

## 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

壇 和弘<sup>1\*</sup>・大和陽一<sup>1</sup>・今田成雄<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州沖縄農業研究センター野菜花き研究部 839-8503 久留米市御井町

<sup>2</sup>東北農業研究センター総合研究部 020-0198 盛岡市下厨川

### Effects of Light Intensity and Red/Far-red Photon Flux Ratio on Nitrate Concentration and Nitrate Reductase Activity in Komatsuna

Kazuhiro Dan<sup>1\*</sup>, Yoichi Yamato<sup>1</sup> and Shigeo Imada<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, Kurume, Fukuoka 839-8503

<sup>2</sup>National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Iwate 020-0198

#### Summary

The effects of light intensity and altered red (R)/far-red (FR) photon flux ratio on nitrate concentration and nitrate reductase (NR) activity in komatsuna (*Brassica campestris* L. cv. 'Harumi komatsuna' and 'Rakuten') were investigated. Komatsuna was hydroponically grown in full or half strength nutrient solution under different light intensities (PPFD of 165, 290, 350 and 510  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) and different R/FR ratios (1.01: control, 0.66: R-intercepted and 1.50: FR-intercepted) conditions. When komatsuna was grown under different light intensities, the nitrate concentration in 'Harumi komatsuna' was decreased with increases in light intensity, and the actual NR activity was increased with increase in light intensity. In 'Rakuten', the nitrate concentration was decreased and the actual NR activity was increased by increased light intensity at half strength nutrient solution. At full strength nutrient solution, the nitrate concentration was hardly decreased and the actual NR activity did not change with increase in light intensity. When komatsuna was grown under different R/FR ratio conditions, reduction of nitrate concentration was observed only in R-intercepted-treated komatsuna grown with half strength nutrient solution.

キーワード： 光強度, コマツナ, 赤色光/遠赤色光比, 硝酸イオン, 硝酸還元酵素

#### 緒言

硝酸イオンの多量摂取は体内で人体に有害な亜硝酸イオンやニトロソ化合物の生成をもたらす危険があると考えられている (Sohar・Domoki, 1980). そのため, 硝酸イオンの摂取量をできるだけ低く抑えることが望ましい. 我が国での硝酸イオンの摂取量のおよそ80%以上は野菜に由来しており (孫・米山, 1996), 野菜の硝酸イオン濃度を低下させることが望まれている.

野菜の硝酸イオン濃度には, 施用窒素濃度が大きく影響を及ぼす. そのため, 野菜の硝酸イオン濃度を低下させるためには, 過剰な窒素施用を避けることが重要であるが, 生育や収量を確保しつつ, 必要最低量だけの窒素を施用することは難しい. 一方, 硝酸同化を律速している酵素は硝酸還元酵素 (NR) であることから, 窒素の過剰

施用を避けること以外に, NRの活性を高く保つことも硝酸イオン濃度低下のためには有効と考えられる.

植物を暗条件下に置くと, NR活性は直ちに低下し, 明条件下に戻すと直ちに回復することが報告されている (Remmler・Campbell, 1986) ことなどから, NR活性は光環境の影響を強く受けるものと考えられる. 遮光条件下でコマツナを生育させると硝酸イオン濃度が高まるという報告 (Yazawaら, 1986) と考え合わせると, 遮光による硝酸イオン濃度の上昇は硝酸還元酵素活性の低下が主な原因であると考えられる.

一方, 自然光に比べ赤色光 (R) (600~700 nm)/遠赤色光 (FR) (700~800 nm) の光量子束比 (R/FR比) を変化させた光環境は植物の成長に影響を与えることが知られている (Smith, 1982; 村上ら, 1992a). このことから, 近年, R/FR比を変化させるフィルム等の資材の開発 (村上ら, 1995) も進んでおり, このような光質変換資材の農業分野での活用が期待されている. しかし, R/FR比の異なる環境下で生育させた野菜について硝酸イオン濃度やNRの

2004年12月2日 受付. 2005年3月4日 受理.

