

結球期のキャベツにおける硝酸イオンの吸収と窒素の分配特性<sup>†</sup>

佐藤 文生\*・東尾 久雄\*\*

(平成20年10月6日受理)

## Characteristics of Nitrate Uptake and Nitrogen Distribution in Cabbage at Head Developing Stage

Fumio Sato\* and Hisao Higashio\*\*

## I 緒 言

野菜は一般に窒素源として硝酸態窒素を好み、体内にも硝酸イオンが蓄積しやすい。硝酸イオンは毒性が低く、ヒトが摂取してもそれ自体による影響は問題にならないが、摂取後体内で亜硝酸イオンやニトロソ化合物になり、これらが癌やメトヘモグロビン血症の原因として害を及ぼすことが指摘されている(山下, 2002)。そのため、野菜の生産現場では、より安全・安心な農作物を提供するという観点から、野菜に蓄積する硝酸イオンの低減が求められている。

野菜の中でも硝酸イオン濃度が比較的高いものとしては、ホウレンソウ、リーフレタス、コマツナなどが知られ(孫ら, 1996)、主にこれらの品目を対象に野菜の硝酸イオンの蓄積に関する研究やその低減にむけた技術開発が行われてきた。これまでの研究から、これらの野菜の硝酸イオン蓄積については次のようなメカニズムが示されている(米山ら, 1992; Lillo, 1994)。①硝酸イオンは根から吸収された後、葉において亜硝酸イオン、アンモニアと還元され、さらにはアミノ酸となってタンパク質が合成される。②葉での硝酸イオンの蓄積量はその吸収量と代謝量のバランスによって変動し、必要以上に吸収された硝酸イオンは細胞内の液胞に蓄えられる。③これら一連の硝酸イオン代謝過程において、硝酸イオンの還元反応に関与する硝酸還元酵素(Nitrate reductase: 以下、NRと略す)は硝酸イオンからアミノ酸までの一連の代謝を律速する鍵酵素である。④この

NRは光強度の低下によって活性量が低下する。そのため、実際の栽培では、葉の受光量が硝酸イオンの蓄積に影響することから(壇ら, 2005)、硝酸イオン代謝の研究においては、窒素施用量に加えて光環境にも注意を払う必要がある。

ところで、キャベツのような結球性の葉菜類は、結球期になると結球葉が何層にも重なった構造となるため、結球葉の内部には光がほとんど届かず、結球葉を取りまく外葉が結球葉に光合成産物を供給する役割を担うようになる(Wienら, 1997)。このような特徴のため、結球期のキャベツでは、硝酸イオンや硝酸イオンから代謝された窒素化合物(アミノ酸、タンパク質)の蓄積特性が、部位によって明確に異なっていると考えられる。そこで本研究では、キャベツに<sup>15</sup>Nで標識した硝酸イオンを施用し、キャベツの施用窒素吸収量と外葉と結球葉における施用窒素濃度を経時的に調査した。さらに、外葉と結球葉におけるNR活性を測定し、結球期のキャベツの硝酸イオンおよび硝酸イオンから代謝された窒素化合物の蓄積特性について考察した。

## II 材料および方法

## 1 供試材料

野菜茶業研究所つくば野菜研究拠点内(茨城県つくば市)の最低気温15°Cに設定したガラス室で育苗および栽培したキャベツ(*Brassica oleracea* L. var. *capitata*)品種'金系201号'(サカタのタネ)を試料として用い

〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-3-1

葉根菜研究部

\* 現 野菜IPM研究チーム

\*\* 現 業務用野菜研究チーム

<sup>†</sup> 本論文の一部は園芸学会平成16年秋季大会(静岡)において発表した。

た. 慣行に準じてキャベツの苗を128穴セルトレイで1ヶ月間育苗し, 2003年12月17日に黒ボク土壌を詰めた1/2000aワグネルポットに移植した. 肥料として, 移植前に溶出期間100日タイプの被覆複合肥料(ロング424-100, チッソ旭肥料, N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=14:12:14)を窒素量で6g・pot<sup>-1</sup>となるように黒ボク土壌に混和した. 栽培期間中は, 土壌のpF値が2.3を上回った時点で1ポット当たり1L灌水し, ポットの底穴からの流出水は, 鉢皿で受けて回収し, 再び灌水に使用した.

