

최 종  
보 고 서

채소의 질산염 감량 기술 개발  
Development of Reduction Technology  
for Nitrate Accumulation in Vegetables

연구기관  
단국대학교

농림부



## 최 종 보 고 서

1997년도 농림기술개발사업에 의하여 완료한 「채소의 질산염 감량 기술 개발」  
에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

- 첨부 : 1. 최종보고서 10부  
2. 최종보고서 디스켓 1매

2000년 8월 30일

주관연구기관 : 단국대학교

총괄연구책임자 : 손 상 목 (인)

주관연구기관장 : 단국대학교 총장

농 립 부 장 관 귀 하

직 인

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “채소의 질산염 감량 기술 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2000. 8. 30.

주관연구기관명 : 단 국 대 학 교  
총괄연구책임자 : 손 상 목  
연 구 원: 제주대 유장걸, 송성준  
연 구 원 : 순천향대 변광의  
연 구 원 : 상명대 양용준  
연 구 원 : 단국대 김영호  
연구보조원: 단국대 윤지영,  
박양호  
유기농업인 김호기  
협동연구기관명 : 농업과학기술원  
협동연구책임자 : 박 양 호  
협동연구기관명 : 동 국 대 학 교  
협동연구책임자 : 김 경 제  
협동연구기관명 : 원 예 연 구 소  
협동연구책임자 : 권 영 삼  
협동연구기관명 : 한국 F D A  
협동연구책임자 : 김 낙 경

# 요 약 문

## I. 제 목

### 채소의 질산염 감량 기술 개발

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

본 연구는 채소 질산염 감량 기술 개발을 하여 생산자 농민에게는 저질산염 채소생산 기술을 개발하여 널리 보급하여 고품질 채소생산을 통해 소득증대와 친환경농업의 실천에 솔선토록 하고, 소비자에게는 일일섭취량을 줄이는 고질산염 함유 채소의 가식부위 제거, 업색에 의한 저질산염 채소 선별, 조리 및 보관 과정에서 질산염 저감방법 등의 정보를 제공하는데 있다.

사람은 질산염 섭취량의 85%이상을 채소를 통해서 나머지는 식수 등을 통해서 섭취하는데, 섭취된 질산염은 청색증을 일으키거나 구강타액에서 아질산염으로 환원되어 아민류와 반응하여 강력한 발암성 물질인 N-nitrosamine이 생성하기도 한다고 알려져 있다. 그런데 한국인은 채소의 섭취량이 일본보다 높아 채소를 통한 질산염의 섭취량도 더 높아 FAO/WHO의 일일섭취허용량(ADI)을 1.8~3.4배나 초과한다.

채소류중의 질산염함량은 재배시에 살포되는 비료의 종류, 살포량, 살포시기에 가장 영향을 많이 받으며 특히 질소시용량과 채소 질산염 집적량은 대단히 밀접히 연관되어 있으므로 질소시비량 및 재배조건에 따라 질산염함량을 크게 줄일 수 있기 때문이다. 왜냐하면 채소재배는 질소과다시비가 관행적으로 이루어지고 있어 채소의 질산염 과다집적의 원인이 되고 있기 때문이다.

뿐만아니라 질소과다시용은 채소재배지 토양의 질산염 집적으로 인한 지하수 수질오염을 야기하고 있기도 하나, 채소의 질산염과다집적과 수질오염과는 관계에 대해서는 국내 연구가 아직 미진한 형편이다.

한편 채소류 질산염함량은 채소의 종류, 생산지, 저장(온도, 광등) 및 가공조건에 따라 달라지고 수확후 저장조건, 유통조건, 조리방법에 의해서도 질산염 함량이 저

감될 수 있으므로, 질산염 저감과 관련한 제반 재배조건 및 가공조건 등을 파악하면 채소를 통한 일일질산염섭취량을 크게 감소시킬 수 있다고 할 수 있다.

독일, 오스트리아, 스위스, 네델란드 등 유럽 각국에서는 채소질산염 허용기준치가 2,500~3,500ppm내외로 채소별로 각각 정해져 있다. 또한 유럽연합(EU)은 1997년에 15개 전 회원국가에 통용되는 채소질산염 허용기준에 대한 단일 기준치를 시금치와 상추에 대해 설정한바 있다. 독일에서는 안전농산물 기준에 농약, 중금속과 같이 채소 질산염 함량이 포함되어 있어 보건당국에서 허용기준을 초과하는 채소에 대한 엄격한 통제(유통금지, 수입금지, 업주고발) 등을 실시하고 있으며, 독일, 네델란드, 영국 등은 정부에서 각종 채소의 질산염함량, EU허용기준치를 초과하는 채소의 비율, 그리고 일일질산염섭취량 등에 관한 조사보고서를 발간하고 있다.

일일질산염섭취량이 WHO의 ADI의 1/2~1/3수준인 유럽국가에서 이같은 채소질산염 허용기준을 실시하는것과 대조적으로 ADI를 1.8~3.4배 초과하는 우리나라에서는 아직 수질에 대한 질산염 허용기준이 설정되어 있을뿐 채소에 대한 질산염 허용기준은 설정되어 있지 않다. 한국인의 일일질산염섭취량이 세계에서 최고로 많은 것은 채소 소비량이 세계에서 가장 많고(쌈과 김치를 즐겨하기에), 질소비료사용량이 네델란드 다음으로 가장 많은 까닭이다.

최근 소비자단체에서는 우리나라에서 생산되는 채소의 질산염함량이 외국의 허용기준을 초과한다는 사실을 발견, 외국의 수준으로 규제할 것을 촉구하고 있으며, 고품질 안전농산물에 대한 소비자들의 욕구 역시 그 어느 때보다 많이 분출되고 있다.

따라서 우리나라도 유럽연합의 채소질산염 허용기준치를 원용하여 적용하는 것이 적절하다고 보이며, 더 나아가서는 우리나라 실정에 알맞는 채소질산염 허용기준의 설정이 필요하다고 판단되었다. 증산위주의 비료사용과 재배농민들의 이익만을 추구하던 농업에서 이제는 국민의 건강과 안전을 고려한 질좋은 농산물을 생산, 공급할 수 있는 기반이 마련되어야 할 시대이기 때문이다.

한편 채소질산염 허용기준 설정과 저감대책은 정부가 추진하고 있는 친환경농업의 성공적 실현을 위해서도 유럽의 채소질산염 허용기준제도를 원용하여 비료 과다사용에 의한 환경오염(토양의 염류집적과 질산염에 의한 수질오염)의 회피를 도모하고 병충해 저항성을 높혀 농약사용을 저감시키는 노력을 경주할 필요가 있다고 사료되었다. 증수위주의 다비재배에서 적량시비로 전환하여 비료비 절감 및 환경오염 경감 기술을 확산시키는데는 채소질산염 허용기준제도가 크게 긍정적으로 작용할 수 있기 때문이다.

저질산염 함유 고품질 채소 생산기술을 개발하여 이를 농가에 보급함으로써, 즉 안전식품 생산에 의한 농가소득 증대에 기여하고, 질산염 함량이 낮은 품종의 재배, 가공에 따라 고품질 가공식품 생산 체계를 가능케 하며, 유럽의 질산염허용기준 이하의 질산염 함유 채소 생산으로 김치의 국제 경쟁력을 강화하는데 기여하고자 하는 것이 또한 본 연구의 목적이다. 선진국에서는 이미 채소류중의 질산염 함유량을 규제하고 있는 나라도 있으므로 채소류 중의 질산염을 감소시키지 못할 경우 김치 등 가공채소류의 수출에도 막대한 지장을 초래할 수 있기 때문이다. 김치의 모재료인 배추, 무 등 채소의 저질산염 대책수립으로 김치의 식품안전성, 우수성 확보에 기여하여 국내 소비 및 수출 촉진에 기여할 수 있기 때문이다.

### III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 채소 질산염 절감 기술 개발을 위해 다음과 같이 주요 과제들을 중심으로 실시하였다.

- 유통 및 가공채소의 질산염 함량 monitoring
- 토경재배에 있어서 질산염 경감기술
- 질소시비량에 따른 질산염 집적과 엽육 생육특성 구명
- 유기질비료 시용량에 따른 질산염 집적
- 토양중 질산태질소의 동태와 흡수 추적
- “대농민용 저감기술 지침서” 개발
- 질산염 저감 양액재배 생산방법 개발
- 암모늄을 주 질소원으로 한 양액의 안정화 방법 개발
- 재배조건에 따른 생육, 수량 및 질산염 집적
- 엽내 질산염 함량과 엽색과의 관계
- 질산염 집적과 효소활성도 관계
- 저장, 유통조건에 따른 질산염 변화
- 가공 및 조리에 따른 질산염 함량 변화
- 유럽의 채소질산염 허용기준제도 연구

#### IV. 연구 개발 결과 및 활용에 대한 건의

##### 1) 연구개발 결과

1. 국내 유통되고 있는 채소류중 소비량이 많고 신선채소로 이용되고 있는 시금치, 상추, 배추의 평균 질산염함량은 각각 3,088, 2,412, 3,017ppm이었으나 시료에 따라 다양한 분포 특성을 보였다.
2. 근채류와 과채류중 질산염함량은 엽채류에 비해 상당히 낮았고, 특수채소 대부분의 채소류는 평균 3,000ppm 이하의 낮은 질산염 분포를 보였다.
3. 신선채소중 질산염함량은 지역간에 차이는 없었으나 하절기 시료가 동절기에 비해 높은 질산염함량 분포를 보였다.
4. 가공채소중 단무지와 배추김치, 열무김치 즙액중의 평균 질산염 함량은 346, 1,471, 3,240ppm이었고, 국물중 질산염 함량은 각각 340, 979, 1,383ppm이었으며, 지역간 큰 차이는 보이지 않았다. 신선채소류의 질산염이 가공과정을 통해 다량 저감되었으며, 가공 채소류의 질산염함량이 신선 채소류중 질산염함량보다 낮은 값을 나타내었다.
5. 삼요소 검정시비량을 화학비료로 사용하고 퇴비를 증시함으로써 수량성 증대를 꾀할 수 있었으며 생체내 질산염함량도 낮게 유지할 수 있었다. 표준시비량과 함께 퇴비를 1~3 톤/10a 혼용함으로써 상추와 시금치의 수량 증대와 질산염함량이 EU 공동 기준을 넘지 않는 농산물의 생산이 가능할 것으로 판단되었다.
6. 상추는 요소처리에서 수량이 가장 높았으나 질산염함량은 비종간 차이가 없었다. 시금치의 수량은 요소와 유안처리구에서 가장 높았으며 질산염함량은 유안처리구에서 가장 낮았다.
7. 하절기에 시설하우스 내에서 재배된 시금치의 경우 퇴비를 사용하지 않고 요소비



료만 처리함으로써 생체중 질산염함량이 EU의 공동기준보다 다소 높은 것으로 나타났으나, 동계에 퇴비와 함께 비료를 시용할 경우와 노지 재배시에는 시금치 생체중 질산염함량이 낮은 값을 나타내었다.

8. 배추의 球高는 시비수준이 증가할수록, 척박토양에서 재배한 경우 뿐만 아니라 비옥토양에서 재배하였을 때에도 각각 고도로 유의성 있게 증가하였으며 토양비옥도 차이와 질소시비량에 대한 상호작용효과도 나타났다. 배추의 球幅와 엽수도 질소시비량이 증가할 때 척박토양, 비옥토양에서 모두 크게 증가하였다.

9. 배추수량은 척박토양에서 무비구에 비해 추천시비량시용구인 보비구에서는 약 4.3배 증가하는 거의 수직적인 증가 추세를 나타냈으나 질소과다시용구인 배비구에서는 오히려 보비구보다 낮아졌다. 비옥토양에서는 무비구 수량이 척박토양에 비해 2.1배 정도 높았으나, 보비구와 배비구의 수량은 척박토양과 비슷하여 질소시비량 증가에 따른 증가폭이 상대적으로 낮았다.

10. 배추의 엽중/엽신면적은 질소시비량이 증가할수록 척박토양의 경우 엽신두께가 두꺼워졌으나 비옥토양의 경우 오히려 낮아졌다. 엽신중/중록중은 척박토양, 비옥토양 공히 질소시비량이 증가할 때 증가하여 엽신중비율이 상대적으로 크게 증가하는 양상을 나타냈다. 중록면적/중록중은 척박토양, 비옥토양 공히 질소시비량이 증가할 때 크게 감소하여 중록이 두꺼운 배추가 생산됨을 보여 주었다.

11. 비옥정도가 상이한 토양에서 재배한 배추의 평균 $\text{NO}_3^-$ 집적량 차이는 대단히 커서 비옥토양에서 재배한 배추가 650ppm으로 척박토양에서 재배한 배추의 126ppm보다 5.2배나 높았다. 가식부위중 외부엽  $\text{NO}_3^-$  집적량은 외부중록>내부엽병>외부엽신>내부엽신의 순으로 높았다.

12. 질소시비량이 증가할수록 배추의 가식부위별  $\text{NO}_3^-$ 집적량도 증가하였으나 그 증가폭은 토양비옥도 차이 및 가식부위에 따라 달랐다. 추천시비량인 보비구까지의 증가폭은 그리 크지 않았으나 추천시비량을 상회하는 배비구에서는 급격히 증가하였는데 비옥토양에서 5배, 척박토양에서 7.7배로 증가하였다.

13. 토양비옥도가 낮은 무비구에 비해 토양비옥도가 높은 질소배비구의 가식부위내  $\text{NO}_3^-$  집적량은 대단히 높았는데 증가폭이 가장 낮은 내부엽신의 경우 13.7배, 가장 높은 외부중류의 경우 89배까지 상승하였다. 배추의 내부엽보다는 외부엽에 그리고 엽신보다는 중류부위에  $\text{NO}_3^-$ 가 많이 집적되었다.

14. 중류면적/중류무게 비율과 내부 및 외부엽의 중류에서 부의 상관관계를 보였는데 이것은 중류면적/중류무게 비율이 작아질수록  $\text{NO}_3^-$  집적량은 높아지는 경향을 나타내는 것이다.

15. 무의 엽장은 질소시비량이 증가할수록 척박토양과 비옥토양 모두 각각 고도의 유의성있게 증가하였다. 엽수와 엽중 역시 질소시비량 증가시 증가하는 질소시비량의 단독효과가 인정되었다. 무의 근장은 질소시비량이 증가할수록 증가를 하였으나 토양비옥도 차이와 질소시비량 상호작용효과는 별 차이가 없었다.

16. 무 수량, 즉 근중은 토양비옥도에 따른 차이는 인정되지 않았으나 질소시비량 증가에 따라 유의성 있게 증가를 보였다.

17. 무우 엽의  $\text{NO}_3^-$  집적량은 척박토양, 비옥토양 공히 질소시비량이 증가할수록 유의성 있게 증가하였으나 비옥토양의  $\text{NO}_3^-$  집적량은 척박토양에 비해 현저히 높았다.

18. 무 근지상부와 근지하부의  $\text{NO}_3^-$  집적량은 척박토양, 비옥토양 공히 질소시비량이 증가시  $\text{NO}_3^-$  집적량이 증가하였고, 근지상부가 근지하부보다 모든 처리구에서  $\text{NO}_3^-$  집적량이 많은 경향이였다. 질소시비량에 따라 엽장, 엽중, 엽수, 근중과 무의 가식부위별  $\text{NO}_3^-$  집적량간에 정의 상관관계가 인정되었다.

19. 관행 및 유기농법 토양에 따라 배추구고의 차이가 나타났으나, 구폭은 질소 및 유기질 비료시용이 증가할 때 증가하여 토양 및 유기질비료 시용간의 차이가 인정되었다. 관행 및 유기농법 토양에서 유기질비료 시용량이 증가할 때 배추수량(포기당 생체중)도 크게 증가하였다.

20. 엽신중/중록중은 관행농법 토양, 유기농법 토양 공히 유기질비료 사용량이 증가할 때 증가하여 엽신중 비율이 상대적으로 크게 증가하는 양상을 나타냈다. 중록면적/중록중은 관행농법 토양, 유기농법 토양 공히 유기질비료 사용량이 증가할 때 크게 감소하는 경향으로 중록이 두꺼운 배추가 생산됨을 보여 주었다.

21. 관행 및 유기농법 토양에서 질소비료와 유기질비료 사용량에 따른 배추의 가식부 위별  $\text{NO}_3^-$  집적량 차이를 보면, 배추의 내부 및 외부엽 엽신의  $\text{NO}_3^-$  집적량과 중록의  $\text{NO}_3^-$  집적량은 관행 및 유기농법 토양간에 현저한 차이가 나타났다. 또한 토양과 질소 및 유기질비료 사용간 상호작용 효과도 인정되어 유기질비료 사용의 효과는 토양내 유기물 함량에 따라 달라질 수 있다는 것으로 나타났다.

22. 유기질비료 사용에 따라 무의 생육 및 수량을 살펴보면, 관행 및 유기농법 토양에 따라 엽장은 증가 하였으나 그 증가폭은 관행농법 토양에 비해 유기농법 토양에서의 현저하게 컸다. 엽수도 질소 및 유기질비료 사용이 반비구, 보비구, 배비구로 증가시 증가하는 경향이었다. 근장, 근경 및 근중은 관행 및 유기농법 토양의 차이에 따라 현저한 차이가 인정되었으며 유기질비료 사용량 증가와 더불어 크게 증가하였다.

23. 무의 엽과 근지상부와 근 지하부의  $\text{NO}_3^-$  집적량은, 관행농법 토양에서는 별 차이가 없었지만 유기농법 토양의 보비구에서 엽, 근지상부, 근지하부 각각 308ppm, 2049ppm, 1815ppm으로 많은  $\text{NO}_3^-$  집적량을 나타내었고 모든 처리구에서 근지상부가 근지하부보다  $\text{NO}_3^-$  집적이 높았다. 한편 관행농법 토양의 무 근지상부의 경우 반비구, 보비구, 배비구에서 79ppm, 171ppm, 202ppm으로  $\text{NO}_3^-$  집적량을 보였다.

24. 엽채류 재배농가별 사용양액은 일본 원시액과 山崎의 상추 재배용 전용 배양액이 가장 많았다. 재배작물은 상추를 비롯하여 치커리, 청경채, 엔다이브, 콜라드 등이 대부분이었는데, 동일 작물의 경우 양액의 농도가 높을수록 작물의 체내 질산염 함량도 높았다.

25. 토양에 처리된 요소비료는 온도가 낮을 때 보다 높을 때 분해가 빨랐으며 암갈

색 비화산회토양이 농암갈색 화산회 토양보다 더 컸다. 암모늄태 질소에서 질산태 질소의 전환율, 즉 질산화작용은 pH, 질소 및 유기물함량이 높은 농암갈색 화산회 토양에서 높았다.

26. 질산태질소의 용탈량은 시비량이 증가함에 따라 높아 졌는 데, 암갈색 비화산회 토양에서 비료의 유래 질소의 양은 31-63% 이고 농암갈색 화산회토양은 19 -35%정도로 암갈색 비화산회 토양에서 더 큰 경향이였다.

27. 질소시비량이 증가함에 따라 암갈색 비화산회 토양과 농암갈색 화산회 토양에서 재배된 무우와 배추의 생체중, 건물중과 식물체중의 질소함량은 점차 증가되었으나 인, 칼륨, 칼슘 또는 마그네슘의 함량은 일정한 경향을 띄지 않았다. 또한, 질소시비는 실험후 토양의 pH를 낮추었으나, 유기물, 총질소, 치환성 양이온 함량에는 영향을 주지 않았다.

28. 무우와 배추의 질산태 질소의 축적은 기준시비량보다 4배 높은 질소량을 시비했을 때 급격히 증가했으며 비료에서 유래한 질소 분율은 시비량에 따라 차이는 있지만 시비된 질소 비료양의 3.5~17 %였다.

29. 시비된 비료의 이용율은 기준 시비량에서는 토양의 종류에 관계없이 무우(암갈색 비화산회 토양: 68%, 농암갈색 화산회 토양: 78%)가 배추(암갈색 비화산회 토양: 53%, 농암갈색 화산회 토양: 52%)보다 높았으나 기준시비량보다 4배 높은 경우 무우와 배추의 비료 이용율은 농암갈색 화산회 토양에 비해 암갈색 화산회 토양에서 현격히 떨어 졌다.

30. 시비된 비료의 토양 잔류율은 토양별로는 크게 차이 나지 않았으나 무우재배 토양(암갈색 비화산회 토양: 29-39%, 농암갈색 화산회 토양: 31-33%)보다 배추재배토양(암갈색 비화산회 토양: 35-49%, 농암갈색 화산회 토양: 29-58%)에서 높은 경향으로 앞서 무우보다 배추에서 토양의 이용율이 낮은 것은 수확할 때 세균을 완벽하게 회수하지 못해 비료의 이용율은 과소 평가되었고 세균뿌리의 토양잔류 때문에 잔류율이 높아 진 것으로 사료된다.

31. 무우와 배추의 재배동안 질산태 질소의 용탈량은 암갈색 비화산회 토양이 농암 갈색 화산회 토양에 더 많았고 비료의 유래 질소율도 암갈색 비화산회 토양이 농암 갈색 화산회 토양에 비해 훨씬 높은 3.75 - 11.7% 정도였다.
32. 양액재배 채소의 작물별 질산염 함량을 살펴보면 청경채의 경우 봄에는 2564ppm, 여름에는 2326ppm로 타 작물에 비해 높았다. 따라서 수경재배에 의한 엽채류의 체내  $\text{NO}_3^-$  함량은 외국의 허용기준치보다 낮았다.
33. 농가별 양액재배 채소의 체내  $\text{NO}_3^-$  함량은 동일작물 간에도 차이가 있었는데, 이러한 차이는 농가에 따른 차이보다는 사용하는 동일 양액에 따른 차이라고 할 수 있다.
34. 양액재배시 양액의  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{NH}_4^+$ 의 비율에 따른 생육은 배추의 경우 양액의  $\text{NH}_4^+$  비율이 높아질수록 감소하였다.
35. 양액재배시 배추와 미나리 공히 양액의  $\text{NO}_3^-$  비율이 높을 수록 체내  $\text{NO}_3^-$  함량 뿐 아니라 동일한 처리 내에서의 체내  $\text{NO}_3^-$  함량은 배추에 비하여 미나리에서 다소 많았다.
36. 양액의 pH의 상승을 위하여 이용한 NaOH, KOH,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  등 3종의 알칼리성 시약을 이용할 경우 이들간의 생육 차이는 크지 않았으나 NaOH와 KOH를 이용한 경우에 비하여  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 이용하였을 때 생체중이 가벼워졌다.
37. 질소원으로 6.5meq/L의 탄산암모늄을 시용하고 양액의 pH를 각기 다른 알칼리성 시약을 이용하여, 5~7 범위로 유지하면서 청경채를 재배할 경우 탄산암모늄으로 pH를 조절함과 동시에 질소를 추비한 처리에서 생육은 대조구와 대등하였으나 질산염 함량은 1/20내외로 낮추어졌다.
38. 양액에 humate를 첨가한 경우에 양액의 pH 저하폭은 무첨가에 비하여 상당히 적

었으며, 생체중 또한 무첨가에 비하여 10g 이상 무거웠으나 대조구에 비하면 50% 정도밖에 안되어 humate의 첨가만으로도 pH의 안정화 및 작물의 생육을 유지하는데 기여하는 것으로 밝혀졌다.

39. 양액의 pH 저하 속도는 3일이 경과하면서 대부분의 처리에서 pH 4 이하로 저하되어 암모늄을 주로한 질소 공급시에는 적어도 3일에 1회씩 pH를 조절해야만 작물의 생육에 지장이 없었다.

40. 질소 공급원으로 탄산암모늄을 이용하여 양액의 pH를 5~7 범위로 유지하면서 상추를 재배할 경우 탄산암모늄의 농도가 8.5meq/L일 때 대조구( $\text{NO}_3^- \text{-N} : \text{NH}_4^+ \text{-N} = 6 : 0.5 \text{meq/L}$ )와 대등한 생육을 보였을 뿐 아니라 질산염 함량은 대조구의 1/10 이하인 200ppm대를 나타내었다.

41. 배추와 미나리 공히 수확 1주일 전에 양액의  $\text{NO}_3^-$ 를  $\text{Cl}^-$ 로 대체한 경우에는 배추의 생체중과 건물중은 171.3 및 6.96g을, 미나리의 경우는 61.3 및 4.63g을 각각 나타내어 대조구에 비하여 가벼웠다.

42. 양액중의 Na 농도에 따른 상추의 초장은 200mg/l (이하 mg으로 표기) 까지는 차이가 없으나 300mg 이상이 되면 초장이 짧아지기 시작하였다. 뿐만 아니라 양액중의 Cl 농도가 200mg 이상인 경우 tip-burn 현상이 나타나기 시작하여 상품가치가 저하되었다.

43. 양액의 Mo, Zn 및 Mn의 농도를 0.5, 5 및 10ppm으로 달리하여 수경재배한 상추의 생육, 체내 질산태 질소함량 및 질산환원효소의 활성은 처리간에 차이가 없었다.

44. 상추의 생체중은 질산태 질소의 비율이 높을수록 무거웠다. 양액의  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ 의 비율이 60:40인 경우 무첨가에 비하여 40% 정도의 생체중 증가를 나타내었다. 식물체내 질산태 질소의 함량은 humus의 첨가량이 많아질수록 증가하였다.

45. 노지와 시설재배조건하에서 질소 시비수준을 달리하여 무를 재배한 결과, 지상부

(무청)와 근 지하부 생육의 차이를 살펴보면, 무청은 노지재배에 비해 시설재배조건에서 무성하게 자랐으나 근 수량은 시설재배에 비해 노지재배조건에서 월등히 높았다.

46. 노지에서 재배한 무는 무청 수량에 비해 근 수량이 질소 시비수준이 증가함에 따라 크게 증가하였으나, 시설재배조건에서 재배한 무는 무청의 수량 증가에 비해 근 수량 증가는 상대적으로 그리 크지 않았다.

47. 무 수량은 노지재배의 경우 시비량이 증가할수록 크게 증가한 반면 시설재배의 경우 증가 폭이 상대적으로 적었다. 그러나 질소시비량이 증가할수록 무 수량은 어느 재배조건에서도 배비구 수준까지 계속 증가하는 경향을 나타냈다.

48. 무를 재배한 토양의 근권깊이별 질산태질소 함량은 무비구 표토층(0-15cm)내 질산태질소 함량은 대개 10ppm이내였으나 보비구는 15ppm, 배비구는 25-30ppm수준으로 높았다. 한편 심토층(15-30cm)내 질산태질소 함량은 무비구 8ppm, 보비구 13-14ppm, 배비구 25ppm내외로 표토층에 사용한 질소가 점차 토양하층부인 심토층으로 용탈되고 있으며 배비구에서 특히 심하게 나타났다.

49. 시설재배는 질소시비수준에 관계없이 모든 근권깊이의 질산태질소 함량이 노지재배에 비해 월등히 높았으며, 배비구의 경우 표토층 32-43ppm, 심토층 24-32ppm을 나타내 가장 높은 질산태질소 함량을 나타냈다.

50. 질소시비량 증가에 따라 무 식물체의 부위별로 질산염 함량이 크게 증가하였다. 특히 시설조건에서 재배한 무 근과 무청의 질산염 함량이 노지에서 재배한 무에 비해 모든 질소시비조건에서 월등히 높았다.

51. 무비구를 제외하고 보비구와 배비구에서의 배추수량은 노지재배에서 시설재배보다 많았으며 이는 무의 수량변이와 동일한 경향이였다. 엽폭, 엽장, 엽폭 모두 노지재배의 경우 시비수준별로 미미한 증가를 보인 반면, 시설재배의 경우 생육이 진전됨에 따라 꾸준히 증가하는 양상을 나타냈다.

52. 배추의 엽수는 질소소비량에 따른 차이가 수량의 차이와 비슷하게 나타났는데, 이는 배추수량이 엽수의 증가와 밀접하게 연관되어 있음을 뜻하며, 노지조건에서 질소소비처리 수준간 엽수 증가폭 차이가 시설재배조건에서 보다 더욱 뚜렷하였다.

53. 시험전후 토양의 질산염 함량 분석 결과 표토층에 시용한 질소비료가 점차 하부 토양층으로 이동하는 양상을 나타내 질산염 용탈의 가능성을 보여 주었다.

54. 노지재배 외부엽의 질산염 함량은 내부엽에 비해 훨씬 높았다. 시설재배의 경우에도 내부엽에 비해 외부엽의 질산염 함량이 높았다.

55. 중록에서는  $\text{NO}_3^-$ 가 증가하여도 chlorophyll함량의 증가는 미비하였으며 엽신의 경우 chlorophyll함량이 증가할수록  $\text{NO}_3^-$ 함량이 크게 증가하였다.

56. 배추, 양배추, 양상추 엽신은 엽위측 엽령이 증가할수록 저채도에서 고채도로 변하는 경향을 보였다.

57. 엽색과  $\text{NO}_3^-$ 함량과의 관계는 엽색의 초록색이 짙어질수록  $\text{NO}_3^-$ 함량은 증가함을 나타내었다. 배추의 경우 엽색이 색등급 I일 경우  $\text{NO}_3^-$ 함량은 470~579ppm정도를 보였고, 엽색이 색등급 II일 때는 480~684ppm정도 였으며 색등급 III일 경우는 568~818ppm정도 였다. 색등급 IV일 때는 646~858ppm정도를 나타냈고, 색등급 V일 경우는 900~1202ppm정도를 보였고, 색등급 VI은 983~1368ppm정도를, 색등급 VII은 1121~1610ppm정도의 함량을 보였다. 색등급 VIII일 경우는 2032~2021ppm정도를, 색등급 IX는 1550~3481ppm정도를 보였다.

58. 양배추의 경우 색등급 I의 색을 가지는 엽은 169~295ppm정도를 나타냈고, 색등급 II의 색을 가진 엽은 250~313ppm정도를, 색등급 III의 색을 가진 엽은 233~525ppm정도의  $\text{NO}_3^-$ 함량을 나타냈다.



59. 양상추의 경우는 색등급 II, 색등급 III의 엽색일 경우는 403~565ppm 정도 의  $\text{NO}_3^-$  함량을 나타냈고, 색등급 IV과 색등급 V일 경우는 527~912ppm 정도의  $\text{NO}_3^-$  함량을 나타냈고, 색등급 VI, 색등급 VII의 엽색일 경우는 940~1457ppm 정도의  $\text{NO}_3^-$  함량을 보였고, 색등급 VIII의 엽색일 경우는 1,882~3,355ppm의  $\text{NO}_3^-$  함량을 나타냈다.
60. 엽위별 ascorbic acid 함량 변화는  $\text{NO}_3^-$  함량 변화와 같이 내부엽에서 외부엽으로 갈수록, 즉 엽크기가 커질수록 그 함량이 많아졌다.
61.  $\text{NO}_3^-$  함량과 ascorbic acid 함량과의 관계는 배추의 증투를 제외하고는 모두 정의 상관 관계를 가지고 있어 엽속에  $\text{NO}_3^-$  함량이 증가하면 할수록 ascorbic acid 함량이 증가하고 있음을 나타냈다.
62. Nitrate reductase 효소활성도 중 ERE내 volume activity는 외부엽에 비해 내부엽이 그리고 증투보다는 엽신에서 월등히 높은 수준을 나타냈다.
63. 질소시비수준별로는 증투에서는 배비구 수준에 이르기까지 질소시용량의 증가에 따라 효소활성도가 증가한 반면, 엽신의 경우 효소활성도가 보비구에서 가장 높았으며 배비구에서는 오히려 낮아져 부위별로 다른 경향을 나타냈다.
64. 생체중과 nitrate reductase 효소활성도의 관계에서 계산한 nitrate reductase의 specific activity는 외부엽보다는 내부엽의 효소활성도가 조금 높은 경향이였다.
65. 질소시비수준별로는 엽신에서는 배비구 수준에 이르기까지 질소시용량의 증가에 따라 효소활성도가 크게 증가한 반면, 증투에서는 효소활성도가 보비구에서 가장 높았으며 배비구에서는 오히려 낮아지는 경향을 나타냈다.
66. Nitrate reductase의 specific activity는 내부엽의 효소활성도가 외부엽보다 높은 경향을 나타냈다.

67. 질소시비량에 따른 nitrate reductase의 specific activity(U/mg protein)는 보비구 수준까지는 질소시비량이 증가할수록 높아졌으나 보비수준을 초과하는 배비구에서는 효소활성도가 조금 억제되는 경향을 보였다.

68. Nitrate reductase의 specific activity(U/mg protein)는 증류에서는 nitrate함량이 증가할수록 효소활성도가 감소하는 1%수준의 높은 부의 상관관계를 나타냈으나, 엽신에서는 nitrate함량이 증가할 때 효소활성도도 함께 증가하는 정의 상관관계를 나타냈다. Nitrate specific activity(U/g FW)는 엽신에서 nitrate함량이 증가할수록 효소활성도가 증가하는 정상관관계를 나타냈다.

69. 저장온도가 높을수록 저장중 질산염 감소와 아질산염 증가현상이 뚜렷이 나타났으며, 이러한 질산염에서 아질산염으로의 전이는 저온과 포장 처리에 의해 억제되었다.

70. 가공에 따른 질산염 함량은 100℃에서의 가열처리에 의해 가열시간이 길어질수록 감소되었으며, 20분 처리에 의해 3.5배에서 5배 정도의 함량 감소를 나타내었다.

71. 조리방법에 따른 질산염 함량은 작물마다 함량감소에 효과적인 조리방법이 다소 차이를 보이기는 했으나 일반적으로 튀기기와 볶기의 방법이 질산염 감소에 효과적이었다.

72. 식염처리는 대부분의 작물에서 처리간 뚜렷한 유의차가 나타나지 않았으며 고추의 경우 2.5% NaCl 침지 처리가 함량감소에 효과적이었다.

73. 채소질산염이 흡수되어 아질산으로 환원되어 Nitrosamine을 형성할 때 인체에 유해하다.

74. FAO/WHO는 질산염에 대한 일일섭취허용량 ADI(Acceptable Daily Intake)를 설정하고 있으며, ADI에는 채소를 통한 질산염 섭취도 포함된다.

75. 독일, 네델란드, 스위스 등에서 실시해오던 채소의 질산염 허용기준이 최근에는 유럽연합 15개국으로 확대되어 시금치와 상추에 대한 EU의 채소질산염 허용기준이 설정되어 확대 실시되고 있다. 그러나 미국, 일본 등은 채소질산염 허용기준 기준을 설정하지 않고 있다.

76. 육식위주의 서구식을 하는 미국인의 일일질산염섭취량은 FAO의 ADI의 1/2에도 미치지 않는 적은 양이나, 채식을 위주로 하는 한국인은 ADI보다 3~4배 많은 일일 질산염섭취량을 갖고 있다.

77. EU에서 채소질산염 허용기준을 설정한 것은 회원국가간의 채소질산염 허용기준이 다른데서 발생하는 채소의 수출입과정에서 통관문제를 해결하는 것과 함께, 질산염으로 인한 위해성으로부터 시민들의 건강을 지키자는 것이 목적이었다.

## 2) 건의 사항

● 국내 채소류의 질산염함량은 외국의 조사결과와 유사하거나, EU의 상추 및 시금치에 대한 질산염허용기준과 비교할 때 그리 높은 수준이 아님.

---> 특히 가공된 채소중의 질산염함량은 신선채소류에 비해 낮은 수준을 보이고 있으며,

---> 채소류중 질산염함량 저감을 위한 시비관리는 표준시비량이나 토양 검정 시비량을 사용하면서 1~2톤/10a 의 퇴비를 혼합 사용하면 EU의 채소질산염 허용기준을 넘지 않을 것으로 판단됨

따라서, 화학비료와 퇴비를 적절히 혼합 사용함으로써 채소류의 수량을 높이고 질산염함량이 낮은 농산물의 생산이 가능할 것으로 판단됨.

● 유기농업의 경우에도 토양진단 최적시비처방에 의한 적정유기질비료를 사용할 경우 질산염 함량을 크게 줄일수 있어 EU의 채소질산염 허용기준을 넘지 않을 것

으로 판단됨.

- 양액재배 채소의 질산염 함량은 EU의 질산염 허용기준치보다 대개 낮아 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단됨.
- 노지재배, 시설재배, 유기재배 공히 배추 외부엽의 질산염 함량이 내부엽에 비해 훨씬 높았는데 이는 소비자가 배추를 다듬는 과정에서 일부 외부엽을 제거하고 섭취함으로써 일일질산염 섭취량을 크게 줄일 수 있을 것으로 판단 됨 .
- 과다한 질소시비는 토양의 질산염 함량도 높혀 질산염 용탈로 연결되어 지하수 오염을 야기 할 수 있으므로, 친환경농업을 위해서도 표준시비량을 지켜 채소를 재배하도록 농민들을 계몽하고 적극 지도하여야 함.
- 영국 농림부(MAFF)에서 매년 유통채소의 질산염 함량을 조사하고 이를 근거로 몇 %의 유통채소가 유럽연합의 질산염 허용기준을 초과하고 있는지를 일반에 정기적으로 공개하는 것과 같이 우리 정부도 유통채소의 질산염 함량을 조사하고 그 결과를 국민들에게 공개할 것을 건의
- 유럽 각국의 농림부에서 질산염의 일일섭취량을 계산하여 일일질산염섭취허용량 (ADI, 218mg)을 얼마나 초과하고 있는지를 일반에게 공개하는 것과 같이 우리 정부도 질산염 일일섭취량을 국민들에게 알려주어 이에 대한 주의를 환기시켜 주실 것을 건의
- 유럽연합(EU)의 채소질산염 허용기준치를 우리나라의 기준치가 설정되기 전까지 당분간 준용하여 실시하여 할 것을 건의
  - > 채소질산염 허용기준치는 친환경농업 구현과 과다시비로 인한 상수원 수질보호(수질의 질산염 기준, 10ppm)에 기여하는 훌륭한 장치가 됨
  - > 해외로의 김치 수출시 모재료인 배추/무의 질산염 함량 저감으로 장차 문제가 될 수 있는 김치의 고질산염 함량의 소지를 근본적으로 해결

- 독일과 같이 「안전농산물」 기준에 농약, 중금속, 질산염 허용기준치를 포함시켜 실시할 것을 건의
- 연구종료 6개월에 제출하는 대농민용 “채소질산염 저감 기술 지침서” 원고를 발간하여 전국의 대상 농민들에게 배포할 수 있도록 조치하여 주실 것을 건의
- 일반 소비자들에게는 저질산염 함유 채소를 고르는 방법(작목, 업색)과 채소를 다듬는 과정에서 고질산염 함유 가식부위를 제거하고 이용하는 방법에 대한 홍보 자료를 배포
- 저질산염 함유 채소를 A급 채소, 고질산염 함유 채소를 B급 채소로 분류하여 시장에서 가격의 차별화가 이루어지도록 유도하는 「시장상장전 질산염 분석제」를 마련하여 실천하여 주실 것을 건의 (30만원내외의 간이분석기를 이용하면 시료 1점당 500원내의 비용으로 1분이내에 분석 가능함)
- 질산염 함량이 증특에서 높으므로, 배추 신제품육종시에 되도록 증특이 얇은 배추를 선발목표로 삼는 것이 바람직할 것으로 사료됨.

# SUMMARY

This study was carried out to develop the reduction technology of nitrate content in vegetable from September 1997 to September 2000 in order to deliver the technique how to reduce the nitrate accumulation of vegetable for farmer, the information how to distinguish the vegetable which contains a high concentration of nitrate in leaf, and how to reduce the nitrate content of vegetable during storage, preparation, drying and cooking.

The nitrate content of fresh vegetable and processed vegetable including Kimchi were also monitored in different sampling time of year and site.

The nitrate accumulation of vegetable as affected by the application rate of mineral nitrogen fertilizer and organic fertilizer was examined in fertile and infertile soil by different rate of nitrogen application. Soil testing method for organic farmer apply only organic fertilizer was also tested in order to cultivate the organic vegetable contain lower nitrate content compare to those cultivated by conventional farming.

The optimum mixture rates of mineral nitrogen nutrient to minimize nitrate content in vegetable by hydroponics and pH neutralization of nutrient solution by humate were also tested.

The chlorophyll content in leaf blade was showed a close relationship with nitrate content in Chinese cabbage, cabbage and lettuce, and it showed the darker the color of leaf blade, the more the concentration of nitrate content in the vegetables and the elder the leaf age, the more concentration of nitrate content in the vegetables.

It was found out that the nitrogen applied to vegetable was leached downward slowly in form of nitrate after application, and it showed the possibility of nitrate leaching in vegetable cultivation area.

The relation between the nitrogen dynamics in rooted soil profile and nitrate content in vegetable, and relationship between activity of nitrate reductase and nitrate accumulation in different parts of vegetables were also reported. The content of nitrate taken up by vegetable was determined by isotope nitrogen to understand better the physiology of nitrogen uptake and accumulation.

In the paper it was also calculated the daily intake of nitrate for Korean and found out that Korean intake nitrate 1.8~3.4 times more than the ADI value, 218mg/day/60kg b.w., provided by FAO/WHO. The calculation was based on the average nitrate content in different food source and the amount of food consumption. More than 90% of daily nitrate was taken through vegetable consumption. The concentration of nitrate in saliva water was peaked in the concentration of 200ppm after 2 hours and keep until 4 hours long after Korean dietary, and arised up to the concentration of 400ppm after 3 hours and sustained until 10 hours after drinking of 200ml of vegetable juice contains 1200ppm of nitrate.

In conclusion it was recommended to introduce the nitrate limit value for vegetable not only to reduce the daily nitrate intake but also to decrease water pollution in terms of nitrate, forcing the practice of optimum nitrogen fertilization for environmentally sound farming.

# CONTENTS

## Chapter I. Introduction

1. The objectives
2. Contents and scope
3. Materials and analytical method

## Chapter II. Nitrate content of fresh vegetable and processed vegetable, and reduction technology for nitrate accumulation in vegetables by optimum fertilization

1. Nitrate content in fresh vegetable
2. Nitrate content in processed vegetable
3. Reduction technology for nitrate accumulation in vegetables by optimum fertilization

## Chapter III. Nitrate mobilization in soil, nitrate accumulation in edible parts of vegetable, and development of manuscript for 「Farmer's guidebook for nitrate reduction in vegetable」

1. Nitrate accumulation, leaf growth and leaf area by nitrogen application rate
2. Nitrate accumulation by the application rate of organic fertilizer
3. Nitrate dynamics in soil profile and uptake and accumulation of nitrate in vegetable
4. Development of manuscript for 「Farmer's guidebook for nitrate reduction in vegetable」

## Chapter IV. Development of reduction technology for nitrate accumulation in leaf vegetable for hydroponic cultivation



1. Reduction technology of nitrate for leaf vegetable in hydroponics
2. Stabilization of nutrients for hydroponics by ammonium as nitrogen source

Chapter V. Physiology of vegetable cultivation related with nitrate

1. Growth, yield and nitrate accumulation in cultivation under open field and greenhouse
2. Comparison of leaf color and nitrate content in vegetable
3. Relationship between the activity of nitrate reductase and the content of nitrate in vegetable as affected by nitrogen application rate

Chapter VI. Nitrate content in vegetable by storage, transportation and processing condition

1. Nitrate content by time of harvest and area of cultivation
2. Nitrate content by edible parts of vegetable
3. Change of nitrate and nitrite content by temperature of package and storage
4. Change of nitrate and nitrate content by light in storage and temperature in cooking process
5. Change of nitrate content by freezing dry and hot air drying
6. Change of nitrate content by boiling time
7. Change of nitrate content by cooking method
8. Change of nitrate content by NaCl concentration for food preparation

Chapter VII. Nitrate limit value for vegetable in European Union and some european countries

1. Risk of nitrate for human health

2. Nitrate intake by daily food
3. Nitrate limit value for vegetable in European Union
4. food surveillance and nitrate control

## Chapter VIII. Conclusion

### Literature

#### Attachment 1. Korean FDA report

2. The reason why Korea introduces nitrate limit value in vegetable
3. Health effects of nitrate exposure
4. Nitrate - Health risks to consumer

# 목 차

제1장 서론 .....	26
제1절 연구개발의 배경과 필요성 .....	26
제2절 연구개발의 목표와 내용 .....	28
제3절 시험재료 및 분석방법 .....	30
제2장 유통채소 및 가공채소의 질산염 함량 실태조사 및 비중별, 시기별, 작물별 질산염함량 저감을 위한 적정시비량 설정 .....	61
제1절 신선채소류의 질산염함량 실태조사 .....	61
제2절 가공채소의 질산염 함량 .....	73
제3절 토경재배에 있어 채소종류별 질산염 경감기술 연구 .....	77
제3장 토양내 질산염 동태, 채소내 가식부위내 질산염 집적현상 연구 및 대농민용 저감기술 지침서 개발 .....	87
제1절 질소비료사용량에 따른 질산염 집적, 식물체의 엽육 두께, 폭과 엽면적 지수 차이 .....	87
제2절 유기질비료사용량에 따른 채소 가식부위내 질산염 집적과의 관계 ...	97
제3절 토양중 가용성 질산태 질소의 행동과 질산태 질소의 식물체내 흡수 및 축적 .....	107
제4절 대농민용 「채소질산염 저감기술 지침서」 개발 .....	129
제4장 저질산염 함유 시설엽채류 생산기술 개발 .....	132
제1절 질산염 저감 엽채류 양액재배 생산방법 개발 .....	132
제2절 암모늄을 주 질소원으로 한 양액의 안정화 방법 개발 .....	151
제5장 질산염 관련 채소의 재배생리 현상 연구 .....	157
제1절 노지와 시설재배조건에 따른 채소 생육, 수량 및 질산염 집적 .....	157
제2절 정상엽과 질산염 과다흡수 배추엽의 비교색도 작성 .....	169
제3절 질소시비수준에 따른 질산환원효소 활성도와 질산염 집적과의 관계 .....	197
제6장 저장, 유통, 가공시 질산염 함량 변화 .....	207
제1절 수확시기 및 재배지역에 따른 질산염 함량 .....	207
제2절 채소부위에 따른 질산염 함량 .....	208

제3절 포장 및 저장온도에 따른 질산염 및 아질산염 함량 .....	208
제4절 야적 및 가열조건에 따른 질산염 및 아질산염 함량 .....	209
제5절 건조방법에 따른 질산염 함량 .....	209
제6절 가공에 따른 질산염 함량 변화 .....	209
제7절 조리방법에 따른 질산염 함량 변화 .....	210
제8절 식염농도에 따른 질산염 함량 변화 .....	211
제7장 유럽의 채소질산염 함량 허용기준제도 연구 .....	227
제1절 질산염의 인축위해성 .....	227
제2절 질산염 섭취량 .....	233
제3절 유럽연합(EU)의 질산염 허용기준치 .....	243
제4절 채소의 고질산염 함량에 대한 감시 및 통제 .....	248
제8장 종합결론 .....	253
참고문헌 .....	255
부록1: 한국FDA 보고서 .....	281
2: 채소질산염 허용기준의 필요성 .....	289
3: Health effects of nitrate exposure .....	291
4: Nitrate: Health Risks to Consumers .....	313

# 제1장 서론

## 제1절 연구개발의 배경과 필요성

사람이 질산염을 다량 섭취하면 위에서 아질산염으로 환원된후 혈액의 hemoglobin과 결합하여 methemoglobin을 형성하므로 혈액의 산소 운반능력이 저하되어 유아의 경우 청색증을 일으킨다. 또한 질산염은 타액에 존재하는 S. epidermidis등의 각종세균에 의해서 아질산염으로 환원된다고 보고되고 있다. 체내에 흡수된 질산염이 구강 타액에서 환원된 아질산염은 식품중에 들어있는 아민류와 반응하여 N-nitrosamine이 생성될 수 있는데, 이 N-nitrosamine은 강력한 발암성이 있는 물질로 보고되어 있다. 한편 질산염의 과다섭취는 갑상선 비대의 원인이 된다고 알려져 있다.

사람은 질산염 섭취량의 85%이상을 채소를 통해서 나머지는 식수 등을 통해서 섭취하는 것으로 알려졌으며 각국별 채소를 통한 질산염섭취량은 독일의 경우 72.4%, 미국 75.0%, 일본 89.9%인 것으로 알려져 있다.

특히 한국인은 채소의 섭취량이 일본보다 높아 채소를 통한 질산염의 섭취량도 더 높다고 추정되고 있으며 한국인의 일일 질산염 섭취량은 FAO/WHO의 일일섭취허용량 (ADI, Acceptable Daily Intake) 219mg을 1.8~3.4배나 초과한다는 보고가 있다.

채소류중의 질산염함량은 재배시에 살포되는 비료의 종류, 살포량, 살포시기에 가장 영향을 많이 받으며, 특히 질소시용량과 채소 질산염 집적량은 대단히 밀접히 연관되어 있으므로 질소시비량 및 재배조건에 따라 질산염함량을 크게 줄일 수 있다고 보고되고 있다. 그러나, 우리나라 채소재배 경향은 질소 다비재배로 질산염 증가의 원인이 되고 있는 것으로 알려져 있다.

질소과다시용의 경향이 채소의 가식부위내 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 집적량의 급증, 품질저하(수확물의 영양가, 맛, 보존성) 및 토양내 질산염 집적으로 인한 토양과 수질오염의 발생을 야

기하고 있다. 그러나 국내에서는 이에 대한 체계적인 연구가 아직도 미미한 실정이다.

한편 채소류 질산염함량은 채소의 종류, 생산지, 저장(온도, 광등) 및 가공조건에 따라 달라지므로 수확후 저장조건, 유통조건, 조리방법 및 섭취방법에 의한 질산염의 함량변화를 조사하여 질산염이 가장 적게 함유되는 조건을 파악하여 식생활에 적용토록 하면 채소를 통한 질산염의 섭취량을 감소시킬 수 있다고 알려져 있다.

독일, 오스트리아, 스위스, 네델란드 등 유럽 각국에서는 채소질산염 허용기준치가 2,500~3,500ppm내외로 채소별로 각각 정해져 있다. 또한 유럽연합은 1997년에 15개 전 회원국가에 통용되는 채소질산염 허용기준에 대한 단일 기준치를 시금치와 상추에 대해 설정하였다.

그러나 우리나라는 채소소비량이 세계에서 가장 많고(쌈과 김치를 즐겨하기에), 질소비료사용량이 네델란드 다음으로 가장 많은 까닭에 일일질산염섭취량이 WHO가 정한 ADI(일일섭취허용량)보다3~4배나 많은 실정에 있다.

이에 소비자단체에서는 우리나라에서 생산되는 채소의 질산염함량이 외국의 허용기준을 초과한다는 사실을 발견, 외국의 수준으로 규제할 것을 촉구하고 있으며, 고품질 안전농산물에 대한 소비자들의 욕구도 그 어느 때보다 많이 분출되고 있다. 따라서 우리나라도 유럽연합의 채소질산염 허용기준치를 원용하여 적용하는 것이 적절하다고 보이며, 더 나아가서는 우리나라 실정에 알맞는 채소질산염 허용기준의 설정이 필요하다고 판단되었다. 중산위주의 비료사용과 재배농민들의 이익만을 추구하던 농업에서 이제는 국민의 건강과 안전을 고려한 질좋은 농산물을 생산, 공급할 수 있는 기반이 마련되어야 할 시대이기 때문이다.