\* Corresponding author. E-mail: kdan@affrc.go.jp

活性を調査し、報告したものはない。

これらのことから、本研究は、硝酸イオン濃度が高い野菜の一つであるコマツナについて、硝酸イオン濃度および硝酸還元酵素活性に及ぼす光強度および R/FR 比の変更の影響について調査した。

### 材料および方法

コマツナ (*Brassica campestris* L.) ‘楽天’ (タキイ種苗) および ‘はるみ小松菜’ (トーホク) を実験に用いた。コマツナの育成は全て、陽光ランプを光源としたグロスチェンバー (コイトトロン 3HN-35DA 特殊型, 小糸製作所) 内で行った。種子をセル育苗専用培養土 (プリティーソイルゴールド N-140, 大塚産業, 培地 1 liter 当たり N 130~150 mg, P 2000~2500 mg, K 70~100 mg) を詰めた 288 穴セルトレイに播種し, 明期 25°C, 暗期 20°C, 12 時間日長, 光合成有効光量子束密度 (PPFD) 290  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$  の環境下で 10 日間育苗した。育苗した苗 (両品種とも本葉 1 枚が展開) を移植して養液栽培した。養液栽培は, 樹脂製コンテナ (60 × 37.5 × 7.5 cm) に, 大塚 A 処方 の 1/2 単位 (硝酸態 N 8.3, アンモニア態 N 0.8, P 2.55, K 4.3  $\text{me}\cdot\text{liter}^{-1}$ ) および 1 単位 (硝酸態 N 16.6, アンモニア態 N 1.6, P 5.1, K 8.6  $\text{me}\cdot\text{liter}^{-1}$ ) の培養液 8 liter を入れ, そこに約 10 cm 間隔に穴を開けた発泡スチロール板を浮かせ, 穴に苗をポリウレタンフォームで固定し, エアポンプを用いて培養液に連続通気した。培養液は 3 日ごとに更新した。

養液栽培開始時から光強度あるいは R/FR 比を変更した条件下で 1 処理区当たり 25 個体栽培した。

#### 実験 1. 光強度の影響

PPFD を 165, 290, 350 および 510  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$  (以下 PPFD 165 区, PPFD 290 区, PPFD 350 区, PPFD 510 区と略す) の 4 段階に変えて試験した。光強度は, 点灯させる陽光ランプの数と光源からの距離を変えることで調整した。なお, 温度・日長条件は明期 25°C, 暗期 20°C, 12 時間日長とした。

#### 実験 2. R/FR 比変更の影響

R/FR 比を変化させるために, R 抑制区, FR 抑制区, および対照区用の 3 種類のアクリル樹脂板 (三井化学) を使用した。資材の分光特性は波長別光エネルギー分析器 (LI-1800C, ライカー社) で計測した。これらの資材透過光の R/FR (600~700 nm/ 700~800 nm) 比は対照区で 1.01, R 抑制区で 0.66, FR 抑制区で 1.50 であった。各区とも光源からの距離を調整し, さらに対照区では白寒冷紗を展張することで, PPFD を 220  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$  とするにした。なお, 温度・日長条件は明期 25°C, 暗期 20°C, 12 時間日長とした。

実験 1 および実験 2 ともに, 養液栽培開始から 12 日目の, 光照射開始から 4 時間後に地上部を採取した。採取した 20 個体について, 最大葉長, 葉数, 地上部新鮮重および

80°C で通風乾燥させた後に地上部乾物重を測定した。また, 残りの 5 個体は直ちに液体窒素で凍結し, 硝酸還元酵素 (NR) 活性の測定に用いた。さらに, 地上部乾物重を測定した 20 個体のうち 10 個体について硝酸イオン濃度を測定した。

