

## 화학비료와 퇴비 시용으로 재배한 상추의 질산염 축적 비교

이윤정 · 정종배\*

대구대학교 생명환경학부

(2006년 10월 29일 접수, 2006년 11월 21일 수리)

### Comparison of Nitrate Accumulation in Lettuce Grown under Chemical Fertilizer or Compost Applications

Yoon-Jung Lee, and Jong-Bae Chung\* (Division of Life and Environmental Sciences, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea)

**ABSTRACT:** Accumulation of nitrate in green vegetables is undesirable due to potential risks to human health. Lettuce was cultivated in pots under greenhouse conditions with compost applications of 2,000 and 4,000 kg/10a, and the growth and nitrate accumulation of lettuce were compared with those found in the lettuce cultivated with chemical fertilizers of recommended levels. Contents of  $\text{NH}_4\text{-N}$  in the soils of compost applications were much lower than those found in the soil of chemical fertilizer application. Two weeks after lettuce transplant,  $\text{NH}_4\text{-N}$  was not found in the soils of compost applications, and in the soils of chemical fertilizers application  $\text{NH}_4\text{-N}$  was not found three weeks after lettuce transplant. One week after lettuce transplant, content of  $\text{NO}_3\text{-N}$  was much higher in the soils of compost applications, and the contents were rapidly decreased. While, the content of  $\text{NO}_3\text{-N}$  in the soil of chemical fertilizers application was rapidly increased due to the nitrification of  $\text{NH}_4$  released from the applied urea. At the time of harvest, contents of  $\text{NO}_3\text{-N}$  in the soils of compost applications were less than 1.4 mg/kg, but in the soil of chemical fertilizers application the contents of  $\text{NO}_3\text{-N}$  was 54.2 mg/kg. Contents of  $\text{NH}_4$  in lettuce were about 20 mg/kg FW and were not much different among the treatments. However, contents of  $\text{NO}_3$  in lettuce were significantly different between the treatments of chemical fertilizer and compost. There were significant differences in fresh and dry weights, and growth of lettuce in the compost treatment of 4,000 kg/10a was highest among the treatments. These results indicate that the cultivation with compost only as N source can produce higher yield of lettuce and significantly reduce nitrate accumulation as compared to the conventional cultivation with chemical fertilizers.

**Key Words:** lettuce, compost, chemical fertilizer, nitrate, nitrate accumulation

### 서론

음용수나 식품류에 포함된 nitrate( $\text{NO}_3$ )는 사람의 건강에 대한 심각한 위해 요인으로 작용한다<sup>1)</sup>. Nitrate는 그 자체로는 비교적 독성이 없는 물질이지만, 섭취량의 일부는 위장 내에서 독성을 가지는 nitrite( $\text{NO}_2$ )로 전환되며  $\text{NO}_3$ 의 위해성은  $\text{NO}_2$ 에 의해 유발된다<sup>2)</sup>. 가장 널리 알려져 있는 위해작용으로는 특히 유아에서 발생할 수 있는 청색증으로  $\text{NO}_2$ 는 hemoglobin을 methemoglobin으로 전환시켜 혈액의 산소 전달 기능을 저해 한다<sup>3)</sup>. 또한 체내에 흡수된  $\text{NO}_3$ 는

소화과정을 통해 nitrosoamine류 화합물의 생성을 유발하는데, 이들 화합물은 동물실험 결과 발암작용을 하는 것으로 밝혀져 있다<sup>4,5)</sup>. 이러한  $\text{NO}_3$ 의 위해성을 고려하여 음용수 중의  $\text{NO}_3$  함량은 10 mg/l 이하로 이미 규제되고 있으며, 각종 식품과 농산물의  $\text{NO}_3$  함량에 대한 규제가 선진국에서부터 강화되고 있다<sup>6)</sup>. 유럽연합에서는  $\text{NO}_3$ 의 일일허용섭취량을 0-3.65 mg/kg body-weight로 설정하였으며<sup>7)</sup>, 미국 EPA에서는 일일기준섭취량을 1.6 mg  $\text{NO}_3\text{-N/kg}$  body-weight로 설정해두고 있다<sup>8)</sup>.

