

遮光下における結球期キャベツの硝酸イオンの吸収と窒素の蓄積特性

佐藤 文生・東尾 久雄*

(平成 25 年 10 月 4 日受理)

Characteristics of Nitrate Uptake and Nitrogen Accumulation in Cabbage under Shade at Head Developing Stage

Fumio Sato and Hisao Higashio

I 緒 言

野菜類の多くは生育に必要な窒素を主に硝酸イオンの形態で根から吸収するため、野菜の体内には硝酸イオンが蓄積しやすい。硝酸イオンは人体に摂取されると有害な亜硝酸イオンになり、さらに発ガン性のあるニトロソアミンが生成されることが知られている(山下, 2002)。一方、野菜の体内に蓄積した硝酸イオンは、亜硝酸イオン、アンモニアと還元され、さらにはアミノ酸やタンパク質へと同化される(米山・建部, 1992)。これらの窒素同化産物は、野菜の生育に不可欠な成分であることはもとより、野菜の栄養価や食味にも関係する。したがって、高品質で安心な野菜を消費者に提供していくためには、様々な栽培環境下における野菜の硝酸イオンの吸収や同化、窒素の蓄積特性を把握することが重要である。

野菜の硝酸イオン濃度の低減化については、これまで主にホウレンソウやリーフレタス、コマツナといった硝酸イオンを比較的高濃度に含む品目(孫・米山, 1996)を対象に研究が行われてきた。これらの野菜では、体内の硝酸イオン濃度は、その吸収量と同化量のバランスによって変動し(Yoneyama ら, 1987; Kim ら, 2002)、過剰な窒素施用により、植物の硝酸イオン吸収量が増加すると、体内の硝酸イオン濃度も増加することが知られている(建部ら, 1995)。このため、生育量に応じた適

量施肥や収穫前の窒素施用中断といった肥培管理による硝酸イオン濃度の低減化が試みられてきた(山崎, 2005; 岡崎ら, 2006; 加藤ら, 2008)。一方、硝酸イオンの同化には、硝酸イオンから亜硝酸イオンへの反応を触媒する硝酸還元酵素(Nitrate reductase: 以下, NR と略す)が一連の代謝を律速する鍵酵素とされている(Lillo, 1994)。NRの活性は光条件と密接に関係し、光量低下によって不活性化し、量的にも減少する(Kojima ら, 1995)。このため、体内の硝酸イオン濃度は、日中よりもNRの活性が低下する夜間で高く(藤倉・杉山, 2004)、また、光強度の低下(Cantliffe, 1972a)や日照時間の短縮(Cantliffe, 1972b)によって増加することが知られている。

ところで、キャベツなどの結球性野菜では、食用部位である結球の内部には光がほとんど届かないため、主に外葉が結球に光合成産物を供給する役割を担う(Wien・Wurr, 1997)。このような形態的な特徴から、キャベツの硝酸イオンの蓄積や同化に及ぼす光の影響は、光合成器官と食用部位が同一である野菜類とは異なると考えられる。結球性野菜については、施肥窒素量の増加や追肥時期の遅れにより結球中の硝酸イオン濃度が上昇することがハクサイ(上園・餅田, 2007)やキャベツ(清水ら, 2005)で知られているが、光条件と硝酸イオンや窒素同化産物の蓄積との関係については明らかではない。

そこで本研究では、結球期のキャベツを異なる遮光率で遮光し、さらに¹⁵Nで標識した硝酸イオンを施用して、遮光中における施用窒素の吸収量と各部位への蓄積を窒素の形態別に調査した。また、体内の硝酸イオン濃度とNR活性についても調査を加え、遮光下におけるキャベツの硝酸イオンの吸収と窒素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

キャベツの育苗と栽培は、最低気温15°Cに設定した野菜茶業研究所内のガラス室（茨城県つくば市）で行った。2004年1月30日に、慣行法に準じて128穴セルトレイで1ヶ月間育苗したキャベツ（*Brassica oleracea* L. var. *capitata*）品種‘金系201号’（サカタのタネ）の苗を、黒ボク土壌を詰めた1/2000aワグネルポットに移植した。基肥として、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:P₂O₅:K₂O = 14:12:14）を、窒素量で6g/ポットとなるように移植前の土壌に混和した。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、ポットの底穴から流出した水は、鉢皿で受けて回収し、再び灌水した。

