図1)。

しかし、この平詰め仕様は、構造上、果実どうしが接触するため果実の傷みを抑えることが難しいため、贈答用については緩衝資材として果実の接触が少ないホールトレーの利用が有効な傷み軽減手段として利用されている。そこで、長距離での輸送を伴う輸出用では、ホールトレーまたはウレタンを敷いたパックに1段詰め

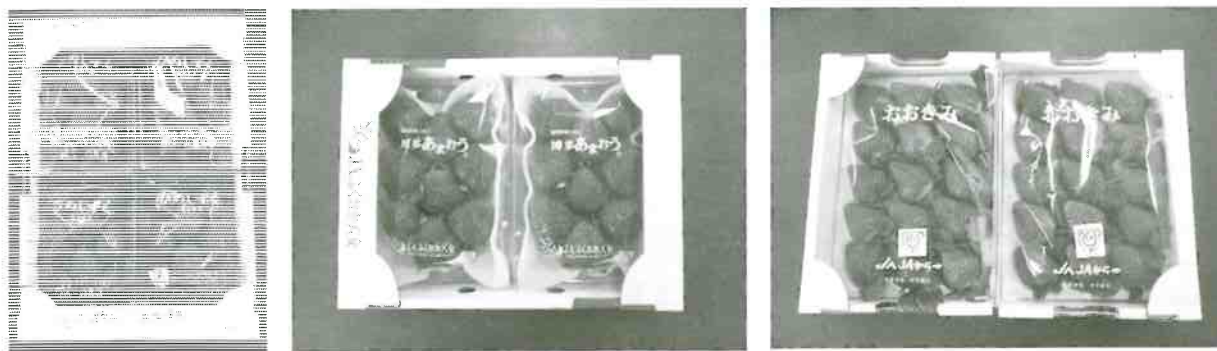


図1 従来の主要な包装形態
2段詰め(左)、平詰めトレースポンジ敷き(中央)、ホールトレー(右)仕様
ともに、別途2重折りにした丈夫な段ボールによる外装が必要

よる場合が多い。

輸送に伴う果実の傷みの原因は、果実どうしの接触による傷害と輸送時の振動により生じる果実の動きによる緩衝資材との擦れによる傷みが主なものである。そこで、新包装容器では、果実の動きを抑制することで、輸送中の果実の傷みを軽減することを開発目標として開発を進めた。

具体的には、外装を兼ねた合成樹脂製の容器の内側に伸縮性フィルムを展張し、伸縮性フィルムにより果実とホールトレーを挟み込むように中吊り状態に固定することで、果実の動きを抑制し、輸送中の衝撃による傷みを軽減する(図2)。



図2 新包装容器の概要

さらに、市販の各種ホールトレー (23.5cm×16.5cm 程度) をそのまま用いることで形態が異なる多様な果実への対応と汎用性を高め、調整作業の繁雑さを軽減している。

また、容器自体が外装を兼ねており、従来のような二重折りにした丈夫な段ボールを外箱に用いる必要がなく(図1)、A式段ボール等による簡素な輸送形態の導入が可能になるとともに、イチゴを容器に入れたまま直接ディスプレイできるなど、多様な販売形態に対応できる(図3)。

3. 新包装容器を用いた実走試験における果実の傷み軽減効果

1) A式段ボールと新包装容器を用いた実走試験における果実の傷み軽減効果

2009/12/19 に‘おおきみ’ならびに‘福岡S6号(‘あまおう’)'を用いて、新容器4個を2段詰めとしたA式段ボールに梱包する新容器区(図3a)と従来の平詰めスポンジ敷きトレー平置き段ボール仕様(図1中央)を対照区として、宅配便(冷蔵)を用いて福岡県から東京間を往復する輸送試験を行った。輸送中の振動計測には、超小型3軸加速度センサ(SRIC社:G-MEN NR50α)を用いた。

到着後、全果実について、果実の商品性の低下程度をカビ発生による商品性なし:3 押し傷:2 擦れ:1 痕跡:0.1 なし:0 として評価した。

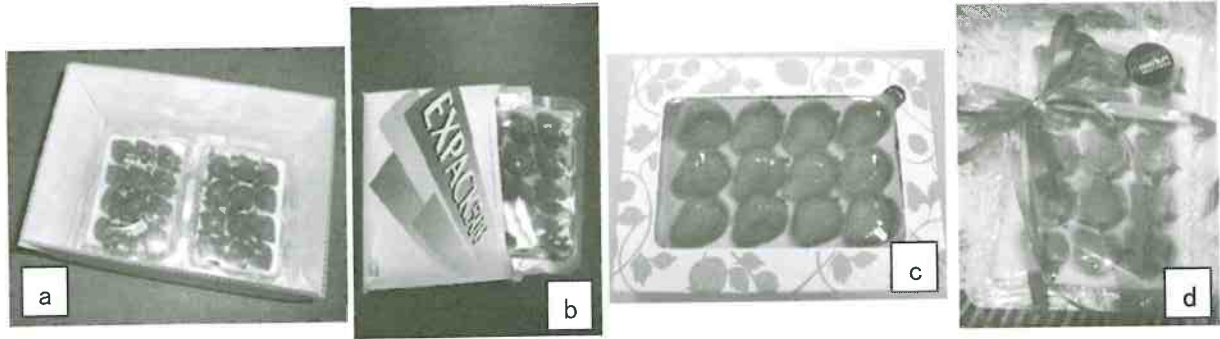


図3 新包装容器を用いた簡易な包装形態と多様な販売形態

新包装容器ではA式段ボール（ミカン箱タイプ）等を用いた簡素な発送や多様な販売形態への展開が可能
左から a：簡素なA式段ボール（ミカン箱タイプ、2段4個詰め）、b：レターパック、c：手土産、
d：店頭でのディスプレイの例

さらに、代表的な傷み程度を示す果実を各10個選び、30分間蒸留水に浸したのち、浸出溶液の電気伝導度(EC)を測定し、果実の傷み程度を評価した。

また、各区10果については、着荷後の果実糖度、果実酸度、果実硬度を調査し、果実品質を評価した。

宅配便による輸送期間は5日程度を要し、箱内温度は2~12℃で推移した。同封した携帯型振動測定器では最大15Gを超える合力が確認された。傷みの原因となる輸送に伴い動いた果実の割合は、対照区の平詰めスポンジ敷き仕様の‘おおきみ’では92%の果実で、‘福岡S6号’では67%で確認された。一方、新包装容器区では対照区の約1/3以下に減少し(表1)、動いた角度の平均値も対照区の方が大きかった(デー

タ省略)。

輸送後の果実の傷みは、対照区で果実どうしの接触面およびトレイ接触面を中心として、ほとんどすべての果実で傷みが認められたのに対し、新容器区では上部フィルムとの接触面でフィルム痕が若干認められたが、裏面の傷みを含め軽微であった。その結果、傷み指数および果実の傷み程度の指標となるEC値は、対照区対比で約1/4以下に減少した。なお、果実硬度、果実糖度及び果実酸度は、対照区と同等で、有意差はみとめられなかった(表2)。

2) レターパック500等の簡易包装を用いた新たな流通形態の確立

新包装容器はより簡素な梱包で輸送が可能であるため、レターパック500を用いた発送形態

表1 トラック輸送時の梱包方法の違いが果実の傷みに及ぼす影響

品種	輸送形態	動いた果実の割合 [*] (%)	果実の傷み程度					
			フィルム接触面側			トレイ接触面側		
			傷み面積率	傷み指数 [†]	傷み果割合	傷み面積率	傷み指数 [†]	傷み果割合
おおきみ	新包装容器 段ボール上	6.7	4.3	0.03	0.0	10.0	0.13	6.7
	新包装容器 段ボール下	0.0	0.0	0.00	0.0	5.0	0.01	0.0
	従来型平詰トレースポンジ敷き仕様	91.7	14.5	1.68	83.3	22.1	1.84	91.7
福岡S6号	新包装容器 段ボール上	11.1	12.5	0.38	22.2	9.2	0.38	22.2
	新包装容器 段ボール下	22.2	12.5	0.46	33.3	20.0	0.48	22.2
	従来型平詰トレースポンジ敷き仕様	66.7	8.8	1.24	66.7	27.2	2.00	100.0

