

学 位 論 文 要 旨

氏 名 白 光 潔

題 目 産地特定のための水耕野菜への元素導入によるマーキングシステムの開発
(Development of a Marking System by Introducing Mineral Elements into Vegetables in Hydroponics to Certify Their Source)

新 JAS 法により全ての生鮮食品に産地表示が義務付けられているが、ラベルのすり替えによる食品の偽装表示が多発し、社会的に大きな問題となっている。これを防ぐ一つの方法として、野菜の体内に直接無機元素でラベルすることが考えられる。そこで、本研究では、まず適切な標識元素を選ぶために、市販レタス類の地上部に含まれる種々の無機元素のバックグラウンドを調査し、天然賦存量の小さい元素をマーカー候補元素として選択した。次に、この候補元素を個々に 2 品種の水耕レタス (レッドファイヤー, 楽天) に導入し、適切なマーカー元素を検索した。さらに、デジタル標識システムを開発する目的で、複数のマーカー元素を組み合わせた培養液によってレタス類を栽培し、これらの元素の地上への導入量について調べた。また、非金属元素であるヨウ素についても、マーク可能かどうかを検討した。

1) マーカー候補元素として無機元素を 7 種類 (Ba, Sr, Mo, Co, Cu, Ni and V) 選択し、これらの元素を種々の濃度に設定した培養液でレタス類を栽培した。Ba, Sr, Mo の全ての処理濃度および Cu と Ni の低濃度処理において、レタス類は対照区と同様に良好な生育を示した。V は、植物にほとんど吸収されなかった。V を除く 6 元素は培養液の実存濃度の上昇に伴って植物体内の無機元素濃度も直線的に増加した。処理レタスの新鮮重 470g (厚生労働省が 2010 年までに勧める大人 1 日あたりの野菜消費量) に含まれる無機元素量は、いくつかの処理区において該当する無機元素の天然賦存量を明らかに上回り、また 1 日許容摂取量 (ADI) あるいは 1 日耐用摂取量 (TDI) を下回った。これらの結果から、レタスを適切な元素濃度の培養液で栽培した場合、Ba, Sr, Co, Cu および Ni の 6 元素はマーカー元素として使用可能と判断された。2) Ba, Sr および Mo の 3 つの元素を組み合わせてレタス類を栽培した場合、各元素個々の設定濃度に応じて、に地上部の当該元素濃度が直線的に増加した。元素の種類と濃度を組み合わせた 8 処理区の地上部に含まれる 3 元素のデータについて判別分析を行なった結果、サラダナおよびリーフレタスのいずれも明らかに 8 つの異なるグループに分かれた。また、この処理野菜 470g に含まれる導入元素量は全ての処理区において天然賦存量を明らかに上回ると同時に ADI あるいは TDI を下回った。これらのことから、3 元素の組み合わせによって、8 つの標識が可能であることが示された。3) ヨウ素酸カリウムとヨウ化カリウムを用い、ヨウ素濃度を変えた培養液でレタス類を栽培した。2 ヨウ素塩の全処理区ともレタス類の生育は対照区と同様に良好な生育を示した。レタス類葉部に含まれるヨウ素濃度は、培地濃度の増加とともに、ほぼ直線的に増加した。ヨウ素は、他の金属元素と同様に培養液の処理濃度を適切に設定すれば、マーカー元素として使用可能と判断された。

以上から、産地特定のための水耕野菜への元素導入によるデジタルマーキングシステムの開発が可能であることが明らかとなった。

学 位 論 文 要 旨

氏 名	Guang-jie Bai
題 目	Development of a Marking System by Introducing Mineral Elements into Vegetables in Hydroponics to Certify Their Source (産地特定のための水耕野菜への元素導入によるマーキングシステムの開発)

All agricultural products had to be labeled to show their provenance according to JAS. But a substitution false label for original one secretly to pretend a source of agricultural products occurred frequently and it has been social problem to be solved without delay. Thus, we put forward to mark vegetables with inorganic elements directly as one of the effective ways to prevent this fraudulency. In this research natural abundances of various mineral elements in several varieties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) purchased in market were determined and those contained small amount were selected as a candidate of marker element. And then these candidate elements were incorporated individually into two varieties of lettuce (cv: Red-fire and Rakuten) in hydroponics and suitable ones as a marker were selected. In addition plural elements were incorporated simultaneously into these lettuces with combinations of various concentrations in hydroponics for developing digital marking system. The introduction of iodine (nonmetallic element) was also carried out for concluding whether it could be suitable as a marker.

