

氏名	ゴンドウェ ロドニー リンディザ <b>GONDWE, Rodney Lindizga</b>
本籍（国籍）	マラウイ共和国
学位の種類	博士（農学）
学位記番号	連研第731号
学位授与年月日	平成31年3月22日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当課程博士
研究科及び専攻	連合農学研究科 生物生産科学
学位論文題目	<b>Improvement on yield and quality of processing potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.) by understanding the interactive effects of soil characteristics and plant nutrient management in Hokkaido,</b>
学位審査委員	主査 帯広畜産大学教授 谷 昌幸 副査 相内 大吾(帯広 助教),程 為国(山形 教授),青山 正和(弘前 教授)

### 論文の内容の要旨

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is an important crop in Japan with the consumer demand exceeding domestic supply. Despite the investments and expertise that goes into potato production in Japan, the productivity is quite low compared to major world potato producing countries like USA and New Zealand. Given the availability of suitable climatic and soil conditions for potato production, consumer demand for processing potatoes, and the desire for self-sufficient in potato production, there is a need to increase potato productivity. This study was conducted to understand the potato crop and soil-environmental factors that limit yields that will help to guide formulation of better management practices to improve productivity. In addition to yield, processing potato tubers are required to satisfy special quality requirements such as high specific gravity and less physiological defects such as blackspot bruise. In this regard, the study assessed the status and relationships of soil N, P, K and Ca content and its respective tuber nutrient content. The study also evaluated the influence of aforementioned nutrients contents in potato tuber on its quality.

In present study, paired soil and tuber samples were collected from 170 farmers' fields in Tokachi and Kamikawa districts in 2013 and 2014 growing seasons. The districts were purposely selected for the study because they are among the major potato producing districts in Hokkaido, accounting for almost 50% of the total production in Hokkaido. And also, the districts have contrasting soil types, Tokachi district is dominated by volcanic ash derived soils known as Andisols whilst Kamikawa district is dominated by soils of pyroclastic flow deposit origin classified as Inceptisols. The soil samples were collected at flowering stage while tuber samples were collected at harvesting time. Soil samples were analyzed for soil available nitrogen and phosphate, exchangeable calcium and potassium. Other soil

properties were also assessed. Total carbon, phosphate absorption coefficient and acid oxalate extractable aluminum. In order to gain information on the current application rate of fertilizer, we conducted interview with the participating growers for each selected field.

For tuber samples, we measured the weight of tubers and specific gravity for the calculation of tuber yields and starch content at harvest, and kept in cold storage. We then dried and ground the samples, and wet digested the samples using sulfuric acid/hydrogen peroxide and quantified P, K, and Ca using inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES). Tuber N concentration was assessed on ground samples and the measurement was undertaken using a dry combustion method.

We found that potato processing cultivars have different yield components that reflect their inherent physiological differences. We also found that within a cultivar stem number significantly differed across soil types (Chapter 3). Stem numbers were greater in the Kamikawa district where soil available N, P, and K were greater but exchangeable and water soluble Ca were lower than Tokachi the district. Stem numbers were greater in the Kamikawa district where soil available N, P, and K were greater but exchangeable and water soluble Ca were lower than Tokachi the district. Past studies have shown increase in stem number per plant with P fertilization that was accompanied by increase in number of tubers per stem. Other studies have found that Ca application can result in a decrease in the number of tubers per plant and an increase in tuber size. Delay in planting of potatoes by two weeks in 2013 in Kamikawa district may have also contributed to differences in stem numbers. Advanced seed-tuber age accelerates plant emergence, establishment and decreases the dominance of apical growing points that result in increased number of stems.

Generally, cultivars with more stems produced more tubers per plant, and increase in tuber number per plant was associated with an increase in the number of undersized tubers. Production goals of processing potatoes require optimizing tuber sizes of specific size category to maximize finished product yield and profits for both growers and industry. Growers in Hokkaido can optimize marketable yield by regulating number of stems per plant that influences tuber size distribution. This can be achieved by using more juvenile potato seed tubers that produce less stems. Use of potato seed tubers with high calcium is necessary for growth of the apical meristem of the sprouting stems that prevents loss of apical dominance.

