

차광 및 질소시비량이 상추내 질산염 함량에 미치는 영향

이경자 · 강보구 · 김현주 · 민경범

충북농업기술원 농업환경과

Effect of Shading and Nitrogen Level on the Accumulation of NO_3^- in Leaf of Lettuce(*Lactuca Sativa*. L.)

Gyeong-Ja Lee, Bo-Goo Kang, Hyun-Ju Kim, and Kyeong-Beom Min (Chungbuk Agricultural Research and Extension Services, Cheongweon 363-883, Korea)

ABSTRACT : In order to find out the effects of shading and nitrogen fertilization on the accumulation of NO_3^- in leaves of lettuce, lettuce plants were cultivated in the pots under glasshouse condition with different rates of shading(0, 50%) and nitrogen fertilization(100, 180, 200, 300, 400 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). The pH value was lower in soil after experiment than before experiment, whereas, contents of EC and $\text{NO}_3\text{-N}$ were higher. As the amounts of nitrogen fertilization were increased, pHs were decreased, but EC and the contents of $\text{NO}_3\text{-N}$ were increased. At the nitrogen fertilizations of 100, 180, 200, 300 and 400 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, the germination rates of lettuce were decreased to 84, 78, 76, 72 and 74%, and survival rates were also decreased to 94, 94, 90, 60 and 46%, respectively. However, the fresh weight of lettuce was highest at 45 $\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$ in the recommended fertilizer plot(180 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) with non-shading condition. The contents of NO_3^- in the leaves of lettuce were increased 2.8-4.1 times under 50% shading conditions than that under non-shading condition. It kept increasing up to seven order of growth phase; however, it started to decrease after eight order phase. Nitrate reductase activity of lettuce in non-shading condition was higher than that in 50% shading condition.

Key words : Nitrogen fertilization, NO_3^- accumulation, Nitrate reductase activity, Lettuce

서 론

작물의 수량을 증가시키기 위한 가장 중요한 요소로서 작용하는 것이 질소 비료이고, 또한 생체내에서 많은 유기화합물, 즉 아미노산, 단백질, 핵산을 구성하는 가장 필수적인 원소 중의 하나로 작용하는 것이 바로 질소이다.

식물은 질소성분의 대부분을 NO_3^- 의 형태로 흡수하기 때문에 NO_3^- 는 어떠한 식물에서도 발견될 수 있는 필수영양 성분중의 하나이지만, NO_3^- 가 인체에 미치는 영향에 관한 보고¹⁻³⁾와 함께 유럽에서는 작물 및 재배시기에 따라 구분하여 채소류의 NO_3^- 함량을 2,000~4,500ppm 범위로 규제하고 있다⁴⁾.

최근, 우리 나라에서도 채소에 축적되어 있는 NO_3^- 함량에 많은 관심을 두고 연구가 수행되고 있는데, 양⁵⁾은 충남도내 채소원에서 재배된 13종의 채소작물을 선택하여 수확시 NO_3^- 및 NO_2^- 를 조사한 결과, 채소 작물 내 NO_3^- 함량은 엽채류>근경채류>과채류 순으로 높았으며, 엽채류중에서도 시금치는 4,417ppm, 상추 3,413ppm, 쪽갓 2,560ppm으로 측정되었고, 채소품종에 관계없이 저장 중에 감소한다고 보고하였다. 손 등⁶⁾은 차광정도에 따른 배

추의 가식부위내 NO_3^- 집적량을 조사한 결과 외부엽 증폭의 경우 배비구는 차광정도에 관계없이 5,000~6,000 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 내외에서 일정한 수준을 유지하나, 보비구는 차광정도가 증가할수록 NO_3^- 집적량도 증가한다고 보고하였다.

NO_3^- 축적에 영향을 주는 환경적 요인으로는 시비방법, 시비량, 시비시기, 기상조건, 토양, 온도, 광도, 그리고 수확시기 등 여러 가지가 관여한다고 보고⁷⁻⁹⁾된 바 있다. 또한, 식물에 따라 정도의 차이는 있으나 장일과 고풍도 조건하에서 nitrate reductase의 활성은 높고, NO_3^- 함량은 적은 것으로 보고¹⁰⁻¹²⁾되었고, 문 등¹³⁾은 오이의 질산환원 효소의 활성(NRA)에 미치는 광과 NO_3^- 의 영향을 조사한 결과 오이의 NRA는 엽령이 오래된 것일수록 낮았고, NRA가 발현되기 위해서는 광의 존재가 필수적이라고 보고하였다.

