

‘加賀太’キュウリ (*Cucumis sativus* L. cv. Kagafutokyuri) の葉および果実における苦味発現と窒素代謝との関連

加納恭卓¹・山辺 守²・石本兼治³・福田秀範³

¹ 石川県農業短期大学 921-8836 石川県野々市町末松1丁目308

² 石川県農業情報センター 920-3101 石川県金沢市才田戊295-1

³ 金沢市農業センター 920-0371 石川県金沢市下安原1471

The Occurrence of Bitterness in the Leaf and Fruit of Cucumbers (*Cucumis sativus* L. cv. Kagafutokyuri) in Relation to their Nitrogen Levels

Yasutaka Kano¹, Mamoru Yamabe², Kenji Ishimoto³ and Hidenori Fukuda³

¹ *Ishikawa Agricultural College, Nonoichi, Ishikawa 921-8836*

² *Ishikawa Agricultural Information Center, Kanazawa, Ishikawa 920-3101*

³ *Kanazawa Agricultural Center, Kanazawa, Ishikawa 920-0371*

Summary

To establish a cultivation system for the production of high quality cucumbers (*Cucumis sativus* L. cv. Kagafutokyuri), differences in nitrogen levels in the leaves between a non-bitter line and a bitter line and in the leaves and fruits between the bitter ones and the non-bitter ones were compared.

A percentage of bitter fruit was higher in the bitter line than in the non-bitter line. Stem length, leaf weight, and root weight per plant were larger in the former than in the latter. The total leaf nitrogen and amino acid-N levels were higher in the bitter line than in the non-bitter line, but the nitrate ion level was lower in the former than in the latter.

On plants grafted on *Cucurbita ficifolia* Bouché, the leaves on the upper node were more bitter than those in the lower node. The degree of bitterness of the upper leaf or fruit corresponded to the total nitrogen and amino acid-N levels.

We concluded from these results that high total nitrogen and amino acid-nitrogen levels in the leaf induce bitterness in leaves and fruits by promoting nitrogen metabolism, which in turn favors the enzymatic synthesis of cucurbitacin C, the bitter factor.

Key Words: *Cucumis sativus* L., Kagafutokyuri, bitter fruit, cucurbitacin C, nitrogen level.

緒言

‘加賀太’キュウリは石川県金沢市打木町の特産品種である。果実の長さ20 cm, 直径7 cm, 新鮮重800 gほどで収穫されており, 果肉が厚く, 食味, 日もちがよいなどの特徴がある。栽培は半促成で行われており, 4月~7月に収穫されるが, 4月から5月の収穫果実には強い苦味が発生することがあり問題となっている。Rehmら(1957)はウリ科46種の苦味成分について研究しており, 果実, 根, 葉, 子葉, 種子から12種類の苦味物質を分離し, それらをククルビタシンA~Lと命名している。ククルビタシンB, D, G, Hはウリ科46種のほとんどに含まれてい

るが, ククルビタシンCはキュウリ(*C. sativus* L.)のみ含まれている(Enslin・Rehm, 1958)。キュウリの栄養器官にも苦味が存在するが(Enslinら, 1954), 子葉には苦味がまったく含まれない品種も知られている(Andeweg・De Bruyn, 1959)。また, 果実の苦味の程度は系統によっても異なることも知られている(下間, 1961; 藤枝, 1966)。‘加賀太’キュウリの苦味果の発生は, 苦味果の多発株の自家受粉によって得た種子からの育成系統株では多発したが, 無発生株の自家受粉により得た種子からの育成系統株では, 極めて少ないことが明らかにされている(加納ら, 1994; 1995a)。また, キュウリ果実における苦味発現は, 栽培期間中の夜温の急激な低下, 日中温度の急激な上昇, 土壌の乾燥, 窒素肥料の多施用によっても誘起されるとされている(下間, 1961)。筆者らは‘加賀

1997年8月8日 受付. 1998年3月23日 受理.