한편 채소질산염 허용기준 설정과 저감대책은 정부가 추진하고 있는 친환경농업의 성공적 실현을 위해서도 유럽의 채소질산염 허용기준제도를 원용하여 비료 과다사용에 의한 환경오염(토양의 염류집적과 질산염에 의한 수질오염)의 회피를 도모하고 병충해 저항성을 높혀 농약사용을 저감시키는 노력을 경주할 필요가 있다고 사료되

있다. 증수위주의 다비재배에서 적량시비로 전환하여 비료비 절감 및 환경오염 경감 기술을 확산시키는데는 채소질산염 허용기준제도가 크게 긍정적으로 작용할 수 있기 때문이다.

저질산염 함유 고품질 채소 생산기술을 개발하여 이를 농가에 보급함으로써, 즉 안전식품 생산에 의한 농가소득 증대에 기여하고, 질산염 함량이 낮은 품종의 재배, 가공에 따라 고품질 가공식품 생산 체계를 가능케 하며, 유럽의 질산염허용기준 이하의 질산염 함유 채소 생산으로 김치의 국제 경쟁력을 강화하는데 기여하고자 한다. 선진국에서는 이미 채소류종의 질산염 함유량을 규제하고 있는 나라도 있으므로 채소류 중의 질산염을 감소시키지 못할 경우 김치 등 가공채소류의 수출에도 막대한 지장을 초래할 수 있기 때문이다. 김치의 모재료인 배추, 무 등 채소의 저질산염 대책수립으로 김치의 식품안전성, 우수성 확보에 기여하여 국내 소비 및 수출 촉진에 기여할 수 있기 때문이다.

## 제2절 연구개발의 목표

본 연구는 채소의 질산염 함량 저감 기술을 개발하여 국민건강에 기여할 수 있는 고품질 채소를 공급하는데 기여하고자 다음과 같은 몇가지 연구목표를 설정하여 1997년 9월 6일부터 2000년 9월 5일까지 3년간에 걸쳐 농특 기획과제로 농림부의 연구비를 지원받아 시험을 실시하였다.

■ 유통 및 가공채소의 종류별 질산염 함량 Monitoring하여 지역별, 작목별 및 수확 시기별 질산염 함량의 조사

■ 일반노지에서의 채소재배 질산염 감량 기술 개발의 기초자료를 확보하기 위해 토경재배시 채소종류, 토성, 시비시기 및 비종별 질산염 감량을 위한 적정시비량의 구

명

- 저질산염 엽채류 생산 기술개발로 국민 보건에 기여
  
- 토양비옥도에 따른 적정 시비량의 설정
  
- 토양내 가용성 질산염 동태와 채소 가식부위내 질산염 집적과의 관계 규명
  
- 시설재배 엽채류의 저질산염 생산기술의 개발
  
- 양액재배 채소의 질산염 감량기술 개발
  
- 안전식품 생산에 의한 채소작물의 부가가치 향상
  
- 질산염 관련 채소 재배생리 현상 및 집적기작 구명으로 재배대책 기초자료 확보
  
- 채소류의 저장, 유통, 가공시의 질산염 최소화 방법 개발
  
- 질산염의 함량규제가 심한 외국시장으로의 수출 수요 증대 및 경쟁력 우위 확보
  
- EU의 질산염 설정기준을 근거로 토양과 수질오염방지를 위한 환경농업적인 측면에서 채소 질산염 절감 기술의 개발



■ 재배시기, 재배조건, 품종과 질산염 관계구명으로 적절한 저감대책 자료의 제공

■ 채소질산염 감량기술을 종합한 대농민용 「채소질산염 저감기술 지침서」 발간용 원고 집필

### 제3절 재료 및 방법

1. 유통채소 및 가공 채소류의 질산염 함량 실태조사 및 비종별, 시비시기별, 작물별 질산염 함량 저감을 위한 적정시비량 설정 분야

가. 유통채소의 지역별, 작물별, 수확시기별 질산염 함량

전국 주요 채소재배지와 시장에서 유통되고 있는 엽채류, 과채류, 근채류 등 신선채소를 종류와 시기별로 수집하여 질산염함량 분포를 조사하였다. 중부지역(서울, 경기, 강원, 충남, 충북), 호남지역(광주, 전남, 전북), 영남지역(부산, 대구, 경남, 경북)에서 수확시기별로 시료를 채취하여 시료를 분석 비교하였다.

나. 가공채소의 지역별, 작물별, 계절별 질산염 함량

전국 주요시장에 유통되고 있는 가공채소류 중 소비량이 많은 단무지, 김치류를 대상으로 주요 시기별로 시료를 수집하여 질산염 함량 분포를 조사하였다. 이때 조사 지역은 중부지역, 호남지역, 영남지역으로 각각 구분하였으며 소비량이 많은 주요 Maker 제품과 현장에서의 제조 제품을 구입하여 분석에 이용하였다

## 다. 토경재배에 있어 채소종류별 질산염 경감 기술 연구

### (1) 시비방법에 따른 질산염함량 조절시비 시험

최근 채소류의 재배는 대부분 비닐하우스 내에서 재배되고 있으며 수량과 농가의 소득을 위주로 한 재배가 되고 있으므로 다량의 화학비료나 가축분 퇴비들을 사용하고 있으며, 또 연속적으로 재배하고 있어서 토양중 염류나 질산염이 축적되고, 채소류 중 질산염함량도 높은 것으로 알려지고 있다. 따라서 채소류중의 질산염함량이 과다 함유되지 않고, 품질도 좋은 채소를 생산 공급할 수 있도록 시비관리를 할 수 있는 기술을 개발코자 시험을 실시하였으며, 대상 작물로는 현재 EU 국가에서 단일공동 규제기준을 설정해 놓고 있는 상추와 시금치 2개 작물을 대상으로 시비시험을 실시하였다. 이때 시험포장은 농과원내 화동통의 식양질 토양을 이용하였으며 시험 토양의 이화적 특성은 표 1과 같다.

상추와 시금치를 대상으로 화학비료와 완숙 돈분퇴비 사용량에 따라 3요소 표준시비량을 기준으로 총 9 처리 3반복으로 시험을 실시하였다(표 2). 이때 시비량은 토양 비옥도가 보통인 일반 밭토양에 비닐하우스를 설치하여 첫째 재배시험을 실시하였기 때문에 일반노지 토양에서의 상추 및 시금치의 표준시비량을 사용하여 시비관리하였다.

표1. 시험전 토양의 화학적 특성

pH (1 : 5)	OM (g/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Ex. Cations (cmol+/kg)		
			K	Ca	Mg
5.9	14	248	0.62	6.1	0.9

이때 상추는 4월~7월 사이 비닐하우스에서 재배시험을 실시하였으며, 성장정도에 따라 총 6회 수확하여 질산염함량을 분석하였다. 같은 비닐하우스 안에서 9월~12월 사이 시금치의 재배시험을 실시하였으며, 12월 초순 1회 전량 수확하여 수량 및 질산염함량을 각각 조사하였다. 이때 참고로 각 식물체중 무기물 함량을 분석하였으며

식물체 시료는 87℃로 조절된 Dry oven에서 건조한 후 분쇄하여 산분해 후 성분  
 따라 비색 및 ICP를 이용하여 분석을 실시하였다.

표2. 상추와 시금치의 시비내용 (1999년)

처 리 구	시비량 (kg/10a) (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O-퇴비)		시 비 방 법
	상 추	시 금 치	
가) 무 비	0-0-0-0	0-0-0-0	- 퇴비는 전량 기비처리
나) 3요소	20-5.9-12.8-0	25-5.9-11.9-0	- 질소: 2회 분시
다) 3요소+퇴비 1톤	20-5.9-12.8-1000	25-5.9-11.9-1000	(정식전 50%기비, 생육중기
라) " +퇴비 2톤	20-5.9-12.8-2000	25-5.9-11.9-2000	50% 추비 처리)
마) " +퇴비 4톤	20-5.9-12.8-4000	25-5.9-11.9-4000	- 인산은 전량 기비처리
바) 퇴비 1톤	0-0-0-1000	0-0-0-1000	- 칼리: 2회 분시
사) 퇴비 2톤	0-0-0-2000	0-0-0-2000	(정식전 70%기비, 생육중기
아) 퇴비 4톤	0-0-0-4000	0-0-0-4000	30% 추비 처리)
자) 퇴비 6톤	0-0-0-6000	0-0-0-6000	

(2) 비종에 따른 식물체중 채소류 질산염함량 조사

비종을 달리하여 시금치와 상추에 대한 시험을 실시하였으며 채소류의 생체중 질산  
 염 함량과 수량을 조사하였고, 시험포장은 농과원내 시설재배지 포장을 활용하였다.  
 이때 토양은 화동통의 식양질 토양으로서, 시험전 토양의 이화적 특성은 표 3과 같  
 다. 비종에 따른 처리내용은 시비질소의 비종에 따라 요소구를 기준으로 5처리 3반  
 복으로 실시하였다. 이때 시비량은 상추와 시금치의 시설재배지내 표준시비량을 기  
 준으로 설정하였다.

표 3. 시험전 토양의 이화학적 특성

pH (1 : 5)	OM (g/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Ex. Cations (cmol+/kg)		
			K	Mg	Mg
6.1	16	270	0.60	6.5	0.8

처리내용은 요소구, 유안구, 원예용복합비료구, 완효성비료구 및 무질소구를 설정하였으며, 이때 완효성비료구는 LCU(Latex Coating Urea)를 사용하였고 전량 기비로 처리하였으며 질소함량을 20% 감비 처리하였다. 화학비료의 시비량은 토양검정 시비량을 기준으로 설정하였으며 시비내용은 표 4와 같다. 대상작물로는 상추와 시금치 2개 작물을 공시하여 시험을 실시하였다.

표 4. 비중에 따른 시금치 및 상추의 질산염 조절시비시험 처리내용

작목	처리구	시비량 (kg/10a) (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O)	시 비 방 법
상추	가) 무질소	0-4.9-8.7	- 질소 : 3회 분시 (정식전 50%기비, 생육기중 50% 추비를 2차 분시) - 인산은 전량 기비처리 - 칼리: 2회 분시 (정식전 70%기비, 생육중기 30% 추비 처리)
	나) 요소처리구	10.2-4.9-8.7	
	다) 유안처리구	10.2-4.9-8.7	
	라) 원예복비(11-9-11)	10.2-4.2-9.5	
	마) 완효비료(12-8-12)	10.2-6.8-10.2	
시금치	가) 무질소	0-4.9-9.3	
	나) 요소처리구	9.4-4.9-9.3	
	다) 유안처리구	9.4-4.9-9.3	
	라) 원예복비(11-9-11)	9.4-3.1-7.0	
	마) 완효비료(12-8-12)	9.4-6.3-9.4	

상추의 수확은 외형적 성장을 기준으로 반복하여 총 6회를 실시하였다. 수확된 시료는 수확 즉시 전처리하여 질산염함량을 앞에서와 동일한 방법으로 분석하였다. 시금치의 수확은 1회로 실시하여 총 무게로 생산량을 산출하였으며, 상추에서와 같은 방법으로 생체중 질산염함량을 분석 조사하였다.

### (3) 수확 및 저장방법에 따른 질산염 조정기술

상추의 수확시기 및 저장기간의 차이에 의한 질산염함량 변화를 조사하기 위하여, 1일 3회 시간별로 시료를 채취하여 질산염함량을 조사하였으며, 상추의 보관시간에

다른 질산염함량 변화를 조사하였다. 이때 상추시료의 보관은 가정에서 야채 보관에 주로 이용하는 냉장고 냉장실을 이용하였다.

## 2. 토양내 가용성 질산염 동태, 채소 가식부위내 질산염 집적현상 연구 및 대농민용 저장기술 지침서 개발

가. 질소비료 시용량에 따른 질산염 집적 및 식물체내 엽육 두께, 엽육 폭, 엽면적 지수 차이

배추는 고랭지 여름배추를, 무는 한울재형봄무를 공시재료로 4월 5일에 파종하여 20일간 육묘한후 4월 24일에 1/2000a Pot에 정식하였다. 수량조사와  $\text{NO}_3^-$  분석용 시료 채취는 배추는 파종 60일, 무는 파종후 75일에 수확 당일 실시하였으며,  $\text{NO}_3^-$  집적량에 크게 영향하는 Nitrate reductase활성도의 일주주기성을 고려하여 오전 9-10시 사이에  $\text{NO}_3^-$  분석용 시료를 채취하였다.

생육특성 및 수량구성요소 조사는 농진청 농사시험사업 조사기준에 준하여 실시하였고, 시험전 토양분석은 농진청 토양화학분석법에 따라 분석하였음.  $\text{NO}_3^-$  집적량 분석을 위해 배추는 외부엽과 내부엽으로 나누고 이를 다시 중륜과 엽신 등 4개 부위로, 무는 근지상부, 근지하부, 엽 등 3개 부위로 각각 구분하여 채취한 후  $\text{NO}_3^-$  집적량을 분석하였다.

질소시비량과 토양비옥도에 따른 배추, 무의 수량 및 가식부위내  $\text{NO}_3^-$  집적량에 미치는 영향을 구명하기 위해 공시토양으로는 토양비옥도 정도가 각기 다른 단국대학교 실험농장 인근 두 포장의 토양(척박토양, 비옥토양)을 사용하였으며 각 토양의 이화학적 특성은 표5와 같았다.

Table 5. Chemical properties of the soil used in experiment

	pH (1:5 H <sub>2</sub> O)	O.M. (%)	T-N (%)	Avail.	Ex. Cation(me/100g)				C.E.C. (me/100g)
				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	K	Ca	Mg	Na	
Infertile soil	5.1	0.4	0.08	52.10	0.41	2.13	0.15	0.19	8.97
Fertile soil	6.7	2.0	0.37	127.44	0.73	3.87	0.17	0.21	10.95

질소처리는 표6과 같이 추천시비량을 각각 배추 10a당 22kg, 무는 18kg를 기준으로 질소 무비구, 질소 30%시용구, 질소 60%시용구, 보비구, 배비구 등 5개 처리수준을 두었으며, 토양중진 직전 질소시용량의 34%를 기비로 사용하였으며, 추비는 20일 간격으로 3회 나누어 분시하였음. 인산과 칼리는 10a당 20, 22kg를, 무는 16, 18kg를 사용하되 인산 전량과 칼리 55%는 기비로 사용하였으며 칼리 추비 45%는 정식후 30일에 사용하였다.

Table 6. Different levels of nitrogen application in chinese cabbage and radish

Treatment	chinese cabbage	radish
	----- kg N/10a -----	
I	0	0
II	6.6	4.8
III	13.2	9.6
IV	22.0	18.0
V	44.0	36.0

나. 유기질비료 시용량에 따른 채소 가식부위내 질산염 집적과의 관계

배추는 고행지여름배추를, 무는 한울대형봄무를 공시재료로 4월 5일에 파종하여 20일간 육묘한후 4월 24일에 pot(1/2000a)에 정식하였다.

수량조사 및 질산염 분석용 시료 채취는 배추는 파종후 60일, 무는 파종후 75일에 수확하여 실시하였으며 질산염 집적량에 크게 영향하는 Nitrate reductase 활성도의 일주주기성을 고려하여 오전 9-10시 사이에 실시하였다. 채취된 시료는 냉장고에 밀폐보관하였다가 2-3일 이내에 균질화 시킨후 일정량의 증류수를 넣어 1시간 동안 교반시켜 여과시켜 질산염 함량을 분석하였다.

질산염 함량 분석을 위해 배추는 외부엽의 중륵과 엽신, 내부엽의 중륵과 엽신 등 4개 부위로, 무는 근지상부, 근지하부, 무청(엽) 등 3개 부위로 각각 구분하여 채취한 후 질산염 함량을 분석하였다.

유기농법으로 재배한 채소의 질산염 집적량을 파악하기 위해, 즉 유기질비료 시용량을 달리한 상태에서 재배한 무와 배추의 수량 및 가식부위내 질산염 함량 차이를 구명하기 위해 7년간 유기농법을 실시한 유기농법토양과 다년간 관행농법을 실시해온 숙전토양을 공시토양으로 사용하였다.

유기농법토양의 경우 유기물 함량이 4.4%이었으며, 관행농법토양인 숙전토양의 유기물 함량은 1.5%이었다. 공시토양의 주요 이화학적 특성은 표7과 같다.

Table 7. Chemical properties of the soil used in the experiment.

Soil	pH (1:5)	O.M. (%)	T-N (%)	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Ex. Cation(me/100g)				C.E.C (me/100g)
					K	Ca	Mg	Na	
Conventional farming soil	5.8	1.5	0.24	96.98	0.14	2.20	0.19	0.12	6.46
Organic farming soil	6.2	4.4	0.52	307.98	0.50	3.92	0.63	0.48	12.17

시비처리는 표8에서와 같이 유기질비료 무비구(0kg/ha), 반비구(10t/ha), 보비구(20t/ha), 배비구(40t/ha) 등 4개 처리수준을 두었으며 보비구의 유기질비료 시용량은 (사)한국유기농업협회의 추천시용량인 20t/ha을 기준으로 삼았다. 유기질비료는 우분발효퇴비를 사용하였으며 공시된 우분발효퇴비의 화학성분은 표9와 같다.

Table 8. Different rates of compost application in chinese cabbage and radish

Treatments	Radish	Chinese cabbage
I (Control)	0t/ha	0t/ha
II (1/2 of recommendation rate)	10t/ha	10t/ha
III (Recommendation rate)	20t/ha	20t/ha
IV (Double rate of recommendation)	40t/ha	40t/ha



Table 9. Chemical characteristics of the cattle compost used for the experiment

Animal	Water (%)	T-N (%)	P2O5 (%)	K2O (ppm)	CaO (%)	MgO (%)
Cattle compost	65.3	0.59	0.65	0.68	1.03	0.24

다. 토양중 가용성 질산태 질소의 행동과 질산태 질소의 식물체내 흡수 및 축적

1) 중질소 표지 요소비료의 토양중 질산태 질소 변환 특성 및 용탈

가) 공시토양

중질소 표지 요소비료를 사용하여 온도와 시간별 토양중 암모늄 태와 질산태 질소 변환 특성을 조사하고자 농암갈색 화산회 토양과 암갈색 비화산회 토양(홍적색토)을 선정하였으며, 특히 암갈색 토양은 토양분류학상 육지부 전라도 무등동의 밭 토양과 이화학적 성질이 매우 유사한 것이다. 공시 토양의 이화학적 성질은 표 10과 같다. 총질소, 질산태 질소, 암모늄태 질소, 유기물 및 유효인산 함량이 농암갈색 화산회 토양보다 암갈색 비화산회 토양이 높은 것이 특징이다.

Table 10. Chemical properties of soils used for the study

Soil	pH (1:5)	EC (ms/m)	OM (%)	Total N (%)	NH <sub>4</sub> -N (mg/kg)	NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	Available P (mgP/kg)	Exchangeable bases		
								K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)
Dark brown non-volcanic ash soil	5.35	10.7	1.53	0.06	6.65	20.4	130	0.58	2.40	1.15
Very dark brown volcanic ash soil	5.62	16.8	8.50	0.41	3.85	7.93	87.3	0.47	2.75	0.85

나) 중질소 표지 요소비료의 토양중 질산태 질소 변환 특성

두종류의 토양 20 g 을 삼각 플라스크에 취하고 5 atom % 중질소 표지 요소를 각 토양의 포장용수량의 40%에 해당하는 증류수에 녹인 뒤 이를 토양에 가하였다. 공급된 중질소는 30 kg N/10a에 해당하는 양으로 토양의 가비중(농암갈색 화산회 토양: 0.7 g/cm<sup>3</sup>, 비화산회 토양: 1.3 g/cm<sup>3</sup>)과 작토 깊이( 25cm )을 고려하여 토양의 무게를 구하고 그 면적으로부터 토양 무게로 환산하여 계산한 비료의 양(농암갈색 화산회토: 3.43 mg N/20 g 토양, 암갈색 비화산회토: 1.85 mg N/20 g 토양)이다. 또한, 플라스크 입구는 알루미늄 호일로 막음으로써 기내 환경이 호기적인 조건을 유지하였다.

그후 온도가 10, 20, 30 °C로 달리 조절된 incubator에 3반복으로 나누어 처리하고 일정기간(1, 3, 7, 15, 30, 60일)별로 꺼내어 2M KCl 200 ml 가하여 30분간 진탕하였다(Bremner, 1965, Knowles 와 Lefebvre, 1971). 그후 추출액을 25 ml Kjeldahl 플라스크에 취하여 MgO 0.2 g을 넣어 암모늄태 질소를 먼저 증류하여 0.05N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액에 포집 적정하였고 그후 남아 있는 질산태 질소분획은 Devarda's alloy 분말 0.2 g을 가하여 암모늄태로 전환 증류하여 그 함량을 구하였다. 한편, 앞서 분획별로 포집한 적정한 액은 다시 각각 Kjeldahl 증류하여 이를 0.05N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액에 포집하고 이를 75 내외 온도에서 최종부피가 약 150ul 되도록 농축하였다(Bremner, 1965). 이를 액체용 tin capsule에 취하고 원소분석기(elemental analyzer, Fisons Instrument EA1108-CHNSO, Italy)의 시료주입부에 넣어 질소가스로 변환·분리시킨 후 이를 자동으로 질량분석기(mass spectrometer, VG Isotec Sira II, England)로

도입하여  $^{15}\text{N}$  존재비를 측정하였다.

#### 다) 토양중 질산태 질소의 용탈양 조사

농암갈색 화산회 토양과 암갈색 비화산회 토양(홍적색토) 200g을 컬럼(7 x 13, D x H cm)에 충전하고 5 % atom 중질소 표지 요소 비료를 0, 15, 30, 60 N kg/10a에 해당하는 양을 포장 용수량의 40%에 해당하는 증류수( 농암갈색 화산회 토양: 360 ml, 암갈색 비화산회 토양: 150 ml)에 각각 녹인 뒤 이를 토양에 가하였다. 공급된 중질소는 앞서 1항에서 서술한 바와 같이 토양의 가비중(농암갈색 화산회 토양: 0.7 g/cm<sup>3</sup>, 비화산회 토양: 1.3 g/cm<sup>3</sup>)과 작토깊이( 25cm )을 고려하여 토양의 무게를 구하고 그 면적으로부터 토양 무게로 환산하여 계산한 비료의 양으로써 농암갈색 화산회토인 경우에는 토양 200g 당 0, 17.1, 34.2, 68.4 mg N 그리고 암갈색 비화산회토 경우에는 토양 200 g 당 0, 9.23, 18.5, 36.9 mg N을 가하였다. 컬럼 입구는 알루미늄 호일로 막음으로써 기내 환경이 호기적인 조건을 유지하였고 20 °C로 조절된 incubator에 3반복으로 나누어 30일간 처리하였다. 그후 500 mm의 강우량에 해당하는 1 liter 증류수를 분당 0.5 ml로 적하하여 질산태 질소를 용탈시킨 뒤 ion chromatograph(Dionex, DX-500)으로 질산태 질소를 측정하였다. 중질소를 측정하기 위해 질소량이 1mg 정도 되도록 용탈액을 취하고 MgO를 가하여 1차 증류하여 암모늄태 질소를 제거하고 Devarda's alloy 분말을 가하여 증류함으로써 암모늄태로 전환된 질산태 질소 분획을 0.05N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액에 포집하였다(Bremner, 1965). 그후 포집액을 농축하고 질량분석기(mass spectrometer, VG Isotec Sira II, England)로 도입하여  $^{15}\text{N}$  존재비를 측정하였다.

#### 2) 질소질 비료의 작물 흡수와 질산태 질소의 식물체 축적 상황 및 토양 행동조사

가) 공시토양: 앞서 1항에서 서술한 농암갈색 화산회 토양과 암갈색 비화산회 토양을 사용하였다.

나) 공시식물: 서울종묘에서 구입한 만점배추와 개량무우를 플라스틱 묘판에 파종 발아시킨 뒤 본엽이 2개가 나왔을 때 균일한 개체만을 골라 이식하였다.

#### 다) 간이 lysimeter 시스템 제작

용탈액을 채취하기 위해 간이 lysimeter 시스템을 제작하여 사용하였는데 플라스틱 재질의 원추형 포트(윗면:34cm, 높이:28cm, 아랫면: 21cm)의 밑면에 직경 1.0 cm 크기의 17개 구멍을 뚫어 직경 20cm 크기의 가랑을 부착하고 PE관을 연결함으로써 진공펌프로 지상에서 용탈액을 수거할 수 있도록 하였다. 또한, lysimeter-용 포트는 그 윗면이 토양 표층과 같은 수준이 되도록 하여 설치하였다.

#### 라) 무우와 배추의 포트 시비관리 및 재배

농암갈색 화산회 토양 14 kg과 암갈색 비화산회 토양이 17 kg이 담긴 lysimeter 포트에 무우와 배추의 유묘를 정식을 하였는데, 질소비료는 5 % atom 중질소 표지 요소를 사용하였으며, 0, 15, 30, 60 N kg/10a 수준에 해당하는 비료의 양을 앞서 1항에서 서술한 바와 같이 토양의 가비중(농암갈색 화산회 토양: 0.7 g/cm<sup>3</sup>, 비화산회 토양: 1.3 g/cm<sup>3</sup>)과 작토깊이( 25cm )을 고려하여 계산하였는데, 농암갈색 화산회토인 경우에는 토양 14 kg(포트) 당 0, 0.65, 1.30, 2.60 g N 그리고 암갈색 비화산회토 경우에는 토양 17 kg(포트) 당 0, 1.46, 2.92, 5.84 g N을 가하였다. 인산과 가리질 비료는 용성인비와 염화가리로 토양특성별로 그 시비량을 달리하였는데 농암갈색 화산회토의 경우에는 성분량으로 하여 7.34 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a( 2.94 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/pot)와 6.96 kg K<sub>2</sub>O/10a(0.93 g K<sub>2</sub>O/pot)을 그리고 암갈색 비화산회토의 경우 6.74 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a(1.76 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/pot)와 5.64 kg K<sub>2</sub>O/10a(0.49 g K<sub>2</sub>O/pot)을 시비하였다. 이상의 질소, 인산, 및 가리질 비료는 공시식물 정식전에 전량 기비로 처리하였다. 공시식물은 70일간 재배되었으며 총 관수량은 실험기간 동안의 강우량을 합하여 500 mm(15.7 liter)였다.

#### 마) 무우와 채소의 질소질 비료의 흡수 이용율

포트 재배후에 무와 배추를 기관별(지상부와 지하부)로 나누어 채취하고 이를 70°C에서 건조하여 곱게 빻았다. 그후 시료를 tin capsule에 취한 뒤 질량분석기(mass spectrometer, VG Isotec Sira II, England)에 도입하여 기관별로 <sup>15</sup>N존재비를 구하고 %Ndff(비료에서 온 식물체중의 질소분율)를 계산하여 시비량에 따른 비료의 이용율을 구하였다(IAEA, 1976).

식물체중의  $^{15}\text{N}$  존재비

$$\%N_{dff} = \frac{\text{식물체중의 } ^{15}\text{N 존재비}}{\text{시비된 비료중의 } ^{15}\text{N 존재비}}$$

바) 질산태 질소의 기관별 식물 체내 축적 양상 조사

앞서 “마 항”에서 조제한 분말시료 500 mg에 50 ml의 증류수를 가하여 45 °C에서 1 시간 동안 질산태 질소를 추출하고 이를 여과·회석하여 ion chromatograph(Dionex, DX-500)를 가지고 질산태 질소 측정하였다. 한편, 추출액의 20 ml에 MgO를 가하여 1차 증류를 통해 암모늄태 질소를 제거한 뒤 Devarda's alloy 분말을 첨가하여 증류를 함으로써 0.05N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액에 질산태 질소분획을 암모늄태 질소형태로 포집하였다. 그후 농축하여 질량분석기(mass spectrometer, VG Isotec Sira II, England)에 도입  $^{15}\text{N}$  존재비를 구한 뒤 %N<sub>dff</sub>(시비된 비료의 식물체중 질산태 질소로 축적된 분율)를 계산하였다(IAEA, 1976).

식물체중의  $^{15}\text{NO}_3\text{-N}$  존재비

$$\%N_{dff} = \frac{\text{식물체중의 } ^{15}\text{NO}_3\text{-N 존재비}}{\text{시비된 비료중의 } ^{15}\text{N 존재비}}$$

사) 질산태질소의 토양중 행동 특성

(1) 토양 잔존율

pot 재배후에 토양을 채취하여 풍건후 곱게 빻았다. 그후, 시료를 tin capsule에 취한 뒤 이를 원소분석기(elemental analyzer, Fisons Instrument EA1108-CHNSO, Italy)의 시료주입부에 넣어 질소가스로 변환·분리시킨후 이를 자동으로 질량분석기(mass spectrometer, VG Isotec Sira II, England)로 도입하여  $^{15}\text{N}$  존재비를 측정하고 %N<sub>dff</sub>(토양중에 잔존되어 있는 시비된 비료의 분율)를 계산하여 시비된 질소 비료의 토양 잔존율을 구였다(IAEA, 1976).

토양중의  $^{15}\text{N}$  존재비

$$\%N_{dff} = \frac{\text{시비된 비료중의 } ^{15}\text{N 존재비}}{\text{토양중의 } ^{15}\text{N 존재비}}$$

한편, 무기 질소의 잔존율은 2M KCl로 토양중에  $\text{NH}_4\text{-N}$ 와  $\text{NO}_3\text{-N}$ 를 추출하고 “1의 나항”에서 기술한 방법대로 질소 분획을 얻은 뒤 이를 질량분석기(mass spectrometer, VG Isotec Sira II, England)로  $^{15}\text{NH}_4\text{-N}$ 와  $^{15}\text{NO}_3\text{-N}$  존재비를 측정하였다. 그 후  $\%N_{dff}$ (토양양에 잔존되어 있는 시비된 암모늄 태 또는 질산태 질소의 분율)를 계산하고 시비된 암모늄태 또는 질산태 질소의 잔존율을 구하였다.

추출액중의  $^{15}\text{NH}_4\text{-N}$  또는  $^{15}\text{NO}_3\text{-N}$  존재비

$$\%N_{dff} = \frac{\text{시비된 비료중의 } ^{15}\text{N 존재비}}{\text{추출액중의 } ^{15}\text{N 존재비}}$$

## (2) 용탈양

재배기간 동안 간이 lysimeter를 통해 주기적으로 용탈액을 진공펌프를 이용 수거하고 이를 모두 합친 뒤 ion chromatograph(Dionex, DX-500)를 가지고 질산태 질소를 측정하였다. 한편, 질소 함량이 1mg 정도 되는 용탈액을 취하고 MgO 0.5 g를 가하여 1차 증류를 통해 암모늄태 질소를 제거한 뒤 Devarda's alloy 분말을 첨가하여 증류를 함으로써 질산태 질소분획을 암모늄태 질소형태로 0.05N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  용액에 포집하였다. 그 후 농축하여 질량분석기(mass spectrometer, VG Isotec Sira II, England)에 도입  $^{15}\text{N}$  존재비를 구한 뒤  $\%N_{dff}$ (시비된 비료의 용탈액중의 질산태 질소 분율)를 계산하였다(IAEA, 1976).

용탈액중의  $^{15}\text{NO}_3\text{-N}$  존재비

$$\%N_{dff} = \frac{\text{시비된 비료중의 } ^{15}\text{N 존재비}}{\text{용탈액중의 } ^{15}\text{N 존재비}}$$

사) 화학분석

(1) 식물체분석

0.5 g의 시료분말을 취하고 황산-과산화수소법으로 산 분해를 실시하여 무기물 분석용 시료로 하였다(Ahn, 1987).

P, K, Ca, Mg: 분해액을 직접 또는 10배 희석하여 유도 결합 플라즈마 분광기(Jobin Yvon, JY138 Ultrace, France)로 분석하였다.

(2) 토양분석

채취한 토양시료는 음지에서 풍건시키고 2 mm체를 통과시킨 뒤 분석시료로 사용하였다(농촌진흥청, 1974).

(가)토양pH: 토양 5g을 50ml 비이커에 취하고 증류수 25 ml를 가하고, 가끔 유리봉으로 저어 주면서 1분간 방치후 pH를 측정하였다(농촌진흥청, 1974).

(나)유기물: 토양 0.3 g을 취하여 Tyurin법으로 측정하였다(농촌진흥청, 1974).

(다)총질소: 토양 2 g을 취하여 Kjeldahl분석법으로 측정하였다(농촌진흥청, 1974).

(라)유효인산: 토양 1g 에 Bray No. 1(0.03 N NH<sub>4</sub>F + 0.025 N HCl)용액을 7 ml를 가하여 1분간 진탕한 후 여과하여 유도결합플라즈마 분광기(Jobin Yvon, JY138 Ultrace, France)로 측정하였다(농촌진흥청, 1974).

(마)치환성 양이온(K, Ca, Mg): 토양 5g에 1N NH<sub>4</sub>OAc 용액 50 ml를 가하여 30분간 진탕한 뒤 여과하여 유도 결합 플라즈마 분광기(Jobin Yvon, JY138 Ultrace, France)로 분석하였다(농촌진흥청, 1974).

다. 대농민용 「채소질산염 저감기술 지침서」 개발

- 선진국의 대농민용 저감기술 지도지침서와 관련문헌 탐색 조사
- 3년차의 최종연구결과를 삽입하여 국내실정에 맞게 보완
- 지침서 발간 (연구종료후 6개월이내에 지침서 원고를 제출)

### 3. 저질산염 함유 시설업체류 생산기술 개발

#### 가. 질산염 저감 업체류 양액재배 생산방법 개발

‘전주’ 지방종 미나리와 ‘뚝섬 청죽면’ 상추를 공시하여 1997년 8월부터 1998년 7월 까지 1년간 수원에 있는 원예연구소의 유리온실내에서 수행되었다. 미나리는 실생묘를, 상추는 우레탄스펀지에 파종하여 30일간 육묘한 것을 각각 이용하였다.

두 작물 모두 상추 재배용 양액(山崎, 1982)을 이용한 담액수경 방식으로 재배하였는데, 60×18×18cm(길이×너비×깊이) 규격의 플라스틱 용기에 15ℓ의 양액을 채우고, 30mm 두께의 스티로폼 정식판을 양액에 띄운 후 20×15cm 간격으로 용기당 6주씩 각각 정식하여 30일간 재배한 후 수확하였다. 양액은 주간에만 30분 간격으로 10분씩 250W 용량의 blower를 이용하여 통기시켰고, 시험구는 완전임의배치법 3반복으로 하였으며, 양액의 온도는 계절에 따라 16~24℃ 범위로 유지시켰다.

수확 후 엽장은 가장 큰 잎의 길이를, 엽수는 길이 1cm 이상인 잎의 총 수를, 생체중 및 건물중은 지상부의 총 무게를 기준으로 하여 각각 조사하였다.

식물체의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량은 신선한 식물체를 건조시켜 Catado의 방법으로 비색계를 이용하여, Na와 Cl은 농진청의 무기양분 분석법에 준하여 각각 분석하였다.

실험에 사용한 지하수의 K, Ca 및 Na의 농도는 각각 3.2, 6.4 및 1.8ppm이었고, pH는 6.8, EC는 0.11mS·cm<sup>-1</sup>이었다.

질소 급원으로는 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>Cl, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>OH 및 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 각각 이용하였는데(표 11), 전체 질소의 농도를 6.5me/ℓ로 고정시킨 채 각기 한가지 비료염을 이용하였기 때문에, 처리에 따라 K, Ca, Mg, Na 및 Cl이 양액에 첨가되어 불가피하게 이들의 농도가 표준액에 비하여 3.5~6.5me/ℓ 까지 높아졌다.



Table 11. Concentration of counter ion of each nitrogen source

Nitrogen source	Counter ion	Concentration (me/ ℓ)
H <sub>4</sub> Cl	Cl	6.5
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	S	6.5
NH <sub>4</sub> OH	OH	6.5
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	6.5
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Cl	5.0

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 비율에 관한 실험은 총 질소 농도를 6.5me/ ℓ로 고정시킨 채 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 몰을 표 12에 나타낸 비료염을 이용하여 100 : 0, 75 : 25, 50 : 50 및 25 : 75로 조절하여 공급하였다.

Table 12. Supplied amounts of chemicals according to the ratio of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> to NH<sub>4</sub><sup>+</sup> of nutrient solution

Chemicals	Supplied amount(g/kℓ)			
	Ratios of NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> to NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>			
	100 : 0	75 : 25	50 : 50	25 : 75
KNO <sub>3</sub>	354	404	126	164
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	236	103	236	-
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	124	124	124	124
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	-	58	58	-
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	74	182	361
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	68	-	-	68
NaNO <sub>3</sub>	40	-	-	-
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	-	83	-	146
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	-	239	164

## 나. 암모늄을 주 질소원으로 한 양액의 안정화 방법 개발

### 1) 몇가지 미량원소 농도와 상추의 생육, 질산염 함량 및 질산환원효소의 활성

엽채류의 생육에 가장 큰 영향을 미치는 비료성분은 질소이다. 대부분의 육생식물은 질산태 질소를 흡수하는데, 흡수된 질소는 질산환원효소에 의하여 아질산태로 환원된다. 질산환원효소의 활성은 여러 가지 요인에 의하여 변화되지만 Mo, Zn 및 Mn과 같은 미량원소의 시비량에 따라서도 달라진다. 토양재배에 비하여 양액재배에서는 그 영향이 더 크다. 따라서 본 실험은 3종의 미량원소 농도와, 양액에 이들 원소를 공급 또는 제거하였을 때 나타나는 상추와 미나리의 생육, 이상 증상의 발현, 그리고 식물체내 질산태 질소의 함량 및 질산환원효소의 활성을 조사하기 위하여 수행하였다.

본 실험은 똑섬청축면상추와 양주 지방종 미나리를 공시하여 원예연구소의 유리온실에서 수행되었다. 작물은 플라스틱 포트를 이용한 연속통기식으로 재배하였으며, 두 작물 공히 정식 30일 후에 수확하여 생육조사과 질산태질소의 함량 및 질산환원효소의 활성을 측정하였다. 그리고 양액에 Mo, Zn 및 Mn을 제거 또는 공급하였을 때 나타나는 질산환원효소의 활성을 경시적으로 조사하였다. 효소의 활성은 Kaiser와 Lewis의 방법으로 spectrophotometer를 각각 이용하여 측정하였는데, 식물체 전체를 잘게 썬 후 균일하게 섞은 것 1g을 채취하여 분석용 시료로 이용하였다. 실험기간 동안의 온실내 환경 변화는 그림1과 같다.

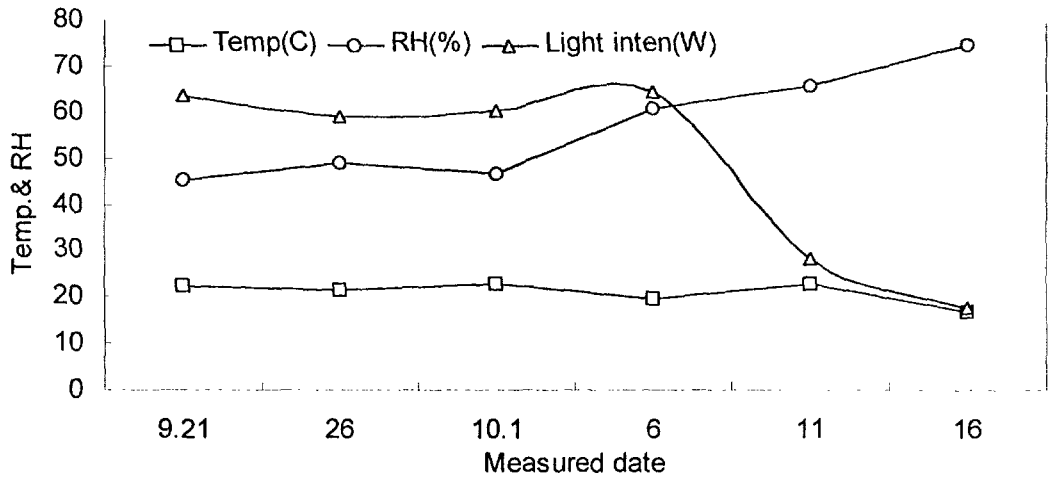


Fig.1. Changes of greenhouse temperature, relative humidity and light intensity during culture of leaf lettuce and water dropwort.

2) 양액에 humus의 첨가가 생육 및 질산염 함량에 미치는 영향

양액재배에서는 암모늄태 질소의 비율이 높으면 양액의 pH가 저하되어 작물의 생육을 정상적으로 유지하기가 어렵다. 뿐만 아니라 식물체내 질산태 질소의 함량을 저하시키기는데 장애 요인이 된다. 그러므로 암모늄태 질소의 비율을 높여서 재배하면서도 양액의 pH를 안정화 시킬 수 있는 방법이 필요하다. 그중 한가지가 양이온의 흡착력이 강한 유기물을 첨가하는 방법이다. 따라서 본 실험은 부식산의 함량이 12% 정도 되는 humus를 양액에 첨가하였을 때 나타나는 양액의 pH와 작물의 생육, 그리고 식물체내 질산태 질소의 함량 변화를 조사하기 위하여 수행하였다.

독점청축면 상추의 종자를 72공 플러그 육묘판에 파종하여 육묘한 후 9월 1일에 정식하여 9월 30일에 수확하였다. 플라스틱 포트(L50×W20×D15cm)에 山崎의 상추 재배용 양액을 15ℓ씩 넣고 공기주입기를 이용하여 통기시키는 연속통기법으로 재배하였다. 질소형태의 비율은 전체 질소농도는 고정시킨 채 90:10, 75:25 및 60:40으로

각각 조절하였고, humus를 양액 1ℓ당 0.5ml~2.0ml 범위로 각각 첨가하였다. Humus는 12%의 humic acid와 약간의 무기양분을 함유하고 있으며, pH는 9.15, EC는 34.4였다. 질산태 질소는 Cataldo의 방법을 이용하여 분석하였고, 30일간 재배한 후 상추의 생체중을 측정하였다.

#### 4. 질산염 관련 채소의 재배생리 현상 연구

##### 가. 노지와 시설재배 조건에 따른 채소 생육, 수량 및 질산염 집적

하우스와 노지 재배조건에서 무와 배추를 공시작목으로 하여 무는 8월27일에 직파하였고 배추는 8월 26일에 파종하여 9월9일에 정식하였는데 각각 표13과 같은 질소비료 시비처리를 두어 시험을 실시하였다.

인산은 전량 기비로 사용하였으며 질소는 배추의 경우 기비 사용후 20일 간격으로 3회로 나누어 시비하고 가리는 질소 추비 2회째에 추비를 사용하였으며, 무의 경우 질소와 가리는 1/2은 기비로 나머지는 파종후 20일 간격으로 2회 추비로 사용하였다. 질소는 요소의 형태로, 인산(배추, 260kg/ha; 무, 59kg/ha)은 용성인비, 가리(배추, 260kg/ha; 무, 154kg/ha)는 염화가리를 각각 사용하였다.

Table 13. Different levels of nitrogen fertilizer for chinese cabbage and radish in open field and greenhouse condition.

Treatments	Radish	Chinese cabbage
I (Control)	0t/ha	0t/ha
II (Recommendation rate)	280kg/ha	320kg/ha
III (Double rate of recommendation)	560kg/ha	640kg/ha

수량조사 및 질산염 분석용 시료 채취는 배추는 파종후 81일, 무는 파종후 80일에 수확하여 실시하였으며 질산염 집적량에 크게 영향을 미치는 Nitrate reductase 활성도의 일주기성을 고려하여 오전 9-10시 사이에 실시하였다. 채취된 시료는 냉장고에 밀폐보관하였다가 2-3일 이내에 균질화 시킨후 일정량의 증류수를 넣어 1시간 동안 교반시켜 여과시켜 질산염 함량을 분석하였다.

질산염 함량 분석을 위해 배추는 외부엽과 내부엽 등 2개 부위로, 무는 근과 무청(엽) 등 2개 부위로 각각 구분하여 채취한 후 질산염 함량을 분석하였다.

#### 나. 정상엽과 질산염 과다흡수 배추엽의 비교색도 작성

서울 6곳의 대형유통센터에서 시판되고 있는 배추, 양배추, 양상추를 1999년 9월 부터 12월 까지 구입하여, 엽위별로 분류하고, 최내엽을 1번으로 하여 엽위별로 번호를 매겼다. 이것을 다시 중륵과 엽신으로 구분하여 엽신은 색상표와 비교하여 엽색을 구분하였고, 각각의 중량을 정량하였다.

분석용으로 사용한 시료는 되도록 시판되는 채소의 중간 크기의 것을 취하였으며 크기와 무게는 표14와 같다.

표14. 공시 채소의 구경, 엽장, 엽폭, 엽수, 생체중, 중량 및 엽신의 무게

	Chinese cabbage n=12	Cabbage n=12	Lettuce n=12
Diameter (cm)	19	20	15
Leaf length (cm)	29	21	26
Leaf width (cm)	17	24	23
Leaf number (e.a)	52	46	22
Total Weight (g)	1919	1138	506
Weight of midrib(g)	55	17	6
Weight of blade(g)	26	37	23

준비된 배추, 양배추, 양상추를 신선한 상태로 잘 분쇄하여 거즈로 즙을 짰후 이 즙을 米山 등(1990)의 방법에 따라 소형 반사식 분광광도계(RQflex: MERCK)를 이용하여 측정하였다.

준비된 시료를 생체 상태로 잘게 분쇄하여 0.2g을 시험관에 취한후 80%의 Acetone을 20ml 넣고 잘 밀봉 후 48시간 방치하였다. 이것을 UV - spectrophotometer(MILTON ROY Model : SPECTRONIC 601)을 이용하여 파장 663nm에서 chlorophyll a를 측정후, 파장 645nm에서 chlorophyll b를 측정하여 그 합계로 총 chlorophyll 함량을 구하였다.

엽신을 색상표 (PCCS Harmonic color charts 201-L : 日本色研配色體系)의 색과 비교하여 가장 근접한 색의 번호를 취하였다. 결구채소의 엽색을 색상표와 비교하기 위해 배추, 양배추, 양상추의 색등급을 9, 7, 8개로 나누어 표준 등급화 한후 채소별 엽색을 분류하는데 사용하였다.

다. 질소시비수준에 따른 질산환원효소 효소활성도와 질산염 집적과의 관계

속노랑배추(홍농종묘)를 공시품종으로 노지에서 실시하였으며, 표준시비량은 10a당 질소 36kg, 인산 32kg, 칼리 26kg으로 하여 질소는 기비시용 후 20일 간격으로 3회 분시하고, 인산은 전량 기비로 시용하였으며, 칼리는 질소의 2차 추비시에 시용하였다. 질소시비처리구는 무비구, 반비구(추천시비량의 1/2시용구), 보비구(추천시비량 시용구), 배비구(추천시비량의 2배 시용구) 등 4개를 두었다.

Nitrate reductase 효소의 활성도는 Przemec(1996) 방법에 의해 측정하였다. 액체 질소(-196℃)를 사용하여 시료를 분쇄하고 in vitro상태에서 표15와 같은 buffer와 시약을 사용하여 측정하였다. Incubation용액의 조건(Przemec 1996)은 pH 7.5, 25℃의 최적 조건에서 buffer 60mM, EDTA 0.25mM, KNO<sub>3</sub> 7.5mM, NADH + H<sup>+</sup> 0.25mM을 투입하였다.

Tab15. Extraction buffer, incubation solution and analyse solutions used in the experiment

Buffer / incubation or Analyse solution	Concentration	Volume / pH level
Extraction buffer	0.1 M NaHPO <sub>4</sub> + 2H <sub>2</sub> O and KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	pH 7.5
Incubation solution	0.5 mM EDTA 50.0 mM KNO <sub>3</sub> 1.0 mM NADH + H <sup>+</sup> Raw enzyme extract pH	1.0ml 0.3ml 0.5ml 0.2ml ca. 6.0
Analyse solution	Incubation volume 2% sulfanilamide in 3 N HCl 0.04% NEDC	2.0ml 0.5ml 0.5ml

식물체 시료는 채취후 nitrate reductase 효소활성도의 반감기가 얼음물 상태(4℃)에서 약31분 정도인 것을 감안하여 효소추출 시간을 되도록 짧게 하고자 액체질소로 급속 동결시킨 상태에서 막자와 막자사발을 이용하여 균질화 시킨 후 즉시 분석하였다. Enzyme raw extract(ERE)는 약 0.2g-1.0g 정도의 시료를 10ml extraction buffer를 넣은 시험관에 평량한 후 1분간 진탕시키고 깔대기에 6겹 가제를 얹고 진탕액을 여과시킨 후 가제를 모아 힘있게 눌러 압착시켜 짜내 조제하였다.

이후 ERE을 교반시키면서 0.2ml을 취해 미리 incubation용액을 넣어 준비해 둔 시험관 2개에 30초 간격으로 각각 넣고 잘 흔든 후 incubation 시켰다. 시험관 A는 15분간, 시험관 B는 25분간 반응시킨 후 0.5ml의 sulfanilamide을 넣은 후 잘 흔들어 효소반응을 중단시키고, 약 4분이 지난 후 0.5ml NEDC용액을 첨가해 nitrite가 발색되도록 하였다. 발색 약 30분 경과 후 원심분리 (20분, 4℃, 25,000g) 시킨 후 상등액만을 취하여 Spectrophotometer로 546nm에서 1분당 nitrate기질이 얼마나 빠르게 효소에 의해 nitrite로 turnover 되었는지의 속도로 nitrate reductase 효소활성도를 측정하였다.

Nitrate reductase 효소활성도의 표준용액 곡선은 Nitrite stock solution(10  $\mu$ M  $\text{NaNO}_2$ )으로부터 3ml에  $0.5 \times 10^{-3}$  mol과  $1.0 \times 10^{-2}$  mol이 포함되도록 표준용액을 만들어 nitrite 발색시약인 NEDC용액을 넣어 측정한 후 계산하였다.

Nitrate reductase 효소활성도는 시료의 nitrate reductase활성도 측정을 통해 volume activity를 계산하며, 이를 근거로 1g FM당 또는 1mg protein당 specific activity를 다음 식과 같이 계산하였다.



$$\text{Volume activity} = \frac{\Delta E \cdot V}{\epsilon \cdot \Delta t \cdot v}$$

$\Delta t$  : 측정 시간 간격(10분)

$\epsilon$  : Extinction coefficient

$v$  : Incubation solution에의 ERE 투입량(ml)

$V$  : Incubation solution 총량(ml)

$\Delta E$  : Extinction

Specific activity

$$U/g \text{ FM} = \frac{P}{W}$$

$U$  : Volume activity

$P$  : Extraction buffer의 량(ml)

$W$  : 시료(mg)

$$U/mg \text{ protein} = \frac{U}{C}$$

$U$  : Volume activity

$C$  : ERE의 단백질 함량(mg)

## 5. 저장, 유통, 가공시 질산염 함량 변화

### 가. 채소의 저장 및 유통조건에 의한 질산염 함량 변화

천안근교 농가에서 재배된 무와 배추를 1997년 11월 중순부터 15일 간격으로 3회 수확하여 공시 재료로 이용하였다. 지역별 시료 채취는 가락동 농수산물 도매시장에서 충남, 경기, 강원, 전남에서 재배된 무와 배추를 구매하여 이용하였다. 비슷한 크기와 무게를 지닌 개체를 선별하여 무는 잎부분을, 배추는 토양에 접한 부분을 절단한 후 흐르는 물에 씻어 이물질 제거하였고, 이를 통째로 잘게 마쇄하여 골고루 혼합한 후 분석시료로 이용하였다.

배추는 0.03mm LDPE 필름을 사용하여 날개로 밀봉 포장하였으며, 이를 각각 0°C, 4°C, 10°C, 및 20°C의 온도에 45일간 저장하였다. 무는 필름 포장없이 배추와 동일하게 설정된 온도의 저장고에 저장하였다. 저장이 끝난 후 개체별로 통째로 잘게 마쇄하고 골고루 혼합하여 분석시료로 이용하였다.