사람이 섭취하는  $\text{NO}_3$ 의 주된 공급원은 식품류 중에서도 특히 시금치, 상추 등의 신선 엽채류인 것으로 알려져 있다<sup>9,10)</sup>. 우리나라에서도 당근, 오이, 파, 양파 등에 비하여 시금치, 상추, 배추 등 엽채류의  $\text{NO}_3$  함량이 높은 것으로 조사되어 있

\*연락처:

Tel: +82-53-850-6755 Fax: +82-53-850-6759

E-mail: jbchung@daegu.ac.kr

다<sup>11)</sup>. 엽채류 중의 NO<sub>3</sub> 함량이 높은 이유로는 먼저 과다한 비료와 퇴비의 사용을 들 수 있으며, 이는 엽채류 작물들이 시설재배와 같은 집약적인 농법으로 생산되고 있기 때문이다<sup>12-15)</sup>. 식물이 흡수 이용하는 질소의 형태는 주로 NO<sub>3</sub>이며, 식물체 내에 흡수된 이후 환원효소의 작용으로 NH<sub>4</sub>로 전환되어 동화된다<sup>6)</sup>. 질산환원효소의 활성은 식물체내의 NO<sub>3</sub> 함량과 광조건 등에 의해 조절되며, 특히 광 조건은 NO<sub>3</sub>의 환원과 매우 밀접한 상관관계를 가진다. 광 조건이 불량할수록 NO<sub>3</sub> 축적이 증가하며, 이는 결국 NO<sub>3</sub>의 환원과 동화에 필요한 ferredoxin과 NADPH 및 탄수화물의 공급이 광합성에 의해 이루어지기 때문이다<sup>17,18)</sup>. 여름철에 비하여 광 조건이 불량한 겨울철에 재배된 엽채류의 NO<sub>3</sub> 함량이 높으며, 온실에서 재배된 엽채류에서 NO<sub>3</sub> 함량이 높게 나타나는 것은 과다한 질소비료와 퇴비의 사용에 더불어 광 조건이 불량하기 때문인 것이다<sup>14)</sup>. 식물체내에 흡수된 NO<sub>3</sub>는 주로 단백질과 핵산 등의 유기화합물에 동화되지만, 세포내의 이온 균형과 삼투압 조절 기능을 담당하기도 한다<sup>19)</sup>. Chung et al.은 polyethylene glycol을 이용하여 삼투포텐셜을 조절한 양액 중에서 상추를 재배한 결과 양액의 삼투포텐셜이 낮을수록 상추의 NO<sub>3</sub> 축적이 많아지는 현상을 밝혔으며, 토양의 염류집적 정도가 증가할수록 상추의 NO<sub>3</sub> 축적 또한 증가함을 근거로 염류집적으로 인한 토양 수분포텐셜의 저하가 작물의 NO<sub>3</sub> 축적으로 이어질 수 있는 가능성을 제시하였다<sup>20)</sup>.

우리나라에서 엽채류의 생산은 주로 비닐하우스에서 이루어지는데, 비닐하우스 농업은 앞서 언급한 바와 같이 화학비료와 퇴비의 사용 수준, 광조건, 토양의 염류집적도 등의 측면에서 재배작물의 NO<sub>3</sub> 축적을 쉽게 유발할 수 있는 환경조건을 갖추고 있다. 상추, 시금치, 배추 등 엽채류의 NO<sub>3</sub> 함량을 낮추기 위한 여러 가지 시비 및 재배기술이 연구되어 왔으나 아직 농가현장에 제대로 적용되고 있지는 못한 실정이다<sup>12-15)</sup>.

양분공급원으로 화학비료 대신 퇴비를 사용하는 유기농업은 작물에 대한 과다한 무기질소의 공급을 차단할 수 있으므로 엽채류의 질산염 축적을 저감시킬 수 있는 영농기술이 될

수 있을 것이다. 물론 작물에 대한 무기질소 공급량은 퇴비의 사용량에 따라서 결정될 것이다. 일부 연구결과에 따르면 유기농법으로 재배한 엽채류의 질산염 함량이 화학비료를 사용하는 관행농법으로 재배한 엽채류와 비교하여 오히려 높은 것으로 나타났다<sup>21,22)</sup>. 유기농 재배에서 질소 함량이 높은 퇴비의 과다사용이나 화학비료의 혼용이 오히려 엽채류의 질산염 축적을 유발하는 원인이 될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 질소원으로 퇴비만을 사용하여 재배한 상추의 질산염 축적현상을 조사하고 화학비료 표준시비량을 처리하여 재배한 상추의 질산염 축적과 비교하여 질소원과 사용량이 상추의 질산염 축적에 미치는 영향을 구명하였다.