본 연구에서는 차광 및 질소시비량이 상추의 엽내 NO_3^- 축적에 미치는 영향과 NO_3^- 함량을 최소화시킬 수 있는 재배법을 찾고자 본시험을 수행하였다.

재료 및 방법

Table 1. Chemical properties of soil used for experiment

pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	NH ₄ -N	NO ₃ -N	Ex. Cations		
						K	Ca	Mg
(1.5)	(dS·m ⁻¹)	(g·Kg ⁻¹)	----- (mg·kg ⁻¹) -----			-(cmol ⁺ ·Kg ⁻¹)-		
6.4	0.4	11	936	4.15	6.64	0.41	5.9	0.9

Table 2. Levels of N fertilizer used for experiment

Treatment	Levels of fertilizer (N-P-K, byproducts)
Treat 1	100-150-200 kg·ha ⁻¹ , 20 Mg·ha ⁻¹
Treat 2	180-0-200 kg·ha ⁻¹ , 20 Mg·ha ⁻¹ (Recommended fertilizer)
Treat 3	200-150-200 kg·ha ⁻¹ , 20 Mg·ha ⁻¹ (Standard fertilizer)
Treat 4	300-150-200 kg·ha ⁻¹ , 20 Mg·ha ⁻¹
Treat 5	400-150-200 kg·ha ⁻¹ , 20 Mg·ha ⁻¹

1. 생육 조건

독성 적측면 상추를 공시품종으로 하여 육묘상에서 발아시킨 후 42cm × 54.5cm × 22cm의 포트내에 12주씩 이식하여 유리 온실에서 재배하였다(6/1~7/8). 광조건은 무차광과 50% 차광광을 이용한 차광상태하에서 표 1과 같이 유기물 함량이 낮고, 인산함량이 높은 화학적특성을 가진 공시토양에 질소수준을 표 2와 같이 5개 처리를 두었고, 질소비율은 요소를 사용하였다.

2. 분석방법

가. 토양화학성 분석

시험전·후 토양의 화학성 분석은 농업과학기술원 토양 화학분석법¹⁴⁾에 준하여 실시하였다. 토양의 pH와 EC는 시료와 증류수를 1:5의 비율로 혼합하여 30분간 진탕한 후 pH는 pH meter (Radiometer M-92)로, EC는 Conductivity meter(YSI-32)로 측정하였으며, 유기물 함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster 법으로 비색측정(HP 8452)하였다. 질산태 질소와 암모니아태 질소는 Kjeldahl 법으로 측정하였고, 양이온인 K, Ca, Mg는 1N Ammonium acetate로 침출하여 AAS(Perkin Elmer 2380)로 분석하였다.

나. 발아율, 생존율 및 생산량 측정

포트당 36개의 종자를 피파한 후 17일째에 발아한 개체수를 조사하여 발아율을 계산하였고, 발아한 것 중 12주만 남겨놓고 모두 제거한 후 전 재배기간동안 남아있는 개체수를 조사하여 생존율로 계산하였다. 전체생산량은 파종후 40일부터 상추의 엽을 4회 채취하여 생체중으로 계산하였다.

다. 엽내 NO₃⁻ 함량 측정

재배기간동안 6월12일, 6월19일, 6월29일, 7월8일 4차례에 걸쳐

엽을 수확한 후 분석시료로 이용하였다. 엽내의 NO₃⁻ 함량은 Cataldo 등¹⁵⁾이 이용한 방법에 준하여 분석하였다. 채취한 엽을 건조기에 말려서 분쇄하고, 분쇄된 엽을 70℃에서 다시 건조한 후 0.1 g의 시료를 취하여 증류수 10 ml에 현탁시켜 45℃ 항온수조에서 1시간동안 배양시켰다. 배양액을 잘 혼합한 후 여지를 이용하여 여과한 후 분석에 이용하였다. 여액 2 ml과 5%(in conc. H₂SO₄) salicylic acid 0.8 ml를 완전히 혼합하고, 상온에서 20분간 방치한 후 2N NaOH 19 ml를 천천히 첨가하였다. 상온으로 완전히 식힌 후 spectrophotometer(HP 8452)를 이용하여 410 nm에서 흡광도를 측정하였다.

라. Nitrate Reductase Activity 측정

효소활성 측정은 Kaiser와 Lewis¹⁶⁾ 방법을 이용하였다. 생체 엽을 채취하여 증류수로 세척하고 잘게 자른 후, 1 g을 취하여 냉각된 마쇄용 완충액 15 ml, 2 g 석영사, 그리고 0.2 g PVP를 가하여 유봉으로 마쇄하였다. 마쇄용 완충액은 1 mM EDTA, 2 mM DTT 그리고 2.5%(W/V) 의 Casein을 함유한 0.1 M phosphate buffer(pH 7.5)로 하였다. 마쇄 후 4점의 거즈로 여과하여 여액을 25,000 x g에서 20분 동안 원심 분리한 후 상정액을 조효소액으로 이용하였다. 이상의 전과정은 4℃에서 수행하였다.

