

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：11201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26850156

研究課題名(和文) 農業の6次産業化の推進に向けた青果物の特性に応じた最適乾燥条件の解明

研究課題名(英文) Elucidation of optimum drying condition corresponding to characteristics of fruit and vegetables for promotion of sixth sector industrialization

研究代表者

折笠 貴寛 (ORIKASA, Takahiro)

岩手大学・農学部・准教授

研究者番号：30466007

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、6次産業化の推進に必要な各種青果物の最適乾燥条件について、乾燥特性、品質変化、環境負荷の観点から検討した。また、乾燥前処理工程としてのブランチングに着目し、品質を最大化するために必要な複数品質の同時評価手法を確立した。本研究で得られた一連の研究成果は、効率的な乾燥条件の決定および高品質な乾燥物の製造に有用であり、6次産業化の推進への貢献が期待される。

研究成果の概要(英文)：We examined drying characteristics, quality changes, environmental impact of fruit and vegetables, and discussed its optimum drying condition for promotion of primary producers' diversification into processing and distribution (sixth sector industrialization). We focused also blanching process as a pretreatment procedure before drying process of fruit and vegetables and constructed multiple evaluation method of some quality parameters for maximization of quality of final product. These findings obtained from this study will be useful for determining effective drying condition and production of high quality dried products. These findings will be expected to contribute for expanding sixth sector industrialization.

研究分野：ポストハーベスト工学

キーワード：6次産業化 遠赤外線乾燥 ブランチング コンジョイント分析 複数品質の同時評価 消費電力量

1. 研究開始当初の背景

平成 25 年 6 月に閣議決定された「日本再興戦略」の中で、今後 10 年間で農産物の加工を中心として 6 次産業化（農林漁業生産者（1 次産業）が加工（2 次産業）販売（3 次産業）までを手がけることにより、新たな事業の創出などで農山漁村の活性化を図る取り組み）を推進し、2020 年に 6 次産業の市場規模を現在の 1 兆円から 10 倍の 10 兆円とすることを政策目標としている。また、青果物の多くは出荷時期が限られているため、意欲ある生産者においても高品質加工処理法開発の要望が非常に強い。

青果物加工処理の 1 つとして、乾燥処理が考えられる。乾燥処理を施すことにより、廃棄されていた青果物を乾燥食品として商品化できるため、青果物の廃棄ロスを大幅に削減する効果も併せて期待される。熱風乾燥やフリーズドライなど、既存の乾燥法に代わる新しい青果物の乾燥法として過熱蒸気乾燥（五十部ら, 食科工誌, 2011）遠赤外線乾燥（岡本ら, 食科工誌, 2012）減圧マイクロ波乾燥（Figiel A., J. Food Eng., 2009）などが注目されつつある。これらの報告により、青果物の乾燥に伴う乾燥特性や品質変化に関する理論的な解明が進みつつあるものの、6 次産業化に取り組む農家で乾燥機を導入する際、対象農産物の加工適性を検討せずに、必ずしも最適とはいえない乾燥機を導入するといった事例も一部で発生しているのが現状である。このような事例をなくすためには、青果物個々の乾燥適性に応じた乾燥方法を選択するためのデータベースの構築が必要不可欠である。

また、近年、ライフサイクルアセスメント（以下、LCA）が注目されており、LCA 手法を用いて低炭素型社会に向けた最適システムの構築を目的とした環境負荷の解析が期待されるが、食と農の分野において LCA を適用した例は少なく、青果物の乾燥過程における投入エネルギーに関する評価手法も未確立である。環境に優しいことは消費者に好印象を与えるため、6 次産業化の推進ためには環境負荷低減に配慮した青果物乾燥の最適システムの確立が必要であるが、その理論構築にまでは至っていない。