## 재료 및 방법

질소 함량이 낮은 토양에 퇴비만을 사용한 처리와 화학비료를 권장시비량 수준으로 처리를 이용하여 온실에서 포트시험으로 상추를 재배하였다. 공시토양은 질소함량이 낮은 대구대학교 부속농장의 토양을 사용하였으며, 질소함량을 포함한 일반적인 특성은 Table 1과 같았다. 공시퇴비는 시중에서 구입한 2 종류를 사용하였으며, 질소와 수분 함량은 Table 2와 같았다.

상추(*Lactuca sativa* L.)의 품종은 신젠타 종묘의 청치마이였으며, 육묘용 상토에 파종한 후 온실에서 21일간 육묘하였다. 공시토양 1 kg을 포트에 담고 화학비료처리의 경우 N-P-K = 20-10-15 kg/10a 수준으로 각각 요소, 용성인비, 염화칼리를 전량 기비로 사용하여 토양에 혼합하였으며, 퇴비처리의 경우 공시퇴비를 각각 2,000 및 4,000 kg/10a의 2 수준으로 처리하였으며 P와 K는 화학비료 처리와 동일하게 처리하여 토양과 혼합하였다. 화학비료처리에는 퇴비를 사용하지 않았다. 시비처리 후부터 재배기간 동안 토양 수분함량은 포장용수량의 70% 수준으로 조절하였으며, 시비처리 2일 후 생육이 고른 상추 유묘를 pot당 1 주씩 정식하고 4주 동안 온실에서 재배하였다. 각 처리는 8반복으로 하고 완전임의배치법으로 시험을 수행하였으며, 3반복은 토양 중의 질소 함량 변화 조사에 사용하였고 나머지 5반복은 상추의 생육조

Table 1. Characteristics of the soil used in the experiment

Soil texture	pH (1:5 H <sub>2</sub> O)	Organic matter	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Total N
		g/kg	----- mg/kg -----		g/kg
Clay loam	6.7	13	2.5	6.3	1.0

Table 2. Contents of nitrogen and water in the composts used in the experiment

Compost	Nitrogen content			Water content
	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Total N	
	----- mg/kg -----			g/kg
Compost 1 (Sejin Plus)	9.6	1804.3	26.2	36.9
Compost 2 (Pleasant)	28.7	1068.7	23.5	49.1

사 및 질소와 엽록소 함량 분석에 사용하였다.

재배기간 동안 1 주 간격으로 토양 시료를 채취하여 NH<sub>4</sub>-N 과 NO<sub>3</sub>-N 함량을 측정하였는데, 2 M KCl 용액으로 추출하여 flow injection autoanalyzer FIA-5000 system(FOSS Tecator, Höganäs, Sweden)으로 분석하였다. 정식 4 주 후에 상추를 수확하여 지상부 생육과 잎의 엽록소 함량을 조사하였으며, 60°C에서 건조하여 건물량을 측정한 후 분쇄하여 분석 시료로 사용하였다. 상추중의 무기 질소는 열수로 추출한 후 flow injection autoanalyzer FIA-5000 system(FOSS Tecator, Höganäs, Sweden)으로 분석하였고, 총 질소함량은 Kjeldahl 방법으로 분석하였다. 상추의 엽록소 함량은 80% acetone으로 추출한 후 파장 645 nm와 663 nm에서의 흡광도를 측정하여 계산하였다<sup>23)</sup>. 시험결과에 대한 통계처리는 SAS 프로그램을 이용하여 Duncan의 다중비교법으로 수행하였다<sup>24)</sup>.

### 결과 및 고찰

#### 토양 중 무기질소 함량 변화

상추재배기간 동안 퇴비 처리와 화학비료 처리 토양중의 NH<sub>4</sub>-N과 NO<sub>3</sub>-N의 함량 변화는 Table 3과 같았다. 요소를 사용한 화학비료 처리 토양에서 정식 후 2주째까지 NH<sub>4</sub>-N 함량이 50 mg/kg 수준으로 유지되었으며 3주째부터는 측정되지 않았는데, 2주째까지 요소의 가수분해를 거쳐 그 이후 NH<sub>4</sub>은 신속히 산화되어 NO<sub>3</sub>로 전환된 것으로 판단된다. 퇴비 처리에서는 NH<sub>4</sub>-N의 함량이 1주째에 2.6-6.4 mg/kg 수준으로 조사되었으며 그 이후에는 측정되지 않았다. NO<sub>3</sub>-N 함량의 경우 화학비료 처리에서는 작물의 흡수에도 불구하고 요소에서 유리된 NH<sub>4</sub>의 질산화로 3주째까지 증가하였으며 수확기에도 50 mg/kg 이상으로 잔존하였다. 퇴비 처리의 경우 NO<sub>3</sub>-N 함량은 1주째에 퇴비 화학비료 처리에 비하여 높았으나 상추재배 기간 동안 현저히 감소하였으며 수확기에

는 시험 전 토양중의 함량보다 낮은 0.4-1.4 mg/kg 수준까지 낮아졌다.