활성의 측정을 위해 조효소액 0.2 ml, 0.1M KNO₃ 0.4 ml, NADH 0.2 ml, potassium phosphate buffer(pH 7.5) 0.2 ml를 넣고 D.I. Water로 final volume를 4 ml로 맞추어 28℃ 항온수조에서 20분 동안 배양시켰다. 1%(W/V)(in 1.5M HCl) sulphanilamide 2 ml와 0.02%(W/V) N-1-naphthyl-ethylenediamine dihydrochloride solution 2 ml를 첨가하여 반응을 정지시킨 후 3,000 x g에서 5분간 원심 분리하여 부유물을 제거하고 spectrophotometer (HP 8452)를 이용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 토양의 화학성분 변화

시험 후 토양의 화학성분은 표 3과 같다. pH는 시험전 토양의 pH 6.4에 비해 전체적으로 낮아지는 경향을 보였으며, 질소 시비량을 100, 180, 200, 300 및 400 kg·ha⁻¹로 증가시켰을때, pH는 50%차광 재배에서 각각 5.6, 5.6, 5.4, 5.2 및 5.1로 낮아지고, 무차광 재배에서는 각각 5.8, 5.7, 5.5, 5.2 및 5.0으로 낮아짐으로서 차광정도에 관계없이 질소 수준이 증가할수록 pH는 더욱더 낮아졌다. 이것은 질소질 비료로 시용한 요소에서 H⁺가 용출되어 토양에 남아 있으므로 pH가 낮아진 것으로 사료된다. 토양중의 NO₃⁻-N의 함량 및 EC는 질소 시비량을 증가시킬수록 점점 높아졌는데, NO₃⁻-N는 질소 시비량을 100, 180, 200, 300 및 400 kg·ha⁻¹으로 증가시켰을때 50%차광 재배에서 각각 67.9, 61.1, 81.3, 138.4, 및 156.4 mg·kg⁻¹으로 높아졌고, 무차광 재배에서 각각 15.5, 5.3, 77.3, 175.0 및 174.4 mg·kg⁻¹로 높아져 차광정도에 관계

Table 3. Changes in chemical properties of soil after cultivated under 50% shading or non-shading

Levels of shading	Levels of N fertilizer	pH (1:5)	EC (dS · m ⁻¹)	P ₂ O ₅ , NH ₄ -N, NO ₃ -N			Ex-Cations		
				----- (mg · kg ⁻¹) -----			----- (cmol ⁺ · kg ⁻¹) -----		
50% shading	100	5.6	1.40	923	2.72	67.9	0.60	5.7	0.8
	180	5.6	1.20	888	2.73	61.1	0.63	5.0	0.7
	200	5.4	1.45	998	1.83	81.3	0.62	5.7	0.8
	300	5.2	1.85	1014	0.90	138.4	0.54	6.1	0.5
	400	5.1	2.00	1011	1.77	156.4	0.66	5.3	0.7
non-shading	100	5.8	0.80	894	1.72	15.5	0.35	5.1	0.7
	180	5.7	1.00	882	2.50	5.3	0.38	5.1	0.7
	200	5.5	1.40	944	1.65	77.3	0.48	5.4	0.8
	300	5.2	2.25	995	1.67	175.0	0.55	5.6	0.9
	400	5.0	2.45	1067	4.23	174.4	0.58	5.1	0.8

없이 토양에 잔존해 있는 양이 증가하였다. EC는 시험전 토양의 0.4 dS · m⁻¹보다 훨씬 증가하여 50%차광 재배시에는 각각 1.40, 1.20, 1.45, 1.85, 및 2.00 dS · m⁻¹로 높아졌고, 무차광 재배시에는 각각 0.80, 1.00, 1.40, 2.25 및 2.45 dS · m⁻¹로 높아짐으로서 질소 시비량이 증가할수록 점점 증가함을 보였다.