2. 研究の目的

本研究では、青果物の長期保存のための加工方法として乾燥に着目し、6 次産業化の推進に必要な青果物個々の特性に応じた最適乾燥条件の解明を目的とした。異なる乾燥手法について、青果物の乾燥過程における乾燥特性の解析と品質を左右する酵素活性・栄養成分変化の測定を行い、その変動状況について予測モデルを構築する。これらの解析結果にライフサイクルアセスメント（LCA）手法による解析も加味し、環境負荷にも配慮した素材ごとの特性に応じた最適乾燥のデータベースの構築を目指す。これにより、解析事

例が不足している食と農の LCA に関する学問領域の発展はもちろんのこと、低炭素社会の構築に向けた消費者の意識改革や啓蒙効果も期待される。さらに、本研究により得られたデータベースが普及すれば、6 次産業化に取り組む農家を後押しすることに繋がり、農家の所得向上のみならず、我が国が国策として掲げる「攻めの農政」の一助となることが期待される。

3. 研究の方法

図 1 に示したフローにより研究を実施する。すなわち、葉菜類、果菜類、根菜類を試料として乾燥処理（熱風、遠赤外線、マイクロ波、減圧およびこれらの併用乾燥）を行い、以下の 4 つのステップにより検討を行う。

（1）乾燥特性の解析および含水率予測モデルの構築

（2）品質変化予測モデルの最適化

（3）LCA 手法による環境負荷の解析および複合モデルの構築

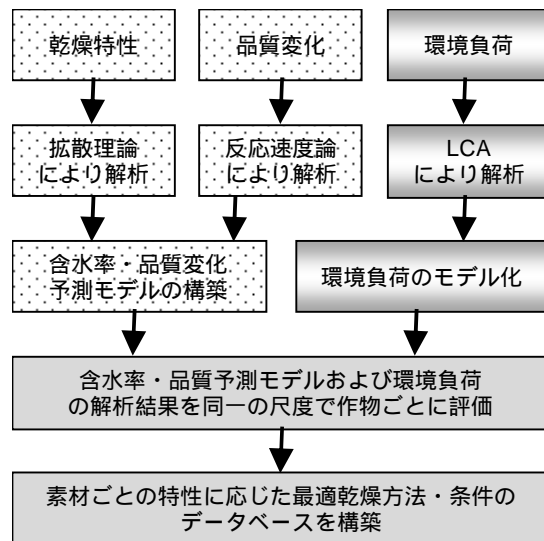


図 1 本研究の流れ

（1）対象試料として葉菜類（ホウレンソウ、コマツナ）、果菜類（トマト、ピーマン、ナス、カボチャ）、根菜類（ニンジン、ダイコン）、果実類（リンゴ、ナシ、ブドウ、カキ）を選び、熱風、マイクロ波、遠赤外線、減圧乾燥装置を用いて乾燥処理を行う。含水率、体積、表面積などの乾燥特性を測定し、拡散理論を用いてデータを解析する。また、試料温度を光ファイバー温度計を用いて測定し、拡散係数の温度依存性について検討を加え、含水率予測モデルを構築する。さらに、走査型電子顕微鏡を用いた組織構造解析を行い、乾燥特性の差異について計測工学的手法を用いた考察を行う。

（2）乾燥過程における酵素活性、抗酸化活性、機能性成分などの品質変化について検討する。パーオキシダーゼやポリフェノールオ

キシダーゼなどの酸化酵素について Soysal らの方法 (Soysal et al., J. Food Eng., 2005) により測定する。また、抗酸化活性として ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity: 活性酸素吸収能力) を、機能性成分としてアスコルビン酸、リコピンおよびカロテン含有量をそれぞれ測定する。得られた測定結果を反応速度論により解析し、品質変化予測モデルの最適化を行う。また、色彩、糖酸度、硬度など乾燥青果物の品質に直接影響する項目についても測定を行い、これらの結果を加味することにより、品質の低下を最小限にする乾燥条件を明らかにする。さらに、インピーダンスの測定により得られた Cole-Cole プロットの評価により、細胞膜の健全性についても評価する。

