研究ノート

ブロッコリー基部の硝酸および糖濃度による 可食部栄養成分量の推定

大 瀧 直 子*

一般財団法人 日本食品分析センター (アドバイザースタッフ)

Assessment of Nutrient Levels in Top Bud Samples Using Nitrate Concentrations of Stem Samples in Broccoli

Naoko Ohtaki-Shimauchi*

Japan Food Research Laboratories, 52-1 Motoyoyogi-cho, Shibuya-ku, Tokyo 151-0062

Broccolis from three local farmers were divided into top bud and stem samples. The top bud samples were subjected to precise analyses of nitrate, vitamin C, potassium ion, and folate at a food analysis agency, and the stem samples were subjected to simpler analyses using a nitrate meter and a sugar meter in a vegetable shop. The nutrient concentrations of vitamin C, potassium ion, and folate in the top bud samples showed negative correlations to the nitrate concentrations in the same respective samples. Negative correlations were found between the nutrients in the top bud and the nitrate levels in the stem. Positive correlations between the nutrients in the top bud and the sugar levels in the stem were found as well. The results suggest that the simple measurement of nitrate and/or sugar in the stem can be applied to assess the nutrient levels of the top bud without damaging product values.
(Received Aug. 8, 2018; Accepted Sep. 6, 2018)

Keywords : Broccoli, Vitamin C, Nitrate, Folate ingredient

キーワード : ブロッコリー, ビタミン C, 葉酸, 硝酸濃度, 糖度, 簡易評価法

ブロッコリーは花蕾と花茎を食用とする栄養価に富む有用な野菜である。特に、ビタミン C 含量が高く¹⁾、また葉酸を含むことから¹⁾、近年、消費者の関心を集めている。国内収穫量は約 14 万 2300 トンであり²⁾、出荷量約 12 万 7900 トン²⁾、輸入量約 2 万 6009 トン³⁾、輸入額 58 億 2555 万円とされているが³⁾、今後、環太平洋自由貿易協定 (TPP) の実現とともに、輸入量の増加が見込まれる。このため、国内産ブロッコリーは品質において外国産と差別化されることが必要であり、高品質なブロッコリーを栽培する技術および品質に関する簡便な評価法を確立することが求められている。

品質に関する評価基準として、安全性、食味や栄養価は重要な要素である。農産物の栽培には施肥が必須であるが、過剰な施肥はキャベツやハクサイの硝酸イオン濃度を高めることが報告されている^{4)~6)}。さらに、窒素施肥量が高いブロッコリーはビタミン C 含量が低いことが報告されている⁷⁾。硝酸濃度の高い野菜は、食味が劣ることが経験的に知られている。また、硝酸イオンは発がん性が知られるニトロソ化合物の生成に関与するおそれがあることが一部

で指摘され、人体への影響が懸念されている¹⁾。このため、農産物内に残る硝酸イオン濃度を生産現場で測定し、施肥管理、栽培技術向上に活かすことができれば、極めて有用性が高いと言える。

本研究では、食用に供さないブロッコリー花茎基部（以降、基部）を分析対象とし、生産現場で実施できる簡易測定法を用いて硝酸イオン濃度、糖度を測定し、その測定値を以てブロッコリー可食部の硝酸イオン濃度、ビタミン C 濃度の高低を推定できるのか、その可能性を検討した。さらに、カリウムイオン、葉酸濃度についても硝酸イオン濃度との相関性を検討した。本来商品価値のないブロッコリー基部を品質評価用試料として測定に利用できれば、それは極めて有用な測定方法の確立になると期待される。

1. 実験方法

(1) ブロッコリー試料の調製、分析

茨城県筑西市の生産者 X、同つくば市の生産者 Y、および生産者 Z より試験当日 (2016 年 11 月 24 日~12 月 5 日) の朝に収穫されたブロッコリー (ウィンベル、渡辺農事、千葉) 5 検体入手し、室温に保持した。各検体から基部