퇴비 처리구의 경우 상추의 생육 중기 이후에 토양중의 무기질소 함량이 현저히 낮아짐으로 상추의 NO<sub>3</sub> 과다 흡수에 따른 축적을 방지할 수 있을 것이나 생육 후기에 질소 부족을 일부 초래할 수도 있을 것으로 예상된다. 화학비료 처리의 경우 질소비료를 권장수준으로 처리하였으나 상추재배기간 동안 퇴비 처리에 비하여 상대적으로 훨씬 높은 수준의 NO<sub>3</sub>가 지속적으로 토양에 잔류하는 것으로 나타났다. 시험 종료 후의 토양 중 잔류 NO<sub>3</sub>-N 함량은 54.2 mg/kg으로 시험 전 토양중의 NO<sub>3</sub>-N 함량에 비하여 8배 이상에 해당한다.

표준시비량으로 질소를 20 kg/10a 수준으로 처리하고 무차광 및 50% 차광조건으로 유리온실에서 상추를 재배한 연구결과에 따르면<sup>15)</sup>, 수확 후 토양에 잔류하는 NO<sub>3</sub>-N 함량이 시험 전의 함량이 6.7 mg/kg인데 비하여 81.3 및 77.3 mg/kg으로 증가하였으며 NH<sub>4</sub>-N 잔류 함량도 1.83 및 1.65 mg/kg이었다. 따라서 상추에 대한 질소의 현행 추천 시비량이 과다하게 설정되어 있는 것으로 판단된다. 특히 용탈에 의한 양분의 유실이 없는 시설 내에서 이러한 시비량으로 상추를 재배할 경우 NO<sub>3</sub> 과다 흡수에 따른 축적은 불가피할 것으로 예상되며 퇴비 시용을 통하여 추가적으로 공급되는 질소까지 고려하면 질소의 과잉 공급 현상은 더욱 악화될 수밖에 없을 것이다.

#### 상추의 생육과 잎 중의 질소 및 엽록소 함량

상추 잎 중의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 함량은 화학비료 처리와 퇴비 처리 모두에서 20 mg/kg 내외로 나타났으며 Compost II 4,000 kg/10a 처리에서 다른 처리에 비하여 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 함량이 낮았으나, 화학비료와 퇴비처리에 따른 유의성 있는 차이는 없었다. (Fig. 1). 생체중의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량은 화학비료 처리에서 2,387.7 mg/kg 으로 퇴비 처리에 비하여 매우 높았으며, 반면 퇴비 처리에서는 퇴비 종류와 처리수준에 따라서 약간의 차이는

Table 3. Changes of inorganic N contents in soils during the lettuce cultivation

Treatment	7 DAT	14 DAT	21 DAT	28 DAT	
	mg/kg				
NH <sub>4</sub> -N	Chemical fertilizer (20 kg N/10a)	49.2	48.4	-	-
	Compost I (2000 kg/10a)	2.6	-	-	-
	Compost II (2000 kg/10a)	4.5	-	-	-
	Compost I (4000 kg/10a)	3.5	-	-	-
	Compost II (4000 kg/10a)	6.4	-	-	-
NO <sub>3</sub> -N	Chemical fertilizer (20 kg N/10a)	18.8	36.4	69.1	54.2
	Compost I (2000 kg/10a)	24.8	13.6	1.7	0.4
	Compost II (2000 kg/10a)	24.6	9.6	0.7	0.5
	Compost I (4000 kg/10a)	35.7	27.1	15.6	1.1
	Compost II (4000 kg/10a)	55.2	30.4	11.1	1.4

있었으나 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량이 50 mg/kg 이하로 나타났다(Fig. 2). 유럽연합에서는 10월부터 3월 사이에 수확하는 상추의 경우 4,500 mg/kg 그리고 4월부터 9월 사이에 수확하는 상추에 대해서는 3,500 mg/kg을 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량 제한기준으로 정해두고 있는데<sup>10)</sup>, 퇴비를 처리한 경우뿐만 아니라 질소 20 kg/10a 수준 처리로 재배한 상추의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량도 이 기준을 초과하지는 않았다. 그러나 화학비료 처리와 퇴비 처리 사이에 상추 잎 중의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량은 현저한 차이를 보였으며, 이러한 결과는 Table 3에 제시된 상추 재배기간 동안의 토양 중 무기태 질소 함량 변화에서 나타난 바와 같이 결국 화학비료와 퇴비 처리에 의해 토양에 공급되는 무기질소 수준의 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

