

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25292155

研究課題名(和文)細胞膜脂質の過酸化分解系の網羅解析に基づく青果物鮮度アセスメントシステムの確立

研究課題名(英文) Establishment of the freshness assessment system for fresh produces based on the comprehensive analysis of the cell membrane lipid peroxidation and decomposition

研究代表者

中野 浩平 (Nakano, Kohei)

岐阜大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：20303513

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、膜脂質の過酸化・分解に着目した新たな青果物の鮮度評価理論の構築を目的とし、老化関連遺伝子の発現、脂質成分の質的・量的変化、揮発性成分の消長および細胞膜の物理化学的性質の変化について検討した。

その結果、鮮度状態を反映する遺伝子群や揮発性物質を絞り込むことができた。また、飽和脂肪酸も不飽和脂肪酸と同程度に分解されることや、脂質過酸化速度は部位によって異なることを明らかにした。さらに、細胞膜機能劣化の進行は、脂質過酸化物が先行して蓄積した後に細胞膜の相転換が起こり、水透過性が増大する過程を経ることを示唆した。これらの成果は、今後の鮮度研究に関わる重要な知見を与えるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The changes of the senescence-relating genes expression level, the qualitative and quantitative characteristics of lipids, the volatile compounds, and the physicochemical property of cell membrane of fruits and vegetables were discussed to establish the novel freshness assessment theory based on the lipid peroxidation and decomposition.

The freshness-relating gene and volatile compound clusters could be identified. The degradation rate of saturated fatty acids was almost same as unsaturated ones, and lipid peroxidation rate differed depending on the part of the leaf. Moreover, it was suggested that the progress of the cell membrane hypofunction occurred by the accumulation of lipid peroxides and following phase transition. These findings will give important knowledge for further research on freshness assessment of fruits and vegetables.

研究分野：ホストハーベスト工学

 キーワード：鮮度評価 脂質過酸化 青果物 遺伝子発現 揮発性成分 水透過係数 農業工学 ポストハーベスト工学

## 1. 研究開始当初の背景

消費者の農産物に対する「品質」への要求は極めて高い。日本農業の再生には、品質を重視した高収益型の生産流通体系を構築することが急務な課題である。とりわけ「鮮度」は、青果物の品質要素の中で、消費者の主たる購買動機となる重要なファクターであるにもかかわらず、流通・小売の現場ではもっぱら、色や艶、みずみずしさ等の主観的基準により判断されている。官能検査に頼らない客観的かつ定量的判定を与える鮮度評価技術が開発されれば、鮮度保証による有利販売のみならず、流通・小売業者の鮮度管理レベルの向上によるポストハーベストロスの低減にも繋がる。また、流通小売業において、官能検査により正しく鮮度を評価できる、いわゆる、「目利き人」の育成には長期間を要する。競争激化にあえぐ昨今にあっては、そのような人材育成にコストを掛けられない事情もあり、官能検査に代えて誰でも正しく鮮度判定ができる技術が切望されている。

## 2. 研究の目的

本研究では、青果物の老化は細胞膜脂質の過酸化・分解に伴う細胞機能の変調に起因する現象であることに注目し、膜脂質の健全性を指標とした新たな鮮度評価理論の構築と技術開発へと展開することを目的とした。具体的には、細胞膜脂質の過酸化・分解反応のトリガーとなる膜関連酵素を中心とした遺伝子の発現変動解析、遺伝子発現の結果として生じる膜脂質成分の量的・質的变化、そして、過酸化・分解反応の最終生成物としての揮発性化合物の生成、さらには、本反応に起因する細胞膜水透過性に代表される細胞膜の物理化学特性の変化といった一連の現象について、青果物老化の進展との関連性について議論した。

## 3. 研究の方法

### 3.1 細胞膜脂質の過酸化・分解に関与する酵素遺伝子群の発現変動解析

結球キャベツの保存前、20℃保存3日後の試料について、セイヨウアブラナのDNAオリゴマイクロアレイによる網羅的遺伝子発現解析結果を詳細解析した。具体的には、Senescence (A), Ethylene (B), Membrane (C), Phospholipase (D), Cysteine Pro (tease) (E), Superoxide dismutase (F) をキーワードとして関連遺伝子を抽出し、遺伝子数、発現レベルについて解析を実施した。