^{*}輸送に伴い1°以上動いた果実の割合 [†]カビ:3 押し傷:2 擦れ:1 痕跡:0.1, n>=12

福岡-東京間を宅配便(冷蔵便)で往復。2009/12/19 福岡発, 21日東京着同日返送 23日福岡着 24日調査

表2 トラック輸送時の梱包方法の違いが果実品質に及ぼす影響

品種	輸送形態	果実糖度 (Brix%)	果実酸度 (%)	果実硬度 (g/3mmφ)	溶出液
					電気伝導度 (μS/cm)
おおきみ	新包装容器 段ボール上	8.8	653	258	3.9
	新包装容器 段ボール下	9.2	626	265	3.5
	従来型平詰トレー スポンジ敷き仕様	8.8	683	259	15.6
		N.S.	N.S.	N.S.	**
福岡S6号	新包装容器 段ボール上	8.4	678	192	3.3
	新包装容器 段ボール下	8.2	731	187	6.2
	従来型平詰トレー スポンジ敷き仕様	8.3	742	166	28.3
		N.S.	N.S.	N.S.	**

n=10 **：1%水準で有意差あり N.S. 有意差なし

福岡ー東京間を宅配便(冷蔵便)で往復。2009/12/19 福岡発, 21日東京着同日返送 23日福岡着 24日調査

の可能性について検討した(図3b)。2009/11/25にホールトレーに平詰めした‘おおきみ’をレターパック500にて佐賀県から福岡県間の輸送試験を実施し, 11/27に到着後, 果実の固定度, 傷み程度, 浸出溶液の電気伝導度, 果実糖度等の果実品質を調査した。

本試験では, 合力として最大16Gの大きな衝撃が認められたが, 動いた果実の割合及び動き角度はともに小さかった。果実表面の傷み程度はフィルム接触面のフィルム痕が主なものであり, 極めて軽微であった。裏面の傷みは, 17%の果実で認められたが, 傷み指数は痕跡程度と軽度なものが多く, 浸出溶液の電気伝導度も2.7μS/cmと小さく, 品質保持効果も高かった。以上の結果から, 新包装容器はレターパック500等による簡易な包装形態を用いた輸送においても, 果実の傷みは少なく, 新たな流通形態として十分実用性が高いことが確認できた(表

3)。

3) タイへの輸送試験における品質保持効果と新包装容器に対するホームユーステストでの評価

‘福岡S6号’, ‘おおきみ’, ‘とちおとめ’, ‘さがほのか’を用いて, 既存形態(平詰めスポンジ敷き(図1中央))と新包装容器(図3a)について, 2010/1/11に久留米市から成田市まで宅配便(冷蔵)で輸送し, 1/14に成田国際空港からタイ国スワンナプーム国際空港まで航空機輸送を行った。1/15にスワンナプーム国際空港到着後, トラックにてバンコク市に輸送し, 現地販売店の冷蔵庫内で静置保管した。1/17に開封後, 輸送に伴う果実の動き, 傷み程度, 果実糖度, 果実硬度を調査した。

さらに, 中央農業総合研究センターの協力を得て, タイ国バンコク市内の日本人(30名),

表3 新包装容器とレターパック500を用いたトラック輸送での果実の傷み程度

動き割合 (%)	動いた果実 の動き角度 (°)	溶出液 電気伝導度 (μS/cm)	傷み程度					
			フィルム接触面側			トレー接触面側		
			傷み面積率	傷み指数 ²	傷み果割合	傷み面積率	傷み指数 ²	傷み果割合
6.7	3.0	2.7	5.0	0.02	0.0	4.7	0.38	16.7

品種：おおきみ, ²カビ:3 押し傷:2 擦れ:1 痕跡:0.1, n=15

2009/11/25 唐津市発送 11/27 久留米市着荷後, 開封調査

タイ人（10名）に対して、既存容器（平詰めスポンジ敷き）と新包装容器における品質保持状況、取り扱いの容易さ等について、ホームユーステストを行った。

タイへの輸送試験での‘おおきみ’における果実の傷みの程度を表4に示す。新型容器は既存の平詰めスポンジ敷き形態よりも、輸送に伴う果実の動きを抑制する効果が大きく、傷んだ果実の割合、傷み面積とも少なくなり、傷み程度は1/2から1/3に軽減し、品質保持効果が高かった。特に、裏面の傷みの軽減効果が大きかった。果実糖度、果実硬度は、包装形態による差はみとめられなかった。

また、ホームユーステストの結果において、新包装容器は既存容器よりも外観の品質保持効果、取り扱いの容易さに対する評価が高く、総合評価も優れた(表5)。

4. まとめ

本研究の結果、新包装容器では、これまで問

題となっていた輸送過程における物理的傷害や鮮度低下を従来の平詰めスポンジ敷き仕様と比較して、最小限に抑えることができた。

さらに、新包装容器は、ホームユーステストにおいても既存容器より外観の品質保持効果、取り扱いの容易さにおいて、高い評価が得られた。これらの利点を活かして、海外輸出をはじめとした広域流通への利用だけではなく、H22年1月から、本容器とレターパック500を用いたふるさとゆうパックとして採用され(図3b)、お土産、観光農園等の持ち帰り需要、食材宅配等のインターネット等を用いた直販需要等の新しい販路拡大に向けた利用が進められている(図3)。さらに、山形県では、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「おいしいサクランボをどこにでも送れる損傷ゼロパッケージ技術の開発」において、これまで広域流通が難しかったサクランボへの利用が検討されている。

今後の課題として、より一層の衝撃緩衝能の向上と輸送コストの低減を図るため、品目、品種ごとに異なる果実形状に対応したトレーの最

表4 タイへの航空機輸送における梱包方法の違いが果実の傷みに及ぼす影響

発送形態	果実糖度 (Brix%)	動いた果実 の割合 ¹ (%)	動いた果実 の動き角度 (°)	果実の傷み程度					
				フィルム接触面側			トレー接触面側		
				傷み面積率	傷み指数 ²	傷み果割合	傷み面積率	傷み指数 ²	傷み果割合
従来型平詰トレースポンジ敷き仕様	12.0	79.2	43.7	20.5	1.8	87.5	31.5	2.0	100.0
従来型平詰ホルトレー仕様	11.8	75.0	68.1	9.0	0.5	27.5	17.2	1.0	50.0
新包装容器	11.6	19.4	22.1	10.0	0.2	11.1	0.0	0.0	0.0

品種：‘おおきみ’，¹カビ:3 押し傷:2 擦れ:1 痕跡:0.1, n=12

久留米市からタイ国バンコク市までの冷蔵輸送行程 2010/1/11 発送（トラック），1/13 成田着

1/14 成田発（航空機） 1/15 タイ国バンコク市着 1/17 開封評価

表5 タイにおけるホームユーステストでの果実及び新包装容器の評価

	果実の つや	果実の みずみずしさ	果実の 傷み具合	取り扱い の容易さ	容器の 外観	総合評価
日本人	1.04	0.89	1.50	1.50	2.14	1.59
タイ人	2.00	2.33	-0.13	1.22	1.00	2.25
合計	1.27	1.24	1.14	1.43	1.87	1.73

従来の平詰トレースポンジ敷き仕様を基準(0)とした-3(劣る)～+3(優れる)の評価

適化や梱包方法の改善が必要である。

北澤ら(2010)は衝撃による損傷防止のための緩衝包装設計について、包装容器に係る衝撃加速度と果実の商品性が喪失するまでの衝撃回数との関係は累乗近似曲線で表せ、輸送過程における衝撃加速度および衝撃回数が商品性に及ぼす影響を推定・評価できることを報告している。これらの知見を活用することで、効率的に最適な緩衝資材を選定や輸送方法にあわせた適確な傷害防止策の構築が可能になると期待される。

