

令和 4 年 6 月 29 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06312

研究課題名(和文)腎臓病患者が安全安心に喫食するための生野菜カリウム含有量非破壊測定装置の開発

研究課題名(英文)Development of non-destructive measuring device of potassium concentration for nephritic patient to eat fresh vegetable with confidence

研究代表者

中野 和弘 (Nakano, Kazuhiro)

新潟大学・自然科学系・フェロー

研究者番号：70188994

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：慢性腎臓病患者は、一日のカリウム摂取量が制限されている。本研究では、可視・近赤外分光法とハイパースペクトル画像処理により、生食用レタスのカリウム濃度を高精度に予測するための非破壊測定技術を開発した。その結果、葉身・葉柄ともインタラクタンス投光法でカリウム濃度を高精度に予測できた。また分光分析法と非線形RBFニューラルネットワークを併用して異なる2品種レタスのカリウム濃度の推定法を検討した結果、高精度の決定係数 R^2 (葉身で0.86,葉柄で0.88)が得られた。さらに、ハイパースペクトル画像によりカリウム濃度の分布状況を表示することも可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新しい国民病とも言われている腎臓病の患者は、カリウム濃度の高い生野菜の摂取を制限されている。本研究では特に野菜サラダとして喫食したい代表的野菜であるレタスについて、まずカリウム濃度分布の非破壊測定技術の開発について検討した。その結果、リーレタスの葉身と葉柄など部位別によりカリウム濃度は大きく異なり、それらを迅速・非破壊・高精度に測定できる手法が開発された。さらに、ハイパースペクトル画像とAIの応用により、レタス内カリウム濃度分布の測定と表示が可能となった。

研究成果の概要(英文)：Potassium is a crucial indicator for patients with chronic kidney disease (CKD) to pay attention in daily intake. In this study, the Visible/near-infrared) spectroscopy and Hyperspectral imaging (HSI) technology to develop non-destructive measurement systems for high accuracy detection and prediction of potassium concentration in fresh lettuce. As the results, excellent prediction of green leaves was obtained by interactance measurement with $R^2=0.93$, while the transmission spectra of petioles provided optimal prediction with $R^2=0.92$. The feasibility of Vis/NIR spectroscopy combined with the nonlinear RBF neural network showed two single-variety leaves were measured by green leaves and petioles. Fresh lettuce samples showed R^2 of 0.86 and 0.88 for green leaves and petioles, respectively. The distribution map of potassium concentration by using hyperspectral imaging in fresh lettuce was successfully produced through the difference of colors.

研究分野：農業システム工学

キーワード：慢性腎臓病 カリウム含有量 野菜サラダ 非破壊測定 可視・近赤外分光法 ハイパースペクトル画像

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

政府の推進する医食農連携の取り組みの一つに、「高い機能性を有する食品の拡大」がある。現在、日本では成人の8人に1人が慢性腎臓病であり、新たな国民病ともいわれている。患者は、1日当たりのエネルギー、タンパク質、食塩の摂取量制限に加え、カリウム摂取制限（健常者の摂取量 2,500mg/日に対して、平均的に 1,500mg/日以下）を行っている。一般に、高濃度のカリウムを含む食材の調理では「水煮」・「茹でこし」により約 50%のカリウム分を流出させるなどの調理を行っている。

これに対し、シャキシャキ感のある生野菜サラダ等を喫食したいという患者の要望に応えるために、植物工場等における低カリウム栽培法が開発され、「カリウム含有量を 80%カットした低カリウムレタス」と称して店頭に並ぶようになった。しかし、低カリウムレタスの価格は通常レタスの2倍以上であること、一袋の総カリウム量にはバラツキが指摘されていることから、患者からは「カリウム含有量が個々に保証された生レタスや野菜サラダを安心して食べたい」との要望が絶えない。

一方、生野菜のカリウム濃度測定には、水耕栽培液のカリウムイオン測定用の簡易測定キットの援用が考えられる。しかし、破壊式測定法であることやレタス等は部位ごとにカリウム濃度が異なることなどから、上記の簡易測定キットは現実的な測定方法とはいえない。

以上のことから、慢性腎臓病患者が生野菜を喫食する際の総カリウム量測定技術の確立が喫緊の課題となっている。本課題の実施により、個装された野菜サラダの出荷時にカリウム含有量を個別測定し提示することが可能になり、結果的に慢性腎臓病患者が安心安全に喫食できる生野菜の供給システムを構築することに大きな意義と独創性がある。

2. 研究の目的

まず腎臓病患者が特に生サラダとして喫食したい代表的野菜であるレタスについて、茎から葉先までの部位別カリウム濃度分布の非破壊測定技術を開発する。このカリウム濃度分布を二次元的に積分することにより、レタス全体のカリウム含有量（＝摂取量）を算出する。

3. 研究の方法

(1) レタス部位別カリウム濃度の非破壊測定方法の開発

現有の分光分析器により、レタス葉部の可視・近赤外分光データ測定装置を構築する。測定では、まずサンプル内部成分が反映される透過型について検討する。近赤外分光データの波長特性（吸光度等）と実際のカリウム測定結果を用いて、カリウム濃度の推定式を作成する。