(3) 決定された最適条件に従って青果物を乾燥し、エネルギー投入量などの一次データを取得する。これらのデータを LCA 手法により解析し、環境負荷の定量化を行う。また、エネルギー投入量の削減効果について、各乾燥法の解析結果の相互比較により検討する。これらの項目を総合し、環境負荷を低減しつつ、青果物の品質を保持できる新たな乾燥適性を青果物ごとに評価し、素材ごとの乾燥適性を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 遠赤外線乾燥条件の違いがキャベツの品質変化および消費電力量に及ぼす影響

キャベツの遠赤外線乾燥過程において遠赤外線放射パネルの設置枚数と位置を変動させ、試料品質および消費電力量について検討した。乾燥装置の概略図を図 2 に、乾燥条件を表 1 にそれぞれ示す。

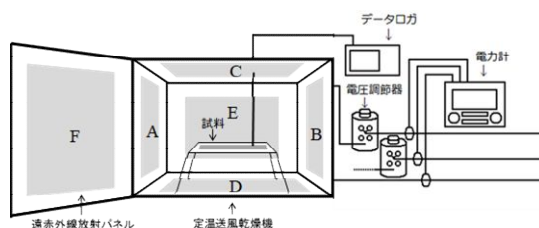


図 2 赤外線乾燥装置の概略図と乾燥試験中の遠赤外線放射パネル配置箇所。A~F は遠赤外線放射パネルの配置箇所を表す。A、B に設置した放射パネルの出力は 54 W、C、D、E、F に設置した放射パネルの出力は 70 W である。

表 1 乾燥条件

	低温長時間乾燥	高温短時間乾燥
	放射パネル 2 枚	放射パネル 4 枚
遠赤外線乾燥	F2a (A, B)	F4a (A, B, E, F)
	F2b (C, D)	F4b (A, B, C, D)
熱風乾燥	H2 (47, 8 h)	H4 (64, 4 h)

A、B に設置した放射パネルの出力は 54 W、C、D、E、F に設置した放射パネルの出力は 70 W である。

L-アスコルビン酸残存率は、アスコルビン酸オキシダーゼの至適温度帯における有効積算温度が小さいほど大きくなる傾向がみられ (図 3) 乾燥過程において L-アスコルビン酸を保持するためには、試料表面温度が A0 の至適温度、特に 35~45 付近となることを避けつつ、50~60 程度の温度で短時間乾燥させることが効果的であると考えられた。

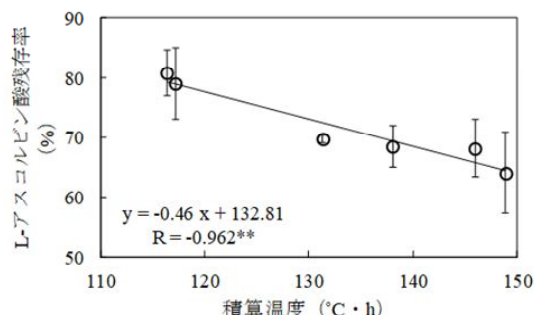


図 3 L-アスコルビン酸残存率と有効積算温度の関係。図中のバーは標準誤差を表す (n=6)。** : L-アスコルビン酸残存率と有効積算温度の間に相関分析による有意な相関あり (p<0.01)。

乾燥試料はいずれの乾燥条件においても黄化し、その程度は高温短時間乾燥条件において若干大きくなる傾向が見られた。

遠赤外線放射パネルの設置枚数を増やすことで、大幅に乾燥時間は短縮したが、設置位置の違いにより含水率変化に違いは見られなかった。

遠赤外線放射パネルを 4 枚設置した条件においては、2 枚設置した条件よりも消費電力量は小さくなった。同じ乾燥時間に設定した熱風乾燥に対する消費電力量の削減率は、低温長時間乾燥で約 27%、高温短時間乾燥で約 24% となり、低温長時間乾燥の方が消費電力量の削減効果が大きくなった。

(2) ニンジンの最適ブランチング処理法の検討に向けた品質および物理的特性の測定
ニンジンを用いた熱湯処理 (HW)、マイクロ波処理 (ラップ包装なし) (MW) およびマイクロ波処理 (ラップ包装あり) MWP 処理によるブランチング方法の違いが、品質および物理的特性に及ぼす影響について検討した。