## 2 <sup>15</sup>N標識硝酸イオンの施用とサンプリング

結球重が約0.6kg・株<sup>-1</sup>に達した2004年3月1日(移植後75日)に, 平均的な大きさの27個体を選別し, <sup>15</sup>Nで標識された硝酸カリウム(10.3 atom %, 昭光通商)を2.16g・pot<sup>-1</sup>(0.3g N・pot<sup>-1</sup>)の量で100mLの蒸留水に溶かして施用した. 施用後25日までの間に9回に分けて3個体ずつ採取した. なお, 根は株の地際部で切断した後, ポットの土壌をステンレス製メッシュ(目開き5mm)上で洗浄して回収した. 地上部は図-1に示すように外葉, 結球葉, 茎に分割した. 外葉は上位4枚の若い葉(外葉上部)とそれ以外の葉(外葉下部)に分けた. 結球葉は垂直方向に8等分し, 対角に位置する2片から重量比で約3分の1を占める表層の3~4枚の葉(結球外部)とそれより内側の葉(結球内部)および芯に分けた. 外葉, 結球葉のそれぞれの部位の生体重を測定後, 各部位とも約1cmに細断し, その一部を液体窒素で凍結した. 後述する<sup>15</sup>Nの分析に用いる試料は-20°Cで, また, NR活性の測定に用いる試料は-80°Cで保存した.

## 3 <sup>15</sup>Nの分析

凍結試料を凍結乾燥させた後, 乾物重を測定し, グライNDERで粉碎した. 粉末試料の一部をスズカプセルに封入し, 安定同位体比分析装置(Delta Plus XP,

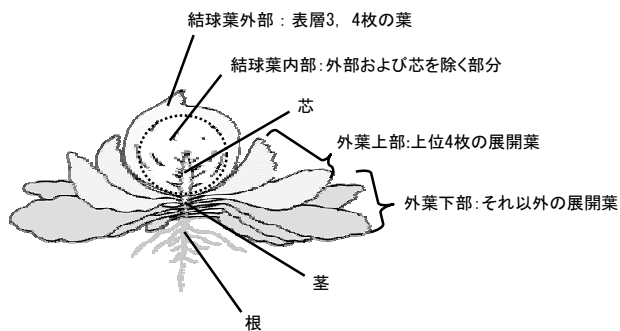


図-1 キャベツの調査部位

Thermo Finnigan)を用いて, 各部位の窒素濃度と<sup>15</sup>N atom % excessを測定した. 施用した<sup>15</sup>N標識硝酸イオンに由来する窒素(以下, Nfと略す)の各部位における吸収量を式(1)により算出した.

$$\text{Nf吸収量 (mg・株}^{-1}\text{)} = \text{各部位の}^{15}\text{N atom \% excess} / \text{}^{15}\text{N標識硝酸イオンの}^{15}\text{N atom \% excess} \times \text{各部位の窒素含量 (mg・株}^{-1}\text{)} \dots (1)$$

外葉と結球葉については, さらにKimら(2002)の方法に一部変更を加えて, 硝酸画分, アミノ酸画分, 不溶性画分に含まれる<sup>15</sup>Nを分析した. 約0.2gの粉末試料に7mLの80%エタノールを加え, 78°Cで煮沸抽出し, 冷却後遠心分離(1000×gで10分間)して上清を回収した. 同様の抽出作業を4回繰り返し, 抽出後の残渣を不溶性画分とした. 80%エタノール抽出で得られた上清は, 遠心エバポレーターで濃縮乾固後, 12mLの蒸留水に再溶解した. 再溶解液を濾紙(定性濾紙N0.2, アドバンテック)で濾過し, 蒸留水に不溶性物質を除去した後, 陽イオン交換樹脂(50W×8H<sup>+</sup>form, Dowex)2mLを充填したカラムに流した. さらに24mLの蒸留水をカラムに流し, その溶出液を硝酸画分とした. その後, 陽イオン交換樹脂に14mLの1N塩酸を流し, 得られた溶出液をアミノ酸画分とした. なお, 硝酸画分は, 1Mリン酸緩衝液(pH7)を1mL加えた後, 80°Cで乾固したが, 乾固物の粘性が高く, <sup>15</sup>Nの分析に支障をきたすので, サリチル酸-硫酸法(大山, 1990)で分解した. 生成したアンモニアを蒸留装置(SuperKjel126D, ACTAC)を用いて100mLの0.1N塩酸に吸収させ, 塩酸液中の窒素濃度をCataldo法(Cataldoら, 1975)で測定した. その後, 90°C以下で乾固し, 得られた塩化アンモニウムの結晶をスズカプセルに封入した. アミノ酸画分は, 1N塩酸溶出液を90°Cで乾固後, 0.5mLの蒸留水に再溶解し, 再溶解液の一部をスズカプセルに注ぎ, 60°Cで再び乾固した. 不溶性画分は, 60°Cで乾固し, 細かく砕いてスズカプセルに封入した. いずれの試料も, スズカプセルに含まれる窒素量が30μg前後となるように封入し, 安定同位体比分析装置で分析した. 各画分に含まれる乾物あたりNf濃度を式(2)により算出した.

