
腎臓病透析患者のための低カリウム含有量 葉菜の栽培方法の確立

小川敦史、田口悟、鎌田隆治[※]、江口敬子、豊福恭子、
秋田県立大学、鎌田グリーン薬局[※]

Cultivation of Leaf Vegetables with Low Potassium Concentration for Patients on Dialysis.

Atsushi Ogawa, Satoru Taguchi, Ryuji Kamata[※], Takako Eguchi, Kyoko Toyofuku
Akita Prefectural University, Kamata Green Drugstore[※]

<緒言>

腎臓病透析患者数は2009年末で約29万人であり1990年からの20年間の約2.8倍にあたり、その数は急激に増加している¹⁾。腎臓病は自覚症状が少ないため、その予備群を含めると数百万人いると推測され今後透析患者の更なる増加が推測される。さらには、透析に至る原疾患の第一位が日本人に非常に多い糖尿病であることを鑑みると、今後も日本の透析患者数が増加することは容易に想像される。

腎臓病透析患者は体内のカリウムを十分に排出することができないために、カリウムの摂取制限を行わないと不整脈により心不全を起こす可能性がある。そのため、腎臓病透析患者は1日のカリウム摂取量を1500～2000 mgに制限されている。日常で私たちが食べている野菜にも多くのカリウムが含まれているため、腎臓病透析患者は、野菜を生食できずに、水にさらしたり茹でたりしてカリウムを除去することにより、摂取する必要がある²⁾。

このような腎臓病透析患者の食生活を踏まえると、一定新鮮重に含まれるカリウム含有量のできる限り少ない野菜が望まれる。一方で、カリウムは植物の必須元素の一つであり、カリウムの生理的機能は、細胞内で物質代謝が正常に行なわれるための原形質構造の維持や、pH、浸透圧調節にカリウムイオンとして作用していると考えられている³⁾。したがって、植物体内のカリウムを過剰に減少させることは、植物体内の恒常性の維持が不可能になり、生育障害を起こすと考えられる。

私たちの研究グループでは、これまでに植物体内の恒常性を維持しながら、カリウム欠乏による生育障害を起こすことなく、通常栽培と同じ生育を示しながら、かつ従来の栽培方法で栽培したものの1/3から1/4である新鮮重1 gあたり2300 μ gから1800 μ gに抑えたハウレンソウの栽培方法を確立した⁴⁾。

本研究では、ハウレンソウ以外の葉菜でも、栽培段階においてカリウム施肥量を調節すること

で、可食部の生育に影響を与えることなく、可食部のカリウム含有量を減少させ、腎臓病透析患者が安心して食べることのできる低カリウム含有量葉菜の栽培方法を確立することを目的とした。

<材料と方法>

1) 栽培条件

供試材料としてリーフレタス、サンチュ、コマツナを用いた。種子を立方体型のスポンジ内に埋め込み、20℃、暗黒条件の恒温器内で10日間催芽処理を行った。催芽処理期間中に、種子根は約30 mm伸長した。

水耕液が26 L入ったアクアファーム（モトーレSタイプ、浅間製作所製）の各穴に、催芽した立方体型のスポンジで包み、移植した。栽培は自然光形グロースキャビネット（2S-153A、小糸工業株式会社）内で行い、湿度70%、日中24℃、夜間20℃に設定した。水耕液には十分に通気を行った。定植時には各植物9個体植え付けた。

移植後21日間の水耕液の組成は、3.00 mM KNO_3 、2.00 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、0.50 mM $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、1.00 mM $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、26.9 μM EDTA-Fe、4.55 μM $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、23.1 μM H_3BO_3 、0.38 μM $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、0.16 μM $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、0.015 μM $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ とし、0.1 N NaOHを用いてpH 6.5に調節したものを用いた。移植後22日目より、水耕液中のカリウム濃度を減らすために KNO_3 の代わりに同モル濃度になるように NaNO_3 を加え、0.1 N NaOHを用いてpHを6.5に調節した水耕液に置換し（低カリウム区）、その後7日間（サンチュ、コマツナ）または10日間（リーフレタス）はカリウムを含まない水耕液に置換して栽培した。また、移植後22日目以降収穫まで水耕液の組成を変化させず、一般の植物栽培と同様に栽培した処理区を設定した（対照区）。