太'キュウリでも窒素肥料の多施用により苦味果の発生率が高くなること(加納・前川, 1994), さらに, 台木の種類(加納ら, 1995b), 果実の着果位置あるいは栽培時期(加納ら, 1997)によっても苦味果の発生率が異なることを明らかにしている。現在までの研究結果から, 若齢株では老齢株に比べて苦味果の発生率が高い傾向もみられ, このことは前者は後者に比べて代謝が活発であるために植物体各器官におけるククルビタシンCの生合成が促進された結果によるものではないかと推察される。本報では, 自根苗を用い, 苦味果の多発系統株と苦味果の発生が少ない系統株の本葉における窒素代謝, さらに, 接ぎ木苗を用い苦味を有する葉・果実と苦味を有しない葉・果実における窒素代謝についても比較検討を行い, 苦味発現と窒素代謝の関係について考察した。

材料および方法

実験 1. 自根苗による苦味果の発生と葉中の窒素代謝との関係

1) 供試種子と育苗法

1995年の苦味果の無発生株の自家受粉により得た種子(以下, 無苦味系統株と表す)と, 苦味果の多発株の自家受粉により得た種子(以下, 苦味系統株と表す)を, 1996年2月1日に播種し, 自根苗を育て3月13日にビニルハウス内に定植した。

2) 仕立法

主枝は第5節で摘心, 第一次側枝一本仕立てで, 第一次側枝は第20節前後で, 第一次側枝から発生した第二次側枝は第1節で摘心した。

3) 生育調査

茎長は第一次側枝を摘心する前の4月26日に, そして第2節前後の本葉(以下, 下位葉と表す), 第10節前後の本葉(以下, 中位葉と表す)および第19節前後の本葉(以下, 上位葉と表す)の葉重を, 葉緑素計(ミノルタ・SPAD-502)で中位葉の葉色(SPAD値)を, そして株元を中心に25cm立方の土を掘り上げ, その中にある根の重さをそれぞれ5月下旬に測定した。供試個体数は各区10株である。以下, 供試個体数はいずれも各区10個体である。

4) 分析試料の採取と調整法

下位葉, 中位葉, 上位葉を5月下旬に採取し, 60℃で4日間乾燥後粉砕し分析用試料とした。

5) 分析法

葉中の全窒素含有率(%)はCNコーダー, 硝酸イオン含有率($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{DW}$)はCataldo法, アミノ酸態窒素含有率($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{DW}$)はニンヒドリン法により測定した。

6) 苦味の判定法

果実の苦味は, 4月23日から5月31日までの第一次側枝に着生した18cm前後の果実を採取し, 果実の果柄部側の苦味の有無を官能試験法によって判定した。葉の苦味は中位葉の葉尖部を食し, 苦味のないものを0, あるも

のを1として調査した。

実験 2. 接ぎ木苗による苦味系統株の葉と果実における苦味と窒素代謝との関係

1) 供試種子と育苗法

実験1と同様の苦味系統株の種子を1996年1月25日に播種し, クロダネカボチャ(*Cucurbita ficifolia* Bouché)に接ぎ木し, 3月13日にビニルハウス内に定植した。

2) 仕立法

実験1と同様である。

3) 生育調査

第1節の本葉(以下, 下位葉と表す)および第13節前後の本葉(以下, 上位葉と表す)の葉重を4月30日に測定した。各区10株とした。以下, 供試個体数はいずれも各区10個体である。

4) 分析試料の採取と調整法

葉は, 4月30日に下位葉と上位葉を採取し, 実験1と同様に調整した。果実の場合には, 18cm前後のものを5月17日に採取し, 苦味果と無苦味果それぞれ10個体ずつの果柄部側の半分を細断し60℃で乾燥後7日目に粉砕し分析試料とした。

5) 分析法

葉および果実中の全窒素含有率, 硝酸イオン含有率, アミノ酸態窒素含有率は実験1と同様に求めてきた。

6) 苦味の判定法

葉の苦味は葉尖部を食し, 苦味の全くないものを0, 弱いものを1, やや強いものを2, 強いものを3, 極めて強いものを4とした。果実の場合には, 実験1と同様にやった。

結 果

実験 1. 自根苗による苦味果の発生と葉中の窒素代謝との関係

茎長, 葉重, 根重は, いずれも苦味系統株の方が, 無苦味系統株より大きかったが, 葉色は両系統間に差がみられなかった(第1表)。苦味果の発生率は, 苦味系統株が33%であったが, 無苦味系統株は0%であり, 苦味系統株では明らかに高かった(第1図)。葉の苦味は, 両系統株間には明確な差異は認められなかった。葉中の窒素成分分析結果を第2図に示した。上位葉の全窒素含有率以外, いずれの節位の葉中全窒素含有率およびアミノ酸態窒素含有率は苦味系統株が無苦味系統株よりも高かったが, 硝酸イオン含有率はいずれの節位の葉においても苦味系統株の方が無苦味系統株より低く, 全窒素含有率とアミノ酸態窒素含有率とは逆の関係が得られた。