$$\text{Nf濃度 (mg・gDW}^{-1}\text{)} = \text{各画分の}^{15}\text{N atom \% excess} / \text{}^{15}\text{N標識硝酸イオンの}^{15}\text{N atom \% excess} \times \text{各画分の窒素濃度 (mg・gDW}^{-1}\text{)} \dots (2)$$

さらに、それぞれの部位における各画分のNf構成比を式(3)により算出した。

$$\text{各画分のNf構成比(\%)} = \frac{\text{各画分のNf濃度}(\text{mg}\cdot\text{gDW}^{-1})}{\text{各部位のNf濃度}(\text{mg}\cdot\text{gDW}^{-1})} \times 100 \dots (3)$$

なお、本抽出法では、80%エタノールに可溶で蒸留水に不溶なクロフィルタンパク質などが未回収となる(大崎, 1990)が、このようないずれの画分にも含まれなかったNfをその他の画分とし、他の画分と合わせて構成比の和を100とした。

#### 4 NR活性の測定

$^{15}\text{N}$ 標識硝酸イオン施用後18日目の株については、外葉および結球葉のNR活性をKojimaら(1995)の方法に一部変更を加えて測定した。凍結試料に50  $\mu\text{M}$ ロイペプチン, 2 mM 2-メルカプトエタノール, 10mMエチレンジアミン四酢酸, 0.2%トライトンX-100を含む50 mM HEPES-水酸化カリウム緩衝液(pH 7.0)を試料1gあたり2mL加え、氷冷下の乳鉢中で磨砕抽出した。抽出液を12000 $\times\text{g}$ で20分間遠心分離し、この上清を粗酵素液とした。粗酵素液50  $\mu\text{L}$ を、30 $^{\circ}\text{C}$ に保った2mM硝酸カリウム, 50  $\mu\text{M}$ ロイペプチン, 0.5mM還元型ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド, 10  $\mu\text{M}$ フラビンアデニンジヌクレオチド, 1mMエチレンジアミン四酢酸を含む350  $\mu\text{L}$ の50mM HEPES-水酸化カリウム緩衝液(pH 7.0)に加え、5分間反応させた。1M酢酸鉛50  $\mu\text{L}$ を加え反応を停止し、さらに0.3mMのフェニルメタンスルホニルフルオリドを50  $\mu\text{L}$ 加え、残存する還元型ニコチンアミドアデニンジヌクレオチドを完全に酸化させた。この混合液を1000 $\times\text{g}$ で5分間遠心分離し、上清を350  $\mu\text{L}$ 分取し、1%スルファニルアミド(1.5M塩酸)と0.02% N-1-ナフチルエチレンジアミン塩酸塩を各350  $\mu\text{L}$ ずつ加え、亜硝酸イオンを発色させた。発色20分後に540nmで比色定量した。反応前に酢酸亜鉛を加え、同様の操作を行ったものをブランクとした。

### III 結果

#### 1 施用窒素の吸収と各部位への分配の経時的変化

結球葉の乾物重は、 $^{15}\text{N}$ 標識硝酸イオン施用後25日間において2倍に増加したが、他の部位では、その間に大きな乾物重の増減は認められなかった(データ省略)。株