### 3.2 老化進展に伴う細胞膜脂質成分の質的・量的変化解析

収穫直後のわさび菜 (*Brassica juncea*)

を入手し、5, 15, 25℃に貯蔵した。適宜、サンプリングした後、直ちに凍結乾燥した。Bligh-Dyer 法によって脂質を抽出した後、メチルエステル化処理を行い、試料溶液 1μL をスプリット比 30:1 で FID 付きのガスクロマトグラフィーに注入した。脂肪酸メチルエステルは、キャピラリーカラム (DB-23、Agilent J&W 製、30m×φ 0.25mm、膜厚 0.25μm) を用いて、150℃から 180℃まで 2℃/分、180℃から 230℃まで 4℃/分の昇温プログラムで分離した。なお、注入口および検出器温度は 230℃とした。定量は、マルガリン酸 (C17:0) を基準物質とした内部標準法によった。

次に、細胞膜脂質の過酸化・分解反応の一次生成物である過酸化脂質に注目し、老化の進展および部位による差異について検討した。供試材料には、収穫直後のホウレンソウを用いた。25℃のインキュベータに6日間貯蔵し適宜サンプリングした。測定部位の影響を検討するために、葉を縦半分にして全体をホモジナイズしたサンプルと葉の先端部分のみをφ 14.5mm のコルクボーラーで切り抜いたサンプルを比較した。脂質成分は Bligh-Dyer 法にて抽出し、以下に述べる計測システムにより過酸化脂質含量を測定した。過酸化脂質の定量には、蛍光試薬 Diphenyl-1-pyrenylphosphine (DPPP) による蛍光フローインジェクション法を試みた。移動相にはメタノールを用い、0.8ml/min の流速で送液した。オートサンプラーで 10μL の脂質抽出サンプルを注入し、0.2ml/min の流量で送液された 0.25%(w/v) DPPP-メタノールとスタティックミキサー内で混合した。90℃に加熱した 20m のステンレスコイル内で反応させた後、40℃の 10m ステンレスコイル内で冷却し蛍光検出器に導いた。DPPP 誘導化された過酸化脂質は、励起、検出波長をそれぞれ 352、380nm として検出した。検量線作成には、リノール酸メチルを 50℃暗所で4日間酸化させ、ゲル濾過により単離したリノール酸メチルヒドロペルオキシドを標準物質とした。

### 3.3 農産物の鮮度指標となる揮発性成分の検索

供試材料としてキャベツを用いた。収穫後の試料を有孔ポリエチレン袋に入れ、20℃の恒温器内で保管し、経時的に揮発性成分の分析を行った。揮発性成分の分析は、一定量の試料を切断あるいは丸ごとガラス容器に封入し、SPME ファイバー (PDMS/DVB) を挿入し、22~25℃で1時間吸着させ、ガスクロマトグラフ質量分析計 (GCMS) (6890A-5973N、Agilent) により分析した。分析条件は、キャピラリーカラム (DB-WAX、30m×0.25mm、0.5 μm) を使用し、カラム温度 50℃ (5min) → 5℃/min 昇温 → 140℃ → 10℃昇温 → 220℃、注入口温度 220℃、スプリットレス注入とした。

### 3. 4 青果物の細胞膜機能劣化の評価

供試材料には、神戸大学構内のガラス温室にて養液栽培したホウレンソウ葉 (*Spinacia oleracea* L., cv. 'オーライ') を用いた。20°C 設定のインキュベータ内に設置した計測チャンパー内に、収穫したホウレンソウを静置し、暗黒条件下で4日間の貯蔵実験を行った。予め設定した酸素濃度 ( $O_2$ : 20, 10, 5%;  $N_2$ : balance) のガスをチャンパー内に毎分 10 mL で加湿しながら通気させることにより、青果物周囲のガス濃度と湿度とを一定に制御した。所定の貯蔵期間終了後、ホウレンソウ葉の第 3~6 葉の中肋を避けた中央部からプロトプラストを単離し、細胞膜水伝導係数  $L_p$  及び平均破壊浸透圧  $m$  の測定に供試した。残りのサンプルは真空凍結乾燥後、TBARS 法による MDA 当量の測定に供試した。水伝導係数の測定には、二層流法を用いた。プロトプラスト周囲の溶液を 0.4 M マンニトール水溶液から 0.6 M マンニトール水溶液に瞬時に置換し、浸透脱水による水の流出過程におけるプロトプラストの体積を観測することで水伝導係数を算出した。