質量損失率は、MWP 処理において大きくなった。MWP 処理では包装により試料表面温度が上昇し、水分蒸発が促進されたためと考えられた。

色差はいずれの処理方法においても大きくなり、感覚的表現では「非常に異なる」レベルとなった。各処理において L* 値が減少しており、且つ β-カロテンの減少も確認されたことから、加熱褐変および β-カロテンの減少が色彩変化に関与していると考えられた。

HW 処理における L-アスコルビン酸およびカリウム減少率は、他の処理法におけるそれと比較して最大で 4 倍となった。これは、加熱の長時間化および浸漬液中への溶出が要因と考えられた。

各処理前後の硬度においては MWP 処理での低下が著しく、空隙率の増減比および微細構造の観察においても MWP 処理における変化が大きくなった (図 4)。この要因として、処理中の試料中心および表面温度が高くなったことによりペクチンの β -脱離が進行したためと推察された。

以上、ブランチング方法の違いにより品質指標の変化が異なる傾向となることが示された。どのブランチング方法にも一長一短があり、加工後の最終製品の特性に応じてブランチング方法を使い分ける必要があると考えられる。その際、重要視する品質項目の明確化に加え、ブランチング処理の違いが加工後の試料品質に及ぼす影響についての検討が重要となる。

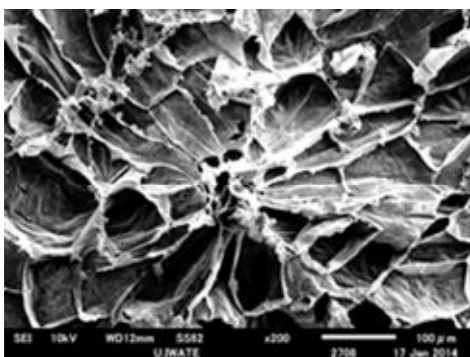


図 4 MWP 処理における試料表面の微細構造。

(3) 加熱前処理による生理活性変化がハウレンソウの熱風乾燥速度に与える影響

ハウレンソウへの加熱前処理が生理活性 (Cell Membrane Stability (CMS) および Fv/Fm) や乾燥処理過程における物理的性質 (含水率および表面積) に与える影響を検討した。ここで、CMS は細胞膜健全性を、Fv/Fm は光合成活性の指標をそれぞれ示す。

加熱前処理された試料における乾燥処理初期の含水比変化速度 DRM は、同程度の含水比における非加熱前処理のそれと比較して 2.5~4.4 倍程度大きくなる傾向が得られた。

生理活性の指標として、CMS 比 (CR) および Fv/Fm 比 (FR) を用いた。この値が大きいほど、生理活性が大きいことを意味する。加熱処理過程における試料の CR および FR の低下は指数モデルによって示された。また、CR は FR と比較して指数的な低下の開始点においては 20 s、低下速度においては 1.4 倍程度それぞれ早く低下することが示され、加熱により細胞膜の健全性が破壊されたのち、光合

成活性が減少することが明らかとなった (図 5)。

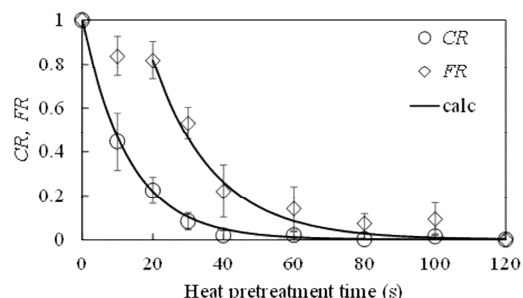


図 5 加熱前処理時間が CR および FR に及ぼす影響。

各実験区における FR は乾燥終了時 SA 残存率 b と有意 ($P < 0.01$) に相関し、生理活性の低下が乾燥処理過程における表面積収縮抑制要因のひとつであることが示された。生理活性低下と乾燥特性の関係を検討し、生理活性低下による乾燥速度向上効果を最大化することにより、新たな農産物乾燥処理技術開発が期待される。

