

カルシウム施肥が加工用バレイショの生育と品質に及ぼす影響

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者名	谷,昌幸 木下,林太郎 相内,大吾 加藤,拓 住ノ江,努
発行元	日本土壌肥料学会
巻/号	90巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 201-206
発行年月	2019年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



カルシウム施肥が加工用バレイショの 生育と品質に及ぼす影響

谷 昌幸¹・木下林太郎¹・相内大吾¹・
加藤 拓²・住ノ江 努³

キーワード 加工用バレイショ, カルシウム施肥, 塊茎収
量, 打撲黒変, ライマン価

1. はじめに

バレイショ (*Solanum tuberosum* L.) は, 用途により生食用, 加工用, でん粉用に大別される. とくに, 世界各国における食生活の変化に伴い, ポテトチップスやフライドポテトなどの製造に用いられる加工用の需要が増加している (Keijbets, 2008). 加工用バレイショは, その塊茎収量が多いことはもちろん, でん粉価 (ライマン価) が高くて製品歩留まりが良いこと, 還元糖含量が低くて焦げにくいこと, そして中心空洞や褐色心腐などの内部障害および打撲による黒変が少なく, 加工ロスが少ないことなどが求められる (高田, 2012). 打撲黒変は, 収穫, 運搬, 貯蔵時の塊茎への物理的な衝撃や圧力により生じる黒変症状であり, 強い力により細胞が破壊されることで, 酸化酵素であるチロシナーゼによりチロシンが酸化され, 細胞にメラニンが蓄積して黒色化する (Karlsson *et al.*, 2006). 剥皮後に黒変が見られる場合には, 打撲部分を手で取り除くトリミング作業が必要となり, 人件費がかかるとともに, トリミングによるロスに直結するため重要な課題である.

加工用および生食用バレイショにおいて大きな問題である打撲黒変や内部障害は, 作業要因や気象要因に起因するとされ, 生育段階における具体的な対策は示されていない. 一方, 適切なカルシウム施肥を行い, 塊茎のカルシウム濃度を高めることにより, 打撲黒変や内部障害の発生率が著しく低下することが報告された (Palta, 2010).

バレイショが主根や側根から吸収したカルシウムは地上茎に供給され, 地下部に再分配されることはないが, ストロン根や塊茎根から吸収したカルシウムは塊茎に供給される (Busse and Palta, 2006). そこで, 塊茎が肥大する着蕾期から開花期に, ストロンの上部あるいは周辺へ, 水溶性カルシウム塩である硝酸カルシウムや塩化カルシウムを含む肥料を施用することにより, 塊茎のカルシウム濃度を高める施肥技術が提案された (Palta, 2010).

日本のバレイショ栽培においても, 打撲黒変や内部障害などによる被害程度は大きく, 深刻な問題である (天野・若林, 2006). 一方, 土壌 pH の上昇に伴うそうか病多発を懸念し, 炭酸カルシウムなどを含む石灰質肥料の投入を避ける傾向にある (仲川ら, 2002). 日本のバレイショ栽培においても, 適切なカルシウム施肥により, カルシウム吸収を促進させ, バレイショの生育や内部品質を向上させることが期待されるが, その効果は明らかにされていない. さらに, 日本のバレイショ栽培地域の土壌特性や培土方法がアメリカ合衆国とは大きく異なることなどを考慮して施肥技術を提案する必要がある. 本研究では, 北海道のバレイショ生産圃場において, カルシウム資材の効果を詳細に検討するための予備的な試験として, 加工用バレイショの生育と品質の改善を実現するために適当なカルシウム資材の種類, 施用法および施用量について検討することを目的とした.

2. 材料および方法

1) 栽培試験

2013 年度に北海道の上川地域 1 圃場および十勝地域 2 圃場で, 2015 年度に十勝地域 1 圃場で, 加工用バレイショ (品種: トヨシロ) の栽培試験を行った. 上川郡美瑛町北瑛の生産者圃場では慣行培土を行っており, 本培土直前に硝酸カルシウムを 200 ないし 400 kg ha⁻¹ 側条施用する試験区を設けた. 河西郡芽室町中伏古の生産者圃場では早期培土を行っているが, 2013 年度は栽培試験のために慣行培土を行い, 上記と同様に本培土直前に硝酸カルシウムを側条施用する試験区を設けた. また, 通常の早期培土では硝酸カルシウムを追肥して培土上部のストロン周辺に施用することは難しいため, 播種直後に硫酸カルシウム (石こう肥料) を 400 ないし 800 kg ha⁻¹ 表面施用する試験区を設けた. 2015 年度は, 早期培土を行い, 播種直後に硫酸カルシウムを 500 kg ha⁻¹ 表面施用する試験区を設けた. 河西郡芽室町祥栄の生産者圃場では早期培土を行っており, かつ土壌の有機物含量が多いために (表 1), 土壌から無機化して供給される窒素量が多いことが予想され, 硝酸カルシウム施用による窒素の過剰供給が懸念されたため, 播種直後に硫酸カルシウムを 400, 600, 800 および 1,000 kg ha⁻¹ 表面施肥する試験区を設けた. 各圃場の地点名は, 北瑛, 中伏古 13, 中伏古 15, 祥栄と記した. なお, 早期培土とは, 播種後から出芽前までに, 一工程で培土を行う栽培方式である.