상추의 생육은 수확 후 생체량과 건물량으로 조사하여 Fig. 3에 나타내었다. 화학비료 표준시비량 처리와 비교하면 퇴비 2,000 kg/10a 처리에서는 생체량이 13-19% 적었으며 건물량에서는 차이가 없었다. 퇴비 4,000 kg/10a 수준에서는 생체량과 건물량 모두 표준시비량 처리보다 크게 증가하

였다. 퇴비 4,000 kg/10a 수준 처리에서 생육 후기에 토양 중의 무기질소 함량은 화학비료 처리에 비하여 현저히 낮았지만 상추의 생육에 지장을 초래하지 않을 정도로 질소의 공급이 원활히 이루어진 것으로 판단된다.

상추 잎 중의 총 질소 함량은 화학비료 처리 구에서 가장 높았으며 퇴비 처리구에서는 2,000 및 4,000 kg/10a 수준에서 모두 화학비료 처리구에 비하여 낮았다(Fig. 4). 화학비료 처리와 퇴비 4,000 kg/10a 처리를 비교하면 퇴비 처리에서 총 질소의 함량은 낮으나 생육량이 많으므로 잎의 질소 흡수량은 화학비료 처리에서 19.2 mg/plant 정도이나 퇴비처리에서는 19.0-26.4 mg/plant로 퇴비처리에서 훨씬 많은 것으로 나타났다. 총 질소의 함량이 낮은 것은 생육차이에 따른 희석효과이며 질소 공급은 퇴비 4,000 kg/10a 처리수준에서 충분한 것으로 판단된다. 상추 잎 중의 엽록소 함량은 화학비료 처리 구에서 가장 높았다(Table 4). 퇴비 2,000 kg/10a 처리에서는 생육 감소와 함께 황화현상이 나타날 정도로 엽록소 함량이 낮았으며, 퇴비 4,000 kg/10a 처리에서는 화학

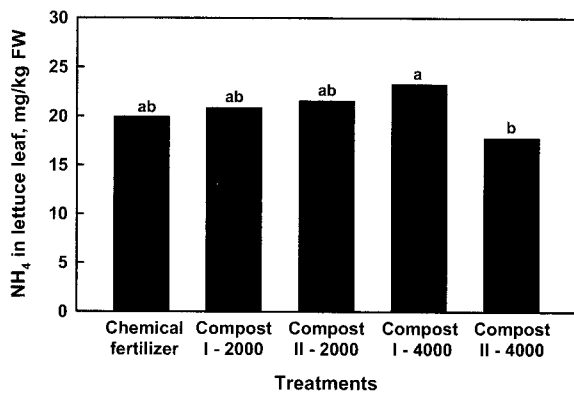


Fig. 1. Content of NH<sub>4</sub> in lettuce leaf after harvest. Means followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05.

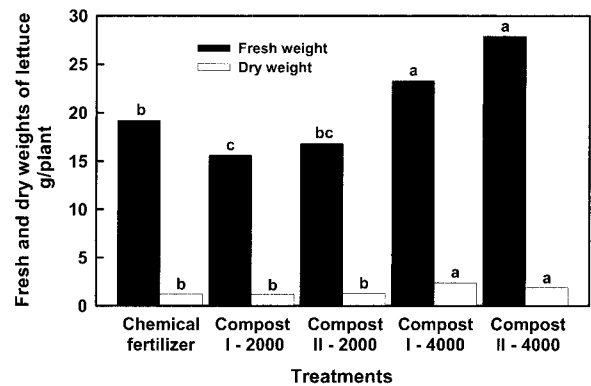


Fig. 3. Fresh and dry weights of lettuce after harvest. Means followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05.

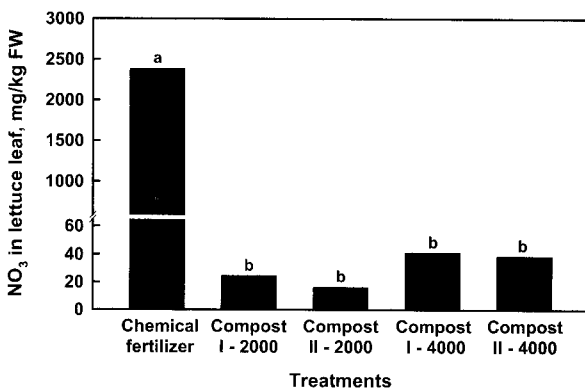


Fig. 2. Content of NO<sub>3</sub> in lettuce leaf after harvest. Means followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05.