광조건에 따른 함량변화를 밝히기 위하여 흑색과 투명비닐을 이용하여 포장에서 30일 동안 야적한 후 개체별로 통째로 잘게 마쇄하고 골고루 혼합하여 분석시료로 이용하였다.

### 나. 채소류 가공에 따른 부위별 질산염 함량 변화

천안근교 농가에서 재배된 무와 배추를 11월 30일에 수확하였으며, 수확당일 비슷한 크기와 무게를 지닌 개체를 선별하여 무는 잎부분을, 배추는 토양에 접한부분을 절단한 후 흐르는 물에 씻어 이물질을 제거하였다. 무는 표피조직과 사부조직 2부분으로 나누어 각각 분석에 이용하였으며, 배추는 엽록소가 많이 함유되어 있는 녹색잎 3-4장을 바깥잎으로부터, 엽록소가 없고 카로티노이드가 함유된 어린 잎 3-4장을 안쪽잎으로부터 채취하여 분석시료로 이용하였다.

배추의 경우 가열에 의한 함량변화를 조사하기 위하여 겉잎과 안잎으로 구분하여 각 부위별로 80℃와 100℃의 물에 각각 1분, 5분 10분, 15분 20분동안 침지처리를 하였다. 무의 경우 건조방법에 따른 함량 변화를 조사하기 위하여, 시료를 과피와 사부의 두 부분으로 나누어 동결건조, 자연건조(완전건조, 부분건조), 열풍 건조하였다.

#### 다. 채소류 조리에 따른 질산염 함량 변화

실험재료는 엽채류(숙갓, 깻잎, 파), 과채류(풋고추), 근채류(무, 당근)를 1998년 9월 천안 도매시장에서 구입하였다. 시료 구입후 이물질 제거하고, 각 개체를 통째로 잘게 마쇄하여 골고루 혼합되도록 하였다. 각 작물별로 50g씩 100℃의 물에 각각 15초, 1분, 5분 10분, 15분 20분동안 침지처리 하였다. 침지처리후 물기를 제거하고 분석에 사용하였다.

채소류 조리에 따른 질산염 함량 변화를 조사하기 위하여 사용한 재료의 구체적 처리방법은 다음과 같다.

-튀기기 ; 식용유 500ml에 각 작물별로 50g을 넣고 100℃의 튀김온도에서 60초간 처리.

-볶기 ; 식용유 10ml에 각 작물별로 50g을 넣고 30초간 처리.

-데치기 ; 물 500ml에 각 작물별로 50g을 넣고 100℃의 온도에서 15초간 처리.

-전자렌지 ; 물 500ml에 각 작물별로 50g을 넣고 60초간 처리.

#### 라. 채소류 김치조제에 따른 질산염 함량 변화

식염 농도에 따른 질산염 함량을 알아보기 위하여 각각 수돗물, 1.5% NaCl, 2.5% NaCl 용액 500ml에 작물별로 각각 50g을 넣고 1시간 동안 침지하였다. 위의 처리가 끝난 후 물기를 제거하고 분석을 위해 sampling하였으며, 각 처리당 3반복하였다.

아질산염은 시료용액에 amide 및 amine 용액을 첨가한 후 530nm에서 흡광도를 측정하여

생체중 단위로 환산하여 아질산염 함량으로 나타내었다

## 6. 유럽의 채소질산염 함량 허용기준제도 연구

EU 국가의 채소 질산염 규제현황 및 과학적 근거자료를 수집하고, 독일, 영국, FAO/WHO의 채소 질산염 허용기준치 관련자료를 수집하고 이를 분석하였다.

### ㉠ 질산염의 인축위해성

수집한 각종 문헌과 자료에 나타난 nitrosamine에 대한 인축위해성에 대한 자료를 음미 분석 요약하였다. 질산염이 인체에 흡수된 후 단백질 분해과정에서 생성되는 amine류와 강산성 조건에서 결합하여 nitrosamine을 생성 할 수 있다고 알려져 있기 때문이다.

### ㉡ 일일 질산염 섭취량

수집한 문헌상에 나타난 각종 자료를 종합적으로 음미하여 물, 곡류, 육제품, 유제품, 과일 및 채소 등을 통해 체내로 섭취하는 질산염 총량을 파악하고, 한국인의 식품별 평균섭취량과 평균질산염 함량을 근거로 일일 질산염 섭취량을 계산하였다.

### ㉢ 유럽연합의 채소 질산염 기준설정

독일과 네델란드 등 수개국에서 실시하던 채소질산염 허용기준이 전 유럽연합에서 허용기준치로 확정되어 실시되고 있는 바 그 내용을 살펴보았다.

### ㉣ 채소의 고질산염 함량에 대한 감시 및 통제

유럽연합이 채택하여 실시하고 있는 채소질산염 허용기준치를 초과하는 고 질산염 함유 채소에 대한 독일과 영국의 감시 및 통제에 관련된 자료를 분석하였다.

## 7. E.coli cell을 이용한 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 분석방법

### 가. 분석방법

#### (1) 시료의 용출

- 식물체 : 생체시료 10g을 분쇄한후 100ml 증류수에 1시간 동안 진탕한다.
- 토 양 : 생체 100g에 0.025N CaCl<sub>2</sub>용액 250ml를 가한 후 30분간 진탕한다.
- 수 질 : 용출하지 않고 직접 분석한다.

(2) 시료 추출액(수질의 경우 직접 사용) 0.2ml을 Test tube에 넣은후 1.7ml Formate buffer 용액을 넣는다

(3) 37°C water bath에 넣는다

(4) 0.1ml E.coli suspension을 넣은 후 30초간 N<sub>2</sub> gas를 주입한다.

(5) Test tube를 고무마개로 막고 20분간 37°C water bath에서 incubation한다.

(6) 20분 후 2ml NO<sub>2</sub> test reagent(sulfanilamide + NEDC)를 투입한다.

(7) 540nm에서 extinction 값을 측정한다.

### 나. 계산 방법

$$\text{NO}_3^- \text{-N mg/} \ell = \frac{\Delta E \times \text{용출액량} \times \text{최종 Volume}}{\epsilon \times W \times \text{추출액}}$$

$\Delta E$  : 시료의 흡광계수

$\epsilon$  : Standard의 extinction coefficient

W : 시료무게(g)

## 다. 배양액 제조

### (1) E.coli 배양액

- 용액 1 : 1mol  $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 와 189mol  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 의 혼합액
- 용액 2 : 10.2mol  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 34mol tri-Na-citrate  $\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 와 64 $\mu\text{mol}$   $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 의 혼합액
- 용액 3 : 1mol  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- 용액 4 : 1mol  $\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- 용액 5 : 10%  $\text{KNO}_3$
- 용액 6 : 0.65g casein hydrolysate와 2.7g nutrient broth(Difco)를 100ml의

증류수에 녹인다.

- 용액 7 : 30% D-glucose

### (2) E.coli strain

KCTC 1116 K12 Wildtype

(KCTC : 한국 과학 기술 연구소 / 생명공학연구소 유전자은행)

### (3) Cell 배양 및 분석 이용 과정

E.coli 接種 : E.coli 균주를 배지에 접종

E.coli 培養 : 혐기상태 37°C Shaking bath에서 배양한 후 수확

E.coli 保管母液 : 수확된 Stock suspension은 약 6개월간 냉장고 보관

E.coli 分析溶液 : 분석당일 Stock suspension을 희석하여 Working suspension

제조

## 라. E.coli cell 배양 방법

(1) 0.8% nutrient broth solution 50ml을 삼각플라스크에 string magnet와 함께 넣고 120°C에서 고압 멸균시킨 후 E.coli를 접종한다. 플라스크 입구를 멸균한 마개를 막고 16시간 동안 37°C에서 교반한다.

(2) 1~6용액을 배양용기에 string magnet와 함께 넣고 멸균시킨다. 보통 혐기적으로 밀봉이 가능한 병을 사용하는 것이 알맞다.

(3) Glucose solution은 1~6 혼합용액과 따로 멸균시킨 다음 혼합액과 섞는다. 접종을 위해 접종균을 배양용기에 옮긴다.

(4) 1cm<sup>3</sup> 정도의 공기방울만 남기고 미리 멸균시킨 2차 증류수로 배양요기의 목까지 가득 채운다. 37℃에서 계속 교반시키면서 배양한다.

#### 마. 분석모액 제조

(1) 5시간 동안의 cell배양이 끝난 후 재빨리 배양요기에 얼음물을 담가 냉각시키면서 교반한다. 4℃이하로 완전히 냉각되면(약 30분 소요) 10,000g force에서 원심분리한다. 이때 온도는 4℃이하로 유지해야 하며 원심분리기용 tube는 미리 4℃로 냉각시킨 것을 사용한다.

(2) 원심분리후 상등액은 버리고 cell은 냉장된 0.1mol/l phosphate buffer로 2회 세척한다.

(3) 세척 후 p-buffer는 세척한 양의 절반만 가하고 cell(pellet)을 잘 풀어준 뒤 저장용 병에 string magnet와 함께 넣고 차게 유지시켜 교반하면서 N<sub>2</sub> gas를 10분 동안 충분히 주입한다.

(4) suspension의 희석시는 0.1mol formate 또는 1mol formate와 p-buffer혼합용액으로 한다. 혐기적 공기조성을 용이하게 하기 위해 저장병의 N<sub>2</sub> gas의 투입구 및 배출구를 만들어 사용한다. Gas주입후 마개를 꼭막아 냉장고에 보관한다.

(5) NaR activity는 cell suspension을 만든후 처음 일주일 내에 적어도 2배가 된다.

#### 바. 분석용액 제조

(1) 분석 당일 stock suspension은 보통 phosphate buffer로 희석하여 사용된다.

(2) 분석을 위해서는 NaR activity가 30μg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N인 stock suspension이 0.1ml 필요하다. 만약 NaR activity가 10μg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N이라면 0.3ml의 stock suspension이 필요하다.

## 제2장 유통채소 및 가공채소류의 질산염함량 실태 조사 및 채소류 질산염함량 저감을 위한 적정시비량 설정

### 제1절 신선 채소류의 질산염함량 실태조사

#### 1. 채소류의 전국평균 질산염 함량

신선채소중 질산염함량은 1997~2000년 사이 전국의 각 지역에서 유통 및 재배되고 있는 신선 채소를 종류별로 구분 수집하여 질산염함량을 조사하였다. 이때 조사 결과는 시료채취 지역에 따라 중부, 호남, 영남 지역으로 세분하여 지역간, 시료채취 시기별로 질산염함량을 분석 비교하였고, 이를 종합하여 우리나라에서 유통되고 있는 신선채소중 질산염함량의 평균적 분포를 조사하였다. 이때 채소류는 그 형태에 따라 엽채류, 과채류, 근채류 및 특수채소로 분류하였다.

표 1-1는 국내에서 생산 유통되고 있는 16가지 주요 신선 엽채류중 질산염함량을 나타내었다. 총 290점이 수집 분석된 시금치중 질산염함량은 평균 3,088 ppm으로 EU 국가의 시금치중 질산염 평균 함량인 3090~3,383 ppm과 비교하여 비슷한 수준의 분포를 보였다. 그리고 EU 단일국가의 시금치중 질산염함량 기준인 동절기 3,000, 하절기 2,500ppm에 비해 다소 높은 값을 나타내었다. 국내 유통 시금치중 질산염 함량은 최대 6,935, 최소 403ppm으로 비교적 넓은 함량 분포를 보였으며 일부의 시료가 다소 높은 함량을 나타내었다. 그림 1-1에서 처럼 약 20%가 4,000 ppm 이상의 질산염 함량을 함유하고 있었으며, 약 70%가 1,000~4,000ppm 범위의 질산염 분포를 보였다.

총 251점이 전국적으로 수집되어 분석된 상추 중 질산염함량은 평균 2,412 ppm이었으며 최고 5,391, 최저 31 ppm으로 시료의 채취시기 및 채취 지점에 따라 비교적 다양한 분포를 보였다.



표 1-1. 전국적으로 수집된 엽채류중 질산염 함량 분포특성

작 물 명	시 료 수	질산염 함량 (ppm)		
		최 저	최 고	평 균
1. 시금치	290	403	6,935	3,088
2. 상추	251	31	5,391	2,412
3. 배추	220	310	6,374	3,017
4. 얼갈이배추	63	34	6,266	3,180
5. 양상추	24	330	3,902	1,838
6. 양배추	32	26	1,165	380
7. 봄동	41	22	760	215
8. 열무	75	20	6,888	3,565
9. 깻잎	40	14	3,959	1,274
10. 치커리	40	248	6,514	2,839
11. 무잎	31	195	4,300	2,357
12. 숙갓	38	357	5,952	3,353
13. 케일	22	58	6,997	3,424
14. 갓	12	24	84	49
15. 부추	34	412	2,414	978
16. 고구마잎대	15	387	2,230	957

이는 EU 상추의 하절기 질산염함량 기준 3,500ppm, 동절기 기준 4,500ppm에 비해 크게 낮았으며, 1997년 식품의약청에서 조사한 국내 유통 상추중 평균 질산염함량 2,287ppm과 비슷한 분포를 하고 있는 것으로 조사되었다. 그림 1-2에서 처럼 약 20%가 3,000ppm이상의 농도분포를 보였으며 약 45%가 2,000~3,000ppm 사이에 분포하고 있었다. 비교적 육류소비량 증대와 함께 생식 소비량이 가장 높은 상추중 질산염 함량은 비교적 낮은 농도 범위를 유지하고 있었다. 국내 채소중 소비량이 가장 많은 김장 배추와 얼갈이 배추는 각각 220, 63점을 수집하여 질산염 함량을 조사한 결과 각각 평균 3,017와 3,180 ppm 함량 분포를 보였다. 이는 식품의약청을 통해 1997년 조사되어 보고된 평균값 1,498ppm에 비해 다소 높은 것으로 네덜란드, 독일에서 조사된 배추중 평균 질산염함량 3,800, 3,100ppm과 비슷한 분포를 보였다. 이는 EU국가들중 유일하게 배추중 질산염 함량 기준을 정하고 있는 오스트리아 기준 2,500ppm에 비해 평균적으로는 다소 높은 분포를 보였으나, 그림 1-3의 배추중 질산염 분포

특성에서 처럼 전체의 약 62%가 3,000 ppm 이하의 낮은 농도에 분포하고 있어 우려할만 한 수준은 아닌 것으로 판단되었다.

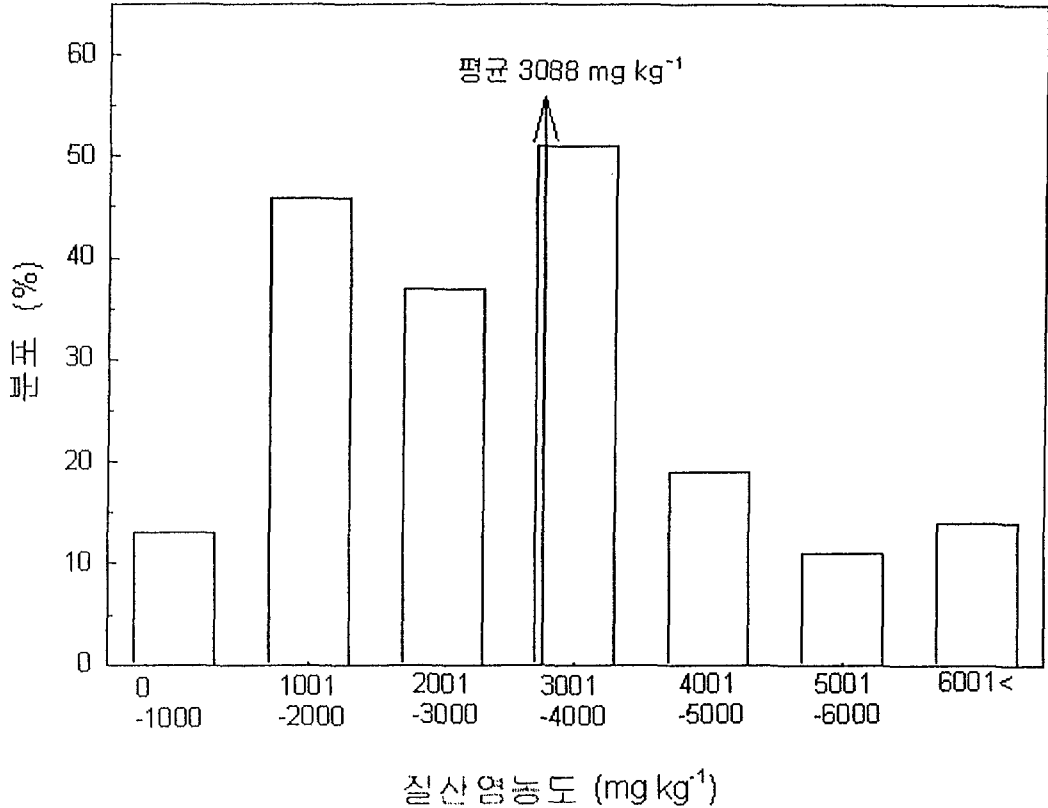


그림 1-1. 시금치중 질산염함량 분포

이때 배추와 열갈이 배추 중 질산염의 최대함량은 각각 6,374와 6,266ppm, 최소함량은 310과 34ppm으로 비교적 다양한 분포특성을 나타내었고, 일부 배추중에서 기준치 이상의 질산염함량 분포를 보였는데, 이는 지역적인 토양의 특성과 시비방법 및 재배방법에 따라 차이가 있었던 것으로 판단된다

기타 주요 신선채소중 평균 질산염함량은 열무가 3,565 ppm, 쪽갓과 케일이 각각

3,300~3,500ppm으로 비교적 높은 함량 분포를 보였으나 대부분의 채소가 기준량 이하의 낮은 함량분포를 유지하였다. 특히 1일 섭취량을 기준으로 설정된 EU국가의 채소중 질산염 한계농도를 기준으로 할 때 비교적 1일 섭취량이 적은 기타 채소류에서는 질산염함량에 따른 품질평가는 현재로서는 의미가 없는 것으로 판단된다.

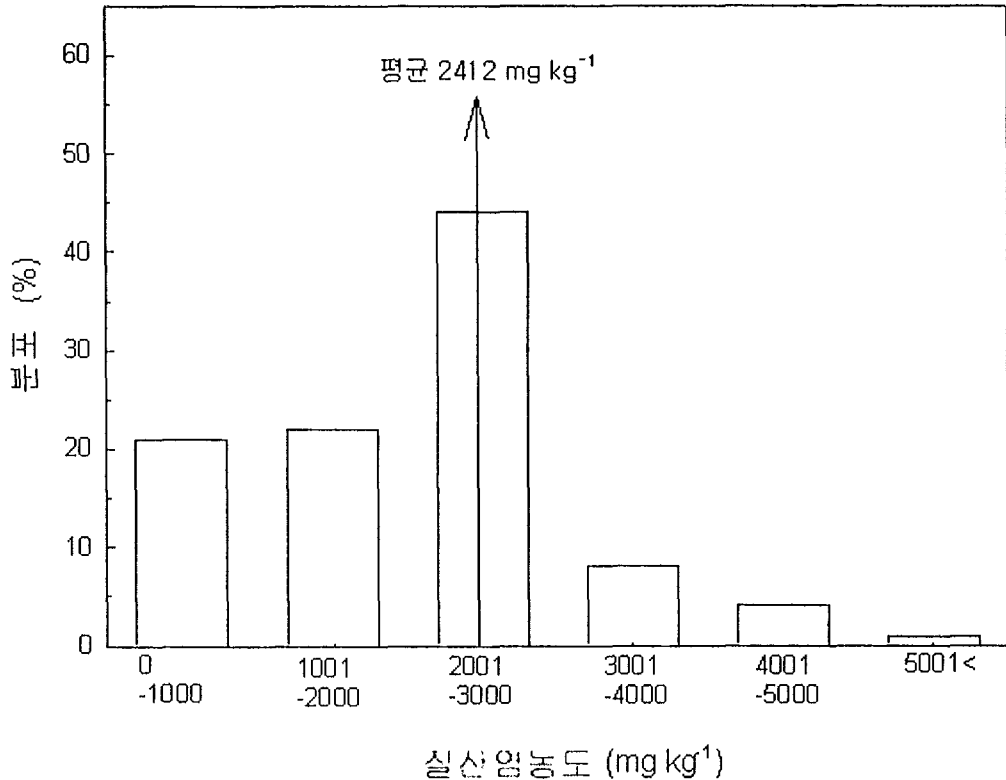


그림 1-2. 상추중 질산염함량 분포

표 1-2은 전국에서 수집된 주요 과채류의 질산염 함량 분포를 나타낸 것으로, 소비량이 많은 오이, 수박, 참외 및 딸기중에는 질산염 평균함량이 각각 420, 1,809, 1,139, 1,701 ppm으로 엽채류에서 보다는 상당히 낮은 분포특성을 보였다. EU 국가에서도 이러한 점을 고려하여 과채소류 중 질산염함량 기준은 정하지 않고 있으며,

국내에서도 문제가 될만한 수준은 아닌 것으로 판단된다. Scharpf (1991)의 조사에서 오이 토마토 등의 질산염함량이 약 500 ppm이었다는 결과와는 다소 차이가 있었다. 이외의 과채류중 질산염함량은 종류에 따라 다소 차이가 있었으나 평균 2,000ppm이하의 낮은 함량분포를 보였다.

표 1-2. 전국적으로 수집된 과채류 중 질산염 함량 분포특성

작물명	시료수	질산염 함량 (ppm)		
		최저	최고	평균
1. 오이	26	2	1,541	420
2. 수박	62	301	4,393	1,809
3. 참외	28	341	1,666	1,139
4. 딸기	20	846	3,831	1,701
5. 토마토	41	84	965	306
6. 양액토마토	7	368	2,294	1,360
7. 방울토마토	29	177	2,834	1,084
8. 호박	32	111	2,285	1,007
9. 가지	13	204	1,082	728
10. 풋고추	27	19	571	306

표 1-3은 전국에서 수집 분석된 근채류중 질산염함량 분포를 조사한 결과로 무는 평균 1,911, 최고 2,856, 최저 137 ppm으로 낮은 함량 분포를 볼 수 있었다. 이는 Scharpf (1991)의 조사결과 무는 높은 수준(2,000~5,000 ppm)의 질산염을 함유하고 있다는 보고에 비해서는 다소 낮은 함량분포를 보이고 있었다. 기타 당근 감자 고구마 및 양파 중 평균 질산염함량은 각각 1,254, 451, 608, 890 ppm으로 엽채류에 비해 대단히 낮은 질산염함량을 보이고 있었다.

표 1-3. 전국적으로 수집된 근채류 중 질산염 함량 분포특성

작물명	시료수	질산염 함량 (ppm)		
		최저	최고	평균
1. 무	31	137	2,856	1,911
2. 당 근	13	731	2,117	1,254
3. 감 자	11	341	686	451
4. 고구마	15	214	2,230	608
5. 양 파	40	363	2,903	890

표 1-4은 최근 건강에 관심이 증대되면서 소비량이 증가되고 있는 특수 채소들을 대상으로 질산염 함량 분포를 조사한 결과이며, 채소의 재배형태, 가식부위의 위치는 구성형태 등에 따라 다양한 분포특성 차이를 볼 수 있었다.

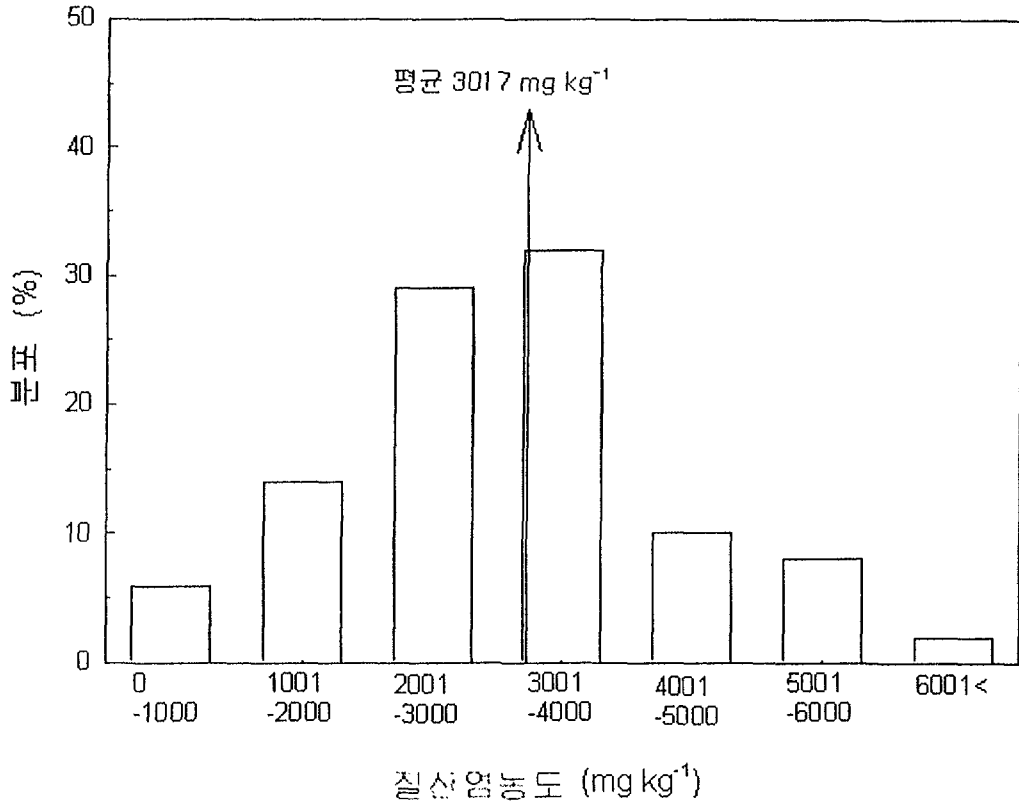


그림 1-3. 배추중 질산염함량 분포

청경채 및 취나물 등은 평균 3,500 ppm 이상의 질산염함량을 나타내고 있으나 찹찹이, 신선초, 브로코리, 적채 등은 1,000ppm 이하의 낮은 질산염 함량분포를 보였다. 현재까지 이들 특수 채소의 생산과 소비량은 대단히 미미한 수준에 있으며 재배방식도 제한된 범위에서 관리되고 있고, 또 채취된 시료의 수도 적어서 질산염함량에 대한 대표값 확보를 위해서는 다소의 추가적인 연구진행이 있어야 할 것으로 판단된다.

## 2. 지역별 신선채소류의 질산염함량 실태

표 1-5와 그림 1-4는 1997년부터 2000년까지 약 4년간 전국적으로 각 지역에서 수집된 주요 엽채류중 질산염함량 분포를 나타낸 것으로 상추와 양배추, 배추중 질산염함량은 지역간 차이를 볼 수 없었다. 이는 상추의 경우 대부분시설하우스내에서 재배를 하고, 배추와 양배추의 경우는 대부분 노지재배를 하기 때문에 차이가 적은 것으로 판단된다. 그러나 시금치와 얼갈이 배추의 질산염함량은 중부 지역에서 유통되는 제품중에서 비교적 높은 함량분포를 볼 수 있었다. 이러한 차이는 재배지의 시비 방법, 비닐하우스내의 재배방법 및 관리조건이나 지역간 온도 차이 등 여러 요인에 의하여 발생하는 결과로 판단된다.

표 1-4. 전국적으로 수집된 특수채소류 중 질산염 함량 분포

작물명	시료수	질산염 함량 (ppm)		
		최저	최고	평균
1. 참참이	16	26	929	319
2. 청경채	13	1,497	6,120	3,670
3. 취나물	11	2,693	6,184	4,733
4. 참나물	11	292	5,376	2,540
5. 셀러리	8	40	4,982	2,440
6. 로메인	7	1,019	5,651	2,372
7. 신선초	6	27	2,130	663
8. 비트채	5	469	3,871	2,009
9. 근 대	6	1,568	3,481	2,530
10. 브로코리	4	412	850	672
11. 치 콘	3	2121	2,843	2,548
12. 적 채	3	376	983	722
13. 춘 채	3	531	3,317	2,320
14. 미나리	18	93	3,140	1,171

일반적으로 비닐하우스에서 재배되는 채소가 다비와 빠른 성장속도로 인해 식물체내 질산염함량이 높은 것으로 알려져 있다. 평균 기온이 낮은 중부 지역에서는 얼갈이

배추와 시금치를 대부분 비닐하우스 내에서 재배하는 것이 일반적이거나, 남부 지역에서는 시금치와 같은 작물을 비닐하우스내에서 재배하다가 출하시기가 되면 상품기치를 높이기 위하여 노지형태로 관리하다가 수확하는 등 재배 방법에도 다소 차이도 있는 것으로 조사되고 있다. 이 외에도 남부지역에서 재배된 채소류가 서울 등의 중부지역으로 이송될 가능성은 대단히 높은 반면 이지역에서 재배된 배추를 제외한 일반 엽채류가 남부지역으로 이송될 가능성은 그리 높지 않은 것으로 알려져 있다.

이와 같은 여건하에서 중부지역에서 수집된 엽채류는 남부지역에서 수집된 것에 비해 평균기온이 낮은 지역의 비닐하우스안에서 재배되었을 가능성이 높을 것으로 예측된다. 결과적으로 중부지역에서 수집된 시금치와 열갈이 배추가 남부지역의 것에 비해 질산염함량이 높았던 것과 관계가 있는 것으로 해석된다.



표 1-5. 각 지역별 엽채류중 질산염 분포 비교

지 역	작물명	시료수	질산염 농도 (mg/kg)		
			최저	최고	평균
중부	1. 상추	101	69	3,290	2,396
	2. 시금치	103	459	6,015	3,206
	3. 배추	77	766	6,734	2,978
	4. 열갈이배추	17	1,430	6,063	3,526
	5. 양배추	11	140	1,165	411
호남	1. 상추	71	49	5,391	2,386
	2. 시금치	110	495	6,935	3,001
	3. 배추	59	462	5,495	3,140
	4. 열갈이배추	17	34	6,266	2,993
	5. 양배추	12	165	672	461
영남	1. 상추	79	31	4,233	2,456
	2. 시금치	77	403	6,621	3,055
	3. 배추	84	310	5,739	2,960
	4. 열갈이배추	29	211	5,828	3,087
	5. 양배추	9	26	1,067	233

### 3. 계절별 질산염함량 실태조사

표 1-6과 그림 1-5는 전국에서 수집된 주요 엽채류의 동절기 및 하절기의 질산염 농도의 분포를 조사한 것으로, 전체적으로 엽채류 중 질산염 농도는 동절기에 비해 하절기에 높게 분포하였다. 즉 상추중 질산염 농도는 하절기에 2,525ppm으로 동절기의 2,276 ppm에 비해 약간 높은 함량을 보였다. 특히 시금치와 열갈이 배추중 질산염 농도가 2 계절간 다소의 차이를 보였다. 특히 외형 입의 성장이 크게 요구되는 열갈이 배추중 동절기 평균 질산염 농도는 약 2,985 ppm 정도이었으나 하절기에는 약 3,600 ppm으로 약 600 ppm 이상 높은 함량을 볼 수 있었다.

이러한 원인은 작물생리학적인 측면과 토양내 존재하는 양분, 특히 질소의 존재 형태학적인 측면에서 고찰이 가능하다. 작물생리학 측면에서 야채류는 하절기 높은 온도 조건하에서 재배되는 야채류는 동절기에 비해 성장속도가 대단히 빠르게 성장하

며 많은 양분을 요구하게 된다.

작물에 의해 흡수된 질소는 생체내 반응을 통해 아미노산으로 전환되어 단백질 형태로 축적된다. 아미노산으로 전환되지 못한 질소는 질산태질소 형태로 액포내에 축적된다.

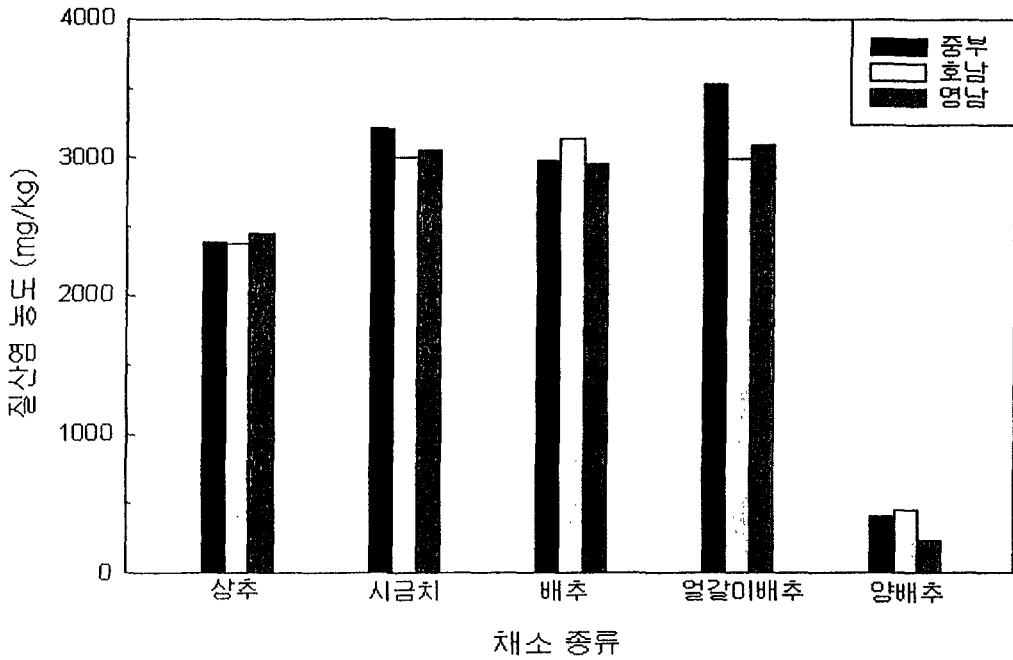


그림 1-4. 지역별 엽채류중 NO<sub>3</sub> 농도분포

표 1-6. 계절별 유통 신선 엽채류 중 질산염 분포 비교

계절	작물명	시료수	질산염 농도 (mg/kg)		
			최저	최고	평균
동 계	1. 상추	114	31	4,553	2,276
	2. 시금치	176	403	6,015	3,006
	3. 배추	143	310	6,134	2,944
	4. 얼갈이배추	43	34	6,063	2,985
	5. 양배추	20	26	112	338
하 계	1. 상추	137	49	5,391	2,525
	2. 시금치	114	495	6,935	3,214
	3. 배추	77	462	6,374	3,153
	4. 얼갈이배추	20	145	6,266	3,600
	5. 양배추	12	165	1,165	450

특히 질산태질소는 엽채류의 외형잎의 다량 존재하며 외형잎이 발달된 하절기 얼갈이 배추중에서 다량 축적된 것으로 해석된다. 이 외에도 발토양 조건에서 하절기에는 시비질소나 유기태질소는 빠른 속도로 무기화 되어 질산화 된다. 하절기 다량 존재하는 질산태질소가 작물에 흡수 축적되어 높은 질산염함량 분포를 보인 것으로 판단된다.

이상의 결과를 통해 전국에 유통되고 있는 신선채소류의 질산염함량은 채소류의 종류, 유통시기 등에 따라 다소 다른 분포특성을 보이고 있음을 알 수 있었다. 국내 신선채소류의 질산염함량은 외국의 조사결과와 유사하거나 다소 낮은 수준의 보였으며, 평균함량은 EU 국가의 잔류허용기준 보다 낮은 것으로 나타났다.

## 제2절 가공채소류의 질산염함량 실태조사

전국을 대상으로 가공채소중 질산염함량을 조사한 결과는 표 1-7, 1-8, 1-9, 1-10와 같다. 단무지의 즙액과 국물중 질산염함량은 각각 전국 평균 346와 340 mg/kg으로 매우 낮았으며, 각 지역간 질산염의 함량 차이도 크게 볼 수 없었다. 대부분의 단무지 즙액과 국물중 질산염함량은 49-899 mg/kg 범위내에 포함되어 있었다 (그림 1-6). 단무지 즙액중 질산염 최고농도는 895 mg/kg, 국물중 899 mg/kg으로 매우 낮은 함량분포를 보였다.

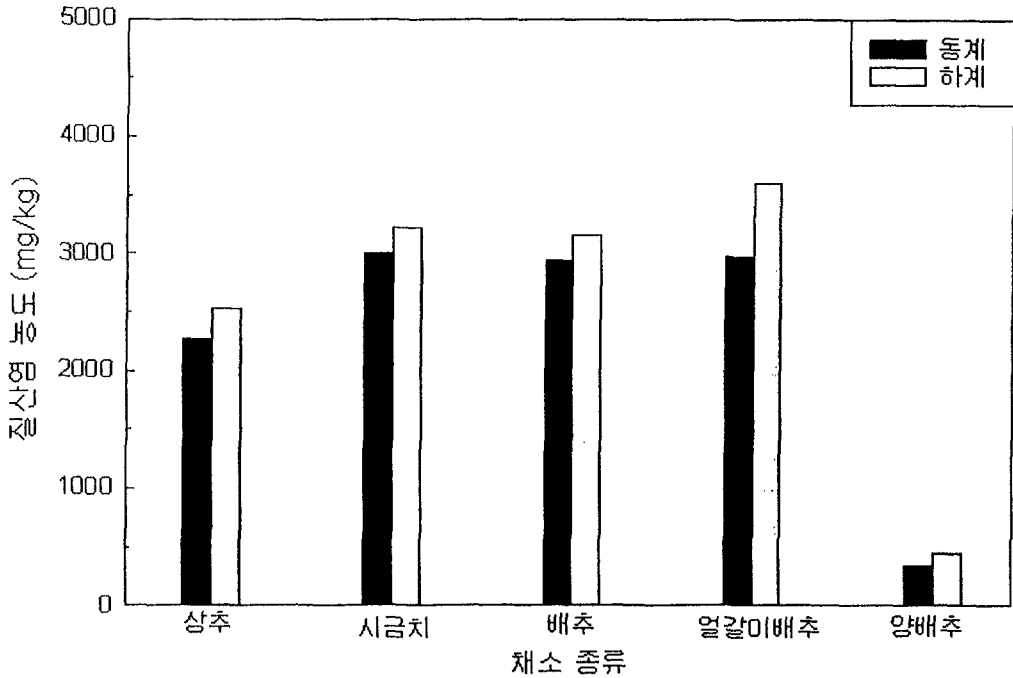


그림 1-5. 시료채취시기 별 엽채류중 NO<sub>3</sub> 농도분포

표 1-7. 국내 가공채소중 질산염 함량

(단위 : mg/kg)

품 목	접수	즙액			국물		
		평균	최고	최소	평균	최고	최소
단 무 지	233	346	895	49	340	899	49
배 추 김 치	81	1,471	3,605	500	979	3,419	213
열 무 김 치	16	3,240	5,828	899	1,383	3,073	695
얼갈이배추김치	10	1,890	2,600	399	1,359	2,391	385
배추물김치	17	681	1,253	341	384	1,098	13

주) \* 시료 채취는 시장에 유통되는 정도에 따라 채취하였음

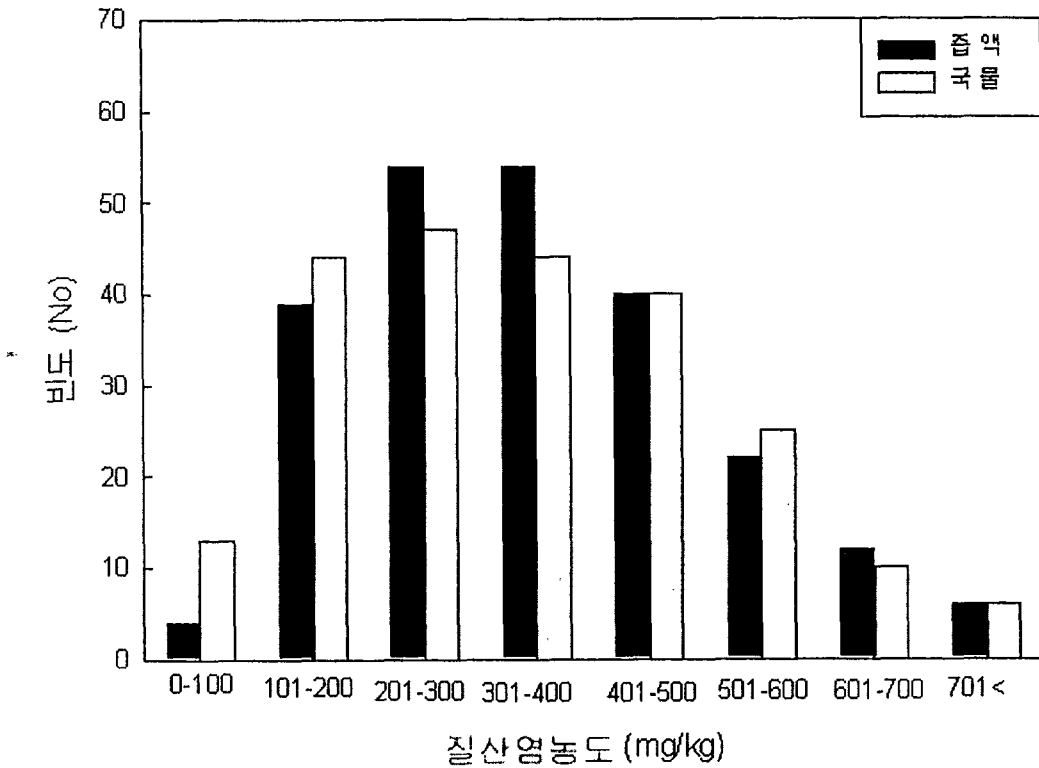


그림 1-6. 국내 유통 단무지중 질산염 함량 분포

조사된 가공채소중 김치류는 배추김치, 열무김치, 얼갈이배추김치와 배추물김치로 구분하여 수집 및 질산염 함량 조사를 실시하였다. 배추김치의 평균 질산염 함량은 즙액 1,471 mg/kg, 국물 979 mg/kg이었으며, 즙액중 질산염은 대부분 500~3,605

mg/kg, 국물중에는 213~3,419 mg/kg 범위내 분포하였다. 배추김치 중 질산염 최고 농도는 즙액 3,605 mg/kg과 국물 3,419 mg/kg으로 비교적 낮은 함량을 나타내었다.

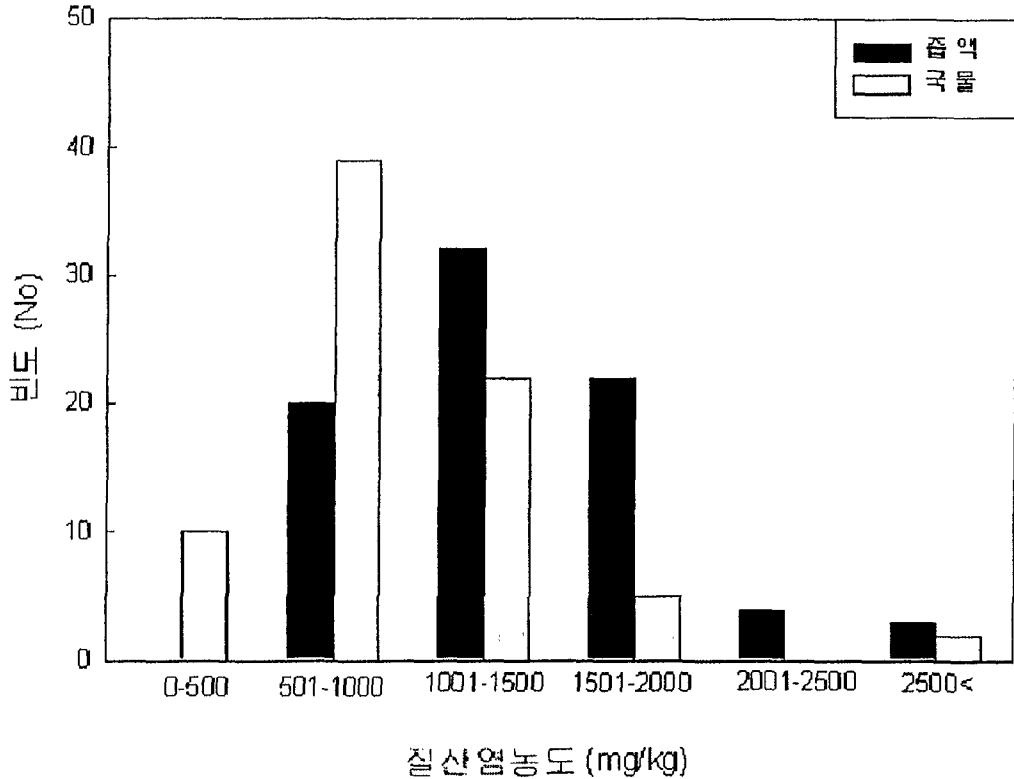


그림 1-7. 국내 유통 배추김치 중 질산염 함량 분포

김치류 중 얼갈이배추김치와 배추물김치의 즙액중 평균 질산염 농도는 각각 1,890과 681 mg/kg이었으며 국물중에는 1,359와 384 mg/kg이었다. 질산염 최고농도는 얼갈이 배추김치와 배추물김치 즙액중에는 각각 2,600과 1,253 mg/kg, 국물중에는 2,391와 1,098 mg/kg으로 낮은 함량분포를 보였다. 이에 반해 열무김치는 질산염의 평균 농도가 즙액 3,240 국물 1,383 mg/kg으로 배추 김치류에 비해 다소 높은 농도를 함유하고 있었으며, 즙액의 최고 농도는 5,828 mg/kg 이었고 국물중에는 3,073ppm 이었다. 전국에 유통되고 있는 가공채소류의 질산염 함량은 제품의 종류와 국물 및 식물체 등에 따라 다소 다른 분포특성을 보이고 있음을 알 수 있었다. 대부분의 유통 가공채소의 즙액과 국물중 질산염의 함량은 비교적 낮은 값을 나타내었다. 특히 가

공채소류 중 질산염함량은 원료인 신선채소류의 평균 질산염농도에 비해 낮은 농도 분포를 보였으며, 이는 신선채소를 가공하는 과정중 절임과 세척과정을 통해 농도 저감이 발생되었기 때문으로 판단된다.

표 1-8. 중부지역에서 수집된 가공채소중 질산염함량 (단위 : mg/kg)

품 목	점수	즙 액			국 물		
		평균	최 고	최 소	평균	최 고	최 소
단 무 지	73	350	722	106	354	753	106
배 추 김 치	44	1,492	3,605	500	1,169	3,419	213
열 무 김 치	3	2,099	3,078	899	1,404	1,962	695
얼갈이배추김치	4	1,559	2,600	399	1,298	2,391	385
배추물김치	2	399	456	341	359	368	354

표 1-9. 영남지역에서 수집된 가공채소중 질산염함량 (단위 : mg/kg)

품 목	점수	즙 액			국 물		
		평균	최 고	최 소	평균	최 고	최 소
단 무 지	83	359	841	49	345	766	71
배 추 김 치	27	1,391	2,414	607	983	1,492	399
열 무 김 치	9	3,521	5,828	1,094	2,024	3,073	970
얼갈이배추김치	2	1,705	1,780	1,603	1,280	1,453	1,107
배추물김치	5	908	1,107	731	527	1,098	279

표 1-10. 호남지역에서 수집된 가공채소중 질산염함량 (단위 : mg/kg)

품 목	점수	즙 액			국 물		
		평균	최 고	최 소	평균	최 고	최 소
단 무 지	77	328	895	97	314	899	49
배 추 김 치	10	1,590	2,737	872	704	1,147	252
열 무 김 치	4	3,463	4,947	1,904	-	-	-
얼갈이배추김치	4	2,316	2,551	2,050	2,011	2,378	1,492
배추물김치	10	624	1,253	128	385	757	13

특히 김장김치의 원료가 되는 배추중 질산염 최고 및 평균 농도가 각각 약 6,374과

3,017 mg/kg으로 비교적 높게 검출되었으나 가공 후 즙액과 국물중 평균 농도는 각각 1,391와 983 mg/kg으로 낮아졌다. 그리고 최고농도도 즙액 2,414, 국물 1,492 mg/kg으로 감소됨을 볼 수 있었다. 이상의 결과를 통해 다소 높은 함량의 질산염이 함유하고 있는 신선채소도 일련의 가공공정을 통해 상당량의 질산염 감소효과가 있어 생식을 주로하는 유럽국가들 보다 안전한 채소류의 이용이 가능할 것으로 조사결과 알 수 있었다.

### 제3절 토경재배에 있어 채소종류별 질산염함량 경감기술 연구

#### 1. 비료수준별 상추재배시험

시비수준별 상추의 수량성과 질산염함량을 비교한 결과(표 1-11과 1-12), 3요소 표준구의 총 생체수량은 7,966 kg/10a 이었다. 3요소 비료와 퇴비를 혼용시 퇴비사용량이 증가함에 따라 수량이 증가하여 3요소+퇴비 4톤/10a구에서 최고 10,091 kg/10a의 수량을 얻을 수 있었다. 퇴비 1톤/10a의 단독사용구의 수량은 7,972 kg/10a으로 3요소 검정구와 대등한 수준의 수량을 얻을 수 있었다. 퇴비단독 처리구에서도 퇴비 사용량이 증가 할 수록 수량이 증가하여 퇴비 6톤/10a 처리구에서 9756 kg/10a의 수량으로 3요소 표준구의 122% 수준의 수량성을 얻을 수 있었다.



표 1-11. 시비수준에 따른 상추의 수량성 비교

수행 년도	처 리 내 용	상 추 수 량 (kg/10a)							
		1 차	2 차	3 차	4 차	5 차	6 차	7 차	계
1999년	1) 무 비	1,197	1,169	1,598	879	705	679	488	6,715
	2) 3요소	1,463	1,159	1,829	1,025	944	876	670	7,966
	3) 3요소+퇴비1톤	1,654	1,328	1,791	1,022	899	803	688	8,186
	4) 3요소+퇴비2톤	2,296	1,416	1,811	1,082	900	768	676	8,948
	5) 3요소+퇴비4톤	2,816	1,561	2,135	1,242	926	732	679	10,091
	6) 퇴비 1톤	1,866	1,294	1,706	952	830	708	615	7,972
	7) 퇴비 2톤	2,107	1,216	1,703	886	797	837	612	8,158
	8) 퇴비 4톤	2,574	1,518	1,956	1,084	893	801	702	9,527
	9) 퇴비 6톤	2,950	1,518	1,998	1,106	863	773	548	9,756

이때 녹즙기를 이용해 제조된 즙액중 질산염을 조사한 결과(표 1-13과 1-14), 무비구의 질산염함량이 평균 910 ppm이었으나 화학비료만을 단독 사용한 3요소 검정구의 질산염 함량은 평균 2,283 ppm 까지 높아지는 것을 볼 수 있었다. 화학비료 시용구에서 질산염 함량은 퇴비 1톤/10a 혼용에 의해 2,055 ppm까지 감소하였으나, 퇴비 혼용량이 증가함에 따라 질산염 함량도 증가함을 볼 수 있었다. 퇴비만 단독으로 시용시 질산염 함량은 화학비료 시용구에 비해 크게 감소되었으며, 퇴비를 1톤/10a과 6톤/10a 시용시 각각 평균 732 ppm과 1,487 ppm의 질산염함량을 보였다.