図1 ブロッコリー基部（簡易測定）と可食部（精密測定）の硝酸イオン濃度

A) 生産者Z, Y, Xの各検体の分析結果

B) 生産者毎の可食部硝酸イオン濃度（平均値±標準偏差）

異なるアルファベット a, b, c は統計学的に異なることを示す (Tukey-Kramer 法, 有意水準 5%)

(花茎部下部2cm)を切りとり、包丁による細切後、フォースミルを用いて粉碎処理をした。得られた粉碎物からガーリックプレス（工房アイザワ、新潟）を用いて搾汁液を調製し、硝酸イオンメーター（LAQUAtwin B-741、堀場製作所、京都）を用いて硝酸イオン濃度を簡易測定した。また、糖度計（ポケット糖度、濃度計PAL-J、アタゴ、東京）を用いて糖度を測定した。

さらに、上記試験に用いた各ブロッコリー検体の可食部全体（頂花蕾とその花茎部）からなる検体を試験当日中に4℃保冷条件下で（一財）日本食品分析センターに送付した。送付翌日に（一財）日本食品分析センターで試験用検体は受理され、当日中に各検体から、日本食品標準成分表2015年版（七訂）分析マニュアル⁸⁾の方法に従い抽出液を調製し、硝酸イオン、カリウムイオン、ビタミンC、葉酸を定量した。

(2) 統計処理法

生産者間の比較は、Bartlett法により等分散の有意性を確認したのち、Tukey-Kramer法による多重比較により行った（有意水準は両側5%）。相関解析はPearsonの積率相関係数（ r ）を求め、無相関検定を行った（有意水準は両側5%）。

2. 実験結果

(1) ブロッコリー基部および可食部の硝酸イオン濃度の簡易分析と精密分析

同一のブロッコリー検体について、可食部抽出液の硝酸イオン濃度を基部搾汁液の硝酸イオン濃度に対してプロットした結果を図1Aに示した。両者には高い正の相関性が認められた（相関係数 $r=0.963$, $p=2.36e-8$ ）。

次に、可食部抽出液の硝酸イオン濃度を生産者ごとの平均値として図1Bに示した。生産者X, Y, Zの硝酸イオン濃度に有意な差が認められ、可食部硝酸イオン濃度は生産者X, Y, Zの順に高値となった。

(2) ブロッコリー可食部のカリウムイオン、ビタミンC、葉酸濃度の分析

硝酸イオン濃度を測定した同一の可食部抽出液について、カリウムイオン濃度、ビタミンC濃度、葉酸濃度の生産者毎の各平均値を図2に示す。硝酸イオン濃度が生産者X, Y, Zの順に高かった（図1B）のに対して、カリウムイオン濃度（図2A）は生産者Zが生産者X, Yに比べて有意に高く、生産者X, Y間には有意差は認められなかった。また、ビタミンC濃度（図2B）および葉酸濃度（図2C）は、いずれも生産者Xが生産者Y, Zに比べて有意に低く、生産者Y, Z間には有意差は認められなかった。

(3) ブロッコリー可食部のカリウムイオン、ビタミンC、葉酸濃度と可食部の硝酸イオン濃度の相関性

各可食部抽出液の硝酸イオン濃度個別値に対して、カリウムイオン濃度、ビタミンC濃度、または葉酸濃度の各個別値間に相関性が見られるか検討した。その結果、ビタミンC濃度は硝酸イオン濃度に強い負の相関性を示し（図3B, $r=-0.911$, $p=3.83e-6$ ）、カリウムイオン濃度および葉酸濃度も硝酸イオン濃度に対して負の相関性を示した（図3A, $r=-0.812$, $p=3.04e-4$, および、図3C, $r=-0.849$, $p=8.70e-5$ ）。

(4) ブロッコリー可食部のカリウムイオン、ビタミンC、葉酸濃度と基部硝酸イオン濃度の相関性

可食部硝酸イオン濃度が基部硝酸イオン濃度と高い相関性を示すことが明らかになったため、可食部硝酸イオン濃度と可食部各成分の間に見られた関係性が、可食部硝酸イオン濃度を基部硝酸イオン濃度に置き換えた場合にも成立するのか検討した。その結果、図4Bに示すように、可食部ビタミンC濃度は基部硝酸濃度に強い負の相関性を示すことが明らかになった（ $r=-0.916$, $p=2.88e-6$ ）。また、可食部カリウムイオン濃度（図4A, $r=-0.799$, $p=4.47e-4$ ）、可食部葉酸濃度（図4C, $r=-0.902$, $p=6.83e-6$ ）