## 4. 研究成果

### 4. 1 細胞膜脂質の過酸化・分解に関する酵素遺伝子群の発現変動解析

マイクロアレイによる発現解析結果の Excel シートに関して、「Description」列に対して検索を実施した。「検索にヒットした遺伝子数 (総数)」に対する、「貯蔵前に比べて2倍以上に発現変動した遺伝子数 (2倍以上)」を、「2倍以上/総数」で示すと、A~F の順に、14/27、17/57、44/89、0/18、15/40、1/20、であった。なお、2倍以上の発現レベルを示した遺伝子のうち、A と E で重複する遺伝子が9つあった。

図1に、発現レベルが2.0以上を示した遺伝子を、発現レベルによって3クラス (2.0以上 5.0未満、5.0以上 10未満、10以上) に分画した結果を示す。ところで、2.0以上の発現を示す遺伝子が無かった Phospholipase (D) では、多く遺伝子の発現レベルが1.0以下を示し、1.0以上2.0未満の遺伝子数は6で、全体の1/3であった。また、Superoxide dismutase では、1.0を上回る発現を示したのは3遺伝子のみで、半数以上の11遺伝子の発現レベルは1/2以下であった。

以上、A、B、C、E で比較的多くの遺伝子で発現レベルが上昇し、D、F では発現レベルが上昇する遺伝子は少ないことが分かった。したがって、A、B、C、E の中で発現レベルが高い遺伝子を主用なターゲット遺伝子として、さらに、F の中から発現低下が顕著な遺伝子の発現変動を定量評価することで、鮮度アセ

スメントのための指標開発が可能と考えられた。なお、Membrane (C) として検索された遺伝子中には、収穫後においても細胞膜の水透過性に関与すると考えられる Aquaporin が複数含まれているが、その詳細解析は (D) において実施した。

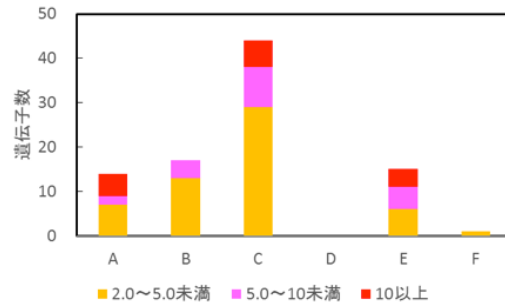


図1 20°C 3日保存後キャベツにおいて発現レベルが2.0以上に上昇した遺伝子数

### 4. 2 老化進展に伴う細胞膜脂質成分の質的・量的変化解析

収穫直後のわさび菜の総飽和脂肪酸含量は 5.78mg/g DM (13.7%) であったのに対し、総不飽和脂肪酸含量は 36.3mg/g DM (86.3%) であった。主要な脂肪酸は、リノレン酸 (C18:3n-3)、ヘプタデセン酸 (C17:1)、パルミチン酸 (C16:0)、リノール酸 (C18:2) であり、それぞれ全体の 61.0%、12.5%、11.7%、8.3% を占めた。これらの脂肪酸は、貯蔵温度が高いほど速やかに減少した。それぞれの脂肪酸の初期値に対する割合を貯蔵日数と温度の積である積算温度に対してプロットしたところ、貯蔵温度が異なっても同一の右下がり回帰直線上に分布した。回帰直線について共分散分析したところ、それぞれの直線の傾きに有意差はなく、特定の脂肪酸が選択的に減少するのではなく、不飽和度によらずいずれの脂肪酸もほぼ同じ速度で減少していくことが示された。このことは、細胞膜脂質の変化を鮮度と関連づけるには、不飽和脂肪酸の過酸化反応系と同時に、飽和脂肪酸の分解系にも注視して議論する必要があることを示している。特に、膜脂質の過酸化・分解現象に基づく鮮度評価法においては、従来の総脂質量の割合に対する過酸化物量の割合で評価するより、総不飽和脂肪酸量に対する割合とした方が合理的であり、高精度化が期待できると考えられた。