Masayuki TANI, Rintaro KINOSHITA, Daigo AIUCHI, Taku KATO and Tsutomu SUMINOE: Effect of calcium nutrition on growth and quality of processing potatoes

¹帯広畜産大学グローバルアグロメディシン研究センター (080-8555 北海道帯広市稲田町西 2 線 11 番地)

²東京農工大学応用生物科学部農芸化学科 (156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1)

³カルビーポテト株式会社馬鈴薯研究所 (082-0006 北海道河西郡芽室町東芽室南 3 線 23 番地)

Corresponding Author: 谷 昌幸 masatani@obihiro.ac.jp

2018 年 10 月 4 日受付・2019 年 3 月 26 日受理

日本土壌肥科学雑誌 第 90 巻 第 3 号 p. 201~206 (2019)

土壌断面調査および理化学性分析の結果から、農耕地土壌分類第3次改訂版による各地点の土壌亜群は、北瑛が台地褐色森林土、中伏古13と中伏古15が淡色黒ボク土、祥栄が普通多湿黒ボク土に分類された。各圃場の表層土壌の理化学性を表1に示した。有効態リン酸量は、北海道施肥ガイド2010(北海道農政部, 2010)が適正と定める100~300 mg kg⁻¹の範囲内であったが、リン酸吸収係数は土壌の違いを大きく反映した。全炭素量と陽イオン交換容量も土壌間の違いが大きく、祥栄>中伏古>北瑛の順であった。塩基飽和度と土壌 pH は、十勝地域の2地点で低い傾向であった。交換性カルシウム量は祥栄で他の地点より多かったが、石灰飽和度で比較すると、北瑛が49%と高く、十勝地域の3地点では27~32%と低い傾向であった。

生産者圃場内に、1区当たり3×3mの試験区を設け、畝間75cmで1区当たり4畝、株間30cmで1畝当たり10株の計40株を播種した。いずれの圃場もカルシウム施肥を行わない対照区を設け、対照区と試験区は乱塊法によ

り4反復で設置した。カルシウム施肥以外の施肥および防除などは生産者慣行とした。施肥は、北海道施肥ガイド2010(北海道農政部, 2010)の施肥標準量に従い、十勝地域はN: 60, P₂O₅: 200, K₂O: 110 kg ha⁻¹, 上川地域はN: 80, P₂O₅: 180, K₂O: 100 kg ha⁻¹とした。

2) 土壌試料の理化学性分析

土壌試料は、着蕾期である7月上旬に採取した。各試験区において外側2畝の株間から5カ所ずつ、ホクレン式採土器を用いて深さ20cmまでの表層土壌を採取し、計10カ所から採取した土壌を混合して一部を試料とした。風乾細土を調製して理化学性分析に供試した。

3) 塊茎試料の調査と分析

塊茎試料は、枯凋期である8月下旬に採取した。各試験区において内側2畝から計15株の塊茎を採取した。塊茎採取時に茎数を測定した。採取した塊茎は、冷暗所に保管して乾燥とキュアリングを行い、個重および比重を調査した。各圃場から採取したすべての塊茎試料について個重

表1 各圃場における表層土壌の理化学性

地点名	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	全炭素量 (g kg ⁻¹)	全窒素量 (g kg ⁻¹)	リン酸 吸収係数	有効態 リン酸量 (mg kg ⁻¹)	陽イオン 交換容量	交換性陽イオン量 (cmol _c kg ⁻¹)			塩基 飽和度 (%)
								Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	
北瑛	5.7	4.7	8.43	0.837	580	297	11.8	5.82	1.62	0.755	69.5
中伏古13	5.4	4.7	28.0	2.51	1830	143	20.8	5.65	1.88	0.678	39.4
祥栄	5.2	4.4	100	6.65	2240	174	50.5	16.0	2.15	0.693	37.3
中伏古15	5.6	5.0	32.8	2.48	1610	273	20.0	6.53	1.94	0.890	46.4