2 遮光処理と¹⁵N標識硝酸イオンの施用

結球の重量が約0.9kg/株に達した2004年4月11日（移植後71日目）に、黒色寒冷紗（ダイオネット、ダイオ化成）をワイヤーでつり下げて株に触れないように展開し、株全体を遮光した。処理区として、遮光率50%および90%の寒冷紗で遮光して栽培した50%遮光区および90%遮光区に加え、対照として遮光せずに栽培した0%区の3区を設けた。遮光開始直後に¹⁵Nで標識した硝酸カリウム（10.3 atom %、昭光通商）を2.16g/ポット（0.3gN/ポット）の量で100mLの蒸留水に溶解して施用した。処理個体数はいずれの区も1区当たり10株とした。

3 株のサンプリング

遮光処理4日目および9日目にキャベツの地上部をそれぞれ1区当たり5株採取した。採取したキャベツは、外葉と結球に分割し、さらに、外葉については、外葉全体の重量の3~4割を占める上位4枚の若い葉（外葉上位）とそれより下位にある残りの葉（外葉下位）お

よび茎に分けた。また、結球については、結球全体の重量の約3割を占める表層の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。各部位の重量を秤量後、1cm四方に裁断して均一に混ざるように攪拌し、20g~30gを分取して液体窒素で凍結し、-20°Cおよび-80°Cで保存した。

4 ¹⁵Nの分析

遮光処理4日目と9日目に採取した全ての部位の凍結試料を凍結乾燥後、振とう粉碎機（TI-100、シー・エム・ティ）で粉末状に粉碎した。その粉末試料の一部を窒素量で100μg~200μgとなるように分取してスズカプセルに封入し、安定同位体比分析装置（Delta Plus XP, Thermo Finnigan）を用いて、乾物当たり窒素濃度と¹⁵N atom %を測定した。各部位における施用硝酸カリウムに由来する窒素（以下、Nfと略す）の乾物当たり濃度を式（1）により算出し、各部位の乾物重との積から株のNf吸収量を求めた。

各部位のNf濃度（mg/g DW）=各部位の¹⁵N atom % excess/施用硝酸カリウムの¹⁵N atom % excess ×各部位の窒素濃度（mg/g DW）・・・（1）

$$^{15}\text{N atom \% excess} = ^{15}\text{N atom \%} - ^{15}\text{N 天然存在率 (0.367\%)}$$

また、外葉の上位と下位、結球の外部と内部については、前報（佐藤・東尾，2009）の抽出方法に従って、各部位に含まれるNfを硝酸イオン、遊離アミノ酸、不溶性窒素として抽出される画分（硝酸画分、アミノ酸画分、不溶性画分）に分けた。それぞれの抽出画分に含まれる窒素の濃度と¹⁵N atom % excessを測定し、各画分の乾物当たりNf濃度を式（2）により算出した。

各画分のNf濃度（mg/g DW）=各画分の¹⁵N atom % excess/施用硝酸カリウムの¹⁵N atom % excess ×各画分の窒素濃度（mg/g DW）・・・（2）

5 硝酸イオン含量とNR活性の測定

9日目に採取した外葉の上位と下位、結球の外部と内部について、硝酸イオン濃度とNR活性を測定した。硝酸イオン濃度については、凍結乾燥後の粉末試料約10mgを70°Cの蒸留水10mLで1時間熱水抽出し、抽出液中の硝酸イオン濃度をイオンクロマトグラフ（ICS-90、

DIONEX) で測定した。NR 活性については、 -80°C で凍結保存した試料を用いて、壇ら (2005) の方法に従ってリン酸化された NR を含む全 NR の活性を測定した。

III 結 果

1 株の生育と Nf の吸収

遮光処理期間の天候については、処理後 3 日目、4 日目および 8 日目で曇天となったが、それ以外の日は概ね良好で、この間の屋外の平均日積算日射量は、遮光処理 4 日目までで $14.4\text{MJ}/\text{m}^2$ 、9 日目までで $20.0\text{MJ}/\text{m}^2$ であった。

遮光 4 日目では、外葉、結球とも乾物重に有意な処理区間差は認められなかったが、9 日目になると結球の乾物重が 90% 区で他区より少なくなった (表 1)。

株の Nf 吸収量は、4 日目、9 日目とも 0% 区に比べ 50% 区と 90% 区で少なかった (表 2)。4 日目では 50%

表 1 遮光率 90% および 50% の遮光がキャベツの乾物重に及ぼす影響

処理日数	遮光率	乾物重 (g/株)	
		外葉	結球
4 日目	90%	57.4a ^z	65.8a
	50%	52.5a	69.7a
	0%	61.2a	74.6a
9 日目	90%	54.6a	62.5b
	50%	58.7a	81.9a
	0%	61.0a	79.4a