2) 測定項目および測定方法

移植後28日目（サンチュ、コマツナ）および31日目（リーフレタス）に収穫し、新鮮重を測定し、80℃の乾燥機内で72時間以上乾燥させた後、乾物重を測定し、含水率を求めた。乾物を粉碎した後、550℃で6時間乾式灰化を行い、1 M 硝酸抽出し、原子吸光計（AA-6800、島津製作所）を用いカリウム、マグネシウム、カルシウム、ナトリウム含有量を測定した。

<結果>

表1に、収穫時の各処理区における新鮮重、乾物重、および含水率を示した。リーフレタス、サンチュ、コマツナの各植物において、対照区と比較して低カリウム区では、各指標において有意差が認められなかった。この結果、従来の栽培方法（対照区）と比較して、低カリウム処理を行っても生長に差がないことが明らかになった。

図1に、収穫時の各処理区におけるカリウム含有量を示した。本研究では収穫後、食事などに

よって人体に摂取されるカリウムの量を減少させることを目的としているため、新鮮重 1g あたりのカリウム含有量について比較した。リーフレタス (図 1-A)、サンチュ (図 1-B)、コマツナ (図 1-C) の各植物において、対照区では新鮮重 1 g あたりそれぞれ 3.93 mg、3.71 mg、4.23 mg であったカリウム含有量が、低カリウム区ではそれぞれ 1.03 mg、1.54 mg、1.32 mg と有意に減少し、それぞれ対照区の 28%、42%、31%に減少していた。

表 2 に、収穫時におけるマグネシウム、カルシウム、ナトリウム含有量を示した。低カリウム処理に伴い、リーフレタスおよびサンチュのマグネシウム含有量、全植物のナトリウム含有量が有意に増加した。特にナトリウム含有量は顕著な増加を示した。新鮮重 1 g あたりのナトリウム含有量は、リーフレタスの対照区で 0.08 mg であったものが低カリウム区で 1.03 mg と 13.4 倍に、サンチュでは対照区で 0.04 mg であったものが低カリウム区で 0.48 mg と 12.6 倍に、コマツナは対照区で 0.14 mg であったものが低カリウム区で 1.70 mg と 12.2 倍に増加した。

カリウム含有量が大幅に減少したにもかかわらず生育は維持され、このときいくつかの元素の含有量に増加が認められたことから、増加したこれらの元素がカリウムの減少を補い、浸透圧調節に働いたのではないかと考えられた。そこで図 2 に、含有量が多い元素であるカリウム、ナトリウム、マグネシウム、カルシウムの新鮮重 1g 当たりに含まれるモル数とその合計を示した。それぞれの植物において、低カリウム区ではナトリウムおよびマグネシウムのモル数が増加し、浸透圧維持に働く傾向が認められた。しかし、低カリウム区での各イオン濃度の合計は、リーフレタスで対照区の 83%、サンチュで 71%であり、カリウムの減少を他の 3 種の増加で十分には説明できなかった。一方コマツナでは、低カリウム区の濃度の合計は対照区の 98%であり、他イオンの増加により浸透圧が維持されたことが示唆された。

表 1. 低カリウム処理が収穫時の各植物の 1 個体あたりの新鮮重、乾物重、含水率に与える影響

	リーフレタス		サンチュ		コマツナ	
	対照区	低カリウム区	対照区	低カリウム区	対照区	低カリウム区
新鮮重(g)	53.9 ± 4.07	50.3 ± 4.31 NS	39.8 ± 4.58	40.6 ± 3.22 NS	176 ± 22.0	178 ± 11.1 NS
乾物重(g)	3.39 ± 0.24	3.13 ± 0.29 NS	1.74 ± 0.26	1.63 ± 0.17 NS	10.4 ± 1.46	10.2 ± 0.6 NS
含水率(%)	93.7 ± 0.17	93.8 ± 0.17 NS	95.7 ± 0.23	96 ± 0.16 NS	94.1 ± 0.2	94.3 ± 0.18 NS