시설재배지 염류 상승요인으로 정 등¹⁷⁾은 토양의 염류농도에 기여하는 이온을 조사한 결과, NO₃⁻-N > available SO₄²⁻ > 치환성 Na⁺ > Cl⁻ > available P₂O₅ > NH₄⁺-N > 치환성 Mg²⁺ > 치환성 Ca²⁺ 순으로 양이온보다는 음이온이 우세하게 작용한다고 하였으며, 이 등¹⁸⁾은 국내 시설재배지 토양에서 염농도에 가장 직접적으로 관여하는 이온이 NO₃⁻와 Cl⁻라고 보고 한 바와 같이 본 시험의 결과에서도 질소 시비량이 증가할수록 토양에 잔존하는 NO₃⁻-N 함량은 많았으며, 토양중에 NO₃⁻-N의 잔존량이 많을수록 EC도 증가하는 결과를 보였다. 강 등¹⁹⁾은 토양의 염농도와 상추의 입모율 및 발아율과는 고도의 부의 상관성이 있으므로 EC 6 dS · m⁻¹ 이상의 토양에서는 발아율 및 입모율이 40% 정도로 떨어진다고 보고

하였으며, 황 등²⁰⁾은 토양중 염류농도와 화해류의 생육관계를 살펴본 결과 생육장애 한계 염류농도는 카네이션은 3.9 dS · m⁻¹, 국화 6.0 · dS m⁻¹, 거베라 5.9~6.5 dS · m⁻¹이라고 보고하였다. 이와 같이 다수확위주의 질소 시비량 증가는 토양환경 악화를 초래하여 작물에 여러 가지 생리장애를 일으켜 생산성과 품질을 저해시키는 요인이 될 수 있다.

2. 발아율 및 생존율

상추를 질소수준별로 직파 하였을 때, 상추의 발아 및 생존에 미치는 영향은 그림 1과 같다. 질소수준을 100, 180, 200, 300 및 400 kg · ha⁻¹로 증가함에 따라 발아율은 각각 84, 78, 76, 72 및 74%로 감소하였고, 또한 발아율은 무시용구와 질소수준별로 비교하였을 때 발아율이 각각 10, 16, 18, 22 및 20% 감소하였다. 생존율도 질소시비량이 증가할수록 각각 94, 94, 90, 60 및 46%로 감소하여 질소시비량 300 및 400 kg · ha⁻¹에서는 생존율이 현저히 떨어졌다.

3. 생산량

질소시비량 및 차광에 따른 상추의 풋트 전체 생산량 및 주당 생산량을 그림 2에 나타내었다. 무차광 재배하에서 상추의 풋트 전체 생산량은 질소시비량이 180 kg · ha⁻¹일 때 1,970 g · FW으로 가장 높았으며, 1주당 생산량은 질소시비량이 0, 100 및 180 kg · h⁻¹일 때, 각각 28, 42 및 45 g · 주⁻¹로 점점 증가하다가 질소시비량이 200, 300 및 400 kg · ha⁻¹에서는 각각 38, 39 및 40 g · 주⁻¹로 감소하는 경향을 보였다. 50% 차광 재배하에서는 전체생산량과 주당 생산량이 무차광 재배와 비교하였을 때 현저히 떨어졌으나, 질소시비량에 따른 상추의 생산량은 무차광과 비슷한 경향으로 질소시비량 100 kg · ha⁻¹에서 가장 많았고 그 이상에서는 감소하는 경향이였다. 무차광 및 50% 차광재배에서 질소시비량을 300 및 400 kg · ha⁻¹로 증가시켰을 때, 주당생산량에 비하여 풋트전체 생체중의 감소비율이 컸다. 이와 같은 결과는 그림 1에서 보여준 생존량의 감소가 원인이라 생각된다.

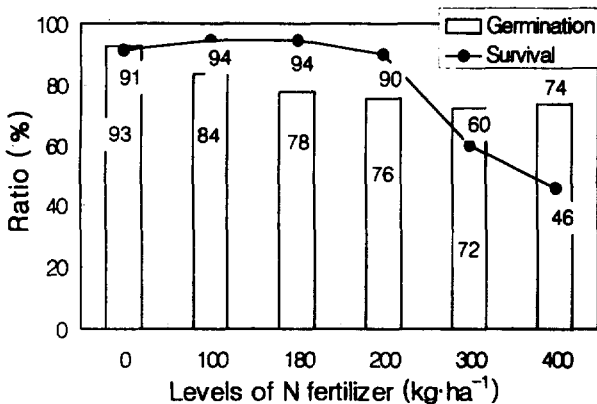


Fig. 1. The germination and survival ratio of lettuce in different N fertilizer levels.