1) Seven mineral elements (Ba, Sr, Mo, Co, Cu, Ni and V) selected as candidate markers were incorporated into lettuce at various concentrations. Lettuce grown under all treatments with Ba, Sr and Mo and under treatment with Cu at 0.25 and 0.50 mg L⁻¹ and with Ni at concentration range of 0.05-0.50 mgL⁻¹ showed favorable growth similar to the control. Vanadium was hardly absorbed by lettuce. Concentrations of Ba, Sr, Co, Mo, Cu and Ni in tops of lettuce were increased in proportion to increase in the actual concentration of each element in nutrient solution. In addition, amounts of elements contained in 470 g of treated lettuce (amount recommended by the Ministry of Health and Welfare of Japan for daily consumption by adult) in several treatments were lower than the Acceptable Daily Intake (ADI) or Tolerated Daily Intake (TDI) and were obviously higher than their natural abundances. These results suggest that Ba, Sr, Mo, Co, Cu, and Ni could be used as marker elements to certify the provenance when lettuce is cultivated using a nutrient solution within a suitable concentration range. 2) When lettuce was cultivated in nutrient solutions with combinations of three elements (Ba, Sr and Mo) at various concentrations, the concentrations of these elements in the top of lettuce were increased with increase in the concentration of each element in solutions without absorption interference with each other. These element concentrations in tops were statistically evaluated by canonical discriminant analysis, then eight treatments prepared using combinations of these elements at various concentrations were obviously distinguished from each other. Therefore, eight different labels can be incorporated into lettuce using combinations of these elements. Amounts of three elements contained in 470 g of fresh lettuce were lower than those of ADI or TDI of the respective elements. 3) Lettuce plants were cultivated in nutrient solution containing potassium iodate (KIO₃) or iodide (KI) at 4 levels of iodine concentrations (0.05, 0.10, 0.20 and 0.50 mgL⁻¹). Lettuce grown under all treatments with KIO₃ and KI showed favorable growth similar to the control. In both treatments of KIO₃ and KI, concentrations of iodine in tops of lettuce were linearly increased in proportion to the increases of concentration in nutrient solution. In addition, amounts of iodine contained in 470 g of lettuce in the treatments with the concentration range of 0.05 – 0.20 mgL⁻¹ were obviously lower than ADI (3.00 mg) and were remarkably higher than the natural abundances (about 0.22 mgkg⁻¹ DW). These results suggest that iodine could be used as marker element when lettuce is cultivated using a nutrient solution within a suitable concentration range.

These findings suggested that a digital marking system by introducing mineral elements into lettuce grown in hydroponics could be developed for certifying its source.

学位論文審査結果の要旨

学位申請者 氏 名	ハク コウケン 白 光潔
審査委員	主査 佐 賀 大学 教授 井上 興一
	副査 佐 賀 大学 助教授 染谷 孝
	副査 宮 崎 大学 教授 赤尾 勝一郎
	副査 鹿児島 大学 教授 稲永 醇二
	副査 琉 球 大学 教授 渡嘉敷 義浩
審査協力者	
題 目	産地特定のための水耕野菜への元素導入によるマーキングシステムの開発 (Development of a Marking System by Introducing Mineral Elements into Vegetables in Hydroponics to Certify Their Source)
<p>最近、ラベルのすり替えによって生産物の産地を偽る、いわゆる産地偽装事件が多発し、大きな社会問題となっている。農産物は同じ種類でしかも品種が同じであれば、産地が異なっても外観はほとんど同じで見分けがつかず、ラベルをすり替えられても、このすり換えの事実を証明することは非常に困難である。</p> <p>そこで、産地を判別する一手法として、植物に微量あるいはほとんど含まれない無機元素を根から吸収させることにより、これらの元素で植物を直接ラベルし、識別することが考えられる。植物がこれらの元素を確実に吸収し、この吸収パターンが安定で、かつヒトに安全な濃度であれば産地判別の確実な標識方法となることは論を待たない。</p> <p>本論文は、植物を無機元素でラベルすることにより産地を判別することが可能かどうかの基礎的知見を得るため、ラベル対象野菜としてレタス類を使用し、培地環境の制御し易い水耕栽培で無機元素導入の検討を行ったものである。</p> <p>まず、一般に水耕あるいは土耕で栽培されているレタス類に微量あるいはほとんど含まれていないと予想される 16 種類の元素を分析した。これらの元素は、天然賦</p>	

