

氏名	えりへむ <b>額日赫木</b>
本籍（国籍）	中華人民共和国
学位の種類	博士（農学）
学位記番号	連研第 号
学位授与年月日	平成26年3月24日
学位授与の要件	学位規則第6条第1項該当 課程博士
研究科及び専攻	連合農学研究科生物資源科学専攻
学位論文題目	<b>Iron, zinc and ascorbic acid enrichments of whole potato tubers by vacuum impregnation</b> <b>（真空含浸処理によるジャガイモ塊茎の鉄、亜鉛及びアスコルビン酸含量増強）</b>
学位審査委員	主査 准教授 島田 謙一郎 副査 教授 小疇 浩 副査 教授 夏賀 元康 副査 教授 三浦 靖

### 論文の内容の要旨

In the last decades consumer demands in the field of food production has changed considerably. Consumers more and more believe that foods contribute directly to their health. Today foods are not intended to only satisfy hunger and to provide necessary nutrients for humans but also to prevent nutrition-related diseases and improve physical and mental well-being of the consumers. The development of functional foods is currently one of the most intensive areas of food product development worldwide. The global functional food market is estimated to be 47.6 billion US\$; the United States is the largest market segment, followed by Europe and Japan. Moreover, the functional food industry is currently striving to functional new products to the rapidly growing markets.

In functional ingredients, iron is required for hemoglobin production in the cell precursors, and thus insufficient iron delivery to the red cell precursor's results in impaired erythropoiesis and an iron-deficient anemia. Iron deficiency (ID) is the most widely distributed nutrient deficiency state, affecting some 2 billion people worldwide and impairing the function of iron-dependent enzymes and proteins. USDA reports that 62% of women aged 20 and older are ID. Moreover, zinc is involved in many biochemical processes supporting life. However, conservative estimates suggest that more than 25% of the world's population is at risk of zinc deficiency (ZD). In addition, ascorbic acid (AA) is an essential component of most living tissues. As an antioxidant, it plays an important role in protection against oxidative stress. The UK Low Income Diet and Nutrition Survey carried out between 2003 and 2005 found evidence of vitamin C deficiency in an estimated 25% of men and 16% of women. Another 20% of the

population had vitamin C levels in the depleted range.

Potatoes are an essential food crop all around the world and were the first non-grain food product. It is ranked fifth in terms of human consumption and fourth in worldwide production.

One of the alternatives for the development of new products in the food industry is the use of vacuum impregnation (VI). VI is the application of low pressure to a solid-liquid system, followed by the restoration of atmospheric pressure. To achieve a better efficient impregnation in VI process, it is required to know the suitable VI conditions. VI efficiency has been reported to depend on process parameters, including vacuum pressure, vacuum time and restoration time.

In the present research, studies on enriching iron, zinc and AA contents of whole potato tubers by VI were attempted in order to supply nutritious whole potatoes to consumers. Concerning VI of potato, no studies exist on vacuum impregnation of iron and zinc. In addition, there are no studies concerning the distribution of ascorbic acid content within vacuum-impregnated potatoes, and effect of storage time on ascorbic acid content of vacuum-impregnated potatoes.

This study was carried out to evaluate the effect of vacuum pressure, vacuum time and restoration time on the iron and zinc contents of VI whole potatoes. The effects of steam-cooking and storage at 4 °C on iron and zinc contents of VI whole potatoes were also evaluated. Further, the effect of VI treatment on cell structures of potatoes was investigated. In addition, the longitudinal or transverse distribution of iron, zinc and AA contents within VI potatoes was examined. The effect of VI treatment time for stored potatoes on iron, zinc and AA contents of VI potatoes was also investigated.