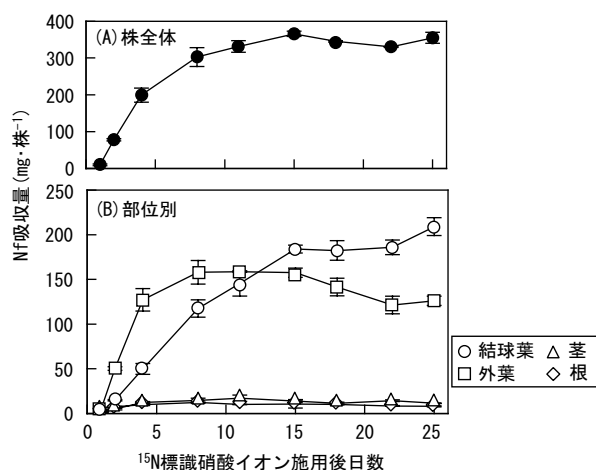


図-2 株全体および各部位の $^{15}\text{N}$ 標識硝酸イオン由来窒素(Nf)吸収量の経時的変化

図中の縦棒は標準誤差(n=3)を示す。

全体のNf吸収量は施用後増加しつづけ、11日目にはほぼ施用した量に等しい331 $\text{mg}\cdot\text{株}^{-1}$ に達し、その後は一定に推移した(図-2)。Nf吸収量の変化を各部位ごとにとみると、施用後しばらくは、外葉のNf吸収量の増加が他の部位に比べ大きかったが、外葉のNf吸収量は8日目にピークに達し、その後は徐々に低下した。結球葉のNf吸収量は外葉に比べ増加が遅かったものの、試験期間を通じて増加傾向にあったため、施用後15日以降は外葉よりも高い値となった。一方、根と茎のNf吸収量は外葉や球に比べ著しく少なく、試験期間を通じて20 $\text{mg}\cdot\text{株}^{-1}$ 以下で推移した。

#### 2 外葉および結球葉における各抽出画分のNfの濃度および構成比の経時的変化

外葉の上部、下部とも、 $^{15}\text{N}$ 標識硝酸イオン施用後いずれの画分のNf濃度も増加したが、上部では施用後2日目まで、下部では4日目までNf濃度の増加程度が他の画分より硝酸画分で大きかった(図-3)。しかし、上部では4日目、下部では8日目をピークに硝酸画分のNf濃度が減少に転じたのに対し、不溶性画分ではNf濃度の増加がしばらく続いた。そのため、1日目の硝酸画分のNf構成比は、上部で74%、下部で80%と他の画分のNf構成比を大きく上回ったが、日数の経過とともに硝酸画分のNf構成比は低下し、反対に不溶性画分のNf構成比が増加した。アミノ酸画分のNf濃度は、上部、下部ともに他の画分に使ったため、そのNf構成比は試験期間を通じて低い値で推移した。また、外葉の上部では、下部に比べ不溶性画分のNf濃度が他の画分に比べ相対的に高く、さらに、いずれの画分にも含まれ

なかったNfの占める割合も高かったため、上部の硝酸画分のNf構成比は下部より低く推移した。

結球葉では内部、外部ともに、いずれの画分でもNf濃度が増加したが、外葉と同様に内部では施用後2日目まで、また外部では4日目まで硝酸画分のNf濃度が他の画分より大きく増加した(図-4)。その後、内部では、8日目には不溶性画分のNf濃度が、また15日目にはアミノ酸画分のNf濃度が硝酸画分のNf濃度をそれぞれ上回った。外部でも、アミノ酸画分、不溶性画分とも

Nf濃度が増加したが、その増加程度は内部に比べ小さく、いずれの画分のNf濃度も硝酸画分の値を上回ることにはなかった。これらの変化によって、1日目では硝酸画分のNf構成比が外部で77%、内部で80%と高い値を示したが、それらの値は日数の経過とともに低下し、相対的に他の画分で増加した。また、内部では最終的に不溶性画分のNf構成比が最も大きくなったのに対し、外部では試験期間を通じて硝酸画分のNf構成比が他の画分より高く推移した。

