日本食品保蔵科学会誌

VOL. 35　NO. 3

会　　長　松本　信二　副　会　長　荒井　康雄　小宮山美弘　中村怜之輔
編集委員長　竹中　哲夫
編 集 委 員　青柳　康夫　飯野　久和　泉　　秀実　池戸　重信　稲熊　隆博
上田　悦範　竹永　章生　谷口亜樹子　浜野　光年

＜報　　文＞

強酸性電解水処理による生育期間中のカイワレダイコンの微生物制御に関する研究 ……（115）
／阿部一博・金谷和俊・塩崎修志
草刈真一・岡井康二・島　昭二
片寄政彦・吉田恭一郎・阿知波信夫

シークワシャー果汁の嗜好的・官能的特性に及ぼす搾汁機の影響 ……（121）
／宮城一菜・藤瀬朋子・古賀信幸・和田浩二
矢野昌充・竹中真紀子・五十部誠一郎・太田英明

米飯食味形成に関わる炊飯中の胚乳細胞壁の変化 ……（127）
／辻井良政・清瀬紀子・立田奈緒美
矢口行雄・内野昌孝・髙野克己

＜技術報告＞

山梨県産果樹および野菜作物葉のポリフェノール含量と
DPPHラジカル消去活性 ……（135）
／中川裕子・仲尾玲子・宇井定春

＜総　　説＞

輸出に向けたリンゴ・ナシ大玉果実の生産－形態的多様性研究からの視点－ ……（139）
／江角智也

＜講　　座＞

身近な野菜・果物～その起源から生産・消費まで（8）　栽培イチゴ（Ⅱ） ……（149）
／織田弥三郎

＜文献抄録＞ ……（157）

Food Preservation Science

CONTENTS OF VOL. 35 NO. 3 (2009)

<Article> (Japanese)

Effects of Electrolyzed Acidic Water Treatment on Total Viable Bacterial Counts of Radish Sprouts (*Raphanus sativus* L.) during Cultivation
ABE Kazuhiro, KANAYA Kazutoshi, SHIOZAKI Syhuji, KUSAKARI Shin-ichi, OKAI Yasuji, SHIMA Shoji, KATAYOSE Masahiko, YOSHIDA Kyoichiro and ACHIWA Nobuo ..... (115)

Influence of Extractor Type on Preference and Sensory Characteristics of Shiikuwasha (*Citrus depressa* Hayata) Juice
MIYAGI Kazuna, FUJISE Tomoko, KOGA Nobuyuki, WADA Koji, YANO Masamichi, TAKENAKA Makiko, ISOBE Seiichiro and OHTA Hideaki ..... (121)

Change in The Endospermous Cell Wall of Cooked Rice and Its Effects on The Palatability of Cooked Rice
TSUJII Yoshimasa, KIYOSE Noriko, TATSUDA Naomi, YAGUCHI Yukio, UCHINO Masataka and TAKANO Katsumi ..... (127)

<Technical Report> (Japanese)

Polyphenol Contents and DPPH Radical Scavenging Activities of Leaves of Fruit and Vegetable Crops Grown in Yamanashi Prefecture
NAKAGAWA Yuko, NAKAO Reiko and UI Sadaharu ..... (135)

<Review> (Japanese)

Production of Large-size Apple and Pear Fruit for The Export
ESUMI Tomoya ..... (139)

<Serialization Lecture> (Japanese)

Cultivated Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) (Part II)
ODA Yasaburo ..... (149)

強酸性電解水処理による生育期間中のカイワレダイコンの微生物制御に関する研究

阿部一博[*1§]・金谷和俊[*1†1]・塩崎修志[*1]
草刈真一[*2†2]・岡井康二[*3]・島　昭二[*4]
片寄政彦[*5]・吉田恭一郎[*5]・阿知波信夫[*5]

＊1　大阪府立大学大学院生命環境科学研究科
＊2　大阪府立食とみどりの総合技術センター
＊3　大阪薫英女子短期大学
＊4　大阪女子短期大学
＊5　ホシザキ電機㈱中央研究所

Effects of Electrolyzed Acidic Water Treatment on Total Viable Bacterial Counts of Radish Sprouts (*Raphanus sativus* L.) during Cultivation

Abe Kazuhiro[*1§], Kanaya Kazutoshi[*1†1], Shiozaki Syhuji[*1], Kusakari Shin-ichi[*2†2], Okai Yasuji[*3], Shima Shoji[*4], Katayose Masahiko[*5], Yoshida Kyoichiro[*5] and Achiwa Nobuo[*5]

＊1　*Graduate School of Agriculture and Biological Science, Osaka Prefecture University, 1–1 Gakuen-Cho Naka-ku, Sakai, Osaka　599-8531*
＊2　*Research Institute of Environment, Agricultural and Fisheries, Osaka Prefectural Government, 442 Shyakudo, Habikino, Osaka　583-0862*
＊3　*Osaka Kun-ei Women's Junior College, 1-4-1 Shyojaku, Settu, Osaka　566-8501*
＊4　*Osaka Women's Junior College, 3-8-1 Kasugaoka, Fujiidera, Osaka　583-8558*
＊5　*Specialized Engineering Department, HOSHIZAKI ELECTRIC CO., LTD., 3-16 Minamiyakata, Sakae, Toyoake, Aich　470-1194*

The total viable bacterial counts (TVBC) of radish sprouts (*Raphanus sativus* L.) during cultivation were constant through cultivation, and were in the order root≧seminal leaf>hypocotyl. With foliar spray treatment of electrolyzed acidic water (EAW), an antiseptic effect became more pronounced as frequency of spraying increased. The TVBC of hypocotyl and seminal leaf of radish sprouts decreased at most 1 logCFU/g compared with the control. When EAW was used as a culture of radish sprouts during cultivation or seed disinfection at 20℃, the roots of radish sprouts did not elongate and decayed. The decay of plants was not observed in seed disinfection of EAW at 2℃. However, the longer seeds were dipped in EAW at 2℃, the lower the normal germination rate became. The normal germination rate was high compared with the control when EAW treatment time was less than one hour. In the case where seed disinfection treatment with EAW was performed for a short time at 2℃, the TVBC of cotyledon of radish sprouts decreased slightly. The TVBC of hypocotyl and seminal leaf of radish sprouts decreased approximately 1 logCFU/g compared with the control. The EAW treatment at 0℃ was more effective than that at 2℃ in microbiological control. The apparent condition of radish sprouts treated with EAW was not significantly different from that of the control.

＊1　〒599-8531　大阪府堺市中区学園町1－1
§　連絡先（Corresponding author）E-mail : abe@plant.osakafu-u.ac.jp
＊2　〒583-0862　大阪府羽曳野市尺度442
＊3　〒566-8501　大阪府摂津市正雀1－4－1
＊4　〒583-0026　大阪府藤井寺市春日丘3－8－1
＊5　〒470-1194　愛知県豊明市栄町南館3－16
†1　現在：日本生活協同組合連合会　〒150-8913　東京都渋谷区渋谷3－29－8
†2　現在：大阪府環境農林水産総合研究所

The combination of seed disinfection and foliar spray treatment of EAW reduced bacterial counts compared with the control and distilled water treatment, but there was no synergism of both treatments.

(Received Feb. 21, 2008；Accepted Feb. 2, 2009)

Key words：*electrolyzed acidic water, total viable bacterial counts, radish sprouts, cultivation, foliar spray treatment*
電解水，生菌数，カイワレダイコン，栽培，葉面散布

現在，野菜や果物類は私たちの身近に多くあり，食生活には欠かせないものになっている。こうした野菜や果物類は，熱処理や加工処理などによって手を加えて調理するだけでなく，サラダなどで生食として利用する機会が増えてきている。近年，カット野菜・果実の消費量が増加しており[1),2)]，日本でもスーパーマーケットやコンビニエンスストアで，カット野菜・果物がよくみられるようになってきた。一方，野菜や果物類の表面や組織内部には微生物が存在しており，これらの微生物が腐敗や食中毒の原因になる。特に生食用の野菜類では加熱処理などによる殺菌が困難であり，消費に至るまでの過程において微生物の繁殖が懸念される。最近では食の安全性に対する意識が高まってきていることからも，食品の安全性確保のための研究が必要である。

カイワレダイコン（*Raphanus sativus* L.）のようなカット野菜の一般生菌数は10^3～10^9CFU/g，大腸菌群は10^1～10^7CFU/g，乳酸菌は10^5～10^8CFU/gの範囲[3)]であり，非常に多くの微生物が存在していることがわかる。また，カイワレダイコンの栽培には培養液が用いられることがあるが，培養液で栽培された野菜は土壌で栽培された野菜よりも有意に微生物数が多いという報告もある[4)]。しかし，カイワレダイコンの微生物防除法の研究は少なく，生産段階からの安全性確保のためにも，生育期間中のカイワレダイコンのさらなる詳細な研究が必要である。

そこで，2002年には食品添加物にも指定された強酸性電解水[5)]に注目した。強酸性電解水は殺菌作用のある水で，残留性も低く，実際にファーストフード店での食材の洗浄殺菌や農業生産分野においてなど，幅広い用途で使われている。これは従来の次亜塩素酸ナトリウム水溶液と同等の殺菌効果を示しながら，わずかな有効塩素量で短時間での効果があり，非発癌性である。この強酸性電解水が生育段階での植物の微生物制御においても有効であるかどうかを検討した。

本研究では，生食として利用されることが多いカイワレダイコンの成長に伴う各器官（根，胚軸，子葉）の微生物分布を明らかにするとともに，食品添加物として指定されている強酸性電解水を用いて微生物制御を有効に行うことを目的とした。

実験方法

1．実験材料

本研究では，ダイコンの種子ならびに発芽して子葉が展開したカイワレダイコンを供試材料とした。採種後に処理を行っていない種子を購入し，カイワレダイコンは，プラスチック容器（底辺：18cm×12cm，高さ：15cm）に蒸留水を底面から1cm程度注ぎ，その水面に敷いた紙の上に種子を約1cm間隔で播種し，20℃で栽培した。発芽6日後で6cm，10日後で市販の大きさ約10cmに成長したカイワレダイコンの各器官を実験材料として用いた。

2．強酸性電解水生成と処理方法

強酸性電解水の生成装置はホシザキ電機製ROX－20TAを使用した。強酸性電解水（20℃）は以下の①～③の方法で処理した。

① 葉面散布処理：前述の方法で栽培中のカイワレダイコンの植物体に，発芽6日に1回もしくは2回（6日と7日）に霧吹きで約30mℓの強酸性電解水を葉面散布した。発芽6日後の散布処理を1回処理区，6日と7日の散布処理を2回処理区とした。

② 培養液の置換処理：カイワレダイコン栽培時の培養液を強酸性電解水にして栽培した。その他は前述の栽培方法と同条件とした。

③ 種子消毒処理：カイワレダイコンの種子を処理時間と温度を変えて強酸性電解水に浸漬処理後，前述の方法で栽培した。

3．一般生菌数の測定

（1）実験器具および装置　一般生菌数測定用の標準寒天培地（日水製薬社製）を使用し，慣行法で一般生菌数を測定した。

（2）試料の調製　クリーンベンチ内の滅菌したガラス板上で，カミソリを用いてカイワレダイコンの根と胚軸ならびに子葉を切り分け，一般生菌数を測定した。

（3）培　養　調製した試料を滅菌済みのポリ袋に1g入れ，袋ごとに重量を測定した。試料の9倍量の滅菌水を加えて，ストマッカー(STOMACHER80BIOMASTER，オルガノ㈱製）で60秒間破砕した。破砕後の混濁液を1mℓ採り，滅菌水9mℓを加え，試料を希釈した。この操作を連続的に行い，試料を適宜段階希釈した。希釈後の試料を滅菌シャーレに1mℓずつ注ぎ，滅菌した標準寒天培地を流し込み，固形化するまでクリーンベンチ内に静置

した。その後，30℃で48時間培養し，一般生菌数を測定した。

（４）生育中の強酸性電解水の処理方法

① **培養液の置換処理**：培養液を蒸留水から強酸性電解水に置換して栽培した。

② **種子消毒（20℃－24時間）処理**：20℃の強酸性電解水で24時間浸漬処理した種子を蒸留水を培養液として栽培した。

③ **種子消毒（２℃－24時間）処理**：２℃の強酸性電解水で24時間浸漬処理した種子を蒸留水を培養液として栽培した。

実験結果および考察

１．カイワレダイコンの成長に伴う各器官における一般生菌数の分布

生育期間中（測定は発芽６，８，10日後）　のカイワレダイコンの各器官（根：○，胚軸：□，子葉：△）における一般生菌数の変化を調査し，その結果をFig. 1に示した。それぞれ発芽６日後，８日後，10日後で根と胚軸ならびに子葉について測定したが，生育期間中のカイワレダイコンの一般生菌数は根≧子葉＞胚軸であった。最も一般生菌数が多い根で10^7CFU/ｇ，最も少ない胚軸で10^6CFU/ｇであり，カイワレダイコンの生育期間中における一般生菌数はそれぞれ一定の値で推移し，増加傾向はみられなかった。

発芽当初からカイワレダイコンに微生物が存在することが明らかとなったので，微生物制御を有効に行うには生育初期の段階での処理が必要であると考えられた。

２．強酸性電解水処理による一般生菌の制御

（１）カイワレダイコンにおける一般生菌数に及ぼす強酸性電解水による葉面散布処理の効果　微生物制御を有効に行う方法を検討するために，実際に強酸性電解水を用いてさまざまな実験を行った。最初に，生育したカイワレダイコンの植物体に強酸性電解水の葉面散布処理を行った。強酸性電解水を葉面散布したカイワレダイコンの各器官（胚軸：□，子葉：■）における一般生菌数の変化を調査し，その結果をFig. 2に示した。

強酸性電解水の葉面散布処理は発芽６日（１回処理区）ならびに６日と７日（２回処理区）にし，発芽７日に可食部にあたる胚軸と子葉の生菌数を測定した。カイワレダイコンの両部位の一般生菌数は対照区＞１回処理区＞２回処理区であった。両部位ともに１回処理区では，対照区よりも一般生菌数が１logCFU/ｇ減少し，２回処理区ではさらに効果があり，子葉で10^6CFU/ｇ，胚軸で10^5CFU/ｇにまで減少した。また，生育した植物体の外観は，１回処理区ならびに２回処理区ともに対照区と比べても差異がなく，正常に保たれていた。

これらのことから，収穫前に強酸性電解水の葉面散布を行うだけでも，微生物制御が可能であることが明らかになった。また，栽培中のミツバに葉面散布することで，収穫量を増加することができた[6]という報告もあることから，微生物制御だけでなく収量増加も期待できる可能性がある。

（２）カイワレダイコンの生育に及ぼす強酸性電解水処理の影響　生育中の強酸性電解水の散布は，カイワレダイコンの植物体に葉面散布することで微生物制御ができることを明らかにしたが，一般的には処理の手間やコストなどの問題から生育後の植物体に直接処理するのではなく，体積が小さい生育前での処理が好まれる。そこで，強酸性電解水を生育前の段階（種子）で処理することによって微生物制御が可能であるかを検討した。

強酸性電解水を培養液として栽培した場合ならびに種

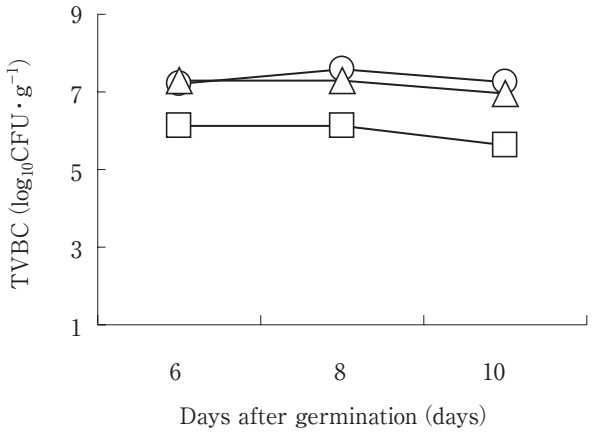

Fig. 1　Change in total viable bacterial counts of radish sprouts during cultivation

Values are means of three replicates and bars represent S. E.
vertical axis：Total viable bacterial counts（$\log_{10}$ CFU・g^{-1}）
horizontal axis：Days after germination（days）
○root, □hypocotyl, △cotyledon

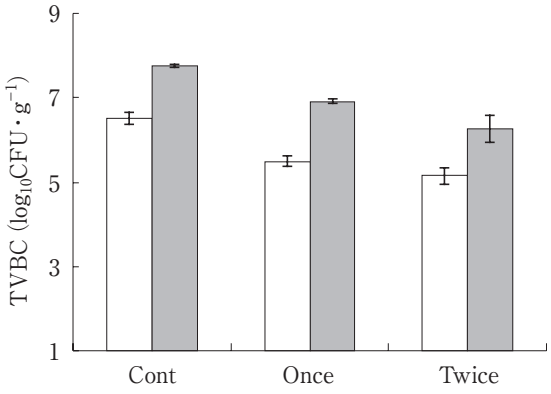

Fig. 2　Effect of foliar spray treatment with electrolyzed acidic water（EAW）on total viable bacterial counts of radish sprouts

Foliar spray of electrolyzed acidic water treated for DAG 6/6+7.
The data of total viable bacterial counts was for DAG 7.
Values are means of three replicates and bars represent S. E.
vertical axis：Total viable bacterial counts（$\log_{10}$ CFU・g^{-1}）
horizontal axis：Each treatment
□hypocotyl　■cotyledon

Table 1　Effect of EAW on growth of radish sprouts

Treatment	Result
① Cultivation with electrolyzed acidic water	No root growth
② Seed disinfection treatment with 20℃ electrolyzed acidic water	No root growth
③ Seed disinfection treatment with 2℃ electrolyzed acidic water	No growth

Cultivation of radish sprout with EAW and seed disinfection treatment with EAW treated at 2℃/20℃ for 24 hours.

