

葉野菜のアスコルビン酸濃度とカリウムの関係

広島大学大学院生物圏科学研究科

教 授 正 岡 淑 邦

1. はじめに

国民の健康志向が高まる中、生鮮野菜に含まれる機能性成分が注目されている。

野菜の機能性成分には様々な物質が挙げられるが、よく知られているものにはニンジンやカボチャのビタミンE、カロチノイド、トマトのリコピン、野菜一般に含まれるポリフェノール、ハウレンソウやコマツナのアスコルビン酸(ビタミンC)などがある。これらは活性酸素のようなラジカル物質を消去する作用を持ち、動脈硬化、がん、糖尿病などの予防に役立つ。その他ダイコン、キャベツ、ブロッコリー等の辛味成分、ニンニク、タマネギ、ネギなどのイオウ含有成分、野菜一般に含まれるミネラルや食物繊維などもいわゆる生活習慣病に効果を発揮する。

筆者らは葉野菜の品質向上を目指した施肥に関する研究を行っている。施肥によって機能性成分を多く含む製品が出来れば野菜の付加価値はずっと向上するからである。これまでに見つかった興味深い、ハウレンソウやコマツナのアスコルビン酸(以下AsA)濃度とカリウムの関連性について紹介したい。

2. AsAは施肥環境で変動するか？

窒素やカリウム(以下K)を施肥する場合、その施用量はトウモロコシ子実重の増大やカンショ塊根重の肥大など「バイオマス生産」に対して顕著な効果をもたらすが、AsAや糖分など「質的」成分の濃度増減に著しい影響を与えるという報告は少ない。品質成分は施肥よりも遺伝的な形質に依存すると考えられる。但し、コマツナやハウレンソウなどに被覆尿素のような緩効性窒素肥料を施用したり、養液栽培で養分の制限施用を行う、つまり施肥を一度に行うのではなく、経日的制限を伴う方法で施用するとAsA濃度が4割程度も高まる^{1,2)}。

被覆尿素の施用は根からの過剰な窒素吸収を抑制し、グルタミンを経由してのアミノ基転移反応への移行量を制限するので硝酸イオンが集積しにくくなる。するとアミノ酸の原資となる α -ケトグルタル酸など有機酸を合成する系の遺伝子発現が抑制され、光合成産物のグルコースは結果として糖集積やAsAなどの生成に移行すると考えられている。

筆者らは窒素源に被覆尿素など土壌での溶出速

本 号 の 内 容

§ 葉野菜のアスコルビン酸濃度とカリウムの関係 1

広島大学大学院生物圏科学研究科

教 授 正 岡 淑 邦

§ ネギのチェーンポット内全量施肥による減肥栽培 6

千葉県農業総合研究センター

主席研究員 山 本 二 美

度の異なる窒素肥料を施用してコマツナの栽培試験を行ったところ、建部らが報告した¹⁾ように慣行的な化学肥料施用よりもAsA濃度が高まり、しかも生育量でも優る結果を得ることが出来た。

さらにこの研究から、窒素の制限施用だけでなくAsA濃度はK含有率と関連性が強いことが分かった。窒素の制限施用によるAsA濃度の増加は前述したように理解されるが、Kとの関係について

図1. コマツナのAsA濃度とK含有率の関係
ポット試験 n=7

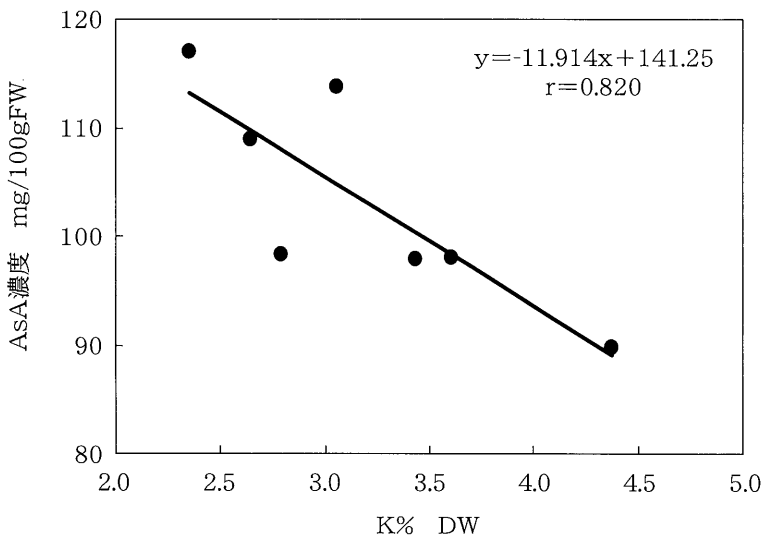


図2. 市販コマツナのAsA濃度、重量、乾物率とK含有率
AsA濃度の低い植物体から順に並べて他の成分濃度との違いが理解しやすいように各植物体の数値を折れ線でつないだ。