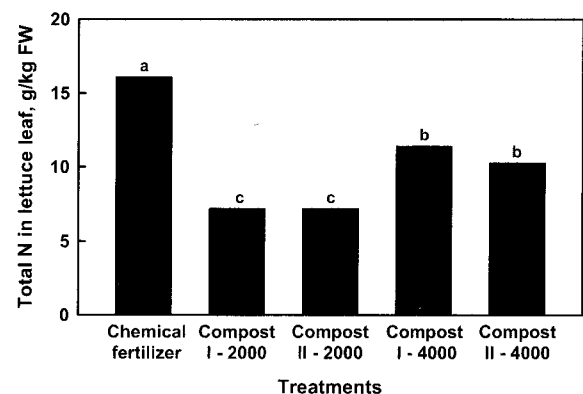


Fig. 4. Content of total N in lettuce leaf after harvest. Means followed by the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05.

**Table 4. Content of chlorophyll in the lettuce leaf after harvest**

Composts	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll
Chemical fertilizer (20-10-15)/10a	39.4 a <sup>1)</sup>	14.7 a	54.1 a
Compost I (2000 kg/10a)	20.9 c	5.1 c	26.0 c
Compost II (2000 kg/10a)	18.4 c	4.8 c	23.2 c
Compost I (4000 kg/10a)	28.9 b	7.6 b	36.5 b
Compost II (4000 kg/10a)	26.5 b	8.1 b	34.6 b

<sup>1)</sup> Means within a column followed by same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P=0.05.

비료 처리에 비하여 엽록소 함량이 약간 낮았으나 가시적인 황화현상은 없었다.

Lee et al.의 연구결과에 따르면<sup>15)</sup>, 질소를 18 및 20 kg/10a 수준으로 처리하였을 때 상추 잎 중의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량이 2,844 및 3,836 mg/kg FW로 나타났으며, 질소 시용량을 30 또는 40 kg/10a 수준으로 증가시키면 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량은 4,441 또는 5,617 mg/kg FW 까지 증가하였다. 또한 질소 18 kg/10a 수준으로 처리한 경우 작물 수확 후 토양잔류 무기질소 함량이 7.8 mg/kg 정도이나 질소 시용량이 20, 30 및 40 kg/10a 수준으로 증가함에 따라서 토양잔류 무기질소 함량도 77-175 mg/kg으로 증가하였다. 이와 같이 질소 시비량은 엽채류 중의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 축적에 가장 직접적으로 영향을 미치는 요인으로 작용하며, 과잉으로 투입된 질소는 토양 잔류질소 함량을 높여 후작물의 질소과잉 흡수뿐만 아니라 용탈에 의한 유실을 조장할 것이다. 따라서 작물체 중의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 축적을 현저히 저감시키기 위해서는 화학비료를 사용하더라도 작물의 요구량에 따른 질소 시용량의 조절이 가장 먼저 이루어져야 할 것이며, 현재 사용되고 있는 상추에 대한 표준 시비량은 생산성 확보뿐만 아니라 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량에 미치는 영향을 고려하여 재검토되어야 할 것으로 판단된다.

관행농법과 유기농법으로 상추를 재배하는 경기 및 충청 지역의 농가 포장을 대상으로 조사한 결과에 따르면<sup>22)</sup>, 상추의 가식부 내 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량은 관행농법에서 472-2,455 mg/kg 그리고 유기농법에서 679-4,680 mg/kg 범위로 나타났으며, 평균값은 관행농법과 유기농법에서 각각 1,537 및 2,543 mg/kg으로 유기농법 농가에서 생산된 상추의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량이 상대적으로 더 높았다. 일반적으로 화학비료를 사용하는 관행 농업에 비하여 유기농법으로 재배한 작물 중의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량이 낮은 것으로 알려져 있다<sup>24)</sup>. 그리고 본 연구의 결과에서도 퇴비 4,000 kg/10a 수준 처리의 경우 화학비료 표준시비량 처리에 비하여 상추의 수량은 증가하였으며 동시에 상추 잎 중의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량은 매우 낮았다. Shon et al.의 조사 결과를 보면<sup>22)</sup>, 유기농법 농가의 토양 중 잔류 NO<sub>3</sub>-N 함량이 표토에서 5-255(평균 86) mg/kg으로 나타났으며 반면 관행농법 농가 토양의 경우에는 7-33(평균 13) mg/kg이었다. 토양의 EC 또한 관행농법 농가와 유기농법 농가에서 각각 0.7 및