図2に、貯蔵日数の経過に伴う過酸化脂質含量の変化を示した。貯蔵開始時において、葉全体から採取した試料では、葉先端より過酸化脂質含量が高い値を示したが、貯蔵日数の増加に伴い漸減した。一方、葉先端における過酸化脂質含量は、貯蔵3日目までは徐々に増加し、それ以降では増加が加速した。

葉は外縁部が細胞分裂しながら成長するため、外縁部に近い細胞ほど新しく、中央脈

に向かうにつれて古い細胞となる。したがって、中央脈に近い細胞は収穫直後といえども、生育中に受けた各種ストレスに起因して脂質の過酸化・分解反応がすでに進んだ状態にある。一方、葉縁部の収穫時点における脂質過酸化反応は中央脈に近い細胞と比較して進行しておらず、時間経過に伴い過酸化脂質含量が増加したのは、貯蔵過程に受けるストレス程度をダイレクトに反映した結果といえよう。これらのことから、脂質過酸化現象に基づく鮮度評価手法の検討にあたっては、葉縁部を検査対象とするのがより有効であることが示唆された。

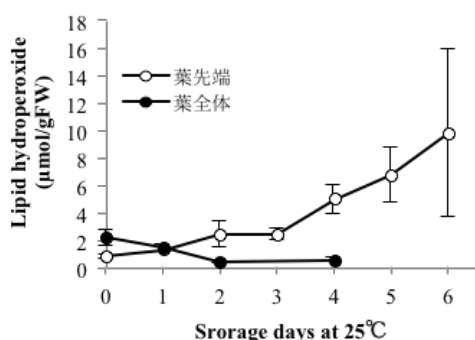


図2 ホウレンソウの過酸化脂質含量の変化

#### 4. 3 農産物の鮮度指標となる揮発性成分の検索

キャベツの揮発性成分として、3-Hexen-1-ol, 3-Hexen-1-ol acetate, 1-Hexanol, 1, 3, 5-trimethyl Benzene, Hexyl acetate, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-1, 4-Cyclohexadiene, D-Limonene, Dimethyl Benzene などが検出された。測定時にカットした試料では、貯蔵時間が長くなると 3-Hexen-1-ol, 3-Hexen-1-ol acetate, Hexyl acetate が大きく減少し、D-Limonene が増加した。丸ごとの試料では、多くの成分が貯蔵開始 2 日目まで増加し、4 日目に減少した。Ethyl Benzene, Dimethyl Benzene は、7 日目も貯蔵開始時以上検出された。

検出された物質の代謝系を考察すると、脂肪酸の過酸化分解の系が動き、アルデヒドなどが生成されると、イソプレノイド生合成系から生成されるテルペン系化合物の系が活性化される。これらの代謝系が活性化するとゲラニルピロリン酸からミルセンやゲラニオール、ネロールなどのモノテルペノイドが生成され、ゲラニルピロリン酸が環化するとリモネンを生じると推察された。これらは、植物が病害虫等により障害を受けて時の反応と類似していた。これらの生合成系を含めて、今回測定された、キャベツの揮発性成分が生成されたと思われる。他の試料として、レタスについても測定を試みたがキャベツの変動と同様の傾向であった。

本研究の結果から、テルペン合成誘導物質

等概ねターゲットとすべき物質群を特定できた。今後は、微量成分を安定して測定する手法を検討するとともにさらに他の農産物でも同様の検討を行う必要がある。

#### 4. 4 青果物の細胞膜機能劣化の評価

貯蔵に伴う MDA 当量の変化を図 3 に示した。MDA 当量の値は、貯蔵時間の経過に伴い有意に増加する傾向にあった。また収穫後 4 日目の低酸素濃度貯蔵区 ( $O_2$ : 10, 5%) における MDA 当量の値は、酸素濃度 20% 貯蔵区と比較して増加が抑制された。これは低酸素貯蔵による鮮度保持効果に起因するものと考えられた。以上のことから、貯蔵に伴う MDA 当量の増加は膜脂質過酸化の進行による脂質過酸化物の蓄積を示していると考えられた。