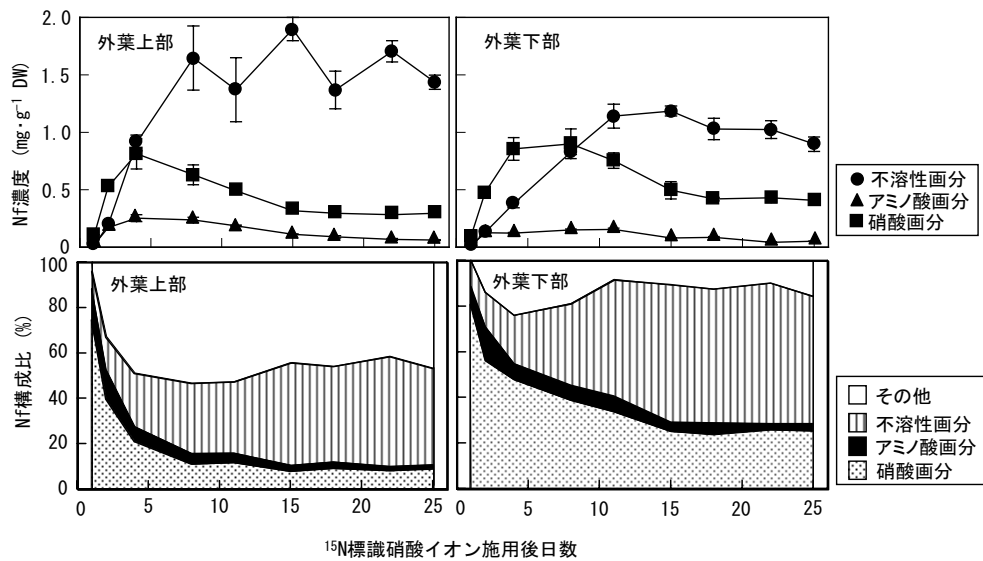


図-3 外葉上部および下部の硝酸画分、アミノ酸画分、不溶性画分に含まれる<sup>15</sup>N標識硝酸イオン由来窒素(Nf)の濃度および構成比の経時的変化

図中の縦棒は標準誤差(n=3)を示す。

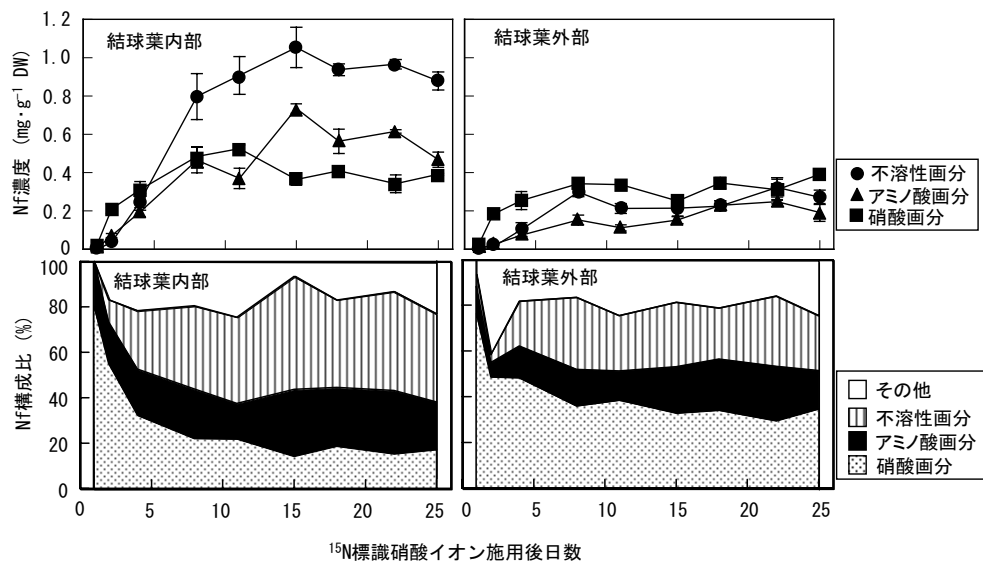


図-4 結球葉内部および外部の硝酸画分、アミノ酸画分、不溶性画分に含まれる<sup>15</sup>N標識硝酸イオン由来窒素(Nf)の濃度および構成比の経時的変化