2.3 dS/m로 유기농법 농가에서 높았으며, 유효인산의 축적 또한 유기농법 농가에서 훨씬 많았다. 이러한 결과는 질소를 비롯한 각종 무기영양 염류의 투입이 유기농법 농가에서 과다하게 이루어지고 있는 것으로 판단된다. 퇴비의 시용량이 많거나 퇴비중의 질소 함량이 지나치게 많은 경우 또는 기타 자재의 투입을 통해 질소가 과잉으로 공급될 경우 유기농법도 화학비료를 사용하는 관행농업과 마찬가지로 엽채류의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 과잉 축적을 유발할 수밖에 없을 것이다.

최근 국내 생산 엽채류의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량을 조사한 결과를 보면, 시금치 경우 195-7,793 mg/kg 범위로 나타났으며 평균 함량 4,259 mg/kg으로 조사대상 작물 중에서 가장 높았으며, 상추와 배추의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량은 각각 247-4,488 및 131-5,490 mg/kg로 나타났다<sup>11)</sup>. 분석시료로 사용된 엽채류의 재배 이력에 대한 정보는 없으나 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량 범위가 매우 다양한 것을 알 수 있는데, 배추, 시금치, 상추에서 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 최소함량과 최대함량은 각각 42, 40 및 18배 정도의 차이를 보인다. 이러한 현상은 결국 농가에서 이들 엽채류를 화학비료를 중심으로 하는 관행농법으로 생산하던 퇴비를 중심으로 하는 유기농법으로 생산하던 근본적으로 작물에 대한 질소 공급량이 매우 다양하기 때문에 발생할 수 있는 결과로 판단된다. 그리고 분석용 엽채류 시료를 유통과정에서 구입하였으므로 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량이 수 백 mg/kg 정도로 낮은 작물들도 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량이 수 천 mg/kg 정도로 높은 경우에 비하여 재배과정에서 농가의 수량은 차이가 없었을 것으로 예상된다. 따라서 엽채류 작물의 수량을 충분히 확보하면서도 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량을 최대한 낮출 수 있는 작물별 적정 질소비료 시용수준을 결정하는 것이 무엇보다도 먼저 이루어져야 할 것이다. 그리고 유기농법으로 생산되는 엽채류의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 과잉축적을 방지하기 위해서는 퇴비를 포함한 각종 유기자재의 질소 무기화 잠재력을 정확한 평가하고 질소 공급력을 기준으로 하여 그 시용량을 적절히 조절해야 할 것이다.

**요 약**

화학비료 표준시비량과 시중에서 구입한 퇴비 2,000 및 4,000 kg/10a 수준의 처리로 상추를 재배하여 잎 중의 NO<sub>3</sub>

축적 현상을 비교하였다. 화학비료 표준시비량 처리에 비하여 퇴비 4,000 kg/10a 수준의 처리로 상추의 수량을 충분히 확보하고 잎 중의 NO<sub>3</sub> 함량을 안전한 수준 이하로 현저히 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다.

용탈에 의한 질소의 유실이 거의 없는 온실 조건에서는 상추에 대한 화학비료의 현행 권장 시비수준이 과다한 것으로 판단되며, 상추를 비롯한 야채류의 NO<sub>3</sub> 함량을 낮추고 토양의 염류집적을 저감하기 위해서는 화학비료 적정 사용량에 대한 재검토가 필요할 것으로 판단된다. 안전농산물의 생산을 목표로 하는 유기농업에서도 작물의 적정 질소 요구량을 기준으로 퇴비 등의 질소 공급자재의 사용량을 결정해야 할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 2006학년도 대구대학교 학술연구비의 지원으로 수행되었음.