なお、イチゴ果実の傷みの評価手法として、イチゴを蒸留水に浸漬し、浸出溶液の電気伝導度を測定することで、果実の傷み程度を評価する手法を試みた。尾崎・樋元(2011)はイチゴの損傷率とクエン酸溶出速度は直線関係にあり、

浸漬水の導電率を測定することにより、イチゴの損傷度を測定することが可能であることを報告しており、本手法の有効性が示されている。今後、果実の損傷程度を評価する有効な手段として、活用が期待される。

今回開発した包装容器は「フルテクター」として、日本トーカンパッケージ(株)から販売され、今後の利用拡大が進められている。

引用文献

- 1) 曾根一純ら(2010), 園芸学研究, 9(別2), 598
- 2) 北澤裕明ら(2010), 園芸学研究, 9(2), 221-227
- 3) 尾崎亨ら(2011), 酪農学園大学紀要, 35(2), 63-85

◀ 特 集 ▶

果実の硬度の非接触低侵襲測定器

静岡大学工学部電気電子工学科

犬塚 博・山川秀敏・大串和弘・水野保則

我々は非接触低侵襲で果実等の農産物の硬さを測定する測定器について研究している。これは果実に圧縮空気を吐出し弾性変形の範囲で変形させて、その数十 μm オーダーの凹みの時間変化から硬さの情報を得る手法である。既にデスクトップ型とハンディ型の装置を開発し、既存の硬さ測定のスタンドである針式硬度計での測定結果とも比較的高い相関が得られ十分置き換え可能である。特にハンディ型の計測器では果樹園等の現場に持ち込んでのその場測定も可能となる。

1. はじめに

農産物、特に果実においては「硬さ」と呼ばれる量は大変重要な量となる。果実の硬さは歯応えや食感という食味と直結しており、現状の甘さの全数検査による保証に加え、硬さの全数検査による保証が可能になれば付加価値をさらに高めることが出来る。さらに収穫時期の判断や食べ頃の判断を客観的なデータで可能になる。そして、農産物の腐敗や経時変化による劣化をデータで判断できるようになれば、現在のように単なる賞味期限で機械的に廃棄するのではなく、実際の劣化程度に応じて細かく廃棄の判断や鮮度管理が出来るようになる。これは資源の有効活用に繋がると同時に環境負荷の軽減により省資源・省エネルギーのエコシステムを実現する。

もちろん、その様な目的で硬さを指標に利用にすることは現在でも行われているが、大規模に組織的に行われていないのは使い易い硬度測定器が存在しない為である。現在、世界的に果実の硬さ測定のスタンドとして用いられているピッカー型の針式硬度計は農産物を傷付けるので抽出検査にしか使用できない。しかし、

INUZUKA Hiroshi, YAMAKAWA Hidetoshi,
OGUSHI Kazuhiro, MIZUNO Yasunori

〒432-8561 静岡県浜松市中区城北 3-5-1

工業製品と違ってばらつきの大きい農産物では抽出検査はあまり意味がない。さらに、食品の分野では安全性や衛生面の観点から非接触という点が強く要求される。それらの点からも既存の硬度計ではニーズに十分には対応できておらず、非接触非破壊での硬さ測定器が望まれている。その様な状況から、非破壊で硬さ測定を行う手法がいくつか研究されている。測定対象物を傷めない硬さ測定法としては共振法¹⁾・打撃法²⁾等いくつか提案されているが、特に非対称な形状や非一様な構造を持つ果実が対象物である場合の測定精度は十分ではなく、現場で大規模に使用されているとは言い難い。

2. 非接触低侵襲硬さ測定器

そこで、我々は非接触かつ低侵襲で硬さの程度を精度良く測定する手法を研究している。その手法として、圧縮空気を果実に吐出しその時の表面の凹み具合を非接触レーザ変位センサで位置の変位として測定しそのデータから果実の硬さの情報を得る方式である^{3,4)}。実際の計測器の試作器は、図1に示す様に果実に2~6気圧の圧縮空気を100ms程度のパルス幅で吐出し数十 μm 程度弾性変形させ、その凹みの時間変化を非接触レーザ変位センサで測定し、その凹みの時間変化を信号処理することで硬さや粘度

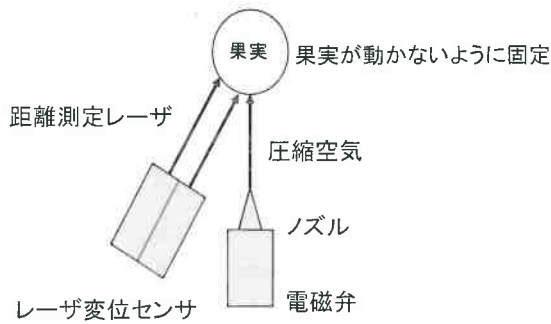


図1 測定原理

の情報を得ている。この原理は医療機器分野では眼圧測定器（トノメーター）や内視鏡検査におけるエアによる癌診断等にも使われている。弾性変形の範囲での変形であるので後述のように対象が外からの力に脆弱な果物の場合であっても測定対象物へのダメージは殆ど見られない。圧縮空気が測定針の代わりをしているので、測定原理はビッカース硬度計と類似のものとなり測定結果も両者の間で比較的高い相関を示す。さらに、本測定器はハンディ化やスタンドアロン化も可能であり、それらを実現することで、現場に持ち込んでの所謂その場(in situ)測定も可能となる。特に食品分野においては、衛生面からも非接触という点は重要であり、様々な分野で応用される可能性がある。

図2に非接触低侵襲硬さ測定器の試作器の構成を示す。さらにデスクトップ型の測定器試作

器の写真を図3(a)に、ハンディ型の装置の試作器の写真を図3(b)にそれぞれ示す。デスクトップ型の装置では果実を測定架台に取り付けて測定する。残念ながらその場測定はできないが、しっかりと果実が固定された安定した状態で測定できるので測定精度が高い。それに対しハンディ型の硬さ測定器は片手で持てる重さであり、圧縮空気タンクとバッテリーを備えている。さらに無線LANで測定データを近くのパソコンに送ることも可能である。したがって、完全に自立しての硬さ測定が可能であり、果樹園で木になっている状態の果実の硬さの測定をしたり、販売店の現場で硬さ測定を行ったりすることも可能である。

3. 非接触低侵襲硬さ測定器での果実の硬度の測定結果

本装置で測定されたデータの一例を図4に示す。圧縮空気を当てた部分の変位を表すのが図4の中の矩形状に変化している線である。圧縮空気を吐出している間は果実が凹み、その変動幅が硬さを反映している。さらに圧縮空気を吐出した立上がり時と圧縮空気を切った立下り時の凹み量の時間変化は果実の粘性の程度(粘さ)を反映しており、その部分がそれぞれ長い尾を引くと粘性の影響が大きい。したがって、粘性