표 1-12. 시비방법에 따른 상추의 질산염 함량 비교

처 리 내 용	질 산 염 함 량(ppm)						
	1 차	2 차	3 차	4 차	5 차	6 차	평균
1) 무 비	1,935	1,636	683	311	477	419	910
2) 3요소 표준시비	2,610	2,930	2,104	2,281	2,014	1,760	2,283
3) 3요소+퇴비1톤	2,686	2,860	2,035	1,232	1,809	1,710	2,055
4) 3요소+퇴비2톤	2,691	3,450	2,430	1,704	2,285	1,907	2,411
5) 3요소+퇴비4톤	3,269	3,678	2,926	2,185	2,516	2,333	2,818
6) 퇴비 1톤	1,854	1,201	356	305	295	378	732
7) 퇴비 2톤	1,968	1,606	515	224	509	138	827
8) 퇴비 4톤	2,319	2,466	1,133	388	612	370	1,215
9) 퇴비 6톤	2,570	2,762	1,607	351	1,028	601	1,487

표 1-13. 시비방법에 따른 상추수량 및 생체중 질산염 함량 비교

처리구	수량 (kg/10a)	수량지수	질산염 함량 (ppm)
1) 무 비	6,715	84	910
2) 3요소 표준시비	7,966	100	2,283
3) 3요소+퇴비1톤	8,186	103	2,055
4) 3요소+퇴비2톤	8,948	112	2,411
5) 3요소+퇴비4톤	10,091	127	2,818
6) 퇴비 1톤	7,972	100	732
7) 퇴비 2톤	8,158	102	827
8) 퇴비 4톤	9,527	120	1,215
9) 퇴비 6톤	9,756	122	1,487

그리고 1996년 농업과학기술원에서 상추를 대상으로 3요소와 함께 퇴비사용량을 달리하여 수량 특성과 생체중 질산염 함량변화를 검토한 결과(표 1-14), 퇴비사용량이 증가할수록 질산염 함량이 다소 증가하였던 것과 같은 경향을 보였다. 특히 계절적으로 봄~여름 기간에 재배된 3요소 처리구의 상추중 질산염의 평균 함량은 1,852 ppm으로 여름~가을철의 평균 3,675 ppm과는 계절적으로 큰 차이를 보였다. 특히 대기온도가 내려가 상추의 외형적 성장이 감소되어 여름~가을철의 상추중 높은 질산염 함량은 식물체의 대사 속도와 관련있는 것으로 판단된다.

표 1-14. 시비수준에 따른 상추의 수량성 비교

수행 년도	처리구	봄			가을		
		수량 (kg/10a)	지수	질산염 (ppm)	수량 (kg/10a)	지수	질산염 (ppm)
1996년	1) 무 비	7,221	95	3,476	2,532	78	3,760
	2) 3요소검정시비	7,584	100	3,390	3,267	100	4,654
	3) 3요소+퇴비3톤	8,203	108	3,614	3,486	107	4,181
	4) 3요소+퇴비6톤	7,627	101	3,056	3,018	92	4,473
	5) 3요소+퇴비9톤	7,744	102	3,657	3,416	105	4,052
	6) 3요소(기비25%)+퇴비3톤	8,427	111	2,737	2,835	87	3,937
	7) 3요소(기비75%)+퇴비3톤	8,251	109	3,260	3,065	94	4,216

이상의 결과는 기존의 연구결과들 중 미국의 Babara E. 등(1987)과 호주 Lyons 등(1994)의 연구에서 유기농의 채소와 일반농의 채소간의 질산염 함량차이가 없었다는 조사결과와는 차이를 보이는데 이는 1년 동안의 시험결과로 퇴비를 계속적으로 다량 사용할 경우 식물체내 질산염 함량이 높아질 것으로 예상된다. 이 부분에 대한 추가적인 세밀한 조사가 있어야 할 것으로 판단된다.

표 1-15은 각 처리구의 상추중 무기물 함량을 나타낸 것으로, 각 처리구와 수확시 총질소 함량의 차이는 크게 볼 수 없었다. 인산의 함량은 재배 초기 처리구간 약간의 차이를 볼 수 있었으나 수확이 진행됨에 따라 처리구간 차이는 크게 없었다. 재배초기 인산의 농도는 퇴비 사용량이 증가함에 따라 다소의 증가하는 경향을 볼 수 있었다. 무기물 함량 중 칼리의 농도는 수확이 반복되면서 눈에 띄게 감소하는 경향을 보였으며, 이는 사용된 화학비료의 작물흡수로 인한 생육 후기 토양내 칼리 부족으로 인한 흡수량 감소 때문으로 해석된다.

표 1-15. 시비방법에 따른 무기물 함량 비교(1, 3, 5, 6차 수확)

수확시기	처리내용	건물중 무기물 함량 (g/kg)				
		T-N	P205	K20	CaO	MgO
1차	1) 무 비	36	6	94	15	5
	2) 3요소 표준시비	38	6	88	16	6
	3) 3요소+퇴비 1톤	40	9	88	16	6
	4) 3요소+퇴비 2톤	41	11	97	16	6
	5) 3요소+퇴비 4톤	34	11	93	18	6
	6) 퇴비 1톤	37	10	97	14	5
	7) 퇴비 2톤	36	10	99	14	5
	8) 퇴비 4톤	36	11	112	15	5
	9) 퇴비 6톤	38	14	109	15	5
3차	1) 무 비	36	10	83	19	6
	2) 3요소 표준시비	38	9	82	19	7
	3) 3요소+퇴비 1톤	37	9	77	21	7
	4) 3요소+퇴비 2톤	38	11	83	20	6
	5) 3요소+퇴비 4톤	36	13	97	23	6
	6) 퇴비 1톤	33	10	88	19	6
	7) 퇴비 2톤	33	10	78	19	5
	8) 퇴비 4톤	36	11	87	19	6
	9) 퇴비 6톤	38	12	93	20	6
5차	1) 무 비	35	11	67	22	7
	2) 3요소 표준시비	37	11	68	22	7
	3) 3요소+퇴비 1톤	37	10	67	23	7
	4) 3요소+퇴비 2톤	36	11	66	23	7
	5) 3요소+퇴비 4톤	39	12	72	24	7
	6) 퇴비 1톤	38	11	70	22	7
	7) 퇴비 2톤	33	11	68	22	7
	8) 퇴비 4톤	35	11	69	21	6
	9) 퇴비 6톤	36	12	73	21	7
6차	1) 무 비	32	11	60	26	8
	2) 3요소 표준시비	34	11	59	27	8
	3) 3요소+퇴비 1톤	35	11	58	28	8
	4) 3요소+퇴비 2톤	35	11	59	27	8
	5) 3요소+퇴비 4톤	36	12	67	29	8
	6) 퇴비 1톤	32	11	56	26	8
	7) 퇴비 2톤	32	12	61	26	8
	8) 퇴비 4톤	33	11	64	27	8
	9) 퇴비 6톤	33	12	64	29	8

결과적으로 1996년 농과원의 연구결과와 본 연구결과를 종합할 때, 상추의 수량성 증대와 생체중 질산염 함량을 안전한 수준으로 유지하기 위해서는 화학비료와 퇴비를 혼용하는 것이 바람직 할 것으로 판단되며 질소-인산-칼리-퇴비를 3요소 검정량과 퇴비를 1~3톤/10a 혼용 시용할 경우 식물체중 질산염 함량은 식물체중 그렇게 높지 않을 것으로 판단된다.

## 2. 시금치의 질산염함량 조절시비기술

상추재배시험에서와 동일조건으로 시금치의 재배시험을 실시하여 표 1-16과 같은 결과를 얻었다.

표 1-16. 재배방법에 따른 수확량 및 질산염 함량 비교

처리구	수량 (kg/10a)	수량지수	질산염 함량 (ppm)
1) 무 비	1,629	66	111
2) 3요소 표준시비	2,471	100	1,749
3) 3요소+퇴비 1톤	2,497	101	1,426
4) 3요소+퇴비 2톤	2,514	102	1,621
5) 3요소+퇴비 4톤	2,664	108	2,356
6) 퇴비 1톤	1,710	69	71
7) 퇴비 2톤	1,747	71	301
8) 퇴비 4톤	2,556	103	974
9) 퇴비 6톤	2,539	103	952

화학비료를 전량 처리한 3요소 표준시비구의 시금치 수확량은 2,471 kg/10a이었으며 시금치 즙액중 질산염은 1,749 ppm으로 유럽의 단일기준 2,500 ppm(여름철), 3,000ppm(겨울철)에 비해 크게 낮은 함량을 보였다. 시금치의 수량은 화학비료와 돈분퇴비 혼용구에서 퇴비사용량이 증가함에 따라 낮은 폭의 수량증가가 있었다. 그러나 질산염 함량은 3요소 화학비료와 퇴비를 1~2톤/10a 혼용구에서 3요소구에 비해 약간 감소하는 경향을 보였다. 퇴비 단독 사용시 수량은 퇴비를 4톤/10a 이상 처리시 3요소검정시비구와 비슷한 수준의 수량을 얻을 수 있었으나, 질산염 함량은 1000 ppm 이하까지 크게 나출 수 있었다. 본 결과는 상추를 대상으로 동일조건에서 실시한 앞의 시험결과와 같은 경향이며, Babara E. 등(1987)과 Lyons 등(1994)의 연구결과 및 식품의약품안전청의 조사결과(원 등, 1997)에서 언급한 “유기농업과 일반 화학비료에 의한 농법에 의해 재배된 채소 중 질산염 함량 차이는 없다”는 결과와는 차이를 보이는 데 이것은 1년동안의 성적이므로 동일량의 퇴비를 매년 사용할 경우 차이가 있을 것으로 판단된다. 이 부분에 대한 세밀한 조사가 추가적으로 있어야 할

것으로 판단된다.

표 1-17는 시금치중 무기원소의 함량을 나타낸 것으로 화학비료 처리구에서 총질소 함량이 퇴비 단독처리구에 비해 약 10ppm 정도가 높았으며, 이것이 화학비료 처리구에서의 높은 질산염농도에 영향을 준 것으로 해석된다.

표 1-17. 시비방법에 따른 시금치중 무기물 함량 비교

처리구	건물중 무기물 함량 (g/kg)				
	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
1) 무 비	20	9	43	11	8
2) 3요소 표준시비	31	9	49	10	13
3) 3요소+퇴비1톤	30	10	56	10	12
4) 3요소+퇴비2톤	31	12	62	8	12
5) 3요소+퇴비4톤	32	14	75	7	12
6) 퇴비 1톤	20	10	49	10	9
7) 퇴비 2톤	22	11	55	9	9
8) 퇴비 4톤	28	12	67	8	11
9) 퇴비 6톤	27	14	78	7	10

### 3. 비중에 따른 채소류 질산염 함량 조사

시비질소의 비중에 따른 상추와 시금치중 질산염함량 분포를 조사하기 위해 요소구를 기준으로 5 처리구를 설정하였다. 조사대상 비료는 요소처리구, 유안 처리구, 원예용복합비료 처리 하였으며, 표 1-18, 1-19와 같은 결과를 얻었다.

상추는 5차례의 수확을 통해 수량을 각 비중에 따라 비교한 결과 처리에 따라 다소의 차이를 보였으며, 요소 처리구를 기준으로하여 수량을 비교할 때 모든 처리구의 상추 수량이 대조구인 요소구에 비하여 낮은 수량성을 보였다. 각 질소 비중에 따른 상추 생체중 질산염함량(표 1-19)은 질소비료 시용에 따라 약 200~300 ppm의 증가가 있었으나 각 질소비료 종류에 따른 질산염 함량 차이는 거의 없었다. 본 상추재

배가 5월~7월 사이 고온 조건에서 수행된 관계로 생체중 질산염함량이 다소 낮았던 것으로 판단된다. 즉 토양으로부터 흡수된 질산염이 생체중 빠른 대사 과정을 거쳐 단백질과 같은 물질로 전환되어 액포중 질산염 축적량이 적었던 것으로 해석된다.

그러나 상추중 질산염 함량은 EU국가의 하절기 상추중 질산염 함량기준 3,500 ppm에 비해 크게 낮았으며, 각 질소 화학비료 시용에 따른 상추중 질산염 축적에 의한 상추의 품질저하가능성은 적은 것으로 조사되었다.

표 1-18. 비종에 따른 상추의 수량성 비교 (단위 : kg/10a)

처리구	1차	2차	3차	4차	5차	합계	Index
1) 무질소	869	972	792	623	337	3,622	65
2) 요소	1,789	1,291	1,196	791	445	5,557	100
3) 유안	1,602	1,167	1,027	662	469	4,967	89
4) 복비	1,246	1,038	788	506	345	3,954	71
5) 완효성	1,730	1,303	829	626	421	4,949	89

표 1-19. 비종에 따른 상추 중 질산염 함량 비교

처리구	1차	2차	3차	4차	5차	합계
1) 무질소	180	704	957	2,208	924	994
2) 요소	178	720	1,175	2,769	1,245	1,217
3) 유안	199	826	1,451	2,694	1,365	1,307
4) 복비	150	722	962	2,770	1,126	1,146
5) 완효성	244	844	1,303	2,817	1,111	1,264

상추 재배와 동시에 시금치를 4~6월 사이 비닐하우스 안에서 재배하여 표 1-20와 같은 시험결과를 얻었다. 이때 각 비종에 따른 시금치의 수량성은 요소와 유안처리구에서 가장 높았으며 완효성비료와 원예용 복비 처리구에서 상대적으로 낮은 수량성을 보여 상추에서와 비슷한 경향을 보였다. 생체중 질산염 함량은 다른 비종처리구에 비해 요소 처리구에서 비교적 높게 검출되었다. 이는 고온의 시설재배지내의

호기적인 조건에서 시용질소의 질산화율 차이와 관계가 있을 것으로 판단된다. 미생물에 의한 질산화율이 높은 요소처리구의 상추중 질산염 함량이 높았던 반면 복비와 완효성비료 처리구에서는 질산염 함량이 낮았던 것으로 해석된다. 그러나 전처리구에서 하절기 EU국가의 시금치중 질산염 단일기준 2,500 ppm을 약간 초과하였으며, 안전 채소생산을 위한 비종 선발 및 시비관리에 보완이 있어야 할 것으로 판단된다.

표 1-20. 비종에 따른 시금치의 수량성 및 생체중 질산염 함량 비교

년도	처리구	수량(kg/10a)	수량지수	질산염 함량 (ppm)
19991)	1) 무질소	441	100	1,664
	2) 요소	1,303	295	3,380
	3) 유안	1,342	304	2,604
	4) 복비	901	204	2,876
	5) 완효성	781	177	2,775
19972)	1) 무비	75	6	249
	2) 퇴비 2톤	101	8	224
	3) 퇴비 2톤+요소	1,247	100	747
	4) 퇴비 2톤+유안	1,234	99	790
	5) 퇴비 2톤+복비	1,261	101	717
	5) 퇴비 2톤+완효성	1,559	125	1,416

주) 1) 시설재배지에서 재배, 2) 노지에서 재배

그러나 1997년 농과원의 연구결과에 따르면 노지시금치를 대상으로 비종별 재배시험을 실시한 결과 모든 처리구에서 2,000 ppm 이하의 낮은 질산염 함량의 안전 시금치를 얻을 수 있었음을 감안 할 때, 안전 농산물 생산에 관여하는 주요 인자가 비종보다는 재배조건, 즉 온도 등인 것으로 판단된다.

#### 4. 수확 및 저장방법에 따른 질산염 조절기술

상추의 수확시기 및 저장기간 조정을 통한 질산염 저감방안 모색을 위해, 1일 3회 시간별로 시료를 채취하여 질산염 함량을 조사(표 1-21) 하였으며, 수확된 상추를



저온조건하에서 저장하면서 저장시간에 따른 질산염 함량변화(표 1-22)를 조사하였다.

표 1-21. 상추 시료채취 시간에 따른 질산염 함량 변화 (1999 9.28)

시료채취 시간	오전9:30	오후1:30	오후5:00
농도 (ppm)	1,368	1,306	1,532

\* 시료 반복수 : 14반복

상추 수확시기에 따른 질산염 함량 변화를 조사결과 해질녘 오후 5 : 00 이후에 채취된 상추에서 약 1,532 ppm의 질산염을 함유하고 있어 가장 높은 함량 분포를 보였다. 일사량이 가장 많고 온도가 가장 높은 한낮에 채취된 시료중 질산염 함량은 1,306ppm으로 가장 낮은 질산염 함량 분포를 보였다. 유럽에서 조사된 보고 (Scharpf, 1991)에 의하면 동절기에는 일조량이 적어 하절기 보다 질산염함량이 높다는 결과와 같은 경향을 보였으며, 재배과정중 채소류의 질산염 함량 저감을 위해 일사량을 극대화 해주는 것도 한 방법이 될 것으로 보인다.

채취된 상추를 저장시간 변화에 따른 질산염 함량 변화를 조사한 결과 (표 1-22), 저장시간이 경과함에 따라 지속적으로 감소되는 것을 볼 수 있었다. 이상의 결과를 통해 비록 유럽국가들이 정하고 있는 상추중 질산염 함량 기준 3,500 ppm (여름철), 4,500 ppm (겨울철)에는 크게 못 미쳤으며 우수농산물의 생산을 위해서는 일조율이 높은 한낮에 수확하는 것도 바람직한 방법이며, 신선도의 유지만 가능하면 저장과정 중에서 질산염함량이 높아지는 경향은 없을 것으로 판단되었다.

표 1-22. 상추 시료보관 시간에 따른 질산염함량의 변화

보관시간	최초	24시간	48시간
농도(ppm)	1,302	1,147	1,045

\* 시료 반복수 : 14반복

### 제3장 토양내 가용성 질산염 동태, 채소 가식부위 내 질산염 집적현상 연구 및 대농민용 저감 지침서 개발

#### 제1절 질소비료시용량에 따른 질산염 집적 및 식물체의 엽육 두께, 엽육 폭, 엽면적 지수 차이

##### 1. 질소시비량에 따른 배추의 생육과 수량특성 및 가식부위별 $\text{NO}_3^-$ 집적량 차이

배추의 球高는 질소시비량이 무비구(0kg N/10a), 30% 시용구(6.6kg N/10a), 60% 시용구(13.2kg N/10a), 보비구(22kg N/10a), 배비구(44kg N/10a)수준으로 증가할수록, 척박토양에서 재배한 경우에도 12.7, 17.5, 19.9, 21.3 24.0cm로 증가하였을 뿐만 아니라, 비옥토양에서 재배하였을 때도 17.7, 19.5, 20.0, 20.3, 3921.0cm로 각각 고도로 유의성 있게 증가하였다.

토양비옥도 차이와 질소시비량에 대한 상호작용효과도 고도의 유의성이 인정되었는데, 이는 질소 시비량의 효과가 토양비옥도의 차이에 따라 달라질 수 있다는 것을 나타내고 있는 것으로 판단된다.

배추의 球幅도 질소시비량이 증가할 때 척박토양의 경우 무비구 9.4cm에 비해 배비구 13.2cm로 크게 증가하였고, 비옥토양의 경우 12.1cm에서 14.5cm로 증가하여 토양비옥도 차이 및 질소시비량의 단독 효과가 각각 인정되었다. 엽수 역시 질소시비량이 증가할 때 척박토양의 경우 38.3개에서 73.7개로 1.9배 증가하였고, 비옥토양의 경우 53.0개에서 70.7개로 1.4배 증가하였다.

배추 수량은 척박토양에서의 질소시비량 증가에 따라 유의성 차이가 크게 나타났다.

척박토양의 경우 배추수량은 무비구 343.7g에 비해 30%시용구에서 2.2배, 60%시용구에서 2.9배, 추천시비량시용구인 보비구 1423.0g으로 약 4.3배 증가하는 거의 수직적인 증가 추세를 나타냈으나 질소과다시용구인 배비구에서는 1423.0g으로 오히려 보비구보다 낮아졌다.

한편 비옥토양에서는 무비구 수량이 721g으로 척박토양에 비해 2.1배 정도 높았으나 60%시용구, 보비구, 배비구의 수량은 척박토양과 비슷하여 질소시비량 증가에 따른 증가폭이 상대적으로 낮은 편이었다. 수량 역시 토양 비옥도 차이와 질소시비량간의 상호작용효과가 인정되어 수량에 대한 질소시비량의 효과는 토양비옥도 차이에 따라 달라짐을 알 수 있었다.

엽중/엽신면적은 질소시비량이 증가할수록 척박토양의 경우 무비구 116g/cm<sup>2</sup>에서 배비구 150g/cm<sup>2</sup>내외로 엽신두께가 두꺼워졌으나 비옥토양의 경우 무비구 111 g/cm<sup>2</sup>에서 보비구 88 g/cm<sup>2</sup>으로 오히려 낮아졌다. 또한 엽신면적/중록면적 역시 질소시비량 증가에 따라 척박토양 2.14배, 비옥토양 1.68배까지 증가하여 질소시비량 증가에 따른 엽면적 비율의 증대양상을 나타냈다.

엽신중/중록중은 척박토양, 비옥토양 공히 질소시비량이 증가할 때 증가하여 엽신중 비율이 상대적으로 크게 증가하는 양상을 나타냈다.

중록면적/중록중은 척박토양, 비옥토양 공히 질소시비량이 증가할 때 크게 감소하여 중록이 두꺼운 배추가 생산됨을 보여 주었으며 중록면적/중록중은 척박토양 무비구 50cm<sup>2</sup>/g, 배비구 224.87cm<sup>2</sup>/g, 비옥토양의 무비구 24.39cm<sup>2</sup>/g, 배비구 13.32cm<sup>2</sup>/g으로 척박토양 무비구에서 가장 얇았고 비옥토양 배비구에서 가장 두꺼워 토양비옥도의 차이와 질소시비량간 차이가 분명히 나타났다.

비옥정도가 상이한 토양에서 재배한 배추의 평균NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 집적량 차이는 대단히 커서 표2-2에서 보는 바와 같이 비옥토양에서 재배한 배추가 650ppm으로 척박토양에서 재배한 배추의 126ppm보다 5.2배나 높았다. 가식부위중 외부엽 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 집적량은 척박토양 134ppm, 비옥토양 967ppm으로 내부엽의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 집적량 117ppm, 394ppm에 비해 높았으며 비옥토양에

서 더욱 높았<sup>다</sup>다. 엽병이 엽신부위에 비해 상대적으로 모두 높았으며 대체적으로 외부  
중특>내부엽병>외부엽신>내부엽신의 순으로 높았다.

질소시비량이 증가할수록 가식부위별  $\text{NO}_3^-$  집적량도 증가하였으나 그 증가폭은 토양비옥  
도 차이 및 가식부위에 따라 달랐다. 즉, 척박토양의 경우 질소시비량에 따른 증가폭  
이 비옥토양보다 컸으며 외부중특에서 가장 컸고 내부엽신에서 가장 낮았다. 척박토양  
배비구의  $\text{NO}_3^-$  집적량 225ppm은 무비구의 40ppm에 비해 13배나 증가하였으며 비옥토양  
배비구의 3575ppm 역시 무비구 312ppm에 비해 12배 증가하였으나 척박토양 및 비옥토  
양 배비구는 무비구에 비해 1.1~1.2배 상승한 77ppm, 192ppm에 불과하였다. 질소시비  
량이 증가할수록 각 가식부위별  $\text{NO}_3^-$  집적량은 증가하였으나 추천시비량인 보비구까지의  
증가폭은 그리 크지 않았으나 추천시비량을 상회하는 배비구에서는 급격히 증가하였는  
데 비옥토양에서 5배, 척박토양에서 7.7배로 증가하였다.

비옥토양의 배비구에서 생육한 외부중특의  $\text{NO}_3^-$  집적량은 3575ppm으로, 외부엽신의  $\text{NO}_3^-$   
집적량이 1405ppm으로 증가한 것은 500~700ppm 정도의 배추의 식물체내  $\text{NO}_3^-$  함량이 적정  
량이었음을 보여주는 것이라고 판단되었다. 토양비옥도가 낮은 무비구에 비해 토양비  
옥도가 높은 질소배비구의 가식부위내  $\text{NO}_3^-$  집적량은 대단히 높았는데 증가폭이 가장 낮  
은 내부엽신의 경우 13.7배, 가장 높은 외부중특의 경우 89배까지 상승하였다. 이것은  
배추 식물체내에 가지고 있는 질소동화능력(N-turnover capacity)을 초과하는 질산염  
이 체내로 과잉흡수되는 경우 배추의 내부엽보다는 외부엽에 그리고 엽신보다는 중특  
부위에  $\text{NO}_3^-$ 가 많이 저장되어 집적되고 있음을 나타냈다.

질소시비량과 수량구성요소에 대한 상관관계는 표2-3에서 보는 바와 같이 질소시비량  
은 구고, 구폭, 엽수, 수량과 각각 정상관 관계를 나타내었다.

가식부위  $\text{NO}_3^-$  집적량과 질소시비량에 대한 상관관계는 표2-4에서 보는 바와 같이 내부  
및 외부 모두 정의 상관관계를 나타냈는데, 이것은 과다한 질소비료를 시용할 경우 가  
식부위  $\text{NO}_3^-$  집적량은 증가한다는 것을 의미하는 것이다.

중특면적/중특무게 비율과 내부 및 외부엽의 중특에서 부의 상관관계를 보였는데(표

2-4 참조) 이것은 중록면적/중록무게 비율이 작아질수록 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 집적량은 높아지는 경향을 나타내는 것이다. 즉 중록의 두께가 두꺼울수록 더 많은 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 집적되는 것을 의미함. 따라서 배추 신품종 육종시에도 되도록 중록이 얇은 배추를 선발목표로 삼는 것이 바람직할 것으로 사료되었다.

Table 2-1. Growth status of chinese cabbage grown in fertile- and infertile soils under different levels of nitrogen application.

Soil Fertility	Nitrogen level (kg/10a)	Heading formation		No. of leaves	Yield (g/plant)	leaf weight / leaf blade area (g/cm <sup>2</sup> )	leaf blade area / midrib area (cm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> )	leaf blade area / midrib weight (g/g)	midrib area / midrib weight (cm <sup>2</sup> /g)						
		Height (cm)	Width (cm)												
Infertile soil	0	12.7	9.4	38.3	343.7	116.78	2.57	0.93	50.07						
	6.6	17.5	11.8	55.3	744.3	149.94	3.18	0.98	40.34						
	12.2	19.9	11.8	60.3	1000.7	151.28	4.05	1.11	33.02						
	22.0	21.3	11.8	66.3	1446.7	160.98	4.17	1.18	32.67						
	44.0	24.0	13.2	73.7	1423.0	130.56	5.51	1.20	24.87						
Fertile soil	0	17.7	12.1	53.0	721.0	111.20	3.98	1.02	24.39						
	6.6	19.5	13.7	59.0	890.1	108.57	4.57	1.07	16.26						
	13.2	20.0	13.5	61.3	1061.3	103.77	4.91	1.31	14.44						
	22.0	20.3	13.8	68.0	1408.3	87.57	5.93	1.48	13.90						
	44.0	21.0	14.5	70.7	1499.7	88.90	6.67	1.52	13.32						
		F. value LSD (0.05)	F. value LSD (0.05)	F. value LSD (0.05)	F. value LSD (0.05)	F. value LSD (0.05)	F. value LSD (0.05)	F. value LSD (0.05)	F. value LSD (0.05)						
soil(A)	28.5*	1.2	19.4*	4.1	39.5**	245.7	1.7 ns	21.6*	86.8	168.1**	0.7	5.2 ns	32.8*	28.5	
Fertilizer(B)	13.5**	3.2	3.8*	2.1	27.4**	313.3	45.7**	6.4	0.7 ns	6.9**	1.6	6.9**	0.2	5.2**	12.1
A × B	4.3*	6.5	0.2 ns	1.5 ns	4.9	14.1	1.3 ns	1.4 ns	0.7 ns	1.2 ns	ns	1.2 ns	ns	ns	

\*,\*\* : Significant different at .05 and .01 levels of probability, respectively.

Table 2-2.  $\text{NO}_3^-$  accumulation of edible parts of chinese cabbage grown in fertile and infertile soils under different levels of nitrogen application

Soil Fertility	Nitrogen level (kg/10a)	$\text{NO}_3^-$ accumulation (ppm)							
		Inner leaf				Outer leaf			
		Leaf blade		Midrib		Leaf blade		Midrib	
Infertile soil	0	62		108		61		40	
	6.6	61		99		56		57	
	13.2	74		156		65		50	
	22.0	90		179		66		68	
	44.0	77		266		356		525	
Fertile Soil	0	185		554		294		312	
	6.6	194		514		389		530	
	13.2	208		558		578		679	
	22.0	256		585		597		714	
	44.0	192		695		1405		3575	
		F. value	LSD	F. value	LSD	F. value	LSD	F. value	LSD
			(0.05)		(0.05)		(0.05)		(0.05)
Soil (A)		53.42*	176.90	12.95	ns	31.50*	912.44	24.03*	1990.94
Fertilizer (B)		0.59	ns	1.01	ns	3.91*	608.78	20.16**	740.63
A > B		0.15	ns	0.08	ns	1.20	ns	10.81**	2434.78

\*, \*\* : Significant different at .05 and .01 levels of probability, respectively.

Table 2-3. Correlation coefficients and regressions between heading formation height, heading formation width, number of leaves and N fertilization rate in chinese cabbage.

	N Fertilization rate (kg/10a)
Heading formation height (cm)	$Y = 51.3 + 0.5X$ ( $r=0.898'$ )
Heading formation width (cm)	$Y = 11.6 + 0.1X$ ( $r=0.841$ )
No. of leaves	$Y = 728.4 + 20.0X$ ( $r=0.879'$ )
Yield	$Y = 16.9 + 0.1X$ ( $r=0.911'$ )

Table 2-4. Correlation coefficients and regressions between N fertilization rate, average leaf weight, the ratios of midrib area and midrib weight and  $\text{NO}_3^-$  accumulation of midrib in chinese cabbage.

	$\text{NO}_3^-$ accumulation (ppm)	
	Inner midrib	Outer midrib
Fertilizer N applied (kg/10a)	$Y = 308.4 + 4.0X$ ( $r=0.980^{**}$ )	$Y = 71.4 + 42.4X$ ( $r=0.898^{\dagger}$ )
Average leaf weight (g/plant)	$Y = 167.8 + 12.5X$ ( $r=0.923^{\dagger}$ )	$Y = 657.8 + 78.3X$ ( $r=0.832$ )
Midrib area / midrib weight ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	$Y = 533.6 + 6.3X$ ( $r=-0.938^{\dagger}$ )	$Y = 2122.4 + 58.9X$ ( $r=-0.917^{\dagger}$ )

## 2. 질소시비량에 따른 무우의 생육과 수량특성 및 가식부위별 $\text{NO}_3^-$ 집적량 차이

엽장은 질소시비량이 무비구(0kg N/10a), 30%시용구(4.8kg N/10a), 60%시용구(9.6kg N/10a), 보비구(18kg N/10a), 배비구(36kg N/10a) 수준으로 증가할수록 척박토양의 경우 30.3, 32.7, 34.8, 41.3, 50.8개로 증가하였을 뿐만 아니라, 비옥토양의 경우에도 40.3, 42.2, 46.5, 51.3, 55.0cm로 각각 고도의 유의성있게 증가하였다.

엽수는 역시 질소시비량 증가시 척박토양의 경우 무비구 24.7개에서 배비구 32.3개로 1.3배 증가하였고, 비옥토양의 경우 25.0개에서 33.0개로 1.32배 증가하여 질소시비량의 단독효과가 인정되었다.

엽중은 척박토양 99.9g에 비해 비옥토양 162.6g으로 크게 증가되었으며 질소시비량이 증가할 때 척박토양의 경우 58.7g에서 151.3개로 2.58배 증가하였고, 비옥토양의 경우 114.0에서 202.0g으로 1.77배 증가하였다.

근장은 질소시비량이 무비구, 30%시용구, 60%시용구, 보비구, 배비구 수준으로 증가할수록 척박토양의 경우 14.8, 15.4, 16.1, 20.8, 16.7g으로 증가하였고, 비옥토양의 경

우 17.1, 19.8, 20.3, 18.8, 21.1g으로 고도의 유의적으로 증가를 하였으나 토양비옥도 차이와 질소시비량 상호작용효과는 별 차이가 없었다.

근경은 척박토양에서 9.2cm, 비옥토양에서 10.9cm로 토양비옥도 차이에 대해 별 차이가 없었으나 질소시비량이 무비구, 30%시용구, 60%시용구, 보비구, 배비구 순으로 증가시 척박토양의 경우 7.9, 8.0, 9.0, 11.1, 9.0cm로, 비옥토양의 경우 10.3, 11.1, 11.5, 11.7, 10.0cm로 보비구까지 증가를 하다가 오히려 배비구에서는 감소하는 경향이 있었다.

수량, 즉 근중은 토양비옥도에 따른 차이는 인정되지 않았으나 질소시비량 증가에 따라 유의성 있게 증가를 보였다. 척박토양의 경우 무비구 571.3g에 비해 배비구는 1278.7g으로 증가를 하였으며 무비구 대비 30%시용구에서 1.18배, 60% 시용구에서 1.19배, 보비구에서 1.52, 배비구에서 2.24배로 거의 수직적인 증가를 나타내었다. 그러나 비옥토양은 무비구의 근중이 922.7g으로 척박토양에 비해 1.62배 높았지만 60%시용구부터는 근중은 증가를 하지 않았음. 근중은 토양비옥도 차이와 질소시비량간의 상호작용 효과가 인정되어 근중에 대한 질소시비량의 효과는 토양비옥도 차이에 따라 달라짐을 알 수 있었다.

무우 엽의  $\text{NO}_3^-$  집적량은 척박토양, 비옥토양 공히 질소시비량이 증가할수록 유의성있게 증가하였으나 비옥토양의  $\text{NO}_3^-$  집적량은 척박토양에 비해 현저히 높았다. 척박토양의 배비구에서의  $\text{NO}_3^-$  집적량 80ppm은 비옥토양 무비구 89ppm에 비해서 낮았다.

근지상부와 근지하부의  $\text{NO}_3^-$  집적량은 척박토양, 비옥토양 공히 질소시비량이 증가시  $\text{NO}_3^-$  집적량이 증가하였고, 근지상부가 근지하부보다 모든 처리구에서  $\text{NO}_3^-$  집적량이 많은 경향이 있었다. 한편 척박토양과 비옥토양에서 무의 근지상부는 척박토양과 비옥토양에서 각각 323ppm, 637ppm으로 근지하부 199ppm, 442ppm에 비해 1.62배, 1.44배, 엽 75ppm, 123ppm보다는 4.3배, 5.17배나 높은  $\text{NO}_3^-$  집적량을 나타내었고 척박토양보다는 비옥토양에서  $\text{NO}_3^-$  집적량은 훨씬 컸다.

질소시비량에 따라 엽장, 엽중, 엽수, 근중과 무의 가식부위별  $\text{NO}_3^-$  집적량간에 정의 상



관관계가 인정되었다. 무의 가식부위에 대한  $\text{NO}_3^-$  집적량은 토양비옥도 차이에 따라 엽과 근지상부는 유의성이 없었고 근지하부에서만 유의성이 인정되었으며, 질소시비량이 증가할수록 가식부위내  $\text{NO}_3^-$  집적량은 고도의 유의성있게 증가하였다.

무의 질소시비량과 수량구성요소와의 상관관계는 표2-6에서 보는 바와 같이 질소시비량과 엽장과 엽수, 엽중, 근중에 고도의 정의 상관이 인정되었다.

질소시비량과 가식부위  $\text{NO}_3^-$  집적량에 대한 상관관계는 표2-7에서 보는 바와 같이 엽, 근지상부, 근지하부도 정의 상관이 인정되어 질소시비량이 증가할수록 무의 가식부위별  $\text{NO}_3^-$  집적량도 급격히 증가함을 나타내었다. 또한 근중과 가식부위  $\text{NO}_3^-$  집적량에 대한 상관관계는 표2-7에서 보는 바와 같이 고도의 정의 상관이 인정되었는데 이로서 무의 근중이 증가할수록  $\text{NO}_3^-$  집적량도 급격히 높아짐을 알 수 있었다.

Table 2-5. Growth status and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> accumulation of raddish grown in fertile and infertile soils under different levels of nitrogen application

Soil Fertility	Nitrogen level (kg/10a)	Leaf			Root			NO <sub>3</sub> accumulation(ppm)										
		Length (cm)	No.	Weight (g/plant)	Length (cm)	Diameter (cm)	Weight (g/plant)	Leaf	Aerial part of Root	Underground part of Root								
Infertile Soil	0	30.3	24.7	58.7	14.8	7.9	571.3	69	63	61								
	4.8	32.7	27.3	75.0	15.4	8.9	678.3	76	93	90								
	9.6	34.8	27.7	77.0	16.1	9.0	679.7	73	157	139								
	18.0	41.3	27.7	137.3	20.8	11.1	869.7	75	403	261								
	36.0	50.8	32.3	151.3	16.7	9.0	1278.7	80	898	442								
Fertile Soil	0	40.3	25.0	114.0	17.1	10.3	922.7	89	237	140								
	4.8	42.2	31.3	137.0	19.8	11.1	955.3	81	251	213								
	9.6	46.5	32.0	178.7	20.3	11.5	1254.7	114	559	287								
	18.0	51.3	32.0	182.7	18.8	11.7	1254.0	154	553	519								
	36.0	55.0	33.0	202.0	21.1	10.0	1254.7	176	1584	1052								
		F. value (0.05)	LSD (0.05)	F. value (0.05)	LSD (0.05)	F. value (0.05)	LSD (0.05)	F. value (0.05)	LSD (0.05)	F. value (0.05)	LSD (0.05)							
Soil (A)	16.14	ns	5.11	ns	321.86**	33.68	14.59	ns	21.69*	3.60	8.64	ns	8.25	ns	3.21	ns	48.80*	338.21
Fertilizer (B)	22.44**	5.32	10.66**	3.4	113.65	42.88	6.09**	2.49	3.41	2.01	19.83**	196.7	3.99**	46.88	10.73**	577.05	18.38**	261.59
A × B	0.67	ns	1.23	ns	1.26	ns	5.53**	5.85	0.90	ns	5.30**	453.08	3.05*	81.87	0.64	ns	3.16*	465.32

\*, \*\* : Significant different at .05 and .01 levels of probability, respectively.

Table 2-6. Correlation coefficients and regressions between leaf length, leaf weight, no. of leaves, root length, root diameter, root weight and N fertilization rate in radish.

Parameters	N Fertilization rate (kg/10a)
Leaf length (cm)	$Y = 35.3 + 0.5X$ ( $r=0.991^{**}$ )
Leaf weight (g/plant)	$Y = 9.9 + 0.1X$ ( $r=0.924^{\cdot}$ )
No. of leaves	$Y = 27.2 + 0.2X$ ( $r=0.884^{\cdot}$ )
Root length (cm)	$Y = 17.1 + 0.1X$ ( $r=0.716$ )
Root weight (g/plant)	$Y = 772.2 + 14.4X$ ( $r=0.988^{**}$ )

Table 2-7. Correlation coefficients and regressions between leaf, aerial part of root, underground part of root and N fertilization at in radish

Parameters	NO <sub>3</sub> accumulation (ppm)		
	Leaf	Aerial part of root	Underground part of root
Fertilizer N applied (kg/10a)	$Y = 78.8 + 1.5X$ ( $r=0.982^{**}$ )	$Y = 66.6 + 31.1X$ ( $r=0.993^{**}$ )	$Y = 67.2 + 18.6X$ ( $r=0.995^{**}$ )
Root weight (g/plant)	$Y = 1.8 + 0.1X$ ( $r=0.971^{**}$ )	$Y = 1518.5 + 2.1X$ ( $r=0.956^{\cdot}$ )	$Y = 880.7 + 1.2X$ ( $r=0.965^{**}$ )

## 제2절 유기질비료 시용량에 따른 채소 가식부위내 질산염 집적과의 관계

관행 및 유기농법 토양에서 유기질비료(발효퇴비) 시용이 배추의 생육과 수량에 미치는 영향은 그림2-1에서 보는 바와 같다. 배추의 구고는 관행 및 유기농법 토양에 따른 차이가 크게 나타났다. 관행농법 토양에서 무비구(0t/ha)의 구고는 14.1cm였으나, 반비구(10t/ha), 보비구(20t/ha), 배비구(40t/ha)로 증가할수록 16.2cm, 17.0cm, 18.6cm로 증가하였고, 유기농법 토양에서 무비구의 구고는 17.1cm였으나, 반비구, 보비구, 배비구로 증가할수록 18.7cm, 24.5cm, 24.9cm로 각각 증가하였다.

배추의 구폭도 질소 및 유기질 비료시용이 증가할 때 관행농법의 경우 무비구 8.0cm에 비해 보비구에서 9.8cm, 배비구에서 10.3cm로 크게 증가하였고, 유기농법 토양의 경우 11.5cm에서 13.8cm, 14.1cm로 증가하여 토양 및 유기질비료 시용간의 차이가 인정되었다.

엽수는 유기농법 토양에서 63.2개로 관행농법 토양이 52.4개에 비해 많았으나 그 증가 폭은 작았으며 유기질비료 시용이 증가할수록 크게 증가하였다.

그림2-2에서 알수 있는바와 같이 관행 및 유기농법 토양에서 유기질비료 시용량이 증가할 때 배추수량(포기당 생체중)은 관행농법 토양의 경우 무비구 661.0g에 비해 반비구 900.0g, 보비구 1208.3g, 배비구 1256.7g로 1.4배, 1.8배, 1.9배로 증가하였다. 또한 유기농법 토양의 경우 무비구 968.0g에 비해 반비구 1016.7g, 보비구 1388.7g, 배비구 1420.0g으로 1.1배, 1.4배, 1.5배로 크게 증가하였다.

엽중/엽신면적은 그림2-3에서 보는바와 같이 유기질비료 시용량이 증가할수록 관행농법 토양의 경우 무비구 101 g/cm<sup>2</sup>에 비해 보비구 59 g/cm<sup>2</sup>, 배비구 68g/cm<sup>2</sup>로 각각 엽신두께가 얇아졌으나 유기농법 토양의 경우 무비구 111 g/cm<sup>2</sup>에서 보비구 91g/cm<sup>2</sup>, 배비구 85g/cm<sup>2</sup>로 낮아졌다. 또한 엽신면적/중특면적 역시 유기질비료 시용량의 증가에 따라 관행농법 2.33배까지 증가하여 유기질비료 시용의 증가에 따른 엽면적 비율의 증

대 양상을 나타냈고, 유기농법 토양에서는 증가를 하지 않았지만 관행농법 토양보다는 엽면적 비율이 큰 것으로 나타났다.

그림2-4에서와 같이 엽신중/중록중은 관행농법 토양, 유기농법 토양 공히 유기질비료 사용량이 증가할 때 증가하여 엽신중 비율이 상대적으로 크게 증가하는 양상을 나타냈다. 중록면적/중록중은 관행농법 토양, 유기농법 토양 공히 유기질비료 사용량이 증가할 때 크게 감소하는 경향으로 중록이 두꺼운 배추가 생산됨을 보여 주었다.

관행 및 유기농법 토양에서 질소비료와 유기질비료 사용량에 따른 배추의 가식부위별  $\text{NO}_3^-$  집적량은 그림2-5에서 보는 바와 같다. 배추의 내부 및 외부엽 엽신의  $\text{NO}_3^-$  집적량과 중록의  $\text{NO}_3^-$  집적량은 관행 및 유기농법 토양간에 현저한 차이가 나타났다. 또한 토양과 질소 및 유기질비료 사용간 상호작용 효과도 인정되어 유기질비료 사용의 효과는 토양 내 유기물 함량에 따라 달라질 수 있다는 것으로 나타났다. 관행농법 토양에서 재배한 배추 외부엽 중록의  $\text{NO}_3^-$  집적량 1293ppm보다 유기농법 토양 보비구의 외부엽 중록  $\text{NO}_3^-$  집적량이 3423ppm으로 높았으며 이는 관행농법 토양 무비구의 내부엽 엽신 55ppm보다 무려 61.2배가 높았다.

한편 관행농법 토양의 배추 외부엽 중록의 경우 반비구에서 193ppm, 보비구에서 204ppm으로 1.1배, 배비구에서 1293ppm으로 6.7배의  $\text{NO}_3^-$  집적량을 보였다. 또한 유기농법 토양의 배추 외부엽 중록의 경우 반비구에서는 1700ppm, 보비구에서는 3423ppm으로 2.1배, 배비구에서는 2442ppm으로 1.44배의  $\text{NO}_3^-$  집적량을 보였다.

유기질비료 사용에 따라 무의 생육 및 수량은 그림2-6에서 보는 바와 같다. 관행 및 유기농법 토양에 따라 엽장은 관행농법 토양에서 37.3cm에 비해 유기농법 토양에서 107.6cm으로 2.9배나 증가를 하였고, 두 토양 공히 무비구의 31.5cm, 55.2cm에 비해 배비구에서 41.7cm, 148.3cm로 증가를 하였으며 그 증가폭은 관행농법 토양에 비해 유기농법 토양에서 현저하게 컸다.

엽수는 질소 및 유기질비료 사용이 반비구, 보비구, 배비구로 증가시 증가하는 경향으로 관행농법에서 25.3, 33.0, 35개로, 유기농법 토양에서 31.7, 33.3, 35.0개로 증가

하였다. 엽중은 관행 및 유기농법 토양 모두 보비구까지 증가하다가 배비구에서 오히려 감소하는 경향이였다.

그림2-7에서 볼수 있는 바와 같이 근장은 관행 및 유기농법 토양의 차이에 따라 현저한 차이가 인정되었으며 유기질비료 시용량 증가와 더불어 크게 증가하였다. 근경은 유기질비료 시용량 증가시 관행농법 토양의 경우 무비구에서 6.8cm에 비해 보비구 9.4cm로 증가하였고 유기농법 토양의 경우 무비구 9.5cm로 보비구 11.3cm로 증가하였다. 근중은 관행농법 토양의 경우 무비구 349g으로 유기질비료 시용량이 반비구, 보비구, 배비구 수준으로 증가할수록 모든 처리구에서 각각 529.0g, 555.7g, 855.0g이 증가하였다. 유기농법 토양의 경우 근중의 차이는 뚜렷하지 않았으나 배비구에서 1443.7g으로 가장 많은 근중을 보였다.

무의 엽과 근지상부와 근 지하부의  $\text{NO}_3^-$  집적량은 그림2-8에서 보는 바와 같다. 관행농법 토양에서는 별 차이가 없었지만 유기농법 토양의 보비구에서 엽, 근지상부, 근지하부 각각 308ppm, 2049ppm, 1815ppm으로 많은  $\text{NO}_3^-$  집적량을 나타내었고 모든 처리구에서 근지상부가 근지하부보다  $\text{NO}_3^-$  집적이 높았다. 관행 및 유기농법 토양에서 재배한 무의 가식부위 중 최고의  $\text{NO}_3^-$  집적량은 유기농법 토양 보비구 근 지상부에서 2049ppm이었는데 이는 관행농법 토양에서 재배한 무비구의 근 지하부 33ppm에 비해 61.7배나 많은 집적량으로 나타났다.

한편 관행농법 토양의 무 근지상부의 경우 반비구, 보비구, 배비구에서 79ppm, 171ppm, 202ppm으로  $\text{NO}_3^-$  집적량을 보였다. 또한 유기농법 토양에서 재배한 무 근 지상부의 경우 반비구와 보비구, 배비구에서는 837ppm, 1815ppm, 1207ppm으로 나타났다. 비옥토양의 무의 근지상부 보비구에서 배비구(40t N/ha)로 증가시  $\text{NO}_3^-$  집적량이 409ppm에서 937ppm으로 증가하였다는 사실로 미루어볼 때 관행농법 토양은 상대적으로 비옥 토양보다  $\text{NO}_3^-$  집적량이 낮았고, 시비량이 적은 유기농법 토양의 보비구는 1391ppm으로 비옥토양의 배비구에서의 937ppm보다 오히려 높은 경향을 나타내었다.

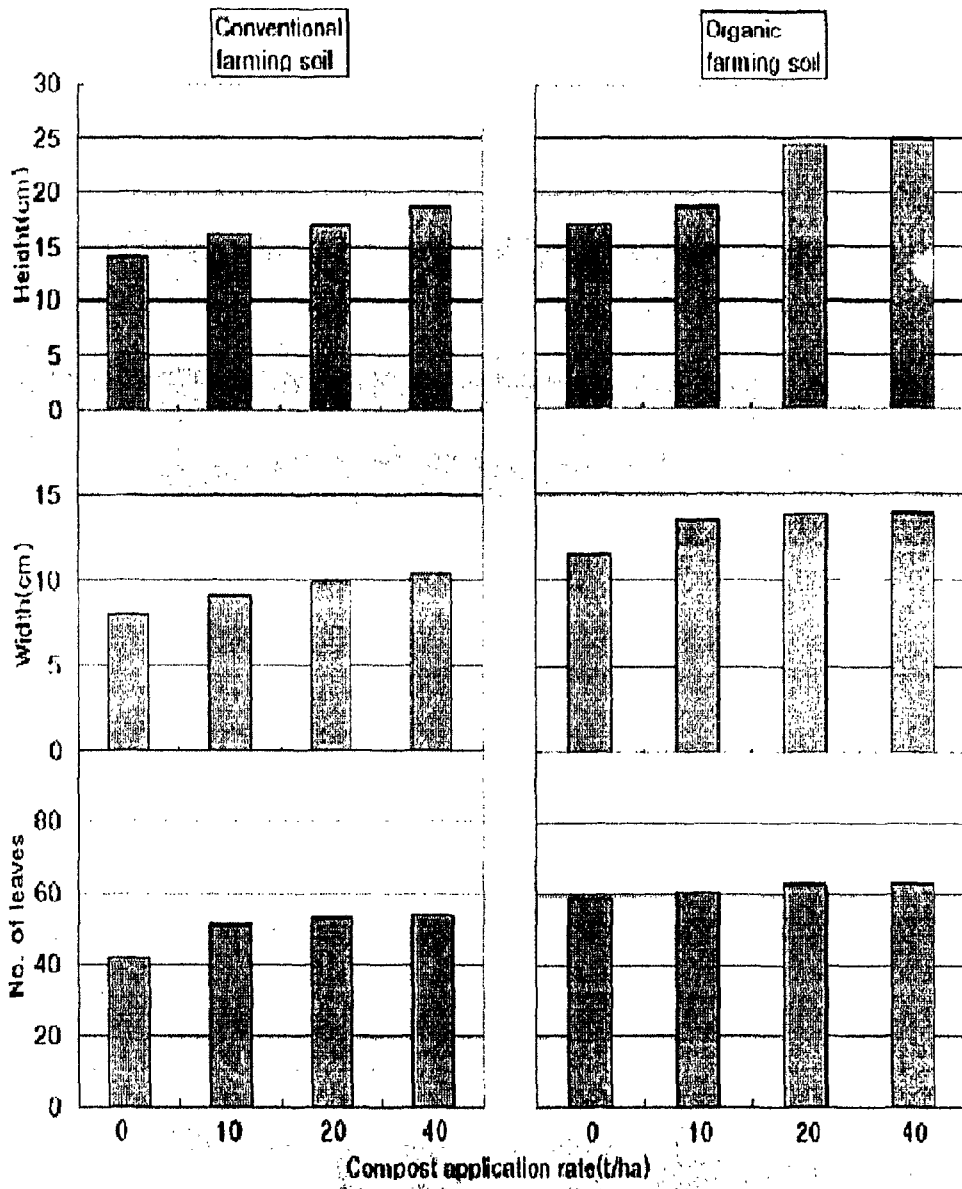


Fig. 2-1. Heading formation and number of leaves of chinese cabbage grown in conventional and organic farming soils under different levels of compost application.