(4) コンジョイント分析を用いた複数品質の同時評価による乾燥パプリカの最適ブランチング処理条件の検討

熱湯処理 (HW) および過熱水蒸気処理 (SHS) によってパーオキシダーゼ (POD) 残存活性比を数段階に調整した乾燥パプリカの品質 (L-アスコルビン酸、総ポリフェノール、色彩) および消費者からみた嗜好度の変化を解析した。

L-アスコルビン酸保持の観点からみた場合、乾燥パプリカにおける HW および SHS によるブランチング終了条件を POD 残存活性比 0.8 とすることで、オーバーブランチングを抑制しつつ L-アスコルビン酸残存率を 1.2-1.3 倍程度に最大化できることが示された。

乾燥パプリカの総ポリフェノール保持の観点からすると、SHS がブランチング処理方法として適しており、また、ブランチング終了条件を POD 残存活性比 0.8 とすることで、オーバーブランチングを抑制しつつ総ポリフェノール残存率を 1.3 倍程度に最大化できることが示された。

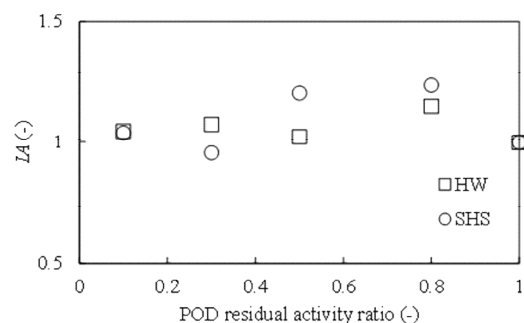


図 6 POD 残存活性比が複数品質保持効果 LA に及ぼす影響。

乾燥パプリカの色彩変化抑制の観点からすると、浸漬操作のないSHSがブランチング処理方法として適しており、POD残存活性比0.1とすることで色彩保持効果を最大化できることが示された。

本研究における実験条件下において、重要度を考慮した複数品質の保持効果を最大化するブランチング処理終了条件はPOD残存活性比0.8であり、また、SHSの方がHWよりも複数品質保持効果の高い乾燥試料の製造に適していることが示された(図6)。これらの結果から、コンジョイント分析を用いたブランチング処理による複数品質の保持効果の評価を行うことで、乾燥パプリカ製造工程における最適ブランチング処理条件の検討が可能であることが示された。

(5) ブランチング処理がカットキャベツの遠赤外線乾燥過程における水分蒸散速度および品質変化に及ぼす影響

熱湯およびマイクロ波によるブランチング処理が、遠赤外線乾燥および熱風乾燥により製造された乾燥キャベツの水分蒸散速度および品質変化に与える影響を検討した。

いずれのブランチングにおいても、遠赤外線および熱風乾燥試料の含水率変化は指数モデルとPage式の組み合わせにより表されることが示された。

ブランチング処理は、その後の乾燥における水分蒸散速度を1.2~1.5倍程度増加させることが示された。これは、マイクロ波ブランチングにおいては表面積収縮抑制効果、熱湯ブランチングでは軟化と表面積収縮抑制による相乗効果であると推察された。

熱湯ブランチング処理により糖の溶脱が確認されたが、ブランチング処理にマイクロ波を用いることで、その糖の溶脱防止が可能であることが示された。

ブランチング処理した乾燥キャベツのL-アスコルビン酸残存率は、無処理のそれと比較して有意($P < 0.05$)に低くなったが、マイクロ波ブランチング処理を用いることにより、熱湯ブランチング処理と比較してL-アスコルビン酸の減少を抑制できる可能性が示された。

(6) コマツナの遠赤外線乾燥過程における品質変化の変動解析

コマツナを試料として、遠赤外線乾燥および熱風乾燥における乾燥速度および品質変化の温度依存性について検討した。

含水率変化はいずれの乾燥条件においても指数モデルで表され、乾燥速度定数 k にArrhenius型の温度依存性があることが示された。

L-アスコルビン酸残存率は積算温度 $4.1 \times 10^2 \cdot h$ 近傍に境界点が見られ、積算温度がそれ以上となる乾燥条件では分解を抑制した。