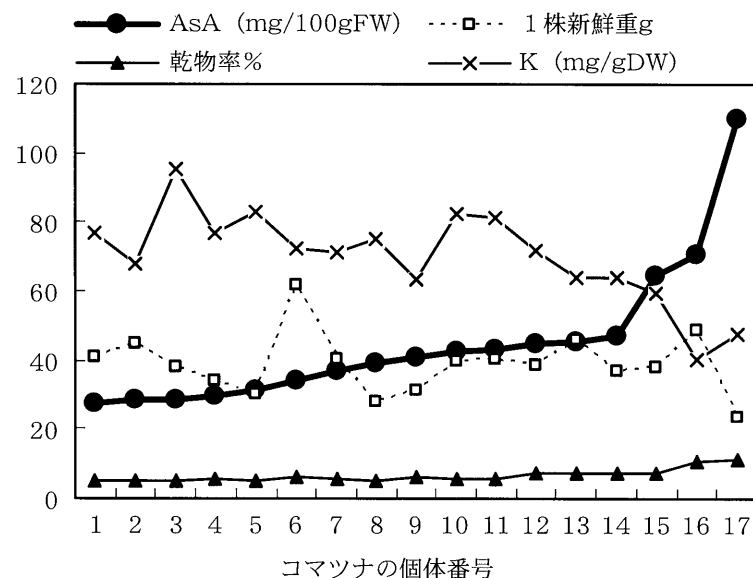


表1. コマツナのAsA濃度と各元素含有率の相関係数

Ca	Mg	K	P	N	NO ₃ -N
0.183	0.239	0.820	0.100	0.353	0.271

図1と同一の試料で各元素含有率との関係を示す。

はこれまでに十分な検討が行われていない。図1はコマツナのAsA濃度とK含有率が負の関係にあることを示す。AsA濃度は窒素、リン、カルシウム、マグネシウムの各含有率とは殆ど関連性を示さない(表1)。

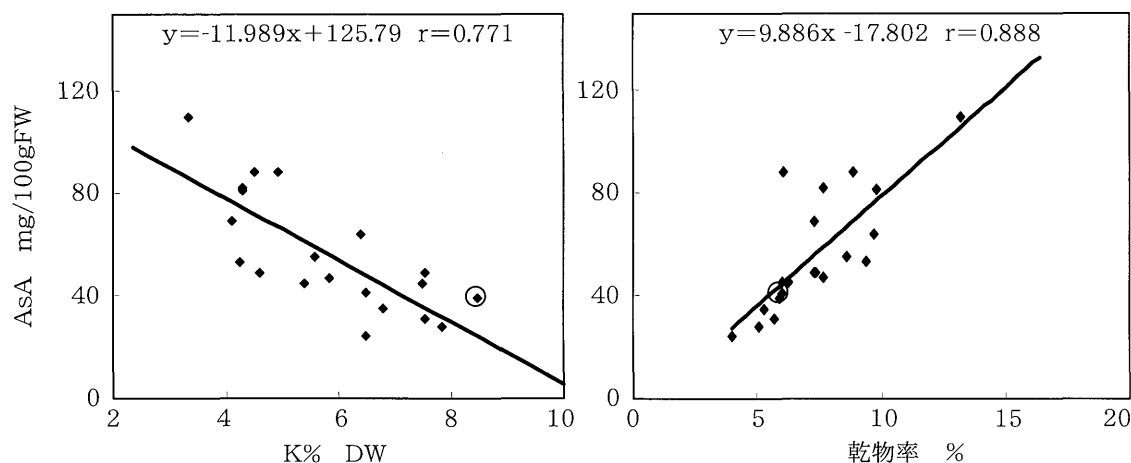
AsA濃度とK濃度との関係を詳しく調べるため、2007年2月に筆者の住む東広島市内のスーパーマーケットで延べ17箇所から入手したコマツナについて調査した結果を図2に示す。収穫した後、野菜売り場の陳列棚に並ぶまでにAsAの分解が予測されるが、それでも市販コマツナのAsA濃度は五訂食品成分表³⁾に記される39mg/100mg新鮮重(以後FW)を挟んでその2倍から4倍近い広がりを示す。そしてAsA濃度が低い材料はK含有率が高く、乾物(以後DW)当り7~9%に達する。一方、AsA濃度が新鮮重100g当り100mg近い高濃度になるコマツナのKは3~4%DWと低く、同じコマツナであってもK含有率におよそ2倍の開きがある。AsA濃度とK含有率との負の関連性は筆者らによる追試によっても確認された。またホウレンソウではK含有率が低いとAsA濃度が増加する傾向があると福永は報告している⁴⁾。したがって成育の途中からK含有率を低下させるような栽培管理を行えばAsA濃度の高い野菜を生産できると考えられる。