Although tuber yield of Snowden was relatively high, its specific gravity was significantly affected by low in Tokachi due to high organic matter that may have led to more N uptake that in turn affected specific gravity. In contrast, the performance of Toyoshiro in terms of high specific gravity was good in both locations that in part explain the reasons for its continuing popularity of this cultivar in Japan. This information is therefore, important to breeders, physiologists and agronomists who are interested in improving performance of potato crop across different environments. This information is also very important to growers to carefully select cultivars adapted to a given locality to maximize both yield and

quality.

Generally growers believe that potatoes show large response to NPK fertilizer rates and this has justified large inputs even on soils with large amounts of available N, P, and K nutrients. In chapter 4, we found no yield response to soil available nutrients and in-season N, P and K fertilizer applications. The observed lack of yield response in the current study was attributed to high availability of N, P, and K in the soil that obscured the relationship between yields and fertilizers. The results suggested that under high soil available NPK, addition of NPK fertilizers does not increase yields. Excess application of fertilizer is unnecessary cost to the farmer because it has no positive impact on yields.

High soil available NPK led to luxury absorption of the nutrients by the potato crop that did not translate into yields. We do not have an exact explanation as to why high available N, P, K in the soil was positively related to tuber N, P, and K concentration. The results study suggest that, in general soil available N, P, and K increases tuber N, P, and K concentrations and tuber N and K concentrations can reduce specific gravity. For potato processing, specific gravity ranges from 1.080 to 1.089 are desired for high quality potato chip products. Our results show that 53, 12, 8 and 22% of sites (farmers) of cultivars Andover, Toyoshiro, Kitahime and Snowden, respectively, had specific gravity lower than the required range for processing. Interestingly, high proportion of fields with specific gravity lower than the recommended range was observed in foreign cultivars (Andover and Snowden). Our results suggested that application of N, P, and K fertilizers in excess of recommended rates on soils that are already rich in these nutrients does not increase tuber yields. Farmers need to apply fertilizers based on recommendation to reduce the potential environmental degradation associated with excessive fertilization.

Bruise-free and high specific gravity tubers are desired by chip processing industry for good quality products. However, there may be a conflict in achieving these goals because high specific gravity tubers are easily bruised due to high starch granules that increases the potential of physical damage to the membrane. Past studies have provided evidence of the role of Ca to reduce incidences of blackspot bruise. We found 81 and 76 % of soils collected from Tokachi and Kamikawa district, respectively, were deficient in Ca level. This showed a severe deficiency of Ca in the soil for adequate growth of potatoes. Growers tend avoid application of Ca containing fertilizers. Tuber Ca content was lower than the reported value ( $250 \text{ mg kg}^{-1}$ ) considered mitigating incidence of bruise. There was evidence in our study that incidence of bruise can be mitigated by increasing tuber Ca concentration. Apparently, incidences of bruise were also influenced by specific gravity. The results show that tuber Ca concentration can be improved by increasing soil Ca levels. There is an urgent need to ameliorate soil Ca deficiency through application of Ca fertilizer.

In chapter 6, our study suggested that slope direction must not be excluded as a parameter that influences soil properties and crop yield. Potato tuber yield may be influenced by in-coming solar

radiation that accelerates the process of photosynthesis. It is important to incorporate the topographical effects when we consider SOM dynamics both for agricultural production but for considering the environmental impacts. Also, it is fundamental to consider factors that are known to determine yield potential before soil factors including solar radiation, temperature, and cultivar features when we conduct research into the relationship between soils and crop productivity.