子を強酸性電解水処理して栽培したカイワレダイコンの生育状況を調査し，その結果をTable 1 に示した。

①　**培養液の置換処理**：殺菌作用のある強酸性電解水を根から吸収させて，カイワレダイコン自体を殺菌することによって微生物数を減らすために，強酸性電解水を培養液として栽培したが，カイワレダイコンの栽培に使用する培養液を強酸性電解水にすると，根が伸張せずに腐敗し，カビが発生した。これは，強酸性電解水を根から吸収する際に，強酸性電解水の強い刺激によって組織内部が損傷し，うまく水分を吸収できなかったためであると考えられた。

②　**種子消毒（20℃－24時間）処理**：強酸性電解水による種子消毒処理を常温（20℃）で行った場合には，種子を浸漬処理中にすでに発芽して生育が始まっており，生育が進んでもカイワレダイコンがさらに生育阻害を受けて根が伸長せず，カビの発生が見られた。

③　**種子消毒（2℃－24時間）処理**：②より低温である2℃強酸性電解水による種子消毒処理では，種子を浸漬処理中にほとんど発芽しなかったので，腐敗などの現象はみられなかったが，一部個体に生育の遅れや生育不良がみられた。

②と③の結果から，種子を強酸性電解水に浸漬することによる種子消毒処理では，処理温度と処理時間が影響することが示唆された。

（3）カイワレダイコンの正常成長率に及ぼす強酸性電解水による種子消毒の処理時間の影響　生育中に強酸性電解水が長時間接すると生育不良個体がみられた原因には，強酸性電解水での種子消毒の処理時間に関係があるのではないかと考え，腐敗や根の伸長阻害がみられなかった2℃強酸性電解水での種子消毒処理において，処理時間を変えて正常に成長する個体の割合を測定した。

種子を強酸性電解水で浸漬処理（2℃）したカイワレダイコンの正常成長率を調査し，その結果をFig. 3に示した。2の（2）の結果から，測定は発芽6日後時点で行った。

カイワレダイコンの種子を強酸性電解水に0.5，1，2，3，5，7，10，12，15，20，24時間で，それぞれ処理

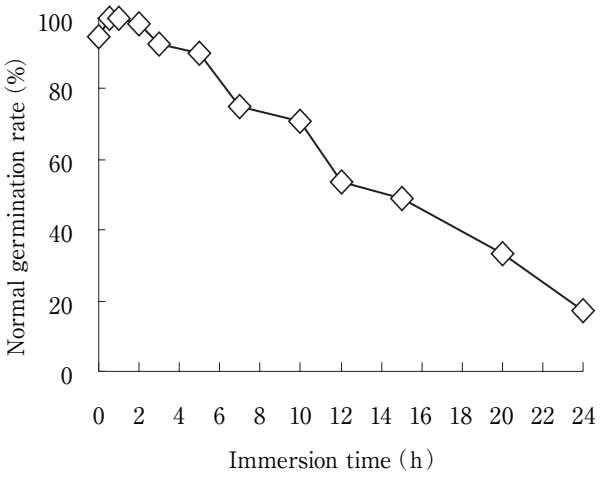

Fig. 3　Effect of seed disinfection treatment with EAW on normal germination rate of radish sprouts

Seed disinfection treatment with EAW at 2℃ for various durations. The data of normal germination rate was for day 6.
vertical axis：Normal germination rate（%）
horizontal axis：Immersion time（h）

時間を変えて消毒処理した種子を播種し，発芽6日後に40個体についての正常発芽率（発芽率）を測定した。

強酸性電解水による種子消毒の処理時間が長くなるにつれて正常に生育する個体数が減り，24時間の処理では17%になった。一方，強酸性電解水による1時間以内の短時間の種子消毒処理区では，正常成長率が100%となり，種子消毒をしなかった0時間の処理区よりも正常成長率が向上した。

これらの結果から，強酸性電解水による種子への短時間の処理では発芽促進作用がある可能性が示唆された。これはミツバの種子消毒処理では，短時間でも通常の種子消毒剤と同等以上の消毒効果が得られるだけでなく，発芽率が高まった[7]という報告と一致する。

3．強酸性電解水による種子消毒処理の影響

（1）カイワレダイコンの一般生菌数に及ぼす強酸性電解水による種子消毒処理の影響　つぎに，カイワレダイコンの正常発芽率において有効だと考えられた強酸性電解水による1時間以内の種子消毒処理を行い，その後生育させたカイワレダイコンの各器官における一般生菌数を調査した。

種子を2℃強酸性電解水に，処理時間（30分か1時間）を変えて浸漬させた後に6日間生育させたカイワレダイコンの各器官（胚軸：□，子葉：■）における一般生菌数の変化を調査し，その結果をFig. 4に示した。両部位ともに対照区＞0.5h区＞1h区となり，種子への強酸性電解水による短時間の処理でも一般生菌数の減少がみられた。特に子葉において処理の効果が顕著に現れ，1時間の処理では対照区と比べて一般生菌数が1 logCFU/g前後減少した。

Fig. 4において，強酸性電解水による種子消毒の処理時間によって一般生菌数に差がみられたことから，処理

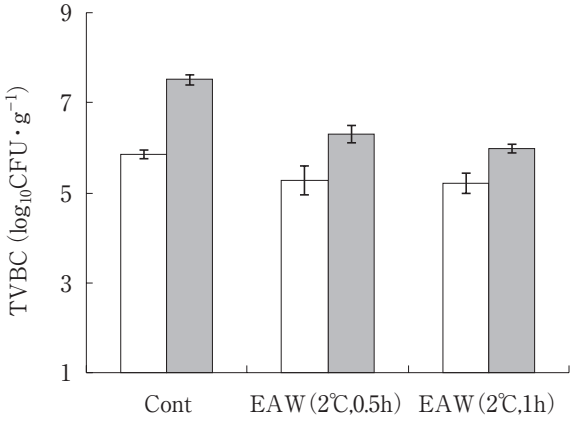

Fig. 4　Effect of time of seed disinfection treatment with EAW on total viable bacterial counts of radish sprouts

Seed disinfection treatment with EAW at 2℃ for 0.5/1 hour. The data of total viable bacterial counts was for DAG 6.
Values are means of three replicates and bars represent S.E.
vertical axis：Total viable bacterial counts ($\log_{10}$ CFU・g^{-1})
horizontal axis：Treatment
□hypocotyl　■cotyledon

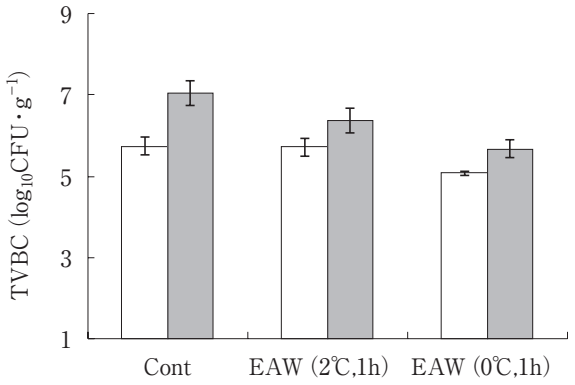

Fig. 5　Effect of temperature of seed disinfection treatment with EAW on total viable bacterial counts of radish sprout

Seed disinfection treatment with 0/2℃ EAW treated for 1 hour. The data of total viable bacterial counts was on DAG 6.
Values are means of three replicates and bars represent S.E.
vertical axis：Total viable bacterial counts ($\log_{10}$ CFU・g^{-1})
horizontal axis：Treatment
□hypocotyl　■cotyledon

温度によっても殺菌効果を高められるのではないかと考えられたので，強酸性電解水による種子消毒の処理温度を変えて実験を行った。処理区に関しては，２℃もしくは０℃の強酸性電解水処理区を設けた。処理温度を変えて，種子を強酸性電解水に１時間浸漬させた後に生育させたカイワレダイコンの各器官における一般生菌数の変化を発芽６日に調査し，その結果をFig５に示した。Fig.5の結果から，子葉の一般生菌数は，対照区＞２℃強酸性電解水区＞０℃強酸性電解水区であった。

０℃強酸性電解水による種子消毒処理では，２℃強酸性電解水による種子消毒処理よりも，一般生菌数の減少が顕著だった。また，処理後，生育した植物体の外観は，２℃区ならびに０℃区ともに対照区と比べても差異がなく正常に保たれていた。強酸性電解水による種子消毒を行うときの温度が低い方が，微生物制御を効果的に行うことを明らかにした。

通常，微生物は水中でも増えるが，０℃では微生物の活動や増殖が制御されていており，０℃強酸性電解水処理では，種子が発芽が抑制されると共に殺菌を行いながら同時に微生物の活動を抑えることが可能なために，生菌数を減らすことができたものと思われる。

（２）カイワレダイコンの種子における一般生菌数に及ぼす強酸性電解水による種子消毒処理の影響　強酸性電解水による種子消毒処理をすることによって，生育後のカイワレダイコンの一般生菌数を制御できることが分かったが，実際にカイワレダイコンの種子においてはどの程度一般生菌数を制御ができているのかということを明らかにするために，カイワレダイコンの種子における一般生菌数の調査を行った。この実験ではカイワレダイコンの植物体における一般生菌数の制御に関して有効であると考えられた０℃－１時間の強酸性電解水による種子消毒処理を行い，同条件の蒸留水処理および無処理の対照区との比較実験を行った。

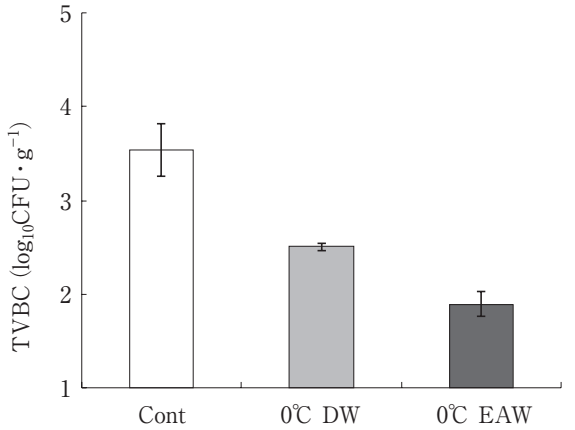

Fig. 6　Effect of seed disinfection treatment with EAW on total viable bacterial counts of seed of radish sprouts

Each treatment of seed disinfection performed for 1 hour.
Values are means of three replicates and bars represent S.E.
vertical axis：Total viable bacterial counts ($\log_{10}$ CFU・g^{-1})
horizontal axis：Treatment（0℃）
□control　■distilled water（DW）　■EWA

種子を強酸性電解水処理もしくは蒸留水処理した直後のカイワレダイコンの種子における一般生菌数の変化を調査し，その結果をFig.6に示した。Fig.6の結果より，対照区＞蒸留水区＞強酸性電解水区であった。対照区のカイワレダイコンの種子における一般生菌数は10^4CFU/ｇで，蒸留水区は10^3CFU/ｇあったが，強酸性電解水区では10^2CFU/ｇであった。種子表面に存在する微生物は，蒸留水によっても多少洗浄が可能であるが，微生物制御

の効果は強酸性電解水による処理で著しかった。生育前に種子を強酸性電解水で処理することによって，生育後のカイワレダイコンの各器官における一般生菌数も制御できたことから，強酸性電解水による種子消毒処理の洗浄ならびに殺菌効果はきわめて高いことが明らかになった。

4．カイワレダイコンにおける一般生菌数に及ぼす強酸性電解水による種子消毒処理ならびに葉面散布処理の影響

つぎに，種子消毒処理ならびに葉面散布処理の相乗効果を検証するために，これまでの実験で有効であると考えられた0℃－1時間の種子消毒処理ならびに生育中の2回の葉面散布処理を行った。

種子を強酸性電解水処理ならびに生育後の植物体に強酸性電解水を葉面散布処理したカイワレダイコンの各器官（胚軸：□，子葉：■）における一般生菌数の変化を調査し，その結果をFig. 7に示した。カイワレダイコンの種子を0℃の蒸留水および強酸性電解水に1時間浸漬処理後に播種し，発芽6日と7日後にそれぞれ蒸留水および強酸性電解水を葉面散布処理した。カイワレダイコンの植物体において，可食部にあたる胚軸と子葉について発芽7日後に生菌数を測定した。

蒸留水区では，一般生菌数は胚軸で10^6CFU/g，子葉で10^7CFU/gであり，対照区と比べて両部位ともに一般生菌数にあまり差はみられなかった。一方，強酸性電解水区では，一般生菌数が胚軸で10^5CFU/g，子葉で10^6CFU/gであり，対照区および蒸留水区よりも一般生菌数を効果的に減らすことができた。しかし，強酸性電解水による種子消毒処理ならびに葉面散布処理の併用は，単独処理の場合と比べて，両部位ともに一般生菌数にあまり差がみられず，種子消毒処理と葉面散布処理の相乗効果は得られなかった。

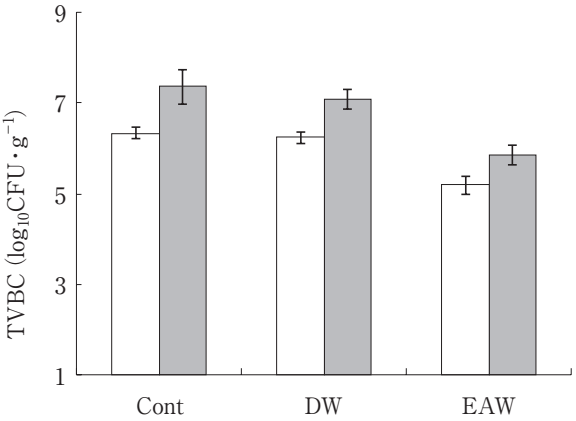

Fig. 7　Effect of seed disinfection and foliar spray treatments with EAW on total viable bacterial counts of radish sprouts

Each treatment of seed disinfection（0℃）performed for 1 hour. Foliar spray treatment for DAG 6+7. The data of total viable bacterial counts was for DAG 7.
Values are means of three replicates and bars represent S.E.
vertical axis：Total viable bacterial counts (log_{10} CFU・g^{-1})
horizontal axis：Treatment
□hypocotyl　■cotyledon

このことから，実際の栽培の現場で処理を行うのであれば，処理面積や処理時間におけるコストや手軽さなどの面を考慮すると，強酸性電解水による種子消毒処理が最も有効であると考えられる。

要　約

生育期間中のカイワレダイコンの一般生菌数は根≧子葉＞胚軸で，各器官それぞれ一定の値で推移し，増加傾向はみられなかった。強酸性電解水による葉面散布処理では，処理頻度が多くなるにつれて殺菌効果が高まり，カイワレダイコンの胚軸ならびに子葉の一般生菌数が対照区よりも最大で1 logCFU/g減少した。

強酸性電解水を栽培時の培養液に使用した場合ならびに20℃強酸性電解水での種子消毒処理ではカイワレダイコンの根が伸長せずに腐敗し，カビが発生した。2℃強酸性電解水による種子消毒処理では，腐敗などの現象はみられなかったが，種子消毒の処理時間が長くなるにつれて正常に生育する個体数が減少した。一方，2℃強酸性電解水による1時間以内の短時間の種子消毒処理では無処理の場合と比べて正常に生育する個体数が多かった。さらに，2℃強酸性電解水による短時間の種子消毒処理では，カイワレダイコンの種子の一般生菌数を減らし，その後生育させたカイワレダイコンの子葉の一般生菌数を対照区よりも1 logCFU/g前後減少させたが，低温の強酸性電解水による種子消毒処理では殺菌効果がさらに高まった。また，強酸性電解水処理を行ったカイワレダイコンの外観は対照区と比べて特に変化はなかった。一方，強酸性電解水による種子消毒処理ならびに葉面散布処理の相乗効果はみられなかった。

文　献

1）阿部一博：ジャパンフードサイエンス，**33**，38（1994）
2）藤枝洋二：カット野菜実務ハンドブック（サイエンスフォーラム，東京），p. 19（2002）
3）泉　秀実：カット野菜の微生物学的品質と微生物制御，日食科工誌，**52**，197～206（2005）
4）上田成子・桑原祥浩：生食用野菜の細菌学的研究，防菌防黴誌，**26**，673～678（1998）
5）厚生労働省告示第212（2002）
6）阿知波信夫：電解水の利用による食品素材の品質向上と微生物的安全性確保に関する研究，日食保蔵誌，**32**，91～99（2006）
7）ACHIWA, N. and ABE, K.: The application of electrolyzed water as an alternative agricultural material and seed disinfectant, *J. Japan Soc. Agr. Technol. Manage.*, **10**, 107（2003）

（平成20年2月21日受付，平成21年2月2日受理）

シークワシャー果汁の嗜好的・官能的特性に及ぼす搾汁機の影響

宮城一菜[*1]・藤瀬朋子[*1]・古賀信幸[*1]・和田浩二[*2]
矢野昌充[*3]・竹中真紀子[*4]・五十部誠一郎[*4]・太田英明[*1]

＊1　中村学園大学大学院栄養科学研究科
＊2　琉球大学農学部
＊3　㈱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
＊4　㈱農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所

Influence of Extractor Type on Preference and Sensory Characteristics of Shiikuwasha (*Citrus depressa* Hayata) Juice

MIYAGI Kazuna[*1], FUJISE Tomoko[*1], KOGA Nobuyuki[*1], WADA Koji[*2], YANO Masamichi[*3], TAKENAKA Makiko[*4], ISOBE Seiichiro[*4] and OHTA Hideaki[*1]

＊1　*Department of Nutritional Sciences, Nakamura GakuenUniversity, 5-7-1 Befu, Jyonan-ku, Fukuoka　814-0198*
＊2　*Faculty of Agriculture, University of the Ryukyu, 1Senbaru, Nishihara-cho, Okinawa　903-0213*
＊3　*National Agriculture and Food Research Organization, Bio-oriented Technology Research Advancement Institution, 3-18-19 Minato-ku, Toranomon, Tokyo　105-0001*
＊4　*National Agriculture and Food Research Organization, National Food Research Institute, 2-1-12, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki　305-8642*

Sensory evaluation was performed on Shiikuwasha (*Citrus depressa* Hayata) juice produced using three types of extractor, namely, a belt-press extractor, a centrifugal extractor and a screw-press extractor, and the chemical properties of the juice were examined. Juice yield was highest with the screw-press extractor. In terms of the chemical properties of the juice, including soluble solid content, titratable acidity, ascorbic acid content, ash content, recoverable oil content, pulp content and color value, the juice produced using the screw-press extractor had the best values. Regarding the color value, the juice produced using the screw-press extractor had a high L^* value and b^* value, showing a yellow color. However, in terms of sensory evaluation, the juice produced by the screw-press extractor was evaluated to be unsuitable for drinking. The juice produced using the centrifugal extractor had the highest score in terms of overall sensory evaluation items, followed by the juice produced using the belt-press extractor and the juice produced using the screw-press extractor.

(Received Sep. 11, 2008；Accepted Jan. 22, 2009)

Key words：*Shiikuwasha* (*Citrus depressa* Hayata), *belt-press extractor, centrifugal extractor, screw-press extractor, sensory characteristics*
シークワシャー，ベルトプレス搾汁機，遠心分離搾汁機，スクリュープレス搾汁機，官能的特性

シークワシャー（*Citrus depressa* Hayata）は別名をヒラミレモンと言われ，タチバナと並ぶ日本カンキツの原種の一つである。シークワシャーは南西諸島から台湾の山地に分布している。沖縄では大宜味村や名護市屋部，勝山，伊豆味などの本島北部地域で栽培されている特産カンキツである。耐寒性はあまり強くないが，乾湿の変化や暑さに対する抵抗力は非常に強い。果実は直径3～4㎝，重量25ｇ前後である。酸味が強く，沖縄では古く

＊1　〒814-0198　福岡県福岡市城南区別府5－7－1
§　連絡先（Corresponding author）E-mail：s06d102@nakamura-u.ac.jp
＊2　〒902-0213　沖縄県中頭郡西原町字千原1番地
＊3　〒105-0001　東京都港区虎ノ門3-18-19
＊4　〒305-8642　茨城県つくば市観音台2－1－12

から芭蕉布の洗濯に使われたほか，スダチ，カボスのような料理用カンキツとしての需要，生食などの用途があり，現在はそのほとんどが果汁飲料として加工されている。

最近カンキツ類の中でも，シークワシャーの果実や葉に機能性成分であるノビレチンが多く含まれていることが明らかにされている[1),2)]。ノビレチンはポリメトキシフラボン類（以下：PMF）の一つで，活性酸素産生抑制による酸化ストレスの緩和作用[3)]，誘導型シクロオキシゲナーゼ誘導抑制による炎症緩和作用[4)]，さらには紫外線照射での炎症に関与するプロスタグランジンE２産生の抑制効果[5),6)]，老化関連疾患の原因の一つであるマトリックスメタロプロテアーゼ産生の抑制効果[7),8)]の報告があり，疾病予防・改善効果が期待される成分である。

現在，健康食品の一つとしてシークワシャー果実およびその加工品に対する需要が急速に拡大している。しかしながらシークワシャー果汁には，有用成分を豊富に含有する健康食品としてみても，強い苦味と酸味から，嗜好上，大変飲みにくく，品質の改善が強く求められている。このような現状で，シークワシャー果汁の嗜好性を中心とした研究はほとんど見当たらない。

本研究では，３種類の搾汁機によって製造したシークワシャー果汁を用い，搾汁時期および搾汁機から得られた果汁の嗜好的特性について調査した。

実 験 方 法

１．試　　料

シークワシャー果実（クガニ系統）は，沖縄県の名護市勝山同一圃場で2005年11月４日および12月５日に収穫し，洗浄した果実を用いた（果実重量11月18.0～22.0ｇ，12月30.0～33.0ｇ）。

２．実 験 方 法

（１）搾汁機およびサンプリング　本実験に用いた搾汁機はベルトプレス搾汁機，遠心分離搾汁機，スクリュープレス搾汁機（Fig. 1）であり，機械の概要，搾汁に使用したシークワシャー果実総量および果汁サンプリング条件は，前報[9)]と同様の方法を用いて行った。

（２）分析項目

①　**一般成分分析**：果汁成分の分析はJAS規格[10)]に準じ，次の項目について行った。

可溶性固形物；20℃における屈折示度をMilton Roy製屈折計を用いて測定，Brixとして表示した。

酸度，ビタミンC，および灰分；JASに定める分析法[10)]に準拠した。

②　**特殊分析法**

パルプ含量；果汁を3,000 rpm，10分間遠心分離して得られた沈殿物の果汁に対する容積比から算出した。

果汁の測色；ハンター式測色計は日本電色工業製SZ-Σ90を用いて，反射光にてL*，a*，b*値を求めた。

回収油；果汁25 mℓにイソプロピルアルコール25 mℓを添加した溶液を蒸留し，その留出液をメチルオレンジを指示薬としてブロム酸標準液で滴定し，*d*-limoneneとして百分率で表した[11)]。

③　**官能評価**：パネリストとして，酸味の強いシークワシャー果汁についての官能評価経験の多い研究員20名の協力を得た。室温（25℃）に保持した果汁試料６種類（11月，12月収穫の試料，搾汁機：ベルトプレス搾汁果汁，遠心分離搾汁果汁およびスクリュープレス搾汁果汁）を50mℓ容透明ガラス製カップに20mℓずつ注ぎ，酸味，甘味，苦味，風味，後味，総合評価の６項目について評価した。官能評価に供する試料の順番は無作為，試料名はP～Uとした。試料の提示は，11月の試料３種類から検査を行い，時間をおいた後12月の試料３種類を提示した。評価方法は７段階嗜好尺度法[12)]を用い，普通を０とし，－３～－１：非常に悪い（嫌い）～やや悪い（嫌い），１～３：やや良い（好き）～非常に良い（好き），とした。

（３）統計的手法　官能評価データの解析には，分散分析法を用いた。本研究では，統計処理ソフトとして，SSRI製の「統計解析アドインソフト　エクセル統計2004」を使用した。また，特定の２試料間の有意差検定は，Newell & MacFarlaneの検定表[12)]を用いた。

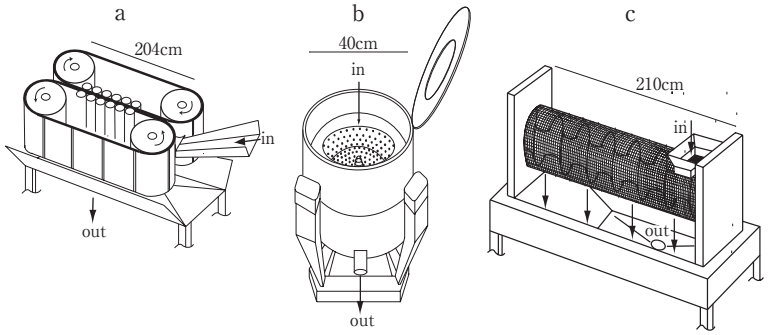

Fig. 1　Schematic drawings of belt-press, centrifugal and screw-press extractors

a：Belt-press extractor，b：Centrifugal extractor，c：Screw-press extractor.