3. K栄養とAsA濃度

野菜のAsAとKとの関係について五訂食品成分表の数値を再計算してみると興味深い結果が得られた(図3)。アブラナ科で生葉を可食部とする材料

図3. アブラナ科、葉野菜20品種のAsA濃度と乾物率またはK含有率との関係

五訂食品成分表から再計算した。図中の円弧はコマツナを示す。



全て(20種)を図示するが、AsA濃度の高い品種でK含有率が低くなる傾向(左図)がある。図中、円弧で示すようにコマツナは葉野菜の中で乾物当りのK含有率が高く、AsA濃度は相対的に低い材料である。しかしコマツナのAsA濃度を乾物を基準に換算すると660mg/100gDWとなり、これはAsA濃度が高いことで知られるレモン果実の乾物換算値680mg/100gDWとほぼ等しく、葉野菜のAsA濃度が非常に高いことを示している。

次に同じ図3の右図であるがAsA濃度の高い(K含有率の低い)野菜では乾物率が高くなる。つまり、K濃度が低くなる栽培環境(K施用を控え

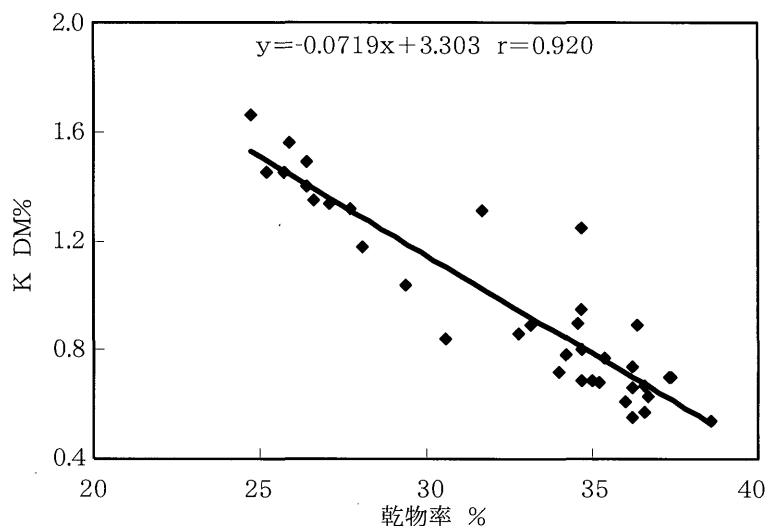
る、成育が進行してK吸収が生育量に追いつかない、或いは老化によってK吸収機能が低下した場合などで生じると考えられる)では細胞内水分が減少し、その一方でAsA濃度が高まる(乾物当りに換算して)。この傾向は図2の市販コマツナ17材料内でも認められる。

筆者は過去にカンショの施肥試験をしていたが、野菜の場合と同様に「上いも」の乾物率はK含有率と負の関係を示す(図4)。K含有率が高いと作物一般に水分が高く保たれる傾向がある。

4. 何故K含有率が低いとAsA濃度が高くなるのか?