表2 各圃場の試験区における塊茎収量および収量構成要素

地点名	試験区	塊茎収量 (Mg ha ⁻¹)	茎数/株 (本)	塊茎数/株 (個)	塊茎平均重/個 (g)	比重
北瑛	対照区	47.0±5.0 a	3.30±0.39 a	11.0±1.2 a	96.3±2.2 a	1.084±0.002 a
	硝酸 Ca200kg 区	44.6±2.5 a	3.84±0.89 a	10.6±0.9 a	95.6±9.3 a	1.083±0.001 a
	硝酸 Ca400kg 区	47.2±2.6 a	3.77±0.74 a	11.8±1.2 a	90.9±13.8 a	1.081±0.003 a
中伏古13	対照区	44.4±2.1 a	4.45±0.57 a	11.9±0.9 a	84.1±2.1 a	1.091±0.001 a
	硝酸 Ca200kg 区	44.3±1.8 a	4.44±0.43 a	11.7±1.1 a	85.3±5.0 a	1.086±0.002 b
	硝酸 Ca400kg 区	44.6±1.5 a	4.75±0.59 a	12.0±0.7 a	83.7±3.6 a	1.089±0.001 ab
	硫酸 Ca400kg 区	44.7±0.5 a	4.58±0.21 a	11.6±0.3 a	86.5±3.3 a	1.090±0.001 ab
	硫酸 Ca800kg 区	46.4±1.2 a	4.48±0.26 a	11.9±0.5 a	87.9±3.6 a	1.091±0.002 a
	硫酸 Ca1,000kg 区	50.0±1.0 ab	4.27±0.59 a	13.0±0.5 a	86.4±2.9 a	1.088±0.001 a
祥栄	対照区	46.0±1.2 c	4.33±0.47 a	12.5±0.5 a	83.1±1.8 a	1.088±0.005 a
	硫酸 Ca400kg 区	46.6±1.1 bc	4.28±0.22 a	12.4±0.5 a	84.6±3.0 a	1.087±0.003 a
	硫酸 Ca600kg 区	51.4±1.6 a	4.62±0.21 a	13.0±0.4 a	89.3±3.3 a	1.086±0.005 a
	硫酸 Ca800kg 区	47.2±2.1 bc	4.08±0.21 a	12.3±0.7 a	86.4±2.6 a	1.088±0.002 a
	硫酸 Ca1,000kg 区	50.0±1.0 ab	4.27±0.59 a	13.0±0.5 a	86.4±2.9 a	1.088±0.001 a
中伏古15	対照区	37.5±2.4 a	3.69±0.53 a	8.75±0.6 a	96.7±7.4 a	1.087±0.001 a
	硫酸 Ca500kg 区	41.7±3.1 a	3.66±0.24 a	8.95±0.7 a	105±4.6 a	1.085±0.001 a

硝酸 Ca200kg 区, 硝酸 Ca400kg 区: 硝酸カルシウム 200 および 400 kg ha⁻¹ 施用区。硫酸 Ca400kg 区, 硫酸 Ca500kg 区, 硫酸 Ca600kg 区, 硫酸 Ca800kg 区, 硫酸 Ca1,000kg 区: 硫酸カルシウム 400, 500, 600, 800 および 1,000 kg ha⁻¹ 施用区。平均±標準偏差として示した。表中のアルファベットは、各地点における対照区と試験区との間の Tukey-HSD test による 5% 水準での有意差を示す。