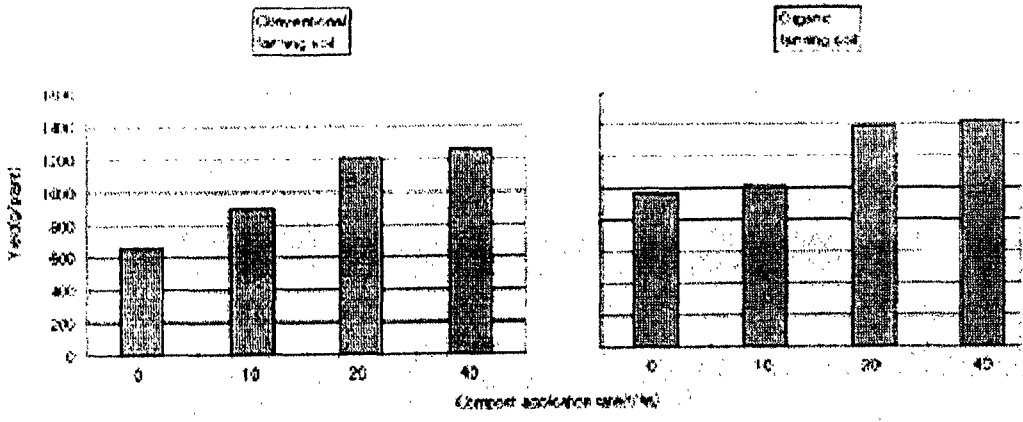


Fig. 2-2 Yield of Chinese cabbage grown in conventional and organic farming soils under different levels of compost application.

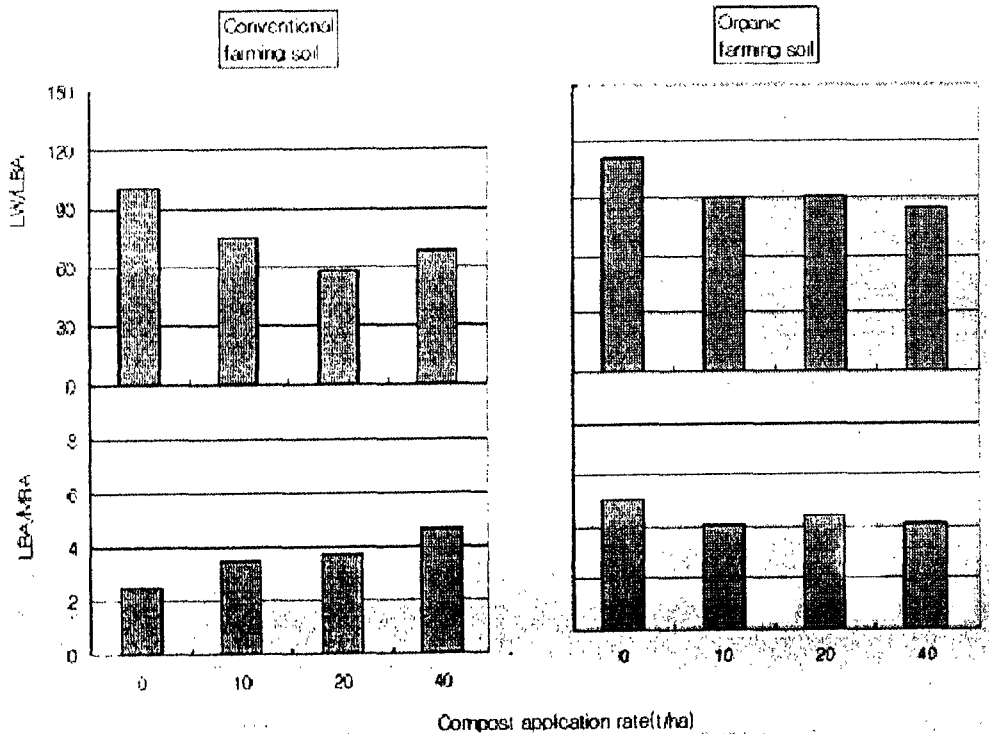


Fig. 2-3. The rate of leaf weight(LW) / leaf blade area(LBA) and leaf blade area(LBA) / midrib area(MRA) of Chinese cabbage in conventional and organic farming soils under different levels of compost application



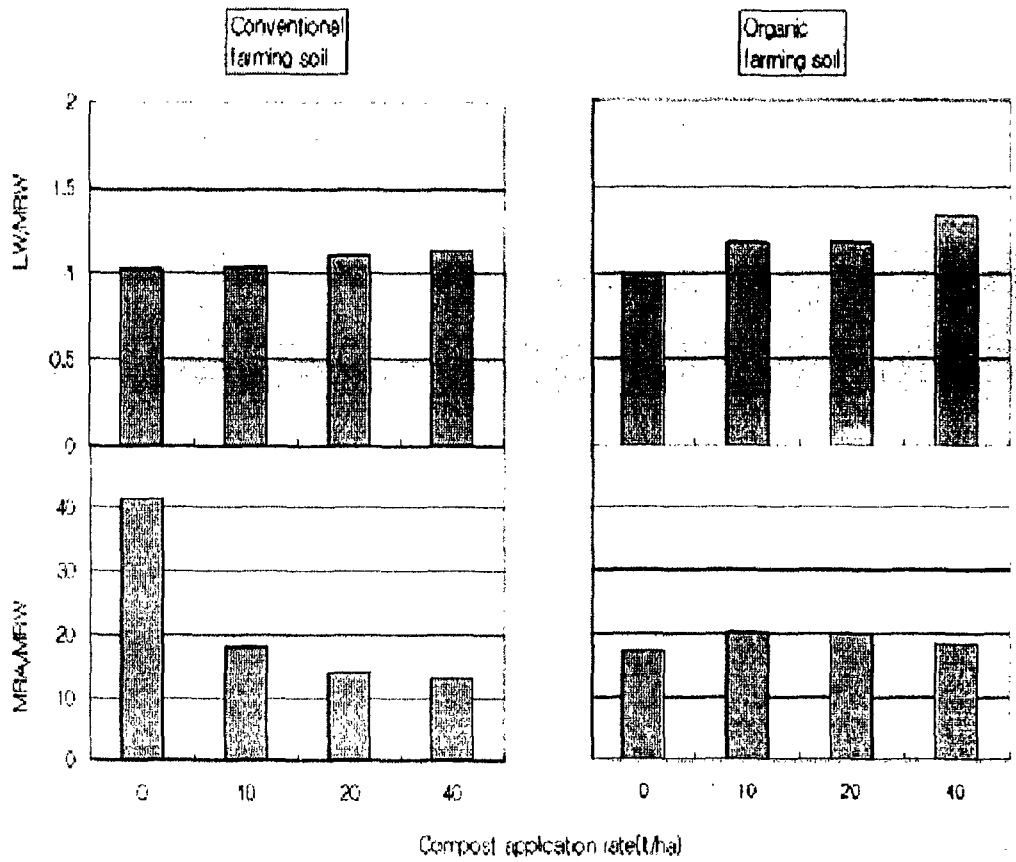


Fig. 2-4. The rate of leaf weight(LW) / midrib weight(MRW) and midrib area(MRA) / midrib weight(MRW)of chinese cabbage in conventional and organic farming soils under different levels of compost application

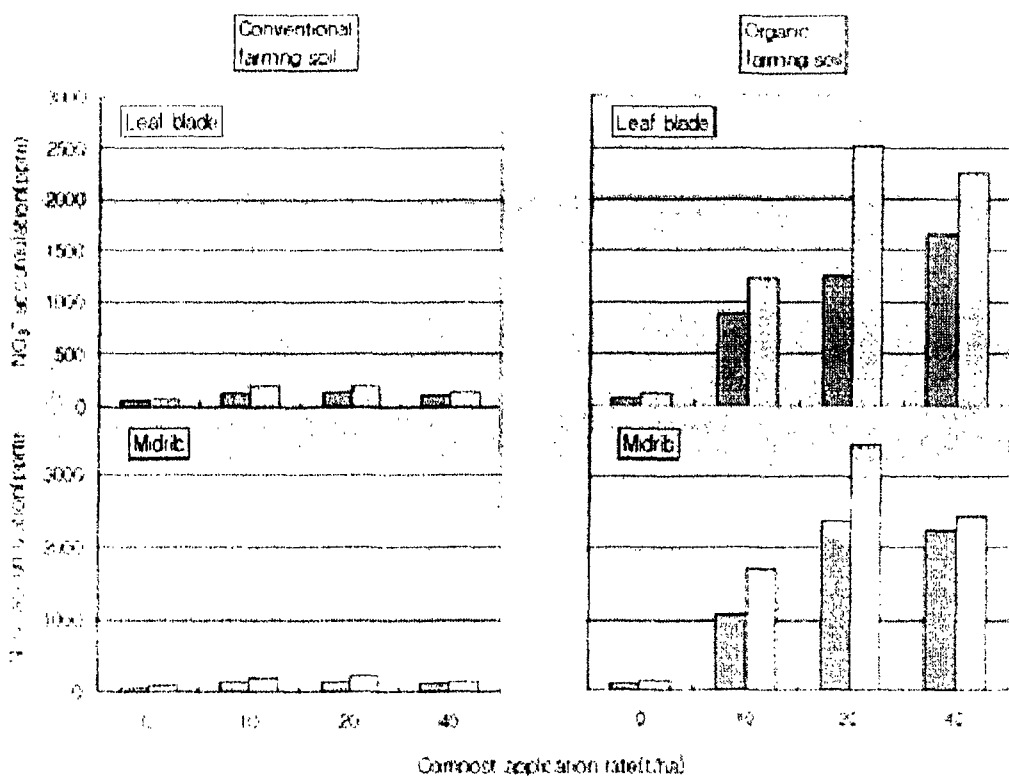


Fig. 2-5. Nitrate accumulation of edible parts of chinese cabbage grown in conventional and organic farming soils under different levels of compost application.

( ■ Inner leaf, □ Outer leaf )

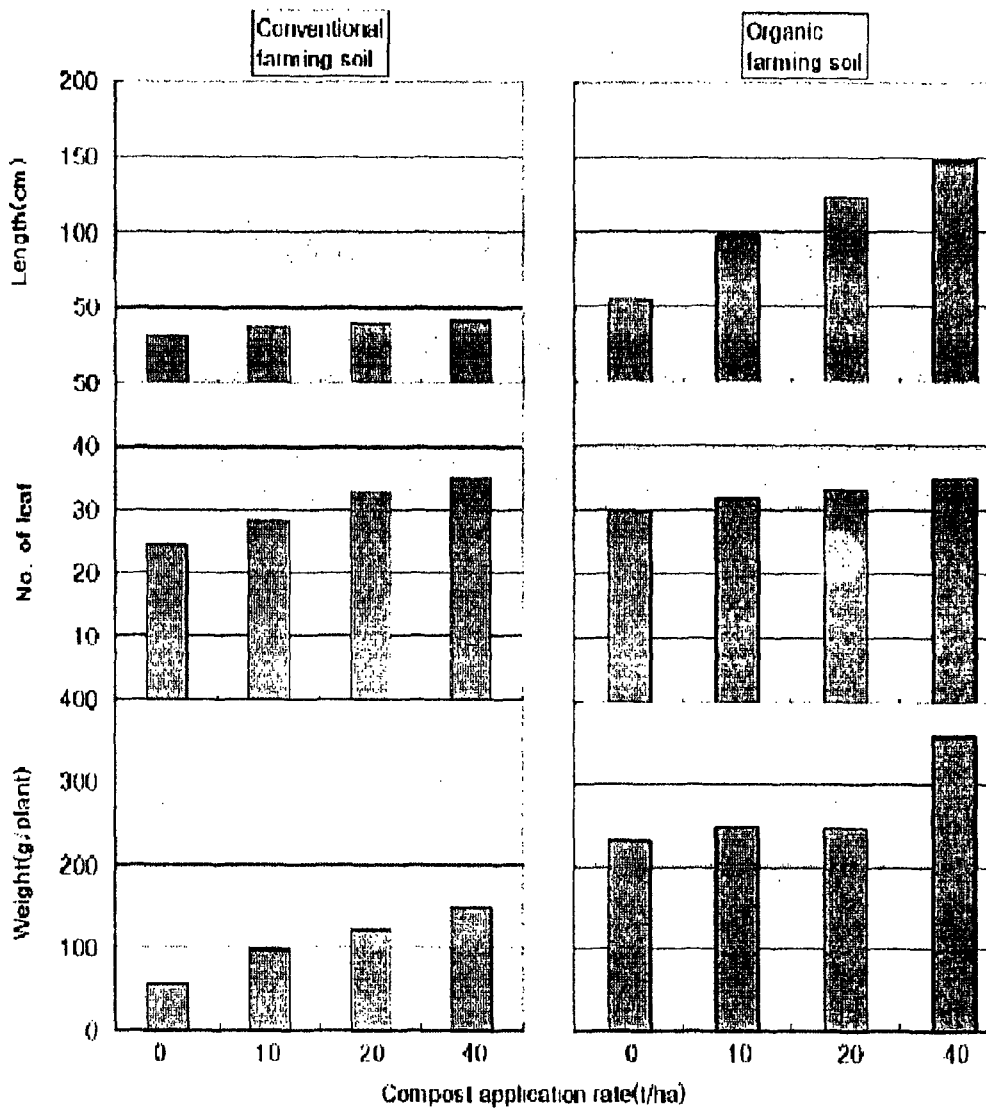


Fig. 2-6. Leaf growth of radish grown in conventional and organic farming soils under different levels of compost application.

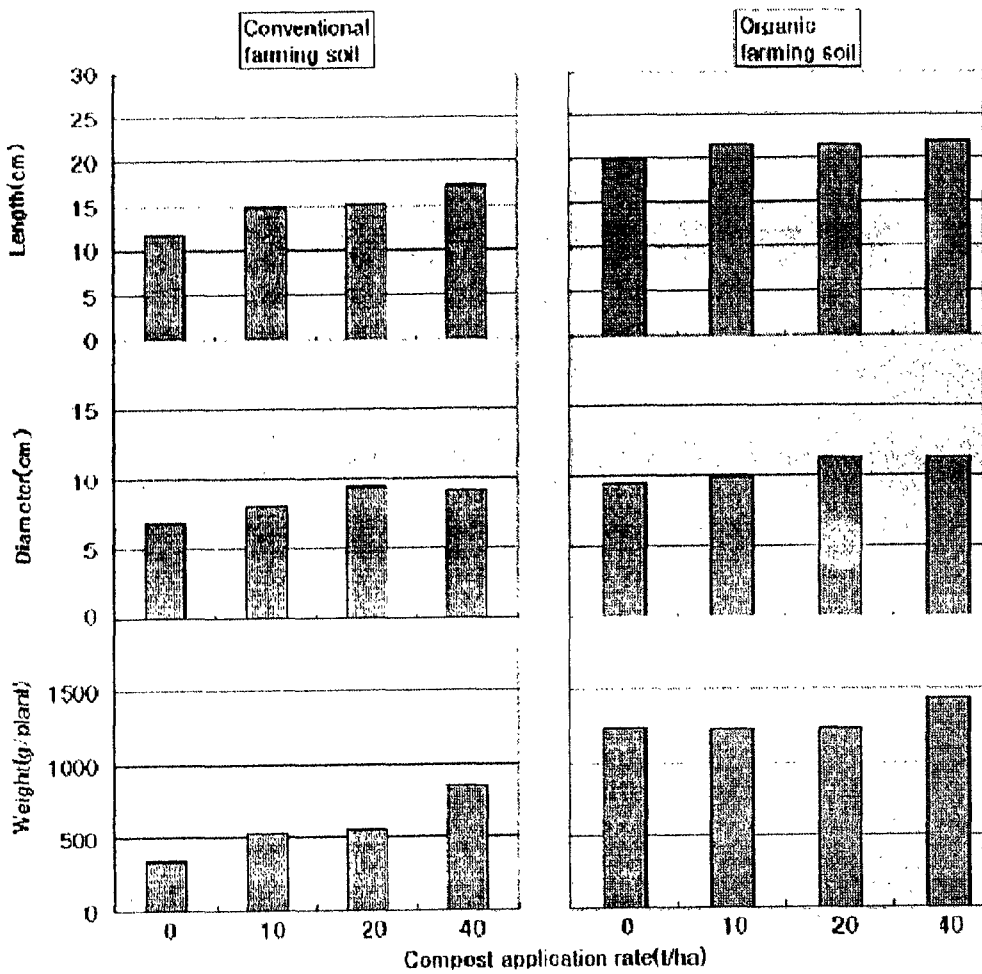


Fig. 2-7. Root growth of radish grown in conventional and organic farming soils under different levels of compost application.

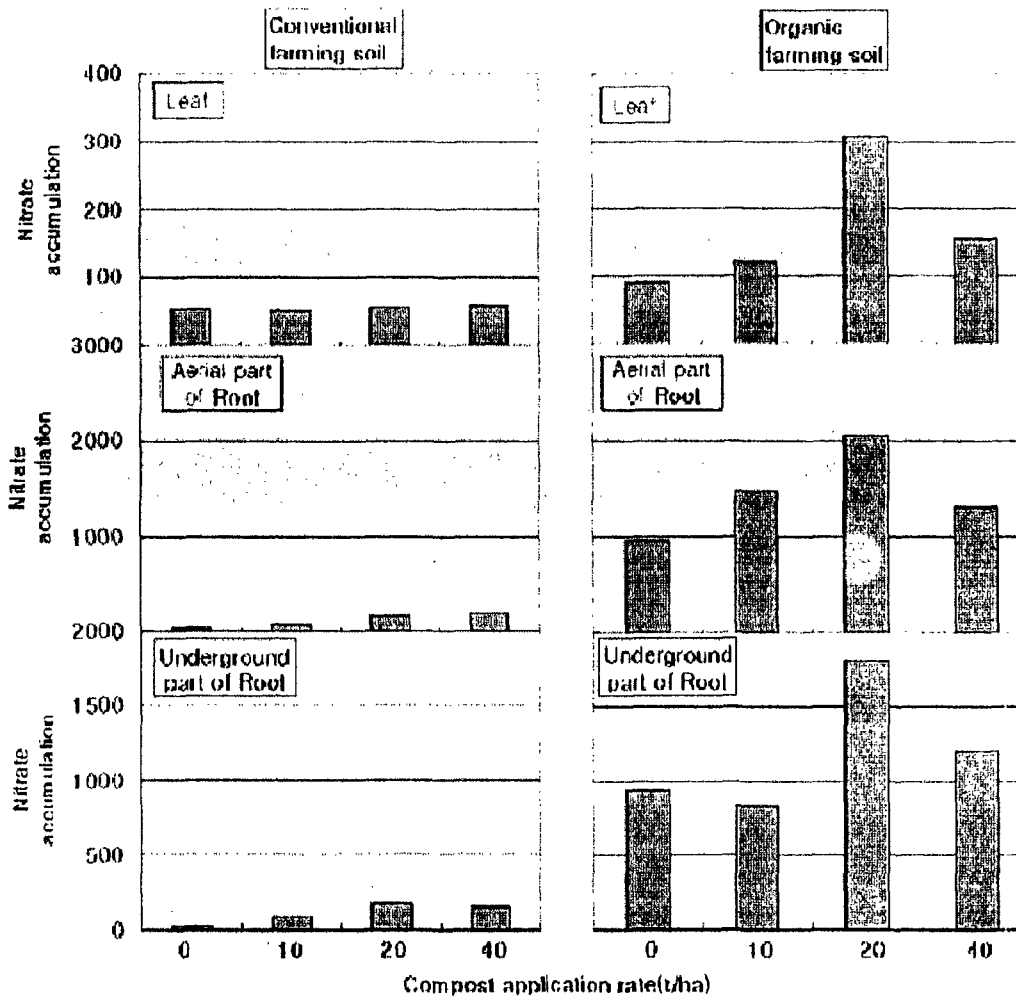


Fig. 2-8. Nitrate accumulation of radish grown in conventional and organic farming soils under different levels of compost application.

### 제3절 토양중 가용성 질산태 질소의 행동과 질산태 질소의 식물체내 흡수 및 축적

#### 1. 중질소 표지 요소비료의 토양중 질산태 질소 변환 특성

요소비료를 처리한 후 온도와 경과일수별 토양중의 암모늄태 질소와 질산태 질소함량의 변화 추이를 그림 2-9, 2-10에 그리고 비료에서부터 온 암모늄태 질소의 함유율과 질산태 질소로의 전환율은 표 2-8, 2-9에 나타냈다. 일반적으로 토양중의 urease 활성은 온도가 낮을 때 보다 높을 때 높다고 알려져 있는 데(조백현, 1972, 1984), 암모늄태 질소함량이 10 °C 보다는 20 - 30°C에서 더 높은 것으로 보아 본 조사 토양중에서 요소분해도 온도가 높을 때 활발하다는 것을 시사하였다. 또한, 암갈색 비화산회 토양이 농암갈색 화산회 토양보다 비료로부터 온 암모늄태질소의 함유율이 많은 것으로 보아 즉 요소의 분해율은 암갈색 비화산회 토양이 농암갈색 화산회 토양보다 더 클 것으로 사료된다.

Table 2-8 . Percentage tranformation of N-fertilizer(urea) into NH<sub>4</sub>-N and NO<sub>3</sub>-N in dark brown non-volcanic soil as incubated for 7 days at three different regimes of temperature.

Temp. (°C)	Incubation days								
	1			3			7		
	NH <sub>4</sub> -N (%)	NO <sub>3</sub> -N (%)	Total (%)	NH <sub>4</sub> -N (%)	NO <sub>3</sub> -N (%)	Total (%)	NH <sub>4</sub> -N (%)	NO <sub>3</sub> -N (%)	Total (%)
10	29.0	0.96	29.9	61.5	2.29	63.8	70.1	16.1	86.2
20	66.0	7.99	74.0	57.5	10.0	67.5	44.6	51.0	95.6
30	62.2	6.47	68.7	61.6	16.9	78.5	24.7	48.1	72.8

Table 2-9. Percentage tranformation of N-fertilizer(urea) into NH<sub>4</sub>-N and NO<sub>3</sub>-N in very dark brown volcanic soil as incubated for 7 days at three regimes of temperature.

Temp. (°C)	Incubation days								
	1			3			7		
	NH <sub>4</sub> -N (%)	NO <sub>3</sub> -N (%)	Total (%)	NH <sub>4</sub> -N (%)	NO <sub>3</sub> -N (%)	Total (%)	NH <sub>4</sub> -N (%)	NO <sub>3</sub> -N (%)	Total (%)
10	38.2	1.67	39.3	37.7	7.72	44.9	17.6	27.2	44.8
20	34.8	8.97	43.8	18.4	27.2	45.6	1.41	37.3	38.7
30	34.2	18.4	52.6	6.6	35.9	42.5	1.51	38.9	40.4

한편, 질산화작용도 urease 활성과 마찬가지로 온도에 따라 상이한 데, 두가지 토양 모두 10 °C 보다는 20 - 30°C에서 더 컸다. 특히, 농암갈색 토양인 경우에 30 °C에서 시간이 경과할수록 암모늄태 질소의 함유율이 상대적으로 낮은 것은 질산태 질소로의 전환을 즉 질산화작용이 암갈색 비화산회 토양에 비해 더 크다는 사실을 의미하며, 이는 농암갈색 화산회 토양이 암갈색 비화산회 토양에 비해 pH, 유기물 및 질소 함량이 높아 질산화작용 관련 미생물의 생육에 유리하게 작용했던 것으로 사료되며( Mengel and Kirkby, 1987), Chao와 Chao(1997)는 질산태 질소의 축적량은 질산화작용 관련 미생물의 밀도가 높을 때 크다고 하였다. 또한, 7일 경과후 암갈색 토양에서 20 °C 보다 30 °C에서 비료 유래 총질소 함량이 낮은 것은 온도가 높아짐에 따라 탈질작용도 활발히 일어났음을 의미한다.

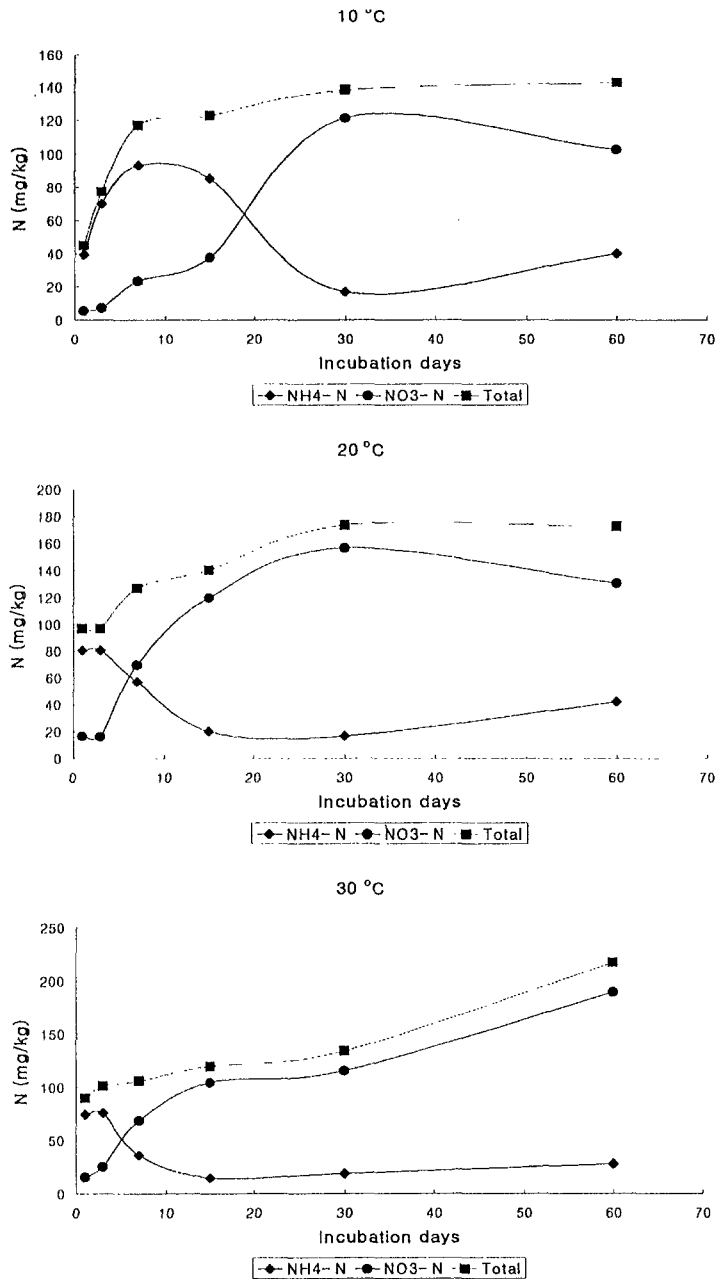


Figure 2-9. Changes of inorganic  $\text{NH}_4\text{-N}$  and  $\text{NO}_3\text{-N}$  in the dark brown non-volcanic ash soil during 60 day's incubation at the three different regimes of temperature after urea was added.



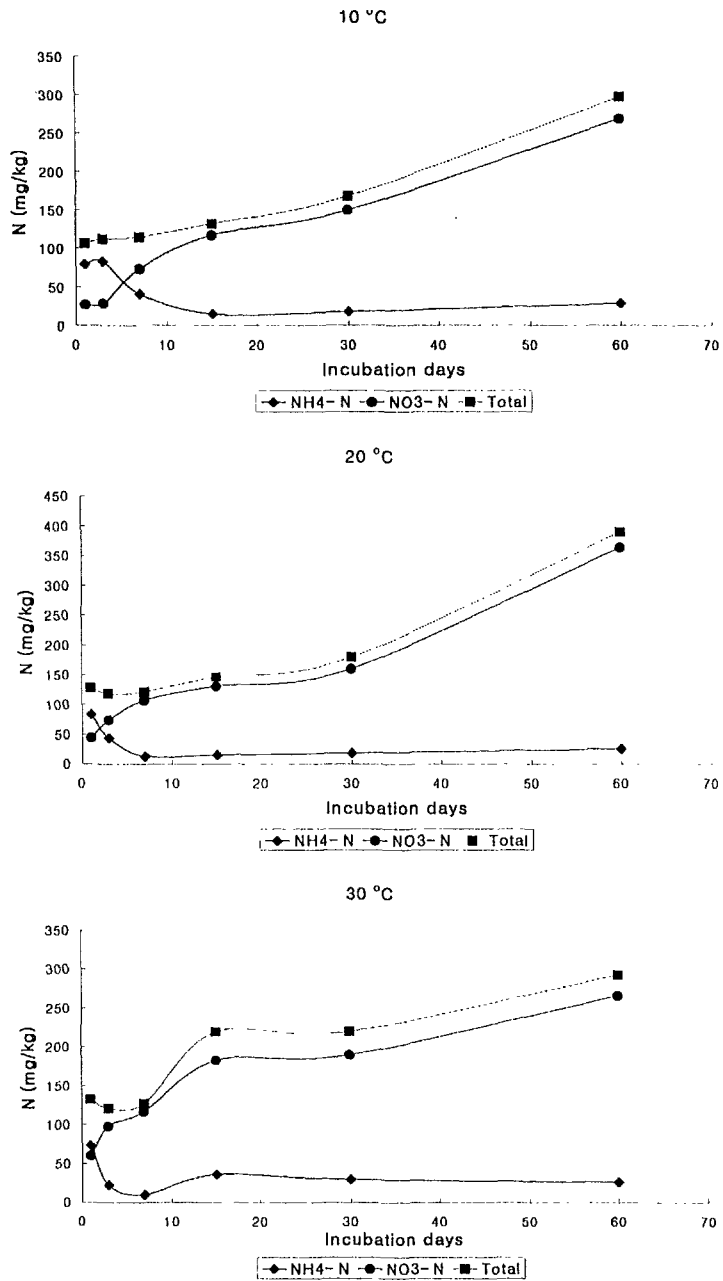


Figure 2-10. Changes of inorganic  $\text{NH}_4\text{-N}$  and  $\text{NO}_3\text{-N}$  in the very dark brown volcanic ash soil during 60 day's incubation at three different regimes of temperature after urea was added.

## 2. 토양중 질산태 질소의 용탈량 조사

시비량과 토양특성에 따른 질산태 질소의 용탈량을 조사하여 표 2-10, 2-11에 나타냈다. 시비량이 높아짐에 따라 용탈량은 증가했는데, 암갈색 비화산회 토양의 비료유래 질산태 질소의 용탈량은 31 - 63 %범위 였으나 농암갈색 화산회 토양은 19 - 35 %정도로 암갈색 토양이 농암갈색 토양에 비해 시비된 비료의 용탈량이 더 컸다. 표 2-8, 2-9와 그림 2-9, 2-10의 결과에서 처럼 농암갈색 토양이 암갈색 토양에 비해 질산화작용이 높아 시비된 비료의 질산태 질소로의 전환도 많이 일어나 용탈량도 클 것으로 예상할 수 있다. 왜냐하면, 발토양에서는 토양표면의 양전하와 특이적인 흡착을 하는 인산이온에 비하여 비특이적인 흡착을 하는 질산이온의 흡착력이 약하기 때문에 용탈이 빨리 일어나기 때문이다(조백현, 1984). 그러나, 농암갈색 화산회 토양은 암갈색 비화산회 토양에 비해 등전점이 낮아 비특이적인 음이온 흡착력이 컸기 때문에(현과 오, 1994) 질산태 질소의 용탈량이 적었던 것으로 생각된다.

또한, 표 2-10, 2-11에서 보는 바와 같이 용탈된 질산태 질소의 양이 처리된 질소비료양보다 많거나 또는 비료 유래의 질산태 질소의 양이 적은 것은 처리된 비료이외에 토양 자체에 존재하는 유기물로 부터의 질산태 질소의 기여가 크다는 사실을 암시한다.

Table 2-10. NO<sub>3</sub>-N leached from dark brown non-volcanic ash soil by 500 mm of water, as incubated at 20°C for 30 days after four different levels of urea were added.

Application level (mg N/200 g soil)	NO <sub>3</sub> -N leaching (mg N/200g soil)	NO <sub>3</sub> -N derived from urea[%] (mg N/200g soil)
0 (0 kg N/10a)	2.37	
9.20 (15 kg N/10a)	9.08	2.83[30.8]
18.4 (30 kg N/10a)	16.7	5.85[31.8]
36.8 (60 kg N/10a)	67.1	23.0[62.5]

Table 2-11. NO<sub>3</sub>-N leached from very dark brown non-volcanic ash soil by 500 mm of water, as incubated at 20°C for 30 days after four different levels of urea were added.

Application level (mg N/200 g soil)	NO <sub>3</sub> -N leaching (mg N/200g soil)	NO <sub>3</sub> -N derived from urea[%] (mg N/200g soil)
0 (0 kg N/10a)	0.14	
17.3 (15 kg N/10a)	12.4	3.20[18.5]
34.6 (30 kg N/10a)	21.8	7.54[21.8]
69.2 (60 kg N/10a)	50.8	23.9[34.5]

### 3. 질소질 비료의 작물 흡수와 질산태 질소의 식물체 축적 상황 및 토양 행동조사

#### 가. 무우와 배추의 생육, 무기물함량 및 토양 이화학적 성질

무의 지상부 및 지하부와 배추의 지상부의 생체중과 건물중은 질소의 시비에 증가되었으며, 암갈색 비화산회 토양보다 농암갈색 화산회토양에서 더 컸다(표 2-12, 2-13). 그러나 배추의 지하부의 생체중과 건물중은 세균을 완전히 채취할 수 없었기 때문에 시비간의 차이를 정확히 평가하기가 곤란했다.

식물체중의 무기물함량을 보면 질소 시비량이 증가함에 따라 지상부와 지하부의 질소 함량은 높아졌으나 인, 칼륨, 칼슘 또는 마그네슘함량은 일정한 경향을 보이지 않았다(표 2-14, 2-15).

한편, 실험후 토양 분석결과를 보면 표 2-16, 2-17과 같다. 질소시비량이 증가함에 따라 토양의 pH는 감소되었나 유기물, 총질소, 암모늄과 질산태 질소 및 치환성 양이온 값에는 영향을 주지 않았다. 그러나, 무비구에 비해 시비구에서 토양 유기물, 총질소, 암모늄태 및 질산태 질소의 함량이 높아진 것은 무우와 채소를 수확할 때 세균을 완전하게 채취하지 못하여 일부의 세균이 토양에 잔류하여 이들 함량에 기여한 것으로 판단된다.

Table 2-12. Effect of N-fertilization on fresh and dry weight of radish and Chinese cabbage grown in dark brown non-volcanic ash soil.

Crop	Application rate (mg N/pot)	Fresh weight (g/plant)			Dry weight (g/plant)		
		Shoot	Root	Total	Shoot	Root	Total
Radish	0 (0 kg N/10a)	89.6	190	280	10.2	11.8	22
	1460 (15 kg N/10a)	307	399	706	20.7	17.5	38.2
	2920 (30 kg N/10a)	366	420	786	26.8	18.1	44.9
	5840 (60 kg N/10a)	341	380	721	29.5	16.4	45.9
Chinese cabbage	0 (0 kg N/10a)	213	16.9	230	26.9	5.28	32.2
	1460 (15 kg N/10a)	826	23.3	849	56.5	3.25	59.8
	2920 (30 kg N/10a)	872	20.4	892	54.3	2.70	57.0
	5840 (60 kg N/10a)	963	19.1	982	53.1	2.23	55.3

Table 2-13. Effect of N-fertilization on fresh and dry weight of radish and Chinese cabbage grown in very dark brown volcanic ash soil.

Crop	Application rate (mg N/pot)	Fresh weight (g/plant)			Dry weight (g/plant)		
		Shoot	Root	Total	Shoot	Root	Total
Radish	0 (0 kgN/10a)	146	335	481	13.7	18.2	31.9
	650 (15 kgN/10a)	215	469	684	25.1	22.6	47.7
	1290 (30 kgN/10a)	299	402	701	24.5	20.6	45.1
	2580 (60 kgN/10a)	392	436	828	35.5	21.8	57.3
Chinese cabbage	0 (0 kgN/10a)	498	28.1	526	51.9	3.20	55.1
	650 (15 kgN/10a)	675	35.7	711	54.6	4.62	59.2
	1290 (30 kgN/10a)	986	28.1	1,014	61.5	3.05	64.6
	2580 (60 kgN/10a)	1261	24.4	1,285	68.3	3.18	71.5

Table 2-14. Effect of N-fertilization on mineral composition of radish and Chinese cabbage grown in dark brown non-volcanic ash soil.

Crop	Application Rate (mg N/pot)	N (%)		P (%)		K (%)		Ca (%)		Mg (%)	
		Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
Radish	0 (0 kg N/10a)	1.66	1.29	0.51	0.64	3.47	3.78	2.02	0.45	0.41	0.08
	1460 (15 kg N/10a)	2.06	1.45	0.33	0.42	2.11	2.48	1.45	0.25	0.27	0.07
	2920 (30 kg N/10a)	2.20	1.73	0.49	0.82	3.23	3.70	2.27	0.48	0.42	0.14
	5840 (60 kg N/10a)	3.01	2.13	0.32	0.46	3.45	4.25	2.56	0.60	0.53	0.23
Chinese cabbage	0 (0 kg N/10a)	0.77	0.75	0.55	0.56	3.44	1.16	1.38	0.43	0.36	0.25
	1460 (15 kg N/10a)	1.24	0.96	0.42	0.68	3.04	1.46	1.52	0.63	0.31	0.71
	2920 (30 kg N/10a)	1.82	1.28	0.51	0.61	3.11	1.16	1.74	0.82	0.35	0.64
	5840 (60 kg N/10a)	2.72	1.37	0.54	0.69	4.49	1.25	2.30	0.81	0.56	0.54

Table 2-15. Effect of N-fertilization on mineral composition of radish and Chinese cabbage grown in very dark brown volcanic ash soil.

Crop	Application Rate (mg N/pot)	N (%)		P (%)		K (%)		Ca (%)		Mg (%)	
		Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
Radish	0 (0 kgN/10a)	1.28	0.99	0.42	0.61	3.18	3.28	1.15	0.31	0.26	0.07
	650 (15 kgN/10a)	2.74	1.93	0.51	0.67	4.59	5.01	1.27	0.33	0.29	0.10
	1290 (30 kgN/10a)	3.29	2.34	0.43	0.63	4.30	5.74	1.01	0.34	0.27	0.15
	2580 (60 kgN/10a)	3.84	2.64	0.42	0.61	4.45	5.48	0.93	0.37	0.26	0.16
Chinese Cabbage	0 (0 kgN/10a)	0.67	0.76	0.62	0.59	3.33	1.86	0.96	0.91	0.17	0.72
	650 (15 kgN/10a)	1.57	1.10	0.36	0.55	4.80	1.62	1.42	1.25	0.29	1.00
	1290 (30 kgN/10a)	2.62	1.40	0.48	0.60	4.66	1.85	1.35	1.02	0.35	0.50
	2580 (60 kgN/10a)	3.44	1.85	0.56	0.41	4.47	1.80	1.35	0.84	0.37	0.50



Table 2-16. Chemical properties of dark brown non-volcanic ash soil after experiment.

Crop	Application rate (mg N/pot)	pH	OM (%)	Total N (%)	NH <sub>4</sub> -N (mg/kg)	NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	Available P (mg/kg)	Exchangeable cation		
								K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)
Radish	0 (0 kg N/10a)	5.28	0.93	0.12	12.6	25.2	148	0.41	1.63	0.87
	1460 (15 kg N/10a)	5.30	0.88	0.13	9.57	12.1	124	0.32	1.87	0.97
	2920 (30 kg N/10a)	5.10	0.82	0.13	14.0	23.6	114	0.24	1.60	0.87
	5840 (60 kg N/10a)	4.67	1.24	0.13	17.7	45.0	124	0.22	1.49	0.78
Chinese cabbage	0 (0 kg N/10a)	5.26	0.97	0.12	18.2	44.1	144	0.48	1.96	1.04
	1460 (15 kg N/10a)	5.15	1.00	0.13	11.7	32.0	134	0.24	1.50	0.83
	2920 (30 kg N/10a)	4.93	1.33	0.13	11.0	35.0	135	0.23	1.51	0.81
	5840 (60 kg N/10a)	4.68	0.99	0.14	10.7	31.7	138	0.23	1.47	0.79

Table 2-17. Chemical properties of very dark brown volcanic ash soil after experiment.

Crop	Application rate (mg N/pot)	pH	OM (%)	Total N (%)	NH <sub>4</sub> -N (mg/kg)	NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	Available P (mg/kg)	Exchangeable cation		
								K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)
Radish	0 (0 kgN/10a)	5.99	7.93	0.56	14.0	27.3	35.1	0.47	2.38	0.78
	650 (15 kgN/10a)	5.79	7.63	0.57	12.6	31.3	28.4	0.30	1.69	0.51
	1290 (30 kgN/10a)	5.91	8.02	0.57	13.3	23.1	21.9	0.28	2.53	0.74
	2580 (60 kgN/10a)	5.26	7.29	0.57	10.5	35.7	26.0	0.27	2.36	0.75
Chinese cabbage	0 (0 kgN/10a)	5.89	7.93	0.56	13.3	16.1	24.6	0.41	2.49	0.84
	650 (15 kgN/10a)	5.74	7.60	0.56	12.6	16.8	28.4	0.14	1.35	0.42
	1290 (30 kgN/10a)	5.75	7.55	0.56	8.40	12.6	21.9	0.16	2.15	0.63
	2580 (60 kgN/10a)	5.75	7.80	0.56	15.6	36.4	26.0	0.16	2.15	0.69

#### 나. 질산태 질소의 기관별 식물 체내 축적 양상

질소시비량에 따른 질산태질소의 기관별 식물체내 축적양상을 보면 표 2-18, 2-19와 같다. 시비량이 증가함에 따라 식물체내에 질산태 질소의 축적량은 점차 증가하는 경향을 보였다. 암갈색 비화산회토의 경우 무우 중의 질산태 질소 축적량은 무비구(지상부: 1219 mg NO<sub>3</sub>-N / kg DM, 지하부: 938 mg NO<sub>3</sub>-N /kg DM)에 비해 기준시비량에 비해 4배 높게 시용한 구( 5840 mg N/pot)에서는 지상부가 18,880 mg NO<sub>3</sub>-N/kg DM, 지하부가 10,499 mg NO<sub>3</sub>-N /kg DM 정도로 10배 이상 높았다. 배추의 경우 무우보다 그

축적량이 낮은 편이었으나 가식부인 지상부에 축적된 질산태 질소 양은 시비량에 따라 달라지만 무비구(771 mg N/kg DM)에 비해 3 - 8배 정도(2495 - 6211 mg NO<sub>3</sub>-N/kg DM) 높았다. 농암갈색 화산회 토양의 무우와 배추의 질산태 질소 축적량은 암갈색 비화산회 토양에 비해 적었으나, 기준시비량의 4배 시비구에서 무우의 지상부와 지하부의 질산태 질소 축적량은 무비구에 비해 최고 10배정도 높은 값인 9,513 mg N/kg DM(지상부)과 11,382 mg N/kg DM(지하부)을 보였고 배추는 무우보다 질산태 질소 축적량이 적었으나 질소 시비량의 증가함에 따라 축적된 질산태 질소의 양도 증가했다. 또한, 축적된 질산태 질소의 양은 시비량과 기관별로 다소 달랐지만 생체중 단위로 환산할 때 암갈색 토양의 무우는 226 - 3,822 mg NO<sub>3</sub> / kg FW, 배추는 236 - 1130 mg NO<sub>3</sub> / kg FW이며 농암갈색 화산회 토양의 무우는 207 - 8,344 mg NO<sub>3</sub> / kg FW, 배추는 170 - 1525 mg NO<sub>3</sub> / kg FW정도로 암갈색 토양에서 기준시비량보다 4배 높게 시비하여 재배된 무우를 제외하고는 손과 오(1993) 보고한 범위였다.

한편, 식물체중의 시비한 비료로부터 온 질산태 질소의 총량을 보면(표 2-18, 2-19) 암갈색 토양에서 재배한 무우와 배추의 경우 기준시비구(1460 mg N/pot)에서는 각각 54.6 mg과, 86.0mg 2배 시비구에서는 158 mg과 341 mg, 4배시비구에서는 289 mg과 642 mg 였으며, 농암갈색 토양의 무우와 배추는 기준구 시비구에서 37.8 mg 과 43.1 mg, 2배시비구에서 53.5 mg과 44.8 mg, 4배시비구에서 350mg과 102 mg를 보였으며, 특히 4배시비구에서 비료에서 온 질소양의 급격한 증가를 보였다. 또한, 이들의 비료 기여율을 계산하여 보면 3.5 - 17 % 였으며 일반적으로 증질소 시비량이 증가함에 따라 높아졌는데 비록 채소의 생육은 토양의 비옥도와 환경등에 의해 다를 수는 있지만 기준시비구의 4배와 같은 질소 공급은 질산태 질소의 축적을 급격히 증가시킬 가능성이 있는 것으로 생각된다.

Table 2-18.  $\text{NO}_3\text{-N}$  accumulation, N fertilizer-derived  $\text{NO}_3\text{-N}$  in radish and Chinese cabbage, as four different rates of N-fertilizer were applied in dark brown non-volcanic ash soil.

Crop	Application rate (mg N/pot)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/kg)		N fertilizer-derived $\text{NO}_3\text{-N}$ [%] (mg/plant)
		Shoot	Root	
Radish	0 (0 kg N/10a)	1219	938	
	1460 (15 kg N/10a)	3086	2554	54.6[3.75]
	2920 (30 kg N/10a)	6507	8954	158[5.41]
	5840 (60 kg N/10a)	18880	10499	289[4.96]
Chinese cabbage	0 (0 kg N/10a)	771	976	
	1460 (15 kg N/10a)	2495	1435	86.0[5.90]
	2920 (30 kg N/10a)	4448	3175	341[11.7]
	5840 (60 kg N/10a)	6211	5504	642[11.0]

Table 2-19. NO<sub>3</sub>-N accumulation, N fertilizer-derived NO<sub>3</sub>-N in radish and Chinese cabbage, as four different rates of N-fertilizer were applied in very dark brown volcanic ash soil.

Crop	Application rate (mg N/pot)	NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)		N fertilizer-derived NO <sub>3</sub> -N[%] (mg/plant)
		Shoot	Root	
Radish	0 ( 0 kgN/10a)	1189	1024	
	650 (15 kgN/10a)	1072	1591	37.8[5.85]
	1290 (30 kgN/10a)	2498	3695	53.5[6.34]
	2580 (60 kgN/10a)	9513	11382	350[16.6]
Chinese Cabbage	0 ( 0 kgN/10a)	1069	1317	
	650 (15 kgN/10a)	1067	1561	43.1[6.67]
	1290 (30 kgN/10a)	1350	2473	44.8[3.47]
	2580 (60 kgN/10a)	5120	2866	102[3.95]

다. 시비된 비료의 행방조사

암갈색 비화산회토양에서 무우와 배추에 의한 질소의 총 흡수량, pot 당 토양중 총질소량과 무기태 암모늄태와 질산태 질소, 그리고 용탈된 질산태 질소의 양은 표 2-20과 같다. 무우와 배추의 질소 흡수량은 시비량이 증가함에 따라 높아 졌고 기준 질소

시비구의 4배 처리구에서 급격한 상승을 나타냈다. 또한, 잔류 총질소량은 무비구보다는 높으나 시비구 간에 큰 차이를 보이지 않았는데 이는 비료의 시비량이 토양중에 함유한 질소량에 비해 무시할 정도로 적은 양이기 때문인 것으로 사료된다. 질소질 화학비료는 토양중에서 빨리 분해되고 질산화 과정을 통해 가용성 무기태 질소의 함량을 신속히 높힐 수 있으나, 이것들은 항상 동적인 상태에 있기 때문에 식물에 의한 흡수, 미생물에 의한 부동화 등으로 항상 그 함량은 변할 수 있다(임선옥, 1982). 본 실험에서 무우의 경우 시비량에 따라 무기태 질소함량이 차이를 보이고 배추에서 그러한 경향이 나타나지 않은 것은 시비구가 높아짐에 따라 배추의 생육이 양호하여 더 많은 무기태 질소를 흡수 때문인 것으로 사료된다. 한편, 질산태 질소의 용탈도 윤과 유(1994a, 1994b)의 보고에서와 마찬가지로 시비량이 증가함에 따라 높아졌다.

농암갈색 비화산회토양에서 무우와 배추에 의한 질소의 총 흡수량, pot 당 토양중 총 질소량과 무기태 암모늄태와 질산태 질소, 그리고 용탈된 질산태 질소의 양은 표 2-21과 같다. 암갈색 비화산회토의 경우와 마찬가지로 무우와 배추의 질소 흡수량은 시비량이 증가함에 따라 높아졌고 기준 질소 시비구보다 4배 높은 처리구에서 급격한 상승하였다. 또한, 잔류 총질소량은 무비구보다는 높으나 시비구 간에 큰 차이를 보이지 않았는데 이는 앞서 언급한 것처럼 비료의 시비량이 토양중에 함유한 질소량에 비해 무시할 정도로 적은 양이기 때문인 것으로 판단된다. 질산태 질소의 용탈은 시비량이 증가함에 따라 높아졌고 농암갈색 화산회 토양이 암갈색 비화산회 토양에 비해 용탈량이 적은 것은 시비된 비료총량의 적었기 때문이라고 생각할 수 있으나, 토양중의 질소함량이 커서 질산태 질소의 생성 잠재력이 크다는 사실을 감안할 때 앞서 2항의 연구결과에서 언급한 것 처럼 등전점 차이에 기인한 비특이적인 음이온 흡착 특성이 컸기 때문이라고(현과 오, 1994) 생각된다.

Table 2-20. N absorption by radish and Chinese cabbage, total nitrogen and inorganic nitrogen and leached NO<sub>3</sub>-N, as the different rates of N-fertilizer were applied in dark brown non-volcanic ash soil.

Crop	Application rate (mg N/pot)	N absorption (mg/plant)	Total nitrogen in soil (kg/pot)	Inorganic nitrogen (mg/pot) in soil			Leached NO <sub>3</sub> -N (mg/pot)
				NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Total	
Radish	0 ( 0 kg N/10a)	410	2.04	176	352	178.04	0.05
	1460 (15 kg N/10a)	900	2.21	163	206	165.21	1.71
	2920 (30 kg N/10a)	1300	2.21	238	401	240.21	100
	5840 (60 kg N/10a)	1570	2.21	301	766	303.21	389
Chinese cabbage	0 ( 0 kg N/10a)	0	2.04	255	617	257.04	0.04
	1460 (15 kg N/10a)	920	2.23	198	543	200.23	0.52
	2920 (30 kg N/10a)	1450	2.25	186	595	188.25	292
	5840 (60 kg N/10a)	1860	2.45	182	539	184.45	377

Table 15. N absorption by radish and Chinese cabbage, total nitrogen and inorganic nitrogen and leached NO<sub>3</sub>-N, as the different rates of N-fertilizer were applied in dark brown non-volcanic ash soil.

Crop	Application rate (mg N/pot)	N absorption (mg/plant)	Total nitrogen in soil (kg/pot)	Inorganic nitrogen (mg/pot)			Leached NO <sub>3</sub> (mg/pot)
				NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Total	
Radish	0 ( 0 kgN/10a)	670	7.84	196	382	203.84	0.05
	650 (15 kgN/10a)	840	7.98	176	438	183.98	1.97
	1290 (30 kgN/10a)	890	7.98	186	323	193.98	4.14
	2580 (60 kgN/10a)	1530	7.98	147	500	154.98	30.0
Chinese cabbage	0 ( 0 kgN/10a)	480	7.84	186	225	193.84	0.24
	650 (15 kgN/10a)	720	7.84	176	235	183.84	0.91
	1290 (30 kgN/10a)	1230	7.84	118	176	125.84	1.90
	2580 (60 kgN/10a)	1930	7.84	219	510	226.84	35.5

한편, 시비된 질소질 비료(요소)의 행방 즉 식물체의 이용을 토양의 잔류율 그리고 손실율을 조사한 결과는 표 2-22, 2-23에 나타냈다.