実験 2. 接ぎ木苗による苦味系統株の葉と果実における苦味と窒素代謝との関係

葉重は上位葉が下位葉よりも小さく, その差は有意であった(第3図)。葉の苦味は, 下位葉ではほとんど検出されなかったが, 上位葉では苦味程度が4に近く, 高い値

Table 1. Comparison of growth between lines which produce non-bitter and bitter fruits.

Line	Stem length (cm)	Leaf color	Leaf weight (g)			Root weight (g)
			Upper node position	Middle node position	Lower node position	
Non-bitter	84.9	52.2	7.8	13.7	7.5	18.3
Bitter	111.8	52.9	12.9	16.0	13.8	33.2
Significance	**	ns	**	**	**	**

ns and **, not significant and significant at p=0.05, respectively.
The non-grafted non-bitter line and bitter line were used.

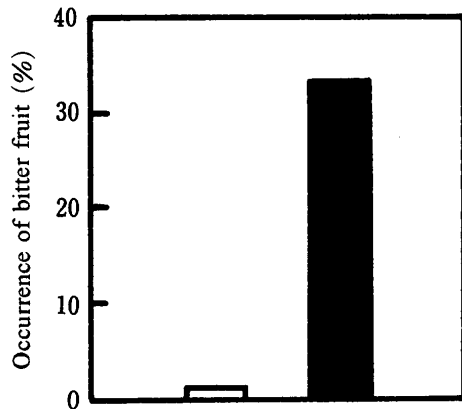


Fig. 1. Comparison of the occurrence of bitter fruit between the non-bitter line (□) and the bitter line (■). Non-grafted non-bitter line and bitter line were used.

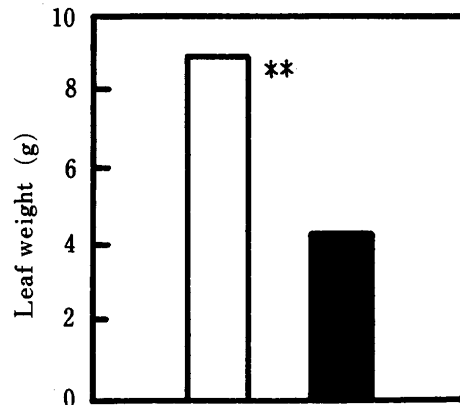


Fig. 3. Comparison of leaf weight between the lower nodal (□) and the upper nodal positions (■). The bitter line grafted on *C. ficifolia* Bouché was used.
**, significant at p=0.05.

を示した(第4図). 葉中の窒素成分分析結果を第2表に示した. 上位葉は全窒素含有率とアミノ酸態窒素含有率が下位葉よりも高かったが, 硝酸イオン含有率は上位葉が下位葉よりも低く, 逆の関係がみられ, このことは実験1と同様な傾向であった. 一方, 苦味果の全窒素含有

率, 硝酸イオンとアミノ酸態窒素含有率はいずれも無苦味果よりも高かった(第3表). 苦味果の硝酸イオン含有率は無苦味果の2倍以上であり, この点は葉の場合と異なっていた.