各値は 7 または 8 株の平均値 ± 標準誤差を示す。

NS, *, **, ***は、t 検定で対照区と比較してそれぞれ有意差無し、および 5%、1%、0.1%水準で有意差があることを示す。

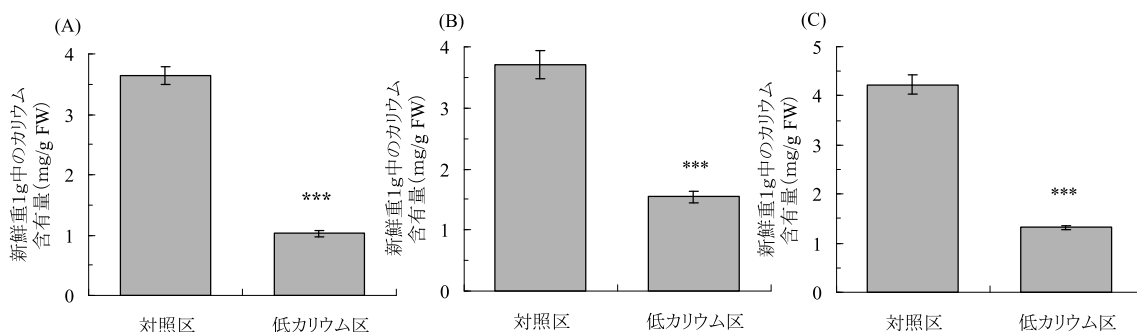


図 1. 低カリウム処理が、リーフレタス (A)、サンチュ (B)、コマツナ (C) における収穫時の可食部のカリウム含有量に与える影響

各値は、可食部の新鮮重 1 g 当たりに含まれるカリウム含有量の平均値、バーは標準誤差を示す (n=8)。

***は t 検定で、対照区と比較して 0.1%水準で有意差があることを示す。

表 2. 低カリウム処理が収穫時の各植物の新鮮重 1g あたりに含まれるカルシウム、マグネシウム、ナトリウム含有量 (mg/g FW) に与える影響

	リーフレタス			サンチュ			コマツナ		
	対照区	低カリウム区		対照区	低カリウム区		対照区	低カリウム区	
カルシウム	0.37 ± 0.02	0.36 ± 0.01 NS		0.32 ± 0.02	0.29 ± 0.01 NS		1.35 ± 0.07	1.41 ± 0.06 NS	
マグネシウム	0.38 ± 0.01	0.49 ± 0.02 ***		0.21 ± 0.01	0.30 ± 0.01 ***		0.38 ± 0.02	0.42 ± 0.02 NS	
ナトリウム	0.08 ± 0.01	1.03 ± 0.06 ***		0.04 ± 0.00	0.48 ± 0.04 ***		0.14 ± 0.01	1.69 ± 0.06 ***	