#### NR 活性の測定

植物中には活性型と不活性型の NR が存在していると考えられる。リン酸化されていない NR は活性型であるが, 活性型の NR がリン酸化され, そこに 14-3-3 タンパク質が結合すると不活性型となる (Kaiser・Huber, 2001)。そのため, リン酸化された NR を含めた全 NR の活性 (活性測定時に EDTA を添加) と, 非リン酸化 NR 活性 (活性測定時に  $\text{MgCl}_2$  添加) に分けて測定した。NR 活性の測定は Kojima ら (1995) の方法に準じた。採取した地上部全体を直ちに液体窒素で凍結した後, 酵素活性の測定に用いるまで, -80°C で保存した。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, 25 mM NaF, 5 mM EDTA, 1 mM PMSF を含む 50 mM HEPES-KOH 緩衝液 (pH 7.7) を試料の 2 倍量加え, 氷冷下の乳鉢中で磨砕抽出した。抽出液は 4 重のガーゼで濾過した後, 20,000 × g で 20 分間遠心分離し, この上澄液を粗酵素液として使用した。酵素活性を, 50  $\mu\text{M}$  ロイペプチン, 2 mM  $\text{KNO}_3$ , 0.25 mM NADH, 5 mM  $\text{MgCl}_2$  (または 10 mM EDTA) を含む 50 mM HEPES-KOH 緩衝液 (pH 7.7) 450  $\mu\text{l}$  に粗酵素液 50  $\mu\text{l}$  を加え, 30°C で 5 分間反応させることで測定した。反応を 1M 酢酸亜鉛 50  $\mu\text{l}$  を加えることで止めた。さらに, 0.3 mM PMSF 50  $\mu\text{l}$  を加え 15 分間放置することで, 残存する NADH を完全に酸化し, NADH による発色阻害を防いだ。800 × g で 2 分間遠心分離した後の上澄液 600  $\mu\text{l}$  に, 1% スルファニルアミド (1.5 M HCl 中) と 0.02% N-1-ナフチルエチレンジアミン塩酸塩を各 600  $\mu\text{l}$  ずつ加え, 亜硝酸イオンを発色させた。発色 20 分後に 540 nm で比色定量した。ブランクは粗酵素液を加える前に, 酢酸亜鉛を加え, 同様の操作を行った。

#### 硝酸イオン濃度の測定

乾燥させた地上部全体を均一になるように粉碎した。粉末試料 100 mg に蒸留水 30 ml を加えて 3 時間振とう抽出した後に濾過を行い, この抽出液を適宜希釈して, RQ フレックス (メルク社) で硝酸イオン濃度を測定した (建部・米山, 1995)。

### 結果および考察

#### 実験 1. 光強度の影響

光強度の異なる条件下で生育させたコマツナの最大葉長, 葉数, 地上部新鮮重, 地上部乾物重を第 1 表に示した。1/2 単位の培養液を用いた試験区において, ‘はるみ小松菜’, ‘楽天’ ともに光強度の弱い条件下で生育させたもののほど, 最大葉長は長く, 地上部乾物重は軽くなった。1

第1表 異なる培養液濃度で養液栽培したコマツナの生育に及ぼす光強度の影響

品 種	培養液濃度	光量子束密度 ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ )	最大葉長 (cm)	葉 数 (枚)	地上部新鮮重 (g)	地上部乾物重 (g)
はるみ 小松菜	1/2単位	165	26.7 a <sup>z</sup>	4.6 c	10.0 b	0.55 c
		290	24.4 b	5.4 ab	11.3 ab	0.81 b
		350	23.2 b	5.3 b	11.4 a	0.90 b
	1単位	510	18.3 c	5.7 a	10.8 ab	1.10 a
		165	23.5 b	5.1 c	9.9 c	0.55 b
		290	26.1 a	5.5 bc	15.6 a	0.97 a
350		24.8 ab	5.7 ab	13.2 b	0.97 a	
楽 天	1/2単位	510	15.0 c	5.9 a	7.6 d	0.99 a
		165	23.9 a	5.3 c	10.5 b	0.56 d
		290	20.8 b	6.0 b	11.2 b	0.74 c
	1単位	350	21.7 b	6.1 b	13.0 a	0.92 b
		510	18.8 c	6.6 a	12.8 a	1.18 a
		165	21.8 b	5.4 c	10.8 b	0.60 b
1単位	290	23.5 a	6.0 bc	15.9 a	0.96 a	
	350	22.2 ab	6.2 ab	15.3 a	1.00 a	
	510	17.3 c	6.6 a	11.3 b	1.05 a	