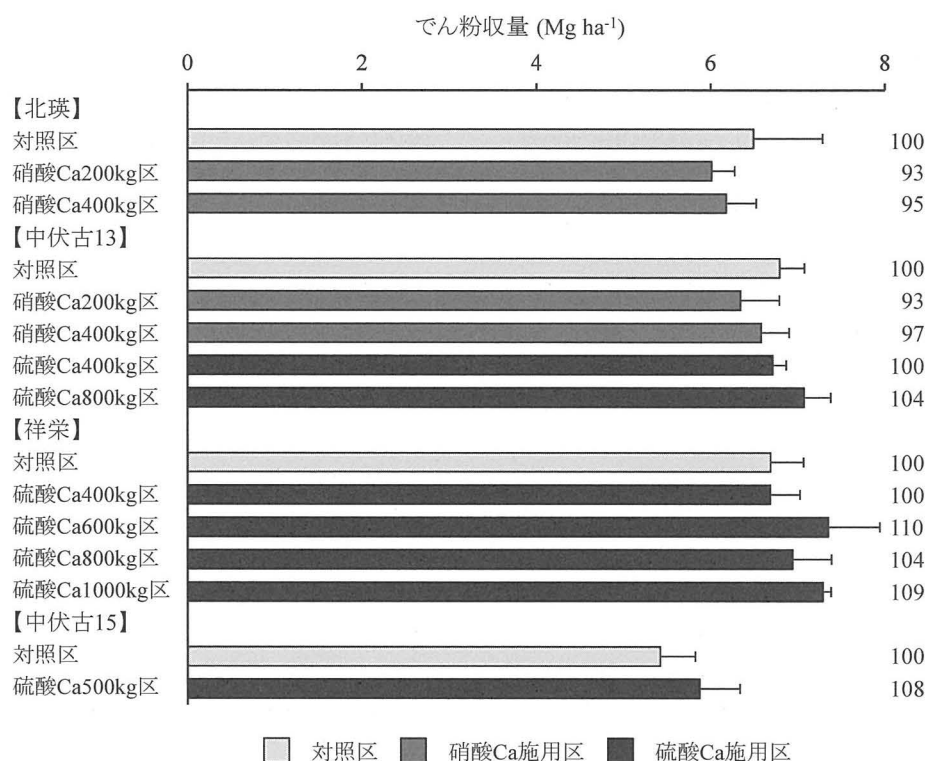


図1 各圃場の試験区における塊茎収量と比重から算出したでん粉収量

図中のエラーバーは標準誤差、右の数字は各圃場の対照区を100としたときの相対値を示す。いずれの地域および年度においても対照区ならびに試験区間に Tukey-HSD test による有意差は見られなかった。硝酸 Ca200kg 区、硝酸 Ca400kg 区：硝酸カルシウム 200 および 400 kg ha⁻¹ 施用区、硫酸 Ca400kg 区、硫酸 Ca500kg 区、硫酸 Ca600kg 区、硫酸 Ca800kg 区、硫酸 Ca1,000kg 区：硫酸カルシウム 400, 500, 600, 800 および 1,000 kg ha⁻¹ 施用区。

を測定し、個重 20 g 以上の上イモ重量から理論上の塊茎収量を算出した。中庸な大きさの塊茎 10 個を選んで比重を測定した。比重は、空中重と水中重を測定し、空中重÷(空中重-水中重)として求めた。

個重調査後は、4℃の冷蔵庫に保管し、打撲試験や元素分析に供試した。冷蔵庫に保管した塊茎試料から様々なサイズの塊茎 50 個をランダムに取出し、速やかに洗浄して水分を拭き取り、打撲試験を行った。塊茎の基部周辺に、重さ 100 g、直径 23 mm の鉄製プランジャーを、高さ 50 cm および 100 cm から落下させて衝撃を与え、25℃の暗所で 48 時間静置した。打撲を与えた部分の表皮を薄く剥き、打撲黒変の鮮明度、直径および深さを基準に、打撲黒変の程度を 0～3 までの 4 段階で評価した (Dwelle *et al.*, 1977)。同じ塊茎を半分に切り、中心空洞や褐色心腐などの内部障害の有無を判定した。塊茎の皮を剥き、1 cm 角に切って重量を測定した後に、60℃で 5 日間通風乾燥し、重量を測定して粉碎した。粉碎した試料について、硫酸-過酸化水素分解法および ICP 発光分析法によりカルシウムやリンなどの必須元素濃度を分析した。乾式燃焼法により塊茎の窒素濃度を測定した。

3. 結果および考察

1) 塊茎収量および収量構成要素

各圃場の試験区における塊茎収量、株当たりの茎数と塊

茎数、塊茎平均重および比重の結果を表 2 に示した。

各圃場における 2013 年度の対照区の塊茎収量は、44.4～47.0 Mg ha⁻¹ であり、同年の両地域におけるトヨシロの平均収量 44.2 Mg ha⁻¹ と比べると、やや多い水準であった。北瑛および中伏古では、対照区と試験区との間に有意な差は見られず、中伏古 13 の硫酸カルシウム 800 kg ha⁻¹ 施用区、および中伏古 15 の硫酸カルシウム 500 kg ha⁻¹ 施用区で対照区よりもやや多い傾向であった。一方、祥栄では硫酸カルシウムの表面施肥により、600 および 1,000 kg ha⁻¹ 施用区で対照区よりも塊茎収量が有意に多かった。いずれの試験区も対照区より塊茎収量が多い傾向にあり、播種直後の硫酸カルシウム 500 kg ha⁻¹ 以上の表面施肥が塊茎収量の増加に貢献する可能性が示された。

株当たりの茎数と塊茎数は、いずれの圃場も対照区と試験区との間に有意な差は見られず、硝酸カルシウム施肥および硫酸カルシウム施肥に伴う一定の傾向も見られなかった。塊茎平均重は、いずれの圃場も対照区と試験区との間に有意な差は見られなかったが、北瑛では、硝酸カルシウム施肥により、対照区よりも試験区で少なく、中伏古と祥栄では、硫酸カルシウム施肥により、対照区よりも試験区で多い傾向が見られた。バレイショの塊茎肥大には、植物ホルモンの 1 つであるジベレリンが重要な役割を果たしており、カルシウムがその機能を調節することが報告されて

いる (Ozgen and Palta, 2004). また, バレイショへのカルシウム施用によりヒートストレスを軽減し, 高温ストレス下での葉面積の低下が抑えられ, 地上部の生育が維持されることが報告されている (Kleinhenz and Palta, 2002). 本研究では, 播種後に硫酸カルシウムを表面施用し, 早期培土を行うことにより, 培土上部と種子バレイショ上部に硫酸カルシウムが施用される. 種子バレイショ上部に施用された硫酸カルシウムがゆっくりと溶け出して主根や側根から吸収され, 地上部に供給されたことが塊茎肥大や収量の増加に影響を及ぼした可能性がある.