(2) レタス茎葉1枚のカリウム濃度分布測定と含有量積算方法の開発

予備実験により、1株内のカリウム分布は内側より外側の葉部の方が多く、また1枚の葉部では葉身部よりも葉柄部のカリウム濃度が多いことが示唆されている。そこで、近赤外ハイパースペクトルカメラによりレタスの1画素ごとのカリウム濃度分布を測定し、葉部全体の画素について積分することで、葉部全体のカリウム含有量測定の可能性を検討する。

4. 研究成果

(1) 可視・近赤外分光法によるレタス内カリウム濃度の予測

供試試料として生野菜サラダに使われるフリルレタスおよびリーフレタスを用い、それぞれを葉柄部と葉身部に裁断し、可視・近赤外線（500～1000nm、以下、Vis/SWNIR）の透過法とインタラクタンス法によるスペクトルを収集した後、カリウム含有量を測定した。図1にVis/SWNIRの測定装置を示す。図中の(a)は透過方式、(b)はインタラクタンス方式である。

種々検討した結果、葉身については分光データの一次微分値を用いた PLS（Partial Least Squares）モデルでのカリウム濃度予測が、最良の成績（ $R^2 = 0.93$ 、 $RMSEP = 24.86\text{mg}/100\text{g}$ 、 RPD （Residual Predictive Deviation） $= 3.69$ であった（図2）。葉柄については、同二次微分値を用いた PLS モデルが最良（ $R^2 = 0.92$ 、 $RMSEP = 27.80\text{mg}/100\text{g}$ 、 $RPD = 3.34$ ）であった。

両者の RPD が 3.0 以上であること

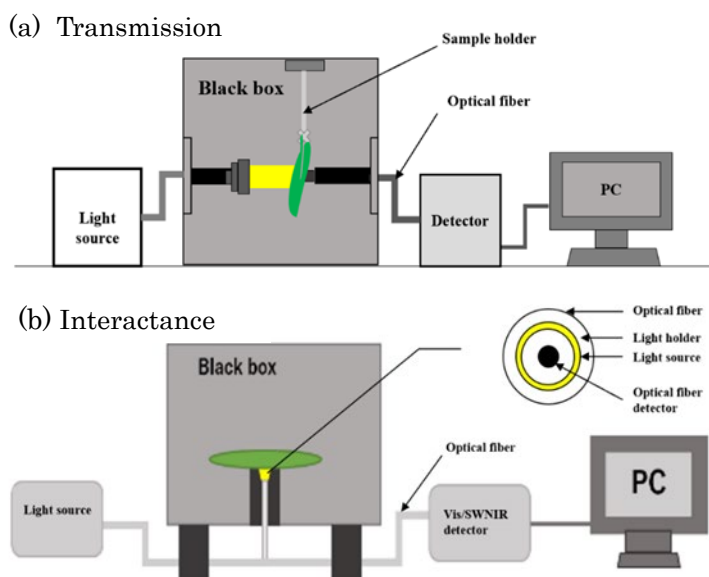


図1 Vis/SWNIR spectrophotometers

から実用的な精度で推定可能であると判断され、葉身および葉柄におけるカリウム濃度の非破壊測定には、Vis/SWNIRによるPLSモデルが要望であることが示された。

(2) Radial Basis Function ニューラルネットワークによるミックスレタスのカリウム濃度予測

分光データの一次微分値から最適な波長を選択するために、Competitive Adaptive Reweighted Sampling (競合的適応再重み付けサンプリング、以下CARS)を用いた。Radial Basis Function ニューラルネットワーク (RBF) モデルの作成の前に、 R^2 および RMSEP により最適学習条件を決定した。

その結果、フリルアイスレタスとレッドチップレタス (サニーレタス) のミックスサンプルのカリウム予測モデルは、葉柄で $R^2=0.88$ 、RMSEP=27.63、RPD=2.47 であり (図3)、葉身で $R^2=0.86$ 、RMSEP=31.20、RPD=2.44 となり、RBFモデルは有効であることが示された。

(3) レタス内のカリウム濃度分布の表示

図3に、ハイパースペクトルカメラによるレタス内カリウム濃度の分布画像を示す。図内の各画素は、分光データ処理 (一次微分、CARS、PLS) により得られたカリウム濃度予測式を用いて、カリウム濃度ごとに表示 (黄色が 10mg/100g、橙色が 100mg/100g、赤色が 300mg/100g) したものである。これにより、カリウム濃度分布が表示できることが示された。

同図のカリウム濃度は 10mg/100g、100mg/100g、300mg/100g の3段階である。今後は濃度段階を細かく設定できるような改善により、同図を全面にわたり積分してレタス1枚のカリウム含有量を算出することが可能であると考えられる。