図中の縦棒は標準誤差(n=3)を示す。



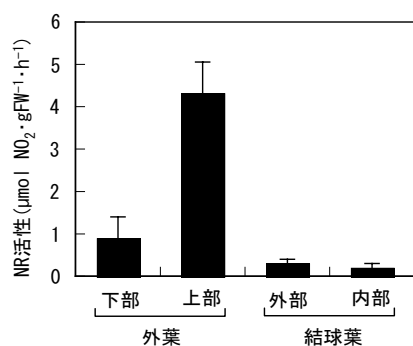


図-5 外葉および結球葉における硝酸還元酵素 (NR) 活性

図中の縦棒は標準誤差 (n=3) を示す。

### 3 外葉および結球葉のNR活性

外葉上部で最も高いNR活性が認められ、外葉下部のNR活性は上部の4分の1以下であった(図-5)。また、結球葉のNR活性はさらに低く、外部、内部ともその値は外葉上部の値の10分の1以下であった。

## IV 考察

本実験では、キャベツの株あたりのNf吸収量が、<sup>15</sup>N標識硝酸イオン施用後11日目には施用した量とほぼ同じ量に達し、その後は一定に推移した(図-2)。このことから、施用後11日目までには、施用した窒素のほぼ全てがキャベツに吸収されたものと推測される。そのため、施用後11日目以前の各部位におけるNf吸収量の変化については、土壌からの取り込みとキャベツ体内での移行の双方を、また、施用後11日目以降のNf吸収量の変化については、キャベツ体内での移行だけを反映していると考えられる。各部位のNf吸収量の変化をみると(図-2)、施用後4日目までは、他の部位に比べ外葉で大きく増加したものの、施用後11日目以降は減少に転じる一方で、結球葉ではさらに増加した。この結果から、結球期のキャベツでは、根から吸収されたNfの多くが外葉に取り込まれ、その後、外葉に取り込まれたNfは徐々に結球葉に移行したと推測される。一般に高等植物では、根から吸収されたイオンの茎葉部への移動は導管を通じて行われるが、その移動は主に蒸散流に支配されるため、蒸散の盛んな部位に多くのイオンが供給される(小畑ら, 1997)。結球期のキャベツの場合、表層の葉の一部しか露出していない結球葉に比べ、外葉は受光量が多く、蒸散も活発に行われ、このことが根から吸収された施用窒素の多くが外葉に取り込まれた一つの要因と推測された。

水耕栽培したコマツナに<sup>15</sup>N標識硝酸イオンを連続的に施用し、その間の施用窒素の分配特性を調査したKimら(2002)の報告では、まず根から吸収された施用窒素の多くが葉身の硝酸画分に取り込まれるものの、葉身での活発な光合成と窒素同化作用によって、硝酸イオンからアミノ酸や不溶性画分の主体となるタンパク質への代謝が行われるため、時間の経過とともに硝酸画分に蓄積する施用窒素の割合は他の画分に比べ少なくなることが認められている。本実験の結果もKimらの報告と同様であり、外葉では、硝酸画分のNf濃度の増加が<sup>15</sup>N標識硝酸イオンの施用直後は他の画分より速く、葉に取り込まれたNfの約8割を占めた。しかし、その後は硝酸画分のNf濃度やその構成比が減少に転じる一方で、不溶性画分でそれらの値が増加した(図-3)。さらに本実験では、外葉の上部と下部でNfの蓄積に違いが認められ、上部では硝酸画分のNf構成比が下部に比べ低く推移した。この要因としては、外葉の上部が下部に比べ硝酸イオンからタンパク質への同化作用が活発であったことが考えられるが、他にも結球葉など他の部位へのNfの師管転流が上部より下部で盛んであったために、不溶性画分に蓄積するNfが上部より下部で少なかったことも想定される。この点に関してHaraら(1982)は、結球期のキャベツで摘葉試験を行い、外葉下部の摘葉は上部の摘葉に比べ結球重に与える影響が小さく、外葉から結球葉への師管転流は外葉の下部より上部で盛んであることを指摘している。また、本実験では、硝酸イオンからアミノ酸への代謝の鍵酵素とされるNR活性が、外葉の下部に比べ上部で4倍以上高いことが認められた(図-5)。これらのことから、外葉の上部の硝酸画分のNf構成比が下部に比べ低かったのは、上部の硝酸同化作用が下部に比べ活発であったためと推測された。