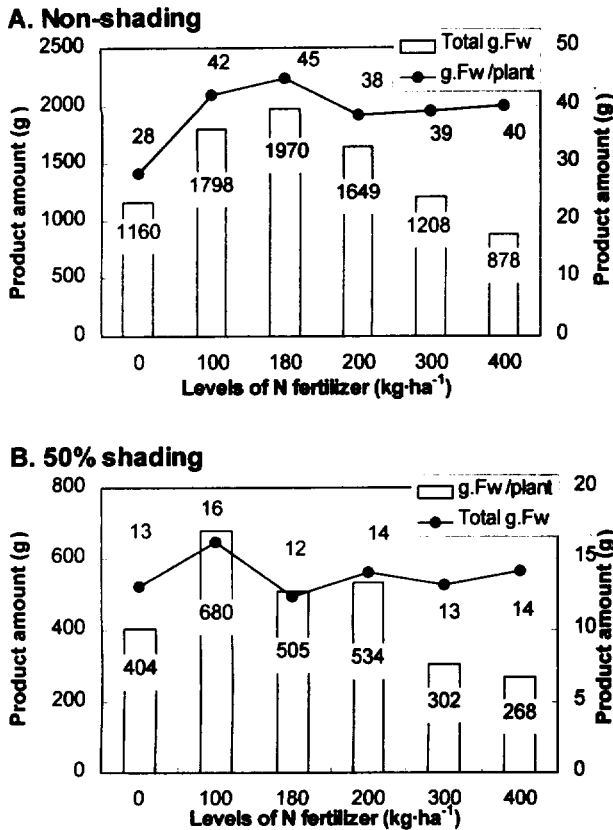


Fig. 2. The product amount of lettuce grown in different N fertilizer levels under non-shading(A) or 50% shading(B)

4. 질소 시비량 및 차광에 따른 엽내 NO₃⁻ 함량

질소 시비량 및 차광이 상추 엽내의 NO₃⁻ 축적에 미치는 영향을 알아보고자, 재배기간동안 4번 수확하여 평균한 NO₃⁻ 함량은 그림 3과 같다. 무차광 재배에서(그림 3A) 질소 수준을 100, 180, 200, 300 및 400 kg·ha⁻¹로 증가시키면 엽내의 NO₃⁻ 함량은 각각 2,152, 2,844, 3,836, 4,441, 5,517 mg·kg⁻¹으로, 질소 시비량이 증가할수록 엽내 NO₃⁻ 함량은 증가되었다. 이와 같은 결과는 비료를 주지 않은 무비료에서 재배한 상추(559 mg·kg⁻¹)와 비교하여 3.8~9.8배 높았고, 시비량이 200, 300, 400 kg·ha⁻¹이었을 때 토양진단시비(180 kg·ha⁻¹)와 비교해서 엽내 NO₃⁻ 함량은 각각 30%, 60%, 90% 높았다. 이와 같은 결과는 배추, 무, 오이에 질소 시비량을 달리하여 시험하여 질소 시비량과 가식 부위내 NO₃⁻ 집적량과 정의 상관관계가 있다는 손 등²¹⁾의 보고와 일치하였다.

50% 차광 재배에서는(그림 3B) 무차광 재배와 같은 경향으로 질소시비량을 100, 180, 200, 300 및 400 kg·ha⁻¹로 증가시킬수록 엽내의 NO₃⁻ 함량도 증가하여 각각 8,311, 9,519, 10,789, 18,242 및 20,342 mg·kg⁻¹으로 집적량이 증가하여 무차광에 비하여 2.8~4.1배 높게 나타났다. 이 결과는 상추를 차광과 무차광의 양액에서 재배하여 엽내의 NO₃⁻ 함량을 측정된 결과 25%이상의 차광에서는 NO₃⁻ 함량이 3,702~3,791 mg·kg⁻¹범위로 큰 차이가 없었