図 2 ブロッコリー可食部の各成分濃度

A) 生産者毎のカリウムイオン濃度 (平均値+標準偏差)

B) 生産者毎のビタミンC濃度 (平均値+標準偏差)

C) 生産者毎の葉酸濃度 (平均値+標準偏差)

異なるアルファベット a, b は統計学的に異なることを示す (Tukey-Kramer 法, 有意水準 5%)

図 3 検体毎のブロッコリー可食部硝酸イオン濃度と可食部各成分濃度の相関性

A) 可食部硝酸イオン濃度と可食部カリウムイオン濃度

B) 可食部硝酸イオン濃度と可食部ビタミンC濃度

C) 可食部硝酸イオン濃度と可食部葉酸濃度

も負の相関性を示した。以上の相関係数は可食部硝酸イオン濃度を用いた場合とほぼ同等であった。

- (5) ブロッコリー可食部のカリウムイオン、ビタミンC、葉酸濃度と基部の硝酸イオン濃度、糖度との相関性
基部硝酸イオン濃度と基部糖度の関係性について検討し

たところ、両者間には高い負の相関性が見いだされた (図 5, $r = -0.918$, $p = 2.45e-6$)。この結果に基づいて、さらに基部糖度と可食部各成分間の相関性について検討したところ、ビタミンC濃度が基部糖度に強い正の相関性を示した (図 6B, $r = 0.912$, $p = 3.73e-6$)。また、カリウムイオン

図4 検体毎のブロッコリー基部硝酸イオン濃度と可食部各成分濃度の相関性

- A) 基部硝酸イオン濃度と可食部カリウムイオン濃度
 B) 基部硝酸イオン濃度と可食部ビタミンC濃度
 C) 基部硝酸イオン濃度と可食部葉酸濃度

図5 検体毎のブロッコリー基部硝酸イオン濃度と基部糖度との相関性

濃度 (図6A, $r=0.789$, $p=5.82e-4$), 葉酸濃度 (図6C, $r=0.849$, $p=8.46e-5$) とも正の相関性を示した。以上の相関係数は可食部硝酸イオン濃度, あるいは基部硝酸イオン濃度を用いた場合とほぼ同等であった。

3. 考察

施肥は野菜の効率的な生産に不可欠ではあるが, それが過剰になると野菜中の硝酸イオン濃度を必要以上に上昇させてしまう。硝酸イオン濃度の高い野菜を長期間摂取することが健康に悪影響を及ぼす可能性が議論されている¹⁾。硝酸イオン濃度は硝酸イオンメーターを用いて生産現場でも簡易的に測定できることから, 硝酸イオン濃度測定を野

菜の品質管理に用いる動きも見られ始めている。本研究ではブロッコリーにおいて, その非可食部 (基部) の硝酸イオン濃度を簡易測定することで, 可食部の硝酸イオン濃度を推定できることを明らかにした。本知見は, 品質に基づいた新たなブロッコリーの選別法の可能性を示すものである。

ブロッコリー非可食部の硝酸濃度を3生産者間で比較したところ, 同一生産者による個体間よりも, 生産者間での硝酸イオン濃度の差異が大きかった。キャベツやハクサイにおいて, 硝酸濃度が施肥条件に依存して変動することが知られており⁴⁾, 本研究に用いたブロッコリーが同一地域内, 同一時期の同一品種であったことから, 生産者間の硝酸イオン濃度の差異は生産者間の施肥条件の違いを反映したものであると考えられた。次に, 本研究では他の栄養成分 (ビタミンC, カリウムイオン, 葉酸) の濃度についても生産者間で比較した。生産者が異なると, これらの栄養成分の濃度も異なることが明らかとなった。すなわち, 施肥条件は, 硝酸濃度だけではなく, 他の栄養成分にも影響することが示唆された。