^z同一列の異なるアルファベットは、各処理後日数内において Tukey の多重検定により 5% レベルで有意差があることを示す

区と 90% 区の間には Nf 吸収量に有意な差が認められなかったが、9 日目になると、その値が 50% 区より 90% 区で小さくなった。また、結球内部では遮光によって乾物当たりの Nf 濃度が低下したが、それ以外の部位では Nf 濃度に有意な処理区間差が認められなかった。

2 各抽出画分の Nf 濃度

外葉下位では、遮光 4 日目において、硝酸画分の Nf 濃度に有意な差は認められなかったが、アミノ酸画分と不溶性画分の Nf 濃度は遮光によって低下した (図 1)。9 日目も 4 日目とほぼ同様に、アミノ酸画分と不溶性画分の Nf 濃度は遮光によって低下する傾向を示したが、硝酸画分の Nf 濃度は、9 日目になると 90% 区と 50% 区で 0% 区より増加した。外葉上位では、遮光 4 日目において、遮光率が高いほど硝酸画分の Nf 濃度は増加し、アミノ酸画分と不溶性画分の Nf 濃度は低下した (図 2)。9 日目も 4 日目とほぼ同様の傾向が認められ、硝酸画分の Nf 濃度は 90% 区で 0% 区より高かったが、アミノ酸画分と不溶性画分の Nf 濃度は 90% 区で 0% 区より低い値を示した。

結球外部では、4 日目、9 日目ともに、硝酸画分の Nf 濃度には遮光による影響が認められなかったが、アミノ酸画分の Nf 濃度は遮光によって低下した (図 3)。また、不溶性画分の Nf 濃度も有意な処理区間差は認められなかったが ($p > 0.05$)、アミノ酸画分の Nf 濃度と同様に遮光によって低下する傾向にあった。結球内部でも、硝酸画分の Nf 濃度については 4 日目、9 日目ともに遮光による影響が認められなかった。しかし、アミノ酸画分と不溶性画分の Nf 濃度は、4 日目、9 日目とも遮光によって低下し、9 日目には遮光率が大きいほどこれらの

表 2 遮光率 90% および 50% の遮光がキャベツの ^{15}N 標識硝酸イオン由来窒素 (Nf) の吸収に及ぼす影響

処理日数	遮光率	Nf 吸収量 (mg/株)	Nf 濃度 (mg/gDW)					
			外葉下位	外葉上位	結球外部	結球内部	茎	芯
4 日目	90%	127.3b ^z	1.77a	1.43a	0.35a	0.56b	1.45a	4.64a
	50%	128.5b	1.81a	1.71a	0.31a	0.37b	1.30a	3.50a
	0%	201.6a	2.03a	2.02a	0.40a	1.27a	1.41a	4.95a
9 日目	90%	168.7c	1.73a	2.31a	0.38a	0.79c	2.06a	5.41a
	50%	245.8b	2.10a	2.46a	0.34a	1.52b	2.11a	5.70a
	0%	308.6a	1.96a	2.69a	0.62a	2.65a	1.98a	5.26a