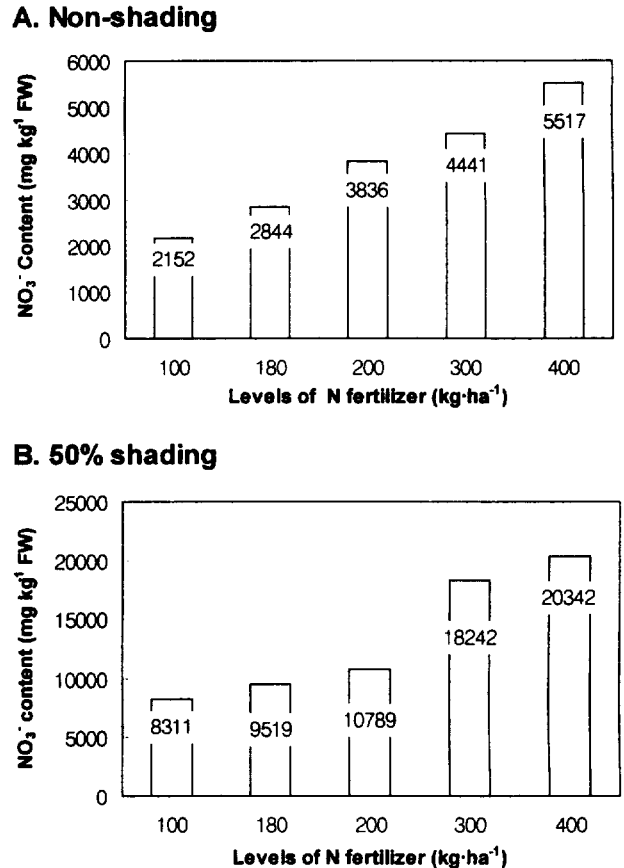


Fig. 3. Effect of N fertilizer levels on NO₃⁻ content of leaf lettuce cultivated in non-shading(A) or 50% shading(B)

으나 무차광의 3,421 mg·kg⁻¹에 비하여 약 300~500 mg·kg⁻¹ 정도가 더 많았다는 이의보고²²⁾와 일치하였다.

문 등¹³⁾은 광 조건을 달리하여 오이의 엽 위치별로 질산환원효소의 활성을 측정된 결과 하위엽으로 내려올수록, 즉 엽령이 오래된 것일수록 활성이 낮아짐을 보고하였다. 본 시험에서는 엽위치별로 엽내의 NO₃⁻ 함량을 조사하기 위하여 상추엽을 3~4엽씩 채취하여 NO₃⁻ 함량을 비교분석 하였다. 무차광 재배에서나 혹은 50% 차광재배에서 질소시비량에 관계없이 엽내 NO₃⁻ 함량이 7엽기까지 증가 하다가 8엽기부터 감소하는 경향을 보였다(그림 4). 이²³⁾는 상추를 양액에서 재배하여 엽 위치별로 NO₃⁻ 함량을 측정된 결과 1번 엽에서 가장 많은 4,346 mg kg⁻¹으로 측정되었고, 5번 엽까지 점차 감소하다가 5번 엽에서 최소량을 나타내었으며, 6번엽부터 다시 증가하였다고 보고하였다는 보고와 약간 차이가 있었는데 이와 같은 결과는 본 시험에서 상추시료를 채취할 때 3~4엽씩 한꺼번에 채취하여 상추 생육기간동안 양분을 흡수할 수 있는 기간이 달랐기 때문이라 사료된다.

본 시험의 결과로 상추는 엽위치에 따라 엽내에 축적되어 있는 NO₃⁻ 함량이 차이가 있음을 알 수 있었다.

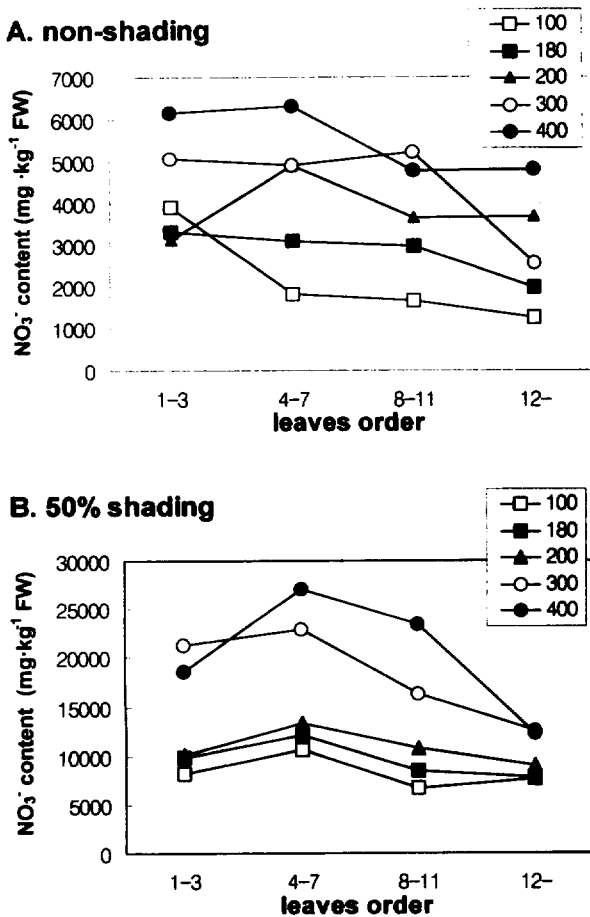


Fig. 4. The NO_3^- contents of leaves order of lettuce grown in different N fertilizer levels under non-shading(A) or 50% shading(B). □, ■, ▲, ○, ● : each of amount of applied N fertilizer.