무우와 배추의 질소 비료 이용율을 보면 시비량이 증가함에 따라 암갈색 비화산화 토양에서 재배한 무우는 68%에서 27%, 배추는 53%에서 32%로 감소하였으나 농암갈색 화산화토양의 경우 무우는 78%에서 57%로 배추는 52%에서 50%로 암갈색 비화산화 토양에 비해 감소되는 정도가 적었다. 일반적으로 비료로부터 유래된 질소의 비료비율은 질소시비량이 많을 경우 높지만 질소 이용율은 대체로 시비량이 적을 때에 높다



고 알려져 있는 데(이와 유, 1994; Varvel & Peterson, 1990) 본 연구결과도 유사한 경향을 나타냈다. 또한, 농암갈색 토양에서는 시비량에 따라 차이는 있으나 시비한 비료의 40% 이상이 유기태 질소의 화합물로 동화되었고, 3.5 - 16% 정도가 질산태 질소로 축적되어 있었다. 암갈색토양에서는 시비한 비료의 22 - 64% 정도가 유기태 질소였고 3.75- 11.7%정도가 질산태 질소로 남아 있었다.

실험후 토양중에 남아 있는 비료 유래의 총 잔류 질소량과 용탈등의 손실량을 비교하여 보면(표 2-22, 2-23) 우선 암갈색 비화산화 토양인 경우 총잔류 질소량은 시비량이 증가함에 따라 무우에서는 39 %에서 25%로 감소하였으나 배추에서는 49%에서 35%로 감소하여 무우보다 배추를 재배한 토양이 다소 많은 잔류 질소량을 보였다. 또한, 암갈색 토양과 마찬가지로 농암갈색 비화산화 토양에서도 시비량이 증가함에 따라 잔류 총질소량은 감소하였다. 이처럼 시비량에 따른 잔류 총질소량의 감소는 용탈량과 탈질작용등에 의한 손실량이 증가했기 때문이라고 사료되며 암갈색 비화산화 토양 경우에 그 경향은 더욱 뚜렷하였다.

Badzhov와 Ikonomova(1971)는 알파파에 5.08 atom % 중질소 요소를 시용했을 때 식물에 의한 이용율은 50 - 55%, 토양 잔류율은 22 -38 % 그리고 손실율은 11- 27% 정도라고 하였는 데, 본 연구에서 무우와 배추에 시용된 5 atom % 중질소 요소 비료의 이용율과 잔류율이 높고 손실율이 낮게 조사된 것은 작물에 따라 비료의 흡수율이 다르고 토양특성에 따른 양분보유 및 손실이 다르기 때문이기 하지만 pot내의 제한된 공간에서 실험을 수행했기 때문이라고 사료되며 차후 포장 조건에서의 중질소 비료를 이용한 채소의 비료 이용율, 잔류율 및 손실율에 대한 연구가 요청된다.

Table 2-22. Nitrogen balance for urea applied in the very dark brown volcanic ash soil.

Crop	Application rate (mg N/pot)	Fertilizer nitrogen uptake by plant(%)			Fertilizer nitrogen found in soil(%)				Nitrogen losses		Total
		NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Subtotal	Organic N	Inorganic N		Subtotal	Leaching of NO <sub>3</sub> -N	Unaccountable N	
						NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N				
Radish	650 (15 kg N/10a)	72.2	5.85	78.0	26.8	0.14	6.10	33.0	0.02	-11	111
	1290 (30 kg N/10a)	52.7	6.34	59.0	20.2	0.65	3.20	24.0	0.43	17.6	83.4
	2580 (60 kg N/10a)	40.4	16.6	57.0	21.5	0.22	9.26	31.0	0.08	11.9	88.1
Chinese cabbage	650 (15 kg N/10a)	45.3	6.67	52.0	47.3	2.41	8.25	58.0	0.01	-10	110
	1290 (30 kg N/10a)	56.5	3.47	60.0	33.2	1.78	6.02	41.0	0.00	-1	101
	2580 (60 kg N/10a)	46.1	3.95	50.0	15.4	3.4	10.2	29.0	0.28	20.7	79.3

Table 2-23. Nitrogen balance for urea applied in the dark brown non-volcanic ash soil.

Crop	Application rate (mg N/pot)	Fertilizer nitrogen uptake by plant(%)			Fertilizer nitrogen found in soil(%)				Nitrogen losses		Total
		NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Subtotal	Organic N	Inorganic N		Subtotal	Leaching of NO <sub>3</sub> -N	Unaccountable N	
						NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N				
Radish	1460 (15 kg N/10a)	64.3	3.75	68.0	37.5	0.48	1.02	39.0	3.75	-11	111
	2920 (30 kg N/10a)	42.6	5.41	48.0	22.5	1.24	5.22	29.0	5.41	17.6	82.4
	5840 (60 kg N/10a)	22.0	4.96	27.0	16.6	0.38	8.04	25.0	4.86	43.1	56.9
Chinese cabbage	1460 (15 kg N/10a)	47.1	5.90	53.0	43.6	0.33	5.06	49.0	5.90	-8	108
	2920 (30 kg N/10a)	36.3	11.7	48.0	32.9	0.12	5.03	38.0	11.7	3.7	97.7
	5840 (60 kg N/10a)	21.0	11.0	32.0	31.6	0.16	3.22	35.0	11.0	12	78.0

## 제4절 대농민용 「채소질산염 저감기술 지침서」 개발

본 최종보고서 제출후 6개월 이내에 본 연구결과와 국내외 최신자료를 종합하여 농민들이 읽고 이해하기 쉽게 대농민용 “채소질산염 저감기술 지침서”를 농림부가 제작할 수 있도록 농림수산기술관리센터에 원고를 제출할 예정이다. 원고는 현재 집필 중이며, 2001년 3월5일까지 집필완료할 예정이다. 그 주요내용은 차례에서 보는바와 같다.

---

### 대농민용 “채소질산염 저감기술 지침서”

---

1. 머릿말
2. 질산염의 인축 위해성
3. 유럽 각국의 채소내 질산염 허용기준치
4. 국내 유통채소의 질산염 함량
  - 1) 신선채소
  - 2) 가공채소
5. 재배과정에서의 채소 질산염 함량 저감 방법
  - 1) 질소시비량의 다소
  - 2) 차광조건의 차이

6. 재배농법별 채소 질산염 함량의 저감 방법
  - 1) 노지농법
  - 2) 유기농법
  - 3) 시설재배
  - 4) 양액재배
  
7. 유기농산물 채소에서 고질산염이 문제되는 이유
  
8. 엽록소, 비타민 함량과 질산염 함량과의 관계
  - 1) 엽록소 함량
  - 2) 비타민 함량
  - 3) 엽색
  
9. 수확후 처리과정에 따른 질산염 함량 차이
  
10. 가정에서 고질산염 부위를 제거하고 이용하는 법
  
11. 요리과정에서 질산염 함량 저감 방법
  - 1) 전자렌지
  - 2) 끓는 물에 데치기
  - 3) 찌개
  
12. 김치의 질산염 함량
  - 1) 김치 종류별 질산염 함량
  - 2) 모재료
  - 2) 절임
  - 3) 숙성과정
  
13. 채소쥬스의 질산염 함량

14. 국내 채소질산염 함량에 대한 찬반 의견

- 1) 학계
- 2) 식품의약품안전청
- 3) 소비자단체

15. 우리 나라의 채소 질산염 허용기준치 필요성

## 제4장 저질산염 함유 시설 엽채류 생산기술 개발

### 제1절 질산염 저감 엽채류 양액재배 생산방법 개발

#### 1. 양액재배 농가의 시비실태 및 생산 엽채류의 질산염 함량 조사

일반적으로 채소를 재배하는 양액재배 농가에서 사용하는 양액의 종류와 작물 및 식물체내 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량은 표 3-1과 같았다.

Table 3-1. Comparison of nitrate content according to the nutrient solution and vegetable crops.

Farm household	Nutrient solution	EC (dS/m)	Crops	Nitrate content (ppm FW)	
				20 Mar.	20 Jul.
A	Yamasaki 's' <sup>z)</sup> solution	1.52	Leaf lettuce	1,927	1,726
B	JHES 's' <sup>y)</sup> solution	1.84	Leaf lettuce	2,351	2,014
C	Yamasaki 's solution	1.31	Leaf lettuce	1,831	1,768
D	Yamasaki 's solution	1.28	Leaf lettuce	2,027	1,824
E	JHES 's solution	2.01	Leaf lettuce Endive	1,731 2,458	1,569 2,154
F	Yamasaki 's solution	1.54	Leaf lettuce Pack-choi	1,939 2,564	1,788 2,326
G	Solution composited by farmer	1.52	Leaf lettuce Collard	1,764 2,634	1,564 2,326
H	JHES 's solution	1.86	Leaf lettuce Chicory	1,874 2,189	1,745 1,938

z) Solution for culture of lettuce

y) Japanese Horticultural Experiment Station Solution

엽채류 재배농가별 사용양액은 일본 원시액과 山崎의 상추 재배용 전용 배양액이 가장 많았다. 재배작물은 상추를 비롯하여 치커리, 청경채, 엔다이브, 콜라드 등이 대

부분이었는데, 동일 작물의 경우 양액의 농도가 높을수록 작물의 체내 질산염 함량도 높았다.

작물별 질산염 함량을 살펴보면 청경채의 경우 봄에는 2564, 여름에는 2326 ppm FW로 타 작물에 비해 높았다. 따라서 수경재배에 의한 엽채류의 체내  $\text{NO}_3^-$  함량은 큰 문제가 되지 않을 것으로 사료되었다.

체내  $\text{NO}_3^-$  함량이 가장 낮은 작물은 상추였는데, 그 범위는 계절에 따라 다소 차이가 있어 봄에는 1731~2351 ppm FW 범위를, 여름에는 1564~2014 ppm FW 범위를 각각 나타내어 외국의 허용치를 크게 밑도는 수준이었다.

농가별 재배작물의 체내  $\text{NO}_3^-$  함량은 동일작물 간에도 차이가 있었는데, 이러한 차이는 농가에 따른 차이보다는 사용하는 동일 양액에 따른 차이라고 할 수 있었다. 즉, 동일한 조성의 양액을 이용하여 시용 농도가 높으면 식물체내  $\text{NO}_3^-$  함량이 높고, 낮으면  $\text{NO}_3^-$  함량이 낮아지는 경향을 보였다. 즉 양액내의  $\text{NO}_3^-$  농도가 높으면 체내  $\text{NO}_3^-$  함량도 높아졌다.

앞에 비하여 줄기의 비율이 높은 청경채, 엔다이브, 콜라드 등의 작물에서 상추에 비하여 체내  $\text{NO}_3^-$  함량이 높았음. 그 원인은 뿌리를 통하여 흡수된  $\text{NO}_3^-$  는 도관을 통하여 이동하는데, 질소동화에 사용되고 남은  $\text{NO}_3^-$  는 도관에 정체되어 있기 때문이라고 사료되었다.

이상의 결과는 일반인이 생각할 때 수경재배에 사용되는 비료의 90% 정도가  $\text{NO}_3^-$ -N이기 때문에 식물체내  $\text{NO}_3^-$  함량도 높을 것이라는 생각과 큰 차이가 있을 것이다. 뿐만 아니라 비옥한 토양에서 재배한 엽채류의 체내  $\text{NO}_3^-$  함량에도 훨씬 못미치는 낮은 수준으로써, 소비자들이 안심하고 수경재배한 엽채류를 섭취할 수 있음을 보여준 예라고 할 수 있다.



## 2. 암모늄을 주 질소원으로 한 질산염 저함유 엽채류 생산

### 1) 양액의 암모늄태 질소 급원

질소 급원에 따른 생육(표 3-2)을 보면, 배추의 경우  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  및  $\text{NH}_4\text{OH}$ 에서는 대조구에 비하여 생육이 현저하게 저하되어 실제 재배에는 이용할 수 없을 정도였다. 그러나  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 에서는 생체중이 대조구에 비하여 16~18% 정도 밖에 감소되지 않아서, 좀 더 합리적인 재배 방법을 찾아낸다면 경제적인 재배에 이용할 수 있을 것으로 사료되었다.

미나리의 생육도 배추와 유사한 양상을 나타내어  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  및  $\text{NH}_4\text{OH}$ 에서는 뚜렷하게 저하되었다.

Table 3-2. Effect of different ammonium nitrogen sources on growth of chinese cabbage and water dropwort grown with hydroponics.

Crops	Nitrogen source	Plant height (cm)	No. of leaves	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	$\text{NO}_3^-$ content (ppm FW)
Chinese cabbage	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	33.4 c	23.2 b	151.6 c	6.42 c	1,264 c
	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	23.1 d	14.8 c	87.4 d	3.61 d	309 c
	$\text{NH}_4\text{Cl}$	21.4 d	12.3 b	86.5 d	3.58 d	458 c
	$\text{NH}_4\text{OH}$	20.6 d	15.1 c	80.7 d	3.04 d	567 c
	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	34.2 b	22.6 b	150.3 b	4.98 b	567 c
	Control <sup>2)</sup>	36.8 a	26.8 a	184.3 a	7.61 a	2,438 a
Water dropwort	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	32.4 b	51.4 b	63.1 bc	3.38 bc	1,326 c
	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	25.6 c	36.2 c	39.4 d	1.93 d	486 c
	$\text{NH}_4\text{Cl}$	23.4 c	34.8 c	31.2 d	1.84 d	521 c
	$\text{NH}_4\text{OH}$	21.9 c	35.9 c	37.6 d	1.91 d	389 c
	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	30.9 bc	50.6 ab	62.1 bc	3.21 c	389 c
	Control	40.1 a	74.3 a	75.8 a	4.86 a	2,938 a

<sup>2)</sup>  $\text{NO}_3^-$ -N :  $\text{NH}_4^+$ -N = 6 : 0.5 me/ℓ

<sup>y)</sup> Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.05$ .

\* Planting date : 1 Nov, 1997

池田과 大澤(1980)는 질소원을  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  및  $\text{NH}_4^+$ 로 하여 양액의 pH를 5로 유지하면서 상추와 미나리를 재배하면, 두 작물 공히  $\text{NO}_3^-$ 에 비하여  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 에서 16 및 29%씩 각각 지상부 생체중이 증가하고,  $\text{NH}_4^+$ 에서는 5 및 12%가 각각 증가한다고 하였다. 본 실험에서는 양액의 pH가 4 이하로 저하하였을 때 6으로 조절하면서 작물을 재배하였으므로  $\text{NH}_4^+$ 에 비하여  $\text{NO}_3^-$ 에서의 생육이 좋았고,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 에서는  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{NH}_4^+$ 의 중간 정도의 생육을 나타내었다.

그러나  $\text{NH}_4^+$  질소원중  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 에서의 생육은 대조구나  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 에 비하여 크게 뒤지지 않았는데, 그 원인은  $\text{NH}_4^+$ 를 흡수한 식물체로부터 방출된  $\text{H}^+$  이온이  $\text{CO}_3$ 와 결합하여 양액중에서  $\text{HCO}_3^-$ 를 형성하여 양액의 pH 저하를 완화시켰을 뿐 아니라,  $\text{NH}_4$ 를 직접 흡수하여 질소동화 과정중 두단계 이상이 생략되어 대사에 소모되는 에너지가 적었던 데에 기인된 것으로 사료되었다. 이와는 달리  $\text{NH}_4\text{OH}$ 에서의 생육이 저조했던 것은 일시에 다량의  $\text{NH}_4\text{OH}$ 를 공급해 줌으로써 작물이 암모니아 가스 장해를 받았을 가능성이 있을 뿐 아니라, 양액의 pH가 급속히 저하되어 작물의 뿌리가 손상되고 그로 인하여 양수분의 흡수가 원활하게 이루어지지 못했기 때문인 것으로 추정되었다.

질소 급원에 따른 배추와 미나리의 체내  $\text{NO}_3^-$  함량을 살펴보면, 배추의 체내  $\text{NO}_3^-$  함량은 309~2,438ppm 범위였는데,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 에서는 1,264ppm으로 대조구의 50% 정도의 함량을 나타낸 반면, 질소원으로  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$  및  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 를 사용하면 500ppm 수준으로 현저히 저하되었다. 미나리에서도 배추와 같은 경향이었으나 체내  $\text{NO}_3^-$  함량이 389~2,938ppm 범위로 배추에 비하여 다소 많았다. 그러나  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$  및  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 에서는 배추에서와 같이 500ppm 정도로 그 함량이 매우 적었다.

池田과 大澤(1981)에 의하면 감자, 당근, 무 및 순무 잎의  $\text{NO}_3^-$  함량은 양액의 질소원으로  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 를 이용한 경우에 비하여  $\text{NO}_3^-$ 에서 높다고 하며, Minotti 등(1969)은 질소원으로  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NaNO}_3$  및  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 를 사용하여 밀을 재배하면  $\text{NO}_3^-$ 의 흡수 및 체내 축적량은  $\text{NH}_4^+$ 를 사용한 경우에 비하여 뚜렷하게 많지만 몇가지  $\text{NH}_4^+$  종류들 간에는 차이가 없다고 하였다.

본 실험에서도 질소원으로서  $\text{NO}_3^-$ 의 비율이 90%를 넘어서는 표준액을 사용한 경우에 배추와 미나리 공히 체내  $\text{NO}_3^-$  함량이 높았고,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 에서는 다소 적었다. 그리고  $\text{NH}_4^+$ 에서는 매우 낮은 함량을 나타내어 이전의 보고들과 일치하고 있었다.

## 2) 양액의 $\text{NO}_3^-$ 와 $\text{NH}_4^+$ 비율

양액의  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{NH}_4^+$ 의 비율에 따른 생육(표 3-3)은 배추의 경우 양액의  $\text{NH}_4^+$  비율이 높아질수록 감소하였는데, 초장, 엽수, 생체중 및 건물중의 생육은  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ 의 비율이 100 : 0과 75 : 25에서 좋았고, 그 다음으로는 50 : 50 및 25 : 75의 순이었다. 미나리의 경우도 초장, 생체중 및 건물중 또한 100 : 0과 75 : 25에서 길거나 무거웠고, 엽수는 25 : 75에서 48.6배로 타 처리에 비하여 적었다.

Table 3-3. Effect of the ratio of  $\text{NO}_3^-$  to  $\text{NH}_4^+$  on growth of chinese cabbage and water dropwort grown with 30 days after planting.

Crops	$\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ (%)	Plant height (cm)	No. of leaves	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Nitrate content (ppm FW)
Chinese cabbage	100 : 0	33.1 a <sup>2)</sup>	26.7 a	185.3 a	7.81 a	2,128
	75 : 25	30.4 ab	24.5 a	179.2 a	7.32 a	1,751
	50 : 50	25.7 b	18.3 b	143.4 b	6.58 b	1,524
	25 : 75	14.3 c	12.2 c	87.6 c	4.36 c	1,416
Water dropwort	100 : 0	35.2 a	66.3 a	73.6 a	4.78 a	2,528
	75 : 25	37.4 a	65.1 a	71.8 a	4.69 a	2,356
	50 : 50	32.1 ab	62.4 a	60.9 b	3.98 b	2,018
	25 : 75	20.3 b	48.6 b	48.26 c	2.16 c	1,301

<sup>2)</sup> Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.05$ .

\* Planting date : 1 Nov. 1997

상추에서는 양액의  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{NH}_4^+$ 의 비율이 75 : 25인 경우에(허, 1993), 미나리에서는 50 : 50에서 생육이 각각 좋다(이와 이, 1991)고 하였다. 본 실험 결과 배추는 75 : 25에서 타 처리에 비하여 생육이 좋아서 허(1993)의 보고와 일치하지만, 미나리의

생육은 50 : 50에 비하여 75 : 25에서 좋게 나타나 이전의 보고(이와 이, 1991)와 일치하지 않았다.

이와 같이 다른 결과가 나타난 것은 이와 이(1991)의 실험에서는 양액의 pH를 주기로 조절하였고, 본 실험에서는 pH가 4 이하로 저하하였을 때 6으로 조절하여 뿌리가 손상을 입고, 그로 인하여 양수분의 흡수가 저해되었기 때문인 것으로 사료되었다.

배추와 미나리 공히 양액의  $\text{NO}_3^-$  비율이 높을 수록 체내  $\text{NO}_3^-$  함량 뿐 아니라 동일한 처리 내에서의 체내  $\text{NO}_3^-$  함량은 배추에 비하여 미나리에서 다소 많았으며, 두 작물 공히  $\text{NH}_4^+$  비율이 높아질 수록 체내  $\text{NO}_3^-$  함량은 감소하였음. 체내  $\text{NO}_3^-$  함량은  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{NH}_4^+$ 의 비율이 100 : 0과 75 : 25에서 25 : 75의 경우에 비하여 배추는 18~33%, 미나리는 7~49% 정도 많았다.

岩田(1968)는 순무의 경우 양액에  $\text{NO}_3^-$ 만 사용하여 재배하면  $\text{NH}_4^+$ 만 사용한 경우에 비하여 체내  $\text{NO}_3^-$  함량이 30배 가까이 많아지고,  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{NH}_4^+$ 를 혼합하여 사용하면  $\text{NO}_3^-$ 만 사용한 경우에 비하여 함량이 적어진다고 보고하였다. 뿐만 아니라 池田와 大澤(1983)에 의하면 상추, 시금치 및 순무에서는 양액의  $\text{NO}_3^-$  비율 증가와 아울러 체내  $\text{NO}_3^-$  함량도 많아지고,  $\text{NH}_4^+$ 만 사용하면 체내  $\text{NO}_3^-$  함량은 거의 0에 가까워진다고 하였다.

본 실험에서도 양액의  $\text{NO}_3^-$  비율이 증가함에 따라 체내  $\text{NO}_3^-$  함량도 높아졌는데, 그 원인은 뿌리를 통하여 왕성하게 흡수된  $\text{NO}_3^-$ 중 질소동화에 이용되지 못한 여분의  $\text{NO}_3^-$ 가 액포에 저장되었기 때문인 것으로 추정되었다.

식물체내 질산염 함량을 저하시키려면 양액의  $\text{NO}_3^-$  농도를 낮추는 것이 합리적이다. 그래서 공급되는  $\text{NO}_3^-$ -N의 비율을 전체 질소의 30% 이내로 하여  $\text{NO}_3^-$ : $\text{NH}_4^+$ 의 비율을 3:7, 2:8 및 1:9로 조절하여 배추와 미나리의 생육 및 체내 질산염 함량을 표 3-4에 나타내었다. 이 경우 양액의 pH가 4 이하로 저하하면 6~7 범위로 조절하면서 작물을 재배하였다.

Table 3-4. Growth and nitrate content of chinese cabbage and water dropwort according to the ratio of  $\text{NO}_3^-$  to  $\text{NH}_4^+$  in nutrient solution used for the experiment.

Crops	Treatment ( $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ )	Plant height (cm)	No. of leaves	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Nitrate content (ppm FW)
Chinese cabbage	3:7	33.2	26.5	187.9	7.94	1,549
	3:7+humus	31.3	25.4	182.4	7.42	1,634
	2:8	32.3	26.2	185.2	7.34	1,273
	2:8+humus	32.3	25.0	187.3	7.51	1,451
	1:9	31.2	24.1	164.3	6.15	1,093
	1:9+humus	30.2	23.6	165.1	6.15	1,271
	Control	36.4	27.4	193.4	8.34	2,543
Water dropwort	3:7	37.2	75.2	74.1	4.74	2,131
	3:7+humus	36.3	73.4	69.5	4.61	2,234
	2:8	35.8	66.2	65.2	4.45	1,864
	2:8+humus	36.1	65.5	64.1	4.36	2,048
	1:9	34.2	65.3	65.2	4.41	1,731
	1:9+humus	33.9	64.3	65.3	4.38	1,865
	Control	40.3	74.2	77.8	4.96	2,894

\* Duncan's multiple range test : N.S.

배추의 경우 초장은 대조구에서 36.4cm로 타 처리에 비하여 길었다. 그러나  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ 의 비율 3:7, 2:8 및 1:9간에는 양액에 humus를 첨가하거나 하지않은 처리 간에 차이가 없었고, 각 처리 공히 대조구에 비하여 초장이 짧았다. 생체중을 살펴 보면 3:7과 2:8에서는 대조구와 차이가 없었으나, 1:9에서는 타 처리에 비하여 가벼웠으며, 건물중 또한 이와 같은 양상을 나타내었음. 체내 질산염 함량은  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ 의 비율 3:7~1:9에서는 1093~1634ppm 범위로 2543ppm을 나타낸 대조구의 35~57% 수준이었다. 동일한  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ 의 비율에서 식물체내 질산염 함량은 humus를 처리한 구에서 더 많았는데, 그 원인은 humus에 질산태 질소가 일부 함유되었기 때문인 것으로 사료되었다.

미나리에서도 배추와 비슷한 양상을 나타내어  $\text{NO}_3^-$ 의 비율이 높을수록 초장이 길고, 엽수가 많았으며, 생체중과 건물중도 무거웠다. 뿐만 아니라 체내 질산염 함량도 많았음. 그러나 미나리의 경우 배추에 비하여 체내 질산염 함량이 많았는데, 미나리의 경우 배추에 비하여 엽병 및 줄기가 차지하는 비율이 높았기 때문인 것으로 사료되었다.

이와 같이 처리에 따라서 생육 및 체내 질산염 함량은 두 작물 공히 차이가 있으나 가장 많은 미나리의 대조구에서 2894ppm을 나타내어 소비자들이 우려할 수준은 아니었다.

질소형태의 비율과 pH 조절 시약에 따른 배추와 미나리의 생육 및 체내 질산염 함량을 표 3-5에 나타내었다.

Table 3-5. Growth of chinese cabbage and water dropwort affected by the ratio of  $\text{NO}_3^-$  to  $\text{NH}_4^+$  and chemicals to adjustment of nutrient solution pH.

Crops	$\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$	Chemicals for pH adjustment	Plant height (cm)	No. of leaves	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	
Chinese cabbage	3 : 7	NaOH	30.5	29.8	195.0	9.30	
		KOH	30.9	30.5	187.5	7.65	
		$(\text{NH}_4)\text{CO}_3$	29.8	29.8	167.5	8.24	
	2 : 8	NaOH	32.7	28.3	185.0	8.76	
		KOH	31.5	27.3	192.5	7.10	
		$(\text{NH}_4)\text{CO}_3$	31.9	31.5	180.0	7.66	
	1 : 9	NaOH	26.5	26.5	115.4	7.77	
		KOH	26.0	26.8	106.0	6.22	
		$(\text{NH}_4)\text{CO}_3$	23.9	27.0	97.6	5.90	
		Control		32.4	31.6	201.3	10.1
	Water dropwort	3 : 7	NaOH	36.6	75.0	114.1	5.19
			KOH	39.5	57.3	101.0	6.01
$(\text{NH}_4)\text{CO}_3$			36.4	74.5	87.2	5.63	
2 : 8		NaOH	37.0	74.0	65.2	4.27	
		KOH	36.4	75.5	73.2	4.67	
		$(\text{NH}_4)\text{CO}_3$	35.2	70.5	77.0	4.85	
1 : 9		NaOH	37.0	76.5	74.9	4.93	
		KOH	36.1	78.5	82.9	5.03	
		$(\text{NH}_4)\text{CO}_3$	30.3	64.5	57.4	4.47	
		Control		40.4	79.3	115.6	6.12

pH의 상승을 위하여 이용한 NaOH, KOH,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  등 3종의 알칼리성 시약을 이용할 경우 이들간의 생육 차이는 크지 않았다. 그러나 NaOH와 KOH를 이용한 경우에 비하여  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 이용하였을 때 생체중이 가벼워지는 경향을 나타내었다. 이러한 현상은

배추에 비하여 미나리에서 뚜렷하였다.

池田와 大澤(1981)에 의하면 배추는  $\text{NO}_3^-$ 를, 미나리는  $\text{NH}_4^+$ 를 각각 우선적으로 흡수한다고 하여 두 작물을 공시하였는데,  $\text{NH}_4^+$ 를 우선적으로 흡수한다고 하는 미나리에서 2:8을 제외한 각 처리 공히 생체중의 저하가 배추에 비하여 뚜렷하였다. 이와 같은 결과는 미나리가  $\text{NH}_4^+$ 를 우선적으로 흡수하기 때문에 양액의 pH가 급속히 저하되었기 때문으로 사료되지만 좀 더 세밀한 검토가 이루어져야만 그 원인을 알 수 있을 것이다.

질소원으로 6.5meq/L의 탄산암모늄을 시용하고 양액의 pH를 각기 다른 알칼리성 시약을 이용하여, 5~7 범위로 유지하면서 청경채를 재배할 경우(표 3-6) 탄산암모늄으로 pH를 조절함과 동시에 질소를 준비한 처리에서 생육은 대조구와 대등하였으나 질산염 함량은 1/20 정도로 낮출 수 있었다. 뿐만 아니라 NaOH와 KOH를 이용하여 양액의 pH를 조절한 경우에도 작물의 생육은 대조구와 차이가 없으면서도 식물체내 질산염 함량은 200ppm FW대로 낮출 수 있었다.

Table 3-6. Growth and nitrate content of pak-choi according to the chemicals for adjustment of solution pH.

Chemicals for pH adjustment	Plant height (cm)	No. of leaves (매/주)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Nitrate content <sup>2)</sup> (ppm FW)
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	15.3	12.5	42.3	1.86	286
NaOH	12.4	10.3	39.2	1.75	268
KOH	13.2	10.9	40.1	1.81	279
Control <sup>2)</sup>	16.8	13.2	45.3	2.01	4,215

<sup>2)</sup> The used of nitrate electrode for nitrate analysis

<sup>3)</sup>  $\text{NO}_3^- \text{-N} : \text{NH}_4^+ \text{-N} = 6 : 0.5 \text{meq/L}$



질소원으로 탄산암모늄을 사용하면 양액의 pH가 저하되는데, 이의 안정화를 위하여 엔다이브를 재배하면서 유기물의 일종인 humate를 첨가하여 작물의 생육과 pH의 변화를 조사하였다. 본 실험도 양액의 질소농도는 6.5meq/L로 고정시킨채 수행하였다.

양액의 질소 전량을 탄산암모늄으로 공급하고, 양액 1ℓ당 humate를 300, 600 및 900ppm을 각각 첨가한 처리와 첨가하지 않은 처리간의 생육 및 양액의 pH 변화는 표 3-7과 같았다.

엔다이브의 생육은 양액에 humate를 첨가한 경우에 더 좋았다. 그러나 양액 1ℓ당 300~900ppm 범위의 humate를 첨가하였을 때 양액의 pH 저하폭은 무첨가에 비하여 상당히 작았으며, 생체중 또한 무첨가에 비하여 10g 이상 무거웠으나 대조구에 비하면 50% 정도밖에 안되어 humate의 첨가만으로는 pH의 안정화 및 작물의 생육을 유지하는데 한계가 있으나 어느 정도는 기여하는 것으로 사료되었다. 이와 같이 humate를 첨가한 경우 pH가 안정되는 것은 humate가 양이온(H<sup>+</sup>)을 흡착하여 pH의 저하를 억제하는 것으로 사료되었음. 따라서 양액에 유기물의 일종인 humate와 humus의 혼합 첨가도 고려할 만 하다고 할 수 있었다.

Table 3-7. Effect of humate addition in nutrient solution on growth and pH used for culture of endive.

Humate addition amount (ppm)	Plant height (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Nitrate content (ppm FW)	Range of solution pH <sup>2)</sup>
0	13.6	32.1	1.21	275	7.0~3.6
300	17.2	43.4	1.63	286	7.0~4.6
600	19.5	45.1	1.68	268	7.0~4.8
900	20.8	45.8	1.73	273	7.0~5.2
Control	23.4	81.3	2.08	4,153	7.0~6.8

<sup>2)</sup> 7 days after treatment

### 3) 양액의 pH 및 EC 변화

표 3-8는 질소형태 비율과 pH 조절 시약의 종류에 따른 배추와 미나리의 생육 및 체내 질산염 함량을 나타낸 것이다.

두 작물 공히 양액의 pH 저하 속도는 비슷한 경향을 나타내었다. 양액을 공급할 때의 pH는 5.51-6.85 범위였으나 3일이 경과한 5월 2일에는 대부분의 처리에서 pH 4 이하로 저하되어 6 이상이 되도록 조절을 하였으나 4일이 경과된 5월 6일에는 거의 모든 처리에서 4.5 이하로 저하되었다. 결국 암모늄을 주된 질소 공급시에는 적어도 3일에 1회씩 pH를 조절해야만 작물의 생육에 지장이 없을 것으로 생각되며, 그러기 위해서는 양액의 pH 조절장치가 필수적으로 설치되어야 할 것으로 판단되었다.

양액의 EC 변화(표 3-9)는 양액 공급 후 2일이 경과한 5월 1일 까지 서서히 저하하였으나 5ℓ의 지하수를 보충한 5월 2일부터 5월 6일까지는 약간의 상승추세를 나타내었다. 그리고 탄산암모늄의 시용 농도가 높은 1:9의 경우 양액의 EC가 4까지 상승되어 엽채류 재배용 양액으로는 지나치게 고농도이기 때문에 한번에 6.5me/ℓ의 탄산암모늄을 공급하기보다는 3.5-4me/ℓ의 탄산암모늄을 공급하고, 그 후에는 추비의 형태로 분시하는 것이 합리적일 것으로 사료되었다.

Table 3-8. Change of pH affected by the ratio of  $\text{NO}_3^-$  to  $\text{NH}_4^+$  in nutrient solution and chemicals for adjustment.

Crops	$\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$	Chemicals for pH adjustment	Measured date						
			29 Apr.	30 Apr.	1 May	2 May <sup>z)</sup>	4 May	6 May	
Chinese cabbage	3:7	NaOH	5.88	5.43	4.76	6.90	6.32	4.47	
		KOH	5.62	5.15	4.74	6.90	5.60	4.27	
		$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	5.51	5.17	4.65	7.20	7.02	6.18	
	2:8	NaOH	6.30	5.80	5.02	6.81	6.27	4.23	
		KOH	6.12	5.55	5.05	7.03	6.00	4.66	
		$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	5.88	5.54	4.82	7.62	6.81	6.11	
	1:9	NaOH	6.06	5.37	3.82	7.96	5.94	3.39	
		KOH	6.25	5.67	3.95	6.94	4.46	3.46	
		$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	5.74	5.08	3.79	6.32	3.83	3.79	
			Control	6.80	6.91	7.10	7.24	7.48	7.20
	Water dropwort	3:7	NaOH	5.92	5.44	4.77	7.07	6.16	4.06
			KOH	6.29	5.76	5.05	6.87	5.21	3.75
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$			6.70	6.35	5.54	6.98	6.09	4.15	
2:8		NaOH	5.98	5.14	4.26	7.03	6.59	3.99	
		KOH	6.08	5.63	5.15	6.55	4.88	4.49	
		$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	6.24	5.59	4.09	7.34	7.01	3.76	
1:9		NaOH	5.98	5.70	4.52	6.77	4.87	3.77	
		KOH	5.94	5.85	4.79	6.48	4.70	3.60	
		$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	6.78	6.22	5.38	6.41	4.80	3.74	
			Control	6.85	6.94	7.16	7.53	7.69	7.74

z) Addition to 5 liters water

※ Ammonium nitrogen source was ammonium carbonate.

Table 3-9. Change of EC affected by the ratio of  $\text{NO}_3^-$  to  $\text{NH}_4^+$  in nutrient solution and chemicals for adjustment.

Crops	NO <sub>3</sub> : NH <sub>4</sub>	Chemicals for pH adjustment	Measured date						
			29 Apr.	30 Apr.	1 May	2 May	4 May	6 May	
Chinese cabbage	3:7	NaOH	2.65	2.61	2.57	1.97	1.99	2.02	
		KOH	2.69	2.64	2.60	1.97	1.99	2.01	
		(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2.60	2.56	2.53	1.97	2.01	2.02	
	2:8	NaOH	3.12	3.01	2.94	2.12	2.17	2.34	
		KOH	3.11	2.98	2.93	2.23	2.26	2.35	
		(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3.30	3.14	3.05	2.55	2.52	3.01	
	1:9	NaOH	3.57	3.28	3.20	2.52	2.64	3.08	
		KOH	3.47	3.22	3.12	2.45	2.57	2.91	
		(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3.38	3.11	3.03	2.49	2.58	2.93	
		Control	1.52	1.48	1.41	1.32	1.28	1.16	
	Water dropwort	3:7	NaOH	3.49	3.40	3.61	2.76	2.80	2.94
			KOH	2.66	2.62	2.57	2.04	2.14	2.17
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>			2.69	2.65	2.61	2.01	2.08	2.18	
2:8		NaOH	3.19	2.94	2.90	2.32	2.34	2.45	
		KOH	3.26	3.08	3.02	2.41	2.48	2.71	
		(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3.32	3.14	3.06	2.56	2.60	2.78	
1:9		NaOH	4.02	3.84	3.72	3.07	3.15	3.52	
		KOH	4.58	4.30	4.16	3.40	3.57	4.07	
		(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3.76	3.55	3.45	2.69	2.82	3.32	
	Control	1.54	1.49	1.41	1.25	1.20	1.12		

z) Addition to 5 liters water

※ Ammonium nitrogen source was ammonium carbonate.

질소 공급원으로 탄산암모늄을 이용하여 양액의 pH를 5~7 범위로 유지하면서 상추를 재배할 경우 탄산암모늄의 농도가 8.5meq/L일 때 대조구( $\text{NO}_3^-$ -N :  $\text{NH}_4^+$ -N = 6 :

0.5meq/L)와 대등한 생육을 보였을 뿐 아니라 질산염 함량은 대조구의 1/10 이하인 200ppm FW대를 나타내었다(표 3-10). 한편 6.5, 10.5 및 12.5meq/L의 탄산암모늄을 공급한 처리에서의 생육은 여타의 처리에 비하여 다소 저조하였으나, 질산염의 함량은 현저하게 저하시킬 수 있었다. 그러나 양액의 pH 저하로 pH를 조절하지 않고 방치할 경우 작물의 생육이 저해되므로 이의 해결을 위한 연구가 뒤따라야할 것으로 사료되었다.

Table 3-10. Growth of leaf lettuce and nitrate content according to the ammonium carbonate concentration in nutrient solution used for the experiment.

(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> concen. (meq/L)	Plant length (cm)	No. of leaves	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Nitrate content (ppm FW)
6.5	21.6	18.2	101	4.21	248
8.5	23.8	19.1	112	4.38	293
10.5	19.3	17.8	98	3.92	287
12.5	18.2	17.2	87	3.87	216
Control <sup>2)</sup>	24.8	19.8	121	4.51	3,628

<sup>2)</sup> (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N = 6 : 0.5meq/L

<sup>y)</sup> Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.05$ .

이미 유럽에서는 수확 5~7일 전에 양액의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>를 Cl<sup>-</sup>로 대체하는 방법으로 체내 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량을 40% 정도 감소시키고 있다. 여기에서는 배추와 미나리의 생육 및 체내 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량에 대하여 앞의 실험에서 밝혀진 바 있는 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 질소원으로 이용하는 방법과 유럽에서 이용되는 방법간의 효과를 비교하였다(표 3-11).

Table 3-11. Comparison of growth and nitrate content according to the lowering method of nitrate for chinese cabbage and water dropwort grown with hydroponics.

Crops	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> lowering method	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Nitrate content (ppm FW)
Chinese cabbage	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	163.4 a <sup>x)</sup>	6.84 a	521 c
	Cl-solution <sup>z)</sup>	171.3 b	6.96 b	1,258 b
	Control <sup>y)</sup>	184.3 a	7.31 a	2428 a
Water dropwort	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	70.6 a	4.01 a	548 c
	Cl-solution	61.3 b	4.63 b	1,084 b
	Control	76.8 a	4.71 a	548 a

z) Chloride replaced part of the nitrate last 1 week before harvesting.

y) NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N = 6 : 0.5 me/ℓ

x) Duncan's multiple range test at  $p \leq 0.05$ .

배추와 미나리 공히 수확 1주일 전에 양액의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>를 Cl<sup>-</sup>로 대체한 경우에는 배추의 생체중과 건물중은 171.3 및 6.96g을, 미나리의 경우는 61.3 및 4.63g을 각각 나타내어 대조구에 비하여 가벼웠다. 배추와 미나리의 체내 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량은 대조구에서 2,428ppm 및 2,548ppm을, 양액의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>를 Cl<sup>-</sup>로 대체한 경우에는 1,258 및 1,084ppm을 각각 나타내었으나, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 공급한 처리에서는 500ppm 대로써 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량 저하 효과가 뚜렷하였다.

본 실험에서는 양액의 pH를 1일에 1회씩 측정한 후 6.0~6.5 범위로 조절하였기 때문에 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 시용한 경우에는 대조구에 비하여 생육이 다소 뒤지는 편이었는데, pH를 좀 더 자주 조절해 준다면 대조구와의 생육 차이를 극복할 수 있을 것으로 사료되었다. 그리고 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 질소원으로 이용할 경우 배추와 미나리의 생육이 대조구와 대등하였던 것은 양액에 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 이온이 집적되어 pH의 저하 속도가 완만하였기 때문에 1일 1회의 조절로도 pH를 5 이상으로 유지시킬 수 있었기 때문인 것으로 생각되었다.

### 3. 양액조성 변화에 의한 불필요 이온의 집적량 및 작물에 미치는 한계농도 구명

암모늄태 질소를 주된 질소원으로 작물을 재배할 경우 양액중에 Na와 Cl 등의 농도가 높아진다. 이들의 농도가 지나치게 높을 경우 작물의 생육에 지장을 주기 때문에 이의 조절이 필요하다. 따라서 작물의 생육에 지장을 주는 이들의 농도를 구명할 필요가 있다.

Na와 Cl의 농도를 달리하여 상추를 재배한 결과 나타난 생육 반응은 표 3-12와 같다.

Table 3-12. Effect of Na and Ca concentration in nutrient solution on growth of leaf lettuce grown with hydroponics.

Elements	Concentration (ppm)	Plant height (cm)	No. of leaves	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Content of plant tissue (ppm FW)	Concentration of nutrient solution (me/l)
Na	100	23.5 a	16.1 a	88.3 a	3.72 a	2,312 a	3.26 d
	200	23.8 a	16.3 a	85.7 a	3.70 a	2,451 a	5.28 c
	300	21.2 ab	15.2 ab	80.6 ab	3.12 b	2,326 a	6.36 b
	400	18.6 b	14.3 b	73.8 b	2.89 b	2,763 a	8.21 a
	Control <sup>12)</sup>	24.3 a	16.0 a	89.2 a	3.70 a	123 b	0.43 e
Cl	100	23.7 a	16.7 a	87.6 a	3.78 a	2,413 a	2.83 c
	200	22.6 a	15.7 a	85.8 a	3.77 a	2,532 a	3.21 c
	300	18.4 ab	13.2 b	72.1 b	3.68 ab	2,568 a	5.34 b
	400	16.2 b	12.8 b	68.3 b	2.71 a	2,736 a	6.83 a
	Control	24.2 a	16.9 a	88.1 a	3.91 a	156 b	0.21 d

z) Yamasaki's solution for culture of lettuce

※ Planting date : 20 June

양액중의 Na 농도에 따른 상추의 초장은 200ppm까지는 차이가 없으나 300ppm 이상이 되면 초장이 짧아지기 시작하였다. Na 농도가 400ppm에 도달하면 초장은 대조구에 비하여 25% 정도 짧아졌다. 염수와 염장 또한 200ppm이 넘어서면 감소하기 시작하였고, 생체중과 건물중 또한 이와 비슷한 양상을 나타내었다. Cl의 경우도 이와 같은

양상으로 변화하였으나 생육의 저하 정도가 Na에 비하여 더 컸다. 뿐만 아니라 양액 중의 Cl 농도가 200ppm 이상인 경우 tip-burn 현상이 나타나기 시작하여 상품가치가 저하되었다. 식물체내의 Na와 Cl 함량 및 양액중의 농도는 이들의 첨가량이 많을수록 높아져서 300과 400ppm을 공급한 경우에는 작물의 생육이 크게 저해될수 있는 정도의 농도가 양액에 집적되었다. 따라서 두 성분의 농도는 200ppm 이내가 되도록 하는 것이 좋을 것으로 사료되었다.

#### 4. 질산염 함량이 적은 엽채류 생산에 적합한 양액의 조성 및 여러 작물에 대한 적용 가능성

위의 실험들에 의하여 표 3-13과 같은 양액이 조성되었으며, 이 양액으로 다양한 엽채류를 재배하여 작물의 생육 및 식물체내 질산염 함량을 조사하였음(표 3-14).

Table 3-13. Chemical composition of nutrient solution used ammonium carbonate as nitrogen source

Chemicals	Supplied amount(g/kℓ)
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	87
KCl	222
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	74
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	99
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	168
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	123

양액의 EC 상승을 방지하기 위하여 탄산암모늄의 농도를 3.5me/ℓ로 하고, 부족한 질소는 추비의 형태로 보충하되 양액의 pH가 지속적으로 저하하므로 1일에 1회씩 pH를 조절해야만 정상적인 생육을 유지할 수 있었다.



Table 3-14. Effect of new method for reduction of  $\text{NO}_3^-$  content in hydroponically grown several vegetable crops.

Methods	Crops	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	$\text{NO}_3^-$ content (ppm FW)
New method	Collard	111	5.21	532
	Radish	29	1.74	483
	Endive	56	3.02	456
	Pak-choi	58	2.44	528
	Welsh onion	18	0.58	501
	Garland chrysan.	38	2.28	531
	Chinese cabbage	146	6.28	526
Control <sup>z)</sup>	Collard	116	5.24	3,138
	Radish	28	1.72	3,102
	Endive	53	3.12	2,930
	Pak-choi	57	2.40	2,834
	Welsh onion	20	0.51	2,683
	Garland chrysan.	40	2.31	2,953
	Chinese cabbage	149	6.31	2,876

z)Yamasaki's solution for culture of lettuce

※ Planting ate : 20 May, 1998.

표 3-13의 양액과 기존의 양액으로 콜라드 등 7종의 엽채류를 재배한 결과 작물의 생육은 기존의 양액과 거의 대등하면서도 질산염 함량은 현저하게 저하시킬 수 있었다. 그러나 양액의 pH를 작물의 생육에 적합한 범위로 유지시켜야만 정상적인 생육을 유지할 수 있었다.

## 제2절 암모늄을 주 질소원으로 한 양액의 안정화 방법개발

### 1. 몇가지 미량원소 농도와 상추의 생육, 질산염 함량 및 질산환원효소의 활성

양액의 Mo, Zn 및 Mn의 농도를 0.5, 5 및 10ppm으로 달리하여 수경재배한 상추의 생육, 체내 질산태 질소함량 및 질산환원효소의 활성은 처리간에 차이가 없었다. 이 미량원소들은 효소의 활성과 밀접한 관련이 있다고 알려져 있으나, 작물의 생육에 적합한 농도만으로도 효소의 활성 유지에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 그러나 1주일간 양액중의 이 성분들을 제거했다가 각기 5ppm의 농도를 공급하면 효소의 활성은 4-6시간 이후에 정상적인 수준에 도달했다. 이와 반대로 정상적인 양액에서 재배하다가 이 성분들을 제거하면 12시간 이내에 약 50% 정도 그 활성이 저하되었다.

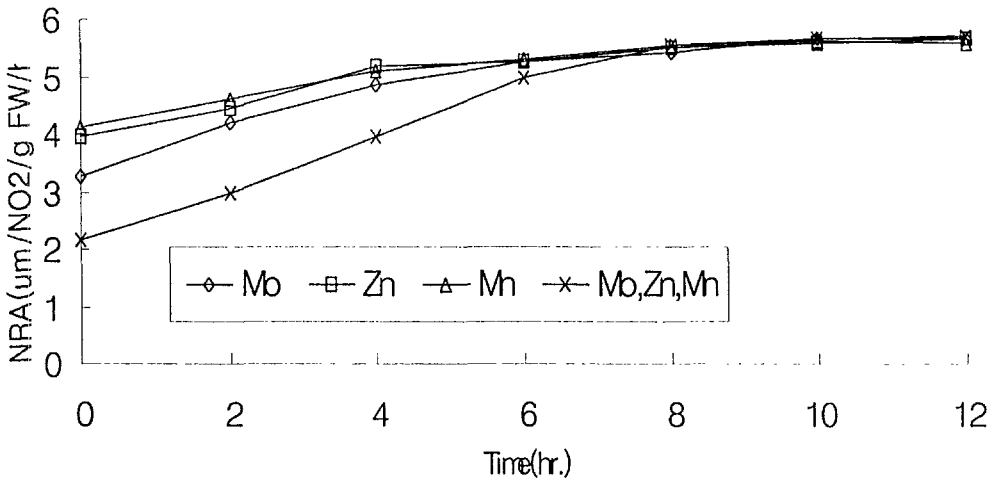


Fig. 3-1. Effect of Mo, Zn and Mn on nitrate reductase activity of leaf lettuce grown with hydroponics. Each element concentration was 0.5ppm.

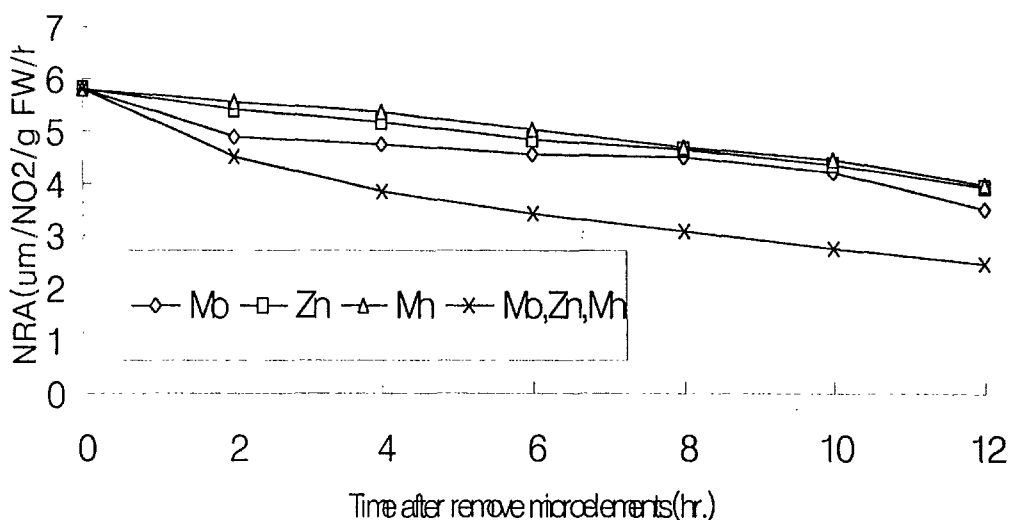


Fig. 3-2. Effect of Mo, Zn and Mn removal in nutrient solution on nitrate reductase activity of leaf lettuce grown with hydroponics.

Table 3-15. Effect of Mo, Zn and Mn concentration in nutrient solution on growth, nitrate content, nitrate reductase activity of water dropwort grown with hydroponics.