^z同一列の異なるアルファベットは、各処理後日数内において Tukey の多重検定により 5% レベルで有意差があることを示す

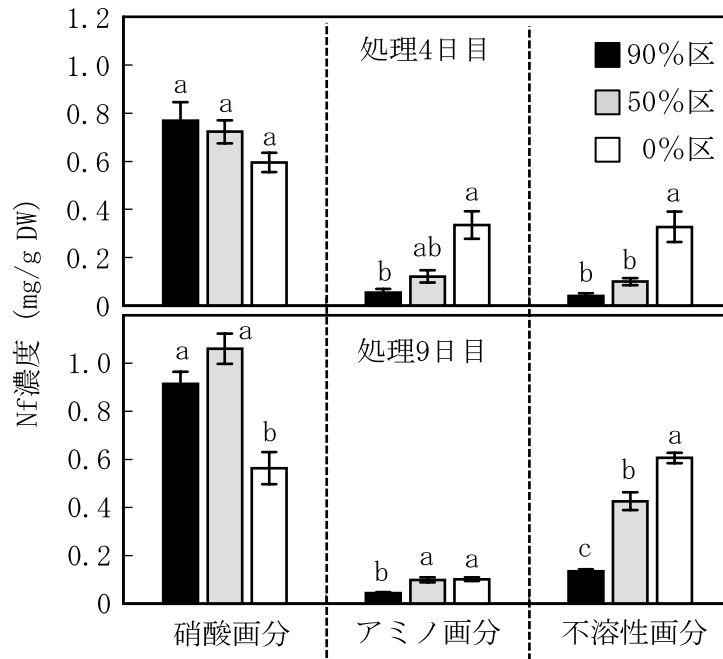


図-1 遮光率90%および50%の遮光がキャベツ外葉下位の硝酸画分、アミノ酸画分、不溶性画分に含まれる¹⁵N標識硝酸イオン由来窒素(Nf)濃度に及ぼす影響
各抽出画分内の異なる大英文字間に5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定)。
縦棒は標準誤差(n=5)を示す

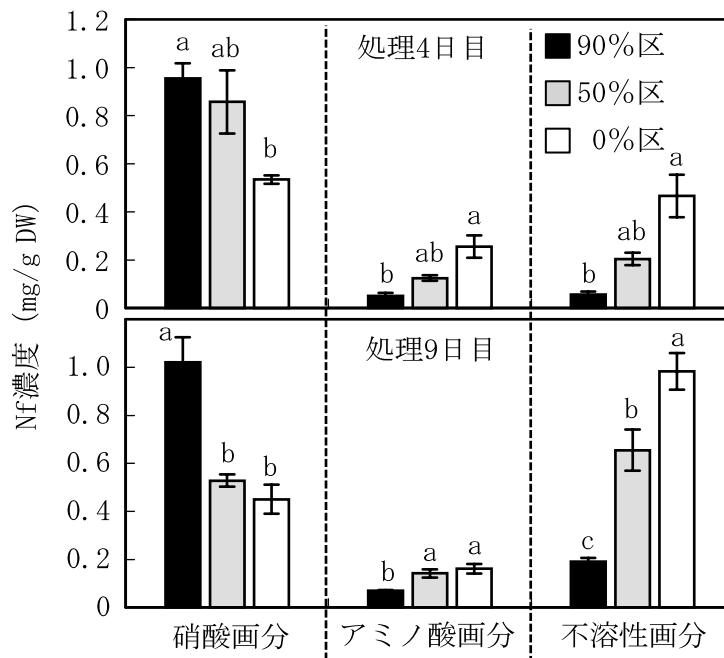


図-2 遮光率90%および50%の遮光がキャベツ外葉上位の硝酸画分、アミノ酸画分、不溶性画分に含まれる¹⁵N標識硝酸イオン由来窒素(Nf)濃度に及ぼす影響
各抽出画分内の異なる大英文字間に5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定)。
縦棒は標準誤差(n=5)を示す

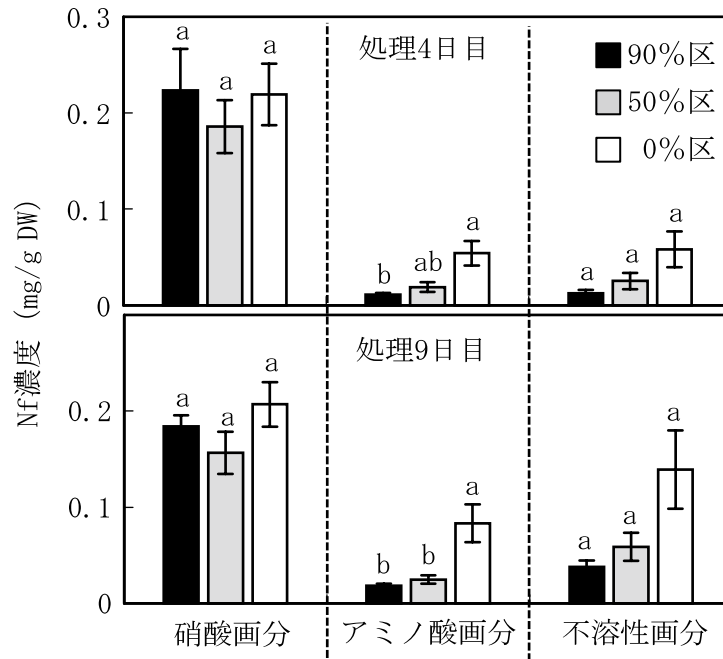


図-3 遮光率90%および50%の遮光がキャベツ結球外部の硝酸画分、アミノ酸画分、不溶性画分に含まれる¹⁵N標識硝酸イオン由来窒素(Nf)濃度に及ぼす影響。各抽出画分内の異なる大英文字間に5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定)。縦棒は標準誤差(n=5)を示す。