次に、結球葉のNf濃度を抽出画分別にみると、全ての画分でNf濃度の増加が認められたが、特に<sup>15</sup>N標識硝酸イオン施用直後は、外葉と同様に他の画分に比べ硝酸画分のNf濃度の増加が速かったため、結球葉に取り込まれたNfの約8割が硝酸画分のNfで占められた(図-4)。前述したように施用後初期は、根からの吸収と体内での移行の双方がNfの分配に反映すると考えられる。そのため、結球葉の硝酸画分へのNfの主な移行経路としては、土壌中の硝酸イオンが根に吸収されて結球葉へ直接取り込まれる経路と、根から外葉を経て結球葉に師管転流する経路が想定される。キャベツと同種のブロッコリーでは、師管液を構成する窒素化合物の主体がグルタミン酸などのアミノ酸であり、硝酸イオンは師管液中

にほとんど含まれないことが報告されている (Liuら, 1993). この報告から, キャベツでも外葉から結球葉へ転流する硝酸イオンは少ないものと想定されることから, 施用後初期の硝酸画分のNf濃度の増加は, 主に根から吸収された硝酸イオンの結球葉への直接的な移行による可能性が高いと考えられた.

一方, 結球葉では, 外部, 内部ともにNR活性が外葉に比べ極めて低い値であったにもかかわらず, アミノ酸画分や不溶性画分のNf濃度は顕著に増加した (図-4). 図-2に示されるように外葉から結球葉へNfが移行していることを踏まえると, これらの画分のNf濃度の増加には, 外葉から結球葉への窒素の師管転流が大きく関わっているものと推測される. 特に結球葉の内部では外部に比べ不溶性画分のNfの濃度やその構成比が高いことが認められたが, このことは外葉からの転流される窒素の多くが結球葉の内部に取り込まれること示唆している. キャベツの結球葉は, 内部の葉ほど齢が若く, 細胞の分裂や肥大が盛んである. そのため, これらの活動に必要な窒素が内部の葉ほどより多く供給されているものと考えられた.

以上の結果から, 結球期のキャベツでは, 根から吸収された硝酸イオン由来窒素の多くが外葉に取り込まれ, その後外葉の窒素は結球葉へ徐々に師管転流すると考えられた. 結球葉のNR活性は外葉に比べ著しく低いことから, 結球葉のアミノ酸画分や不溶性画分への窒素の蓄積には, 外葉からの窒素の師管転流に大きく依存すると推測されたが, その一方で, 結球葉の硝酸画分への窒素の蓄積は, 根からの硝酸イオンの直接的な取り込みによる可能性が示唆された.

## V 摘要

$^{15}\text{N}$ 標識法を用いてキャベツの硝酸イオンの吸収と窒素の分配特性を調査した. ポット栽培した結球期のキャベツに $^{15}\text{N}$ で標識した硝酸カリウムを施用した. 施用直後は, 施用した硝酸イオンに由来する窒素 (Nf) の多くが外葉に取り込まれたが, 外葉のNf吸収量はその後減少した. 結球葉のNf吸収量は試験期間を通じて増加傾向にあった. 外葉では, 施用直後は取り込まれたNfのほとんどが硝酸画分に認められたが, その後は硝酸画分のNf濃度が減少する一方で不溶性画分のNf濃度が増加した. また, 外葉の下部では硝酸画分のNf構成比が上部に比べ高かった. 結球葉でも, 施用直後は取り込まれたNfのほとんどが硝酸画分に認められた. 結球葉で

はNR活性が外葉に比べ極めて低かったものの, 不溶性画分やアミノ酸画分のNf濃度はその後顕著に増加した. また, これらの画分のNf濃度の増加は外部より内部で大きかった. これらの結果から, 結球葉の硝酸イオンの蓄積は, 根から結球葉への硝酸イオンの取り込みに依存すると推測され, また, アミノ酸画分や不溶性画分への窒素の蓄積には, 外葉からの窒素の師管転流に大きく依存すると考えられた.