実験結果および考察

1．果汁の一般成分

ベルトプレス搾汁機，遠心分離搾汁機およびスクリュープレス搾汁機で，それぞれのシークワシャー果汁を搾汁し，各果汁について一般成分を分析し，結果をTable 1に要約した。

上記搾汁機の差は，酸度とビタミンC含量にみられた。すなわち，酸度では11月と12月では11月の酸度が高く，なかでもスクリュープレス搾汁機で搾汁した果汁が6.0％と最も高かった。この値は他の2機の搾汁区に比較して約5.0～10.0％程高い値を示し，酸度が極めて高い果汁であった。今回供試したベルトプレス搾汁機と遠心分離搾汁機で搾汁した果汁の酸度は，それぞれ11月5.7％，5.5％，12月3.5％，3.2％と2機間の差は11月で0.2％，12月で0.3％であった。

ビタミンCでは，スクリュープレス搾汁機で搾汁した果汁が11月で11.8 mgと12月で19.5 mgと最も高く，次いでベルトプレス搾汁機で搾汁した果汁ではそれぞれ9.2 mgと17.7 mg，遠心分離搾汁機で搾汁した果汁ではそれぞれ8.0 mgと11.3 mgの順となった。月別で比較すると，各搾汁区とも11月の果汁よりも12月の果汁でビタミンC含量が高かった。東野ら[13]は温州みかんの果実発育過程（7～11月）におけるビタミンC含量変化を調査しており，温州みかん中のビタミンC含量は9月以降増加傾向がみられたと報告している。本研究のシークワシャーに関しても，12月の果汁でビタミンC含量が多いことから，この報告と同様と思われた。また，温州みかんで報告[14),15)]されているように，ビタミンCは果皮のほうが果肉より多く含まれているため，本研究で用いた全果搾汁方式による3種類の果汁は，果肉のビタミンCに加えて果皮に由来するビタミンCも含まれていると推察される。さらに，スクリュープレス搾汁機で搾汁した果汁中のビタミンC含量が最も高い値を示したのは，果実を押し潰す力（搾汁圧力）が強いためビタミンC含量が多くなったと考えられた。搾汁圧力に関しては，酸度もビタミンCと同様の傾向がみられ，搾汁圧力が高い搾汁機で搾った果汁のほうが酸度が高かった。

2．果汁の特殊成分

各果汁試料の回収油，パルプ含量，色調の測定結果をTable 2に記載した。

回収油は12月のスクリュープレス搾汁機で搾汁した果汁が最も高く，0.329％であった。この値は温州みかんをインライン搾汁機で搾汁した際に混入してくる果皮油などの値の約35～45倍にも及ぶ[16)]。スクリュープレス搾汁機では，果実を搾る前段階で，カッターである程度果

Table 1　Analytical data of Shiikuwasha juice extracted using three types of extractor for Shiikuwasha harvested in November and December

Sample		Soluble solid (Brix)	Titratable acidity (%)	Brix/acid ratio	Ascorbic acid (mg/100mℓ)	Ash (%)
Nov.	B.p.	10.8±0.1	5.7±0.1	1.9	9.2±0.2	1.7±0.1
	C.t.	10.9±0.1	5.5±0.2	2.0	8.0±0.2	1.4±0.2
	S.p.	10.6±0.1	6.0±0.3	1.8	11.8±0.1	0.7±0.1
Dec.	B.p.	11.6±0.1	3.5±0.1	3.3	17.7±0.5	1.0±0.1
	C.t.	11.5±0.2	3.2±0.1	3.6	11.3±0.4	0.5±0.7
	S.p.	11.7±0.1	3.8±0.2	3.0	19.5±0.2	0.5±0.1

mean±S.D.（n＝3）
B. p.: Belt-press extractor, C. t.: Centrifugal extractor, S. p.: Screw-press extractor
The data show means±S.D. for three replications.

Table 2　Recoverable oil content, pulp volume and color value of Shiikuwasha juice extracted using three types of extractor

Sample		Recoverable oil (%)	Pulp (%)	Color value L*	a*	b*
Nov.	B.p.	0.104	0.2	46.3	−7.1	25.0
	C.t.	0.019	1.2	45.0	−5.7	23.3
	S.p.	0.291	2.7	60.8	−6.1	31.1
Dec.	B.p.	0.213	0.8	46.2	−6.3	26.0
	C.t.	0.055	3.0	37.8	−5.0	17.9
	S.p.	0.329	5.8	58.4	−5.8	31.1

Abbreviations are the same as in Table1.

実を粉砕後，スクリューで搾るため，果汁中に移行する果皮油が温州みかんに比べて高くなったことに由来すると思われる。また，次に高い値を示した12月のベルトプレス搾汁機では0.213％であった。ベルトプレス搾汁機では時間的に長い圧搾搾汁処理が行われるために果皮油胞の破壊が順次進行し，その結果，果汁への果皮油の混入が増大すると推測される。

パルプ含量は，スクリュープレス搾汁機で搾汁した果汁では11月2.7％，12月5.8％であるのに対し，遠心分離搾汁機で搾汁した果汁では11月1.2％，12月3.0％，ベルトプレス搾汁機で搾汁した果汁では11月0.2％，12月0.8％と低い値を示した。また各搾汁区とも，パルプ含量は11月の値に比較して，12月では約25.0～45.0％増加していた。このことは，果実の成熟によって果実軟化が進み，砂じょう膜，じょうのう膜が搾汁過程でより破壊しやすくなっており，さらに，ペクチンの低分子化が起こったことに起因すると考えられる。

果汁の色調では，L*値（明度）とb*値（黄色度）の値はスクリュープレス搾汁機で搾汁した果汁で最も高く，次いでベルトプレス搾汁機で搾汁した果汁，遠心分離搾汁機で搾汁した果汁の順であった。これは回収油（精油）とパルプ含量に関係しており，回収油とパルプ含量が多くなると明度および黄色度が上昇することによるものと推測される。すなわち，温州みかん果汁では精油含量とパルプ含量が多いものほど，L*値およびb*値が高く，a*値が低くなることが示されている[17),18)]。特にb*値の上昇は，ビン詰め果汁で報告されているように，精油がパルプ層のカロチノイドの抽出を促進し，上澄部のカロチノイド濃度を高める効果に基づくものと推察されている[19)]。本研究のシークワシャー果汁の場合でも，精油含量が多い果汁ほどL*値とb*値が高い傾向にあり，同様の現象が生じていると思われた。

3．官能評価

11月，12月に採取したシークワシャー果実を3種類の搾汁機（ベルトプレス搾汁機，遠心分離搾汁機，スクリュープレス搾汁機）によって搾汁した果汁について，酸味，甘味，苦味，風味，後味，総合評価の6項目を調査し，Table 3に各果汁試料の平均評価値と有意差の有無を示した。

パネリストには「健康飲料としてのシークワシャージュース」という名目で果汁試料6種類を評価させた。

11月と12月の果汁の比較では，12月の果汁で糖度が5.5～10.4％増加し，他方，酸度は36.7～41.8％減少した。これに伴い，官能的評価のうち総合評価は11月の果汁に比較して12月で上昇した。また，各評価項目では，3種類の搾汁機間に両月とも危険率5％または1％で有意差が認められた。

各項目ごとに観察すると，酸味の評価値は11月のベルトプレス搾汁機で搾汁した果汁－1.60が最も低かった。酸度は高いほうからスクリュープレス搾汁区，ベルトプレス搾汁区，遠心分離搾汁区の順であったが，酸度の評価値では，遠心分離搾汁区，スクリュープレス搾汁区，ベルトプレス搾汁区の順で評価が高く，酸濃度の高さと嗜好評価は一致していなかった。

甘味の評価値は12月の果汁で高く，その中でも遠心分離搾汁機で搾汁した果汁が0.85と最も高かった。11月の果汁の甘味評価値が低いのは，その強い酸味に甘味がマスクされていたのではないかと推定される。今回供試したシークワシャー果汁の糖酸比は11月1.8～2.0，12月3.0～3.6であり，その値は他の果実飲料に比較しても低く，高酸味のレモン果汁（1.3）[11)]，ライム果汁（1.7）[11)]，ウメの果汁（1.7）[11)]の糖酸比と近似していた。

苦味の評価値は11月のスクリュープレス搾汁機で搾汁した果汁で－2.10とすべての調査項目の中で最も低い値を示した。苦味の原因であるカンキツ果汁の苦味成分には，ナリンギンなどのフラボノイド類と，リモニンおよびノミリンなどのリモノイド類があり，これらの成分はフラベド，じょうのう膜および種子に局在していると福谷ら[20)]が報告している。苦味成分の溶出は搾汁圧力と密接な関係があり，圧力が低いほど苦味成分含量の少ない果汁を得ることができたと述べている。本研究ではスクリュープレス搾汁機で搾汁した果汁が最も苦かった。こ

Table 3　Sensory evaluation of Shiikuwasha juice produced using three types of extractor

Nov. Evaluation Criteria	Extractors B. p.	C. t.	S. p.	Dec. Evaluation criteria	Extractors B. p.	C. t.	S. p.
Sour taste	-1.60^{a}	$-0.40^{b\,c}$	-1.25^{d}	Sour taste	-0.65^{b}	0.40^{c}	-0.50^{b}
Sweet taste	-1.20^{a}	0.05^{b}	-1.25^{a}	Sweet taste	-0.05^{a}	0.85^{b}	-0.25^{a}
Bitter taste	-1.45^{a}	0^{b}	-2.10^{a}	Bitter taste	$-0.70^{a\,c}$	$0.20^{a\,d}$	-1.85^{b}
Odor	-0.15^{a}	$0.75^{b\,c}$	-0.05^{d}	Odor	0.05^{a}	1.05^{b}	0^{a}
After taste	-1.30^{a}	0.05^{b}	-1.75^{a}	After taste	-0.50^{c}	$0.55^{a\,d}$	-1.10^{b}
Overall palatability	-1.50^{a}	0^{b}	-1.90^{a}	Overall palatability	$-0.50^{a\,c}$	0.80^{b}	$-1.35^{a\,d}$

a, b（$p<0.01$），c，d（$p<0.05$）
Abbreviations are the same as Table1.

れは，他の2機に比較して，果実を粉砕し押し潰す力が強く，さらに，種子も破砕され搾汁されていることもあり，果汁中に苦味成分の移行が進行していると推察された。

総合評価値では，すべての果汁で評価はそれほど高くなかったが，12月の遠心分離搾汁機で搾汁した果汁で0.80と最も高い評価値が得られた。遠心分離搾汁区においては3機の搾汁区の中でも，全ての評価項目において最も良い点数を示した。

一方，20人のパネリストに6種類の果汁試料の嗜好順位を問う試験結果では，特定の2試料間に嗜好の差がみられた。すなわち，5％の危険率で有意に「好ましさ」に差があったのは，11月ベルトプレス搾汁区と11月遠心分離搾汁区，11月遠心分離搾汁区と12月遠心分離搾汁区，11月スクリュープレス搾汁区と11月遠心分離搾汁区の3つの組み合わせであった。他方，1％の危険率で「好ましさ」に有意差があったのは，11月ベルトプレス搾汁区と12ベルトプレス搾汁区，11月ベルトプレス搾汁区と12月遠心分離搾汁区，11月スクリュープレス搾汁区と12月遠心分離搾汁区，12月ベルトプレス搾汁区と11月スクリュープレス搾汁区，12月スクリュープレス搾汁区と12月遠心分離搾汁区の5つの組み合わせだった。また，順位の値を平均して算出した6種類の果汁試料の嗜好順位は，12月遠心分離搾汁区，12月ベルトプレス搾汁区，11月遠心分離搾汁区，12月スクリュープレス搾汁区，11月ベルトプレス搾汁区，11月スクリュープレス搾汁区の各果汁試料順となった。

4．搾汁機の評価

本研究で用いた3種類の搾汁機によって得たシークワシャー果汁は，嗜好尺度法による評価点が－2.10～1.05となり，嗜好上良い味とは評価されなかった。しかし，3種類の搾汁機によって搾汁した果汁試料間では明白な違いがみられた。すなわち，今回使用した3機の中で，最も搾汁収率の高いスクリュープレス搾汁機[9]で搾汁した果汁は，前報[9]で報告したように，ポリメトキシフラボン類，シネフリンなどの機能性成分含量が最も多く含まれるが，官能評価では，最も低い値で評価された。一方，遠心分離搾汁機で搾汁した果汁は機能性成分含量は他の2機には劣るものの，官能評価では最も高い評価を得た。ベルトプレス搾汁機で搾汁した果汁は，分析した成分および官能評価において3機の中で中間の値を示した。これまでの内容から，果実を押し潰す力が強い搾汁機ほど，果皮中の機能性成分が果汁に移行していると推察されるが，それに伴い果皮中の苦味成分も一緒に移行することから，機能性成分含量が多い果汁ほど，嗜好性は反対に低下するのではないかと推定された。

以上のように，3種類の搾汁機には，搾汁収率（11月ベルトプレス搾汁区38％，遠心分離搾汁区41％，スクリュープレス搾汁区49％，12月ベルトプレス搾汁区42％，遠心分離搾汁区55％，スクリュープレス搾汁区65％[9]），成分含量および官能評価に差異があり，長所と短所が相互にみられる。今後，本研究結果に基づき，各搾汁機の特性を活かし，健康飲料あるいは健康食品の材料としてシークワシャー果汁を活用することが望まれる。

要　約

シークワシャー果汁の搾汁に用いられているベルトプレス搾汁機，遠心分離搾汁機およびスクリュープレス搾汁機が，シークワシャー果汁の嗜好的，官能的特性にどのような影響を及ぼすのか検討し，次のような結果が得られた。

① 酸度は11月のスクリュープレス搾汁機で搾汁した果汁で，ビタミンCでは，12月のスクリュープレス搾汁機で搾汁した果汁でその含量は最も多かった。各果汁試料の糖酸比は11月1.8～2.0，12月3.0～3.6と一般的な果実飲料の糖酸比に比べて低かった。

② 果汁の回収油，パルプ含量および色調はスクリュープレス搾汁機で搾汁した果汁で最も多かった。すなわちL^*値とb^*値が最も高いスクリュープレス搾汁機で搾汁した果汁が黄色を強く呈した。

③ 官能評価では，すべての評価項目において遠心分離搾汁区の評価が最も高く，次いでベルトプレス搾汁区，スクリュープレス搾汁区の順となった。

謝　辞　本研究は，㈱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「異分野融合研究支援事業」，農林水産省農林水産技術会議事務局「沖縄県北部地域における特産果実の機能性に着目した高付加価値化技術のための利用技術の開発」および中村学園大学栄養科学部プロジェクト研究「内臓脂肪蓄積を制御する食因子の動的解析」の研究助成によって実施した。

文　献

1）Kawii, S., Tomono, Y., Katase, E., Ogawa, K. and Yano, M.: Quantification of flavonoid constituents in *Citrus* fruit, *J. Agric. Food Chem.*, **47**, 3565～3571（1999）

2）Kawaii, S., Tomono, Y., Ogawa, K., Yano, M., Koizumi, M., Ito, C. and Furukawa, H.: Quantitative study of flavonoids in leaves of Citrus plants, *J. Agric. Food Chem.*, **48**, 3865～3871（2000）

3）Murakami, A., Nakamura, Y., Torikai, K., Tanaka, T., Koshiba, T., Koshimizu, K., Kuwahara, S., Takahashi, Y., Ogawa, K., Yano, M., Tokuba, H., Nishino, H., Mimaki, Y., Sashida, Y., Kitanaka, S. and Ohigashi, H.: Inhibitory effect of Citrus nobiletin on phorbol ester-induced skin inflammation, oxdative stress, and tumor promotion in mice, *Cancer Res.*, **60**, 5059～5066（2000）

4）Minagawa, A., Otani, Y., Kubota, T., Wada, N.,

FURUKAWA, T., KUMAI, K., KAMEYAMA, K., OKADA, Y., FUJII, M., YANO, M., SATO, T., ITO, A. and KITAJIMA, M.: The citrus flavonoid, nobiletin, inhibits peritoneal dissemination of human gastric carcinoma in SCID mice, *Jpn. J. Cancer Res.*, **92**, 1322～1328 (2001)

5) MURAKAMI, A., NAKAMURA, Y., OHTO, Y., YANO, M., KOSHIBA, T., KOSHIMIZU, K., TOKUBA, H., NISHINO, H. and OHIGASHI, H.: Suppressive effects of citrus fruits on free radical generation and nobiletin, an anti-inflammatory polymethoxy- flavonoid, *Biofactors*, **12**, 187～192 (2000)

6) SUZUKI, R., KOHNO, H., MURAKAMI, A., KOSHIMIZU, K., OHIGASHI, H., YANO, M., TOKUDA, H., NISHINO, H. and TANAKA, T.: Citrus nobiletin inhibits azoxymethane-induced large bowel cacinogenesis in rats, *Biofactors*, **22**, 111～114 (2004)

7) ISHIWA, J., SATO, T., MIMAKI, Y., SASHIDA, Y., YANO, M. and ITO, A.: A citrus flavonoid, nobiletin, suppresses production and gene expression of matrix metallo-proteinase 9/gelatinase B in rabbit synovial fibroblasts, *J. Rheumatology*, **27**, 20～25 (2000)

8) SATO, T., KOIKE, L., MIYATA, Y., HIRATA, M., MIMAKI, Y., SASHIDA, Y., YANO, M. and ITO, A.: Inhibition of activator protein- 1 binding activity and phosphatidyl-inositol 3-kinase pathway by nobiletin, a polymethoxy flavonoid, results in augmentation of tissue inhibitor of metalloproteinase-1 production and suppression of production matrix metalloproteinase-1 and-9 in human fibrosarcoma HT-1080cells, *CancerRes.*, **62**, 1025～1029 (2002)

9) 宮城一菜・藤瀬朋子・古賀信幸・和田浩二・矢野昌充・太田英明：数種の搾汁方式と保蔵温度がシークワシャー果汁の品質安定性に及ぼす影響―ポリメトキシフラボン類およびシネフリンの安定性―，日食保蔵誌，**35**（1），3～9 (2009)

10) 農林水産省消費経済課：日本農林規格品質表示基準（食品編），p. 1121～1155 (1971)

11) ㈳日本果汁協会編：最新　果汁・果実飲料事典（朝倉書店），p. 273，305，587～588 (1997)

12) 日本フードスペシャリスト協会編：食品の官能評価・鑑別演習（第2版）（建帛社），pp. 30～31，32～38 (2006)

13) 東野哲三・藤田修二：差スペクトル法による温州ミカン果実のビタミンC定量並びに果実発育過程におけるその含量変化，日食工誌，**32**，295～300 (1985)

14) 渡辺至子・久保直哉・荻沼之孝：温州ミカンのCA貯蔵に関する研究（第5報）貯蔵条件とビタミンCの消長について，園芸学会昭和43年度秋季大会研究発表要旨，310～311 (1968)

15) 黒崎敏晴・川上いつえ：温州ミカンの組織化学的検出と生化学的研究（第1報）成熟中のビタミンCの分布と含有成分について，園芸学会昭和45年度秋季大会研究発表要旨，288～289 (1970)

16) 飯野久栄・太田英明・渡辺敦夫・大谷敏郎・木村進：温州ミカン用試作搾汁機によるミカン果汁の品質，日食工誌，**29**，283～289 (1982)

17) 伊福　靖・前田久夫・小倉一彦：温州ミカン果汁の品質改善と果皮利用に関する研究（第4報）果汁の色調に対する精油添加の効果，日食工誌，**23**，84～89 (1976)

18) 伊福　靖・前田久夫：温州ミカン果汁の品質改善と果皮利用に関する研究（第5報）精油添加果汁におけるエマルジョンの性質について，日食工誌，**23**，531～536 (1976)

19) 伊福　靖・前田久夫・甲木功：温州ミカン果汁の品質改善と果皮利用に関する研究（第6報）果汁のカロチノイドおよび香気におよぼす精油添加の効果，日食工誌，**24**，166～170 (1977)

20) 福谷敬三・宮本等：柑橘果実の苦味物質の含量と時期別変化，日食工誌，**30**，642～649 (1983)

（平成20年9月11日受付，平成21年1月22日受理）

米飯食味形成に関わる炊飯中の胚乳細胞壁の変化

辻井良政[*1§]・清瀬紀子[*2]・立田奈緒美[*2]
矢口行雄[*3]・内野昌孝[*2]・髙野克己[*2]

＊1　アルファー食品㈱
＊2　東京農業大学応用生物科学部生物応用化学科
＊3　東京農業大学地域環境科学部電子顕微鏡室

Change in The Endospermous Cell Wall of Cooked Rice and Its Effects on The Palatability of Cooked Rice

TSUJII Yoshimasa[*1], KIYOSE Noriko[*1], TATSUDA Naomi[*1], YAGUCHI Yukio[*2], UCHINO Masataka[*1] and TAKANO Katsumi[*1]

＊1　*Alpha Foods Co., Ltd., Kitaaraki 645, Taisya-cho Izumo-shi, Shimane　699–0722*
＊2　*Department of Applied Biology and Chemistry Faculty of Applied Bioscience, Tokyo University of Agriculture, Sakuragaoka1–1–1, Setagaya-ku, Tokyo　156–8502*
＊3　*Eelectron Microscope Laboratory Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture, Sakuragaoka1–1–1, Setagaya-ku, Tokyo　156–8502*

Cooked rice has a histological structure that correlates to its eating quality. One of the features of what affects the chain polysaccharide matrix structure of the cell wall. In this study, we clarified the relationships between cooked rice palatability and the decomposition of pectin, hemicellulose and cellulose as cell wall components during cooking.Upon electron microscopy, the degradation of fibrous tissue was confirmed in the pectin fraction, as well as the degradation of the dense disk-shaped structures of the hemicellullse A and B fractions. However, the cellulose structure showed no change under the same conditions. No changes in the cell wall occurred with $HgCl_2$ treatment, which designed to inhibit enzyme activity. The molecular sizes of pectin and hemicellulose A and B decreased owing to the degradation of these components' during cooking. The galacturonic acid content of the pectin fraction was reduced from 63.7% to 19.7%. In addition, the galactose and glucose contents of the hemicellulose A and B fractions were also reduced. The activities of enzymes for cell wall decomposition（polygalacturonase, β-galactosidase, β-xylanase, β-glucanase and α-mannosidase）were observed in the endosperm of rice. Results of the current study indicate that the chain polysaccharide matrix structure of the rice endosperm may be degraded by the action of endospormous enzymes during rice cooking, thereby influencing cooked rice texture regaredless of rice grain freshness or cultivar.