塊茎の比重は, 北瑛と祥栄では対照区と試験区との間に有意な差は見られなかったが, 中伏古13では, 硝酸カルシウム施肥により有意に比重が低下した. 北瑛でも, 有意な差ではないものの, 硝酸カルシウム施肥により, 対照区よりも試験区で比重が低い傾向が見られた. バレイショへの過剰な窒素施肥に伴う塊茎の窒素濃度の増加が, 塊茎の比重の低下を引き起こすことは古くから知られている (White *et al.*, 1974; White and Sanderson, 1983). バレイショへの窒素の過剰な供給は, 地上部の生育を旺盛にするが, ショ糖の合成に関わるスクロース合成酵素の増加割合が少ないことにより, 塊茎へのショ糖の転流量とでん粉の蓄積を低下させた可能性が考えられた (牧野・前, 1994).

前述したように, 加工用バレイショは, その塊茎収量が多いことはもちろん, でん粉価 (ライマン価) が高くして製品歩留まりが良いことが求められる. 塊茎収量と比重の

結果からでん粉収量を算出した (高田, 2012). でん粉価は, $214.5 \times (\text{比重} - 1.05) + 7.5$, でん粉収量は, 塊茎収量 $\times (\text{でん粉価} - 1.0) \div 100$ の式により算出した. 各圃場の試験区におけるでん粉収量の結果を図1に示した. いずれの圃場も, 対照区と試験区との間に有意な差は見られなかったが, 対照区のでん粉収量を100としたときの相対値を比較すると, 北瑛と中伏古では硝酸カルシウム施肥によりでん粉収量が低下したのに対し, 中伏古と祥栄では, 硫酸カルシウム施肥によりでん粉収量が増加しない, あるいは 500 kg ha^{-1} 以上の施用により増加する傾向が見られた. 硝酸カルシウム施肥は, 地上茎と塊茎の窒素濃度を増加させ, 結果的に比重を低下させることによりでん粉収量が減少すると考えられた. 加工用バレイショは, 比重により買い取り価格が変動し, 比重が高いほど価格が高い (谷口, 1990). 硫酸カルシウム施肥により, 有意な差ではないものの, 塊茎収量とでん粉収量が増加する傾向にあることは, 収益向上につながる可能性が高い.

2) 塊茎の元素組成および内部品質

各圃場の試験区における塊茎の元素濃度および打撲黒変発生率の結果を表3に示した.

対照区の塊茎のカルシウム濃度は, $114 \sim 210 \text{ mg kg}^{-1}$ の範囲であり, 十勝地域の2地点で低かった. いずれの圃場においても, 硝酸カルシウムあるいは硫酸カルシウム施肥により, 有意な差ではないものの, 塊茎のカルシウム濃度が増加する傾向が見られたが, 既報において打撲黒変が著しく低下すると報告されている 250 mg kg^{-1} を超える試