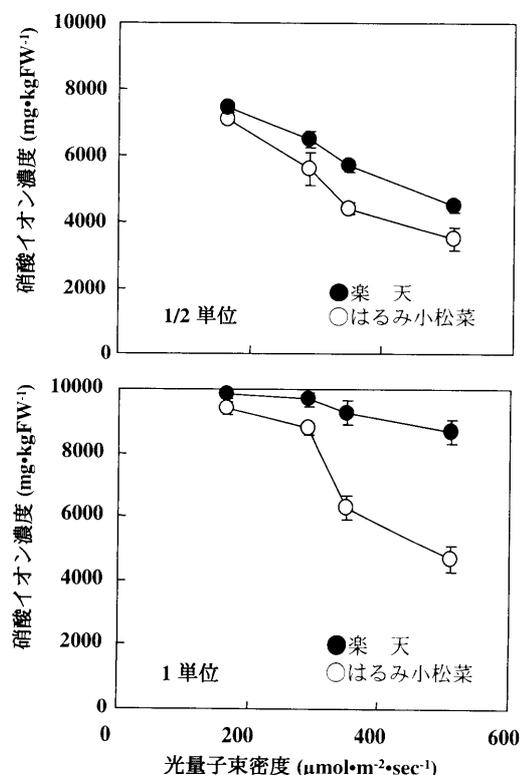
<sup>z</sup> Tukeyの多重検定により異なる文字間に5%水準で有意差あり

単位の培養液を用いた試験区では, ‘はるみ小松菜’, ‘楽天’ともに PPFD 290区の最大葉長が最も長かったが, 地上部乾物重は光強度の最も弱い PPFD 165区で最も軽く, 光強度の最も強い PPFD 510区で最も重かった。

異なる光強度で生育させたコマツナの硝酸イオン濃度を第1図に示した。いずれの処理区においても, ‘楽天’に比べ‘はるみ小松菜’の硝酸イオン濃度は低く, 品種による差が認められた。1/2単位の培養液を用いた試験区において, 硝酸イオン濃度は, 両品種ともに光強度の強い条件下で生育させたものほど直線的に低下する傾向が認められた。硝酸イオン濃度が最も高かった PPFD 165区に比べ, 最も少なかった PPFD 510区では‘はるみ小松菜’で約50%, ‘楽天’で約60%に低下した。一方, 1単位の培養液を用いた試験区において, ‘はるみ小松菜’では光強度の増加とともに硝酸イオン濃度は低下したのに対し, ‘楽天’では光強度が増加しても硝酸イオン濃度はほとんど低下しなかった。中川ら(2000)は, コマツナの硝酸イオン濃度を決定する要因を, 収穫時の土壤中の硝酸態窒素濃度であると報告している。また, コマツナやホウレンソウにおいて, 生育時の培地中の窒素濃度が高いほど, また, 生育時の光強度が弱いほど硝酸イオン濃度は高まることが報告されている(Cantliffe, 1972; Yazawaら, 1986)。本実験の結果も同様に, 培養液中の窒素濃度が高い区のコマツナの方が硝酸イオン濃度は高かった。また, 弱光区のものほど硝酸イオン濃度の高まる傾向が認められた。しかし, 1単位の培養液で生育させた‘楽天’では, 光強度を変化させても植物中の硝酸イオン濃度がほとんど変化しなかったことから, コマツナ中の硝酸イオン濃度は, 光強度よりも培養液中の窒素濃度の影響をより強く受けたものと考えられた。