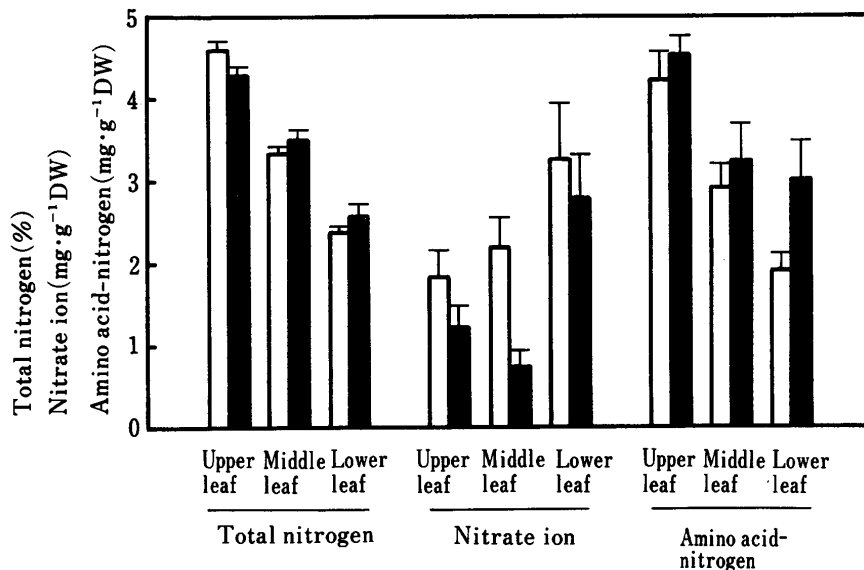


Fig. 2. Comparison of nitrogen levels in leaves between the non-bitter line (□) and the bitter line (■). Non-grafted non-bitter line and bitter line were used. Vertical bars are SE.

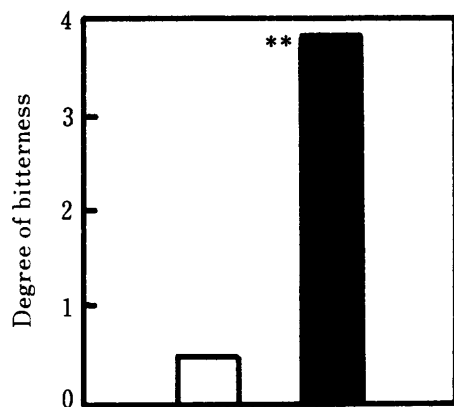


Fig. 4. Comparison in the degree of bitterness between leaves from lower (□) and upper (■) nodal positions. The bitter line grafted on *C. ficifolia* Bouché was used.

** ,significant at $p=0.05$.

考 察

実験1で示したように、苦味果の発生率は、苦味系統株の方が無苦味系統株よりも高く、このことは、1993年から1995年の3年間行った苦味果についての選抜効果によるものと考えられる。しかし、1996年、1995年の苦味果の無発生株の自家受粉により得た種子を播種・栽培し、75株について調査したところ、苦味果が発生した株が30

株認められたことから(加納ら, 1996)、苦味果についての系統分離がまだ不十分な状態にあると思われる。

茎葉と根部の生育は、苦味系統株のほうが無苦味系統株よりも大きく、中位および下位節の葉中全窒素含有率は、苦味系統株が無苦味系統株よりも、高い傾向がみられた。根重の増加は養分吸収量の増大に繋がること(稲田・馬場, 1958)が知られており、自根苗の根重は苦味系統株が無苦味系統株よりも大きく、窒素吸収が促進された結果、全窒素含有率が高くなり、茎葉の生長も促進されたものと考えられる。

苦味系統株では無苦味系統株より、葉中の硝酸イオン含有率は低かったが、アミノ酸態窒素含有率は逆に高い結果が得られた。キュウリは好硝酸性植物である(池田・大沢, 1979)とされており、吸収された硝酸態窒素は葉で還元された後、アミノ酸が生合成されるが(ウェブスター, 1958)、この場合硝酸還元酵素の活性は硝酸イオンの存在により誘導されること(熊沢, 1982; Solomonson・Barber, 1990)が知られている。従って、苦味系統株では、硝酸態窒素の吸収が促進され、葉中の硝酸イオン濃度が高くなると、硝酸還元酵素の活性が上昇し、硝酸態窒素の還元が活発になるために、硝酸イオン含有率が低下し、アミノ酸態窒素含有率が高くなるものと推察される。

若齡株では窒素代謝が活発であり、ククルビタシンC

Table 2. Comparison of total leaf nitrogen, nitrate ion, and amino acid - nitrogen levels in leaves from lower and the upper nodal positions.

Leaf position	Total nitrogen (%)	Nitrate ion ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{DW}$)	Amino acid - nitrogen ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{DW}$)
Leaf on the lower node position	2.49	2.78	2.85
Leaf on the upper node position	4.12	1.20	4.19
Significance	**	**	*

* and **, significant at $p=0.1$ and 0.05 , respectively.

The bitter line grafted on *C. ficifolia* Bouché was used.

Table 3. Comparison of total nitrogen, nitrate ion, and amino acid - nitrogen levels in the non - bitter fruit and the bitter fruit.