表3 各圃場の試験区における塊茎の元素含有率および打撲黒変発生率

地点名	試験区	元素含有率			打撲黒変発生率	
		Ca (mg kg^{-1})	P (g kg^{-1})	N (g kg^{-1})	50cm (%)	100cm (%)
北瑛	対照区	$210 \pm 3.9 \text{ a}$	$3.16 \pm 0.08 \text{ a}$	$14.1 \pm 0.86 \text{ a}$	$32 \pm 9.8 \text{ a}$	$64 \pm 12 \text{ a}$
	硝酸 Ca200kg 区	$225 \pm 19.0 \text{ a}$	$3.28 \pm 0.07 \text{ a}$	$13.8 \pm 0.67 \text{ a}$	$18 \pm 9.5 \text{ a}$	$54 \pm 14 \text{ a}$
	硝酸 Ca400kg 区	$234 \pm 13.7 \text{ a}$	$2.94 \pm 0.17 \text{ b}$	$14.4 \pm 0.62 \text{ a}$	$35 \pm 23 \text{ a}$	$42 \pm 29 \text{ a}$
中伏古13	対照区	$114 \pm 10.8 \text{ a}$	$1.83 \pm 0.08 \text{ a}$	$11.0 \pm 0.72 \text{ a}$	$29 \pm 8.9 \text{ a}$	$54 \pm 12 \text{ a}$
	硝酸 Ca200kg 区	$115 \pm 5.8 \text{ a}$	$1.86 \pm 0.10 \text{ a}$	$11.3 \pm 0.77 \text{ a}$	$34 \pm 12 \text{ a}$	$41 \pm 5.0 \text{ a}$
	硝酸 Ca400kg 区	$128 \pm 9.5 \text{ a}$	$1.84 \pm 0.15 \text{ a}$	$11.7 \pm 0.84 \text{ a}$	$19 \pm 6.8 \text{ a}$	$52 \pm 9.2 \text{ a}$
	硫酸 Ca400kg 区	$117 \pm 17.1 \text{ a}$	$1.92 \pm 0.13 \text{ a}$	$11.9 \pm 0.90 \text{ a}$	$19 \pm 6.8 \text{ a}$	$48 \pm 14 \text{ a}$
	硫酸 Ca800kg 区	$128 \pm 9.6 \text{ a}$	$1.89 \pm 0.14 \text{ a}$	$11.2 \pm 0.76 \text{ a}$	$26 \pm 12 \text{ a}$	$58 \pm 21 \text{ a}$
	硫酸 Ca1,000kg 区	$156 \pm 11.4 \text{ a}$	$1.62 \pm 0.06 \text{ a}$	$12.0 \pm 0.21 \text{ a}$	$14 \pm 9.5 \text{ a}$	$35 \pm 14 \text{ a}$
祥栄	対照区	$147 \pm 11.1 \text{ a}$	$1.57 \pm 0.14 \text{ a}$	$12.5 \pm 0.39 \text{ a}$	$14 \pm 4.0 \text{ a}$	$44 \pm 9.8 \text{ a}$
	硫酸 Ca400kg 区	$159 \pm 12.0 \text{ a}$	$1.60 \pm 0.05 \text{ a}$	$12.3 \pm 0.73 \text{ a}$	$10 \pm 6.9 \text{ a}$	$28 \pm 8.6 \text{ a}$
	硫酸 Ca600kg 区	$160 \pm 7.8 \text{ a}$	$1.61 \pm 0.11 \text{ a}$	$12.1 \pm 0.73 \text{ a}$	$14 \pm 10 \text{ a}$	$31 \pm 13 \text{ a}$
	硫酸 Ca800kg 区	$164 \pm 14.0 \text{ a}$	$1.63 \pm 0.17 \text{ a}$	$12.1 \pm 1.55 \text{ a}$	$11 \pm 8.9 \text{ a}$	$42 \pm 7.7 \text{ a}$
	硫酸 Ca1,000kg 区	$156 \pm 11.4 \text{ a}$	$1.62 \pm 0.06 \text{ a}$	$12.0 \pm 0.21 \text{ a}$	$14 \pm 9.5 \text{ a}$	$35 \pm 14 \text{ a}$
中伏古15	対照区	$111 \pm 8.3 \text{ a}$	$2.05 \pm 0.13 \text{ a}$	$11.3 \pm 0.43 \text{ a}$	$15 \pm 4.8 \text{ a}$	未測定
	硫酸 Ca500kg 区	$123 \pm 10.6 \text{ a}$	$2.09 \pm 0.07 \text{ a}$	$11.1 \pm 0.34 \text{ a}$	$14 \pm 8.8 \text{ a}$	未測定

硝酸 Ca200kg 区, 硝酸 Ca400kg 区: 硝酸カルシウム 200 および 400 kg ha^{-1} 施用区. 硫酸 Ca400kg 区, 硫酸 Ca500kg 区, 硫酸 Ca600kg 区, 硫酸 Ca800kg 区, 硫酸 Ca1,000kg 区: 硫酸カルシウム 400, 500, 600, 800 および $1,000 \text{ kg ha}^{-1}$ 施用区. 平均 $\pm$ 標準偏差として示した. 表中のアルファベットは, 各地点における対照区と試験区との間の Tukey-HSD test による 5% 水準での有意差を示す.

験区はなかった (Karlsson *et al.*, 2006). 塊茎のリンおよび窒素濃度は、対照区と試験区との間で大きな差は見られなかったが、北瑛でリンと窒素の濃度が高く、とくにリンの濃度は著しく高かった。北瑛の表層土壌における有効態リン酸量の多さと、リン酸吸収係数の低さが影響したと考えられた (表1).

対照区における打撲黒変の発生率は、高さ50cmからの衝撃で14~32%, 100cmからの衝撃で44~64%の範囲であり、北瑛で高く、祥栄で低い傾向であった。打撲黒変の発生率には、塊茎の比重が影響を及ぼすことが古くから知られており、比重が高い塊茎は打撲黒変が発生しやすいとされている (Massey *et al.*, 1952). しかし、北瑛から採取した塊茎の比重が最も低く、かつ塊茎のカルシウム濃度が高かったことから、打撲黒変の発生率が最も低いことが予想されたものの、他の要因が打撲黒変の発生率に影響を与えた可能性がある。対照区と試験区の間には、打撲黒変発生率に有意な差は見られず、硝酸カルシウムや硫酸カルシウム施肥により発生率が低下している試験区が見られるものの、その効果は明確ではなかった。すべての対照区と試験区について、塊茎のカルシウム濃度と打撲黒変発生率との関係を図2に示したが、カルシウム施肥による塊茎のカルシウム濃度の増加と、打撲黒変発生率との間に明瞭な関係は認められなかった。Karlsson *et al.* (2016) は、カルシウム施肥により塊茎のカルシウム濃度が 250mg kg^{-1} を超えると打撲黒変発生率が著しく低下すると報告しており、本研究で得られた塊茎のカルシウム濃度が、カルシウム施肥試験区であっても依然として低いことが明らかであった。Karlsson *et al.* (2016) は、氷河成の粗粒な未固結堆積物から生成した砂質土壌が分布する圃場で研究を行っており、土壌の陽イオン交換容量は $2\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ 程度