存量として微量かあるいはほとんど含まれておらず、全ての元素が標識元素としての可能性があること確認した。さらに、この中からヒトの健康に対してある濃度まで安全が確認されている7種類の金属元素(Ba, Co, Sr, Cu, Ni, Mo, V)をマーカー候補元素として選択し、培養液に各元素をそれぞれ単独で加え、これらの元素の吸収様式を検討した。その結果、Vを除く6種類の金属元素について培養液の処理濃度を調節すればヒトの健康に影響が出ない安全な量を導入できることを認め、水耕野菜へ元素による標識が可能であることを明らかにした。

次に、前実験で培地濃度と地上部の元素濃度との間に一次関数的な正の相関を持つ3種類(Ba, Sr, Co)の金属元素の培地濃度を変えることにより8種の組み合わせを設定し、これらの元素の植物への導入状況を検討した。その結果、単一元素導入時と同じく培地の各元素設定濃度に応じて、地上部の元素濃度も元素個々に直線的に増加することを認めた。また、これら3元素のデーターについて正準判別分析を行った結果、供試した2品種のレタスとも有意に8つの異なるグループ(処理区)に分かれ、複数の元素の濃度を変えた組み合わせによって、多数の標識パターンが可能であることを明らかにした。

一方、非金属元素の中で天然賦存量が少なく、かつ比較的高濃度まで毒性を示さない元素があればマーカー元素として利用でき、標識元素数の増加に貢献することが期待できる。本論文では、ヒトの必須元素であり、世界人口の約35%が摂取不足のリスクを負っていると言われているヨウ素に着目し、ヨウ素化合物の濃度を変えてレタス類を栽培し、ヨウ素の吸収状況について検討した。この結果、ヨウ素も金属元素と同様に培地濃度と地上部濃度との間に一次関数的な正の相関が認められ、培地濃度を調節すれば安全な量が導入可能であり、場合によってはヒトの健康に大きく寄与するマーカー元素となりうることを明らかにした。

以上のように、本論文は水耕野菜への無機元素導入により、暗号化したデジタル標識を与え、セキュリティおよびトレーサビリティを兼備えたマーケティングシステムの構築に対し、非常に重要な基礎知見を与えるものであり、学位論文として十分価値あるものと判定した。

最終試験結果の要旨

学位申請者 氏名	白 光 潔
審査委員	主査 佐 賀 大学 教授 井上 興一
	副査 佐 賀 大学 助教授 染谷 孝
	副査 宮 崎 大学 教授 赤尾 勝一郎
	副査 鹿 児 島 大学 教授 稲永 醇二
	副査 琉 球 大学 教授 渡嘉敷 義浩
審査協力者	
実施年月日	平成18年12月26日
試験方法（該当のものを○で囲むこと。） <input checked="" type="radio"/> 口答・筆答	
<p>主査および副査は、平成18年12月26日の公開審査会において学位申請者に対し、学位申請論文の内容について説明を求め、関連事項について諮問を行った。具体的には別紙のような質疑がなされ、いずれも満足できる回答を得ることができた。</p> <p>その結果、審査委員会は、申請者が大学院連合農学研究科博士課程修了者としての学力および識見を有するものと認め、博士（農学）の学位を与えるに十分な資格を持つものと判定した。</p>	