光強度の異なる条件下で生育させたコマツナの NR 活性を第2図に示した。‘楽天’では, 1/2単位の培養液を用いた試験区において, 非リン酸化 NRは PPFD 165区か

ら PPFD 350区にかけて光強度の増加に伴って活性が高まったが, より強光の PPFD 510区では PPFD 350区に比べやや低下した。全 NR 活性は PPFD 165区から PPFD 350区にかけて光強度の増加に伴って活性が高まり, PPFD 510区では PPFD 350区とほぼ同じレベルであった。一方, 1単位の培養液を用いた試験区では, 光強度を変化させても非リン酸化 NR 活性および全 NR 活性ともに大きな変化は認められなかった。‘はるみ小松菜’では, 1/2単位の培養液を用いた試験区において, 非リン酸化



第1図 異なる培養液濃度で養液栽培したコマツナの硝酸イオン濃度に及ぼす光強度の影響  
図中の線は標準誤差 (n=10) を示す

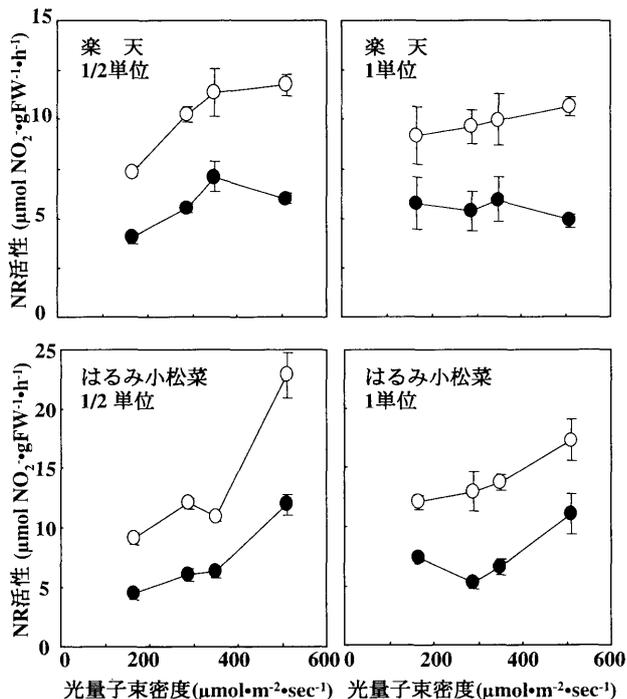
NR活性は光強度の増加に伴って高まった。全NRの活性もPPFD 350区で若干低かったものの、光強度の増加に伴って顕著に高まった。1単位の培養液を用いた試験区において、非リン酸化NR活性はPPFD 165区で若干高い値を示したものの、光強度の増加に伴い、高まる傾向が認められた。全NR活性も光強度の増加とともに緩やかに高まった。NRは培地の硝酸態窒素によって誘導される酵素であるが (Redinbaugh・Campbell, 1991), 一方で、光の影響も受け、遮光によりNR活性は低下すると報告されている (Hageman・Flesher, 1960)。本実験では、強光区のものほどNR活性が高まる傾向が認められた。しかし、1単位の培養液で生育させた‘楽天’では、光強度を変化さ

せてもNR活性に大きな変化は認められなかったことから、コマツナのNR活性は、光強度よりも培養液中の窒素濃度の影響をより強く受けたものと考えられた。硝酸イオン濃度とNR活性との関係を見ると、培養液の窒素濃度が同じであれば、NR活性が高いものほど硝酸イオン濃度は低い傾向が認められた。従って、硝酸イオン濃度の低減化のためには、過剰な窒素施用を避けることが最も重要であり、さらに、強い光強度の下で生育させ、NRの活性を高く維持することも重要であると考えられた。