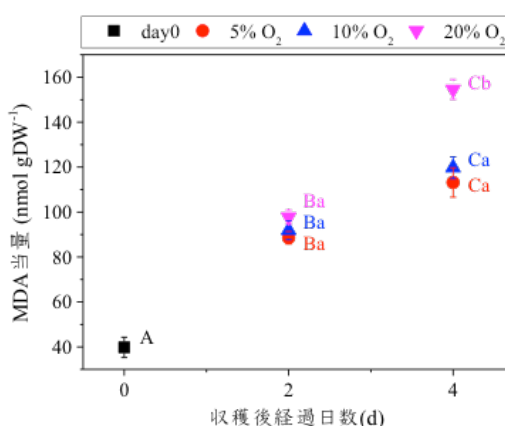


図3 貯蔵に伴うホウレンソウのMDA当量の推移

プロトプラストの平均破壊浸透圧  $m$  は異なる濃度のマンニトール水溶液中での生存率を累積分布関数で回帰することにより算出した。平均破壊浸透圧  $m$  の同定は貯蔵期間中いずれも  $R^2 > 0.9$  の良好な回帰によって行われた。MDA 当量の増加に伴って、 $m$  の値は増加する傾向にあった (図 4)。また MDA 当量と  $m$  の値との間には高い線形関係が認められた ( $r = 0.96$ )。膜脂質過酸化物が蓄積すると、細胞膜の流動性が低下するとともにゲル相領域が形成される。ゲル相領域は液晶領域に比べて弾性率が大きく、ゲル相領域が形成されることで低張液中での膨張時に細胞膜により大きな応力が加わるようになる。したがって、MDA 当量の増加に伴う  $m$  の増加は、膜脂質過酸化物の蓄積によるゲル相脂質領域の形成を示していると考えられた。

細胞膜水伝導係数  $L_p$  算出時におけるプロトプラスト体積変化の近似精度は、貯蔵期間中いずれも  $R^2 > 0.9$  であった。MDA 当量と細胞膜水伝導係数  $L_p$  との関係を図 5 に示した。 $L_p$  の値は MDA 当量の値が有意な増加を示した 39.8~119.7 [nmol gDW<sup>-1</sup>] の範囲においても有意な変化を示さなかった。一方で、MDA 当量の値が 154.6 [nmol gDW<sup>-1</sup>] まで増加すると  $L_p$  の値は 193.0 [fm s<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup>] を示し、他の試

験区と比較して有意に増加した。以上のように、 $L_p$ の値の有意な増加はMDA当量の有意な増大後に認められた。これは膜透過性の増大に対し、膜脂質過酸化物の蓄積が先駆的に進行することを示していると考えられた。

以上の結果から、収穫後ハウレンソウ葉における細胞膜機能劣化の進行は、膜脂質過酸化物が蓄積し、ゲル相脂質領域が形成され、膜透過性が増大するという過程を経ることが示された。本研究で得られた成果は、収穫後青果物における細胞膜機能劣化の定量的な解明に寄与し、今後の鮮度研究に関わる有意義な知見であると考えられた。

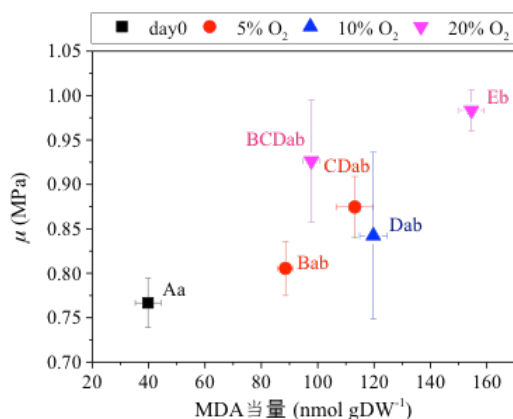


図4 MDA 当量と平均破壊浸透圧 $\mu$ との関係

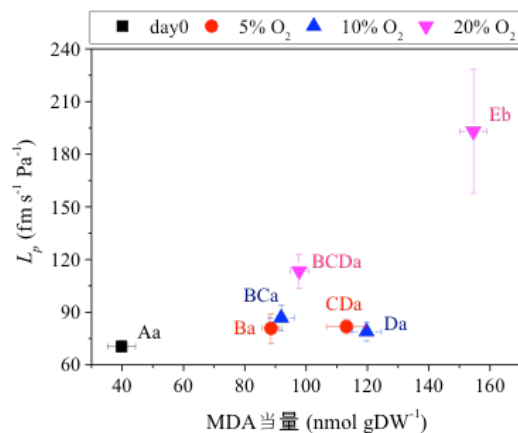


図5 MDA 当量と水伝導係数 $L_p$ との関係

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

①Fahmy, K., K. Nakano : Effective transport and storage condition for preserving the quality of 'Jiro' persimmon in export market. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 9, 279-290, 2016. (査読有)  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.115>