学位申請者

氏名

白 光潔

【質問1】 植物工場の野菜は、どこで栽培しても類似の外観および無機栄養成分組成となりやすく、産地判別が特に困難なので、標識対象野菜として、水耕野菜を選択したのは非常に適切だと思う。ただ、逆に、この手法をまねされるとどこでも同じような標識が可能で、産地判別の意義が薄らぐように思えるが。

【回答1】 この標識の特徴は、元素の種類とそれらの元素個々の導入量にあります。元素の種類については、どの水耕施設でも、これらを培地に加えれば導入可能ですが、導入量は培地の濃度、施設の温度・照度・栽培装置および栽培管理者で明らかに変わります。つまり、導入量については植物工場個々の栽培環境などに依存するので、まねはでき難いと考えています。

【質問2】 これまでの研究成果から実用化を考えているのか。

【回答2】 この研究は、モデル実験を通して無機元素によるマーキングシステムが可能かどうかの基礎知見を得るために行ったものです。本研究によりこのシステムが成立可能であることを明らかにしました。しかし、実用化となるとさらに多くの無機元素について安全レベルの導入を検討する必要があります。これによって元素の種類と導入量との関係から非常に多くの組み合わせが可能で、バーコードの様な標識法が可能と考えています。

【質問3】 マーカー物質として無機元素のみを対象としているが、他の物質、例えば機能性成分などによる標識は考えているか。

【回答3】 はい、考えています。ただ、アスコルビン酸やポリフェノールのような有機物よりなる機能性成分は導入できるのかとか代謝の有無などを検討する必要があります。吸収が容易で、また植物体内に代謝されずに比較的多く集積する機能性物質があれば標識できると同時にヒトの健康への寄与にもなりますので有益なマーク法だと思っています。

【質問4】 元素の導入量については、元素個々のADIやTDIを考慮しているが、ベジタリアンが毎日この野菜を多量に摂取しても大丈夫なのか。

【回答4】 今回の発表で示したように厚生労働省は、2010年までに野菜を1日当たり470 g摂取するように推奨しています。この標識された野菜を470 g食べたとしてもADIやTDIの50%以下になるように培地の処理濃度を考慮しました。ADIやTDIについては、ご存知のようにある物質をラットなどが毎日一生涯食べても害の全く出ない最大量 (NOAEL) の1/100から1/1000に設定していることから、標識無機元素の導入量はかなり安全な量になっていると考えています。

[質問5] このシステムは、水耕栽培に絞って考えているが、マーカ元素を土壌に加えて、土耕栽培植物へ標識することは考えられないのか。

[回答5] 土耕分野は水耕分野より一般的なので、こちらへ応用する方がかなり有意義です。土耕は土壌の種類・構成成分、降雨、日照量および肥料の種類などマーカ元素の吸収を大きく左右する因子が多く、安定な標識は困難と予想していますが、検討する価値はあると考えています。

[質問6] 偽装するのは販売業者が多く、野菜を生産する側がコストや労力を掛けて元素導入を行うメリットはあるのか。

[回答6] この標識法では、培地に極微量加えて栽培するので、コストや労力はほとんどかかりません。販売業者がラベルを偽装して品質の悪い農産物をすり替えた場合、この偽装が証明できなければ生産者や生産地の信用が落ちます。この標識システムでは、偽装をほぼ完全に証明できます。また、このことが生産者の防衛手段になり、販売業者への産地偽装を思い留まらせることにつながると思います。

[質問7] レタスやキャベツでは、葉の先端と基部あるいは内葉と外葉でCaなどの無機栄養成分が大きく異なるのが普通である。この導入されたマーカ元素の体内分布については検討したか。

[回答7] 部位別のマーカ元素量については、検討しておりません。元素によっては、ある部位に異常に集積することも考えられますので、安全面から今後検討する必要があると思います。

[質問8] ヨウ素の標識については、ヨウ化カリウムとヨウ素酸カリウムの2種類でを検討しているがヨウ素酸カリウムは酸化剤なので危険ではないのか。

[回答8] ヨウ素酸は、吸収の際、ヨウ素に還元されて取り込まれると言われていいます。しかし、一部はヨウ素酸として吸収されている可能性もありますし、ヨウ化カリウムに比べて吸収効率が悪いので標識化合物として不適切であると考えています。