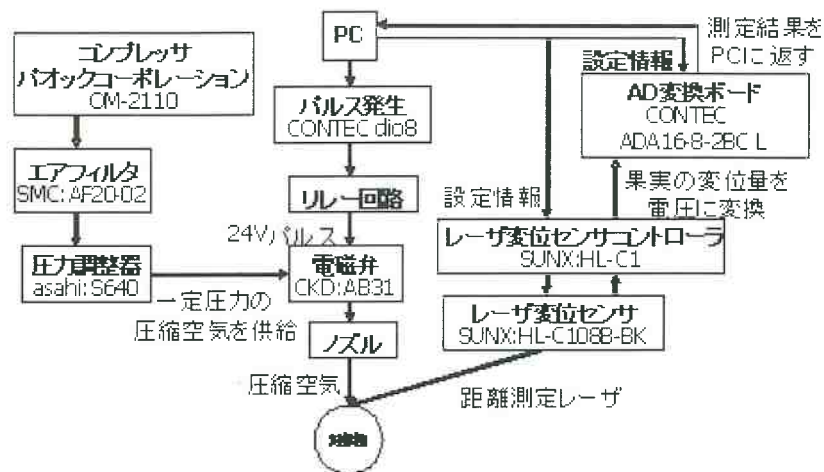
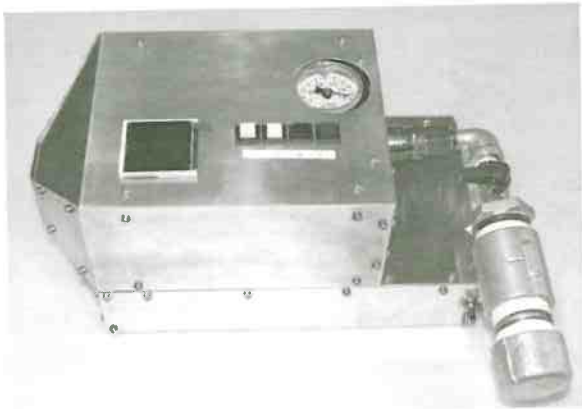


図2 非接触低侵襲硬さ測定器の構成



(a) デスクトップ型



(b) ハンディ型

図3 非接触低侵襲硬度測定器の試作器の実物写真

に関わる量も同時測定できる。距離測定器としてはレーザと受光器を組み合わせた非接触距離センサを用いているが、受光部で発生する雑音抑制が必須となる。しかし、測定波形は図4のように矩形波に近い時間変化をするので、通常

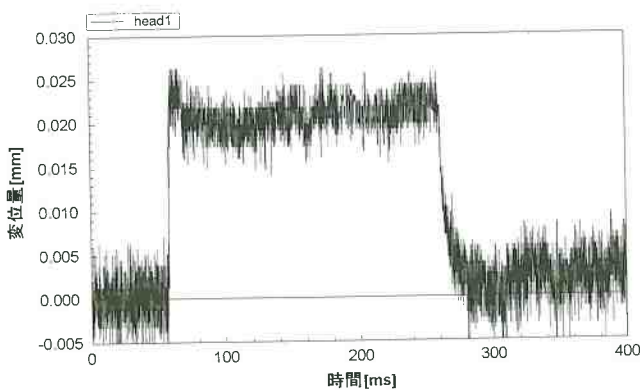


図4 測定結果の一例

用いられる移動平均やデジタルローパスフィルタが適用しにくい。端部のデータが鈍ってしまう為である。そこで、本信号処理にはエッジデータ保存の性質を持つ非線形デジタルフィルタを採用している。メディアンフィルタ^{5,6)}を使ってスパイク性雑音を除去すると共に、 ε 分離非線形デジタルフィルタ⁷⁾を用いることで、白色性雑音を抑制し測定精度の向上を図っている。又、測定対象物を凹ませる力は圧縮空気圧に比例するので測定の再現性を得るためにその圧力は圧力調整器を使って精密に制御している。それらの結果、図5に示すように十分な再現性が実現している。これはゴールデンクワイで100回の連続硬さ測定を実行し再現性を調べた結果の一例である。一回の測定に要する時間は測定と信号処理の時間を合計しても1秒以下であり、すぐに硬さと粘さの値が得られる。

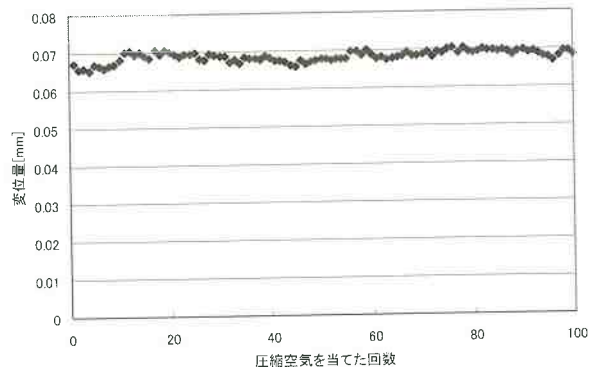


図5 再現性の測定結果の一例

本測定器では圧縮空気の圧力を調整することで、ある程度柔らかい果実から硬い果実まで測定レンジを可変することが可能である。圧力が高いほど測定対象物の凹み量も大きくなり測定のSN比が改善し測定精度が上がるが、圧力を上げ過ぎると測定対象物に破壊を生じダメージを与えてしまう可能性がある。測定対象物にダメージを与えないことが本測定法の重要な点であるので、その変形は塑性変形の範囲まで変形させずに弾性変形の範囲に留める事が必要となる。塑性変形となる力の限界は測定対象物の材質や果実の種類毎に

異なるので、予めその範囲を測定し十分に弾性変形となる範囲の圧力を設定し測定を行う。

いくつかの種類の実について、既存の硬さ測定法のスタンダードである針式硬度計と本測定法で測定される硬さの相関を調べた結果が図6である。我々はこれら以外の物も含めて多種類の果実や野菜等の農産物の硬さを既存の針式硬度計と我々の非接触低侵襲硬さ測定器で測定し比較を行ったが、両者の相関は図6のように0.7~0.9程度が得られており、十分に既存の針

式硬度計を置き換えられる水準にあると考えられる。さらに、果実においては熟度の進展に伴い硬さが時間変化をするものが多いが、それらが捕らえられるかどうかを調べる実験の一例としてプレミアムバナナの硬さの時間変化を測定した結果を図7に示す。硬さを反映した変位量が時間と共に大きくなっており、バナナが熟れて柔らかくなっていく様子が硬さ測定からも確認できる。この結果から食べ頃等の見極めや賞味期限の判断が可能となる。

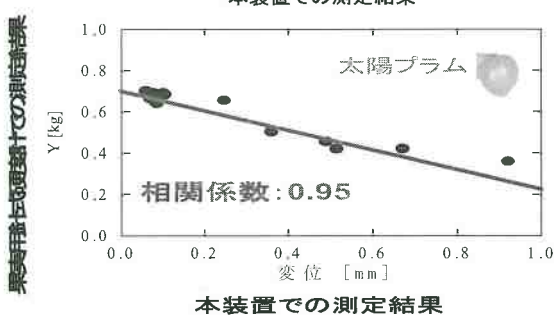
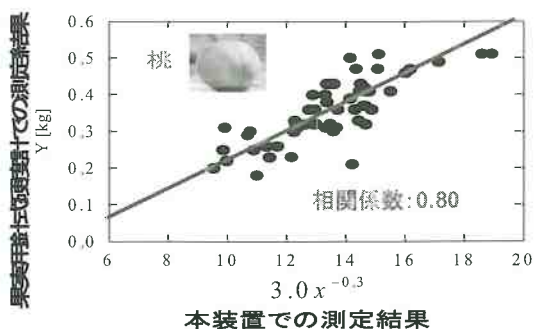
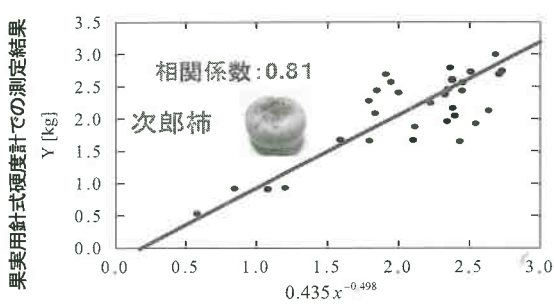
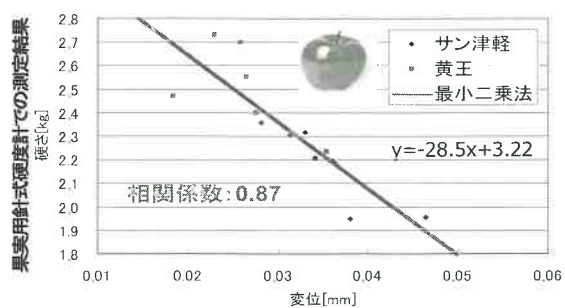