Kは植物体内で炭水化物代謝に関わる酵素の活性化、気孔開閉制御、そして根の伸長などにも機能する。細胞膜を透過しやすく、Kを施用するといわゆる「ぜいたく吸収」するほど吸収する。細胞浸透圧の調節に利用されると考えられており、K含有率の高い植物体で水分が高くなる理由はK吸収が高まると有機酸などのイオンが細胞内に集積し、浸透圧が高まって細胞に水が取り込まれるためと推測される。細胞内の水分増加はK施用によって細胞伸長を生じ、根や葉の組織成長に繋がる。逆にKが細胞内に少ない場合は浸透圧が低下して、細胞内へ水がはいらず、細胞が伸長しにくくなり、成長遅延が

図4. カンショ3品種の収穫時の上いも中のK含有率と乾物率の関係 n=36



生じる。したがってK含有率が低いときにAsA濃度が高まるのはAsAが細胞内の水分ポテンシャル制御に関与するからではなかろうか。このような推測をした理由はAsAがKの機能と共通の細胞内の浸透圧調節機能を持つこと、そして細胞分裂を伴う細胞成長制御に大きく関与しているからである。

5. AsAの抗酸化機能

AsAの水分ポテンシャルへの関与を記述する前にAsAの活性酸素除去機能についてまず説明する。近年AsAが植物体内で様々な機能を発揮している

ことが明らかになってきたが、生合成系が明らかにされたのは意外と新しく1998年のことであり⁵⁾、グルコースからフルクトース、マンノース、ガラクトースなどを経て合成される(図5)。

日常的に日光にさらされる植物葉は光合成が行われると必然的に活性酸素のスーパーオキシドが生成され、図6に示すような経路を経て水に分解される。AsAはこの反応に不可欠で日光の強い晴天の日や遮光を取り除いて光合成を盛んにした栽培環境下では、曇天の日よりも葉中濃度が高まる。

また光合成以外の生育環境から受ける酸化的ストレスで老化が誘引され、植物は防除機能としてAsAとグルタチオンの酸化還元サイクルを盛んに機能させ、AsAが増加すると考えられる⁶⁾。

このストレスを利用してAsA濃度を高める栽培技術の開発が行われている。遮光を避けた栽培や栽培中の気温調節などである。西南暖地ではハウレンソウの冬期低温ストレス処理によってAsA濃度をおよそ4割増加させることが出来る⁷⁾。

6. AsAの細胞分裂と成長促進機能

AsAは活性酸素除去の過程で生成するだけでなく、新芽や根の先端部分で盛んに生成し、細胞の分裂や伸張を促進する⁷⁾。この仕組みは、まずAsAがアポプラストへ輸送され、細胞膜上に存在

図5. 高等植物のAsA生合成経路 (Wheelerら1998より編集)

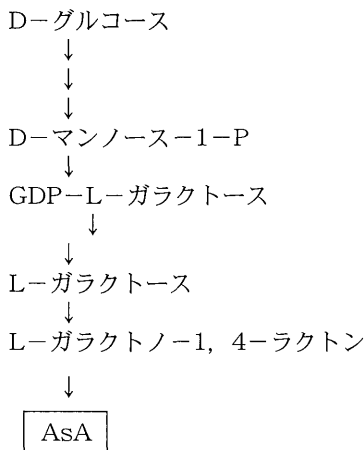
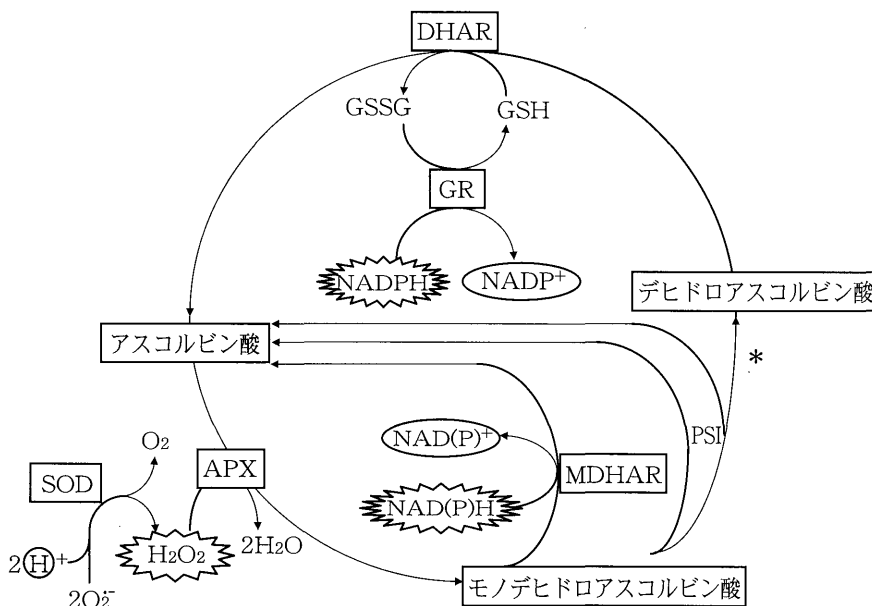