各値は 7 または 8 株の平均値 ± 標準誤差を示す。

NS, *, **, ***は, t 検定で対照区と比較してそれぞれ有意差無し, および 5%, 1%, 0.1%水準で有意差があることを示す。

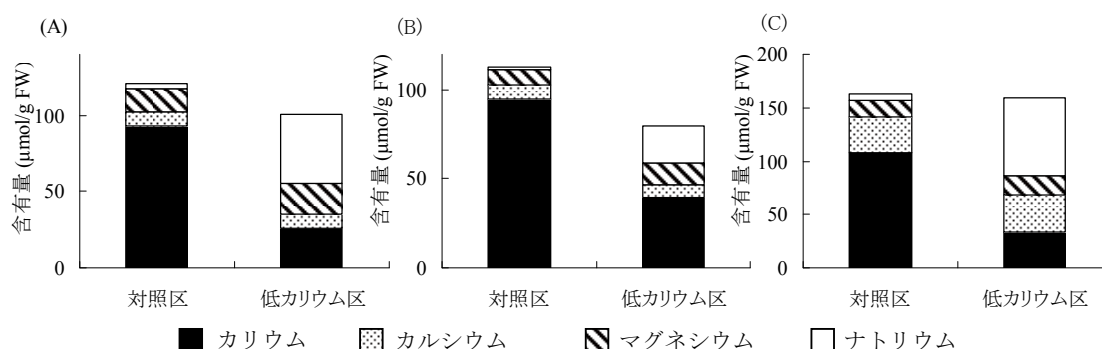


図 2. 低カリウム処理が、収穫時の各処理区における新鮮重 1g あたりに含まれるカリウム、カルシウム、マグネシウム、ナトリウムのモル数に与える影響

<考察>

本研究では、栽培段階においてカリウム施肥量を調節することで、葉菜類の可食部の生育に影響を与えることなく、葉菜類の可食部のカリウム含有量を減少させ、腎臓病透析患者が安心して食べることでできる低カリウム含有量葉菜の栽培方法を確立することを目的とした。

リーフレタス、サンチュ、コマツナは水耕法を用いて栽培し、栽培期間のうち最初の期間は水耕液中のカリウム含有量を減らさず栽培し、その後収穫までの 7 から 10 日間を、カリウムの施肥量を減らすことで、生育を維持しつつ (表 1)、カリウム含有量が減少した (図 1)。低カリウム区における可食部のカリウム含有量は、対照区の 30% から 40% に減少した。カリウム含有量が大幅に減少したにもかかわらず生育は維持され、このときナトリウムとマグネシウムの含有量に増加が認められたことから (表 2)、増加したこれらの元素がカリウムの減少を補い、浸透圧調節に働いたのではないかと考えられた (図 2)。その中でも、特にナトリウムの増加が顕著であった。数種の葉菜では、カリウム施肥量を減らし減少分のナトリウムを施肥することで、植物はナトリウムを吸収し、新鮮重を維持されることが報告されている⁵⁾。また、ナトリウムを施肥することで、ホウレンソウの収量が増加する品種があることを報告されている⁶⁾。本研究の結果では、リーフレタスやサンチュでは、カリウムイオンの減少に対する他イオンの増加だけでは浸透圧維持に不十分であったが (図 2-A, B)、イオン類の他にも糖類やアミノ酸類などの他の溶質が浸透圧調節に関与していることが明らかになっており⁷⁾、これらの溶質によってもカリウムの不足分を補い、浸透圧を維持したと考えられた。

カリウム含有量の減少にともないナトリウム含有量が増加していたが、腎臓病透析患者はナトリウムイオンを充分排泄できないために、ナトリウムイオンの増加は高血圧や浮腫の原因となり、腎臓病透析患者にとって好ましいものではない。そこで、本研究で明らかにしたカリウム含有量の減少による利益と、それに伴うナトリウムイオンの増加による弊害とどちらが大きいかにについて検討する必要がある。腎臓病透析患者は1日のカリウム摂取量を1500～2000 mgに制限されている。一方、1日の食塩摂取量は5000～8000 mgに制限されており、これをナトリウム量に換算すると約2000～3200 mgになる。したがって、1日のカリウム摂取制限量とナトリウム摂取制限量を比較すると、ナトリウム摂取量の方が1.3倍から1.6倍多い。また、本研究では、対照区と比較して低カリウム区においてカリウム含有量は新鮮重1 gあたりリーフレタスで2.90 mg、サンチュで2.17 mg、コマツナで2.69 mg減少していた（図1）。この時、ナトリウム含有量は、新鮮重1 gあたりリーフレタスで0.95 mg、サンチュで0.44 mg、コマツナで1.66 mg増加していた（表2）。したがって、各植物ともカリウムの減少量のほうが大きく、効率的にカリウム制限ができると考えられる。さらにカリウム摂取量は、摂取する食品によってのみ決定されるので、カリウム制限のためには含有量の少ない食品を摂取するという方法しかないが、ナトリウム摂取制限ではナトリウム含有量の少ない食品を摂取するという方法よりも、塩分（NaCl）制限という有効的な手段がある。これらのことを考慮に入れると、ナトリウムイオンの増加による弊害よりもカリウム含有量の減少による利益のほうが大きく、本研究で得られた知見は腎臓病透析患者の食生活の改善に有益であると考えられる。