図6 本硬さ測定器と既存の針式硬度計での測定結果の相関

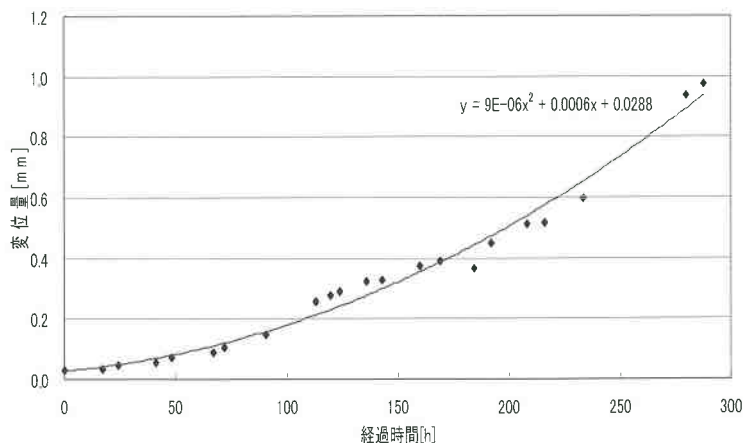


図7 バナナの硬さの経時変化

本測定法では固体ではなく気体である空気を当てて果実を凹ませている。そこで、それが果実に何らかのダメージを与えていないかが問題となる。そこで、比較的外からの力によって損傷を受け易いいくつかの果実について本測定法で圧縮空気を当てた箇所から傷みが進展しないかを調べてみた。その結果が図8であり、太陽プラムやトマトに測定設定圧力である差圧100kPa（全圧2.0気圧）の圧縮空気を複数回当てた箇所を後日切って調べてみたが全く傷みは見られなかった。

以上の結果より、硬さ測定が必要な多くの現場で、針式の硬度計に代わる農産物や果実の硬さ測定器として非接触低侵襲の特長を持った本測定器が適用可能であると考えられる。

参考文献

- 1) S. Nakano et al. (1997), *Japanese Journal of Applied Physics*, 36, 3265-3266.
- 2) 荒川 博 (1999), あたらしい農業技術, 313,1-8.
- 3) Y. C. Hung et al. (1998), *Applied Engineering in Agriculture*, 14(5), 513-516.
- 4) V. A. McGlone et al. (1999), *Trans. of the American Society of Agricultural Engineers*, 42(5), 1391-1397.
- 5) J. W. Tukey (1974), *Congr. Rec. 1974 EASCON*, 673.
- 6) V. V. Bapeswara Rao et al. (1986), *IEEE Trans. Acoust. and Signal Processing*, ASSP-34(6), 1674-1675.
- 7) 原島 博ら (1982), 電子情報通信学会論文誌, J65-A(4), 297-304.

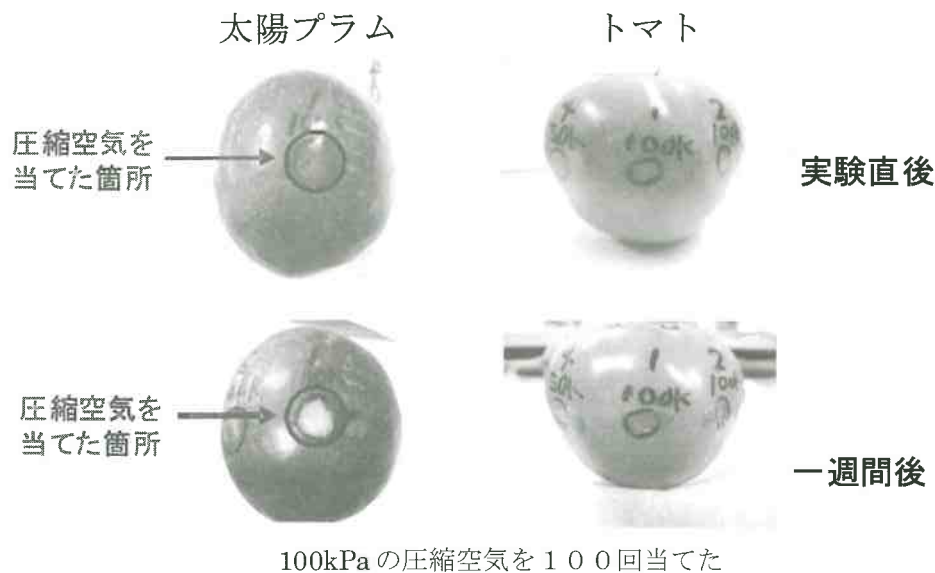


図8 圧縮空気を当てた箇所の果実の損傷

◀地域の先端研究▶

重イオンビーム照射を利用した吟醸酒用の
新しい酵母の開発¹埼玉県産業技術総合センター 北部研究所²独立行政法人 理化学研究所 仁科加速器研究センターおよび
イノベーション推進センター横堀正敏¹・阿部知子²

埼玉酵母を親とし、重イオンビーム照射や薬剤処理により、セルレニン耐性株260株とシクロヘキシミド耐性株305株の計565株の変異株を取得した。発酵試験、小仕込み試験、試験製造（総米60kg、アンプル仕込み）を行い、吟醸香の主成分であるカプロン酸エチルを高生産するFFC6株（親株：埼玉F酵母、鉄イオンビーム照射による変異、セルレニン耐性）を、吟醸酒用酵母として選択した。FFC6株は実地試験を行い、埼玉G酵母として実用化した。

1 はじめに

埼玉県は35の酒蔵をもつ全国第6位の酒どころである。他の日本酒との差別化のため、県オリジナルの清酒酵母や酒米が望まれている。埼玉県産業技術総合センター北部研究所は、県内酒造会社に向け、清酒用培養酵母1200本／年程度の頒布を行うとともに、酒米や酵母の研究を行い、平成20年には新たな清酒酵母「埼玉E酵母」「埼玉F酵母」等を実用化した^{1)~5)}。一方、埼玉県農林総合研究センターでは、平成16年に、埼玉県初の酒造好適米「さけ武蔵」を開発した。稈長が10cmほど長く倒伏に弱いため栽培がやや難しいが、栽培指導により技術が定着し生産も安定、現在熊谷市を中心に栽培が拡大したため、酒米として県内17社が使用している。

理化学研究所（理研）では伝統的に重イオンビームを用いた生物学研究が行われてきた。放射線医学総合研究所とともに行った基礎研究の発展系が、がん治療法であり最近では、がん重粒子線治療は先進医療としてテレビCMで紹介

YOKOBORI Masatoshi¹, ABE Tomoko²¹〒360-0031 埼玉県熊谷市末広2-133²〒351-0198 埼玉県和光市広沢2-1

されている。重イオンビームは原子核を加速したものである。従来の放射線であるX線やγ線と比較して、物質を通過するとき回りに与えるエネルギー（LET：線エネルギー付与）が大きい。光であるX線やγ線は、細胞にまんべんなく発生するラジカルがDNAの一本鎖を切断するのに対して、重イオンビームは粒子が通過する部分に局所的に影響を与えてDNAの二本鎖を切断する。品種改良法としては、切断箇所以外の遺伝子が影響を受けるリスクが低減されるため、短期間に新品種の実用化が可能となることが期待できたため、1990年初頭より植物への影響研究を開始、1993年より体系的な品種改良技術開発に取り組んだ。その結果、従来は、半分の個体が枯れる半致死線量で変異選抜するのが常識であったが、重イオンビーム照射では、高い生存率を示す極低線量照射区で、充分変異率が高く、変異幅も広いことを示し、変異原としての有効性を実証した⁶⁾。また極低線量のため変異誘発に必要な粒子数が少なく、その結果目的とする形質のみを改良し、他の農業上有益な形質には影響がないため、変異体そのものが新品種となり育種年限が短縮できることをサントリーフラワーズ（株）との成果として示した⁷⁾。理研の重イオン加速器施設であるRIビ