図6. 酸化的ストレス(老化など)におけるアスコルビン酸-グルタチオン酸化還元サイクル 植物の生化学・分子生物学(2005)より編集

図6の用語説明



- DHAR: デヒドロアスコルビン酸還元酵素
- GSSG: 酸化型グルタチオン
- GSH: グルタチオン
- GR: グルタチオン還元酵素
- SOD: スーパーオキシドジムスターゼ
- APX: アスコルビン酸ペルオキシダーゼ
- MDHAR: モノデヒドロアスコルビン酸還元酵素
- PSI: 光化学系 I
- *: 非酵素的反応

するプロトンポンプを活性化させる。結果として電気化学的プロトン勾配を作り、細胞内に無機イオンや有機物質などの能動的取込みが生じて浸透圧が上昇し、水が流入して細胞が肥大化、つまり成長が生じる。

果物の果実やカボチャの実にAsA蓄積が盛んであることは、細胞分裂の盛んな組織を成長させるためと考えられている。前述したように、葉野菜にレモン果実並み(乾物当り)の高濃度のAsAが含まれるのは、葉が光合成器官であるために活性酸素を消去させる仕組みを備えていることのほか、葉が成長していくために細胞の浸透圧調節機能としてAsAが盛んに生成すると推測される。ホウレンソウで内葉が外葉よりもAsA濃度が高いのは若い葉の細胞分裂が盛んなためであろう。

7. 葉野菜のAsA濃度を施肥技術で高める

K含有率が低下する生育環境では細胞内の水分ポテンシャルが低下すると推測される。その結果タンパク質合成の抑制と糖の合成促進が生じる。細胞内K濃度とAsAは浸透圧を制御する点で共通するのでK低栄養環境下におかれた植物は、成長するためにグルコースを出発物質としてAsA生成が促進されるのであろう。

図2に示す市販コマツナのAsA濃度には植物個体重の大きさに関係なく数倍の開きがある。これはAsA生成を上手にコントロールすれば食品成分表の数倍の濃度を持つ葉野菜を再現よく生産できる可能性を示している。しかしKを生育初期から不足させることは植物体の成長に大きなマイナスとなる。植物の成長をかなえた施肥環境の後にKの施用制御を行うなどの方法が栽培法として考えられる。

8. おわりに

葉野菜のAsA濃度をK栄養環境の制御によって改善する可能性について述べた。窒素やKの制限施用は光合成産物の移行や酸化的ストレス対策、さらに細胞分裂と伸長作用に関与するAsA生成に影響する。植物の成長過程のいずれの時期に栄養元素を制限給与することが植物の生長とAsA生成に効果的となるかは、今後の施肥に関する研究成果に期待したい。

参 考 文 献

- 1) 建部雅子・佐藤信二・石井かおる・米山忠克：緩効性窒素肥料の施用がホウレンソウのシュウ酸、アスコルビン酸、糖、硝酸含有率に与える影響、土肥誌, 67, 147-153 (1996)
- 2) 化学肥料Q&A, PART (III) 豊かな日本の農業のために, pp136-137, 日本化成肥料協会 (1997)
- 3) 香川芳子監修, 五訂食品成分表2004, 女子栄養大学出版部, 2004
- 4) 福永亜矢子, 須賀有子ら: ホウレンソウ水耕栽培時の培養液濃度および培養液組成変更時による抗酸化活性の変化, 土肥誌, 77, 423-427 (2006)
- 5) Wheeler G.L., Jones M.A. & Smirnoff N. (1998), The biosynthetic pathway of vitamin C in higher plants. *Nature*, 393, 365-369.
- 6) 杉山達夫監修, 植物の生化学・分子生物学, pp973-974 (2005)
- 7) 岩本英伸, 水上浩之, 石田豊明: ホウレンソウの糖度, アスコルビン酸含量および抗酸化活性に及ぼす低温処理の影響, 九農研, 67, 168 (2005)
- 8) Tabata K. and Esaka M., biological function and Biosynthesis of L-ascorbic acid in higher plants. *Recent Res. Devel. Plant Cell physiol.*, 1, 19-29 (2003)