Micro-element	Concen. ( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Nitrate content (ppm FW)	NRA ( $\mu\text{M NO}_2^- \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{h}^{-1}$ )
Mo	0.5	84.3	3.26	3,138 ab	5.7 ab
	5.0	85.1	3.41	3,014 b	6.2 a
	10.0	85.4	3.43	3,016 b	6.3 a
Zn	0.5	84.3	3.28	3,214 ab	5.5 ab
	5.0	86.2	3.46	3,101 ab	5.8 ab
	10.0	87.1	3.68	3,099 b	5.8 ab
Mn	0.5	84.3	3.31	3,395 a	5.1 b
	5.0	85.1	3.49	3,416 a	4.7 bc
	10.0	84.7	3.41	3,458 a	4.7 bc

Mean separation within the same column by Duncan's multiple range test, 5% level.

Table 3-16. Effect of Mo, Zn and Mn concentration in nutrient solution on growth, nitrate content, nitrate reductase activity of water dropwort grown with hydroponics.

Micro-element	Concen. ( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Nitrate content (ppm FW)	NRA ( $\mu\text{M NO}_2^- \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{h}^{-1}$ )
Mo	0.5	34.3	2.26	4,342 b	5.0 b
	5.0	35.1	2.41	4,128 bc	5.8 a
	10.0	35.4	2.43	4,108 bc	5.8 a
Zn	0.5	34.3	2.28	4,352 b	5.1 b
	5.0	36.2	2.46	4,317 b	5.2 b
	10.0	37.1	2.68	4,295 b	5.1 b
Mn	0.5	34.3	2.31	4,753 a	4.6 bc
	5.0	35.1	2.49	4,812 a	4.4 c
	10.0	34.7	2.41	4,931 a	4.4 c

Mean separation within the same column by Duncan's multiple range test, 5% level.

## 2. 양액에 humus의 첨가가 생육 및 질산염 함량에 미치는 영향

상추의 생체중은 질산태 질소의 비율이 높을수록 무거웠다. 그러나 양액 1ℓ 당 1.5~2 ml의 humus를 첨가한 경우 질소 형태의 비율에 관계없이 대등한 생육을 보였다. 양액의  $\text{NO}_3:\text{NH}_4$ 의 비율이 60:40인 경우 무첨가에 비하여 40% 정도의 생체중 증가를 나타내었다. 생체중의 증가 원인은 양액의 pH 저하를 완하시킨데에 기인된 것으로 생각되는데, 그림에 나타난 처리별 pH의 변화가 이러한 추정을 설명하고 있다. 그리고 humus의 첨가에 의하여 양액의 pH 저하가 완화된 것은 양액중의  $\text{H}^+$  이온을 흡착하였기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 식물체내 질산태 질소의 함량은 humus의 첨가량이 많아질수록 증가하였다.

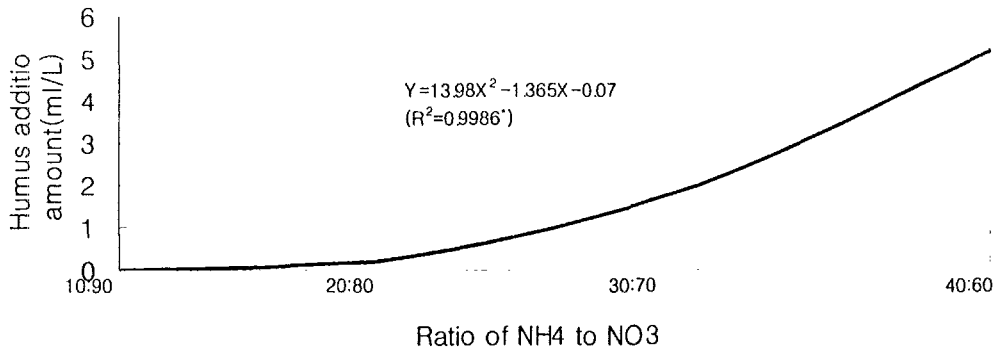


Fig. 3-3. Optimum humus addition amount to nutrient solution according to the ratio of NH<sub>4</sub>-N : NO<sub>3</sub>-N.

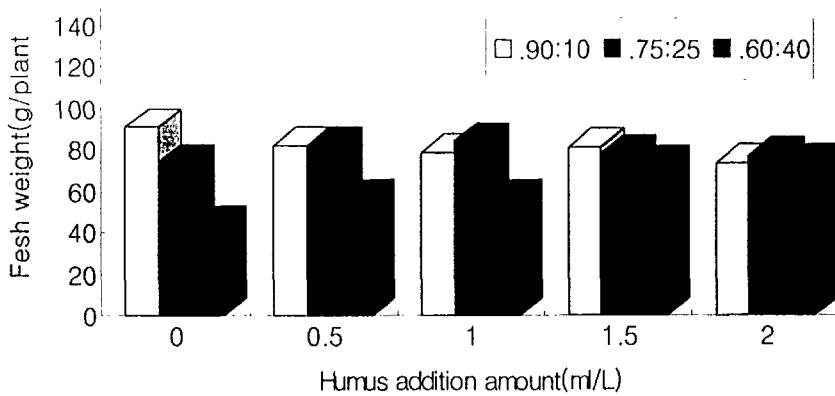


Fig. 3-4. Effect of humus on fresh weight of leaf lettuce grown with hydroponics according to the ratio of NO<sub>3</sub>: NH<sub>4</sub>.

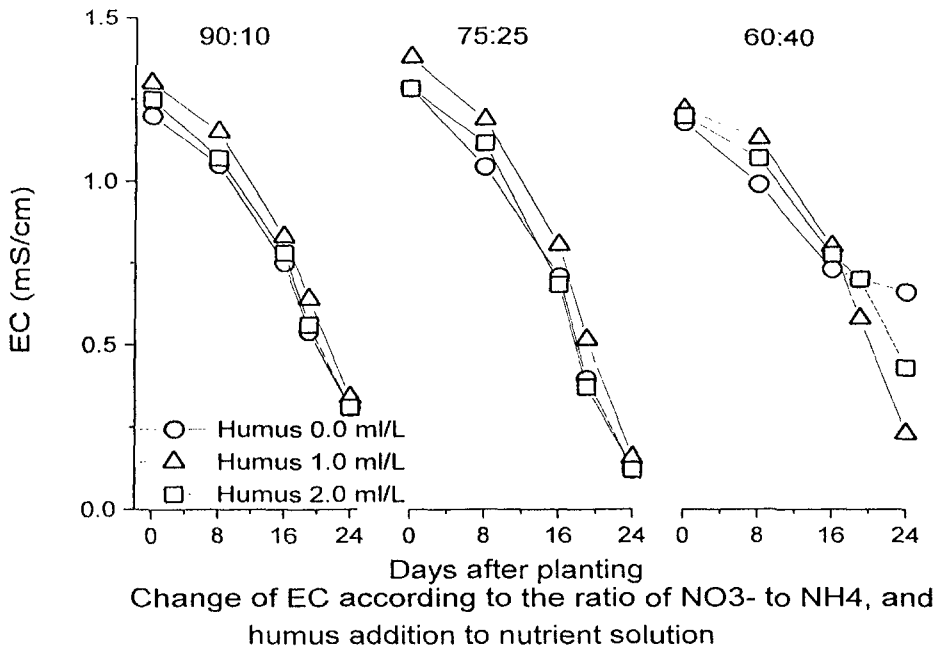


Fig. 3-5. Change of EC according to the ratio of  $\text{NO}_3^-$  to  $\text{NH}_4^+$ , and humus addition to nutrient solution

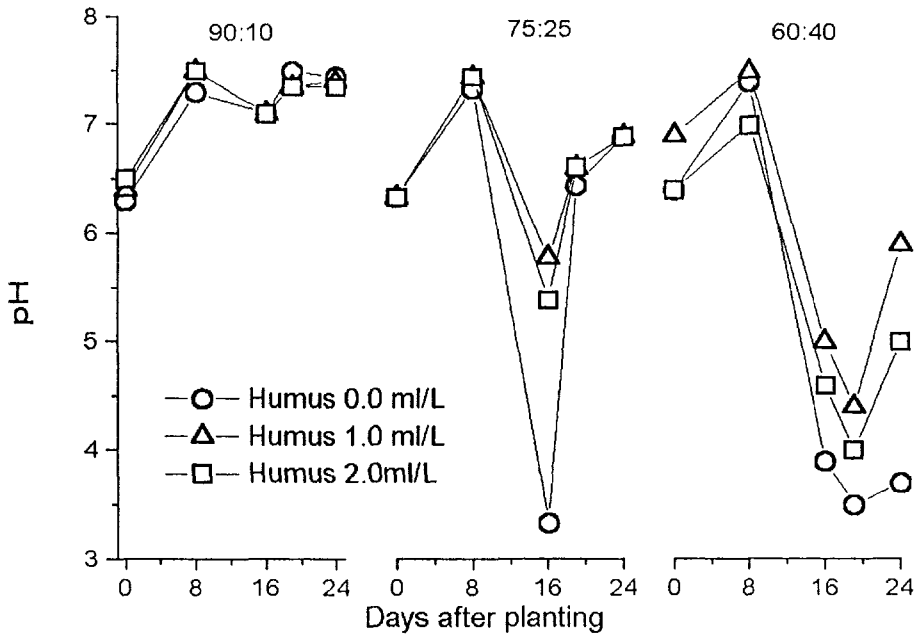


Fig. 3-6. Change of Solution pH according to the ratio of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> to NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and humus addition to nutrient solution

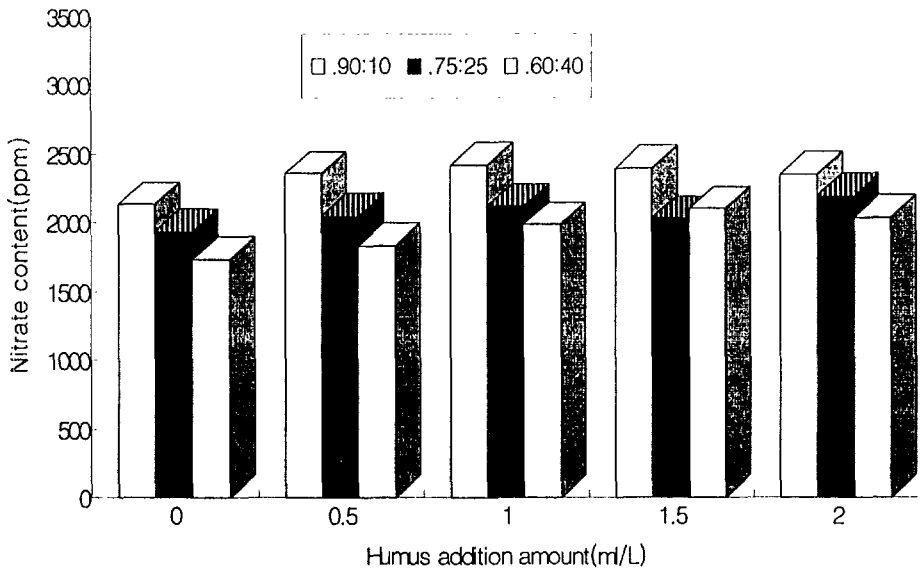


Fig. 3-7. Effect of humus on nitrate content of leaf lettuce grown with hydroponics.

## 제5장 질산염 관련 채소의 재배생리 현상 연구

### 제1절 노지와 시설재배 조건에 따른 채소 생육, 수량 및 질산염 집적

#### 1. 노지와 시설재배 조건에서 재배한 무의 생육, 수량 및 질산염 집적

노지와 시설재배조건하에서 질소 시비수준을 달리하여 무를 재배한 결과, 지상부(무청)와 근 지하부 생육의 차이는 그림4-1과 같이 나타났다. 무청은 노지재배에 비해 시설재배조건에서 무성하게 자랐으나 근 수량은 시설재배에 비해 노지재배조건에서 월등히 높았다.

노지에서 재배한 무는 무청 수량에 비해 근 수량이 질소 시비수준이 증가함에 따라 크게 증가하였으나, 시설재배조건에서 재배한 무는 무청의 수량 증가에 비해 근 수량 증가는 상대적으로 그리 크지 않았다. 이같은 현상은 재배조건과 질소시비수준별 근장, 근직경, 무청의 엽장을 나타낸 그림4-2, 4-3, 4-4에서 보다 분명하게 나타났다.

무 수량은 그림4-1에서 알수 있는 바와 같이 노지재배의 경우 무비구(질소 0 kg/ha)168g, 보비구(질소 kg/ha) 1118g, 배비구(질소 kg/ha) 1309g으로 크게 증가한 반면 시설재배의 경우 무비구 314g, 보비구 595g, 배비구 968g으로 증가 폭이 상대적으로 적었다. 그러나 질소시비량이 증가할수록 무 수량은 어느 재배조건에서도 배비구 수준까지 계속 증가하는 경향을 나타냈다.

그림4-5는 질소시비수준을 달리한 노지에서 무를 재배한 토양의 근권깊이별 질산태질소 함량을 10월 9일부터 11월 15일 즉 수확기까지 나타낸 것이다. 무비구 표토층(0-15cm)내 질산태질소 함량은 대개 10ppm이내였으나 보비구는 15ppm, 배비구는 25-30ppm수준으로 높았다. 한편 심토층(15-30cm)내 질산태질소 함량은 무비구 8ppm, 보비구 13-14ppm, 배비구 25ppm내외로 표토층에 시용한 질소가 점차 토양하층부인 심



토층으로 용탈되고 있으며 배비구에서 특히 심하게 나타나고 있음을 보여 주었다.

시설재배의 경우 이같은 질산염 용탈은 더욱 심하게 이루고 지고 있음을 그림4-6에서 알수 있었다. 시설재배는 질소시비수준에 관계없이 모든 근권깊이의 질산태질소 함량이 노지재배에 비해 월등히 높았다. 특히 보비구의 경우 표토층의 질산태질소 함량이 22-33ppm에 달하고 심토층의 질산태질소 함량도 21-28ppm에 달해 노지재배 배비구의 표토층과 심토층의 질산태질소 함량 수준과 비슷한 것으로 나타났다. 시설재배 배비구의 경우 표토층 32-43ppm, 심토층 24-32ppm을 나타내 가장 높은 질산태질소 함량을 나타냈다. 시설재배 표토층과 심토층의 이같은 높은 질산태질소 함량은 언제든지 질산염 용탈 현상으로 이어질 수 있다는 가능성이 있다.

그림4-1, 그림4-5 및 그림4-6에서 알수 있는바와 같이 노지재배 보비구와 배비구의 무수량이 시설재배보다 더욱 많았고 노지재배 보비구와 배비구 근권토양의 질산태질소 함량이 시설재배에 비해 상대적으로 크게 낮았음은 시설재배에서 추천시비량을 초과하는 과다시비가 무수량의 증가보다 근권토양의 질산태질소 함량 증가로 나타나고 이것은 다시 질산염 용탈을 야기 할 수도 있다고 판단되었다.

질소시비량 증가에 따라 무 식물체의 부위별로 질산염 함량이 얼마나 집적되는가를 나타낸 것이 그림 4-7이다. 노지재배의 경우 수확기인 11월 15일경의 무 지하부인 근의 질산염 함량은 무비구 753ppm, 보비구 1736ppm, 배비구 2538ppm이었으나 시설재배에서 재배한 무는 무비구 1843ppm, 보비구 2255ppm, 배비구 2649ppm을 나타냈다. 무청의 질산염 함량도 노지재배의 경우 무비구 1162ppm, 보비구 2595ppm, 배비구 2967ppm이었으나 시설재배에서 재배한 무는 무비구 2510ppm, 보비구 2748ppm, 배비구 3018ppm을 나타냈다. 시설조건에서 재배한 무 근과 무청의 질산염 함량이 노지에서 재배한 무에 비해 모든 질소시비조건에서 월등히 높았던 것은 근권토양의 고 질산태질소 함량과 밀접히 연관되어 해석할 수 있다고 판단되었다.

## 2. 노지와 시설재배 조건에서 재배한 배추의 생육, 수량 및 질산염 집적

질소시비조건에 따라 배추의 수량이 어떻게 달라지는가를 나타낸 것이 그림4-8이다. 노지재배의 경우 무비구의 배추 수량은 835g이었으나 추천시비량을 시용한 보비구는 1765g, 배비구는 1958g으로 높아졌다. 이에 비해 시설재배 무비구의 배추수량은 1383g, 보비구 1683g, 배비구 1775g으로 질소시비량이 증가할수록 증가하였으나 노지재배에 비해 증가폭은 크지 않았다. 무비구를 제외하고 보비구와 배비구에서의 배추수량은 노지재배에서 시설재배보다 많았으며 이는 무의 수량변이와 동일한 경향이었다.

질소시비조건과 재배조건에 따른 엽폭과 엽장의 차이는 그림4-9과 그림4-10과 같다. 노지재배의 경우 무비구의 엽장이 10월 이후 생육후기에 미미한 증가를 보인 반면, 보비구와 배비구의 엽장은 크게 증가하는 양상을 보였다. 그러나 시설재배의 경우 무비구, 보비구, 배비구간의 별 차이 없이 생육이 진전됨에 따라 꾸준히 증가하는 양상을 나타냈다. 이같은 양상은 엽폭의 경우에도 동일하게 나타나 시설과 노지재배조건에서 생육진전에 따라 증가하는 경향을 나타냈으나, 다만 시설재배 배비구의 경우 오히려 보비구에 비해 수확기에 엽폭이 조금 작았다.

배추의 엽수는 그림4-11에서 알수 있는바와 같이 질소시비량에 따른 차이가 수량의 차이와 비슷하게 나타났다. 이는 배추수량이 엽수의 증가와 밀접하게 연관되어 있음을 뜻하며 노지조건에서 질소시비처리 수준간 엽수 증가폭 차이가 시설재배조건에서 보다 더욱 뚜렷하였다.

질소시비수준을 달리한 배추 재배토양의 질산염 함량을 경시적으로 나타낸 것이 그림 4-12와 그림 4-13이다. 노지재배의 경우 시험전 토양의 질산염 함량은 표토 11.3ppm, 심토 9.8ppm이었고 무비구의 질산태질소 함량은 표토와 심토에서 8-9ppm 수준을 보였으나, 질소비료시용후 보비구의 질산태질소 함량은 표토 14-19ppm, 심토 12-17ppm 수준을 나타냈고, 배비구의 질산태질소 함량은 표토 25-33ppm, 심토 23-28ppm 수준을 각각 나타냈다. 시설재배의 경우에도 역시 같은 경향을 보여 시험전 토양의 질산염 함량은 표토 15.8ppm, 심토 13.2ppm에 비해 보비구의 표토 25-33ppm, 심토 23-31ppm, 배비구의 표토 33-42ppm, 심토 31-38ppm 수준으로 상대적으로 더욱 높아졌다. 이같은 결과

는 표토층에 시용한 질소비료가 점차 하부 토양층으로 이동하여 보비구와 배비구의 심토층에서 높은 질산태질소 함량을 나타낸 것은 질산염 용탈 가능성을 보여 주는 것이라고 사료되었다.

그림4-14는 질소시비수준별로 배추내 부위별 질산염 함량이 얼마나 집적되었는가를 나타낸 것이다. 수확기의 질산염 함량을 비교해보면 노지재배 외부엽의 경우 무비구 985ppm, 보비구 1328ppm, 배비구 2325ppm으로 내부엽의 무비구 541ppm, 보비구 623ppm, 배비구 852ppm에 비해 훨씬 높았다. 시설재배 외부엽의 경우에도 무비구 936ppm, 보비구 1627ppm, 배비구 2513ppm에 비해 내부엽의 질산염 함량은 무비구 541ppm, 보비구 985ppm, 배비구 936ppm으로 각각 높았다. 외부엽의 질산염 함량이 내부엽에 비하여 높은 현상은 이제까지 알려진 질산염 연구결과들과 일치하는 것으로서 소비자가 배추를 다듬는 과정에서 일부 외부엽을 제거하고 섭취하는 것이 질산염 섭취량을 줄이는 데에 효과적이라는 것을 알 수 있었다.

생육이 왕성했던 노지재배에 비해 시설재배의 경우 질소시용량이 증가함에 따라 더욱 많은 질산염의 집적을 나타내 시설재배 배비구의 외부엽의 경우 2513ppm으로 가장 높은 질산염 함량을 나타냈다. 시설재배의 배추가 노지재배 배추보다 이처럼 질산염 집적량이 높았던 원인은 시설재배 토양의 근권토양에서 노지재배 토양의 근권토양보다 질산태질소 함량이 높았던 것에 연유된다고 사료되었다.

시설조건에서 재배한 배추가 노지조건에서 재배한 배추보다 오히려 생육이 부진하고 질산염 집적량이 높았던 것은 동일한 질소시비처리수준에도 불구하고 근권토양의 질산태질소 함량이 생육기간을 통해 높았던 것이 오히려 배추에게 질소과다공급이라는 negative effect로 작용한 것도 한가지 원인이 아니었을까 사료되었다.

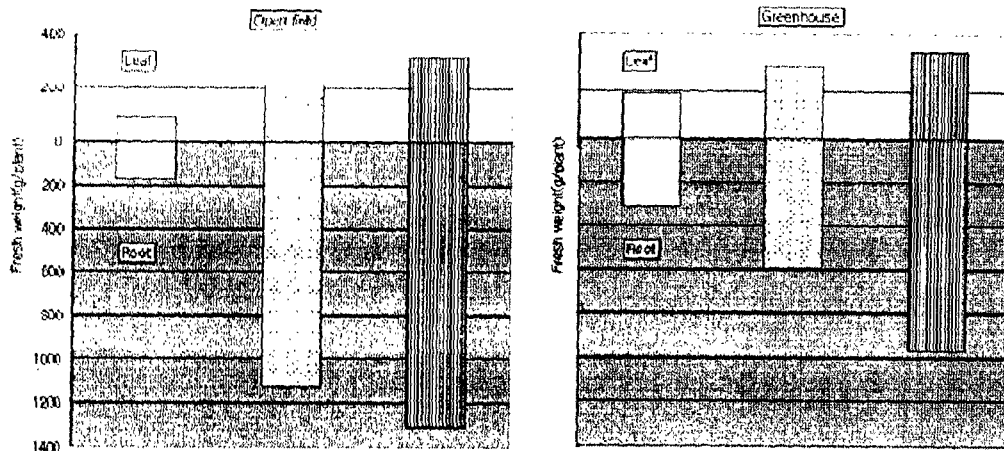


Fig. 4-1. The Fresh weight of root and leaf in radish as affected by cultivation method and rate of nitrogen fertilization.

(□ Control, ▨ Recommendation rate, ▤ Double rate of recommendation)

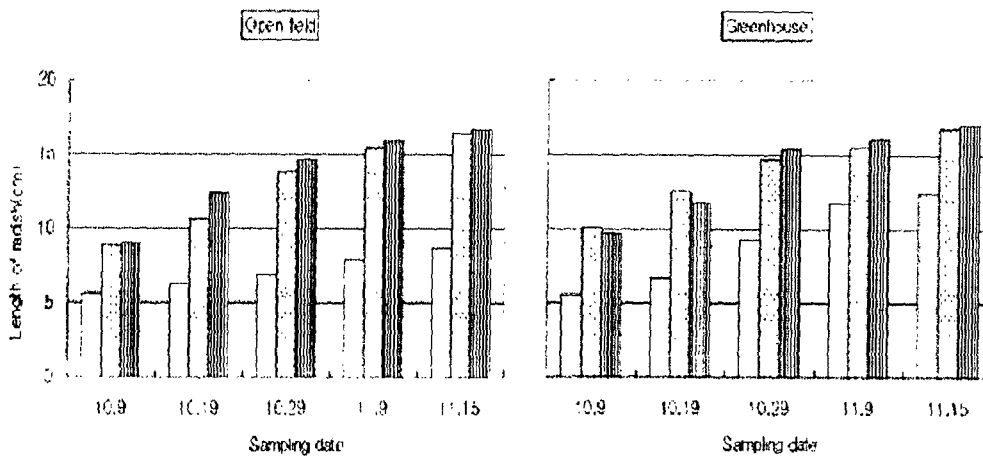


Fig. 4-2. The length of radish root as affected by cultivation method and rate of nitrogen fertilization.

(□ Control, ▨ Recommendation rate, ▤ Double rate of recommendation)

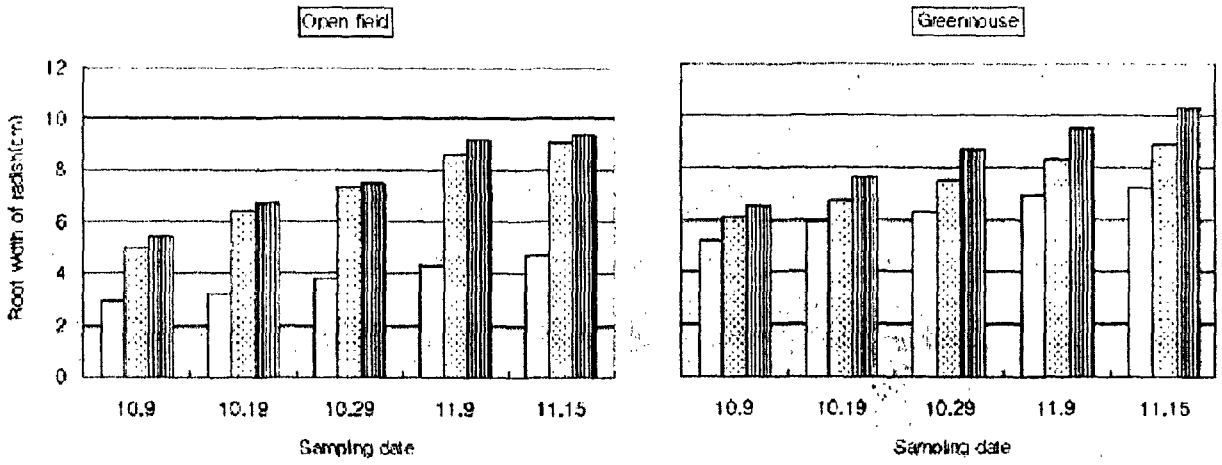


Fig. 4-3. The width of radish root as affected by cultivation method and rate of nitrogen fertilization.  
 (□ Control, ▨ Recommendation rate, ▩ Double rate of recommendation)

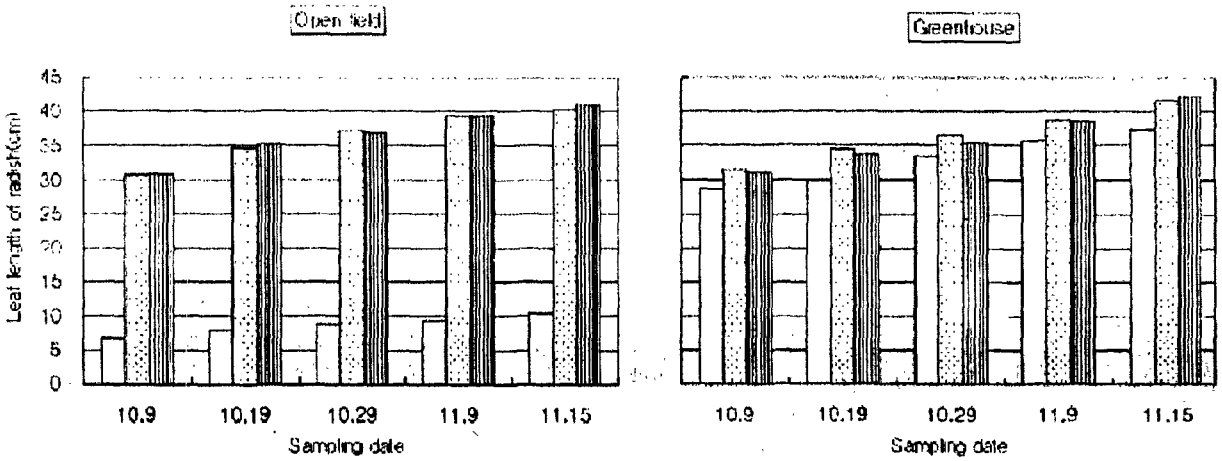


Fig. 4-4. The leaf length of radish as affected by cultivation method and rate of nitrogen fertilization.  
 (□ Control, ▨ Recommendation rate, ▩ Double rate of recommendation)

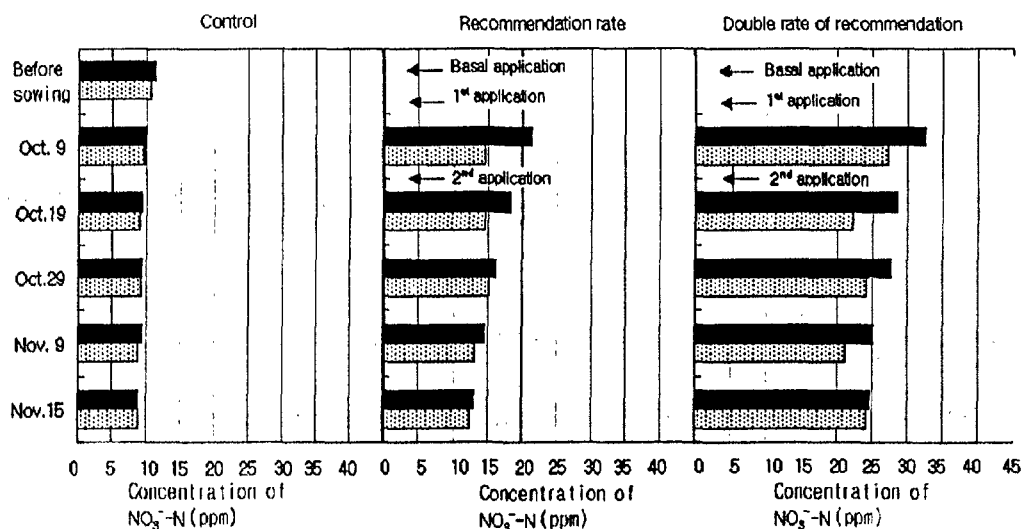


Fig. 4.5. The content of  $\text{NO}_3^-$ -N in soil in different soil depth of open field cultivated radish as affected by different rate of nitrogen fertilization.  
 (■ Top soil; 0-15cm, ▨ Sub soil : 15-30cm)

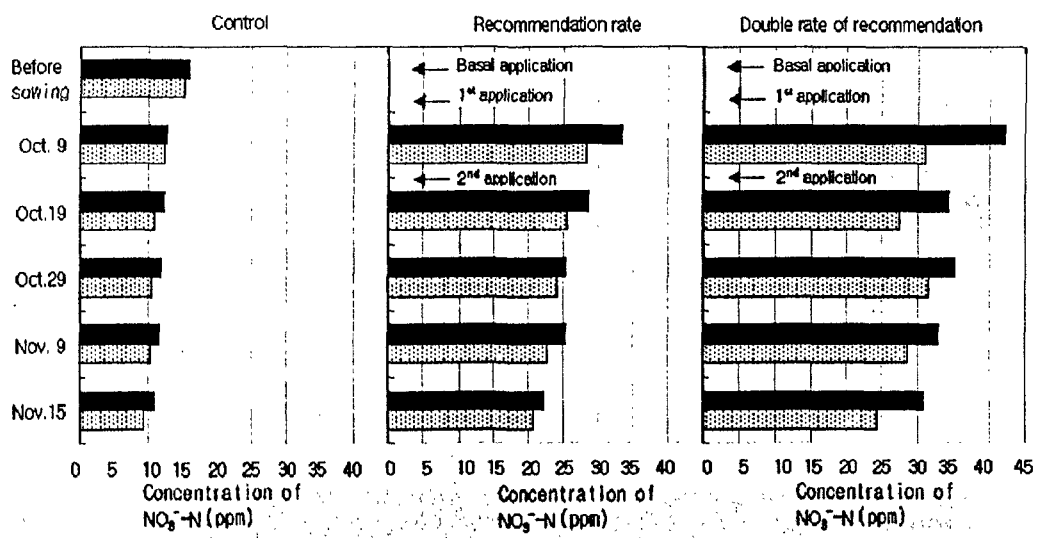


Fig. 4.6. The content of  $\text{NO}_3^-$ -N in soil in different soil depth of greenhouse cultivated radish as affected by different rate of nitrogen fertilization.  
 (■ Top soil; 0-15cm, ▨ Sub soil : 15-30cm)

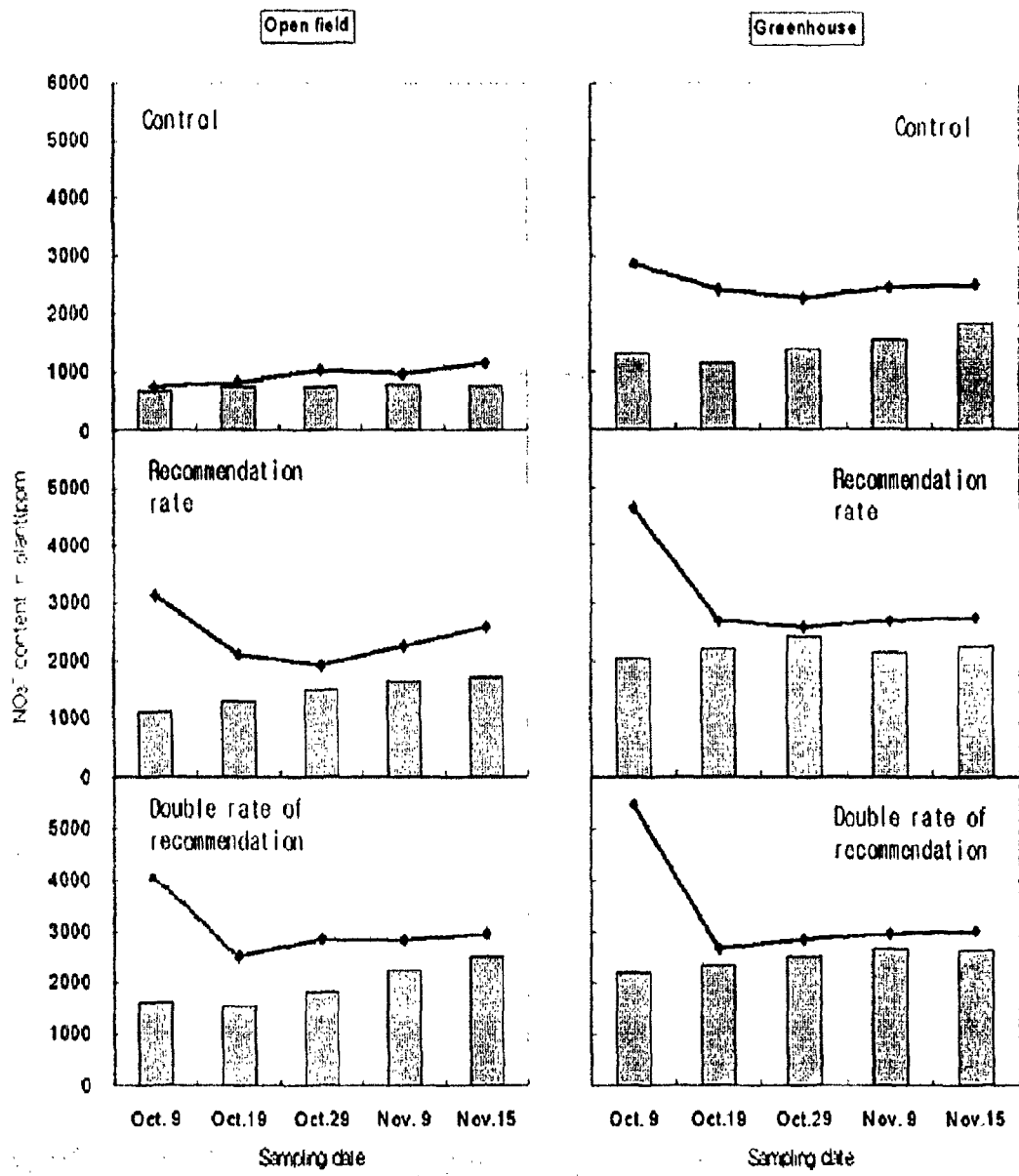


Fig. 4-7. The content of nitrate in root and leaf of radish as affected by cultivation method and rate of nitrogen fertilization. (◆ Leaf, □ Root)

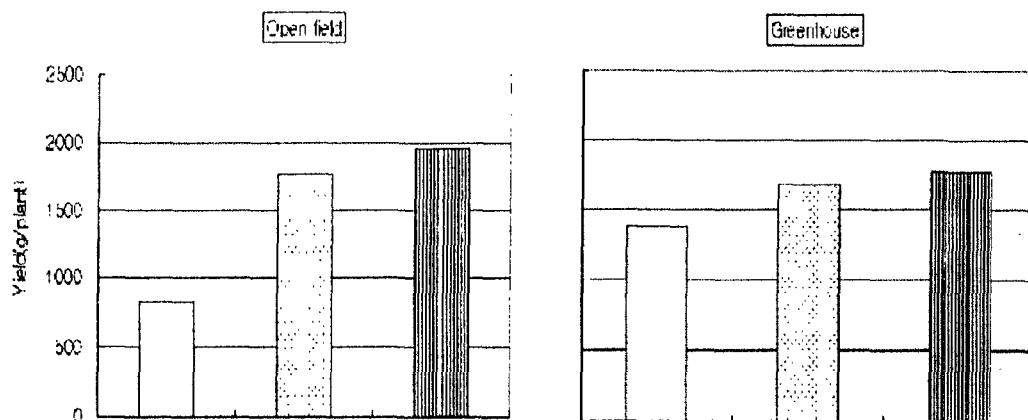


Fig. 4-8. The yield of chinese cabbage as affected by cultivation method and rate of nitrogen fertilization.

{ □ Control, ▨ Recommendation rate, ▩ Double rate of recommendation }

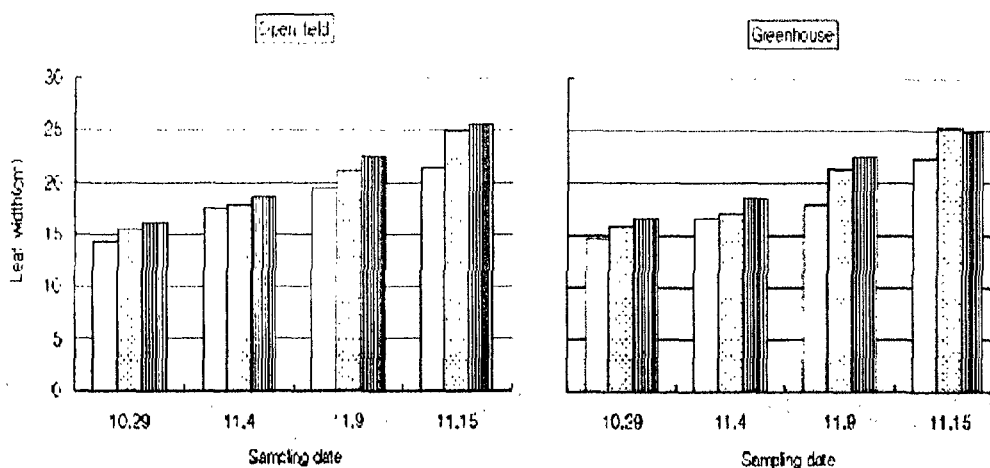


Fig. 4-9. The leaf width of chinese cabbage as affected by cultivation method and rate of nitrogen fertilization.

{ □ Control, ▨ Recommendation rate, ▩ Double rate of recommendation }



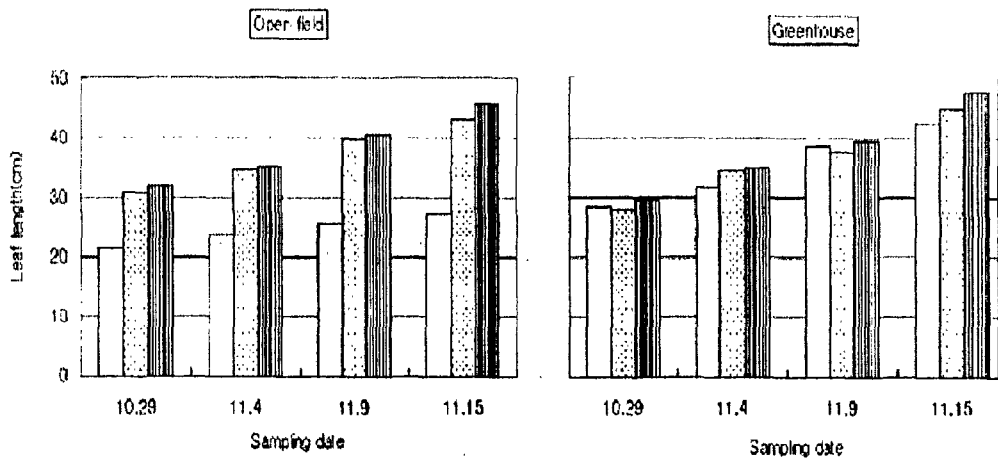


Fig. 4-10. The leaf length of chinese cabbage as affected by cultivation method and rate of nitrogen fertilization.

( □ Control, ▨ Recommendation rate, ▩ Double rate of recommendation )

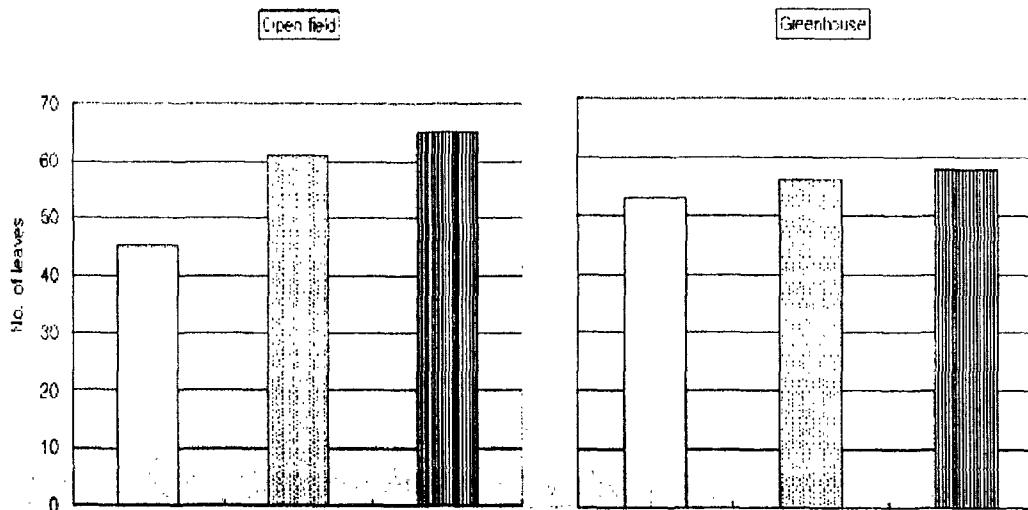


Fig. 4-11. The Number of leaves of chinese cabbage as affected by cultivation method and rate of nitrogen fertilization.

( □ Control, ▨ Recommendation rate, ▩ Double rate of recommendation )

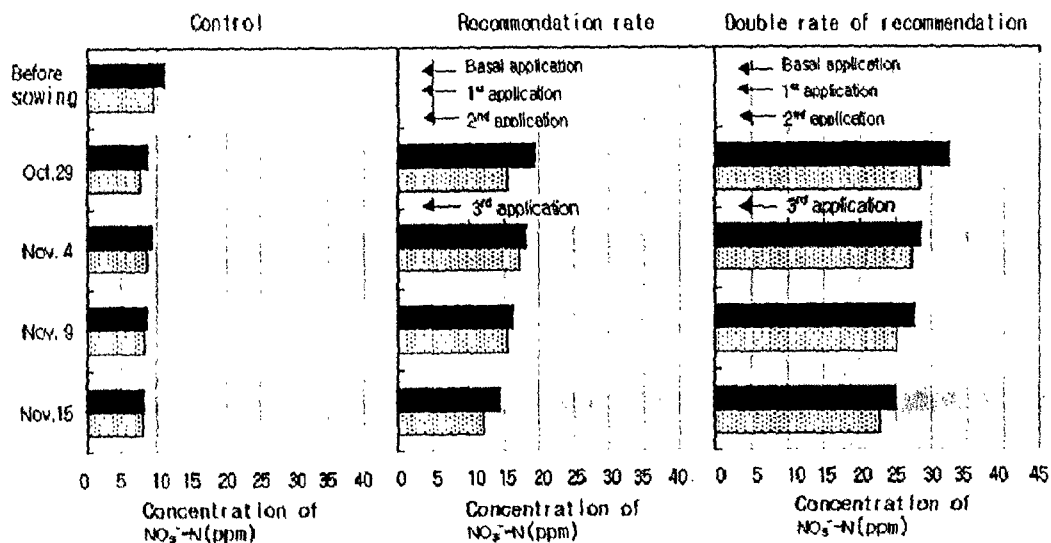


Fig. 4-12. The content of  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  in soil in different soil depth of open field cultivated chinese cabbage as affected by different rate of nitrogen fertilization.  
 (■ Top soil: 0-15cm, ▨ Sub soil: 15-30cm)

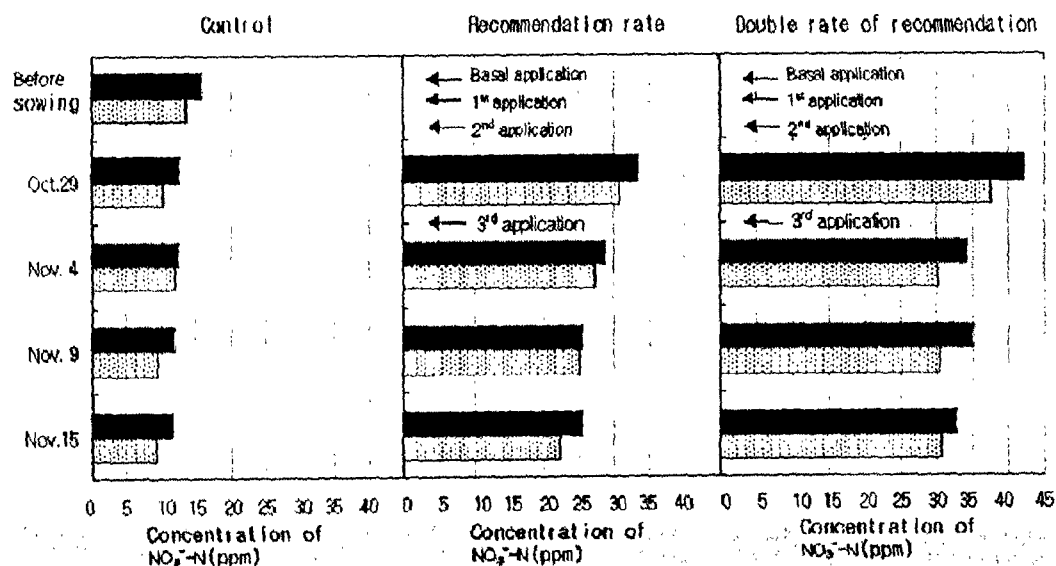


Fig. 4-13. The content of  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  in soil in different soil depth of greenhouse cultivated chinese cabbage as affected by different rate of nitrogen fertilization.  
 (■ Top soil: 0-15cm, ▨ Sub soil: 15-30cm)

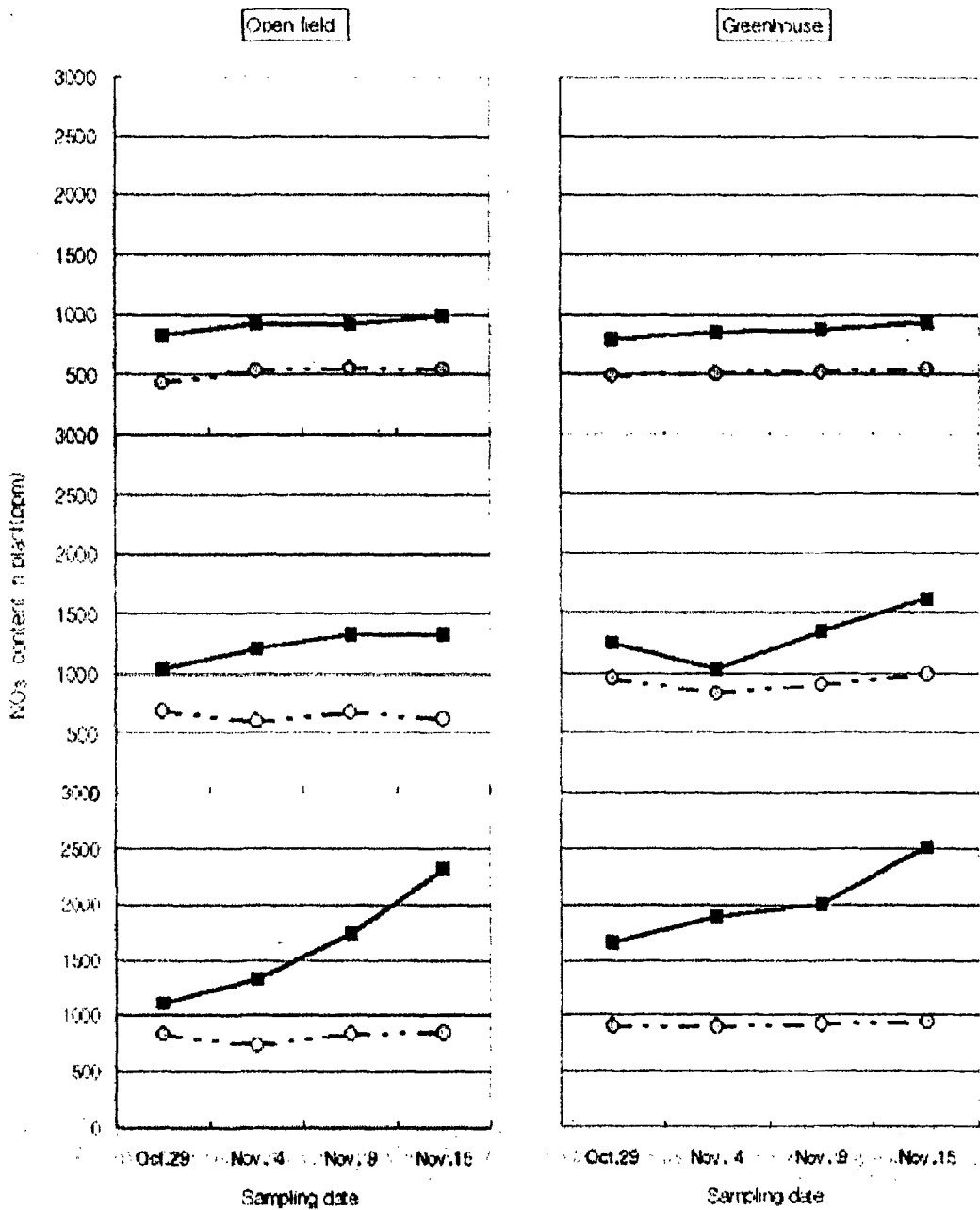


Fig. 4-14. The content of nitrate in chinese cabbage as affected by cultivation method and rate of nitrogen fertilization.

( —■— Outer leaf, —○— Inner leaf )

## 제2절 정상엽과 질산염 과다흡수 배추엽의 비교색도 작성

배추, 양배추, 양상추의 엽위에 따른  $\text{NO}_3^-$  함량 변화는 그림 4-15, 4-16, 4-17에서 알 수 있는바와 같이 엽위가 증가할수록 즉 잎 크기가 클수록  $\text{NO}_3^-$  함량이 증가하였다. 이들의 상관관계는 배추의 증류, 엽신이 각각  $r=0.789^{**}$ ,  $r=0.659^{**}$  였고, 양배추는 증류, 엽신이  $r=0.626^{**}$ ,  $r=0.615^{**}$  였다. 양상추는 증류, 엽신이 각각  $r=0.984^{**}$ ,  $r=0.902^{**}$  의 높은 상관관계를 보였다. 즉 내부엽에서 외부엽으로 갈수록  $\text{NO}_3^-$  함량이 증가함을 나타내었다. 이것은 외부엽이 내부엽보다  $\text{NO}_3^-$  함량이 많다는 손 등(1993)에 의해 보고된바와 일치하였다.