（Received Sep. 22, 2008；Accepted Jan. 29, 2009）

Key words：*cell wall, structure, rice, enzyme, taste*
細胞壁，構造，米，酵素，食味

炊飯は米に水を加え加熱し，その主成分であるデンプンを糊化させて，可食状態にする操作である。一方，胚乳細胞壁は炊飯中に炊飯米の硬さを制御すると共にデンプンの自由な膨潤を制御し，米粒の形状を維持させていると考えられている。

胚乳細胞壁は，主にペクチン，ヘミセルロース，セルロースならびに少量のタンパク質からなるマトリックス成分に富んだ1次構造で構成されている[1)]。なお，リグニン化の進んだ2次構造は果種皮や糊粉層の細胞壁でみられる[2)]。渋谷らにより，キシラナーゼによって米の胚

＊1　〒699-0722　島根県出雲市大社町北荒木645
§　連絡先（Corresponding author）E-mail：tsujii-y@alpha-come.co.jp
＊2　〒156-8502　東京都世田谷区桜丘1－1－1
＊3　〒156-8502　東京都世田谷区桜丘1－1－1

乳細胞が部分的に分解され，炊飯米テクスチャーの軟化と膨張容積が増加することが報告されている[2),3)]。このことから，炊飯中における細胞壁の構造変化が炊飯米のテスクチャーや食味へ影響すると推論される[2)]。しかし，炊飯中における細胞壁多糖の構造変化やこれら分解に関与する内在酵素の作用性などの詳細については未だ明らかにされていない。

TSUJIIらは，細胞間結着物質であるペクチンを分解するポリガラクチュロナーゼを米胚乳から精製し，その性状から本酵素の炊飯中の作用性を推察した[4)]。そこで本報では，炊飯による各細胞壁多糖の構造変化，多糖の分子量変化ならびに同変化に対する内在細胞壁多糖分解酵素の作用性について検討し，得られた知見について報告する。

実 験 方 法

1．試　料

試料は，千葉県産コシヒカリ（2006年産）の玄米を用いた。これを4℃で保存し，使用時に常温で戻した後，家庭用撹拌式精米機（MR-D500，ツインバード工業）を用い，90%歩留まりで搗精した。

2．精白米と炊飯米からの粗細胞壁の調整

精白米500ｇを純水に浸漬（4℃，1hr），ヒスコトロン（NS-51，日本医理科機械製作所）にてホモゲナイズ後，120メッシュの篩によりデンプン粒を除去した[5)]。残渣について1%SDSを含む1%メルカプトエタノール溶液にて除タンパク質処理し，さらにクロロホルム・メタノール（2：1 v/v）混液にて脱脂ならびにアセトンにて脱水処理を行った後，乾燥して精白米の粗細胞壁画分とした。

炊飯米からの粗細胞壁の調製は，以下のように行った。竹生らの炊飯特性試験法[6)]に準じ，試料米10ｇを金網カゴに入れ，純水中で10回の上下振とうを3回繰り返した後，金網カゴを160mℓの純水の入った200mℓトールビーカーに浸し，沸騰水中で20分間加熱し炊飯米とした。この炊飯米100ｇに酵素液（耐熱性α-アミラーゼ（A3306）20000U，アミログルコシダーゼ（A7255）100U，SIGMA）を加え70℃，16時間振とう反応（HB-100T，AITEC）を行い，デンプンを分解した。反応処理後，ヒスコトロンで破砕し，遠心分離(20℃，20min，15,000 xg）を行い，沈殿物を得た。このデンプン除去操作を再度行い，得られた沈殿物を精白米の場合と同様に除タンパク質および脱脂処理し，炊飯米の粗細胞壁画分とした。なお，デンプン除去は，ヨウ素呈色にて確認した。また，対照試験として炊飯特性試験で用いる純水を1 mM $HgCl_2$溶液に変更し行った。

3．粗細胞壁画分の分画[7)~9)]

粗細胞壁画分20mgに50倍容の2.5%シュウ酸アンモニウム溶液を加え，70℃，8時間振とう（HB-100T，AITEC），ガラスフィルター（1G3 HARIO）で濾過し，得られた濾液をペクチン画分とした。残渣に25倍容の1M水酸化カリウム溶液を加え，20℃8時間振盪し溶解画分をヘミセルロースA画分，続いて4M水酸化カリウム溶液を加え，その溶解画分をヘミセルロースB画分，残渣をセルロース画分とした。各画分を酢酸にて中和後，純水に対し透析（Membrane MWCO：3500，Spectra/Por 3）した後，凍結乾燥した。

4．各細胞壁画分の走査型電子顕微鏡による観察

凍結乾燥した各細胞壁画分を両面テープで試料台に固定し，イオンスパッター（E102，日立）により白金パラジウムコーティングした。観察は，走査型電子顕微鏡（S-4000，日立）にて加速電圧5kVで行った。

5．HPLCによる糖分析

（1）炊飯外液および浸漬液　浸漬中および炊飯中に溶出する糖成分について分析した。実験方法2より得られた外液を炊飯外液とし凍結乾燥した。浸漬液は，上記の加熱前の外液を凍結乾燥した。それぞれ得られた試料2mgを純水に溶解後，N-アセチル化後，4-アミノ安息香酸エチルエステル（ABEE）により標識化し，HPLCにて可溶化している遊離単糖を分析した（J-オイルABEE糖組成分析キット，生化学工業）[10),11)]。さらに，試料を加水分解し，分析については[12)]，同様の標識化処理後，全糖の分析も行った。

（2）細胞壁多糖画分　精白米と炊飯米から調整した各細胞壁多糖画分5mgを用い，（1）と同方法にて分析をした。なお，各糖の割合(%)は，「%」＝各糖量(μmol/g）/各糖量の総和（μmol/g）×100で算出した。

6．炊飯による細胞壁多糖画分の分子量変化の推定[13)~15)]

ペクチン，ヘミセルロースAおよびB画分，それぞれ5mgを0.5M NaOH溶液500μℓに溶解し，ゲル濾過クロマトグラフィー（TSK-GEL G5000PWXL-G3000PWXL，東ソー）に供した。溶出液は0.01M NaOH溶液（0.02%アジ化ナトリウム，0.15M NaClおよび0.01M EDTAを含む）を用い，0.5mℓ/minにて流出し，その流出液を0.5mℓずつ分画し，全糖量をフェノール・硫酸法[16)]にて測定した。溶出の分子量マーカーとして，Dextran（平均分子量～2,000,000，425,000～575,000，64,000～70,000，35,000～45,000，9,000～11,000，glucose，SGMA-ALDRICH）を用いた。

7．粗酵素の調製

試料米0.5ｇに10mM DTT含む10mM PIPES-NaOH緩衝液（pH7.0）1.0mℓを加えて，一晩浸漬（4℃）した後，ホモゲナイズ（HOMOGENIZER S-303，iuchi）し，4℃，1時間，撹拌抽出（Deep Well Maximizer TAITEC）した。この抽出液を遠心分離（4℃，20 min）し，得られた上澄液を10mMマックルベン緩衝液（pH5.0）に対して一晩透析し粗酵素とした。

また，炊飯中の昇温過程において20，40，60および80℃に達した時点で米粒を採取し，それぞれTSUJIIら[4)]の方法に従い粗酵素を調製した。

8．細胞壁分解酵素の活性測定

ポリガラクチュロナーゼ活性の測定はTsujiiら[4]の方法，ペクチンエステラーゼ活性測定はTatianaらの方法[17]，αおよびβ-ガラクトシダーゼ，β-キシラナーゼ，α-マンノシダーゼおよびβ-グルカナーゼは，基質に各単糖のp-ニトロフェニル誘導体を用いた。測定方法は，酵素液0.03mℓに0.2Mマックルベン緩衝液（pH7.0）0.02mℓを加え，5mM基質溶液を0.01mℓ加え，37℃にて1時間反応させた。30%Tris溶液0.16mℓを加え反応を停止ならびに発色させ，400nmで吸光度を測定した。なお，1分間に1μmolのp-ニトロフェノールを遊離させる力価を1単位（U）とした。

結　　果

1．細胞壁多糖画分の電子顕微鏡観察

精白米と炊飯米から抽出，分画したそれぞれの細胞壁多糖画分の形状に差異が観察された（図1）。精白米のペクチン画分では，繊維状組織が規則正しく密集した形状がみられたが，炊飯米ではこの形状が大きく崩壊していた。精白米のヘミセルロースAおよびB画分ではそれぞれ平面の形状であったが，炊飯米ではその形状が崩壊し繊維状組織が絡み合っている様子が観察された。精白米のセルロース画分はヘミセルロース画分と同様に平面形状であった。一方，炊飯米の同画分では表面に浅い切れ込みが観察できたが，崩壊に至るような形状的な大き

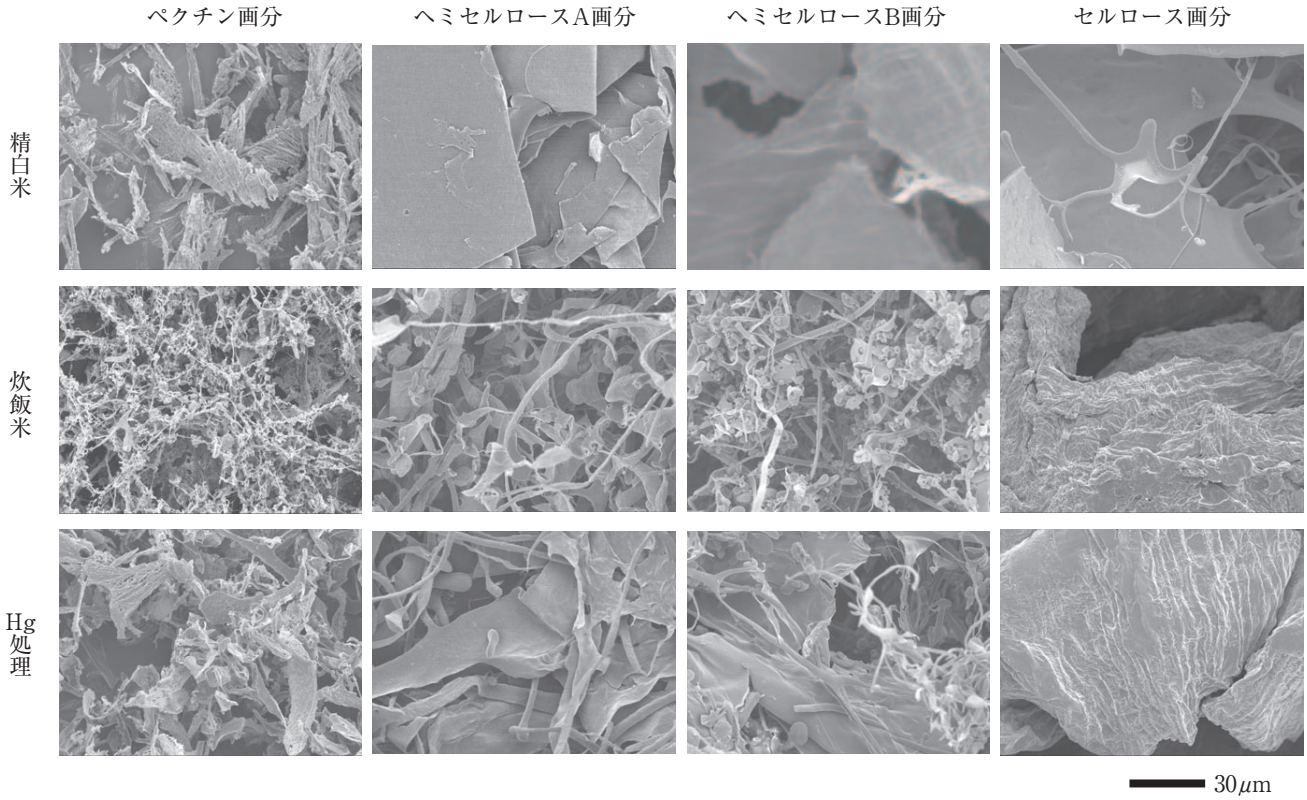

図1　精白米と炊飯米の細胞壁多糖画分の観察

表1　細胞壁構成糖の炊飯中の溶出量

	遊離糖			全糖		
	浸漬液	炊飯外液	Hg処理炊飯外液	浸漬液	炊飯外液	Hg処理炊飯外液
D－グルクロン酸	N. D.	0.92±0.44	0.32±0.20	N. D.	0.38±0.30	0.22±0.42
D－ガラクチュロン酸	N. D.	3.08±0.39	1.19±0.15	1.31±1.16	7.50±0.91	4.13±1.17
D－ガラクトース	1.05±0.11	6.80±0.70	5.80±0.66	2.11±1.16	24.3±5.60	16.0±8.70
D－キシロース	N. D.	N. D.	N. D.	0.62±0.48	3.16±0.76	1.40±0.11
D－マンノース	N. D.	N. D.	N. D.	0.50±0.43	1.70±0.17	1.71±0.01
L－アラビノース	N. D.	N. D.	N. D.	0.90±0.20	9.35±2.84	4.00±1.35
L－ラムノース	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
D－リボース	N. D.	N. D.	N. D.	0.24±0.07	0.91±0.44	1.00±1.00

N＝5　A.V.±S.D.　N. D.=Not Detected　（μmol/g（精白米））

な変化は確認できなかった。Hgを添加し，胚乳中に内在する酵素作用を阻害した炊飯米では，ペクチン，ヘミセルロースAならびにB画分は精白米と比較して，米飯で確認された大きな崩壊はみられなかったが，部分的な崩壊が観察された。一方，セルロース画分では炊飯米と近似した形状が観察された。

2．細胞壁構成糖の炊飯中の溶出挙動

炊飯による細胞壁構成糖の溶出量を表1に示した。炊飯外液に細胞壁の構成等であるD-グルクロン酸およびD-ガラクチュロン酸が，それぞれ0.92±0.44および3.08±0.39μmol/g（精白米換算）検出しされた。D-ガラクトースは炊飯外液で6.80±0.70μmol/g検出され，浸漬液に比べ約6倍の値を示した。さらに浸漬および炊飯外液を加水分解処理したところ，浸漬液および炊飯外液に遊離糖として検出されなったD-キシロース，D-マンノース，L-アラビノースおよびD-リボースの各糖が検出され，浸漬時に比べ炊飯時ではそれぞれ3～10倍増加した。Hg処理して炊飯中の酵素作用を阻害したところ，ほとんどの細胞壁構成糖で炊飯外液中の溶出量は減少傾向を示した。なお，D-グルコースの溶出も確認できたが，その由来がデンプンと細胞壁多糖構成糖が区別できないため，比較を対象から外した。

3．炊飯による細胞壁多糖画分の分子量的変化

図2に精白米と炊飯米の細胞壁多糖画分のゲル濾過クロマトグラムを示した。電子顕微鏡で大きな形状変化が観察されたペクチン，ヘミセルロースAおよびB画分は，炊飯米は精白米に比べ主要な多糖ピークが低分子量に移行していることが確認できた。ペクチン画分は炊飯によって精白米でみられた分子量約1万の主要ピークが大きく減少し，分子量1万以下に主要ピークが検出された。ヘミセルロースA画分の主要ピークは精白米でボイドボリューム付近に，炊飯米では同ピークは分子量約200万付近に溶出された。ヘミセルロースB画分もペクチンおよびヘミセルロースA画分と同様に炊飯によって低分子量が観察されたが，その変化はこれらに比べ小さかった。以上，精白米の細胞壁を構成する多糖が低分子化することが明らかになった。

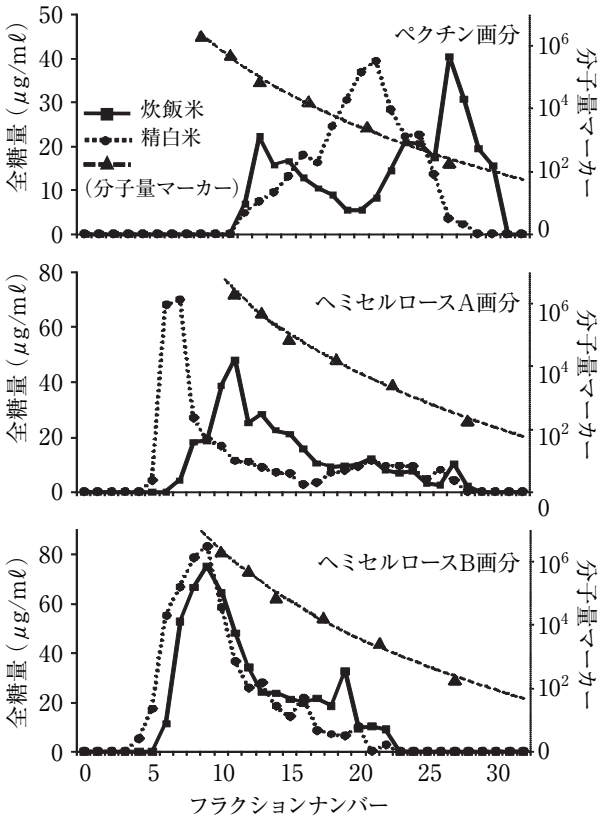

図2　精白米および炊飯米の細胞壁多糖画分のゲル濾過クロマトグラム

4．細胞壁多糖成分の構成糖分析

表2に，精白米と炊飯米より調製した細胞壁多糖画分の構成糖の組成比を示した。ペクチン画分では主要構成糖であるD-ガラクチュロン酸が精白米および炊飯米でそれぞれ63.70±19.67%および19.71±8.30%を示し，炊飯によって大きく減少した。また，ガラクトース，D-キシロースおよびL-アラビノースも炊飯によって減少した。一方，D-グルコースおよびD-リボースはそれぞれ4.08±0.02%から36.91±10.98%へ，1.12±0.20%から22.17±5.20%を示しそれらの組成比は増加した。ヘミセルロ