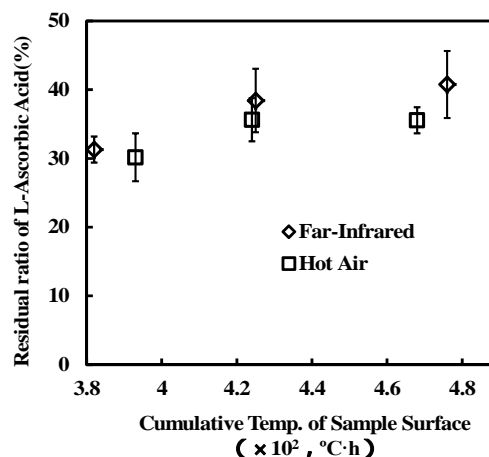


図7 積算表面温度とLアスコルビン酸残存率の関係。図中のバーは標準偏差を示す(n=4)。

色彩変化は葉面の積算温度が小さいほど変化量が小さいことが示され、乾燥に伴う黄化はクロロフィルa、bの大幅な減少が主要因であることが示唆された。

以上より、温度と時間の2つのパラメータを同時に考慮できる積算温度を品質評価の指標とすることにより、最適乾燥条件の検討の際に有用となる可能性が示唆された。

また、遠赤外線乾燥機の利用拡大に向けて、試料設置位置と乾燥特性の関係について基礎データを得ることを目的とし、遠赤外線乾燥機庫内の棚位置、乾燥トレイ内試料設置位置と乾燥特性の関係について評価すると共に、遠赤外線乾燥における乾燥条件と品質(一般生菌数、L-アスコルビン酸含有量および色彩)について測定した。さらに、マイクロ波ブランチング処理がコマツナの一般生菌数およびL-アスコルビン酸含有量に及ぼす影響について調査した。

遠赤外線乾燥機庫内の中央部と下部とでは乾燥速度に有意な差があり、庫内の棚位置によって乾燥特性に差があることが示された。これは、試料表面温度の違いが原因の一つであると推察した。

乾燥トレイ内の試料設置位置の違いにより乾燥速度に差がある場所があったものの、その差はわずかであり、各条件ともほぼ同程度の値となった。これより、トレイ内設置位置による乾燥ムラは少ないと考えられた。

乾燥後試料の一般生菌数は $10^5 \sim 10^6$ cfu/g-DW、L-アスコルビン酸残存率は39~43%、色差は10程度となり、今回設定した温度条件においては、乾燥温度の違いがコマツナの品質に及ぼす影響はわずかであった。

マイクロ波ブランチングにより、一般生菌数は 10^3 cfu/g-DW以下まで減少した。しかし、L-アスコルビン酸も同時に減少させることから、マイクロ波ブランチングを行う際には品質の低下も併せて考慮する必要性を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