と著しく低い。保水力もほとんどないことから、2日おきに約20mmの地下水を灌漑しており、その水に硝酸カルシウムや塩化カルシウムなどの水溶性カルシウム塩を溶かして施用している。その結果として、カルシウムイオンがストロン根周辺に直接施用されて塊茎のカルシウム濃度が顕著に増加したと考えられる。一方、本研究で対象とした圃場は、陽イオン交換容量が高く、かつ交換性カルシウム量が少なく石灰飽和度が低いために、カルシウム塩を含む肥料を施用したとしても、その多くはイオン交換により腐植物質や粘土鉱物に吸着保持され、結果としてパレイショのカルシウム吸収を劇的には改善することができなかったと考えられた。本研究で対象とした地域における実態調査より、土壌中の交換性カルシウム量と塊茎のカルシウム濃度との間に正の相関関係が認められており (Gondwe *et al.*, 2019), カルシウム施肥を行うだけではなく、土壌中の交換性カルシウム量や石灰飽和度を上げるための土壌改良を同時に行う必要がある。

さらに、北海道のパレイショ生産地域では、カルシウム濃度のみで打撲黒変発生率を説明することが適切ではない可能性がある。上川地域の北瑛と、十勝地域の中伏古および祥栄との間で顕著な違いが見られたのは、塊茎の窒素濃度とリン濃度であり、とくにリン濃度の違いが顕著であった。塊茎のカリウム濃度やマグネシウム濃度には大きな違いは見られなかった。そこで、高さ50cmからの衝撃による打撲黒変発生率を目的変数、塊茎のカルシウム濃度を説明変数とし、もう一つの説明変数として窒素、リン、カリウム、およびマグネシウム濃度を加えて重回帰分析を行った結果、下記の式が得られた。

$$Y = -0.152X_1 + 15.3X_2 + 13.6 \quad R^2 = 0.233, p < 0.01$$

Y: 打撲黒変発生率 (高さ50cmからの衝撃)

X_1 : 塊茎のカルシウム濃度

X_2 : 塊茎のリン濃度

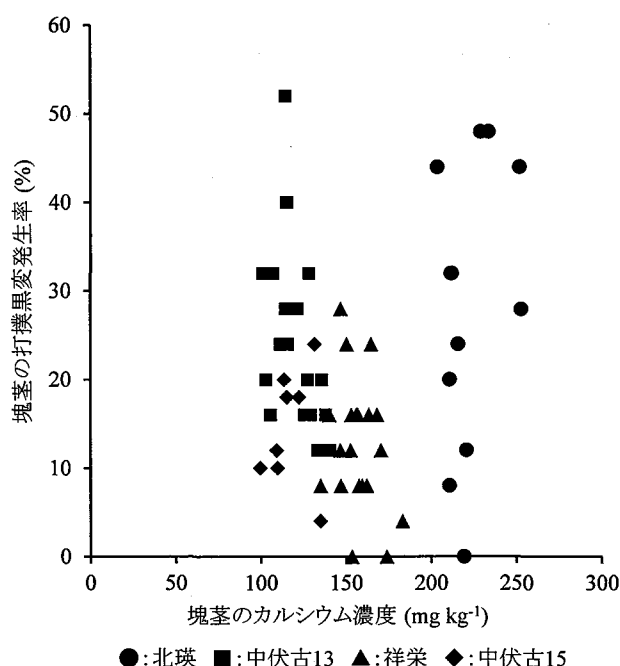


図2 塊茎のカルシウム濃度と打撲黒変発生率との関係

すなわち、塊茎のカルシウム濃度が高く、かつリン濃度が低い場合に、打撲黒変発生率が低くなることを示している。塊茎のカルシウム濃度とリン濃度との間には多重共線性はなく、カルシウム濃度とリン濃度の寄与率は、それぞれ60.1%および39.9%であった。回帰決定係数は0.233と低いものの、塊茎のカルシウム濃度とリン濃度のいずれも説明変数として5%水準で有意であり、塊茎のカルシウム濃度とリン濃度が打撲黒変発生率に相互的な影響を及ぼしている可能性がある。本研究で対象とした地域における実態調査より、リン酸肥料の過剰施用に伴って土壌中の有効態リン酸が多くなり、とくに上川地域においてパレイショ塊茎中のリン濃度が著しく高いことが報告されている (Gondwe *et al.*, 2017). パレイショの塊茎中では、リンはでん粉の分子とエステル結合しリン酸基として存在する。でん粉中のリン酸基がカルシウムと結合しているとすれば、塊茎中のカルシウムが細胞壁のペクチンと結合するこ