表2　炊飯による精白米細胞壁を構成する多糖画分の糖組成の変化

	ペクチン画分		ヘミセルロースA画分		ヘミセルロースB画分	
	精白米	炊飯米	精白米	炊飯米	精白米	炊飯米
D－グルクロン酸	0.59±0.38	0.84±1.12	0.25±0.39	3.11±0.67	0.94±1.31	3.86±0.53
D－ガラクチュロン酸	63.70±19.67	19.71±8.30	0.69±1.18	1.84±1.60	1.35±1.27	1.23±1.88
D－ガラクトース	8.19±0.76	4.94±1.03	2.14±1.81	2.40±0.27	6.20±0.50	3.77±1.00
D－キシロース	8.49±0.74	5.93±0.25	47.69±4.17	49.79±4.45	39.45±4.82	51.40±6.21
D－マンノース	0.70±0.36	1.09±0.36	0.50±0.40	0.66±0.06	4.66±2.81	0.66±0.20
L－アラビノース	11.99±0.59	6.01±0.18	30.38±2.01	34.46±0.45	22.61±3.51	26.37±7.62
L－ラムノース	1.14±0.54	2.39±3.27	0.03±0.02	0.36±0.05	0.75±0.55	0.68±0.17
D－リボース	1.12±0.20	22.17±5.20	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
D－グルコース	4.08±0.02	36.91±10.98	18.33±9.47	6.89±5.31	20.04±5.44	11.07±7.28

N＝3　A.V.±S.D. N.D.=Not Detected　割合（%）:「%」＝各糖量（μmol/g）/各糖量の総和（μmol/g）×100

ースAおよびB画分では，精白米に比べ炊飯米で，主要構成糖であるそれぞれD-キシロースは2.10および11.95%，L-アラビノースはそれぞれ4.08および3.76%増加した。これに対し両画分共にD-グルコースは大きく減少し，またヘミセルロースB画分では，マンノースおよびガラクトースがそれぞれ4.00%および2.43%減少した。この結果，炊飯によって精白米胚乳細胞壁の多糖画分のペクチン画分では，D-ガラクチュロン酸，D-ガラクトース，D-キシロースおよびL-ラムノース，ヘミセルロースA画分ではD-グルコース，ヘミセルロースB画分では，D-ガラクトース，D-マンノースおよびD-グルコースからなる領域あるいは多糖が特異的な分解を受け低分子量化することが示唆された。

表3　米胚乳中の細胞壁多糖分解酵素の検出

酵　素	活性量（U/g）
ポリガラクチュロナーゼ	0.011
ペクチンエステラーゼ	N. D.
α－ガラクトシダーゼ	35.6
β－ガラクトシダーゼ	6.7
β－キシラナーゼ	4.5
α－マンノシダーゼ	36.9
β－グルカナーゼ	37.1

N. D.＝Not Detected

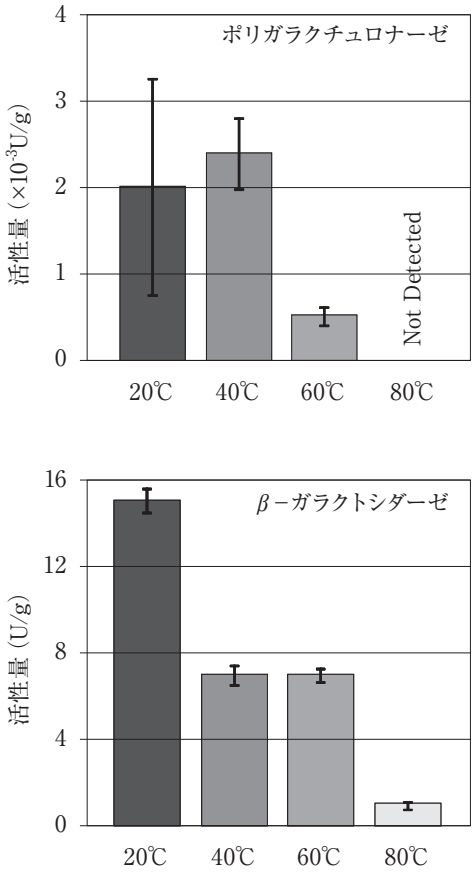

図3　炊飯過程における米粒内の酵素活性の挙動

5．米胚乳中の細胞壁多糖分解酵素について

米胚乳中の細胞壁に作用すると思われる各種酵素について活性の検出を行った。その結果，米胚乳中にポリガラクチュロナーゼの他，αおよびβ-ガラクトシダーゼ，β-キシラナーゼ，α-マンノシダーゼおよびβ-グルカナーゼの6種の酵素活性の存在が確認された（表3）。α-ガラクトシダーゼ，α-マンノシダーゼおよびβ-グルカナーゼは高い活性を示した。

一方，先の試験結果より，炊飯中にD-ガラクチュロン酸およびD-ガラクトースの溶出量（表1）がそれぞれ3.08および6.80μmol/g（精白米換算）と他の糖に比べて多かったにもかかわらず，これらの糖の遊離に大きく関与するポリガラクチュロナーゼとβ-ガラクトシダーゼの活性は小さかった。そこで，これら酵素の炊飯中の米粒内の活性挙動を検討したところ（図3），両酵素とも炊飯温度が高くなるに従い活性量は低下したが，β-ガラクトシダーゼは80℃で1.0U/g，ポリガラクチュロナーゼは60℃で0.5×10^{-3}U/gの活性を示し，炊飯中で両酵素が十分に作用することが確認された。

考　　察

本研究は，炊飯前後での米胚乳細胞壁の状態観察，構成糖ならびに多糖の分解変化について解析を試みた。電子顕微鏡観察の結果，精白米と炊飯米ではペクチン，ヘミセルロースAならびにB画分の形状が大きく変化していた。一方，セルロース画分では崩壊に至るような形状の大きな変化はみられなかった。このような炊飯米での細胞壁多糖画分の形状の変化の挙動については，これまで報告はされていない。

米飯は粒で食されるために，その組織構造が維持された食品であり，米飯テスクチャーに対しデンプン粒の膨潤や糊化の状態だけでなく細胞壁の構造変化も影響していると考えられている。小川らは炊飯による米粒の組織構造の変化と圧縮による変化の関係について報告し[18]，細胞壁の構造変化が米飯テクスチャーに大きく影響すると推測している。また，渋谷らはキシラナーゼの添加によって，テクスチャーが大きく変化した事実および本研究にて炊飯による精白米の細胞壁の各多糖画分の形状が変化し，それらいずれも低分子化していたことから，炊飯による米飯食味の形成に対する細胞壁多糖分解酵素の作用が大きな役割を演ずることを明らかにすることができた。

炊飯によって溶出した可溶性糖画分を分析したところ，トマトの軟化時に増加する報告のあるD-ガラクトース[19),20)]と果物や野菜などのペクチン主要構成糖であるD-ガラクチュロン酸が遊離糖として検出した[21)~24)]。また，可溶性糖画分の加水分解によってD-キシロース，D-マンノースならびにD-アラビノースが検出され，これらの糖から構成されたヘテロオリゴ糖が可溶化していることが示唆された。また，Hgにて炊飯中での分解酵素作用

を阻害すると，可溶化糖画分は減少を示した。これまで，炊飯中の細胞壁の分解は予想されてきたが[22),25)]，今回の結果から，炊飯中で可溶化する溶出するこれらの糖は，米胚乳中の酵素の作用により細胞壁多糖が部分的に分解され，生成することが明らかになった。また，可溶化糖中には遊単糖とヘテロオリゴ糖が存在したことから，細胞壁多糖分解様式が異なる酵素の存在と作用が示唆された。これらの作用と米飯テクスチャーおよび食味との関係については，今後の課題である。

炊飯米より調製した細胞壁多糖であるペクチン，ヘミセルロースAおよびB画分は，精米のそれらに比べ低分子量化していた。モモ，イチゴ，ナシおよびキィウイフルーツなど熟成に伴うペクチンの分解による低分子化が報告されており[14),15),23),26)～27)]，ヘミセルロースも同様な報告がある[14),28),29)]。

渋谷の報告では，米胚乳細胞壁のヘミセルロース画分の主成分はアラビノキシランであり[2)]，本報でも構成比を反映していた。炊飯によって，ペクチン画分はペクチンの主鎖であるD-ガラクチュロン酸の構成割合が大きく低下したが，ヘミセルロースAおよびB画分では主要構成糖であるD-キシロースおよびL-アラビノースの構成割合が増加した。これらの多糖画分の分解は，いずれも電子顕微鏡観察の結果，炊飯米は精白米と大きく形状が変化していたが，これらの変化は，ペクチン画分のペクチン主鎖，ヘミセルロースAおよびB画分の主要多糖の側鎖の分解が大きな要因と考えられ，各画分で分解を受けている部位が異なると示唆された。

米胚乳細胞壁を分解する酵素活性量を検討した結果，精白米中にポリガラクチュロナーゼ，α-ガラクトシダーゼ，β-ガラクトシダーゼ，β-キシラナーゼ，α-マンノシダーゼおよびβ-グルカナーゼの各活性が検出された。しかし，ペクチンエステラーゼ活性量は測定できなかったが，ポリアクリルアミド電気泳動法を用いた活性染色法によりペクチンエステラーゼの存在を確認している（データ未掲載）。これらの酵素の作用が炊飯中の細胞壁多糖に作用し，それらの構造を変化させ，米飯テクスチャー形成に関与すると考えられる。炊飯外液中にはD-ガラクトース，D-ガラクチュロン酸，D-キシロースおよびD-アラビノース溶出量が多いこと，多糖画分における糖の組成の変化からエキソ型のβ-ガラクトシダーゼおよびポリガラクチュロナーゼ，キシラナーゼおよびアラビノシダーゼの作用が大きく影響していると考えられた。これら酵素は，果実や野菜などの軟化に関与することが報告されている[29)]。β-ガラクトシダーゼおよびポリガラクチュロナーゼ活性は，炊飯過程においても確認できたことから，各種の胚乳細胞壁多糖分解酵素による炊飯中の作用が，米飯の軟化および食味形成の大きな要因になっていると考えられる。

本研究により，炊飯による米胚乳細胞壁多糖画分の形状が変化，各多糖の低分子化および糖組成から，米胚乳中細胞壁多糖分解酵素の作用が考えられる。また，炊飯時間はこれら酵素の作用によって細胞壁構造が明確に変化するのに十分な時間であると推察された。今後，米の新鮮度や品種の違いによる炊飯過程での細胞壁多糖分解に関与する酵素の作用性との関係など検討し，食味形成を明らかにすることによって，食味評価に関わる新しい理化学的要因が得られ，米飯の食味形成の機序ができると考えられる。

要　約

本研究で，炊飯において米胚乳細胞壁構成成分のペクチン，ヘミセルロースおよびセルロースの分解と米胚乳酵素の作用について検討した。

① 米飯から抽出したペクチン画分は，精米の同画分に比べ繊維状組織が崩壊し，ヘミセルロースAおよびB画分は密な板状構造が大きく崩壊していた。しかし，セルロースにおいては，明確な差はみられなかった。

② 炊飯外液には，D-ガラクチュロン酸，D-キシロース，D-マンノースおよびD-アラビノース等が検出され，また，これらの糖から構成されたヘテロオリゴ糖が可溶化していることから，米胚乳細胞壁が炊飯中に分解していると示唆された。

③ 米飯の各細胞壁多糖画分は，精米の同画分に比べて低分子量領域に変化していることを確認し，特にペクチン画分の変化は顕著であった。

④ 米飯の各細胞壁多等画分の構成糖の変化から，ペクチン画分ではD-ガラクチュロン酸が大きく低下し，ヘミセルロースAおよびB画分ではD-キシロースおよびL－アラビノースが増加したことから，各画分で分解を受けている部位が異なると示唆された。

⑤ 米胚乳より調製した酵素液中に，ポリガラクチュロナーゼ，αおよびβ-ガラクトシダーゼ，β-キシラナーゼ，β-グルカナーゼおよびα-マンノシダーゼ活性を確認し，これらの酵素は炊飯中の温度上昇下で作用していると示唆された。

以上の結果から，炊飯において米胚乳中に存在する各種細胞壁分解酵素の作用によって，米胚乳細胞壁多糖画分が低分子量化し，米飯の食味形成に対する影響力が示唆された。

本研究は，農林水産省の委託プロジェクト「低コストで質の良い加工・業務用農産物の安定供給技術の開発」の助成を受けて実施した。

謝　辞　試料米を提供いただいた木徳神糧株式会社様の協力にお礼を申し上げると共に深く感謝いたします。

文　献

1）石谷孝佑・大坪研一：米の品質，米の科学（朝倉書

店，東京)，pp. 32～34（1995）
2）渋谷直人：コメの細胞壁と化学構造と品質，日食工誌，**37**，740～748（1990）
3）SHIBUYA, N. and IWASAKI, T.: Effect of cell wall degrading enzymes on cooking properties of milled rice and the texture of cooked rice, *J. Japanese Soc. Food Sci. Tech.*, **31**, 656～660（1984）
4）TSUJI, Y., UCHINO, M. and TAKANO, K.: Purification and Polygalacturonase from Polished Rice, *Food Preservation Science*, **33**, 189～196（2007）
5）山崎雅夫・大谷俊二・沖田健一・髙野克己：モチ米飯のテクスチャーと胚乳細胞壁中のヒドロキシプロリン含量の関係，食科工，**48**，302～305（2001）
6）竹生新次郎・岩崎哲也・谷　達雄：米の炊飯嗜好性に関する研究（第１報），栄養と食糧，**13**，137～140（1960）
7）SHIBUYA, N. and NAKANE, R.: Pectic polysaccharides of rice endosperm cell walls［Isolation and structural analysis］, *Phytochemistry*, **23**, 1425～1429（1984）
8）ARIEL, R. V., CLAUDIA, O., ANN, L. T., POWELL, L., CARL, G. and JOHN M. L.: Temporal Sequence of Cell Wall Disassembly Events in Developing Fruits, *Agric. Food Chem.*, **55**, 4119～4124（2007）
9）TRINETTE, S., JAN, G. B., KEES, R., ALFONS, G. J. V. and CEES, V. D.: Changes in Pectic and Hemicellulosic Polymers of Green Beans (Phaseolus vulgaris L.) during Industrial Processing, *J. Agric. Food Chem.*, **24**, 4790～4799（1997）
10）YASUNO, S., MURATA, T., KOKUBO, K. and KAMEI, M.: Two-mode analysis by high-performance liquid chromatography of p-aminobenzoic ethyl ester-derivatized monosaccharides, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **61**, 1944～1946（1997）
11）YASUNO, S., KOKUBO, K. and KAMEI, M.: New Method for Determining the Sugar Composition of Glycoproteins, Glycolipids, and Oligosaccharides by High-performance Liquid Chromatography, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **63**, 1353～1359（1999）
12）SUZUKI, J., KONDO, A., KATO, I., HASE, S. and IKENAKA, T.: Analysis by high-performance anion-exchange chromatography of component sugars as their fluorescent pyridylamino derivatives, *Agric. Biol. Chem.*, **55**, 283～284（1991）
13）LI, X., NAKAGAWA, N., NEVINS, D. J. and SAKURAI, N.: Changes in the cell-wall polysaccharides of outer pericarp tissues of kiwifruit during development, *Plant Physiol Biochem.*, **44**, 115～123（2006）
14）HIWASA, K., NAKANO, R., HASHIMOTO, A., MATSUZAKI, M., MURAYAMA, H., INABA, A. and KUBO, Y.: European, Chinese and Japanese pear fruits exhibit differential softening characteristics during ripening, *J. Exp. Bot.*, **55**, 2281～2290（2004）
15）村松　昇・田中敬一・朝倉利員・立木美保・土師岳：モモ果実のアルカリ可溶性ペクチン性多糖類の単離と解析，園学雑，**73**，541～545（2004）
16）DUBOIS, M., GILLES, K. A., HAMILTON, J. K., REBERS,. P. A. and SMITH, F.: Colorimetric method for. determination of sugars and related substances, *Anal. Chem.*, **28**, 350（1956）
17）TATIANA, d. C. R. P. and FLAVIO, F.: Extraction and assay of pectic enzymes from Peruvian carrot (Arracacia xanthorriza Bancroft.), *Food Chem.*, **89**, 85～92（2005）
18）小川幸春・田川彰男：米の食味と機能性および食品素材化技術I　組織構造とテクスチャーから見た米飯の特性，食品工業，**48**，26～33（2005）
19）GROSS, K. C. and WALLNER, S. J.: Degradation of cell wall polysaccharides during tomato fruit ripening. *Plant Physiol.*, **63**, 117～120（1979）
20）GROSS, K. C. and SALTVEIT, J. M. E.: Galactose concentration and metabolism in pericarp tissue from normal and non-ripening tomato fruit, *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, **107**, 328～330（1982）
21）BRUMMELL, D. A. and HARPSTER, M. H.: Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants, *Plant Mol. Biol.*, **47**, 311～340（2001）
22）JIN, C. H., KASHIWAGI, T. and MIZUNO, M.: Structural changes in the cell wall pectic polysaccharides accompanied by softening of apple (Malus pumila Mill) cultivars Fuji and Kinsei, *Food Pres. Sci.*, **25**, 293～300（1999）
23）MURAMATSU, N., TANAKA, K., ASAKURA, T. and HAJI, T.: Changes in cell wall polysaccharides and physical properties of peach (Prunus persica Batsch) fruit during fipening, *J. Japan. Soc. Hort. Sc.*, **73**, 534～540（2004）
24）稲荷妙子・竹内徳男：イチゴ果実の成熟におけるペクチンの変化，食科工，**44**，319～324（1997）
25）新井映子・清水智恵子・渡辺道子：加温浸漬による米飯の品質改変，家政誌，**43**，789～795（1997）
26）稲荷妙子・竹内徳男：イチゴ果実の成熟におけるペクチンの変化，食科工，**44**，319～324（1997）
27）LI, X., NAKAGAWA, N., NEVINS, D. J. and SAKURAI, N.: Changes in the cell-wall polysaccharides of outer pericarp tissues of kiwifruit during development, *Physiol. Biochem.*, **44**, 115～124（2006）
28）VICENTE, A. R., ORTUGNO, C., ROSLI, H., POWELL, A.L, GREVE, L. C. and LABAVITCH, J. M.: Temporal

sequence of cell wall disassembly events in developing fruits, *J. Agric. Food Chem.*, **55**, 4125～4130 (2007)

29) BRUMMELL, D. A. and HARPSTER, M. H.: Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants, *Plant Mol. Biol.*, **47**, 311～340 (2001)

(平成20年 9 月22日受付，平成21年 1 月29日受理)

山梨県産果樹および野菜作物葉のポリフェノール含量とDPPHラジカル消去活性

中川裕子[*1§]・仲尾玲子[*2]・宇井定春[*3]

＊1　山梨大学大学院工学研究科
＊2　山梨学院短期大学食物栄養科
＊3　山梨大学大学院医学工学総合研究部

Polyphenol Contents and DPPH Radical Scavenging Activities of Leaves of Fruit and Vegetable Crops Grown in Yamanashi Prefecture

NAKAGAWA Yuko[*1§], NAKAO Reiko[*2] and UI Sadaharu[*3]

＊1　*Interdisciplinary Graduate School of Division of Applied Biological Sciences, University of Yamanashi, 4-3-11, Takeda, Kofu　400-8511*
＊2　*Department of Food and Nutrition, Yamanashi Gakuin Junior College, 2-4-5, Sakaori, Kofu　400-8575*
＊3　*Interdisciplinary Graduate School of Medicine & Engineering, University of Yamanashi, 4-3-11, Takeda, Kofu　400-8511*

We investigated the polyphenol contents and DPPH radical scavenging activities of the leaves of agricultural products in Yamanashi Prefecture. The average polyphenol content in the leaves of fruit crops was 50.0mg/g of freeze-dry matter, which was 2.8 times that in the leaves of vegetable crops (17.9mg/g of freeze-dry matter). The leaves showing comparatively high DPPH radical scavenging activities among the leaves of fruit crops were persimmon, grape and plum leaves, and those among the leaves of vegetable crops were udo, azuki and burdock leaves. The correlation coefficients between polyphenol contents and DPPH radical scavenging activities were 0.3881 for the leaves of vegetable crops and 0.6951 for the leaves of fruit crops. It was found that there is no correlation for the leaves of vegetable crops, and a significant correlation for the leaves of fruit crops.