②Shiina, T., H. Umehara, M. Yoshida, A. Soga, T. Kaneta, N. Nakamura, Y. Ito, K. Nakano, M. Thammawong: Response mechanisms of cabbage

head to different strength levels of mechanical impact stress. *Act Hort.* 1091, 311-318, 2015. (査読有)

③Thammawong, M., M. Yoshida, H. Umehara, T. Kaneta, A. Soga, N. Nakamura, Y. Ito, K. Nakano, T. Shiina: Oscillations of respiration-relating gene expression in postharvest cabbage head under different controlled atmosphere (CA) storage regimes. *Act Hort.*1091, 303-310, 2015. (査読有)

④ Fahmy, K., K. Nakano, V. Fidela: Investigation on quantitative index of chilling injury in cucumber fruit based on the electrolyte leakage and malondialdehyde content. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology* 3, 71-74, 2015. (査読有)

⑤中野浩平：農産物・食品の安全と品質の確保技術（第10回）-生鮮野菜の定量的な鮮度評価技術について-。 *農業食料工学会誌* 77(3), 154-158, 2015. (査読無)

〔学会発表〕(計18件)

①中野浩平, Manasikan THAMMAWONG, 黒木信一郎, 中村宣貴, 曾我綾香, 吉田誠, 椎名武夫：脂質過酸化・分解現象に着目した青果物の鮮度評価法。 *農業情報学会 2015 年度秋期大会*：2015. 12. 10, 城山観光ホテル(鹿児島県・鹿児島市)。

②K. Nakano: Current Status and Issues of the Quality Management System for Fresh Produce in Japan for Sustainable Agriculture: *Int. Conf. on Food, Agriculture and Natural Resource 2015*: 2015.8.1, Jember (Indonesia).

③浅野良太, 中野浩平：キャベツの老化過程における脂質過酸化物量の変化。 *農業食料工学会関西支部第133回例会*：2015. 3. 3, 京都大学(京都府・京都市)。

④高木絢子, 中野浩平：過酸化脂質の定量による青果物のストレス評価 -測定系の確立とUV処理試験-。 *農業食料工学会関西支部第133回例会*：2015. 3. 3, 京都大学(京都府・京都市)。

⑤椎名武夫, Manasikan THANMAWONG, 中村宣貴, 吉田誠, 曾我綾香, 黒木信一郎, 中野浩平：青果物のTET品質管理とそのツールとしての遺伝子発現解析。 *農業環境工学関連5学会 2015 合同大会*：2015. 9. 15, 岩手大学(岩手県・盛岡市)。

⑥Manasikan THAMMAWONG, 梅原仁美, 中村宣貴, 曾我綾香, 吉田誠, 黒木信一郎, 中野浩

平, 椎名武夫: ブロッコリーにおける物理ストレス指標遺伝子の探索. 農業環境工学関連 5 学会 2015 合同大会: 2015. 9. 15, 岩手大学 (岩手県・盛岡市).

⑦吉田誠, 曾我綾香, 黒木信一郎, 中村宣貴, 椎名武夫, Manasikan THAMMAWONG, 中野浩平: 農産物の鮮度指標となる揮発性成分の検索. 農業環境工学関連 5 学会 2015 合同大会: 2015. 9. 15, 岩手大学 (岩手県・盛岡市).

⑧曾我綾香, 吉田誠, 黒木信一郎, 中村宣貴, 椎名武夫, Manasikan THAMMAWONG, 中野浩平: 施肥条件が農産物収穫後の品質保持に及ぼす影響. 農業環境工学関連 5 学会 2015 合同大会: 2015. 9. 15, 岩手大学 (岩手県・盛岡市).