実験 2. R/FR 比変更の影響

R/FR比を変えて生育させたコマツナの最大葉長、葉数、地上部新鮮重、地上部乾物重および硝酸イオン濃度を第2表に示した。最大葉長は両品種とも対照区に比べ、FR抑制区で有意に短くなった。葉数は‘楽天’の1/2単位の培養液を用いた試験において、R抑制区およびFR抑制区ともに対照区に比べ有意に多かったが、その他の試験区においては有意差はなかった。新鮮重は両品種とも対照区に比べ、FR抑制区で有意に軽くなった。乾物重は、‘はるみ小松菜’の1単位の培養液を用いたFR抑制区で有意に軽く、‘楽天’の1/2単位の培養液を用いたR抑制区で、有意に重くなったが、その他の試験区においては有意差はなかった。林田ら (2001)は、遠赤色光を減少させた環境下でチンゲンサイを育成させると茎長は短くなり、逆に、赤色光を減少させると茎長は長くなることを報告している。また、村上ら (1992b)は、遠赤色光を増加させるとレタスの茎葉の生長が促進されることを報告している。本実験では、FR抑制区で最大葉長や新鮮重が有意に減少したが、R抑制区では生育の促進は認められなかった。これは、試験時のPPFDが220  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ であり、自然光に比べかなりの弱光であったことから、対照区のコマツナも徒長し、R抑制による茎葉の伸長促進効果が顕著な差として現れなかったものと考えられる。

硝酸イオン濃度は両品種ともに1/2単位の培養液を用いた試験において、対照区に比べ、R抑制区で有意に低下

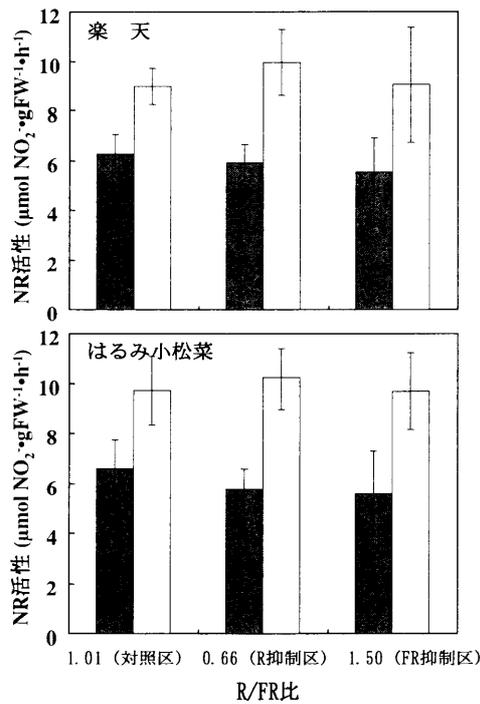


第2図 異なる培養液濃度で養液栽培したコマツナの硝酸還元酵素 (NR) 活性に及ぼす光強度の影響  
 図中の線は標準誤差 (n=5) を示す  
 ○: 全NR活性, ●: 非リン酸化NR活性

第2表 赤色光/遠赤色光比の変更が異なる培養液濃度で養液栽培したコマツナの生育および硝酸塩含量に及ぼす影響

品種	培養液濃度	処理区	R/FR比	最大葉長 (cm)	葉数 (枚)	地上部新鮮重 (g)	地上部乾物重 (g)	硝酸イオン濃度 (mg·kgFW <sup>-1</sup> )
はるみ小松菜	1/2単位	対照	1.01	24.6	4.9	11.1	0.65	8529
		R抑制	0.66	24.1n.s.	5.1n.s.	9.9n.s.	0.70n.s.	7102***
		FR抑制	1.50	21.9***	5.1n.s.	9.4*	0.62n.s.	8170n.s.
はるみ小松菜	1単位	対照	1.01	25.6	5.2	12.5	0.73	9221
		R抑制	0.66	25.4n.s.	5.2n.s.	12.0n.s.	0.71n.s.	9114n.s.
		FR抑制	1.50	21.2***	5.2n.s.	10.5***	0.64*	9502n.s.
楽天	1/2単位	対照	1.01	21.4	5.2	11.0	0.60	9056
		R抑制	0.66	21.7n.s.	5.7*	10.6n.s.	0.69**	7999**
		FR抑制	1.50	20.0*	5.6*	9.4**	0.62n.s.	9077n.s.
楽天	1単位	対照	1.01	21.9	5.7	12.4	0.68	9941
		R抑制	0.66	23.3n.s.	5.5n.s.	12.1n.s.	0.74n.s.	10475n.s.
		FR抑制	1.50	19.4**	5.8n.s.	9.1**	0.61n.s.	10688n.s.