### 참고문헌

- Walker, R. (1990) Nitrates, nitrites and N-nitroso compounds : a review of the occurrence in food and diet and the toxicological implications, *Food Addit. Contam.* 7, 718-768.
- Pannala, A. S., Mani, A. R., Spencer, J. P. E., Skinner, V., Bruckdorfer, K.R., Moore, K.P. and Rice- Evans, C.A. (2003) The effect of dietary nitrate on salivary, plasma, and urinary nitrate metabolism in humans, *Free Rad. Biol. Med.* 34, 576-584.
- Knobeloch, L., Salna, B., Hogan, A., Postle, J. and Anderson, H. (2000) Blue babies and nitrate-contaminated well water, *Environ. Health Perspect.* 108, 675-678.
- Wolff, I. A. and Wasserman, A. E. (1972) Nitrate, nitrite, and nitrosoamines, *Science* 177, 15-19.
- Ohshima, B. (1981) Quantitative estimation of endogenous nitroation in human by monitoring N-nitrosoprolin excreted in the urine, *Cancer Res.* 41, 3658-3662.
- European Commission. (1997) Council regulation 194/97 of 31 January 1997. *Official Journal of the European Communities*, L 31, 48-50, Brussels, Belgium.
- Commission of the European Communities Scientific Committee for Food (1992) Report of the Scientific Committee for Food on Nitrate and Nitrite, 26th Series, European Commission, Brussels, Belgium.
- Mensinga, T. T., Speijers, G. J. A. and Meulenbelt, J. (2003) Health implications of exposure to environmental nitrogenous compounds, *Toxicol. Rev.* 22, 41-51.
- Ysart, G., Miller, P., Barrett, G., Farrington, D., Lawrances, P. and Harrison, N. (1999) Dietary exposures to nitrate in the UK, *Food Addit. Contam.* 16, 521-532.
- Santamaria, P., Elia, A., Serio, F. and Todaro, E. (1999) A survey of nitrate and oxalate content in fresh vegetables, *J. Sci. Food Agric.* 79, 1882-1888.
- Chung, S. Y., Kim, J. S., Kim, M., Hong, M. K., Lee, J. O., Kim, C.M. and Song, I.S. (2003) Survey of nitrate and nitrite contents of vegetables grown in Korea, *Food Addit. Contam.* 20, 621-628.
- Brown, J. R. and Smith, G. E. (1966) Soil fertilization and nitrate accumulation in vegetables, *Agron. J.* 58, 209-212.
- Sohn, S. M. and Oh, K. S. (1993) Influence of nitrogen level on the accumulation of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> on edible parts of Chinese cabbage, radish and cucumber, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 26, 10-19.
- Sohn, S. M., Oh, K. S. and Lee, J. S. (1995) Effects of shading and nitrogen fertilization on yield and accumulation of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in edible parts of Chinese cabbage, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 28, 154-159.
- Lee, G. J., Kang, B. G., Kim, H. J. and Min, K. B. (2000) Effect of shading and nitrogen level on the accumulation of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in leaf of lettuce (*Lactuca sativa* L.), *Korean J. Environ. Agric.* 19, 294-299.
- Oaks, A. (1994) Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation, *Can. J. Bot.* 72, 739-750.
- Aslam, M. and Huffaker, R. C. (1984) Dependency of nitrate reduction on soluble carbohydrates in primary leaves of barley under aerobic conditions, *Plant Physiol.* 75, 623-628.
- Steingrover, E., Oosterhuis, R. and Wieringa, F. (1982) Effect of light treatment and nutrition on nitrate accumulation in spinach (*Spinacea oleracea* L.), *Z. Pflanzenphysiol.* 107, 97-102.
- Mengel, K. (1979) Influence of exogenous factors on the quality and chemical composition of vegetables, *Acta Hort.* 93, 133-151.
- Chung, J. B., Jin, S. J. and Cho, H. J. (2005) Low water potential in saline soils enhances nitrate accumulation of lettuce, *Commun. Soil Sci. Plant*

- Anal.* 45, 191-195.
21. Sohn, S. M., Oh, K. S. and Mun, W. T. (1994) Differences on the nitrate accumulation in edible parts of Chinese cabbage and radish cultivated by conventional and organic farming method, *Korean J. Organic Agric.* 3, 87-97.
  22. Sohn, S. M., Han, D. H. and Kim, Y. H. (1996) Chemical characteristics of soils cultivated by the conventional farming, greenhouse cultivation and organic farming and accumulation of  $\text{NO}_3^-$  in Chinese cabbage and lettuce, *Korean J. Organic Agric.* 5, 149-165.
  23. Ross, C. W. (1974) *Plant physiology laboratory manual*, Wadsworth Publishing Co. Inc., Belmont, CA, USA.
  24. SAS Institute (2000) *The SAS system for Windows, Version 8*, SAS Institute, Cary, NC, USA.
  25. Worthington, V. (2001) Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains, *J. Altern. Complem. Med.* 7, 161-173.
-