本邦において、バレイショ (*Solanum tuberosum* L.) は需要が供給を上回る重要な作物である。バレイショ生産のために様々な投資や技術指導がなされているにも関わらず、生産性はアメリカ合衆国やニュージーランドなどを含む主要なバレイショ生産国に比べて低い。バレイショ栽培に適切な気候や土壌条件が揃っていること、消費者からの需要、国内生産の重要性を考慮すると、バレイショ収量の向上は必須である。本研究では、バレイショ栽培における収量制限因子となる土壌環境因子および場入れ所の作物体の因子の解明を目指し、収量の向上を可能にする管理方法の抽出を目指した。加工用バレイショにおいて、収量だけでなく、比重が高く生理障害が少ないなどの品質基準を満たすことも必要である。そこで本研究では土壌中の窒素、リン酸、カリおよびカルシウム含量を解析するとともに、各圃場における塊茎中の養分含量との関係性を解析した。また、塊茎中の養分含量が塊茎の品質に与える影響の評価も行った。

2013年度および2014年度に十勝および上川地域の170生産者圃場から土壌およびバレイショ塊茎試料を採取した。この2つの地域は、北海道のバレイショの約50%を生産する主要な産地であるだけでなく、それぞれ異なる土壌タイプを有している。十勝地域は火山灰を主な母材とするAndisolsが分布する一方、上川地域は火砕流堆積物を主な母材とするInceptisolsが分布する。バレイショの開花期に土壌試料を、収穫期に塊茎試料を採取した。土壌試料について、有効態窒素、有効態リン酸、交換性カルシウムおよび交換性カリ含量の分析を行った。また、全炭素含量、リン酸吸収係数および酸性シュウ酸塩可溶のアルミニウム含量の分析も行った。各圃場における現在の肥料投入量を算出するために、生産者への聞き取り調査を行った。

塊茎試料について、収量およびデンプン価を算出するために、塊茎一個重および比重の測定を行った。その後、塊茎試料を乾燥および粉碎し、硫酸/過酸化水素水を用いて湿式分解した後、ICP発光分光分析装置を用いてリン、カリウムおよびカルシウム含量の測定を行なった。塊茎の窒素含量測定は、燃烧酸化法を用いて行った。

本研究から、加工用バレイショの収量構成要素は、品種固有の生理的特性によって異なる事が明らかとなった。また同一の品種において、茎数は土壌タイプによって有意に異なる事が明らかとなった。茎数は上川地域で多かった。同地域は、十勝地域と比べて土壌中の有効態窒素、リン酸およびカリ含量が多く、交換性および水溶性カルシウム含量が少なかった。過去の研究で、リン酸の多施により茎数の増加が引き起こされるとともに、茎あたり塊茎数も増加することが報告されている。また他の研究では、カルシウム施肥が株あたりの塊茎数を減少させ、塊茎を肥大させることが報告されている。2013年度の上川地域では、播種が2週間程度遅れたことが、茎数に影響を及ぼした可能性がある。長期保存された種子バレイショは出芽が進行しており、頂芽優勢が失われるため茎数が増加するとの報告もある。

概して、茎数の多い品種は株あたりの塊茎数が多く、小さな塊茎が多かった。加工用バレイショ栽培において、規格歩留まりを向上させることは、生産者および産業全体の利益率の向上を目指す上で大変重要である。北海道の生産者は、茎数を適切に管理することで、規格歩留ま

りを向上することが可能である。過剰な出芽が進行していなく、塊茎中カルシウム含量の多い塊茎を使用することが重要である。

スノーデンの収量は比較的多かったが、比重は十勝地域で上川地域に比べて有意に低かった。これは、土壌中の腐植含量の多い十勝地域で、塊茎の窒素吸収が促進され、比重が低下したと考えられる。一方で、トヨシロの比重は両地域で高く、同品種が本邦において広く栽培されている理由の一つであると考えられる。これらの情報は、生育環境の異なる広範な地域で生産性の向上を目指す育種家、植物生理学者および農学者にとって重要である。また、生産者にとっては、各圃場の生育環境に最も適した品種を選択し、収量と品質を最大限向上させるために重要である。

概して、生産者圃場における窒素、リン酸、カリの施肥量は過剰傾向であった。これは生産者が、バレイショ収量がこれらの必須多量元素によって規定されていると信じているためであると考えられる。第4章では、塊茎収量は土壌中および生育期間中に施肥された窒素、リン酸およびカリ量に規定されていないことを明らかにした。これは、土壌中の有効態窒素、リン酸およびカリ量が過剰傾向であったため、これらの養分が収量制限因子になっていなかったためであると考えられる。