厚生省（現在 厚生労働省）が平成12年3月31日に発表した「21世紀における国民健康づくり運動（健康日本21）の推進について」（厚生省発健医第115号事務次官通知）（平成20年4月改訂）では、成人の1日あたりの野菜の平均摂取量の目標値が350gと定められている。本研究で用いた3種類の葉菜のカリウム含有量の平均値は、新鮮重1gあたり対照区で3.96mg、低カリウム区で1.29mgであった。仮にこれらの野菜で、1日の野菜の摂取目標値（350g）を摂取すると仮定すると、摂取するカリウム量は、対照区のものでは1386mg、低カリウム区のものでは452mgとなる。腎臓病透析患者は1日のカリウム摂取量の制限は1500～2000mgである。野菜以外の食品にもカリウムは含まれていることから、対照区の野菜から1日の野菜の摂取目標値を摂取することは、腎臓病透析患者にとっては不可能である。一方、カリウム含有量が約1/3に減少した低カリウム区の野菜は、野菜以外の食品から摂取されるカリウムを考慮に入れても、患者の体質や個人差はあるが、ある程度安心して摂取出来ると考えられる。また、この野菜は、従来のように水にさらしたり茹でこぼしたりすると、さらにカリウム摂取量が減少すると思われる。このことから低カリウム含有量葉菜は、生野菜としてまた調理した野菜として、腎臓病透析患者の野菜摂取に有用であると考えられる。

一般に農産物の機能性を変化させる手法としては、交雑育種や遺伝子組み換え技術が挙げられるが、いずれの方法も機能性を変化させるまでには時間がかかり、また遺伝子組み換え作物については、安全性に対する不安から消費者に受け入れられていないのが現状である。本研究は、そ

れら現状の方法とは異なり、栽培環境を制御することにより、カリウム含有量の制御を行うという手法をとっており、コストや時間がかからず既存の栽培手法を応用でき、さらに安全性の面からも実用化に向けて受け入れられやすいものであると考えられる。

2010年11月29日に開催された第14回秋田腎臓病研究会では、秋田市保戸野の鎌田グリーン薬局での栽培及び販売事例について紹介し、試食を行った。実際の普及には、栽培化していただける企業や農家などの協力と、腎臓病透析患者への情報提供が課題として残されているが、今後これらの課題が解決することにより、腎臓病透析患者の食生活の改善に大いに貢献すると思われる。

文 献

- 1) 日本透析医学会：図説わが国の慢性透析療法の現状、2009年12月31日現在、P3－12、社団法人日本透析医学会統計調査委員会、東京、2009
- 2) 出浦照國：腎不全が分かる本－食事療法で透析を遅らせる、株式会社日本評論社、東京、2002
- 3) 山崎耕宇、杉山達夫、高橋英一、茅野充男、但野利秋、麻生昇平植物栄養・肥科学、73-101、朝倉書店、東京、1993
- 4) 小川敦史、田口悟、川島長治：腎臓病透析患者のための低カリウム含有量ホウレンソウの栽培方法の確立、日本作物学会紀事 76：232-237、2007
- 5) 高橋英一、前嶋一宏、岡崎美晴：カリウム施肥量をかえて土耕栽培した葉菜類に対するナトリウムの施用効果。日本土壌肥科学雑誌 68：363-368、1997
- 6) Tomemori H, Hanamura K, Tanabe K: Interactive effects of sodium and potassium on the growth and photosynthesis of spinach and komatsuna. Plant Production Science, 5: 281-285, 2002.
- 7) Ogawa A, Yamauchi A: Root osmotic adjustment under osmotic stress in maize seedlings. 2. Mode of accumulation of several solutes for osmotic adjustment in the root. Plant Production Science, 9: 39-46, 2006.