Taste	Total nitrogen (%)	Nitrate ion ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{DW}$)	Amino acid - nitrogen ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{DW}$)
Non - bitter fruit	3.12	1.59	4.18
Bitter fruit	3.54	3.98	6.79
Significance	*	**	**

* and **, significant at $p=0.1$ and 0.05 , respectively.

Fruits were collected from the plants of the bitter line grafted on *C. ficifolia* Bouché.

の生合成が促進される(加納ら, 1997)ために, 苦味果の発生が高くなると推察した. 実験1で明らかにしたように, 苦味果の発生率は苦味系統株が無苦味系統株より高く, 株の生長も苦味系統株が優れていた. 従って, 苦味系統株では無苦味系統株よりも栄養生長が優っており, ククルビタシンCの生合成が促進されていることが推察される.

そこで, 実験2では, 直接苦味が存在する葉と果実における窒素代謝について調べたところ, 苦味を有する上位葉および苦味果では, 苦味がない下位葉および無苦味果に比べて, 全窒素含有率とアミノ酸態窒素含有率は高かったが, 硝酸イオン含有率は苦味を有する上位葉で低く, 苦味果では高かった. 水稻葉身中の全窒素含有率は上位葉が下位葉より高いことや(Muhammad・Kumazawa, 1974), 硝酸還元酵素の活性は上位葉で高いことが知られている(王子・伊沢, 1968). '加賀太' キュウリでは若齢果実の苦味果の発生率が高く, 成熟果では低いことも観察されている(加納ら, 1997). これらのことから, キュウリの上位葉と苦味果における窒素代謝についても, 実験1の場合と同様な考察が可能である. なお, 果実では, 葉とは異なり硝酸イオン含有率は苦味果において高かったが, この点については今後の検討課題である.

一方, キュウリの苦味物質であるククルビタシンCは, アセチルCoA→メバロン酸→スクワレンの経路で生合成され, その過程における酵素系も解明されている(Ballianoら, 1983a; 1983b).

以上の結果, '加賀太' キュウリの苦味果が発生する株の葉, 苦味を有する葉と果実では, 苦味のないものに比べ, 窒素代謝が活発であるため, それに伴って植物体の各器官でククルビタシンCの合成が助長され, 苦味が強く発現するものと推察される.

摘 要

苦味のない高品質の'加賀太' キュウリの栽培体系を確立するために, 苦味の発現と窒素代謝との関係について検討した.

1. 自根苗の無苦味系統株と苦味系統株の葉における全窒素含有率, 硝酸イオンとアミノ酸態窒素含有率の比較を行った. その結果, 苦味系統株の方が無苦味系統株より, 苦味果の発生率は高く, 莖長, 葉重, 根重は大きかったが, 葉色には差がなかった. 葉中の全窒素含有率, アミノ酸態窒素含有率は, 苦味系統株の方が無苦味系統株より高かったが, 硝酸イオン含有率は低かった.

2. 接ぎ木苗の苦味を有する上位葉あるいは果実と苦味を有しない下位葉あるいは果実とにおける全窒素含有率, 硝酸イオンとアミノ酸態窒素含有率の比較を行った. その結果, 葉の苦味は上位葉が下位葉より強く, 全窒素含有率, アミノ酸態窒素含有率は高く, 硝酸イオン含有率は低かった. また, 苦味果では無苦味果よりも, 全窒素

含有率, 硝酸イオンとアミノ酸態窒素含有率のいずれも高かった.

以上の結果, 苦味果の発生する株の葉, 苦味を有する葉および苦味果では, 苦味のないものに比べて, 窒素代謝が活発であり, それに伴ってククルビタシンCの生合成も促進されるために, 苦味が強く発現するものと考えられる.

謝 辞 本研究の一部は, 平成7~9年度文部省科学研究補助金基盤研究C07660047, 平成7年度石川県農業技術会議運営基金により行われたものです. 本研究を遂行するにあたり, 石川県農業短期大学付属農業資源研究所助教授田知本正夫氏には多大な御協力と御助言をいただきました. 記して感謝の意を表します.