過剰な土壌中の有効態窒素、リン酸およびカリ量は、これらの養分のバレイショへの吸収を促したが、収量には反映されていなかった。本研究から、過剰な土壌中の有効態窒素、リン酸およびカリ量は、塊茎中のこれらの元素含量を増加させ、比重を低下させることが明らかとなった。加工用バレイショ生産において、高比重な塊茎を栽培することが望まれている。本研究から、53%（安ドーバー）、12%（トヨシロ）、8%（きたひめ）および22%（スノーデン）の圃場で、比重が1.080を下回っていた。とくに、海外で開発された品種である安ドーバーおよびスノーデンを生産している圃場で、比重の低い塊茎が多く見られた。本研究の結果から、土壌中の有効態窒素、リン酸およびカリ含量の多い圃場でのこれらの養分の施肥は、収量を増加させない可能性が高い。生産者は、推奨された施肥量に基づいた施肥を行い、過剰施肥による環境負荷を低減する必要がある。

高品質なポテトチップス製品を生産するためには、打撲黒変が無く、高比重なバレイショ塊茎が必要である。しかし高比重な塊茎は、水分含量が低く、細胞膜が物理的損傷を受けやすい。このため、高比重かつ打撲黒変が発生しない塊茎を生産するのは大変難しい。過去の研究から、カルシウム含量が高い塊茎では打撲黒変発生率が低いことが示されている。本研究から、十勝地域81%と、上川地域76%の土壌試料において、カルシウムが欠乏していることが明らかとなった。土壌中のカルシウム含量は、バレイショ生育に必要な量より著しく少ない。同地域の生産者は、カルシウムを含む肥料の施用を避ける傾向がある。塊茎中のカルシウム含量は、打撲黒変の発生を抑制すると報告されている含量（ $250 \text{ mg kg}^{-1}$ ）より少なかった。本研究においても、塊茎中のカルシウム含量の増加は打撲黒変発生率を低下させる効果があることが示された。また、打撲黒変発生率は比重によっても規定されていた。土壌中のカルシウム含量の多い土壌で塊茎中のカルシウム含量が多いことが示されたため、カルシウムを含む肥料の投入を行い、土壌中のカルシウム含量を増加させることが早急に必要である。

第6章では、斜面の方角が土壌の成分や作物の収量を解析する上でとても重要なことを明らかとした。バレイショの収量は、光合成量の違いに影響されており、圃場に到達する日射量の違いが影響していると考えられた。また、土壌有機物のダイナミクスも地形の影響を受けていることが明らかとなった。土壌要因と作物の生産性の関係性を解析する上で、作物の収量ポテ

ンシャルを規定する日射量、気温および品種などの要因をまず考慮することが大切である。

## 論文審査の結果の要旨

本研究では、北海道の加工用バレイショ生産における土壌特性と作物養分管理の相互的な影響の解明により、収量と品質の向上を目指した。加工用バレイショにおいては、収量だけでなく、比重が高く、生理障害が少ないなどの品質基準を満たすことも必要である。本研究では土壌の可給態養分含量を解析するとともに、土壌特性や作物養分管理と塊茎中の養分含量との関係、塊茎中の元素含量が塊茎の品質に与える影響などの評価を行った。

2013年度と2014年度に十勝地域および上川地域の170地点の生産者圃場から土壌およびバレイショ塊茎試料を採取した。この2つの地域は、北海道のバレイショの約50%を生産する主要な産地であるだけでなく、それぞれ異なる土壌タイプを有している。十勝地域は火山灰を主な母材とするAndisolsが分布し、上川地域は火砕流堆積物を主な母材とするInceptisolsが分布する。バレイショの開花期に土壌試料を、枯凋期に塊茎試料を採取し、土壌の理化学的性質や可給態養分含量、塊茎の収量と構成要素、塊茎の元素含量や内部品質などの評価を行った。