1. 折笠貴寛、北館奏子、渡邊高志、小出章二、遠赤外線乾燥条件の違いがキャベツの品質変化および消費電力量に及ぼす影響、農業食料工学会誌、査読有、80(1)、66-74、2017.
2. 折笠貴寛、小出章二、澤田みのり、三鹿暉峻、佐々木邦明、渡邊高志、安藤泰雅、中村宣貴、村松良樹、椎名武夫、田川彰男、ニンジンの最適プランチング処理法の検討に向けた品質および物理的特性の測定、農業食料工学会誌、査読有、79(2)、122-130、2016.
3. Takashi Watanabe、Takahiro Orikasa、Hiroshi Shono、Shoji Koide、Yasumasa Ando、Takeo Shiina、Akio Tagawa、The influence of inhibit avoid water defect responses by heat pretreatment on hot air drying rate of spinach、Journal of Food Engineering、査読有、168、113-118、2016.
4. 渡邊高志、折笠貴寛、小出章二、佐藤和憲、中村宣貴、椎名武夫、田川彰男、コンジョイント分析を用いた乾燥パブリカの最適プランチング処理条件の検討、日本食品科学工学会誌、査読有、62(8)、394-401、2015.
5. Takahiro Orikasa、Shoji Koide、Shintaro Okamoto、Chiyuki Togashi、Toshikazu Komoda、Sakiko Hatanaka、Yoshiki Muramatsu、Manashikan Thammawong、Takeo Shiina、Akio Tagawa、Temperature dependency of quality change during far-infrared drying of komatsuna leaves、Acta Horticulture、査読有、1091、319-326、2015.
6. 渡邊高志、折笠貴寛、佐々木邦明、小出章二、椎名武夫、田川彰男、プランチング処理がカットキャベツの遠赤外線乾燥過程における水分蒸散速度および品質変化に及ぼす影響、農業食料工学会誌、査読有、76(5)、387-394、2014.
7. 折笠貴寛、畑中咲子、富樫千之、岡本慎太郎、齊藤順一郎、齊藤義郎、渡邊高志、小出章二、コマツナの遠赤外線乾燥過程における乾燥ムラおよび品質変化の評価、農業食料工学会東北支部報、査読無、61、35-40、2014.

〔学会発表〕(計6件)

1. 折笠貴寛、北館奏子、小出章二、武田純一、遠赤外線乾燥条件の違いがキャベツの品質変化および消費電力量に及ぼす影響、平成29年度農業食料工学会東北支部大会、2017年8月21日、農研機構東北農業研究センター(岩手)
2. 折笠貴寛、相馬海斗、北館奏子、渡邊高志、小出章二、キャベツの遠赤外線乾燥におけるトレイ材質の違いがライフサイクル CO2 に及ぼす影響、農業環境工学関連5

学会2015年合同大会、2015年9月15日、岩手大学(岩手)

3. Takahiro Orikasa、Syoji Koide、Hana Sugawara、Yoshiki Muramatsu、Manasikan Thammawong、Takeo Shiina、Akio Tagawa、Drying kinetics and quality of tomatoes for cooking dehydrated by a vacuum-microwave method、29th International Horticultural Congress、2014年8月20日、Brisbane、AU
4. 折笠貴寛、澤田みのり、渡邊高志、小出章二、中村宣貴、椎名武夫、田川彰男、ニンジンの最適プランチング処理法の検討に向けた品質および物理的特性の測定、日本食品科学工学会第61回大会、2014年8月30日、中村学園大学(福岡)
5. 折笠貴寛、菅原花、小出章二、岡田益己、松嶋卯月、加藤一幾、武田純一、椎名武夫、田川彰男、減圧マイクロ波乾燥を用いた調理用トマトの乾燥特性および品質変化の検討、第73回農業食料工学会年次大会、2014年8月30日、琉球大学(沖縄)
6. 渡邊高志、折笠貴寛、小出章二、武田純一、椎名武夫、田川彰男、乾燥パブリカの高品質化に向けたプランチング終了条件の検討、第73回農業食料工学会年次大会、2014年8月30日、琉球大学(沖縄)

〔その他〕

ホームページ等

岩手大学農学部 食料生産環境学科 食産業システム学コース 農産物流通科学研究室
<http://news7a1.atm.iwate-u.ac.jp/~agren g/recycle/PH/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

折笠 貴寛 (ORIKASA, Takahiro)
岩手大学・農学部・准教授
研究者番号：30466007

(2) 研究協力者

小出 章二 (KOIDE, Shoji)
岩手大学・農学部・教授
研究者番号：70292175

椎名 武夫 (SHIINA, Takeo)
千葉大学・大学院園芸学研究科・教授
研究者番号：40353974

渡邊 高志 (WATANABE, Takashi)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・食品研究部門・研究員
研究者番号：60760767

田川 彰男 (TAGAWA, Akio)
千葉大学・大学院園芸学研究科・教授
研究者番号：90216804