ームファイクトリーを利用する品種改良ユーザーは現在、国内156団体、国外15団体で、本品種改良法で育成し日本や欧米で市販している植物は19品種にのぼる。

理研と埼玉県は、科学技術の振興及びその成果の地域社会への還元などを実施するため、2005年1月に包括的協力協定を締結した。生物照射チームでは埼玉県農林総合研究センターと「さけ武蔵」の適地拡大を目指して草丈を低くすることを育種目的に共同研究を開始、平成20年春にイネ種子に炭素イオンビーム照射し、平成21年にM₂植物243系統から4つの短稈候補変異体を選抜した。一方、理研では、変異領域の大きさを解析するツールとして、微生物にマーカー遺伝子を導入したモデル系で研究（先端技術を活用した農林水産研究高度化事業2005～2007年）を行い、炭素よりもLETの大きな鉄イオンビームで欠失変異率が上昇し、大きなサイズの欠失が生じることを判明した⁸⁾。またユーザーとともに、微生物での変異選抜の従来法である殆ど死滅する照射処理が有効であることを示し、酵母などで変異選抜に成功、照射条件が絞り込まれていた。そこで、平成21年より新たに埼玉県の清酒酵母育種にも取り組むことになった。

本研究では、埼玉酵母（A01, BK2, C, D, E, F, YY, MR）を親株とし、重イオンビーム照射や薬剤処理により、香气生成や生酸性について特徴的な酵母を取得することを目的とした。

2 変異操作

鉄イオンは、培養液を平板培地に塗布し、蓋をしたシャーレの上から10分間で400Gyを照射した。その後28℃で1週間以上培養した。

炭素イオンは、一晚振とう培養後水洗した菌体を水に懸濁させ、マイクロチューブに分注して10分間で400Gyを照射後、平板培地に塗布

し、28℃で1週間以上培養した。

薬剤処理は、振とう培養後水洗した菌体を2%グルコース含有0.2Mリン酸緩衝液（pH 8）5 mLに懸濁し、エチルメタンスルホン酸0.3mLを加えて30℃で1時間振とうした。その後3回水洗し、平板培地に塗布し、28℃で1週間以上培養した。

平板培地は、通常の栄養培地であるYPG培地の他に、セルレニン⁹⁾（CER）あるいはシクロヘキシミド¹⁰⁾（CYH）を含有したものを使用し、CERあるいはCYH含有平板培地でコロニーを形成したものを、各々の耐性株として分離した。

処理後の生存率を表1に示す。親株ごとに生存率には差があり、例えばA01を親としたものではセルレニン耐性株は得ることができなかった。

目視により大きいコロニーから釣菌して、セルレニン耐性株260株、シクロヘキシミド耐性株305株を取得した。

表1 変異処理後の生存率 (%)

処理 \ 培地	YPG	CER	CYH
鉄イオンビーム照射	0～81	0～0.003	0.009～0.06
炭素イオンビーム照射	15～100	0～23	0.002～68
薬剤	0.001～0.5	0～0.01	0～0.003

3 発酵試験

麴エキスと乾燥麴に酵母（対照は埼玉E酵母、以下同じ）を添加し、15℃で2週間培養した。その間の減少重量を発酵能とした。終了後、培養液の一部で酸度を測定し、残りについてヘッドスペースガスクロマトグラフィーにより香气成分を測定した。

発酵能が小さいものや酢酸エチルが多いものを落とし、カプロン酸エチルが多いものや酸度が大きいあるいは小さいものを残すなどして選抜を繰り返す、カプロン酸エチル高生産（対照

の2.6～9.8倍) 10株, 少酸(同0.7～0.8倍) 7株, 多酸(同1.3～1.7倍) 3株の計20株を選抜した。

4 小仕込み試験

前述の20株から, 総米55gの小仕込み試験(乾燥麹+α米+水+乳酸に酵母添加, 15℃ 2週間後遠心分離により上槽)により4株を選抜し, 総米1kgの小仕込み試験(二段の酵母仕込みあるいは三段のアンブル仕込み, 留添を10℃とし, 1日1℃温度を上げ, 最高温度は15℃)を行った(表2)。特に発酵性の悪いCEC33株を除き, AFH10株, FFC6株, FOC4株の3株を清酒製造試験に供した。

5 試験製造

精米歩合60%の白米を使用し, 総米60kgのアンブル仕込を行った。

もろみ経過で, 日本酒度の切れはどれも順調で, 対照と同等以上の発酵性がみられた。アル

コールの生成は, FOC4のみ後半で遅れた。酸度はどれも対照より低く, 特にAFH10株とFOC4株で小さかった。アミノ酸度はどれも対照より高く, 特にFOC4が高かった。もろみ液部の酵母密度はFOC4株が小さめだったが, どれも 10^8 /mLを超え, 実用上はほぼ問題ないと思われた。死滅率はFFC6株が特に小さかった。

試験結果を表3に示す。FOC4株はカプロン酸エチルの生成が多く, 酸が少ないという特徴は見られたが, アルコールが少なく粕歩合が多く, 酒化率も悪かった。アミノ酸度も高いため, 製成酒の劣化が早くなることが懸念される。

官能的に, AFH10株は軽快でなめらかで日本酒らしい風味であった。FFC6株は香り高く華やかで味も軽快だった。FOC4株も香りは高いが, アミノ酸度が高いためか少々雑味が感じられた。

以上の結果より, 特徴がはっきり現れ, 酒化率も悪くないFFC6株を選抜し, 県内酒造場における実地試験に供した。

表2 総米1kgの小仕込み試験結果

株	親株	変異法	耐性	アルコール分	日本酒度	酸度	アミノ酸度	カプロン酸エチル(ppm)	粕歩合(%)
AFH10	A01	鉄イオンビーム	CYH	17.1	-6	2.1	2.6	2.3	85.0
CEC33	C	薬剤処理	CER	15.8	-18	2.7	2.3	2.8	90.5
FFC6	F	鉄イオンビーム	CER	17.1	-9	2.1	2.6	3.4	85.3
FOC4	F	未変異	CER	16.6	-12	1.7	2.8	5.1	90.0
対照	-	-	-	18.3	+2.5	2.3	2.5	2.4	73.3

表3 清酒製造試験結果

株	アルコール分	日本酒度	酸度	アミノ酸度	カプロン酸エチル(ppm)	粕歩合(%)	純アルコール取得(L/白米t)
AFH10	16.55	+0.5	1.5	1.45	0.8	42.3	312
FFC6	16.75	+1.5	1.7	1.4	5.9	44.2	306
FOC4	15.8	+1	1.4	1.6	6.2	49.9	284
対照	17.1	+0.5	1.9	1.05	1.9	43.0	312

6 実地試験

県内酒造工場において、FFC6株を使用した実地試験を行った（総米300～600kg，精米歩合50～60%，純米酒あるいは純米大吟醸酒）。結果の平均値を表4に示す。カプロン酸エチルは多かったが，もろみの最高温度を低め（約11～12℃）にしたためか，もろみ後半で切れが鈍る傾向が見られ，もろみ日数が長くなった。また，アルコールや酒化率も低めで，アミノ酸度は高かった。これらについては今後，製造方法などを検討して改善する必要があると思われる。

官能的には，香り高く華やかな特徴がはっきり現れた。

7 おわりに

試験製造の4種類の日本酒を理研でも試飲した。清酒酵母の違いでこんなに日本酒が変わるのかと驚きの声が上がった。56名にアンケートした結果，AFH10株とFFC6株の人气が高かった。FFC6株は最終候補に残り実地試験をしているので，これは！と閃いた。理研には1919年に鈴木梅太郎博士は米を使わず防腐剤の要らない合成酒「理研酒」の製造研究に着手し，1923年に工場規模で製造されるようになったという歴史がある。理研酒は今なお健在で，「利久」ブランド（リキュールから命名，1928年から理研ベンチャー「理研化学興業」が販売していた）はアサヒビールが販売している。米不足解消，食糧危機の回避が目的で理研酒を開発したというその時代の主旨には反してしまうが，平成の理研では，埼玉県と「清酒理