加工用バレイショの収量構成要素は、品種固有の生理的特性によって異なることが示された。また、同一の品種において、茎数は土壌型によって有意に異なることが明らかとなった。茎数の多い品種は株あたりの塊茎数が多く、小さな塊茎が多かった。加工用バレイショ栽培において、茎数を適切に管理することで、規格歩留まりを向上させることが示唆された。スノーデンの比重は十勝地域で上川地域に比べて有意に低かった。一方で、トヨシロの比重は両地域で高かった。これらの情報は、各圃場の生育環境に最も適した品種を選択し、収量と品質を最大限向上させるために重要である。

生産者圃場における三要素（窒素、リン酸、カリ）の施肥量は過剰傾向であった。塊茎収量は土壌中および生育期間中に施肥された三要素に規定されていないことが示された。土壌中の可給態養分は、塊茎中のこれらの元素含量を増加させ、比重を低下させることが明らかとなった。とくに、海外で開発された品種であるアンドーバーおよびスノーデンを生産している圃場で、比重の低い塊茎が多く見られた。生産者は、推奨された適切な三要素施肥を行い、過剰施肥による塊茎の品質低下と環境負荷を低減する必要がある。

加工用バレイショには、打撲黒変が少なく、高比重であることが求められる。一方、高比重な塊茎は、打撲黒変が発生しやすい。このため、高比重かつ打撲黒変が発生しない塊茎を生産するのは大変難しい。過去の研究から、カルシウム濃度が高い塊茎では打撲黒変発生率が低いことが示されている。本研究から、十勝地域81%、上川地域76%の土壌試料において、交換性カルシウムが欠乏していることが明らかとなった。また、塊茎中のカルシウム濃度は、打撲黒変の発生を抑制すると報告されている濃度（250 mg kg<sup>-1</sup>）より著しく少なかった。土壌中のカルシウム飽和度を高めるとともに、カルシウムを含む肥料の施用を行い、塊茎のカルシウム濃度を増加させて品質を改善することが早急に必要である。

さらに、起伏のある圃場が多い上川地域では、斜面の方角が土壌の特性や作物の収量を解析する上でとても重要なことが示された。バレイショの収量は、光合成量の違いに影響されており、圃場に到達する日射量の違いが影響していると考えられた。また、土壌有機物のダイナミクスも地形の影響を受けていることが明らかとなった。土壌要因と作物の生産性の関係性を解

析する上で、作物の収量ポテンシャルを規定する日射量、気温および品種などの要因を考慮することが大切である。

本研究の成果は、北海道における加工用バレイショの収量と品質を向上させるために重要な知見を多数含んでおり、これらに基づいた土壌肥沃度の改善、施肥技術の改良などに向けた取り組みが期待される。

本審査委員会は、「岩手大学大学院連合農学研究科博士学位論文審査基準」に則り審査した結果、本論文を博士（農学）の学位論文として十分価値のあるものと認めた。」

#### 【以下、学位論文の基礎となる学術論文】

---

##### 主論文

1. Gondwe, R.L., R. Kinoshita, M. Sano, T. Suminoe, D. Aiuchi, H. Koaze, J. Palta and M. Tani (2017) Lack of yield response in potato (*Solanum tuberosum* L.) to phosphate fertilizer under contrasting soil types varying in phosphate absorption coefficient and available phosphate. *Soil Science and Plant Nutrition*, 63 (2): 171-177.
2. Gondwe, R.L., R. Kinoshita, T. Suminoe, D. Aiuchi, J. Palta and M. Tani (2018) Soil and tuber calcium affecting quality of processing potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars grown in Hokkaido, Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*, accepted on Dec 10, 2018.

##### 参考論文

1. Tani M., T. Kato and R.L. Gondwe (2012) Improvement on soil fertility and maize production. *In: Improvement on Food Productivity and Food Security by Crop-Livestock Integrated Farming System. Case Study in Dwale, Thyolo.* pp. 7-55, Dairy Japan Co. Ltd., Tokyo.
2. Murayama, D., T. Yamazawa, C. Munthali, E.N. Bernard, R.L. Gondwe, J.P. Palta, M. Tani, H. Koaze and D. Aiuchi (2017) Superiority of Malawian orange local maize variety in nutrients, cookability and storability. *African Journal of Agricultural Research*, 12 (19): 1618-1628.