引用文献

- Andeweg, J. M. and J. W. De Bruyn. 1959. Breeding of non-bitter cucumbers. *Euphytica* 8: 13-20.
- Balliano, G., O. Caputo, F. Viola, L. Delprino and L. Cattel. 1983a. The transformation of 10 α -cucurbita-5,24-dien-3 β -ol into cucurbitacin C by seedlings of *Cucumis sativus*. *Phytochemistry* 22:909-913.
- Balliano, G., O. Caputo, F. Viola, L. Delprino and L. Cattel. 1983b. Cyclization of squalene-23-epoxide to 10 α -cucurbita-5,24-dien-3 β -ol by microsomes from *Cucurbita maxima* seedlings. *Phytochemistry* 22: 915-921.
- Enslin, P. R., T. G. Joubert and S. Rehm. 1954. Bitter principles of the *Cucurbitaceae*. Part II — Paper chromatography of bitter principles and some applications in horticultural research. *J. South Afr. Chem. Inst.* 8: 131-138.
- Enslin, P. R. and S. Rehm. 1958. The distribution and biogenesis of the cucurbitacines in relation to the taxonomy of the *Cucurbitaceae*. *Proc. Linn. Soc. (London)*. 169: 230-238.
- 藤枝国光. 1966. 九州・四国地方の作型と品種. p.51-62. 昭和41年度園芸学会秋季大会シンポジウム講演要旨.
- 池田英男・大沢孝也. 1979. 施用窒素形態とそ菜の適応性(第1報)水耕栽培における硝酸, アンモニア, 亜硝酸を窒素源とした果菜の生育並びに窒素同化. *園学雑*. 47: 454-462.
- 稲田勝美・馬場 昶. 1958. 水稻根の生理生態的研究. I. 水稻根の諸特性と養分吸収との関係. *農業技術*. 13 (7) : 289-293.
- 加納恭卓・前川博子. 1994. '加賀太' キュウリにおける苦味果の発生と葉の緑色との関係. 平成6年度園学北陸支部要旨: 17.
- 加納恭卓・関沢雅代・橋本 尚・山辺 守・石本兼治・亀田英喜. 1994. '加賀太' キュウリの苦味果発生における系統分離育種の効果. 平成6年度園学北陸支部要旨: 15.
- 加納恭卓・東藤貴博・山辺 守・石本兼治・亀田英喜. 1995a. '加賀太' キュウリの苦味果発生における系統分離育種の

- 効果. 平成7年度園学北陸支部要旨: 16.
- 加納恭卓・山辺 守・石本兼治・亀田英喜. 1995b. '加賀太' キュウリにおける苦味果の発生に及ぼす台木の影響. 園学雑. 65 (別2): 306-307.
- 加納恭卓・茶谷佳代子・山辺 守・石本兼治. 1996. '加賀太' キュウリの苦味果を発生しなかった株から採種, 栽培した場合の苦味果発生のはらつき. 平成8年度園学北陸支部要旨: 16.
- 加納恭卓・山辺 守・石本兼治. 1997. '加賀太' キュウリの苦味果発生と植物体の齢および葉中の窒素含量との関係. 園学雑. 66: 321-329.
- 熊沢喜久雄. 1982. 窒素代謝. p.25-48. 田中 明編. 作物比較栄養生理. 学会出版センター. 東京.
- Muhammad, S. and K. Kumazawa. 1974. The absorption, distribution, and redistribution of N-labelled ammonium and nitrate nitrogen administered at different growth stages of rice. *Soil. Sci. Plant Nutr.* 20: 47-55.
- 王子善清・伊沢悟郎. 1968. 植物による $\text{NO}_3\text{-N}$ 利用に関する研究 (第7報) 水稻の NADH: Nitrate Oxidoreductase, 特にその誘導性と葉位別活性の消長について. 土肥誌. 39: 380-386.
- Rehm, S., P. R. Enslin, A. D. J. Meeuse and J. H. Wessels. 1957. Bitter principles of the *Cucurbitaceae*. VII. The distribution of bitter principles in this plant family. *J. Sci. Food Agric.* 8: 679-686.
- 下間 実. 1961. ウリ科植物の苦味物質の遺伝・生化学的研究. 生研時報. 12: 85-91.
- Solomonson, L. P. and M. J. Barber. 1990. Assimilatory nitrate reduction: functional properties and regulation. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 41: 225-253.
- ウェブスター. 1958. 窒素栄養. p.1-23. 植物の窒素代謝 (松中昭一・田中房江・飯塚宏栄訳). 岩波書店. 東京.