(Received Sep. 22, 2008；Accepted Feb. 2, 2009)

Key words：*leaves of fruit crop, leaves of vegetable crop, polyphenol, DPPH radical, antioxidative activity*
果樹作物葉，野菜作物葉，ポリフェノール，DPPHラジカル，抗酸化性

現在，日本においては，食料自給率が低迷するなか，食料資源の有効活用は重要な課題であり，特に農産物に含まれる機能性に着目した有効成分の活用[1),2)]には高い関心が寄せられている。こうしたなか，特に健康の予防・維持・改善のための有効成分である植物ポリフェノール成分を中心とした抗酸化物質に関する研究が積極的に行われており，その報告は枚挙にいとまがない。

山梨県は果樹，野菜を中心とした園芸作物を農業生産の主とし，これまでブドウ，モモ，スモモなどの果実や，各種野菜類の機能性評価研究が行われてきた[3)~6)]。しかし，これら研究のほとんどは可食部に限られており，非可食部や果樹の花芽を増大させる等の目的で施される摘心作業で生じる葉などの廃棄物についてはバイオマスエネルギーとしての研究があるにすぎない[7)]。

筆者らは，カキやモモなどの一部の果樹作物を除いて，まだ十分利用されているとはいえない園芸作物の葉に着目し，それらの有効活用を図ることを目的として，山梨県下で栽培された園芸作物の葉のポリフェノール含量とDPPHラジカル消去活性との関係を調べた。

＊1　〒400-8511　山梨県甲府市武田4-3-11
§　連絡先（Corresponding author）E-mail：nakagawa@ygu.ac.jp
＊2　〒400-8575　山梨県甲府市酒折2-4-5
＊3　〒400-8511　山梨県甲府市武田4-3-11

実験方法

1．試料調製

果樹作物葉18種類および野菜作物葉19種類を2003年7月および2008年8月に，山梨県笛吹市内の農園と山梨県果樹試験場で採取した。採取した葉は1％酢酸溶液で葉表面を洗浄後，水洗，水切りを行い，凍結乾燥後，簡易型ミルで粉砕し乾燥粉末とした。

2．試料抽出液の調製

乾燥粉末試料200mgに0.1 M 酢酸緩衝液（pH 4.5)・メタノール混液（1：4）20mℓを加え，ホモゲナイザーで3分間ホモゲナイズした。それをろ過後，80%メタノールで3回洗浄し，得られたろ液に80%メタノールを加えて50mℓに定容し，試料抽出液とした。

3．ポリフェノール含量の測定

ポリフェノール含量の測定にはフォーリン・チオカルト法[8]を用いた。試料抽出液0.5mℓに80%メタノール0.5mℓを加えて2倍に希釈後，2倍希釈したフォーリン試薬0.5mℓ，0.4 M炭酸ナトリウム溶液5mℓを加えて30℃30分反応させ冷却後波長660nmにおける吸光度を測定し，没食子酸としてポリフェノール類を定量した。測定は5回行い平均値を算出した。

4．DPPHラジカル消去活性の測定

試料抽出液のDPPHラジカル消去活性を木村ら[4]の方法に従って測定し，活性は凍結乾燥物1g当たりのTrolox当量（TE）で表した。

5．相関係数の有意性の検定

相関係数の有意性の検定は，有意水準を1％としたt検定[9]を行った。

実験結果および考察

1．果樹および野菜作物葉のポリフェノール含量

果樹および野菜作物葉のポリフェノール含量を測定した結果をTable 1に示した。果樹作物の乾燥葉のポリフェノール含量は平均50.0mg/gであった。最も高いポリフェノール含量は，甲州種のブドウ葉の99.5mg/gであり，次いで高かったのが，渋柿品種である甲州百目種のカキ葉の92.5mg/gであった。さらに巨峰種のブドウ葉が70.8mg/g，ソルダム種のスモモ葉が67.5mg/g，早生甲斐路種のブドウ葉が60.8mg/gであった。果樹作物の乾燥葉のなかでポリフェノール含量が低かったのは，豊後種のウメ葉18.0mg/g，モモ葉の16.5mg/gであった。

ポリフェノール含量が多いカキ葉について，豊田ら[10]は，5月に採取したカキ若葉はポリフェノール含量が927mg/100gであったと報告しているが，今回の7月に採取した生育中期のカキ葉のポリフェノール含量はその若葉の値に近く，カキ葉のポリフェノール含量は生育による変化があまりみられないものと思われた。

野菜作物の乾燥葉のポリフェノール含量は，平均17.9mg/gであり，最も含量が高かったのは，85.0mg/gのフキ葉とゴボウ葉であった。それに次いで高かったのは，25.0mg/gのシシトウ葉，23.5mg/gのラディッシュ葉であった。含量が低かったのは，0.3mg/gのピーマン葉，0.2mg/gのジャガイモ葉であり，両者とも極端に低い値であった。野菜作物の中でも果菜類や根菜類のポリフェノール含量は，植物種によって大きな差が見られた。果樹作物の乾燥葉の平均ポリフェノール含量50.0mg/gと野菜作物の乾燥葉の平均ポリフェノール含量17.9mg/gを比較すると，果樹作物葉は野菜作物葉の約2.8倍の

Table 1　Polyphenol contents of the leaves of various fruit and vegetable crops

Crop (variety)	Polyphenol content in leaves (mg/g of freeze-dry matter)
Fruit	
Japanese pear (Housui)	43.9
Japanese pear (Kousui)	46.8
Cherry (Satonishiki)	41.0
Cherry (Takasago)	55.3
Ume (Bungo)	18.0
Ume (Kosyukoume)	33.8
Peach (Ichimiya)	16.5
Kiwi Fruit (Hayward)	22.0
Apple (Fuji)	28.0
Prune (Early rivers)	40.0
Grape (Rozalio rosso)	55.0
Grape (Kaiji-wase)	60.8
Grape (Kyoho)	70.8
Grape (Kosyu)	99.5
Plum (Ooishi-wase)	51.3
Plum (Sordam)	67.5
Persimmom (Matsumoto)	43.8
Persimmom (Kosyuhyakume)	92.5
Fruit vegetable	
Green sweet pepper (California wonder)	0.3
Japanese pumpkin (Kikuza)	0.5
Egg plant (Kitta)	1.5
Cucumber (Shyapu 1)	2.5
Tomato (Faust)	10.0
Broccoli (Green beauty)	12.0
Corn (Honey bantam)	15.5
Udo (Murasaki)	20.5
Sweet pepper (Shisitou)	25.0
Butterbur (Aichi-wase)	85.0
Root vegetable	
Potato (Dansyaku)	0.2
Daikon radish (Aokubi)	0.5
Carrot (Kurodagosun)	1.0
Radish (Akamaru)	23.5
Burdock (Takinogawaoonaga)	85.0
Bean	
Peanut (Sayaka)	10.0
Snap bean (Dojyou)	13.0
Pea (Kinusaya)	16.3
Azuki (Erimosyozu)	18.0

値であった。

作物間の試料数に大きなバラツキがあるが，参考までに果樹作物葉，果菜作物葉，根菜作物葉，豆作物葉の４グループに分けてその傾向をみるため比較した。ポリフェノール含量の各平均値は果樹作物葉が50.0mg/ｇ，果菜作物葉が17.3mg/ｇ，根菜作物葉が22.0mg/ｇ，豆作物葉が14.3mg/ｇであった。この結果から，１年生草本の果菜作物葉，根菜作物葉，豆作物葉より，多年生草本の果樹作物葉が高い傾向がうかがわれた。しかし，分類別の平均値は試料数が少ないグループや個体差が非常に大きい試料の存在が認められたため，直ちにこの平均値をもってグループ間の差として論議することは困難である。一方でグループ間の差を明らかにすることは，これらを利用するに当たって重要であることから，あらためて詳細を検討したいと考えている。

２．果樹および野菜作物葉抽出液のDPPHラジカル消去活性

果樹および野菜作物葉抽出液のDPPHラジカル消去活性を測定した結果をFig.1に示した。果樹作物葉抽出液のDPPHラジカル消去活性は，松本種のカキ葉が426μmolTE/ｇで最も高く，次いで甲州百目種のカキ葉423μmolTE/ｇ，甲州種のブドウ葉が340μmolTE/ｇ，ソルダム種のスモモ葉が303μmolTE/ｇ，プルーン葉が290μmolTE/ｇであった。最も活性が低かったのは，豊水種のナシ葉で10μmolTE/ｇであった。

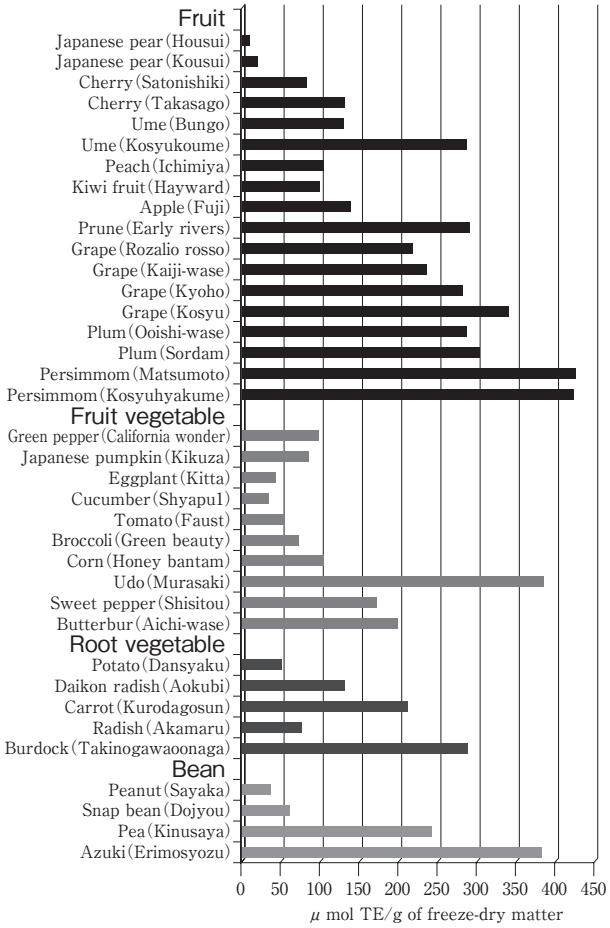

Fig. 1　DPPH radical scavenging activities of the extracts of the leaves of various fruit and vegetable crops

野菜作物葉抽出液のDPPHラジカル消去活性は，最も活性が高かったのが385μmolTE/ｇのウド葉で，次いで383μmolTE/ｇのアズキ葉，288μmolTE/ｇのゴボウ葉であった。最も活性が低かったのは34μmolTE/ｇのキュウリ葉であった。果樹作物葉と野菜作物葉を比較すると，果樹作物葉の平均活性値が211μmolTE/ｇ，野菜作物葉の平均活性値が143μmolTE/ｇであり，果樹作物葉のDPPHラジカル消去活性は野菜作物葉より約1.5倍高かった。

参考比較のためポリフェノール含量と同様に，果樹作物葉，果菜作物葉，根菜作物葉，豆作物葉の４グループに分けて比較すると，DPPHラジカル消去活性の平均値は果樹作物葉が211μmolTE/ｇ，豆作物葉が181μmolTE/ｇ，根菜作物葉が152μmolTE/ｇ，果菜作物葉が124μmolTE/ｇであり，平均活性値が最も高かったのが，果樹作物葉，最も低かったのが果菜作物葉であったが，既述と同様にグループ間の差異についてはあらためて検討したい。

３．果樹および野菜作物葉のポリフェノール含量とDPPHラジカル消去活性の相関

果樹および野菜作物葉のポリフェノール含量とDPPHラジカル消去活性の相関を調べるため，両者間の相関係数を求めた結果をFig.2に示した。果樹作物葉18品種での相関係数は0.6951，野菜作物葉19品種での相関係数は0.3881であり，果樹作物葉では有意に相関が認められたが，野菜作物葉では相関はみられなかった。

果樹作物葉のなかでは，松本種のカキ葉はポリフェノール含量が比較的低いにもかかわらず，DPPHラジカル消去活性が高かった。同様な傾向を示したのが，甲州小梅種のウメ葉，プルーン葉，大石早生種のスモモ葉であった。一方，ナシ葉の２品種は，ポリフェノール含量が中程度の値であったにもかかわらず，DPPHラジカル消去活性は著しく低かった。

野菜作物葉のなかでは，アズキ葉およびウド葉はポリフェノール含量が低いにもかかわらず，DPPHラジカル消去活性が高かった。アズキ葉とウド葉を除いて野菜作物葉の相関係数を算出すると，0.60まで上昇した。このことは，アズキ葉とウド葉においては，ポリフェノール以外の抗酸化成分が存在していることを示唆するものと考えられる。

須田ら[11]は，沖縄県産果実および野菜の未利用部（果皮，種子，葉柄，茎皮など）における，ポリフェノール含量とDPPHラジカル消去活性の相関を報告している。そのなかで，果皮や種子の未利用部でのポリフェノール含量がDPPHラジカル消去活性と高い相関（相関係数0.960）があることを明らかにしている。今回は果樹および野菜作物葉に含まれる全ポリフェノール成分とDPPHラジカル消去活性との相関を見たため，未利用部に含まれるアントシアニンやプロアントシアニジン含量

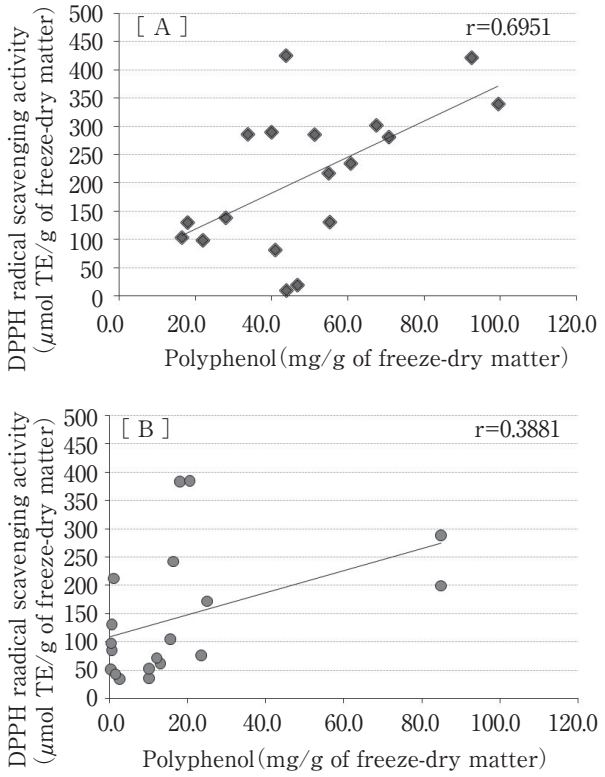

Fig. 2　Relationship between DPPH radical scavenging activities of the extracts of the leaves of various fruit and vegetable crops and their polyphenol content

A. leaves of 18 kinds of fruit crops
B. leaves of 19 kinds of vegetable crops

を分析したこれらの結果とは異なったのではないかと推察される。また，須田らが分析に供したのは果実や野菜の果皮や種子，茎皮など多様な部位であるため，それも今回の試験結果と異なる要因であると考えられる。

今回試料として用いた果樹作物葉は，7・8月採取の未利用葉を分析したが，果樹の生育中に2～3回行われる摘心作業時に廃棄される葉も有効活用できるものと考えられる。また，果実の摘果後に廃棄される果樹作物葉を，抗酸化物質資源として回収し，廃棄農産物とあわせて地域資源の活用に向けた取り組みを進めていきたいと考えている。

要　約

山梨県産園芸作物の葉部ポリフェノール含量とDPPHラジカル消去活性を測定し，両者の相関について検討した。ポリフェノール含量は果樹作物の乾燥葉が平均50.0 mg/g，野菜作物の乾燥葉が平均17.9mg/gであり，果樹作物葉は野菜作物葉より約2.8倍高い値であった。DPPHラジカル消去活性は，果樹作物葉ではカキ葉，ブドウ葉，スモモ葉が高く，野菜作物葉では，ウド葉，アズキ葉，ゴボウ葉が高かった。ポリフェノール含量とDPPHラジカル消去活性の相関係数は，果樹作物葉では0.6951で有意な相関が認められたが，野菜作物葉では0.3881で相関はみられなかった。

謝　辞　試料の果樹作物葉を提供していただきました山梨県果樹試験場に感謝申し上げます。また，本研究に有益なご助言とご指導をいただいた元山梨県工業技術センター副所長小宮山美弘博士に深謝いたします。

文　献

1）Okawa, M., Nohara, T., Kinjo, J. and Ono, M.: DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical scavenging activity of flavonoids obtained from some medicinal plants., *Biol. Pharm. Bull.*, **24**, 1202～1205 (2001)

2）Hassimotto, N. M. A., Genovese, M. I. and Lajolo, F. M.: Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables, and commercial frozen fruit pulps., *J. Agric. Food. Chem.*, **53**, 2928～2935 (2005)

3）木村英生・辻　政雄・恩田　匠・長沼孝多：バイオ技術を利用した地域農林産物からの新規機能性食品の開発，山梨工技セ研報，**19**，6～10 (2005)

4）木村英生・長沼孝多・小松正和・恩田　匠：地域農産素材等の機能性解明と高付加価値製品の開発・山梨工技セ研報，**20**，101～104 (2006)

5）木村英生・長沼孝多・小松正和・恩田　匠：バイオ技術を利用した地域農林産物からの新規機能性食品の開発（第2報），山梨工技セ研報，**20**，5～8 (2006)

6）木村英生・長沼孝多・小嶋匡人・恩田　匠：バイオ技術を利用した地域農林産物からの新規機能性食品の開発（第3報），山梨工技セ研報，**21**，5～9 (2007)

7）恩田　匠・長沼孝多・小松正和：未利用農林産物系バイオマスの利用技術の開発，山梨工技セ研報，**20**，105～108 (2006)

8）沖　智之・増田真美・納美由紀・小林美緒・吉田収・西場洋一・須田郁夫：サツマイモ「シモン1号」葉部抽出液のラジカル消去活性，日食科工誌，**49**，683～687 (2002)

9）市原清志：バイオサイエンスの統計学―正しく活用するための実践理論―（南江堂，東京），p. 363 (1990)

10）豊田正武・佐藤真理・阿部圭子・坂本万希子・田中佑佳・横山奈緒美・渡邊智江・渡邉美紀・近藤　健・菊池知古：カキ11品種の若葉に含まれるビタミンCとポリフェノール含量，日食科工誌，**55**，345～349 (2008)

11）須田郁夫・沖　智之・西場洋一・比屋根理恵・宮重俊一：沖縄県産果実類・野菜類のポリフェノール含量とラジカル消去活性，日食科工誌，**52**，462～471 (2005)

（平成20年9月22日受付，平成21年2月2日受理）

輸出に向けたリンゴ・ナシ大玉果実の生産
―形態的多様性研究からの視点―

江角智也*†§

＊　カリフォルニア大学デービス校

Production of Large-size Apple and Pear Fruit for The Export

ESUMI Tomoya*†§

＊　*Department of Plant Sciences, University of California, Davis, One Shields Avenue, Davis, CA 95616, USA*

Key words：*inflorescence morphology, flower thinning, fruit thinning, Maloideae*
花序形態，摘花，摘果，ナシ亜科

1．リンゴ・ナシの仲間と果実生産

リンゴとナシは，30属1,000種以上の植物からなるバラ科（*Rosaceae*）ナシ亜科（*Maloideae*もしくは*Pyrinae*）に分類される近縁な仲間である（表1）[1),2)]。ナシ亜科には，リンゴやニホンナシ，セイヨウナシの他にビワ，マルメロ，カリンなどの果樹，さらにボケ，ナナカマド，サンザシなどの観賞用の樹木が分類されている。ナシ亜科植物の形態的な特徴は，がく筒が子房を包みこんだ子房下位の花が形成され，がく筒部（花托部）が肥大してナシ状果（Pome）と呼ばれる偽果が形成されることである（図1）。ちなみに，モモやオウトウ，カキ，カンキツなどの果実は，子房部が肥大する真果であり，ナシ亜科植物の果実とは形態学的に異なったものである。

日本におけるリンゴ・ナシの果実卸売額は，リンゴが1,616億円，ニホンナシが546億円であり，セイヨウナシ，ビワ，カリン，マルメロなどを含めたナシ亜科の果樹類は，国内の青果物卸売全体のおよそ2割の取引額を占めている（表2）[3)]。とりわけリンゴとニホンナシは，海外市場向けの輸出が古くは明治時代より行われており，日本の輸出果実の大部分をこの2つの果樹種が占めている。近年は，海外への果実輸出額が増加傾向に転じており，リンゴやニホンナシは“攻めの農政”の重要品目として位置づけられている（図2）[4)]。

主な輸出先である東アジアの青果物市場では，果実の大きさと形が市場価値を決定する重要な要素になっている。日本産の果実は外国産のものに比べて大玉で食味もよく[5)]，さらに，非破壊センサーなどによる選果や優れた貯蔵・流通技術によって品質の保証と均一化が図られていることにも特徴がある。大玉で優れた品質の日本産のリンゴやニホンナシは，例えば台湾や香港の市場において，他外国産のものよりも高い価格で取引され，贈答用のブランド商品として高い評価を得ている[6)~8)]。

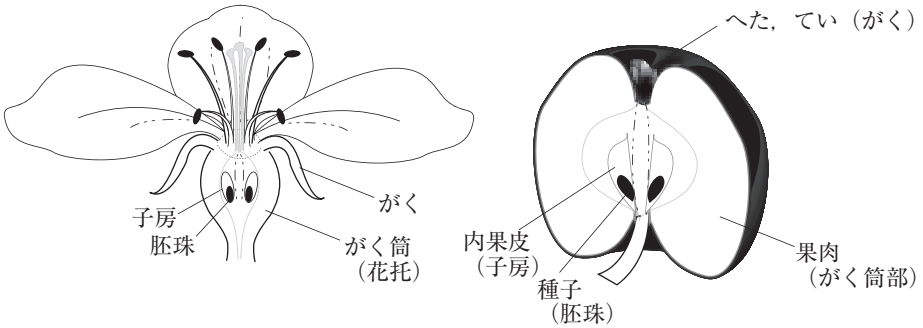

図1　ナシ亜科果樹類の花と果実の構造

ナシ亜科果樹の果実はがく筒部が肥大する偽果（ナシ状果）である。

＊1　米国カリフォルニア州デービス市
†　現在：島根大学生物資源科学部　〒690-8504　島根県松江市西川津町1060
§　連絡先　E-mail：esumi@life.shimane-u.ac.jp

表 1　バラ科ナシ亜科30属（学名）と主要な栽培種（和名）

属－Genus－	主要な栽培種－Species－
Malus Mill.	リンゴ，ヒメリンゴ，ズミ
Pyrus L.	ニホンナシ，セイヨウナシ，チュウゴクナシ
Cydonia Mill.	マルメロ
Eriobotrya Lindl.	ビワ
Pseudocydonia C. K. Schneid.	カリン
Chaenomeles Lindl.	ボケ
Mespilus L.	セイヨウカリン（メドラー）
Aronia Pers.	アロニア（セイヨウカマツカ，チョークベリー）
Ameranchier Medik.	ザイフリボク（ジューンベリー）
Cotoneaster Medik.	コトネアスター（ベニシタン）
Crataegus L.	サンザシ
Pyracantha M. Roem.	ピラカンサ（トキワサンザシ）
Photinia Lindl.	カナメモチ
Phaphiolepis Lindl.	シャリンバイ
Sorbus L.	ナナカマド
Chamaemeles Lindl.	
Chamaemespilus Medik.	
Cormus Spach	
Dichotomanthes Kurz	
Docynia Decne.	
Docyniopsis（C. K. Schneid.）Koidz.	
Eriolobus Roemer	
Hesperomeles Lindl.	
Heteromeles M. Roem.	
Malacomeles G. N. Jones	
Osteomeles Lindl.	
Peraphyllum Nutt. Ex Torr. & Gray	
Stranvaesia Lindl.	
Torminalis Medik.	
Aria J. Jacq.	