研酒」プロジェクトを立ち上げた。広報室が中心となって，実地試験にご協力頂いた酒蔵と交渉を重ね，3社から理研オリジナルブランド「仁科誉」として販売が決定した（図1）。



図1 清酒「仁科誉」

このFFC6株は，埼玉G酵母として実用化し，平成24年1月現在では8社に使用実績が増加した。埼玉G酵母は，低温ではもろみ日数が伸び，清酒のアミノ酸度が大きくなる傾向がある。比較的高めの温度で速やかなもろみの熟成を図ることで，よりスッキリした綺麗な吟醸酒になると期待できる。一方，AFH10株は一般酒用「埼玉H酵母」として，1社により実地試験が行われた。清酒らしい味わいで，すっきりとした香味が期待できる。埼玉県としては今後も地元のニーズに答えるべく，清酒酵母を初めとした酒類に関する研究，開発を続けていく。

重イオンビーム育種技術は，植物での実用化が先行しているが，微生物にも応用範囲が広が

表4 実地試験結果

アルコール分	日本酒度	酸度	アミノ酸度	カプロン酸エチル (ppm)	粕歩合(%)	純アルコール取得 (L/白米t)	もろみ日数 (日)
17.05	+2.5	1.35	1.75	11.7	51.6	317	38

った。理研では更なる変異誘発の高度化を目指して、生物学研究に提供できる飛程の長い重イオンビームの核種やエネルギー領域を増大するため、使用できる加速器数を増やす予定である。

参考文献

- 1) 鶴菌大ら (2005), 埼玉県産業技術総合センター研究報告, 3, 81-83
- 2) 横堀正敏ら (2006), 埼玉県産業技術総合センター研究報告, 4, 59-61
- 3) 横堀正敏ら (2007), 埼玉県産業技術総合センター研究報告, 5, 58-61
- 4) 横堀正敏ら (2008), 埼玉県産業技術総合センター研究報告, 6, 55-59
- 5) 横堀正敏ら (2009), 埼玉県産業技術総合センター研究報告, 7, 51-55
- 6) 阿部知子(2003), <http://www.rada.or.jp/database/home4/normal/ht-docs/member/synopsis/020222.html>, 放射線利用技術データベース
- 7) 阿部知子ら (2002), ブレインテクノニュース, 90, 14-17
- 8) Ichida H.et.al. (2008) ,*Mutation Res.*, 639, 101-107
- 9) 市川英治 (1993), 日本醸造協会誌, 88 (2), 101-105
- 10) 吉田清ら (1993), 日本醸造協会誌, 88 (8), 645-647

◀ 文献情報 ▶

L-carnitine による体外成熟培養中の脂質代謝の亢進は、ブタ卵子の核成熟と卵割率を向上させる

Enhancement of lipid metabolism with L-carnitine during in vitro maturation improves nuclear maturation and cleavage ability of follicular porcine oocytes.

Tamas Somfai^a, Masahiro Kaneda^a, Satoshi Akagi^a, Shinya Watanabe^a, Seiki Haraguchi^a, Eiji Mizutani^a, Thanh Quang Dang-Nguyen^b, Masaya Geshi^a, Kazuhiro Kikuchi^c and Takashi Nagai^a

^aNational Institute of Livestock and Grassland Science, National Agriculture and Food Research Organisation.

^bGraduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba. ^cNational Institute of Agrobiological Sciences.

Reproduction, Fertility and Development, 23, 912–920 (2011)

哺乳動物の卵子・胚において、細胞質内の脂質はミトコンドリアにおける ATP 産生のためのエネルギー源として重要である。他の動物に比べ、ブタ卵子は細胞質内に多量の脂質を脂肪滴として含んでおり、成熟過程において脂質代謝が重要であることが知られている。しかしながら、成熟培養中の脂質代謝亢進処理が成熟率や胚発生に及ぼす影響は、これまで報告されていない。本研究の目的は、脂質代謝とミトコンドリア活性の促進作用を持つ L-carnitine の体外成熟培地への添加が、ブタ未成熟卵子の核の成熟率、受精率および胚盤胞期への発生率に及ぼす影響をあきらかにすることである。同時に、ミトコンドリア機能、細胞質内脂質含量、活性酸素種 (ROS) レベルも測定された。体外成熟

培地への 0.6–5 mg/mL の L-carnitine 添加は、無添加の対照区に比べて有意に成熟率 (減数分裂第 2 分裂中期への発生率) を高めた。しかしながら、受精率および単精子侵入率には、影響を与えなかった。体外成熟培地への L-carnitine 添加は、卵割率を有意に高めたが、胚盤胞期への発生率には影響を及ぼさなかった。また、無添加の対照区に比べて、L-carnitine 処理卵子の活性型ミトコンドリアの密度は高く、脂肪滴の密度は低かった。さらに L-carnitine 処理卵子の ROS レベルは、無添加の対照区よりも有意に低かった。以上、L-carnitine によるミトコンドリア機能の亢進により成熟率や卵割率が高まったことは、ブタ卵子の核および細胞質成熟に対する脂質代謝の重要性を示すものである。

ブタにおいても、卵子・胚の培養技術の進歩により、体外成熟・受精・培養により胚盤胞期胚が得られるようになってきているが、いまだ、胚盤胞期への発生率や胚の品質の低さが大きな問題となっている。成熟卵子の細胞質成熟が、その後の発生能に大きな影響を与えることが知られており、体外成熟卵子の品質をいかに体内成熟卵子に近づけるかが、大きな課題となっている。本報告において、脂質代謝が卵子の成熟率や卵割率に影響を与えることが明らかとなり、体外成熟卵子の品質向上のひとつの切り口になる可能性が考えられる。また、ブタ卵子・胚は、超低温保存が他の動物種に比べて難しく、その原因のひとつとして脂質含量が高いことが考えられており、L-carnitine による脂質含量の低下が、超低温保存後の生存性に及ぼす影響が気になる場所である。他の動物種における L-carnitine の効果の検討等、今後の研究の進展が期待される。

(抄訳：下司雅也, GESHI Masaya, 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所)

◀ 文献情報 ▶

ケシ科自家不和合性の花粉側認識因子Prpsはシロイヌナズナでも機能する

The *Papaver* self-incompatibility pollen *S*-determinant, *PrpS*, functions in *Arabidopsis thaliana*.