以上の成果から、本研究の腎臓病患者が安全安心に喫食するための生野菜カリウム含有量非破壊測定技術は構築可能であると期待できる。

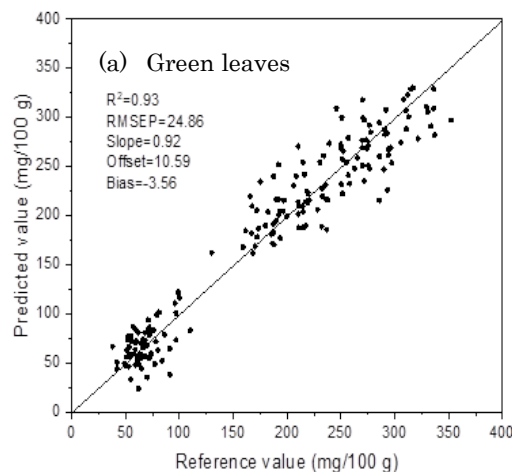


図2 Correlation diagram between predicted value and reference value of PLS models

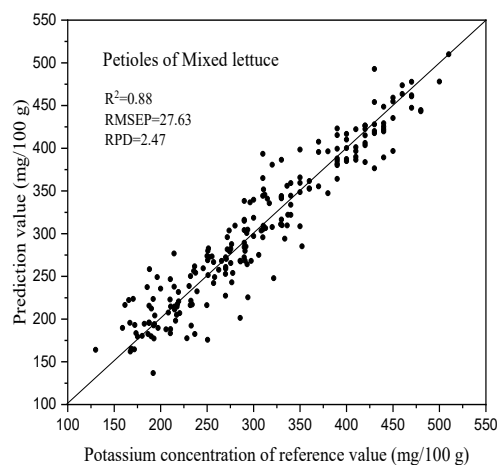


図3 Predicted values using RBF models versus reference values of potassium concentration in petioles of mixed lettuce

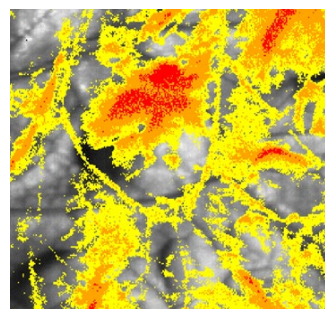


図4 Distribution map of potassium concentration of a fresh lettuce sample

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yating Xiong, Shintaroh Ohashi, Kazuhiro Nakano, Weizhong Jiang, Kenichi Takizawa, Kazuyuki Iijima, Phonkrit Maniwarara	4. 巻 13
2. 論文標題 Quantification of potassium concentration with Vis-SWNIR spectroscopy in fresh lettuce	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Innovative Optical Health Sciences	6. 最初と最後の頁 2050029(1-13)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1142/S1793545820500297	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Yating Xiong, Shintaroh Ohashi, Kazuhiro Nakano, Weizhong Jiang, Kenichi Takizawa, Kazuyuki Iijima, Phonkrit Maniwarara	4. 巻 298
2. 論文標題 Application of the radial basis function neural networks to improve the nondestructive Vis/NIR spectrophotometric analysis of potassium in fresh lettuces	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Food Engineering	6. 最初と最後の頁 110417(1-10)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jfoodeng.2020.110417	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Maniwarara Phonkrit, Nakano Kazuhiro, Ohashi Shintaroh, Boonyakiat Danai, Seehanam Pimjai, Theanjumol Parichat, Poonlarp Pichaya	4. 巻 257
2. 論文標題 Evaluation of NIRS as non-destructive test to evaluate quality traits of purple passion fruit	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientia Horticulturae	6. 最初と最後の頁 108712-108712
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.scienta.2019.108712	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yating XIONG, Shintaroh OHASHI, Kazuhiro NAKANO, Weizhong JIANG, Kenichi TAKIZAWA, Phonkrit MANIWARA
2. 発表標題 Nondestructive Determination of Potassium Concentration in Fresh Lettuce by Visible/Near infrared spectroscopy
3. 学会等名 KAAB International Symposium 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yating XIONG, Shintaroh OHASHI, Kazuhiro NAKANO, Weizhong JIANG, Kenichi TAKIZAWA, Yosuke KUBOTA, Phonkrit MANIWARA
2. 発表標題 Comparison of Different Modes of Visible and Near-infrared Spectroscopy for Nondestructive Measurement of Potassium Concentration in Fresh Lettuce
3. 学会等名 2020 7th International Conference on Food Security and Nutrition (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yating Xiong, Shintaroh Ohashi, Kazuhiro Nakano, Weizhong Jiang, Kenichi Takizawa, Yosuke Kubota, Phonkrit Maniwar
2. 発表標題 Non-destructive assessment of potassium concentration in fresh lettuce by Vis/NIR with PLS
3. 学会等名 第79回農業食料工学会年次大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大橋 慎太郎 (Ohashi Shintaroh) (70452076)	新潟大学・自然科学系・准教授 (13101)	
研究分担者	滝沢 憲一 (Takizawa Kenichi) (60730132)	新潟経営大学・観光経営学部・准教授 (33106)	
研究分担者	窪田 陽介 (Kubota Yosuke) (40535267)	福島大学・食農学類・准教授 (11601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	熊 雅亭 (Xiong Yating)		
研究協力者	蔣 偉忠 (Jiang WeiZhong)		
研究協力者	マニワラ ポンクリット (Maniwara Phonkrit)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
中国	中国農業大学			
タイ	サイラム大学			