The following conclusions were obtained from the studies:

- 1) The iron content of VI potatoes increased with vacuum level (pressure). Also, iron and zinc contents of VI potatoes increased with vacuum time and restoration time.
- 2) VI-cooked unpeeled or peeled potatoes had 6 times higher iron contents than un-VI-cooked unpeeled or peeled potatoes. European daily potato consumption (260 g) of the VI-cooked unpeeled and peeled potatoes provided adult men with 93-104% and 67-90% of the RDA of iron, respectively. Also, the daily potato consumption of the unpeeled and peeled potatoes supplied adult women with 43-48% and 31-41% of the RDA level, respectively. Moreover, the VI potatoes had 6 times higher iron contents (>4 mg/100 g fr.wt.) through 30 days of storage at 4 °C, compared with un-VI-treated potatoes.
- 3) VI-cooked unpeeled or peeled potatoes had 63-94 times and 47-75 times higher zinc contents than un-VI-cooked unpeeled or peeled potatoes, respectively. Daily worldwide potato consumption (86 g) of the VI-cooked unpeeled and peeled potatoes provided adult men with 130-148 and 100-135% of the RDA of zinc, respectively. Also, the daily potato consumption of the unpeeled and peeled potatoes supplied adult women with 178-203% and 137-185% of the RDA levels, respectively. The high zinc content of VI potatoes was kept during 4 °C-storage for 30 days.
- 4) Microstructure analysis showed that VI occurred without disrupting internal cells

of whole potato tubers.

5) The bud end of VI-uncooked or VI-cooked potatoes had higher ( $p<0.05$ ) iron and zinc contents compared with the middle and stem sections of VI-uncooked or VI-cooked potatoes. Moreover, the outer section within VI-uncooked or VI-cooked potatoes had higher ( $p<0.05$ ) iron, zinc and ascorbic acid contents than the middle and center sections of VI-uncooked or VI-cooked potatoes. This information will be useful for school lunches and hospital foods where cut pieces are supplied instead of whole potatoes.

6) The iron, zinc and AA contents of VI-uncooked or VI-cooked potatoes decreased during storage. The optimal VI treatment time for potatoes stored at 4 °C was within one month of storage. This result will give useful information for potato processors to determine the optimal VI treatment time of stored potatoes.

Finally, this study indicated that VI treatment of whole potatoes with iron, zinc and AA solutions was useful for enriching the iron, zinc and AA contents of peeled or unpeeled cooked potatoes.

(近年、食品製造の分野では、消費者の要求が大幅に変化してきている。食品が直接、健康に貢献すると、消費者は考えている。食品は空腹を満たし、人間に必要な栄養素を供給するだけでなく、栄養に関連する疾患を予防し、消費者の物理および精神的幸せを改善するものとして今日、とらえられている。機能性食品の開発は、現在、世界中で最も重点的に行われている食品開発分野の一つである。機能性食品市場は世界で 476 億米ドルと推定され、米国が最も大きく、次いで欧州と日本がそれに続いている。さらに、機能性食品産業は、現在、急速に成長している市場に対応し、新しい機能性食品開発にしのぎを削っている。

機能性成分の内、鉄はヘモグロビン生産に必要であり、鉄の赤血球前駆体に対する不十分な供給は赤血球生成障害や鉄欠乏性貧血をもたらす。鉄欠乏は、世界で最も広範にみられ、20 億の人々に影響を及ぼし、人々の鉄依存性酵素やタンパク質機能の損傷をもたらしている。20 歳以上の女性の 62%が鉄欠乏であると、アメリカ農務省は報告している。また、亜鉛は生命を支える多くの生化学的プロセスに関与しているが、世界人口の 25%以上が亜鉛欠乏の危険にさらされている。アスコルビン酸 (AA) は、ほとんどの生体組織の必須成分であり、酸化ストレスに対する防御として重要な役割を担っている。英国低所得者層の食事と栄養調査 (2003~2005 年) では、男性の 25%、女性の 16%がビタミン C 欠乏状態にあり、さらに、それらの人々の 20%がビタミン C 枯渇レベルにあった。

ジャガイモは、世界中で生産される基幹食用作物であり、人類にとって最初の非穀物食料である。ジャガイモは世界の主要作物の内、消費量で第 4 位、生産量で 5 位にランクされている。