POTTER *et al*., 2007；CAMPBELL *et al*., 2007

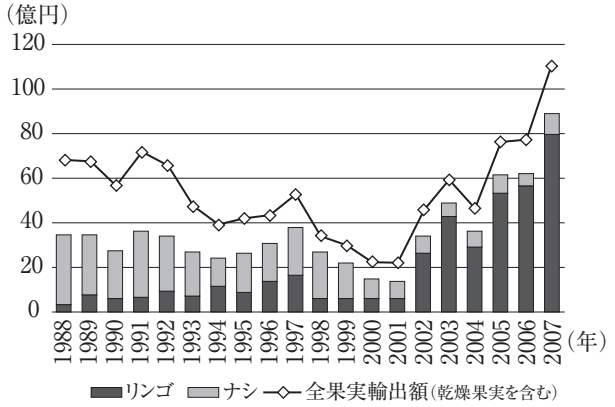

図 2　日本の果実輸出額の推移

財務省貿易統計より作成

表 2　全国の果実卸売価額

	卸売価額（百万円）
カンキツ類	247,199
リンゴ	161,646
ニホンナシ	54,657
セイヨウナシ	5,536
ビワ	3,954
カキ	36,931
モモ	42,357
スモモ	7,810
オウトウ	14,824
ウメ	7,335
ブドウ	77,245
クリ	4,354
イチゴ	165,771
メロン	89,216
スイカ	61,874
キウイフルーツ	8,168
その他の国産果実	21,221
輸入果実	183,765
果実総量	1,193,865

2007年，農林水産統計資料（農林水産省）

2．リンゴ・ナシの大玉生産と果実数調整作業

ところで，日本における大玉で高品質なリンゴ・ナシの果実生産は，その綿密な着果管理によるところが大きい。すなわち，花芽の着生数調整，受粉や摘果による果実の選抜，袋かけによる果実外観の保護や病害虫防除，摘葉や玉まわしによる着色促進など，果実の収穫に至るまでに最低数回，個々の花および果実に作業者が直接的に手をかける管理体系が，海外で高く評価される日本産果実を生み出す源となっている。

一連の着果管理の中でとりわけ重要な作業は，摘蕾・摘花・摘果による着果数の調整である。１果実に対する葉の数，１樹あたりおよび１枝あたりの果実数を適切に調整することによって，土壌からの養分や水分，葉からの光合成産物などが，それぞれの果実に適切な量ずつ供給されるようにし，個々の果実の肥大と品質向上をうながす。さらに，リンゴ・ナシでは果実の着果数と花芽形成率とが密接に関わっていることから，隔年結果（成り年と不成り年の形成）を予防し，毎年の安定した果実生産を行うためにも，着果数の調整は非常に重要な作業となっている。

着果数の調整作業は，複数ある果実の中から良質のものだけを選択できるという点では利点として考えられるが，果樹園経営における生産の効率化に目を向けると，さらなる改善が強く求められている作業の一つである。その具体的な課題として，まず，日本のリンゴ・ナシの生産において，着果数の調整作業は主として人による手作業によって行われていることがあげられる。一般的な果樹園では，果実生産にかかる年間総労働量のおよそ４分の１から３分の１を，この着果数の調整作業が占めている状態にある（図３）[9]。さらに，満開時期前後の非常に限られた短期間に，その労力を集中的に投入しなければならないことから，果樹園の経営規模拡大を阻む大きな要因となっている側面もある。リンゴ・ナシの生産において，この着果数の調整作業の省力化・効率化は，常に重要な問題としてとらえられおり，これまでにも数多くの研究や試行がなされてきている。

3．リンゴ・ナシの花序形態からみた摘花（果）作業

リンゴ・ナシの果実数調整作業にかかる労力をとりわけ増大させている要因の一つとして，複数の花が１か所に総状となって開花するリンゴ・ナシの花序の形態に注目することができる。リンゴでは１か所に３～６個，ニホンナシでは１か所に８～10個の花が密集して開花する形態を示す（表３）。この形態を“花（果）そう”と呼んでいる（図４）。花そう内での果実数の調整には，きめ細かな作業が必要とされるため，それぞれの状態を判断して的確に花や果実を間引くことのできる人の手が，実際の摘花（果）の作業手段としては有利であると考えられる。

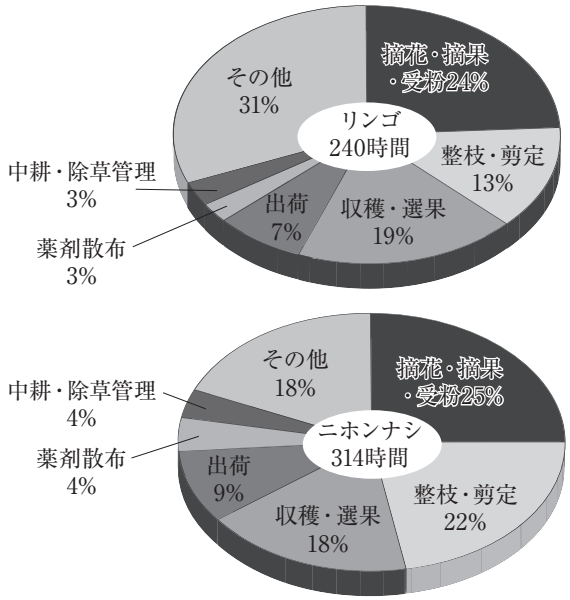

図３　リンゴおよびニホンナシの果実生産における年間作業時間の分布（10ａあたり）

農林水産省農業経営統計，農業経営収支・分析指標（平成12年）より作成

表３　ナシ亜科果樹の開花時における花芽（花そう）中の花数と葉数

		花　数	葉　数	調査花芽数（花そう数）
ニホンナシ	豊水	8.0±2.1	1.6±1.4	80
	幸水	8.5±2.4	0.6±1.3	40
	二十世紀	10.6±3.7	2.8±1.3	20
リンゴ	ふじ	4.9±0.7	8.0±1.2	34
セイヨウナシ	ラ・フランス	6.3±0.9	4.0±1.2	22
	バートレット	6.5±0.7	3.5±1.8	24
	ル・クルチェ	7.6±1.5	3.6±1.9	21
	シルバーベル	6.1±1.3	4.6±1.4	22
マルメロ	スミルナ	1.0	7.3±1.1	64
カリン		1.0	5.1±1.2	14

2005年，京都大学大学院農学研究科附属農場

（１）リンゴの花そうと摘花（果）

リンゴの花そうは３～６花からなる花序と数枚の葉で構成されている。栽培種では，５もしくは６花で構成されるものが多い。中央の花（中心花，King flower）が最初に開花し，それに続いて，その外側の花（側花，Lateral flower）が順次開花する。花序における花の開花順序から，有限花序として分類されている。果実生産では，果柄がしっかりしている中心花を残すようにし，１花そうあたり１花（果）になるように摘花（果）が行われる（図５）。中心花と側花で開花時期が数日異なることから，この時間差を利用して選択的に花を除去する摘花剤処理も実用化されている。

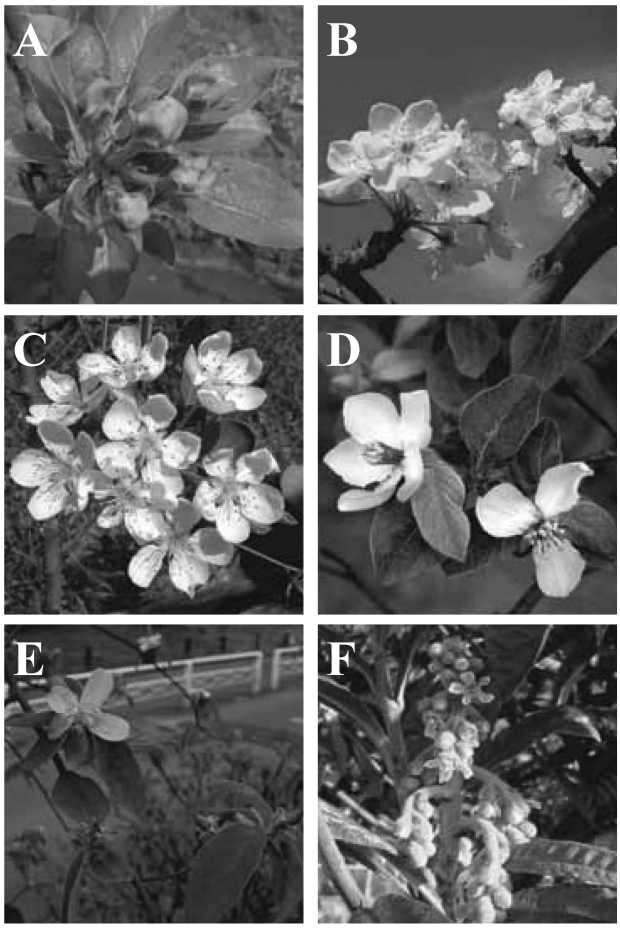

図 4　ナシ亜科果樹類の多様な花序（花そう）の形態

A）リンゴ，B）ニホンナシ，C）セイヨウナシ，D）マルメロ，E）カリン，F）ビワ

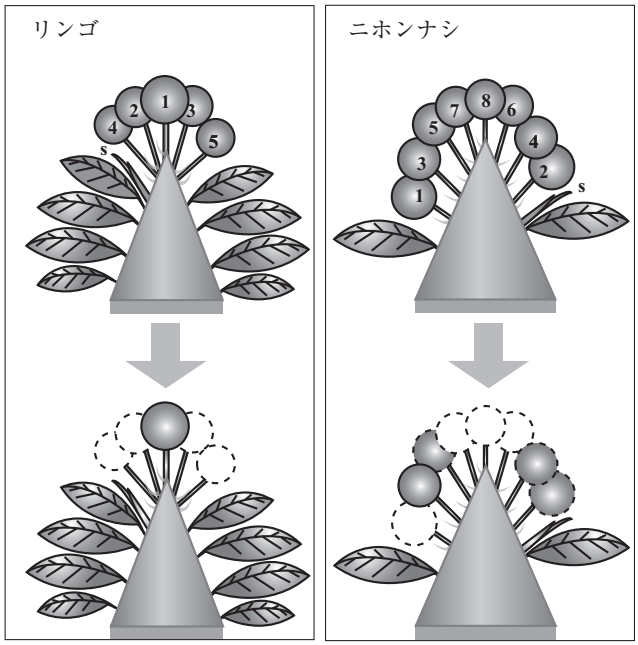

図 5　リンゴとニホンナシの花序と摘花（果）

数字は開花の順を示す。摘花（果）で残すべき花を着色した。(S＝シュート)

（2）ナシの花そうと摘花（果）

ナシの花そうは，5～10花からなる花序と数枚の葉で構成されている。一般的な栽培種のニホンナシでは8～10花，セイヨウナシでは5～10花，チュウゴクナシでは7～10花の花序であり，それぞれ品種間でも違いがみられる（表3）。春の開花時には，花序の外側最下部の花から順次，内側上部の花に向かって開花に至るため，無限花序として分類されている場合が多い。日本のニホンナシ果実生産においては，開花順に従って花そう中の花を，一番花，二番花，…，と呼んでいる（図5）。通常，一番花はがく片が脱落せずに有てい果となったり果実形が悪くなったりしやすく，頂部の花（遅い番花）は果実の肥大が劣る。そのため，二番花から五番花のうち，果柄がしっかりして果実形のよいものを選び，1花そうあたり1果（花）になるように調整を行う。また，栽培の環境条件によっては，花序の基部（一番花のさらに外側）にある腋生分裂組織が花芽分化し，“子花（こばな）”と呼ばれる別の花序を形成する場合があるが，子花の花序は全体を除去する[10]。

花そう内の摘花（果）作業を行わずに複数の果実がついた状態のまま放置すると，小玉で形の悪い果実が密集することになり，果実の市場価値は大きく損なわれる（図6）。花そう内の摘花（果）は，労働集約型の作業ではあるが，近接する果実間での養分や水分の直接的な競合をなくすことにより，果実の大玉化をはかる上では必須の作業である。

4．リンゴ・ナシの果実数の調整作業の省力化

果実数の調整作業に対するこれまでの研究や試行として，省力的に果実を間引くための様々な摘花（果）剤の開発が進められてきている。花や果実を脱落させるためのそれらの生理的な作用機作は，受精を阻害する効果や果柄と果そう基部の間に離層の形成の促進など，薬剤によって様々である。また，現在の主要な摘花（果）剤の成分には，殺虫作用のある化学物質や植物成長調節物質（植物ホルモン様物質）などが含まれている。日本にお

図 6　摘果がなされなかったリンゴ果実

いては，リンゴでは石灰硫黄合剤，ギ酸カルシウム，カーバリル（NAC），セイヨウナシではエセフォンが摘花（果）剤として農薬登録され実用化されている[11)~15)]。ニホンナシに関しては，効率的な摘花（果）剤は未だ開発途上にあり，摘花（果）作業はすべて人の手によって行われている[16)~18)]。また，同じナシ亜科のビワの摘花（果）についても，同様に人の手に頼っているのが現状である。

開発された摘花（果）剤の処理方法についても精力的に研究が進められてきているが，過剰に摘花（果）をしてしまう危険性，果実肥大を抑制してしまう副作用の発生，気象条件や品種，花芽の着生部位の違いによる効果差異など[19),20)]，実用的な技術普及に至るまでに解決すべき課題は数多くある。このような処理効果の不安定性の問題もあるため，実際のリンゴの摘花では，薬剤と人の手による作業とが併用されている[21)]。また，ニホンナシでは，花序中の花の着生位置が果実形や果実品質に大きく影響することから，除去すべき花に対する薬剤の選択性の問題が，薬剤および処理方法開発の大きな障害となっていると考えられる。

筆者は，基礎学術的な観点も含め，リンゴ・ナシの花そうの形態的特徴を掘り下げて観察することにより，摘花（果）作業の課題に対して新たな提案を試みるべく研究を行ってきている。リンゴとナシの違いだけでなく，ナシ亜科全体を見わたし，近縁な植物種間における多様な花序形態の違い（図４）をとらえることにより，リンゴ・ナシの摘花（果）作業の効率化への活用を見据えた視点を紹介する。

５．リンゴ・ナシの花芽形成と花序形態の構築 ―無限花序？有限花序？―

リンゴ・ナシの花序形態の違いをより正確にとらえるためには，それぞれの花芽が形成される様子を観察する必要がある。リンゴ・ナシの花芽は開花前年の夏期に形成される。具体的な花芽分化開始時期は，リンゴは７月上旬から下旬（岩手，青森），ニホンナシは６月下旬（大阪，鳥取，茨城）であることが観察されている[22)~26)]。この時期は果実の生長期と重なることから，果実の着果数と花芽形成の頻度との関係については，芽と果実とでの光合成産物などの養分競合や果実中の種子で合成されるジベレリンの影響などが考えられている[27)]。

花芽分化の様子は，芽のリン片を外側より１枚ずつ剥がしていき，芽の中心にある茎頂部を観察することによって確認できる。茎頂部が狭く平坦な状態が分化前であり（図７ A, D, J），ドーム状に隆起している状態が形態的な花芽分化の開始である（図７ E, K）。植物生理学的には，その形態的変化に先だって，分化に必要な生理的条件が整う段階が，花芽分化の誘導段階（Floral Induction）として定義されている[28),29)]。近年，この花芽分化の誘導に必要な因子の探索研究が遺伝子レベルで進められており，モデル植物のシロイヌナズナでは，*FT*（*Flowering locus T*）遺伝子が花芽分化の誘導段階で中心的な役割を担っていることが明らかにされた[30)]。果樹においても，花芽分化の誘導に関する遺伝子レベルの研究が進められており[31)~34)]，将来的には花芽の分化時期を人為的に制御したり，果樹における交雑育種の期間を飛躍的に短縮したりすることが期待される。

茎頂部のドーム状への形態変化は，茎頂部の生長がそれまでの栄養分裂組織から花序分裂組織へと転換さたことを示している。花序分裂組織は伸長し続けると同時に，その側部に花となる組織，すなわち花原基を順次分化させていく。この発達段階が花序の構築に相当する。

リンゴでは花序分裂組織を中心として４～５個の側花原基が形成され，最終的に花序分裂組織の先端が頂花の花原基に分化することで，花序の構築が完成する（図７ A,B）。この花序発達の様子については，Fosterら（2003）によって詳細に観察されている[35)]。頂花は開花時の中心花となる花である。花序の形態ができ上がった後，個々の花原基の内部では，がく，花弁，雄蕊，雌蕊の各花器官が順次形成される[23)]。翌春の開花時には，中心花が最初に開花し，次に側花が開花する（図５，図７ C）。これは，花原基の誘導順序とは逆である。

ニホンナシ‘豊水’では，まず４～５個の側花の花原基が形成され，その後，花序分裂組織の先端が頂花の花原基に分化する。次に，花序の基部の外側にある１～２個の未分化分裂組織が花原基へと分化し，最終的に約８個の花原基からなる花序が構築される（図７ D-G）[26)]。その後はリンゴと同様，各花原基で花器官の分化が起こるが，花序の基部のさらに外側の未分化分裂組織が花序分裂組織に転換し，子花の花序が形成される場合もある（図７ H）。翌春の開花時には，最も基部の側花（最後に形成された花原基）から順に頂花に向かって咲きあがるように開花する（図５，図７ I）。

一般の教科書などでは，開花時の様子から，リンゴとナシの花序はそれぞれ有限花序と無限花序として扱われることが多い[36)]。しかし，花芽分化時の観察からは，花序構築の初期段階は両者とも同じ様式であり，ともに花序分裂組織が頂花に分化することで花序の伸長が停止する有限の花序である[26),35)]。ニホンナシでは，基部に新たに１～２個の側花原基が別に形成されることにより，リンゴよりも多くの花数をもつ花序形態となっている（図７ F,G）。さらに，ニホンナシの摘花作業において，一番花を除去する理由として，それらが花序発達時の最後で形成される花原基であり，ニホンナシの花序の構成において追加的な存在であることが，果実の生長特性などに関係しているためであると考えられる。