## 引用文献

- 1) Cataldo, D.A., Haroon, M., Schrader, L.E., Yougs, V.L. (1975) : Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 6, 71-80.
- 2) 壇 和弘・大和陽一・今田成雄 (2005) : 光強度および赤色光/遠赤色光比の違いがコマツナの硝酸イオン濃度および硝酸還元酵素活性に及ぼす影響. *園学研*, 4, 323-328. 2005.
- 3) Hara, T., Nakagawa, A., Sonoda, Y. (1982) : Effects of nitrogen supply and removal of outer leaves on the head development of cabbage plants. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 50, 481-486.
- 4) Kim, T.K., Takebe, M., Engelaar, W.M.H.G., Kim, H.Y., Yoneyama, T. (2002) : Interaction between assimilations of fixed carbon and newly absorbed nitrate estimated by $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  tracing in intact spinach. *J. Plant Nutr.*, 25, 1527-1547.
- 5) Kojima, M., Wu, S., Fukuki, H., Sugimoto, T., Nanmori, T., Oji, Y. (1995) : Phosphorylation/dephosphorylation of Komatsuna (*Brassica campestris*) leaf nitrate reductase in vivo and in vitro in response to environmental light conditions: effects of protein kinase and protein phosphatase inhibitors. *Physol. Plant*, 93, 139-145.
- 6) Liu, L., Shelp, B.J. (1993) : Nitrogen partitioning in greenhouse-grown broccoli in response to varying  $\text{NH}_4^+$ :  $\text{NO}_3^-$  ratios. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 24, 45-60.
- 7) Lillo, C. (1994) : Light regulation of nitrate reductase in green leaves of higher plants. *Physiol. Plant*, 90, 616-620.
- 8) 小畑 仁・茅野充男 (1997) : 個体における水とイオン. 茅野充男編, 物質の輸送と貯蔵. 61-82. 朝倉書店. 東京.
- 9) 大崎 満 (1990) : 植物体有機成分の粗分画と定量. 日本土壤肥料学会監修, 植物栄養実験法. 204-216. 博友社. 東京.
- 10) 大山卓爾 (1990) : タンパク質. 日本土壤肥料学会監修, 植物栄養実験法. 188-194. 博友社. 東京.
- 11) 孫 尚穆・米山忠克 (1996) : 野菜の硝酸, 作物体の硝酸の生理, 集積, 人の摂取. *農及園*, 71, 1179-1182.
- 12) Wien, H.C., Wurr, D.C.E. (1997) : Cauliflower, broccoli, cabbage and Brussels sprouts. In: Wein, H.C. (Ed.), *The Physiology of Vegetable Crops*. CABI Publishing, Cambridge, pp. 511-552.
- 13) 山田市二 (2002) : 野菜の硝酸. *食衛誌*, 43, 12-15.
- 14) 米山忠克・建部雅子 (1992) : アスコルビン酸 (ビタミンC) ・シュウ酸・硝酸の代謝と相互関係. *農及園*, 67, 1055-1062.

## Characteristics of Nitrate Uptake and Nitrogen Distribution in Cabbage at Head Developing Stage

Fumio Sato and Hisao Higashio

### Summary

The characteristics of nitrate uptake and nitrogen distribution were studied in cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) using the  $^{15}\text{N}$  tracer experiment. The  $^{15}\text{N}$  labeled potassium nitrate was applied to pot-grown cabbage plants at the head-developing stage. The N derived from the applied nitrate (Nf) was mostly incorporated into the vegetative leaves (VL) immediately after application, but the Nf amount in the VL decreased afterward. The Nf amount in the head leaves (HL) increased throughout the experiment. In the VL, most of the incorporated Nf was observed in the nitrate fraction immediately after application. Then, the Nf concentration in the nitrate fraction decreased, while those in the amino acid and insoluble fractions increased. The Nf distribution rate in the nitrate fraction was higher in the lower parts of the VL than in the upper parts. In the HL, as with the VL, most of the incorporated Nf was observed in the nitrate fraction immediately after application. Then, the Nf concentrations in the amino acid and insoluble fractions increased considerably, although the nitrate reductase activity of the HL was one-tenth lower than that of the VL. The increases in Nf concentrations in the these fractions was greater in the inner part of the HL than in the outer part. These results suggest that in the cabbage at the head developing stage there was an accumulation of reduced nitrogen in the HL that depended largely on nitrogen translocation from the VL; nitrate is incorporated directly into the HL from the roots.