t-検定により、対照に対して、n.s.: 有意差なし, \*: 5%水準, \*\*: 1%水準, \*\*\*: 0.5%水準で有意差あり



第3図 赤色光/遠赤色光比の変更がコマツナの硝酸還元酵素(NR)活性に及ぼす影響  
培養液濃度は1/2単位  
図中の線は標準誤差(n=5)を示す  
□:全NR活性, ■:非リン酸化NR活性

した。しかし、1単位の培養液を用いた試験では、有意差は認められなかった。硝酸イオン濃度に有意差が認められた1/2単位の培養液を用いた試験区のコマツナについて、NR活性を測定したが、処理間で差は認められなかった(第3図)。光質とNR活性との関係を調べたものはほとんど無く、赤色光照射によるNR活性の変化を調べた報告(Lillo・Henriksen, 1984)がある程度である。その報告では、暗所で生育させた黄化コムギとオオムギの葉に赤色光を照射するとNR活性の増大がみられるが、光存在下で生育させた緑色の葉に赤色光を照射してもNR活性の増大は認められなかったとされている。また、本実験においてR/FR比の変換はNR活性の変動に影響を及ぼさなかった。従って、1/2単位の培養液を用いたR抑制区での硝酸イオン濃度の低下はNRの活性が関与しない別の要因によるものと考えられる。

以上の結果より、弱光条件下で育成したコマツナほど硝酸イオン濃度は高く、NR活性も低くなるのが明らかになった。ただし、培養液中の窒素濃度の影響は大きく、窒素濃度の高い条件では光強度を変化させても硝酸イオン濃度、NR活性ともにほとんど変化しない品種があった。このことから、コマツナの硝酸イオン濃度を低下させるためには、過剰な施肥を避け、栽培時の光量の確保に努めることが重要であり、品種の選定にあっても考慮する必要があると考えられた。また、赤色光を減少させた条件下ではコマツナの硝酸イオン濃度が低下する傾

向が認められた。しかし、硝酸イオン濃度の低下を目的とした赤色光抑制資材の生産現場での利用を考えた場合、培地中の窒素濃度が高いと硝酸イオン濃度の低減効果は認められなくなることや、赤色光抑制資材被覆により光量が低下し、遮光によって逆に硝酸イオン濃度が高まることも予想されることなどから、赤色光抑制資材を利用した硝酸イオン濃度の低減効果はそれ程大きなものではないと考えられる。従って、赤色光抑制資材による硝酸イオン濃度の低減効果については実際の栽培に則した試験を行い、再検討する必要がある。

## 摘要

光強度および赤色光(R)/遠赤色光(FR)比を変えた光環境がコマツナ(*Brassica campestris* 品種‘はるみ小松菜’、‘楽天’)の硝酸イオン濃度および硝酸還元酵素(NR)活性に及ぼす影響について調査した。コマツナは、異なる光強度(PPFD 165, 290, 350, 510  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ )あるいは異なるR/FR比(1.01:対照区, 0.66:R抑制区, 1.50:FR抑制区)の光環境下で1/2単位および1単位の培養液を用いて養液栽培した。異なる光強度でコマツナを生育させたところ、‘はるみ小松菜’の硝酸イオン濃度は光強度の増加とともに低下し、非リン酸化NR活性は光強度の増加とともに高まった。‘楽天’では、1/2単位の培養液を用いた試験区において、光強度の増加とともに硝酸イオン濃度は低下し、非リン酸化NR活性は高まったが、1単位の培養液を用いた試験区では、光強度が増加しても硝酸イオン濃度はほとんど低下せず、非リン酸化NR活性も変化しなかった。R/FR比を変えてコマツナを生育させたところ、1/2単位の培養液を用いたR抑制区でのみ硝酸イオン濃度の低下が認められた。