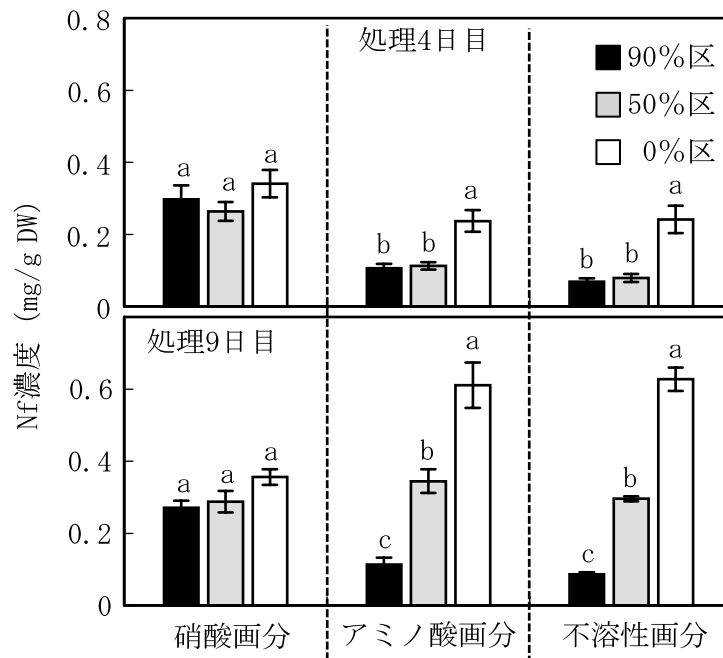


図-4 遮光率90%および50%の遮光がキャベツ結球内部の硝酸画分、アミノ酸画分、不溶性画分に含まれる¹⁵N標識硝酸イオン由来窒素(Nf)濃度に及ぼす影響。各抽出画分内の異なる大英文字間に5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定)。縦棒は標準誤差(n=5)を示す。

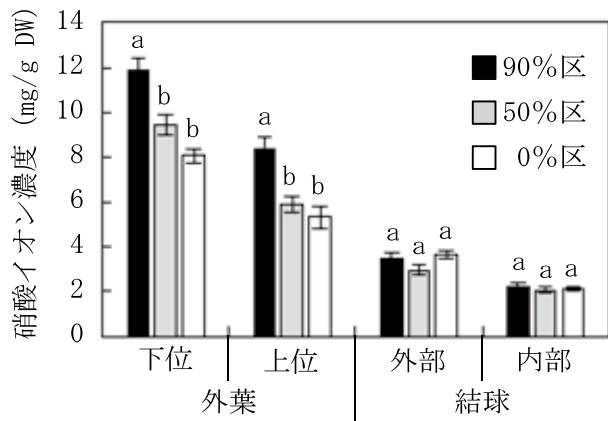


図-5 遮光率90%および50%の遮光がキャベツの硝酸イオン濃度に及ぼす影響(処理9日目) 各抽出画分内の異なる大英文字間に5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定). 縦棒は標準誤差(n=5)を示す

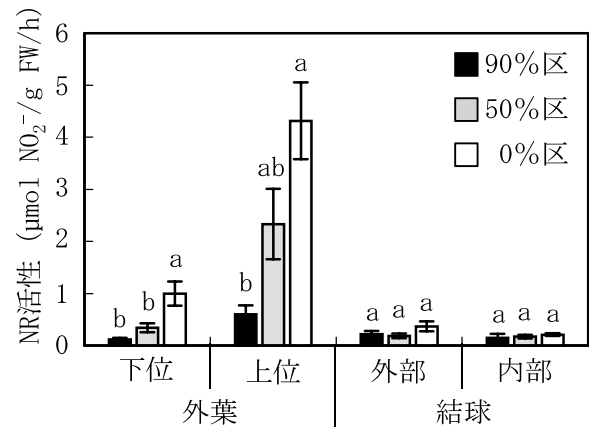


図-6 遮光率90%および50%の遮光がキャベツの硝酸還元酵素(NR)活性に及ぼす影響(処理9日目) 各抽出画分内の異なる大英文字間に5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定). 縦棒は標準誤差(n=5)を示す

値が小さくなった(図4).