⑨高木絢子, Manasikan THAMMAWONG, 黒木信一郎, 中村宣貴, 曾我綾香, 吉田誠, 椎名武夫, 中野浩平: 過酸化脂質を指標とした青果物の鮮度評価. 農業環境工学関連 5 学会 2015 合同大会: 2015. 9. 15, 岩手大学 (岩手県・盛岡市).

⑩小泉高陽, 黒木信一郎, 曾我綾香, 吉田誠, 中村宣貴, 椎名武夫, 中野浩平: ホウレンソウ葉細胞膜の物理化学的特性と鮮度との関係. 農業環境工学関連 5 学会 2015 合同大会: 2015. 9. 15, 岩手大学 (岩手県・盛岡市).

⑪吉田誠, 曾我綾香, 中村宣貴, 椎名武夫, 黒木信一郎, 中野浩平: 農産物の鮮度指標となる揮発性成分の探索. 日本食品保蔵科学会第 63 回大会講演要旨集: 71, 2014. 6. 29, JA 長野県ビル (長野県・長野市).

⑫曾我綾香, 吉田誠, 中村宣貴, 椎名武夫, 黒木信一郎, 中野浩平: 施肥条件が農産物収穫後の品質保持に及ぼす影響. 日本食品保蔵科学会第 63 回大会講演要旨集: 70, 2014. 6. 29, JA 長野県ビル (長野県・長野市).

⑬Kuroki S., Y. Tachikawa, K. Koizumi, A. Soga, M. Yoshida, N. Nakamura, T. Shiina, K. Nakano: Measurement and Evaluation of Dysfunction of Cell Membranes in Fruit and Vegetables during Oxygen Storage. International Conference of Sustainable Agriculture, Food and Energy: 2014.9.18, Bali (Indonesia).

⑭立川雄樹, 黒木信一郎, 小泉高陽, 曾我綾香, 吉田誠, 中村宣貴, 椎名武夫, 中野浩平: 低酸素貯蔵がホウレンソウ葉の細胞膜機能劣化に与える影響. 日本生物環境工学会 2014 年大会: 2014. 9. 9, 明治大学 (東京都).

⑮黒木信一郎, 小泉高陽, 立川雄樹, 曾我綾香, 吉田誠, 中村宣貴, 椎名武夫, 中野浩平: 細胞膜の物理化学的特性を指標とした青果

物の品質評価法の開発. 第 73 回農業食料工学会年次大会要旨: 61, 2014. 5. 18, 琉球大学 (沖縄県・那覇市).

⑯Nakano, K.: Easy and low-cost evaluation method for the freshness of green beans based on the stachyose detection. International Conference of Sustainable Agriculture, Food and Energy: 2014.9.18, Bali (Indonesia).

⑰吉野哲史, 黒木信一郎, 曾我綾香, 吉田誠, 中村宣貴, 椎名武夫, 中野浩平: コマツナの老化過程におけるカルボニル化合物含量の変化. 2014 年度農業施設学会大会講演要旨: 65-66: 2014. 8. 28, 神戸大学 (兵庫県・神戸市).

⑱中野浩平, 黒木信一郎, 曾我綾香, 吉田誠, 中村宣貴, 椎名武夫: 細胞膜脂質の過酸化分解系の網羅解析に基づく鮮度アセスメントシステムの確立-わさび菜の貯蔵中における脂肪酸組成の変化-. 第 73 回農業食料工学会年次大会要旨: 60, 2014. 5. 18, 琉球大学 (沖縄県・那覇市).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中野 浩平 (NAKANO, Kohei)  
岐阜大学・連合農学研究科・教授  
研究者番号: 20303513

### (2) 研究分担者

黒木 信一郎 (KUROKI, Shinichiro)  
神戸大学・農学研究科・助教  
研究者番号: 00420505

吉田 誠 (YOSHIDA, Makoto)  
神奈川県農業技術センター・生産環境部・課長  
研究者番号: 20503650

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

中村 宣貴 (NAKAMURA, Nobutaka)  
国立研究開発法人農業・食品産業機構・食品総合研究所・主任研究員  
研究者番号: 50353975

曾我 綾香 (SOGA, Ayaka)  
神奈川県農業技術センター・生産環境部・主任研究員  
研究者番号: 60503638