문 등¹³⁾은 광도가 오이의 질산환원효소의 활성(NRA)에 미치는 영향을 알아보기 위해 오이를 고풍도와 저광도에서 재배한 결과 고풍도에서 자란 오이는 엽내의 NO_3^- 함량이 낮으면서도 NRA가 높은 반면, 저광도에서 자란 오이는 엽내 NO_3^- 함량이 높으면서도 NRA가 낮음을 알아냈다. 또한, Travis 등²⁰⁾은 식물체의 NO_3^- 함량은 NO_3^- 흡수량 및 NR의 활성에 영향을 받는다고 보고하였다. 그러므로 본 시험에서는 질소시비량 및 차광정도에 따라 엽내의 NO_3^- 함량이 다르게 측정되었으므로 이에 영향을 미치는 NRA를 측정하였다(표 4). 질소시비량이 100, 180, 200, 300 및 400 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 로 증가할 때 질산환원효소 활성은 무차광시에 각각 3.1, 3.1, 3.5, 3.4 및 3.6 $\mu\text{moles NO}_2^- \text{g}^{-1} \cdot \text{FW hour}^{-1}$ 이고 50% 차광시에 각각 2.5, 3.3, 3.2, 2.8 및 2.7 $\mu\text{moles NO}_2^- \text{g}^{-1} \cdot \text{FW hour}^{-1}$ 로서 질소시비량에 따른 활성 변화는 크게 나타나지 않았으나, 50% 차광시에 질산환원효소 활성은 무차광과 비교하였을 때 더 작게 나타났다. 그러나 50% 차광함으로써 축적된 엽내 NO_3^- 함량과 질산환원효소의 활성감소와는 정적 역 상관을 나타내지는 않았다. 이것은 기질로서 작용한 NO_3^- 가 이미 효소의

Table 4. The effect of N fertilizer levels or shading levels on NRA of leaf lettuce.

Levels of N fertilizer ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Activity of NR ($\mu\text{moles NO}_2^- \text{g}^{-1} \cdot \text{FW hour}^{-1}$)	
	non-shading	50% shading
100	3.1	2.5
180	3.1	3.3
200	3.5	3.2
300	3.4	2.8
400	3.6	2.7

steady state를 넘어섰기 때문이라 사료된다. 본 실험은 질소시비량이 NRA에 미치는 영향은 미미하나, 광은 NRA에 적게나마 영향을 미침을 보여준다. 그러므로 상추 재배시 기온이 높아질 때, 차광 망을 씌워 재배하다가 수확할 시에 차광망을 벗겨주는 것은 질산환원 효소의 활성을 증가시켜 엽내 NO_3^- 함량을 줄일 수 있는 하나의 방법이라 하겠다.

요 약

차광 및 질소시비량이 상추의 엽내 NO_3^- 축적에 미치는 영향을 구명하기 위하여 질소 시비량을 달리하여(100, 180, 200, 300, 400 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) 50% 차광 과 무차광 상태에서 상추를 재배하였다.

1. 시험전 토양에 비하여 시험후 토양에서 pH는 낮아진 반면 EC 및 NO_3^- -N 함량은 높아졌다. 질소 시비량이 증가할수록 pH는 낮아지는 경향이며, EC 및 NO_3^- 함량은 높아지는 경향이였다. 또한, 시험후 토양에서 NO_3^- -N 함량이 증가할 수록 EC가 높아졌다.
2. 질소시비량이 100, 180, 200, 300 그리고 400 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 에서 상추의 입모율은 각각 84, 78, 76, 72 및 74% 이었고, 생존율은 각각 94, 94, 90, 60 및 46%로서 질소시비량이 증가할수록 입모율 및 생존율이 감소하였다. 상추의 생산량은 무차광 재배에서 진단시비(180 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)에서 45 $\text{g} \cdot \text{주}^{-1}$ 로서 가장 높았다.
3. 상추 엽중 NO_3^- 함량은 질소시비량이 증가할수록 높아졌고 또한 무차광에 비하여 50% 차광에서 2.8~4.1배 높았으며, 엽위별로의 NO_3^- 함량은 7엽기까지 증가하다가 8엽기부터 감소하였다.
4. NRA은 50% 차광보다 무차광에서 높게 나타났다.