食品産業における新製品開発のための 1 つの選択肢は、真空含浸 (VI) の適用である。VI は先ず固液系への低圧力の負荷、その後の大気圧への復帰操作であるが、VI 工程で、より効率的な含浸を達成するには、適切な VI 条件を知ることが求められる。VI 効率、真空圧力、真空時間や復帰時間を含む VI 工程パラメータに依存することが報告されている。

この研究では、栄養成分を強化したジャガイモ塊茎そのものを消費者に供給するために、ジャガイモ塊茎に対して鉄、亜鉛及び AA 含量を VI による増強を試みた。ジャガイモ塊茎そのものに対して VI を用いた鉄および亜鉛の栄養成分を増強する研究は殆どなされていない。また、VI ジャガイモのアスコルビン酸含量の塊茎内分布及び貯蔵期間の影響に関する

研究はみられない。

この研究は、VI ジャガイモの鉄及び亜鉛含量に及ぼす真空圧力、真空時間と復帰時間の影響を評価するために行った。さらに、ジャガイモ塊茎の鉄と亜鉛含量に及ぼす蒸気調理や貯蔵の影響を評価した。また、ジャガイモ塊茎の細胞構造に及ぼすVI処理の影響を調べた。さらに、VI ジャガイモ塊茎の鉄、亜鉛及びAA含量の長軸または横断面方向の塊茎内分布を調べた。VI ジャガイモの鉄、亜鉛やAA含量に及ぼす貯蔵期間の影響も、同様に研究した。

上記の研究から、以下の結論が得られた。

- 1) VI ジャガイモの鉄含量は、真空レベル（圧力）の上昇と共に増加した。また、VI ジャガイモの鉄と亜鉛含量は、真空時間や復帰時間と共に増加した。
  - 2) VI 皮付き調理、または皮なしジャガイモは、VI 未処理のものよりも6倍高い鉄含量を有した。さらに、これらのジャガイモのヨーロッパ人1日当たりのジャガイモ消費量（260グラム）は、VI 皮付き調理ジャガイモで、1日推奨摂取鉄量の93~104%、皮なしで67~90%の鉄分を成人男性に供給する。同様に、成人女性に皮付きで、一日推奨量の43~48%、皮なしで31~41%の鉄分供給となる。加えて、VI ジャガイモは未処理のものよりも、4℃で30日の貯蔵期間を通して、6倍高い鉄含量（> 4 mg/100g fr.wt.）を有した。
  - 3) 亜鉛も同様に、VI 皮付き調理、または皮なしジャガイモは、VI 未処理のものよりも63~94%または47~75%高い亜鉛含量を有した。全世界の1日当たりの平均ジャガイモ消費量（86グラム）は、VI 皮付き調理ジャガイモで、1日推奨摂取亜鉛量の130~148%、皮なしで100~135%の亜鉛を成人男性に供給する。同様に、成人女性に皮付きで、一日推奨量の178~203%、皮なしで137~185%の亜鉛供給となる。また、VI ジャガイモは4℃で30日の貯蔵期間を通して、高含量を維持した。
  - 4) 電子顕微鏡による微細構造解析は、VI がジャガイモ塊茎の内部の細胞を破壊することなしに、起きていることを示した。
  - 5) VI 未調理または調理ジャガイモの頂芽部の鉄及び亜鉛含量は、中央部や基部と比べて高かった。さらに、それらのジャガイモの周皮部の鉄、亜鉛及びAA含量は、他の中間や中心部よりも高かった。ジャガイモが塊茎全体でなく、カットして供給される学校給食や病院食に、この情報は有用である。
  - 6) VI 未調理または調理ジャガイモの鉄、亜鉛及びAA含量は貯蔵中に減少した。4℃貯蔵ジャガイモの最適VI処理時期は貯蔵1ヶ月以内であった。この結果は、ジャガイモ加工業者が貯蔵ジャガイモの最適VI処理時期を決めるのに、有用な情報を与えるものである。
- 上記のように、本研究は、鉄、亜鉛及びAA溶液を用いたVI処理は、皮つき、または皮なし調理ジャガイモの鉄、亜鉛及びAA含量を増強するのに有用であることを示した。