3 硝酸イオン濃度

遮光処理9日目の外葉の硝酸イオン濃度は、下位、上位とも90%区で他区より高い値を示した(図5)。一方、結球の硝酸イオン濃度は、外部、内部とも有意な処理区間差が認められなかった。

4 NR活性

遮光処理9日目のNR活性は、全般的に外葉の上位で他の部位より高い値を示した(図6)。外葉では下位、上位とも遮光率が高いほどNR活性が低くなる傾向を示したのに対し、結球では外部、内部ともにNR活性に有意な処理区間差が認められなかった。

IV 考 察

本実験では、90%、50%いずれの遮光率においても遮光4日目には、株のNf吸収量が低下することが認められた。光は植物の硝酸イオンの吸収に影響する主要な外部環境で、日周変動のような短期的な明暗の変化に対しても、その吸収量は敏感に反応して増減することが知られている(Yoneyama et al., 1987)。光強度の低下に伴って植物の硝酸イオン吸収量が低下する理由としては、根から茎葉部への硝酸イオンの移動の原動力となる導管内の蒸散流が、気孔の閉鎖によって低下すること(小畑・茅野, 1997)に加え、根による硝酸イオンの能動的

な取り込みに必要な光合成産物の供給が不足することが挙げられている(谷田沢, 1980)。遮光4日目においては、遮光した株の乾物重が無遮光のものとの差がなかったものの、すでに上述のような生理的な変化が生じていたと推測され、このために株のNf吸収量が低下したと考えられた。

また、本実験では遮光によってNf吸収量が低下した株では、受光部位である外葉でNf濃度に遮光の影響がみられなかった一方、光がほとんど当たらない結球内部でその値が遮光により低下した。このときのNf濃度を抽出画分別にみると、外葉では、遮光により不溶性画分とアミノ酸画分のNf濃度は低下したが、硝酸画分のNf濃度は増加する傾向にあった。このため、外葉のNf濃度に遮光の影響がみられなかった一因には、これらの抽出画分におけるNf濃度の増減の違いにより、全体として遮光の影響が相殺されたことがあると考えられた。一方、結球内部では、不溶性画分とアミノ酸画分のNf濃度は遮光によって低下したが、硝酸画分のNf濃度には遮光の影響が認められなかった。このことから、結球内部で認められた遮光によるNf濃度の低下は、主にこれら2つの抽出画分のNf濃度の低下によって引き起こされたものと考えられた。

筆者らは、¹⁵N標識法を用いて結球期キャベツの窒素転流を解析した既報(佐藤・東尾, 2009)において、硝酸イオンとして施用した窒素の多くがまず外葉に取り込まれ、その後数日間かけて結球内部に転流することを確認している。また、このとき、結球内部では、アミノ酸

画分や不溶性画分に蓄積する施用窒素の割合が、外葉からの施用窒素の転流量の増加に伴って増加することも確認している。これらのことから、結球期のキャベツでは外葉から結球内部への窒素同化産物の転流が活発に行われていることが示唆される。本実験では、硝酸イオンの同化作用の鍵酵素となる NR の活性が、各部位の中で外葉上位で最も高く、結球内部では外葉上位に比べると僅かであった。また、外葉上位の NR 活性の低下に応じて、結球内部のアミノ酸画分と不溶性画分の Nf 濃度が低下した。これらのことから、結球内部への窒素同化産物の蓄積は外葉上位の硝酸イオンの同化作用とその後の結球への窒素転流に大きく依存するものと考えられた。

植物体内の硝酸イオン濃度と光条件との関係については、光量低下によって NR 活性が低下するために、硝酸イオン濃度が増加することがハウレンソウ（福田ら、1999）やコマツナ（壇ら、2005）で報告されている。本実験においても、外葉では、遮光によって硝酸イオン濃度や硝酸画分の Nf 濃度が増加し、コマツナやハウレンソウと同様の光条件に対する反応が認められた。しかし、結球では、硝酸イオン濃度、硝酸画分の Nf 濃度のいずれもが遮光による影響を受けなかった。このことから、キャベツでは体内の硝酸イオン濃度に及ぼす光条件の影響は外葉と結球で異なることが示唆された。この点について筆者らは、既報（佐藤・東尾、2009）において結球の硝酸画分への施用窒素の蓄積は、硝酸イオン施用直後の根が硝酸イオンを吸収する時期に起こることを認めている。また、キャベツと同種のプロッコリーでは、師管液に含まれる窒素成分のほとんどはグルタミン酸などの遊離アミノ酸で、師管液に含まれる硝酸イオンは微量であることが示されている（Liu・Shelp, 1993）。このため、硝酸イオンの結球への移行経路としては、外葉を経由せずに、主に導管を通じて根から直接結球へ運ばれる可能性が高い。この場合、結球に蓄積した硝酸イオンには、遮光によって低下した外葉の NR 活性の影響は及ばないことになる。また、結球外部、内部とも NR 活性は外葉上位の値に比べると弱く、遮光の影響を受けなかった。このことを踏まえると、根から結球に直接移行して蓄積した硝酸イオンの同化量は僅かで、株全体が遮光下におかれてもその同化量はほとんど変化しないものと推測される。このようなキャベツ体内における硝酸イオンの移行経路と NR 活性の部位による違いによって、結球では硝酸イオン濃度や硝酸画分の Nf 濃度に遮光の影響が及ばなかったものと考えられた。