６．リンゴ・ナシの花序形態を変えられるか？

次に，ナシ亜科に分類される植物が非常に多様な花序形態を示すことに注目したい（図４）[37),38)]。Phippsら

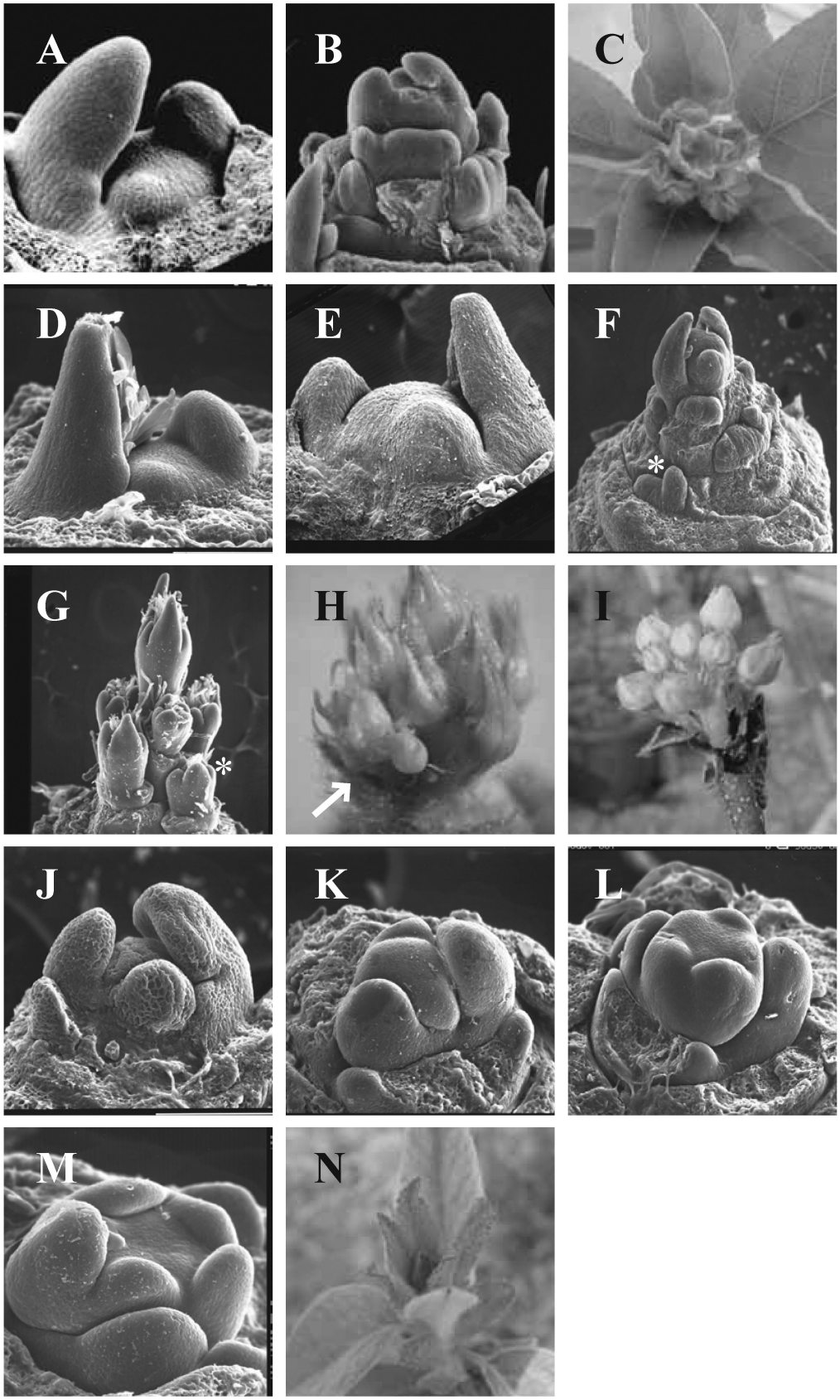

図 7　リンゴ，ニホンナシ，マルメロの花芽分化の様子と開花前の様子

A）リンゴ花芽分化前－６月，B）リンゴ花序形成後－８月，C）リンゴ萌芽時－４月，D）ニホンナシ花芽分化前－６月上旬，E）ニホンナシ花芽分化開始時－６月下旬，F）ニホンナシ花序形成－６月下旬，G）ニホンナシ各花器官の分化－７月上旬，H）ニホンナシ子花（矢印）－２月，I）ニホンナシ萌芽時－４月，J）マルメロ花芽分化前－10月上旬，K）マルメロ花芽分化開始－10月下旬，L）マルメロ花器官の分化－11月，M）マルメロ花器官の分化－１月，N）マルメロ萌芽時－４月，（＊＝最後に形成される花原基を示す）

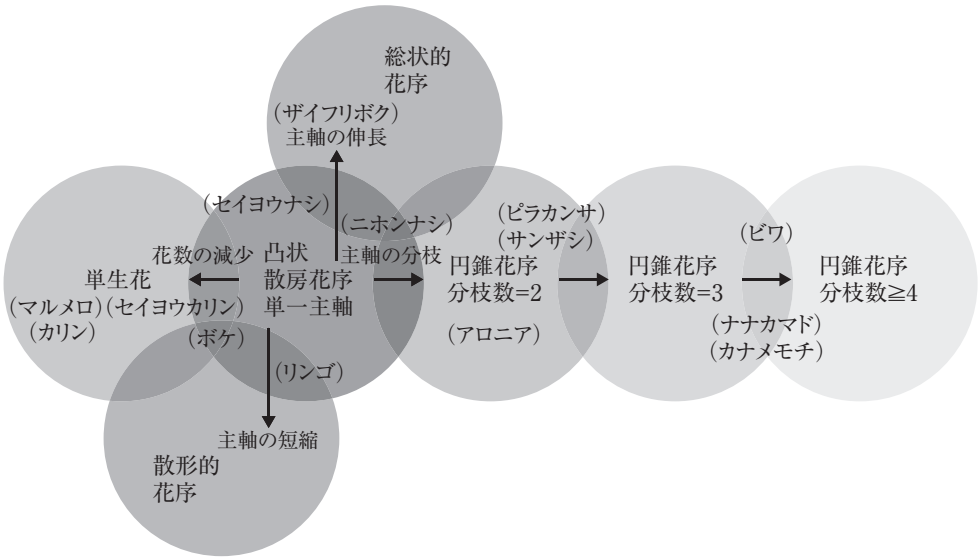

図 8　ナシ亜科植物の花序の形態進化モデル

PHIPPS ら（1991）の図を改変して作成

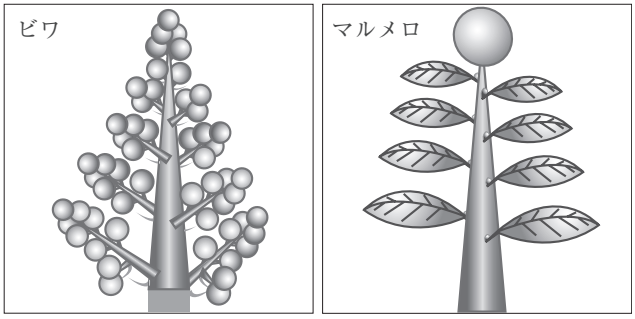

図 9　ビワとマルメロの花序形態（模式図）

（1991）は形態観察による研究から，ナシ亜科植物の花序の形態進化の流れを提唱している（図 8）[39]。それによると，おおよそナシの花序のような形態を起源中心とし，花数や花序の分枝数が増加して複雑になっていく方向，花数を減らして単純化していく方向などがあることが示されている。

同じナシ亜科果樹のビワでは，50個以上の花からなる巨大な花序が形成される。花序は複数に枝分かれをし，全体としては円錐状の形の花房となる（図 4　F，図 9）。ビワの花の開花順序や花序発達の様子を観察によって明確することは容易ではないが[40),41)]，ナシ亜科果樹類の花序形態の進化の仕組みを解明するうえでは興味深い材料である。

また，ビワとは逆に，花序形態が単純化したと考えられるものとしてマルメロやカリンなどがあげられる。マルメロやカリンは単生花の形態を示す（図 4　D，E，図 9）。マルメロの花芽分化はリンゴやニホンナシに比べ，非常に遅い時期（長野，11月）に開始する。芽内部の茎頂部がドーム状になり（図 7　K），そのまま茎頂部全体が花原基に変化していく様子が観察される（図 7　L-N）。リンゴ・ナシのように花序の伸長は起こらない[26)]。マルメロやカリンでは，放任的な栽培管理下でも，比較的大玉の果実が形成されるが，これは，単生花の形態が果実の効率的な肥大生長に好都合であるということを示しているのかもしれない。

これらのナシ亜科果樹の花序形態の多様性を，リンゴ・ナシの摘花（果）作業の効率化にどのように結びつけられるのか。その筋道の一つとして提案しておきたいのは，ナシ亜科果樹類の長年の育種研究と近年の遺伝子レベルでの研究の成果により，花序の形態形成を遺伝的に操作できる可能性が示されていることである。

ナシ亜科内のいくつかの植物種では属間レベルで雑種を作出することが可能であり，これまでにセイヨウナシとマルメロ[42)]，ニホンナシとマルメロ[43)]，リンゴとニホンナシ[44)]などの組み合わせが報告されている。興味深いことに，セイヨウナシとマルメロもしくはニホンナシとマルメロの属間雑種では，1～3個の花からなる花序が形成され，両親の中間的な形態となっている。また，花芽分化を強制的に誘導する目的で作出されたリンゴの形質転換体では，単生花もしくは少ない花数の花序形態になることが観察されている[32),45)]。シロイヌナズナでは花序の構築に関わる遺伝子として*TFL1*（*TERMINAL FLOWER 1*が解明されている。ニホンナシでは花芽分化時に*TFL1*の相同遺伝子が花序組織で発現し続けていること[46)]，さらに，リンゴでは*TFL1*相同遺伝子の発現を抑えると花数の少ない花そうの形成が起こること[32)]が観察されており，*TFL1*相同遺伝子はリンゴ・ナシにおいても花序の形態形成に関与していると考えられる。最近では，花芽形成に関わる遺伝子の発現や働きと多様な花序の形態形成との関係をシミュレーションすることによって，花序構築の制御や形態進化を理解するモデルも提

案されている[47]。

これらのことを踏まえると，将来的には，リンゴ・ナシの花序形態を改変する育種や，人為的な遺伝子発現調節によって花序の形態形成の制御が可能になってくることも夢ではないかもしれない。

おわりに

リンゴ・ナシで大玉の果実を生産する上で必須な摘花（果）作業について，これまでの研究では着目されてこなかったナシ亜科植物の花序形態の多様性の視点を紹介した。リンゴ・ナシの花序形態の形成とその違いを理解することは，間接的ではあるが，摘花（果）作業の効率化と的確化，ひいては大玉果実生産の手助けとなるだろう。

文　献

1）Potter, D., Eriksson, T., Evans, R. C., Oh, S., Smedmark, J. E. E., Morgan, D. R., Kerr, M., Robertson, K. R., Arsenault, M., Dickinson, T. A. and Campbell, C. S.: Phylogeny and classification of Rosaceae, *Plant Syst. Evol*., **266**, 5～43（2007）

2）Campbell, C. S., Evans, R. C., Morgan, D. R., Dickinson, T. A. and Arsenault, M. P.: Phylogeny of subtribe Pyrinae（formerly the Maloideae, Rosaceae）: Limited resolution of a complex evolutionary history, *Plant Syst. Evol*., **266**, 119～145（2007）

3）農林水産省：平成19年青果物卸売市場調査結果の概要，農林水産省統計情報（2008）http://www.maff.go.jp/j/tokei/sokuhou/seikaoroshi 2007/index.html

4）（財）中央果実生産出荷安定基金協会　果実輸出戦略検討委員会：果実王国日本・ブランドで輸出拡大を，果実輸出戦略検討委員会報告書（2007）http://www.kudamono 200.or.jp/JFF/

5）Kajikawa, C.: Quality level and price in Japanese apple market, *Agribusiness*, **14**, 227～234（1998）

6）菅沼圭輔：中国・上海の市場と福島県食品の展望，日本貿易振興機構（ジェトロ）アジア経済研究所調査研究報告書（2004）http://www.ide.go.jp/Japanese/Publish/Report／2004_04_30.html

7）横田洋之：「青森りんご」輸出の現状，21世紀政策研究所報告書（2007）http://www.21 ppi.org/thesis/index.html

8）横田洋之：「鳥取二十世紀梨」輸出の現状，21世紀政策研究所報告書（2007）http://www.21 ppi.org/thesis/index.html

9）農林水産省：農業経営収支・分析指標，平成12年農業経営統計調査資料（2000）

10）古田　収：梨の子持花に関する研究，鳥取県果樹試験場研究報告，**3**，32～47（1965）

11）森田　泉・上村大策・久米靖穂・瀬田川守・田口茂春：リンゴ‘ふじ’の石灰硫黄合剤による摘花及び省力効果，東北農業研究，**50**，147～148（1997）

12）荒川　修・石川勝規・小原　繁・小野田和夫・福田博之：ギ酸カルシウム剤によるリンゴの摘花，園芸学研究，**1**，259～262（2002）

13）増田哲男・工藤和典・別所英男・猪俣雄司・和田雅人・中元陽一・藤澤弘幸：リンゴ‘ふじ’の摘花に及ぼすギ酸カルシウムの影響，園芸学研究，**5**，283～288（2006）

14）高田　睦・今村友彦・今　俊充：エテホン液剤によるセイヨウナシの摘果，東北農業研究，**50**，145～146（1997）

15）工藤　信・佐藤健治・奥山仁六：エテホン剤によるセイヨウナシ‘ラ・フランス’の摘花・摘果効果，東北農業研究，**53**，151～152（2000）

16）大川克哉・白石奈穂・小原　均・松井弘之：数品種のニホンナシに対するエセフォンの摘花効果，園芸学研究，**5**，69～73（2006）

17）川瀬信三・石田時昭：ニホンナシの受粉，摘果作業等に及ぼす花数の影響，千葉県農業試験場報告，**40**，23～28（1999）

18）平塚　伸・渡辺　学・河合義隆・前島　勤・川村啓太郎・加藤尉行：ニホンナシに対するギ酸カルシウムの摘花作用，園芸学会雑誌，**71**，62～67（2002）

19）鈴木　哲・小野田和夫：リンゴ新品種に対する摘果剤の効果，東北農業研究，**41**，231～232（1988）

20）増田哲男・中元陽一・藤澤弘幸・猪俣雄司・別所英男・工藤和典：摘花剤利用によるリンゴの摘果作業の省力化，東北農業研究，**57**，161～162（2004）

21）Koike, H., Tamai, H. and Ono, T.：極東諸国の‘ふじ’栽培の現状と長野県における栽培・台木・生産構造に関する研究，長野県果樹試験場報告，**5**，33～45（1998）

22）長内敬明：リンゴ主要品種の花芽分化期，東北農業研究，**51**，149～150（1998）

23）Kotoda, N., Wada, M., Komori, S., Kidou, S., Abe, K., Masuda, T. and Soejima, J.: Expression pattern of homologues of floral meristem identity genes *LFY* and *AP* 1 during flower development in apple, *J. Amer. Soc. Hort. Sci*., **125**, 398～403（2000）

24）Banno, K., Hayashi, S. and Tanabe, K.: Morphological and histological studies on flower bud differentiation and development in Japanese pear（*Pyrus serotina* Rehd.）, *J. Japan Soc. Hort. Sci*., **55**, 258～265（1986）

25）彭　抒昂・岩堀修一：ニホンナシの花芽分化に伴う茎頂の形態と細胞構造の変化，園芸学会雑誌，**63**，313～321（1994）

26）Esumi, T., Tao, R. and Yonemori, K.: Comparison of

early inflorescence development between Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) and quince (*Cydonia oblonga* Mill.), *J. Japan Soc. Hort. Sci.*, **76**, 210～216 (2007)

27) TROMP, J.: Flower-bud formation in pome fruits as affected by fruit thinning, *Plant Growth Regul.*, **31**, 27～34 (2000)

28) BERNIER, G.: Cellular and Molecular Aspects of Floral Induction (Longman Group Ltd., London) (1970)

29) BUBAN, T. and FAUST, M.: Flower bud induction in apple trees: Internal control and differentiation, *Hort. Review.*, **4**, 174～203 (1982)

30) TURCK, F., FORNARA, F. and COUPLAND, G.: Regulation and identity of florigen: FLOWERING LOCUS T moves center stage, *Annu. Rev. Plant Biol.*, **59**, 573～594 (2008)

31) WILKIE, J. D., SEDGLEY, M. and OLESEN, T.: Regulation of floral initiation in horticultural trees, *J. Exp. Bot.*, **59**, 3215～3228 (2008)

32) KOTODA, N., IWANAMI, H., TAKAHASHI, S. and ABE, K.: Antisense expression of *MdTFL1*, a *TFL1*-like gene, reduces the juvenile phase in apple, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **131**, 74～81 (2006)

33) NISHIKAWA, F., ENDO, T., SHIMADA, T., FUJII, H., SHIMIZU, T., OMURA, M. and IKOMA, Y.: Increased *CiFT* abundance in the stem correlates with floral induction by low temperature in Satsuma mandarin (*Citrusunshiu* Marc.), *J. Exp. Bot.*, **58**, 3915～3927 (2007)

34) ENDO, T., SHIMADA, T., FUJII, H., KOBAYASHI, Y., ARAKI, T. and OMURA, M.: Ectopic expression of an *FT* homolog from *Citrus* confers an early flowering phenotype on trifoliate orange (*Poncirus trifoliata* L. Raf.), *Transgenic Res.*, **14**, 703～712 (2005)

35) FOSTER, T., JOHNSTON, R. and SELEZNYOVA, A.: A Morphological and quantitative characterization of early floral development in apple (*Malus* x *domestica* Borkh.), *Ann. Bot.*, **92**, 199～206 (2003)

36) WESTWOOD, M. N.: Temperate-zone pomology physiology and culture. 3rd. Edition (Timber Press, Portland, OR) (1993)

37) ROHRER, J. R., ROBERTSON, K. R. and PHIPPS, J. B.: Floral morphology of Maloideae (Rosaceae) and its systematic relevance, *Amer. J. Bot.*, **81**, 574～581 (1994)

38) EVANS, R. C. and DICKINSON, T. A.: Floral ontogeny and morphology in Gillenia ("Spiraeoideae") and subfamily Maloideae C. Weber (Rosaceae), *Int. J. Plant Sci.*, **166**, 427～447 (2005)

39) PHIPPS, J. B., ROBERTSON, K. R., ROHRER, J. R. and SMITH, P. G.: Origins and evolution of subfam. Maloideae (Rosaceae), *Syst. Bot.*, **16**, 303～332 (1991)

40) LIU, Z. L., LIN, S. Q., CHEN, H. B., ZHANG, S. L. and CHEN, K. S.: Phenological and anatomical observations of morphological differentiation of flower bud in loquat, *Acta Hort.*, **750**, 299～306 (2007)

41) RODRIGUEZ, M. C., CUEVAS, J. and HUESO, J. J.: Flower development in 'Algerie' loquat under scanning electron microscopy, *Acta Hort.*, **750**, 337～342 (2007)

42) TRABUT, L.: PYRONIA, A hybrid between the pear and quince-Produces abundance of seedless fruit of some value-Many new combinations might be made among the relatives of the pear, *J. Hered.*, **7**, 416～419 (1916)

43) 志村　勲・伊藤祐司・清家金嗣：ニホンナシ (*Pyrus serotina* Redh.) とマルメロ (*Cydonia oblonga* Mill.) との属間雑種，園芸学会雑誌，**52**，243～249 (1983)

44) 伴野　潔・宮澤寛和・中野真一：ニホンナシとリンゴの属間雑種数系統における開花，結実及び果実品質の一般的特性について，園芸学会雑誌，**65**別冊１，96～97 (1996)

45) FLACHOWSKY, H., PEIL, A., SOPANEN, T., ELO, A. and HANKE, V.: Overexpression of *BpMADS* 4 from silver birch (*Betula pendula* Roth.) induces early-flowering in apple (*Malus* × *domestica* Borkh.), *Plant Breeding*, **126**, 137～145 (2007)

46) ESUMI, T., TAO, R. and YONEMORI, K.: Expression analysis of the *LFY* and *TFL1* homologs in floral buds of Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) and quince (*Cydonia oblonga* Mill.), *J. Japan Soc. Hort. Sci.*, **77**, 128～136 (2008)

47) PRUSINKIEWICZ, P., ERASMUS, Y., LANE, B., HARDER, L. D. and COEN, E.: Evolution and development of inflorescence architectures, *Science*, **316**, 1452～1456 (2007)