참 고 문 헌

1. Heyns, K. (1985) Nitrate-Ausgabstoff fur die bildung von nitrit und nitrosaminen? In: "Nitrate im Grundwasser" by Nieder, et al., VCH Verlag, pp. 34~52.
2. Mücke, W. (1985) Nitrat in lebensmitteln. AID-Verbraucherdienst 30:69~75.
3. Scharpf, H. C. (1986) Grenzwerte für nitrat in gemüse aus

- pflanzenbaulicher sicht. DGG Tagung in Neustadt.
4. Benoit, F., and C. R. Wiebe (1992) Relation between photosynthesis and nitrate content of lettuce cultivars. *Scient. Hort.* 49:175~179.
 5. Yang, Y. J. (1992) Effect of Storage Treatment on NO_3^- and NO_2^- Contents in Vegetables. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 33(2) : 125~130.
 6. Sohn, S. M., K. S. Oh, and J. S. Lee (1995) Effects of Shading and Nitrogen Fertilization on Yield and Accumulation of NO_3^- in Edible Parts of Chinese Cabbage. *Korean J. Soil Sci. & Fert.* 28(2):154-159.
 7. Gottschalk, E. (1984) Nitrat und schwermetalle in gemüse. *Gemüse 9* : 324~326.
 8. Maynard, D. N., A. V. Barker, P. L. Minotti, and N. H. Peck (1976) Nitrate accumulation in vegetables. *Advances in Agronomy* 28:71~115.
 9. Venter, F. (1982) Über den nitratgehalt in gemüse. 5th Joint congress, Kiel, CTIQ/DGQ(Deutsche Ges. für Quali Tä tsforsch. pflanzl. Nahrungsmittel). 197~208.
 10. Harper, J. E., J. C. Nicholas, and R. H. Hageman (1972) Seasonal and canopy variation in nitrate reductase activity of soybean(*Glycin max* L.). *Crop Science* 12:382~386.
 11. Haper, J. E., and R. H. Hageman (1972) Canopy and seasonal frofiles of nitrate reductase in soybeans(*Glycine max* L.). *Plant Physiol.* 49:146~154.
 12. Deng, M. D., T. Moureaux, M. T. Leydecker, and C. Michel (1990) Nitrate-Reductase expression is under the control of a circadian rhythm and is light inducible in nicotiana tabacum leaves. *Planta* 180:257~261.
 13. Moon, C. H., G. C. Chung, and S. H. Ha (1991) Effect of Light and Nitrate on the Nitrate Reductase Activity in Cucumber Plants. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 32(2):157~162.
 14. Agricultural Sciences Institute (1988) Methods of soil analysis.
 15. Cataldo, D. A., M. Haroon, L. E. Schrader, and V. L. Youngs (1975) Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Commun. Soil Science and Plant Analysis* 6(1):71~80
 16. Kaiser, J. J. and O. A. M. Lewis (1984) Nitrate reductase and glutamine synthetase activity in leaves and roots of nitrate-fed *Helianthus annuus* L. *Plant and Soil* 70:127~130.
 17. Jung, G. B., I. S. Ryu, and B. Y. Kim (1994) Soil texture, electrical conductivity and Chemical components of soils under the Plastic film House Cultivation in Northern Central Areas of Korea. *Korean J. Soil Sci. & Fert.* 27(1) :33~40.
 18. Lee, S. E., J. K. Park, J. H. Yoon, and M. S. Kim (1987) Chemical Properties of Greenhouse Soil. *RDA. J. Agri. Sci.* 29(1):166~171.
 19. Kang, B. G., I. M. Jeong, K. B. Min, and J. J. Kim (1996) Effect of Salt accumulation on the Germination and Growth of Lettuce(*Lactuca Sativa* L.). *Korean J. Soil Sci. & Fert.* 29(4):360~364.
 20. Hwang, K. S. and J. H. Yoon (1994) The Effect of Salt Concentration on the Growth of Chrysanthemum, Carnation and Gerbera in Greenhouse Soil. *RDA. J. Agri. Sci.* 36(2): 268-274
 21. Sohn, S. M. and K. S. Oh (1993) Influence of Nitrogen Level on the Accumulation of NO_3^- on Edible Parts of chinese Cabbage, radish and Cucumber. *Korean J. Soil Sci. & Fert.* 26(1):10-19.
 22. Lee, E. H. (1997) Studies on the Reduction of Nitrate content and the Enzyme Activities Related with Nitrogen assimilation of Leaf Lettuce(*Lactuca sativa* L.) and Water Dropwort(*Oenanthe stolonifera* DC.) Grown with Hydroponics. Ph. D. Thesis. Seoul National University.
 23. Travis, R. L. and J. L. Key (1971) Correlation between polyribosome level and the ability to induce nitrate reductase in dark-grown corn seedlings. *Plant Physiol.* 48: 617~620.