ブロッコリー中で, これらの栄養成分 (ビタミンC, カリウムイオン, 葉酸, 糖) の濃度は硝酸イオン濃度と負の相関関係が認められた。すなわち, 本研究は, 可食部の硝酸イオン濃度の簡易測定から, これらの栄養素の濃度も推

図 6 検体毎のブロッコリー基部糖度と可食部各成分濃度の相関性

- A) 基部糖度と可食部カリウムイオン濃度
 B) 基部糖度とビタミンC濃度
 C) 基部糖度と葉酸濃度

定できることを示唆した。ブロッコリーにおける施肥量とビタミンC含量の関係については施肥量の増加に伴いビタミンC含量が低下することがすでに報告されているが⁷⁾、本研究ではブロッコリーの可食部および非可食部中の硝酸イオン濃度との関係性について報告した。

ハウレンソウ水耕培養において、培養液から窒素成分を低減することが植物体中の硝酸イオン濃度を減少させ、一方でビタミンC濃度や糖度を増加させることが報告されている⁹⁾¹⁰⁾。その理由として、硝酸イオンから生じる亜硝酸イオンによるN-ニトロソ化合物生成反応がビタミンCにより阻害されることから¹¹⁾、硝酸イオン濃度が高い植物体中ではビタミンCが亜硝酸イオンの処理に消費される可能性が示唆されている⁹⁾。ブロッコリーにおいてもハウレンソウと同様のメカニズムが成り立つ可能性が考えられる。

過剰な硝酸イオンは植物の毛細根の発達に悪影響を及ぼすことが知られていることから¹¹⁾¹²⁾、高濃度硝酸の施肥条件下ではカリウムイオンの吸収が抑制されることが容易に推察できるが、ブロッコリーにおける両者の関係性については本研究が初めて報告した。カリウムイオンは光合成、デンプン合成に関与する酵素を活性化することから¹³⁾、高濃度の硝酸イオンによるカリウムイオンの低下はデンプンおよびデンプンから生成される成分（糖やビタミンC）の濃度に影響を及ぼした可能性がある。

葉酸はビタミンB群の一つで、妊娠期に必須とされる栄養成分であり、ブロッコリーに比較的多く含まれている¹⁾。WHOは2015年に新生児の神経管障害の発生を予防するのに必要な血清中葉酸濃度に関するガイドラインを發布した¹⁴⁾。本研究ではブロッコリー中の硝酸イオン濃度と葉酸濃度の関係性についても初めて報告した。硝酸イオン濃度が減少すると葉酸濃度が増加するメカニズムについては不明であり、今後の解明が待たれる。

ブロッコリー可食部中のビタミンC、カリウム、葉酸の濃度は、ブロッコリー基部の硝酸イオン濃度とともに糖度とも強く相関することを見出した。本結果は、ブロッコリー生産者において、より普及度が高い糖度計を用いて可食部中のビタミンC、カリウムイオン、葉酸の濃度を推定できる可能性を示すものである。簡便な糖度測定法は、硝酸イオン濃度測定以上に一般の農家においても利用可能であり、品質の相対的な評価方法として選別に利用可能である。本研究結果は、同一時期、同一地域（気候）、同一品種の試料を用いたものであるため、生産者間の施肥条件の違いを主に反映した結果と考えられるが、今後、時期、地域、気候、品種の異なるブロッコリーについて比較検討し、基部測定の有用性を確認する必要がある。