B. H. J. de Graaf¹, S. Vatovec¹, J. A. Juarez-Diaz², L. Chai¹, K. Kooblall¹, K. A. Wilkins¹, H. Zou¹, T. Forbes¹, F. C. H. Franklin¹ and V. E. Franklin-Tong¹

¹ School of Biosciences, University of Birmingham, Birmingham, UK

Current biology, 22, 154-159(2011)

多くの顕花植物では、特定の花粉・柱頭タンパク質の結合を用いて、自己・非自己の認識反応を行い、自殖を避ける自家不和合性が存在する。この自家不和合性の自他認識機構は、花粉側・柱頭側認識因子をコードする2つの遺伝子を含む、*S* 複対立遺伝子系により制御されることが明らかとなっている。本論文で使用したケシ科ヒナゲシの自家不和合性は、花粉側の PrpS と呼ばれる膜タンパク質と分泌型の柱頭側因子 PrsS が *S* 遺伝子型特異的に結合することによって花粉内で Ca²⁺の流入が起こる。その後の細胞内シグナル伝達の結果、細胞骨格の変化が起こり、さらにプログラム細胞死が誘発されることにより、自己花粉管は伸長停止することを著者らはすでに報告していた。本論文においては、ケシ科自家不和合性の花粉側因子 *PrpS* をアブラナ科のシロイヌナズナに導入し、表現型の解析を行った。

これまでの研究で自家和合性のシロイヌナズ

ナには、*PrpS*, *PrsS* 同祖遺伝子が存在しないとされている。このシロイヌナズナに PrpS を花粉特異的に発現させ、組換え PrsS を処理しためしべ上に受粉したところ、驚くべきことに花粉管の伸長停止がみられた。さらに、この花粉管伸長停止は *S* 遺伝子型特異的に誘起された。伸長の停止した PrpS 組換えシロイヌナズナの花粉では、ヒナゲシの自家不和合性花粉と同様に凝集したアクチンが形成されていた。また、花粉細胞が細胞死していることを細胞染色によって確認するとともに、ケシ科自家不和合花粉において報告されている DEVDase/caspase-3-like がシロイヌナズナでも同様に機能していることを、阻害剤を用いた実験によって明らかにした。

つまり、1億4000年以上前に分化したとされるケシ科とアブラナ科において、ヒナゲシの自家不和合性機構が自家和合性シロイヌナズナにおいても機能することを明らかにした。著者らはケシ科の自家不和合性反応での細胞内ターゲットは、非常に古くから存在する共通のシグナル伝達経路であると考え、PrpS がアブラナ科のシロイヌナズナ以外の植物種においても機能する可能性があると考えしている。ケシ科の自家不和合性は表現型が非常に強いことが知られており、もしもこれが可能であれば、これまで行われていなかった植物種においても、自家不和合性を用いた効率的な F₁ ハイブリット育種が可能となるかもしれない。

(抄訳：高田美信, TAKADA Yoshinobu, 東北大学大学院 生命科学研究所)

◀ 文献情報 ▶

拮抗的な遺伝子転写産物が新しい生育環境への適応を調節する

Antagonistic gene transcripts regulate adaptation to new growth environments

Bridget L. Baumgartner^a, Matthew R. Bennett^{b,c}, Michael Ferry^a, Tracy L. Johnson^{d,e}, Lev S. Tsimring^d, and Jeff Hasty^{a,d,e}

^aDepartment of Bioengineering, ^dBioCircuits Institute, and ^eMolecular Biology Section, Division of Biological Science, University of California at San Diego, USA; and ^bDepartment of Biochemistry and Cell Biology and ^cInstitute of Biosciences and Bioengineering, Rice University, USA

Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 108(52), 21087-21092 (2011)

細胞は、たえず変化する環境に応答して遺伝子発現パターンを再構成するための複雑な制御ネットワークを進化させてきた。出芽酵母において、グルコース存在下ではグルコース以外の糖を利用する代謝系に関連した遺伝子の発現が抑制され、グルコースが優先的に消費されることが知られているが、このグルコース抑制と呼ばれるメカニズムに加えて、著者らのグループでは、培地中へのグルコース添加によってガラクトース資化の第一段階を触媒する *GAL1* 遺伝子の転写産物が急速に分解を受けることを以前に報告していた。本研究では、ダイナミックに変化する生育環境におけるこの新規調節メカニズムの意義について検討を行った。

まず、著者らは *GAL1* 遺伝子の 5'-UTR 領域がグルコース依存的 mRNA 分解の原因であることを示し、この部分をランダムな塩基配列と置き換えることによりグルコース存在下でも mRNA が分解されにくい株 (ST 株) を作成した。この株は親株と比べてグルコースに対する適応に不利なのではないかと思われたが、グルコースを含む培地での生育にはほとんど差異が

見られなかった。そこで、マイクロ流体チップ上においてガラクトースのみを含む培地とガラクトースとグルコースの両方を含む培地を交互に酵母細胞に与えるシステムを構築し、ダイナミックにグルコース濃度が変化する生育環境を創り出した。この条件において ST 株は親株と比べて著しい増殖遅延を示したことから、ST 株はグルコース濃度変動環境への適応に欠損を示すことが証明された。

この ST 株の増殖遅延の原因を調べたところ、ST 株ではグルコース添加時の G1/S 期進行に遅延が見られることがわかった。グルコースにより誘導される G1 期サイクリン *CLN3* の mRNA 量自体には大きな変化はなかったものの、シヨ糖密度勾配遠心により得られたポリソーム画分に含まれる *CLN3* mRNA 量は ST 株において著しく減少しており、グルコース添加によって引き起こされる *GAL1* mRNA 分解の欠損が *CLN3* mRNA の翻訳阻害につながることを明らかにした。一方、親株において *CLN3* を高発現させると今度はガラクトース培地における Gal1p タンパク質の蓄積量が低下したことから、*GAL1* と *CLN3* の転写産物は互いの翻訳に対して拮抗的に作用するという興味深い結論が得られた。さらに FISH 法による解析の結果、*GAL1* と *CLN3* の mRNA は細胞質内の局所的な領域に共局在していたことから、ダイナミックに変化する生育環境においては両者がリボソームをめぐって競合しており、グルコース添加時における *GAL1* mRNA の選択的分解により、Cln3p を介した細胞周期進行及び増殖が速やかに引き起こされるというモデルが提唱された。

今回の研究から、ダイナミックな生育環境における細胞の適応戦略に関して、グルコース抑制だけでは説明できなかった独自の知見を得ることができた。実験室環境よりもずっと厳しい環境変化にさらされる自然界において、生物は我々が未だに予想もしていないような高度な適応メカニズムを駆使しているのかもしれない。

(抄訳：渡辺大輔, WATANABE Daisuke, 独立行政法人 酒類総合研究所)

編集後記

148号をお届けします。本号では特集として「果樹研究の最前線」を取り上げました。

総説で長谷川美典氏（果樹研究所）に果樹研究最前線についてご執筆戴くとともに、小川一紀氏（果樹研究所）にカンキツの機能性成分に関する最近の研究、金子洋平氏（千葉県農林総合研究センター）らにナシ萎縮病の原因の特定、曾根一純氏（九州沖縄農業研究センター）らに輸送によるイチゴ果実の傷みを大幅に軽減できる包装容器の開発、犬塚博氏（静岡大学）らに果実の硬度の非接触低侵襲測定器について、それぞれご執筆戴きました。

その他の研究情報としては、横堀正敏（埼玉県産業技術総合センター）らに重イオンビーム照射を利用した吟醸酒用の新しい酵母の開発についてご執筆戴きました。

また、本号の文献情報は、下司雅也氏（畜産草地研究所）、高田美信氏（東北大学）、渡辺大輔氏（酒類総合研究所）にご執筆戴きました。

ご多忙な中玉稿をお寄せ戴きました執筆者各位に深甚の謝意を申し上げます。（佐々木記）

本誌著作物の複写利用等について

本誌掲載の論文・記事の複写・転載等を希望される方は、執筆者ならびに生物系特定産業技術研究支援センター（生研センター）の許諾を得て行って下さい。

生研センター 業務のご案内

～研究開発を強力に支援いたします～

提案公募型の委託研究制度

- 民間企業の実用化段階の研究支援なら **民間実用化研究促進事業**
- 技術シーズ開発のための基礎研究や
応用・発展研究及びベンチャー創業を目指すなら **イノベーション創出基礎的研究推進事業**

その他の支援制度

- 「共同研究先のあっせん」、 「遺伝資源配布先のあっせん」 などもお気軽にご相談下さい。

詳細は、生研センター企画部企画第1課までお問い合わせください。

ブレインテクノニュース 第148号

平成23年11月15日発行

発行人 前川 泰一郎

編集人 浅野 将人

発行所 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構

◎生物系特定産業技術研究支援センター（生研センター）

〒331-8537 埼玉県さいたま市北区日進町1-40-2

TEL 048-669-9170 FAX 048-666-9266

e-mail brainki1@ml.affrc.go.jp

URL <http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/>