## 論文審査の結果の要旨

本研究は、食生活における鉄、亜鉛及びアスコルビン酸（AA）欠乏を解決するために、世界で4番目に消費量の多いジャガイモ塊茎の真空含浸（VI）処理によるそれらの増強を試みたもので、得られた成果は、以下の通りである。

- 1.真空圧力の上昇と共にVI ジャガイモの鉄含量は増加し、さらに、真空時間や復帰時間の増加と共に、鉄及び亜鉛含量が増加したことを明らかにしている。
- 2.VI ジャガイモは、VI 未処理のものよりも6倍高い鉄含量を有し、これらのジャガイモ

のヨーロッパ人1日当たりのジャガイモ消費量(260グラム)は、VI皮付き調理ジャガイモで、1日推奨摂取鉄量の93~104%、皮なしで67~90%の鉄分を成人男性に供給することを明らかにしている。さらに、成人女性に皮付きで、一日推奨量の43~48%、皮なしで31~41%の鉄分供給となることも明らかにしている。加えて、VIジャガイモは未処理のものよりも、4℃で30日の貯蔵期間を通して、6倍高い鉄含量を有することを明らかにしている。

3.亜鉛も同様に、VI皮付き調理、または皮なしジャガイモは、VI未処理のものよりも63~94%または47~75%高い亜鉛含量を有し、全世界の1日当たりの平均ジャガイモ消費量(86グラム)は、VI皮付き調理ジャガイモで、1日推奨摂取亜鉛量の130~148%、皮なしで100~135%の亜鉛を成人男性に供給し、成人女性に皮付きで、1日推奨量の178~203%、皮なしで137~185%の亜鉛供給となることを明らかにしている。さらに、VIジャガイモは4℃で30日の貯蔵期間を通して、高含量を維持することを明らかにしている。

4.電子顕微鏡による微細構造解析により、VIがジャガイモ塊茎の内部の細胞を破壊することなしに、起きていることを明らかにしている。

5.VI未調理または調理ジャガイモの頂芽部の鉄及び亜鉛含量は、中央部や基部と比べて高く、さらに、それらのジャガイモの周皮部の鉄、亜鉛及びAA含量は、他の中間や中心部よりも高いことを明らかにした。つまりVI処理で栄養成分の強化されたジャガイモ塊茎は、全体が一応でないことを示している。これは、カットして供給される学校給食や病院食に用いる場合に注意しなければならない情報であることを示している。

6.VI未調理または調理ジャガイモの鉄、亜鉛及びAA含量は貯蔵中に減少し、4℃貯蔵ジャガイモの最適VI処理時期は貯蔵1ヶ月以内であることを明らかにしている。この結果は、ジャガイモ加工業者が貯蔵ジャガイモの最適VI処理時期を決めるのに、有用な情報を与えるものである。

以上のように、本研究は、真空含浸処理がジャガイモ塊茎に栄養成分として鉄、亜鉛及びアスコルビン酸含量を増強するのに、有効な手段であることを明らかにした。本知見は、ジャガイモの消費量が世界で4番目に多いことから、世界における食事を通じたそれらの予防及び新しい栄養強化食品の開発に重要な情報を与えるものである。よって、本審査委員会は本論文を博士(農学)の学位論文として、十分に価値を有するものと認めた。

学位論文の基礎となる学術論文

主論文

1. Erihemu, Kazunori Hironaka, Hiroshi Koaze, Yuji Oda and Kenichiro Shimada(2013): Zinc enrichment of whole potato tuber by vacuum impregnation, *Journal of Food Science and Technology*, doi: 10.1007/s13197-013-1194-5(掲載証明付)

参考論文

1. Lemuel M. Diamante, Kazunori Hironaka, Yukiko Yamaguchi and Erihemu (2013): Optimisation of vacuum impregnation of blackcurrant-infused apple cubes : application of response surface methodology, *International Journal of Food Science and Technology*, doi: 10.1111/ijfs.12351(掲載証明付)