4. 要 約

可食部のビタミンC、カリウムイオン、葉酸の濃度は、可食部の硝酸イオン濃度と負の相関、さらに非可食部の基

部の硝酸イオン濃度とも負の相関関係、基部の糖度とは正の相関関係にあり、基部の硝酸イオン濃度および糖度の測定により栄養成分量の推定が可能である。

本研究は、みずほ農業経営者会（つくば市柳橋 496）に助成された茨城県平成 28 年度「産地改革関連事業」予算を用いて実施された。本稿の作成にあたりご指導いただいた聖徳大学林徹博士、農研機構食品研究部門小竹英一博士に感謝申し上げます。助成金の申請にご尽力くださった農業法人みずほ高橋広樹氏、硝酸濃度の簡易測定に協力くださった農業法人みずほ梅原秀太氏、みずほ農業経営者会の生産者各位に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会報告 (2015). 「日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂)」, 全国官報販売協同組合, 東京.
- 2) 農林水産省. 平成 28 年度産野菜生産出荷統計.
- 3) 農林水産物輸出入概況 (2016). 農林水産省国際部国際経済課.
- 4) Hatano, A., Okawa, H., and Imagawa, M. (2003). Effects of the amount of nitrogen application on the nitrate contents of cabbage and Chinese cabbage. *Research bulletin of the Aichi-ken Agricultural Research Center*, **35**, 79–83 (波多野歩, 大川浩司, 今川正弘. 窒素施用量がキャベツ, ハクサイの硝酸濃度に及ぼす影響, 愛知県農業総合試験場研究報告).
- 5) Uezono, I. and Mochida, T. (2007). Effect of nitrogen application on nitrate concentration in Chinese cabbage. *Bulletin of the Kagoshima Prefectural Institute for Agricultural Development*, **1**, 37–47 (上園一郎, 餅田利之. ハクサイにおける硝酸イオン蓄積に対する窒素施肥の影響, 鹿児島県農業開発総合センター研究報告).
- 6) Mozafar, A. (2008). Nitrogen fertilizers and the amount of vitamins in plants: A review. *J. Plant Nutr.*, **16**, 2479–2506.
- 7) Karitonas, R. (2001). Effect of nitrogen supply on yield and quality of broccoli, In “Plant Nutrition” ed. by Horst W.J.,

Dev. Plant Soil Sci., **92**, 298–299.

- 8) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会報告 (2015). 「日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂) 分析マニュアル・解説」, 全国官報販売協同組合, 東京.
- 9) Mozafar, A. (1996). Decreasing the NO_3 and increasing the vitamin C contents in spinach by a nitrogen deprivation method. *Plant Foods for Human Nutrition*, **49**, 155–162.
- 10) Zhang, C.-L., Watanabe, Y., and Shimada, N. (1990). Effect of nitrogen concentration of nutrient solution on the growth and nutrient constituents of hydroponically grown spinach. *The Technical Bulletin of Faculty of Horticulture, Chiba University*, **43**, 1–5 (張 春蘭, 渡邊幸雄, 嶋田典司. 水耕ホウレンソウの生育ならびに含有成分に及ぼす培養液の窒素濃度の影響, 千葉大学園芸学部学術報告).
- 11) Mirvish, S.S., Wallcave, L., Eagen, M., and Shubik, P. (1972). Ascorbate-nitrite reaction: possible means of blocking the formation of carcinogenic N-nitroso compounds *Science*, **177**, 65–68.
- 12) 地方独立行政法人北海道立研究機構農業研究部道南農業試験場 成績概要書 (2007). 成型ポット苗移植栽培におけるタマネギ乾腐病の多発要因と土壌・肥培管理による防除対策 (土壌環境改善を主体としたタマネギ乾腐病防除対策の確立).
- 13) 山本友英 (1987). カリウムの吸収と生理作用, 「農業技術体系土壌施肥編第 2 巻, 作物の栄養と生育」, 農村漁村文化協会, 東京, pp. 85–90.
- 14) WHO. Guideline: Optimal serum and red blood cell folate concentrations in women of reproductive age for prevention of neural tube defects. Geneva: World Health Organization; 2015.

引用 URL

- i) www.fsc.go.jp/sonota/factsheets/f04_nitrate.pdf (2013. 9. 3) 内閣府食品安全委員会ファクトシート 本来的に食品に含まれる硝酸塩 (概要).
 - ii) www.hro.or.jp/list/agricultural/research/dounan/qanda/tutitukuri.htm (2017. 3. 1) 地方 独立行政法人北海道立研究機構農業研究部道南農業試験場. 技術情報提供 Q & A 「土づくりについて」.
- (平成 30 年 8 月 8 日受付, 平成 30 年 9 月 6 日受理)