以上の結果から、結球期にキャベツの受光量が低下す

ると、硝酸イオンの蓄積量にはほとんど影響がない一方で、アミノ酸や不溶性窒素といった窒素同化産物への代謝量は低下することが明らかとなった。キャベツの結球には、遊離アミノ酸としてうま味を呈するグルタミンやグルタミン酸、アスパラギン酸が多く含まれる（矢野・小濱、1983）。このため、結球期に受光量が低下すると、これらの成分量の低下によって結球の食味が損なわれる可能性がある。実際のキャベツ栽培では、曇天や隣接する株同士の相互遮蔽によって株の受光量が低下することが多い。このような条件においては、結球における硝酸イオンよりも窒素同化産物の蓄積量の変化に注意を払う必要がある。本実験では、結球の窒素同化産物の蓄積には外葉上位における硝酸イオンの同化作用の寄与が大きいことが示唆された。このため、結球中の窒素同化産物の蓄積量を高く維持するためには、株間の拡大や開張性品種の活用などといった外葉の光環境の改善が有効な対策になるものと考えられる。これらの効果については、今後さらに検討する必要がある。

V 摘 要

¹⁵N 標識法を用いて遮光下におけるキャベツの硝酸イオンの吸収と窒素の分配特性について調査した。ポット栽培した結球期のキャベツを黒色寒冷紗で遮光し、さらに ¹⁵N で標識した硝酸イオンを施用した。株の施用硝酸イオン由来窒素 (Nf) の吸収量は遮光によって減少した。外葉では、遮光により硝酸画分の Nf 濃度は増加し、アミノ酸画分、不溶性画分の Nf 濃度は減少した。結球では、遮光によりアミノ酸画分と不溶性画分の Nf 濃度は減少したが、硝酸画分の Nf 濃度には遮光の影響が認められなかった。外葉の硝酸イオン濃度は遮光により増加したが、結球の硝酸イオン濃度には遮光の影響が認められなかった。外葉上位の硝酸還元酵素 (NR) 活性は他の部位に比べ高く、その値は遮光によって低下した。一方、結球の NR 活性には遮光の影響が認められなかった。これらの結果から、キャベツの結球では、受光量が低下しても硝酸イオン蓄積への影響はないものの、窒素同化産物の蓄積は受光量の低下により抑制されると考えられる。結球における窒素同化産物の蓄積は外葉上位での硝酸同化作用と密接な関係があることから、キャベツの品質向上のためには、この部位の光環境の改善が重要と考えられる。