とができず、細胞の強度を上げて打撲黒変発生率を下げることに貢献できないことになる。塊茎のリン濃度がでん粉の構造や内部品質に及ぼす影響については、より詳細な検討を行う必要がある。

なお、中心空洞や褐色心腐などの内部障害は、本栽培試験ではほとんど発生せず、発生率は2%未満であった。

4. まとめ

北海道の加工用バレイショ生産圃場における、硝酸カルシウムおよび硫酸カルシウムの施肥による生育への効果が異なることが示された。硝酸カルシウムを本培土前に側条施肥することにより、塊茎の比重が低下し、でん粉収量を低下させる可能性が高いことが示された。一方、硫酸カルシウムを播種後に500 kg ha⁻¹以上表面施肥することにより、塊茎収量やでん粉収量を増加させる効果がある可能性が示された。カルシウム施肥により、塊茎のカルシウム濃度がやや増加したものの、打撲黒変発生率の低下には直結しなかった。北海道のバレイショ生産における収量や内部品質の向上に対して、適切なカルシウム施肥および他の養分元素とのバランスが重要であることが示唆された。本研究で得られた結果は、2013年度および2015年度の栽培試験によるもののみであり、気象要因などが異なる他の年度での再現性、収量や品質に及ぼすカルシウム以外の他の要因の解明など、さらなる研究が必要である。

文 献

- 天野哲郎・若林勝史 2006. 加工用ばれいしょの生産実態と新技術導入に関する畑作経営の意向. 北海道農業研究センター農業経営研究, 91, 41-52.
- Busse, J.S., and Palta, J.P. 2006. Investigating the in vivo calcium transport path to developing potato tuber using ⁴⁵Ca: a new concept in potato tuber calcium nutrition. *Physiol. Plant.*, 128, 313-323.
- Dwelle, R.B., Stallknecht, G.F., McDole, R.E., and Pavek, J.J. 1977. Effects of soil potash treatment and storage temperature on blackspot bruise development in tubers of four *Solanum tuberosum* cultivars. *Am. Potato J.*, 54, 137-146.
- Gondwe, R.L., Kinoshita, R., Sano, M., Suminoe, T., Aiuchi, D., Koaze, H., Palta, J., and Tani, M. 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 Sci. Plant Nutr.*, 63, 171-177.
- Gondwe R.L., Kinoshita, R., Suminoe, T., Aiuchi, D., Palta, J. and Tani M. 2019. Soil and tuber calcium affecting tuber quality of processing potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars grown in Hokkaido, Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.*, published online.
- 北海道農政部 2010. 北海道施肥ガイド2010, 北海道農政部, 札幌.
- Karlsson, B.H., Palta, J.P., and Crump, P.M. 2006. Enhancing tuber calcium concentration may reduce incidence of blackspot bruise injury in potatoes. *HortScience*, 41, 1213-1221.
- Keijbets, M.J.H. 2008. Potato processing for the consumer: developments and future challenges. *Potato Res.*, 51, 271-281.
- Kleinhenz, M.D., and Palta, J.P. 2002. Root zone calcium modulates the response of potato plants to heat stress. *Physiol. Plant.*, 115, 111-118.
- 牧野 周・前 忠彦 1994. C₃型植物葉の最大光合成能力と葉身窒素. 化学と生物, 32, 409-413.
- Massey, P.H., Thompson, H.C., and Smith, O. 1952. Varietal susceptibility of potatoes to internal black spot. *Am. Potato J.*, 29, 127-135.
- 仲川晃生・高木道信・菅 康弘・中村吉秀・迎田幸博 2002. ジャガイモそうか病の発生に及ぼす硫黄資材の効果. 九州病害虫研究会報, 48, 18-23.
- Ozgen, S., and Palta, J.P. 2004. Supplemental calcium application influences potato tuber number and size. *HortScience*, 40, 102-105.
- Palta, J.P. 2010. Improving potato tuber quality and production by targeted calcium nutrition: the discovery of tuber roots leading to a new concept in potato nutrition. *Potato Res.*, 53, 267-275.
- 高田明子 2012. 遺伝・育種. 財団法人いも類振興会編ジャガイモ事典, p. 93-94. 全国農村教育協会, 東京.
- 谷口健雄 1990. 加工用バレイショの肥培管理改善による品質向上. 農業技術, 45, 150-155.
- White, R.P., Munro, D.C., and Sanderson, J.B. 1974. Nitrogen, potassium, and plant spacing effects on yield, tuber size, specific gravity, and tissue N, P, and K of Netted Gem potatoes. *Can. J. Plant Sci.*, 54, 535-539.
- White, R.P., and Sanderson, J.B. 1983. Effect of plant date, nitrogen rate, and plant spacing on potatoes grown for processing in Prince Edward Island. *Am. Potato J.*, 60, 115-126.