謝辞 本研究を行うにあたり、神戸大学の王子善清教授、白石齊聖博士より硝酸還元酵素の活性測定法をご指導頂いた。ここに記して深謝の意を表します。

## 引用文献

- Cantliffe, D. J. 1972. Nitrate accumulation in spinach grown under different light intensities. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97: 152-154.
- Hageman, R. H. and D. Flesher. 1960. Nitrate reductase activity in corn seedlings as affected by light and nitrate content of nutrient media. *Plant Physiol.* 35: 700-708.
- 林田達也・柴戸靖志・浜地勇次・大和陽一・山崎博子・三浦周行. 2001. 赤色光/遠赤色光比の異なる光環境が高温条件下で生育するチンゲンサイ成型苗の伸長に及ぼす影響. *園学雑.* 70: 774-776.
- Kaiser, W. M. and S. C. Huber. 2001. Post translational regulation of nitrate reductase: mechanism, physiological relevance and environmental triggers. *J. Exp. Bot.* 52: 1981-1989.

- Kojima, M., S. J. Wu, H. Fukui, 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.
- Lillo, C. and A. Henriksen. 1984. Comparative studies of diurnal variations of nitrate reductase activity in wheat, oat and barley. *Physiol. Plant.* 62: 89-94.
- 村上克介・洞口公俊・柴田治男・森田政明・相賀一郎. 1992a. 植物栽培用人工光源の開発に関する考察. *生環調.* 30: 135-141.
- 村上克介・洞口公俊・森田政明・相賀一郎. 1992b. 遠赤色光 (FR) 付加照射によって生じるレタス生育の促進. *生環調.* 30: 23-28.
- 村上克介・中村 立・児玉邦雄・崔 海信・清田 信・相賀一郎. 1995. 自然光の赤色光/遠赤色光量子束比を変化させる植物成長制御用被覆材の開発 (1) 被覆材の設計. *生環調.* 33: 31-36.
- 中川祥治・山本秀治・五十嵐勇紀・田村夕利子・吉田企世子. 2000. 堆肥および有機質肥料の施用がコマツナ (*Brassica campestris* L. rapifera group) の硝酸, 糖, アスコルビン酸および $\beta$ -カロチン含量に及ぼす影響. *土肥誌.* 71: 625-634.
- Redinbaugh, M. G. and W. H. Campbell. 1991. Higher plant responses to environmental nitrate. *Physiol. Plant.* 82: 640-650.
- Remmler, J. L. and W. H. Campbell. 1986. Regulation of corn leaf nitrate reductase. II. synthesis and turnover of the enzyme's activity and protein. *Plant Physiol.* 80: 442-447.
- 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.
- Smith, H. 1982. Light quality, photoperception and plant strategy. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 33: 481-518.
- Sohar, J. and J. Domoki. 1980. Nitrite and nitrate in human nutrition. *Bibithca Nutr. Dieta.* 29: 65-74.
- 建部雅子・米山忠克. 1995. 作物栄養診断のための小型反射式光度計システムによる硝酸および還元型アスコルビン酸の簡易測定法. *土肥誌.* 66: 155-158.
- Yazawa, S., H. Tanaka and T. Namiki. 1986. Nitrate accumulation in Chinese mustard (*Brassica campestris* cv. Marubakomatsuna) grown under different light conditions. *Sci. Rep. Kyoto Pref. Univ., Agr.* 38: 1-6.