引用文献

- 1) Cantliffe, D. J. (1972a): Nitrate accumulation in spinach grown under different light intensities. *J. Amer. Soc. Hort.*, **97**, 152-154.
- 2) Cantliffe, D. J. (1972b): Nitrate accumulation in vegetable crops as affected by photoperiod and light duration. *J. Amer. Soc. Hort.*, **97**, 414-418.
- 3) 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イオン還元活性に及ぼす影響. *園学研*, **4**, 323-328.
- 4) 藤倉潤治・杉山 裕 (2004): タどり収穫方法を活用したホウレンソウ等の硝酸塩濃度低減化. 平成16年度北海道農業研究成果情報.
- 5) 福田直也・宮城 慎・鈴木洋二・池田英男・高柳謙治 (1999): 深夜照明と培養液からのNO₃⁻除去がホウレンソウの生育と苦笑の汁液中NO₃⁻濃度に及ぼす影響. *園学雑*, **68**, 146-151.
- 6) 加藤一幾・植田稔宏・松本英一 (2008): 黒ボク土地域の高温期コマツナ施設栽培における可食部硝酸イオン濃度の低減化. *園学研*, **7**, 345-350.
- 7) Kim, T. K., M. Takebe, W. M. H. G. Engelaar, H. Y. Kim, and T. Yoneyama (2002): Interaction between assimilations of fixed carbon and newly absorbed nitrate estimated by ¹³C and ¹⁵N tracing in intact spinach. *J. Plant Nutr.*, **25**, 1527-1547.
- 8) Kojima, M., S. Wu, H. Fukuki, T. Sugimoto, T. Nanmori and Y. Oji (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. *Physiol. Plant.*, **93**, 139-145.
- 9) Liu, L., Shelp, B. J. (1993): Nitrogen partitioning in greenhouse-grown broccoli in response to varying NH₄⁺: NO₃⁻ ratios. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **24**, 45-60.
- 10) Lillo, C. (1994): Light regulation of nitrate reductase in green leaves of higher plants. *Physiol. Plant.*, **90**, 616-620.
- 11) 小畑 仁・茅野充男 (1997): 個体における水とイオン. 茅野充男編, 現在植物生理学 5 物質の輸送と貯蔵, pp.61-52. 朝倉書店, 東京.
- 12) 岡崎圭毅・建部雅子・唐澤敏彦 (2006): ホウレンソウにおける汁液硝酸イオン濃度の推移および糖・シュウ酸含有率に対する養液土耕栽培の効果. *土肥誌*, **77**, 25-32.
- 13) 佐藤文生・東尾久雄 (2009): 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. *野菜茶研研報*, **8**, 7-13.
- 14) 清水知子・長屋浩治・恒川 歩・矢部和則・今川正弘 (2005): 窒素の施用時期及び形態がキャベツの硝酸イオン濃度に及ぼす影響. *愛知農総試研報*, **37**, 87-91.
- 15) 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.
- 16) 建部雅子・石原俊幸・松野宏治・藤本順子・米山忠克 (1995): 窒素施用がホウレンソウとコマツナの生育と糖, アスコルビン酸, 硝酸, シュウ酸含有率に与える影響. *土肥誌*, **66**, 238-246.
- 17) 上園一郎・餅田利之 (2007): ハクサイにおける硝酸イオンの蓄積に対する窒素施肥の影響. *鹿児島農総セ研報 (耕種)*, **1**, 37-47.
- 18) Wien, H. C., Wurr, D. C. E. (1997): Cauliflower, broccoli, cabbage and Brussels sprouts. In: Wein, H. C. (ed.), *The physiology of vegetable crops*. pp.511-552, CABI Publishing, Cambridge.
- 19) 山下市二 (2002): 野菜の硝酸. *食衛誌*, **43**, J12-J15.
- 20) 山崎晴民 (2005): ホウレンソウ, コマツナの硝酸含量の特別実態と施肥管理による低減化. *埼玉農総研研報*, **4**, 25-31.
- 21) 矢野昌充・小濱節雄 (1983): 野菜の品質に及ぼす影響 (4) IV キャベツの遊離アミノ酸組成・含量. *野菜試報*, **A.11**, 57-69.
- 22) 谷田沢道彦 (1980): 養分の吸収に及ぼす環境条件. 高橋英一編, 新版作物栄養学, pp.94-103. 朝倉書店, 東京.
- 23) Yoneyama, T., T. Yamada and M. Yamagata (1987): Nitrate reduction and partitioning of nitrogen in komatsuna (*brassica campestris* L var *rapa*) plants - compartment analysis in combination with N-15 tracer experiments. *Plant Cell Physiol.*, **28**, 679-696.
- 24) 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 Accumulation in Cabbage under Shade at Head Developing Stage

Fumio Sato and Hisao Higashio

Summary

We studied nitrate uptake and nitrogen accumulation in cabbages grown in pots under shade. Cabbages at the head developing stage were covered by 50% or 90% black shade cloth and fed with ^{15}N -labeled potassium nitrate. Shading decreased the uptake of N derived from the nitrate feeding (Nf) relative to the unshaded control. In the outer leaves, shading increased the Nf content of the nitrate fraction and decreased those of the amino acid and insoluble-N fractions. In the heads, shading did not affect the Nf content of the nitrate fraction, but it decreased those of the amino acid and insoluble-N fractions. Shading increased the nitrate content in the outer leaves but had no effect in the heads. Shading decreased the activity of nitrate reductase (NR) in the outer leaves, especially in the upper position of those leaves, but did not affect NR activity in the heads, which was feeble compared with that in the outer leaves. These results suggest that shading has no effect on the accumulation of nitrate, but it diminishes the accumulation of assimilated N in the heads. In the upper position of the outer leaves, the involvement of NR activity in the accumulation of assimilated N indicates the importance of light conditions in this part to the quality of cabbage heads.