각 작물별로  $\text{NO}_3^-$  함량을 보면 배추 증류의 경우 그림 4-15에서 보는 바와 같이 최내엽 즉 1~5번째 엽까지는 40~1,113ppm 정도를 보였고, 11~15번째엽은 250~1,393ppm 정도 였고, 21~25번째엽까지의  $\text{NO}_3^-$  함량은 563~1,786ppm 였고, 31~35번째엽까지는 1,228~2,929ppm 정도 였다. 45~최외엽까지는 1,298~3,177ppm의  $\text{NO}_3^-$  함량을 나타냈다. 배추 증류의 최내엽부터 최외엽까지의  $\text{NO}_3^-$  함량은 최저 40ppm부터 최고 3,177ppm을 나타내 배추 증류내 질산염 함량의 최저치와 최고 차이는 79.4배나 되었다.

배추 엽신의 경우  $\text{NO}_3^-$  함량은 1~5번째엽까지는 40~97ppm이 였고, 11~15번째엽의 함량은 73~630ppm이고, 21~25번째엽까지의  $\text{NO}_3^-$  함량은 119~965ppm이 였다. 31~35번째엽은 159~1,696ppm의  $\text{NO}_3^-$  집적을 보였다. 41~45번째엽까지는 459~3,481ppm 까지 였다. 46~최외엽까지의  $\text{NO}_3^-$  함량은 522~2,887ppm 까지 였다. 즉 엽신의 엽위별  $\text{NO}_3^-$  집적량은 40~3,481ppm으로 배추 엽신의 질산염 함량의 최저치와 최대치 차이는 87.0배로서 결국 엽채류중 가장 컸다.

가식부위별  $\text{NO}_3^-$  집적량이 평균 500~2,000ppm수준으로 중수준 채소로 분류된(손, 1993; Scharpf, 1991) 양배추의 경우는 먼저 중특은 1~5번엽까지는 89~336ppm, 11~15번엽은 192~296ppm까지 였다. 21~25번엽까지는 453~1,667ppm까지 였다. 31~35번엽까지는 535~2,297ppm이였다. 36~최외엽까지는 788~2,297ppm를 나타냈다. 즉 양배추 중특은 최소치 89ppm부터 최고치 2,297ppm의  $\text{NO}_3^-$  함량을 보였다.

엽신의 경우 최내엽인 1~5번엽까지는 25~294ppm을 나타냈고, 11~15번엽의  $\text{NO}_3^-$  집적량은 121~438ppm이며, 21~25번엽은 187~300ppm 이였고, 31~35번엽의 함량은 233~400ppm이였다. 36~마지막 최외엽까지는 322~765ppm를 나타냈다. 엽신은 최소 25ppm 부터 최고 765ppm의  $\text{NO}_3^-$  집적량을 나타내었다. 양배추의 부위별 질산염 최저치와 최고치 차이는 중특의 경우 25.8배 엽신의 경우 30.6배였다.

양상추는 손과 오(1993,1994)에 의해  $\text{NO}_3^-$  함량이 높은 고수준 채소군으로 분류되어 있다. 중특의 경우 1~5번엽까지의  $\text{NO}_3^-$  함량은 419~1,287ppm이였고, 11~15번엽의  $\text{NO}_3^-$  집적량은 1,263ppm~2322이였고, 16~최외엽까지의 함량은 1,603~4,349ppm을 나타내었다. 종합해보면 최내엽부터 최외엽까지의  $\text{NO}_3^-$  함량은 419~4,349ppm 범위내에 존재한다.

엽신의 경우 1~5번엽까지는 260~773ppm이였고, 11~15번엽까지는 836~1,443ppm이였으면 16~마지막 최외엽까지는 862~2,894ppm이였다. 즉 양상추 엽신의 엽위증가별  $\text{NO}_3^-$  함량은 260~2,894ppm정도 였다. 상추 엽령별 질산염 함량 차이가 결구채소중 가장 적었고 부위별 질산염 최저치와 최고치 차이는 중특 10.4배 엽신 11.1배에 머물렀다.

이와 같이 작물체별 잎 엽위가 증가할수록  $\text{NO}_3^-$  함량이 증가하는 것은 엽위가 증가할수록 세포의 연령이 증가하는데 보통 세포가 성장함에 따라  $\text{NO}_3^-$ 가 축적되어 있는 액포의 크기가 세포가 성숙됨에 따라 소형의 액포가 서로 융합하여 대형화 되며, 보통 식물체내에서  $\text{NO}_3^-$ 를  $\text{NO}_2^-$ 로 환원하

는 질산환원효소가 오래된 잎일수록 그 활성이 떨어지기 때문에 엽위가 증가 할수록  $\text{NO}_3^-$  함량이 증가 하는것으로 생각되어진다. 그러나 이런 경향은 화본과 목초나 청예 사료작물에서는 생육이 진행됨에 따라 감소하였다(Uesaka, 1965; Miyaxaki, 1967)는 결과와는 반대되는 결과가 나타났다.

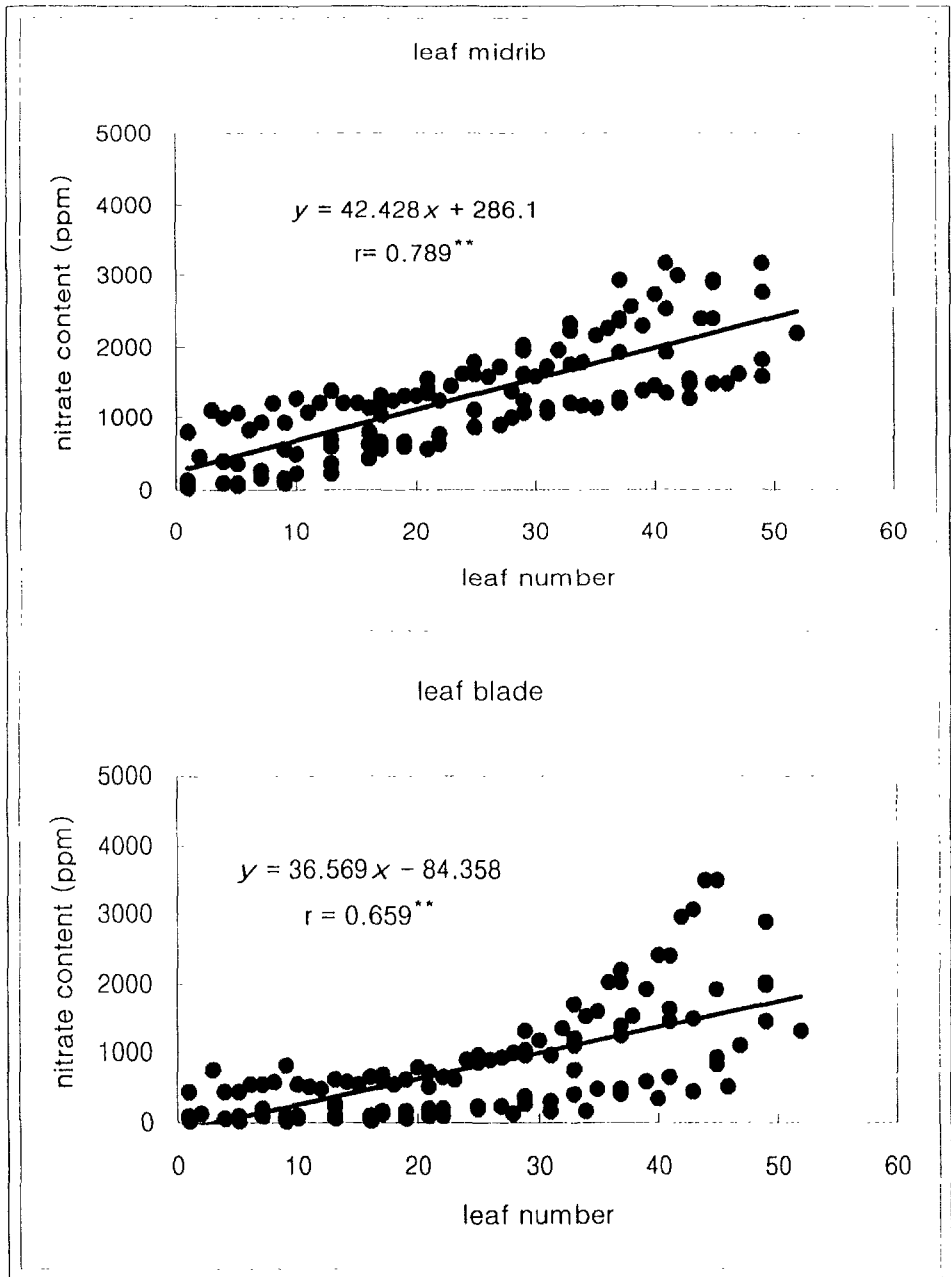


그림 4-15. 배추의 엽령별 질산염 함량 차이

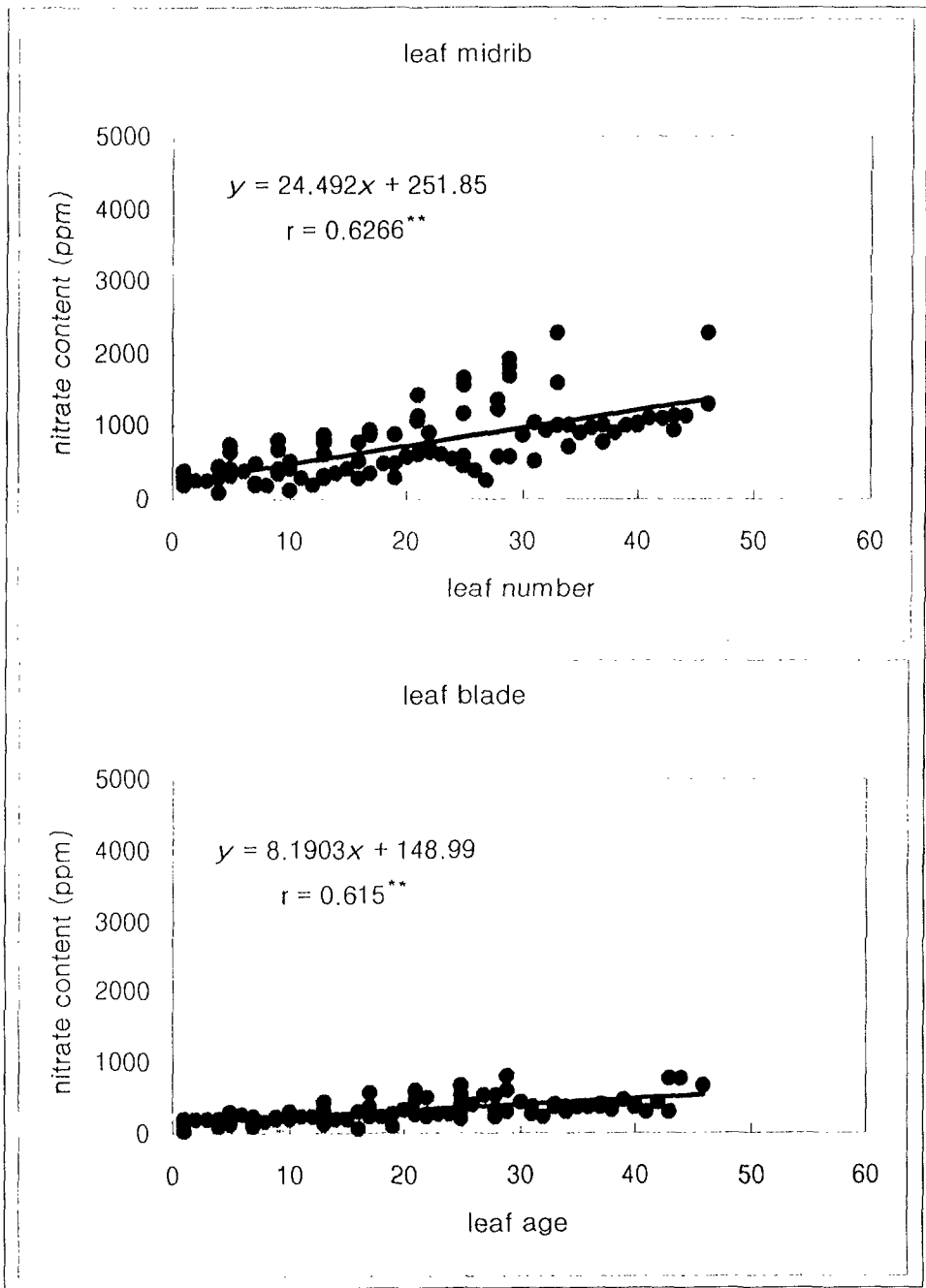


그림 4-16. 양상추의 엽령별 질산염 함량



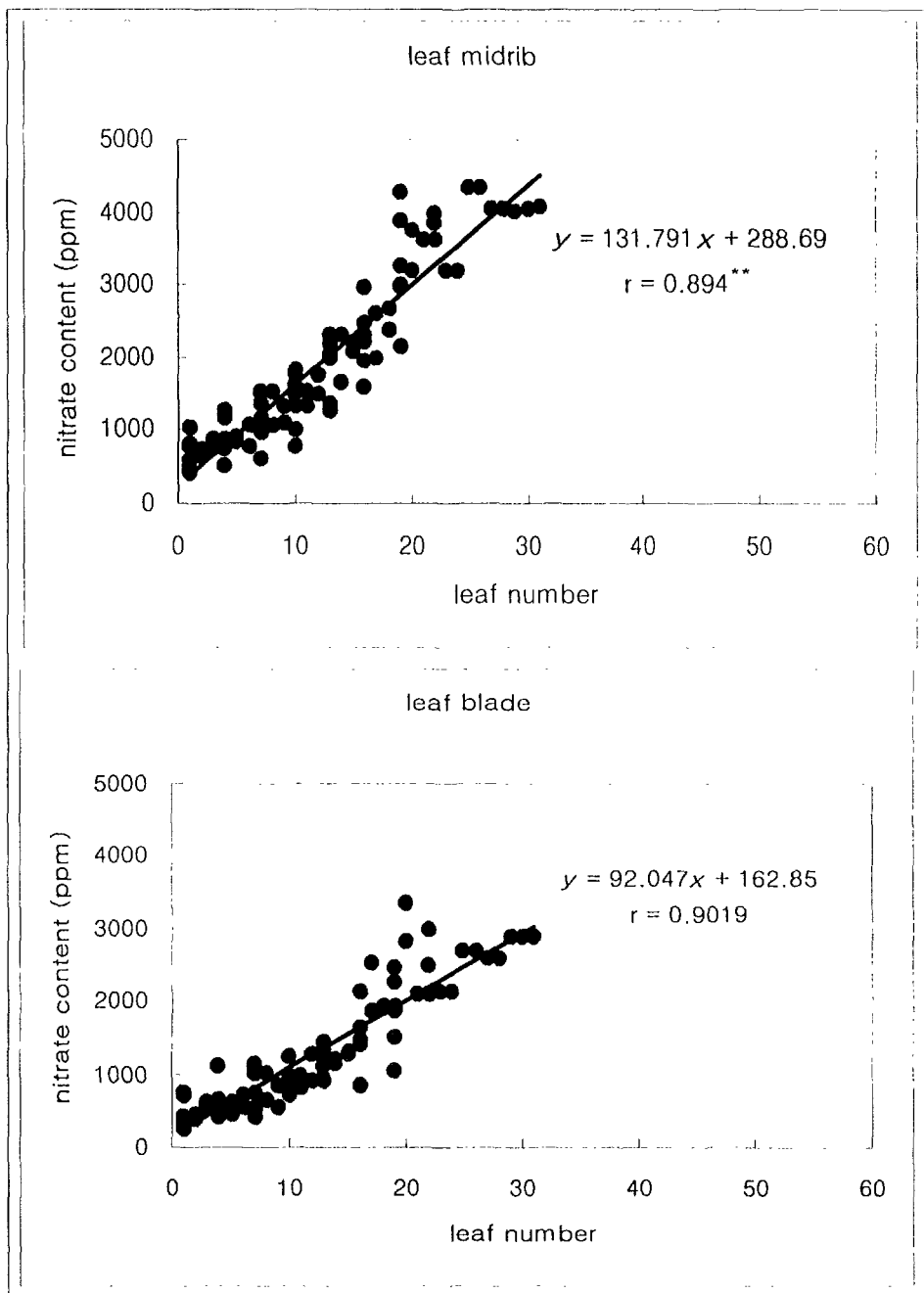


그림 4-17. 상추의 엽령별 질산염 함량 차이

그림 4-18에서 보는 바와 같이 같은 1g의 채소를 섭취한다 하여도 내부엽을 섭취했을때가 외부엽을 섭취했을 때보다 더 낮은  $\text{NO}_3^-$  섭취량을 보임을 알수가 있었다.

배추의 경우 외부엽 1g 섭취할때가 내부엽 1g을 섭취할때보다 평균적으로 372%의 더 높은  $\text{NO}_3^-$  섭취량을 보였다. 양배추의 경우도 외부엽 1g을 섭취할때가 내부엽 1g을 섭취할 때보다 평균적으로 418%의 더 많은  $\text{NO}_3^-$  섭취량을 보였으며 양상추도 외부엽 1g을 섭취할때가 내부엽 1g을 섭취할때보다 650%의 더 많은  $\text{NO}_3^-$ 을 섭취한다는 결과가 나왔다.

따라서 일일 같은량의 결구 채소를 섭취하면서 일일 질산염 섭취량을 줄이기 위해서는 배추, 양배추, 양상추 모두 외부엽보다는 내부엽을 선택적으로 소비하는 것이 바람직함을 알수 있었다. 상기 결과로 보아 엽령증가와 질산염 함량과의 관계가 양상추 < 양배추 < 배추의 순으로 엽령증가에 따른 질산염 함량 증가폭이 크다는 점에서 특히 배추의 경우 외부엽은 1/3정도 제거한후 소비하는것이 질산염 섭취량을 줄이는데 적절할것으로 판단된다.

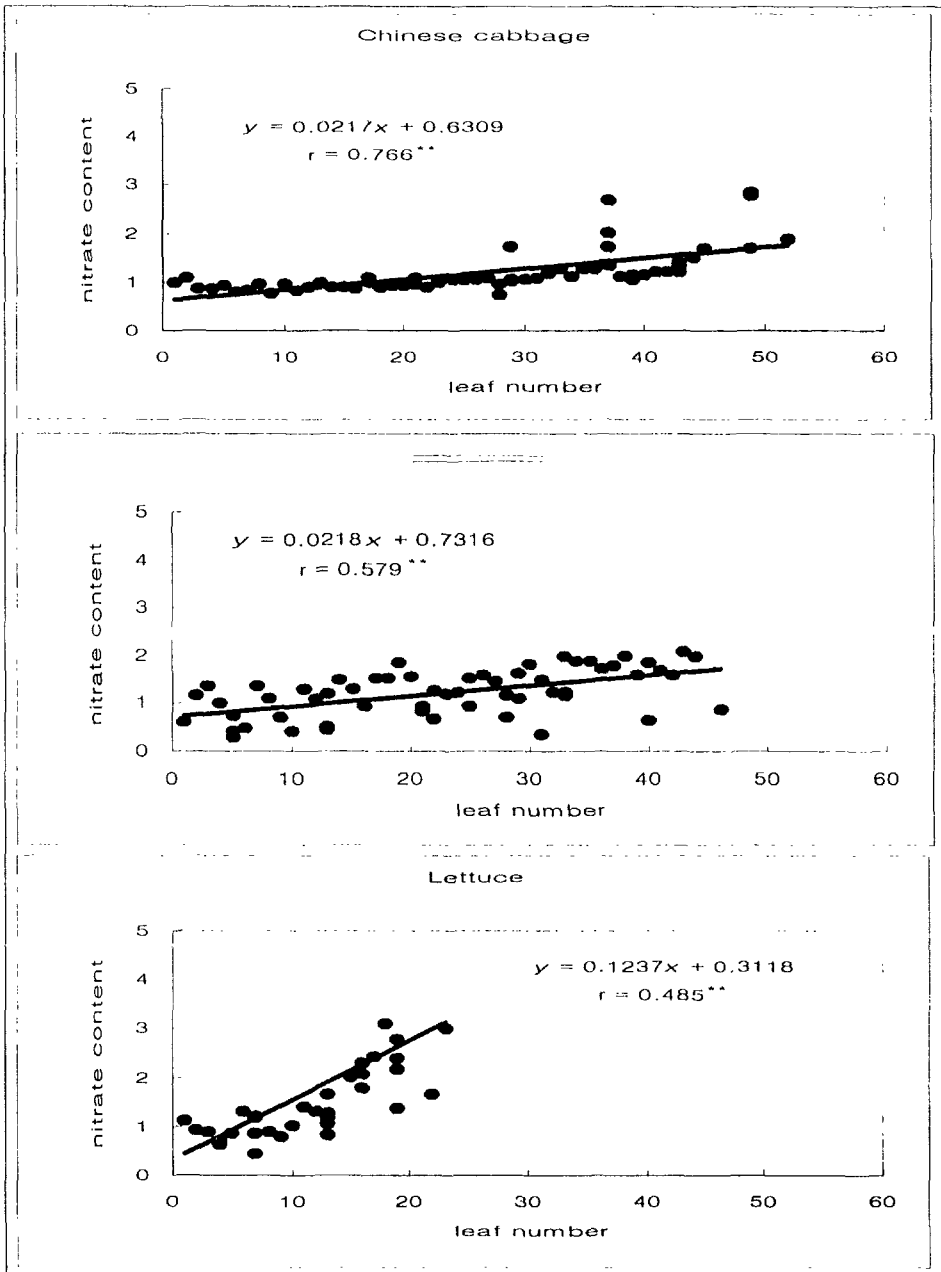


그림 4-18. 단위 1g당 섭취시 각 채소별 엽령별 질산염 함량(mg)의 차이

결구 채소별로 엽위별 엽 하나를 전부 섭취하였을 경우 크기가 작은 내엽이 크기가 큰 외엽보다  $\text{NO}_3^-$  섭취량이 낮음을 알수 있다. 즉 배추의 경우 조사된 엽중 가장 작은 엽 무게가 3g 이였고 이때의 총  $\text{NO}_3^-$  함량은 2.6g 이였으며, 가장 큰 엽의 무게는 132g이고 이때의 총  $\text{NO}_3^-$  함량은 375mg을 나타내었다.

양배추의 경우 조사된 엽중 최소엽 무게가 14g으로 이때의 총  $\text{NO}_3^-$  함량은 6mg이였으며 최고엽일 경우 무게 94g에 총  $\text{NO}_3^-$  함량은 116mg을 나타냈다.

양상추는 조사된 엽중 가장 작은 엽의 무게가 15g이며 이때의 총  $\text{NO}_3^-$  함량은 16mg이고, 가장 큰 엽의 무게는 125g으로 이때의 총  $\text{NO}_3^-$  함량은 225mg을 나타냈다. 즉 엽채류의 경우 작은 잎을 먹을수록  $\text{NO}_3^-$  섭취량을 줄일수 있다고 생각된다.

엽위에 따른 chlorophyll 함량은 그림 4-19, 4-20, 4-21에서 알수 있는 바와 같이 중륵, 엽신 모두 양배추를 제외하고는 배추, 양상추 모두 엽령이 증가함에 따라 증가하였다. 배추 중륵의 경우 최저  $101\mu\text{g/g}$  부터 최고  $1,911\mu\text{g/g}$  까지 의 chlorophyll 함량을 보였고, 배추 엽신의 경우 최저  $409\mu\text{g/g}$  부터 최고  $40,726\mu\text{g/g}$  까지의 함량변화를 나타냈다.

양배추도 배추와 같은 경향을 보였는데 먼저 중륵의 경우 최저  $20\mu\text{g/g}$  부터 최고  $3,077\mu\text{g/g}$  까지의 함량을 나타냈으며 엽신의 경우 최저 및 최고치는 각각  $60\mu\text{g/g}$ ,  $34,150\mu\text{g/g}$ 을 나타냈다.

양상추의 경우 먼저 중륵은 최저치  $102\mu\text{g/g}$ , 최고치  $6,998\mu\text{g/g}$ 의 함량을 나타내었고, 엽신의 경우는 최저치와 최고치가 각각  $225\mu\text{g/g}$ ,  $37,113\mu\text{g/g}$ 의 값을 나타냈다.

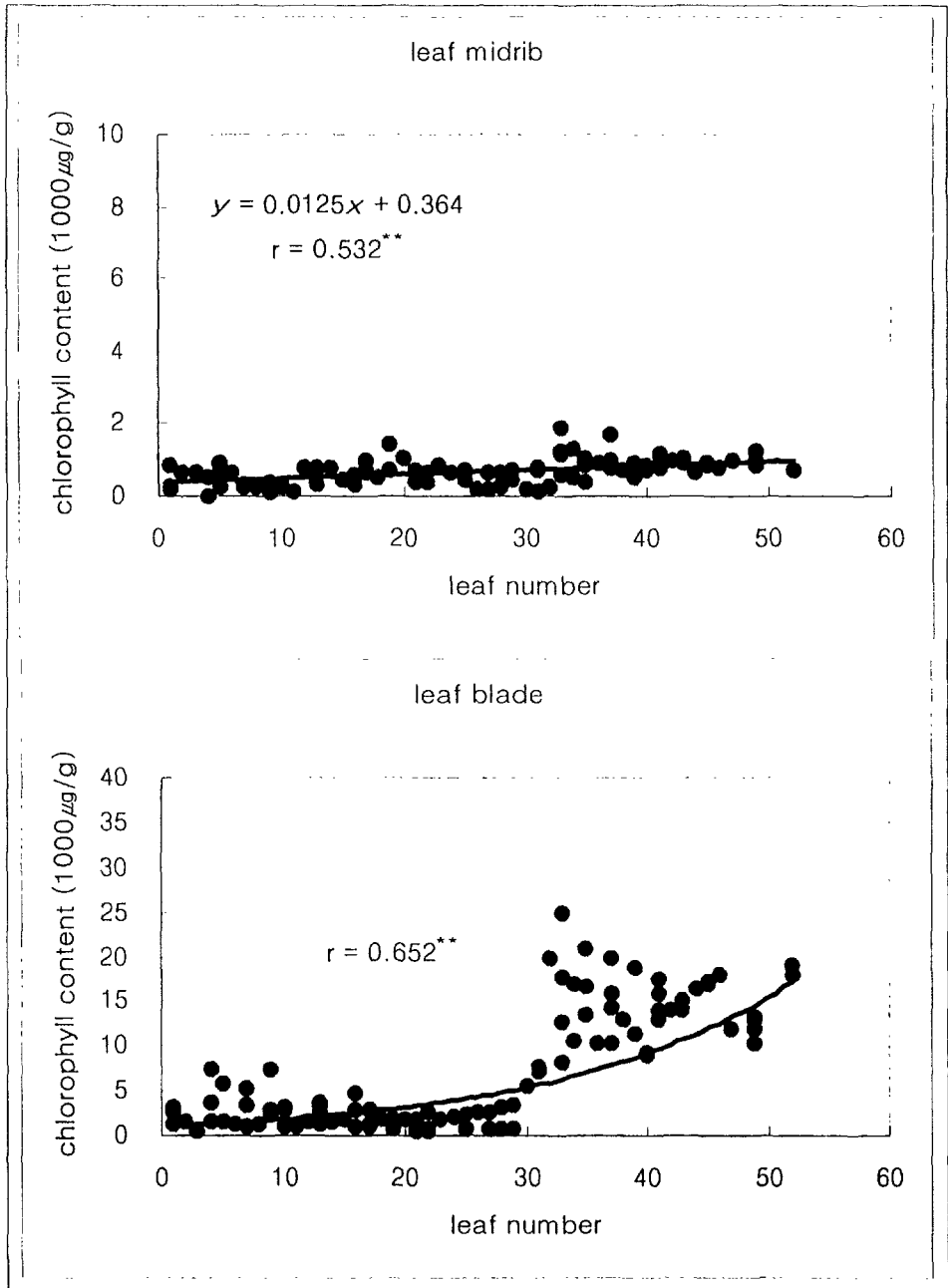


그림 4-19. 배추의 엽령별 Chlorophyll 함량 차이

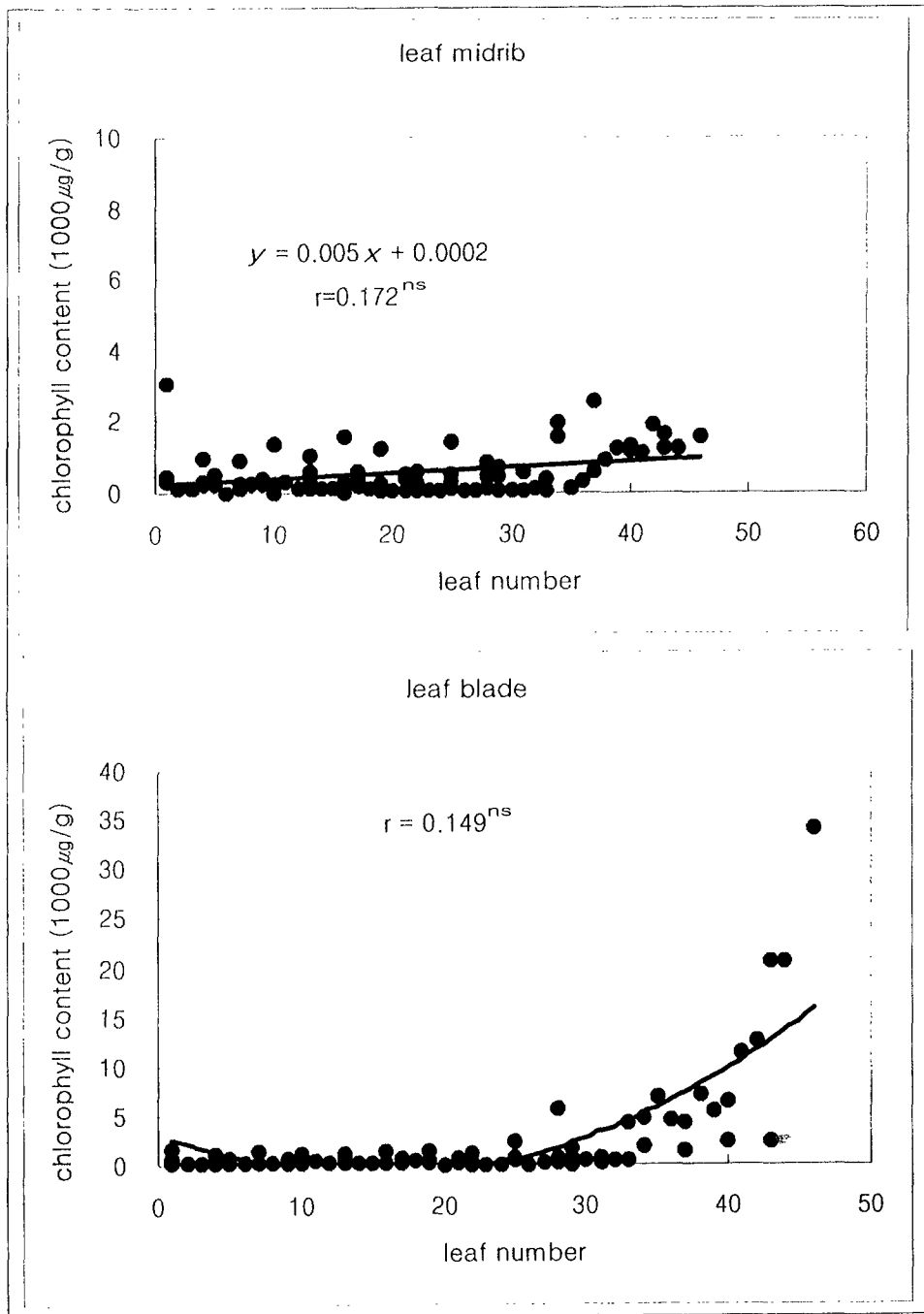


그림 4-20. 양배추의 엽령별 Chlorophyll 함량 차이

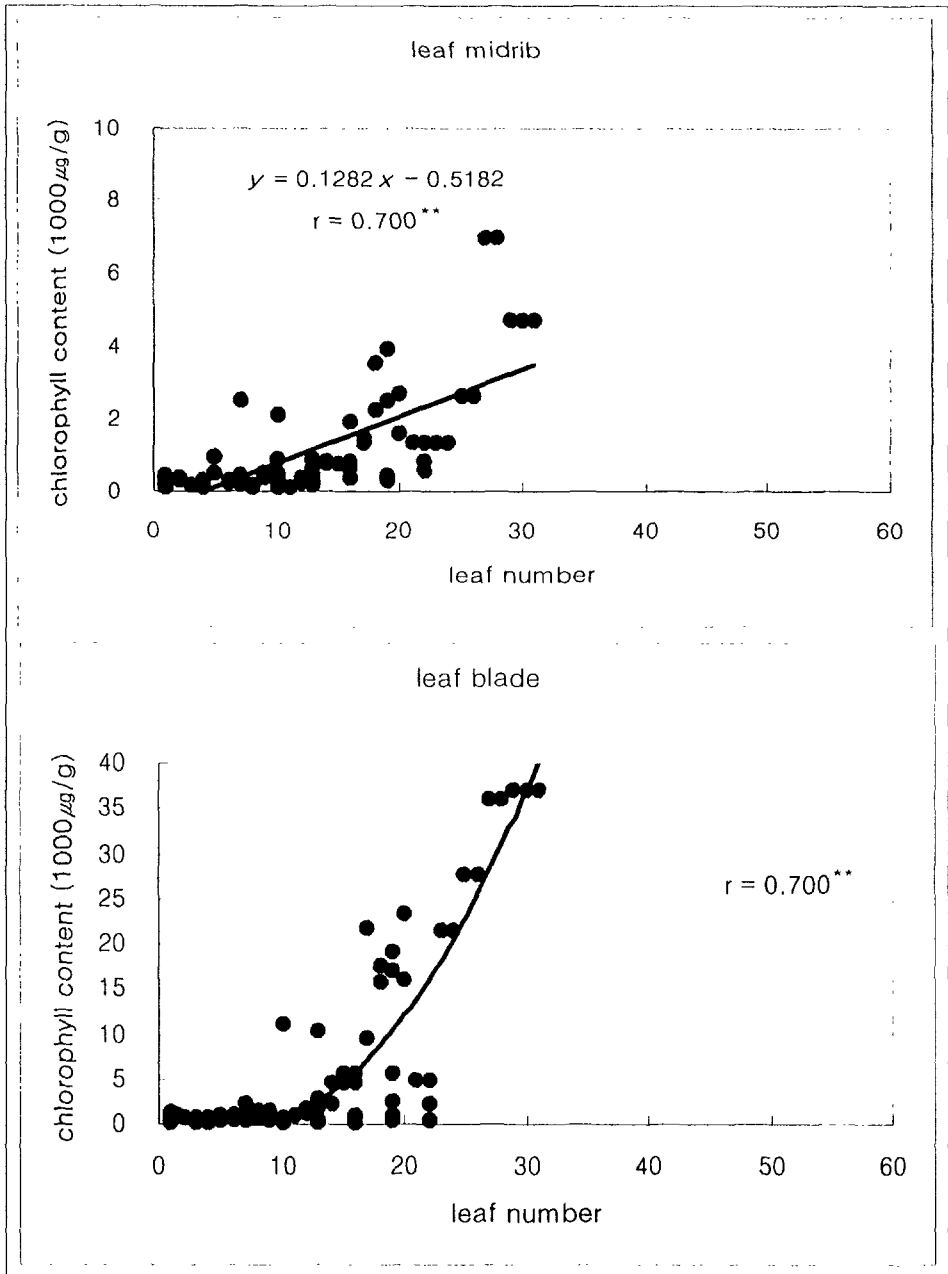


그림 4-21. 상추의 엽령별 Chlorophyll 함량 차이

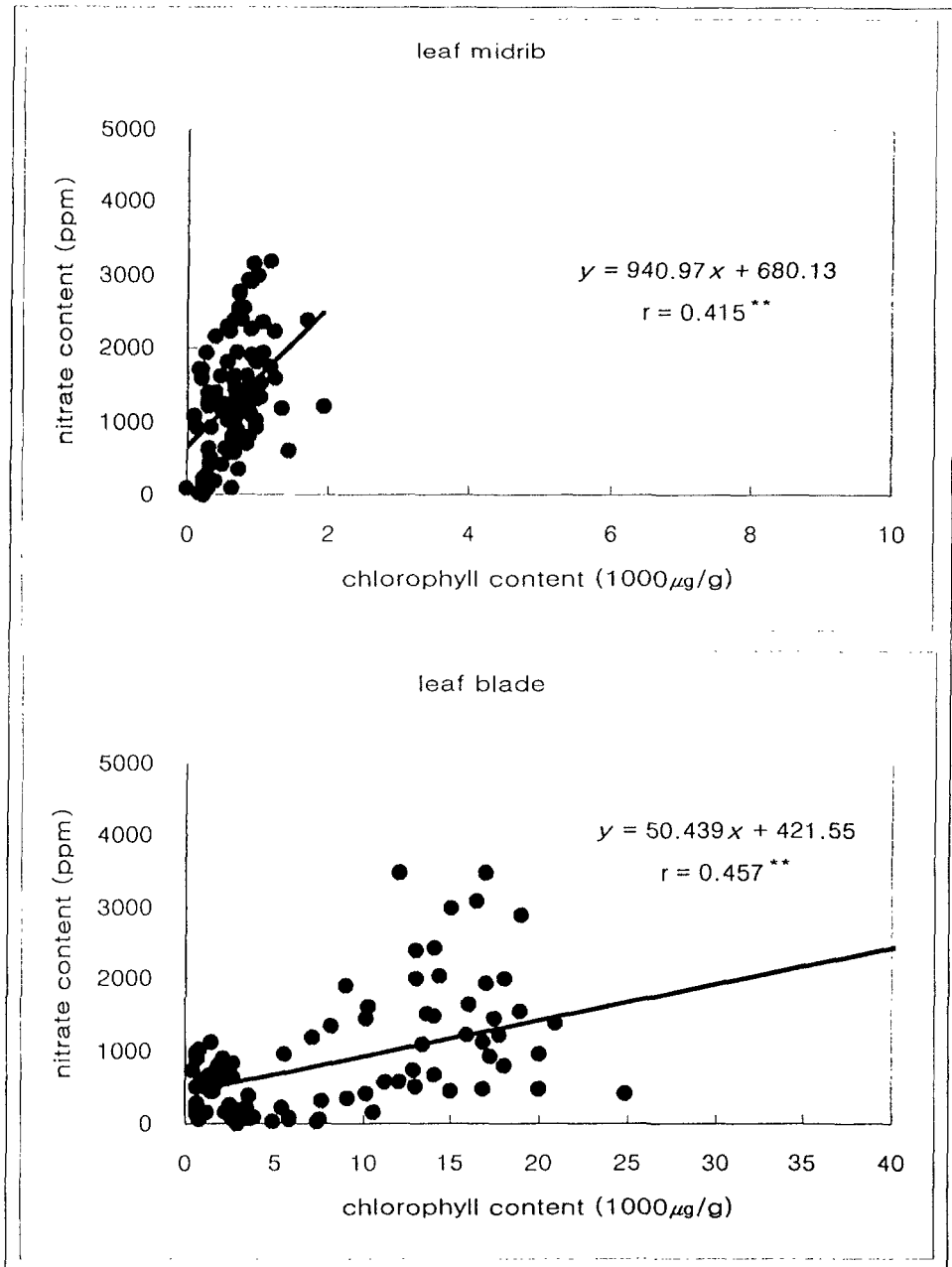


그림 4-22. 배추의 질산염 함량과 chlorophyll 함량과의 상관관계



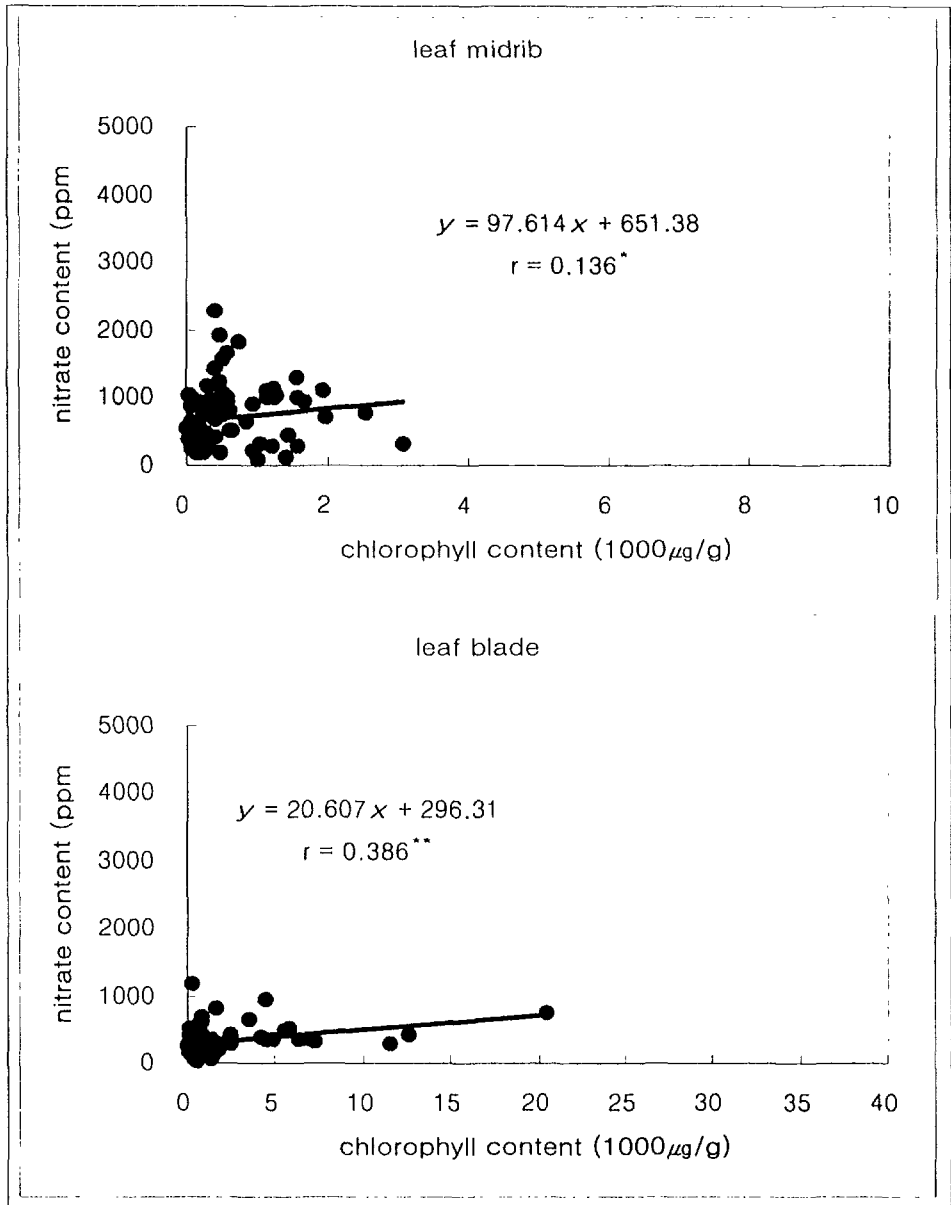


그림 4-23. 양배추의 질산염 함량과 chlorophyll 함량과의 상관관계

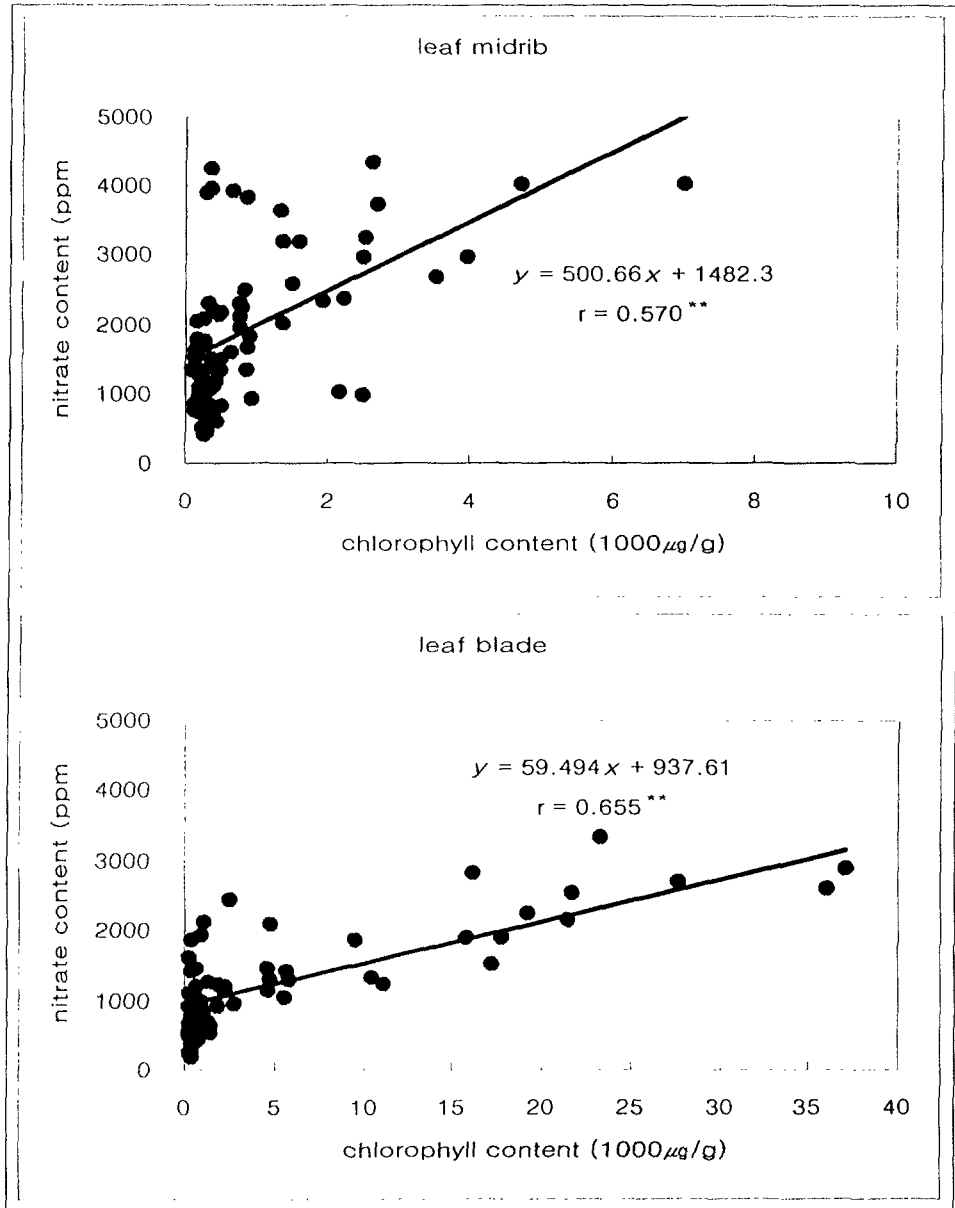


그림 4-24. 상추의 질산염 함량과 chlorophyll 함량과의 상관관계

$\text{NO}_3^-$  함량과 chlorophyll 함량과의 관계는 중륙일 경우는  $\text{NO}_3^-$ 가 증가하여도 chlorophyll 함량의 증가는 미비하였으며 엽신의 경우 chlorophyll 함량이 증가할수록  $\text{NO}_3^-$  함량이 눈에 띄게 증가하는 경향을 보였다.

따라서 chlorophyll 함량이 높은 외부엽을 제거하여 섭식하는 것이 바람직하다고 생각되며, 이 제거된 겉잎이 식용대상이 되는 시레기에 대해서는 앞으로 더욱 연구가 필요할 것으로 생각된다.

엽위별 엽색의 변화는 먼저 배추의 경우 엽신은 엽위측 엽령이 증가할수록 저채도에서 고채도로 변하는 경향을 보였다. 배추의 경우 1~11엽까지는 색등급 I을, 12~17엽까지는 색등급 II을, 18~22엽까지는 색등급 III을, 23엽부터 25엽까지는 색등급 IV를 나타냈고, 26엽부터 30엽까지는 색등급 V을 나타냈으며, 31~35엽까지는 색등급 VI~VII를 나타냈다. 36~38엽까지는 색등급 VIII을 나타냈고, 그 이상엽들은 색등급 IX를 나타냈다.

양배추의 경우는 1~16엽정도까지는 색등급 I를 나타냈고, 17~25엽정도까지는 색등급 II를 나타냈고, 26~33엽까지는 색등급 III정도를 보였고, 34~38엽까지는 색등급 IV~VI를 나타냈고, 그 이상엽들은 색등급 VI를 나타냈다.

양상추의 경우 1~6엽까지 색등급 I~III를 나타냈고 7~12엽까지는 색등급 IV, V의 엽색을 보였으며, 13~16엽은 색등급 VI~VII의 색깔을 나타냈고, 그 이후엽들은 색등급 VIII의 색을 나타냈다.

표 4-1. 배추의 엽위별 엽색 차이










Colar scale	Color	Leaf position
I		1 ~ 11
II		12 ~ 17
III		18 ~ 22
IV		23 ~ 25
V		26 ~ 30
VI		31 ~ 35
VII		31 ~ 35
VIII		36 ~ 38
IX		38 ~

표 4-2. 양배추의 엽위별 엽색 차이
















Color scale	Color	Leaf position
I		1~16
II		17~25
III		26~33
IV		34~48
V		34~48
VI		34~48
VII		49~

표 4-3. 상추의 엽위별 엽색 차이

Color scale	Color	Leaf position
I		1~6
II		1~6
III		1~6
IV		7~12
V		7~12
VI		13~16
VII		13~16
VIII		16~

엽색과  $\text{NO}_3^-$  함량과의 관계는 엽색의 초록색이 짙어질수록  $\text{NO}_3^-$  함량은 증가함을 나타내었다.

배추의 경우 엽색이 색등급 I일 경우  $\text{NO}_3^-$  함량은 470~579ppm 정도를 보였고, 엽색이 색등급 II일 때는 480~684ppm 정도였으며 색등급 III일 경우는 568~818ppm 정도였다. 색등급 IV일 때는 646~858ppm 정도를 나타냈고, 색등급 V일 경우는 900~1202ppm 정도를 보였고, 색등급 VI는 983~1368ppm 정도를, 색등급 VII은 1121~1610ppm 정도의 함량을 보였다. 색등급 VIII일 경우는 2032~2021ppm 정도를, 색등급 IX는 1550~3481ppm 정도를 보였다. 즉 배추 섭취시 색등급 VIII, 색등급 IX 정도의 색을 가진 엽을 제거한다면  $\text{NO}_3^-$  섭취량을 많이 줄일 수 있다고 생각된다.

양배추의 경우 색등급 I의 색을 가지는 엽은 169~295ppm 정도를 나타냈고, 색등급 II의 색을 가진 엽은 250~313ppm 정도를, 색등급 III의 색을 가진 엽은 233~525ppm 정도의  $\text{NO}_3^-$  함량을 나타냈다. 색등급 VI, 색등급 VII의 엽색을 가지는 엽들은 353~765ppm 정도의  $\text{NO}_3^-$  함량을 가지고 있어 색등급 V나 색등급 VII의 엽색을 가진 엽을 제거하고 섭취한다면  $\text{NO}_3^-$  섭취량을 많이 줄일 수 있을 것이라 생각된다.

양상추의 경우는 색등급 II, 색등급 III의 엽색일 경우는 403~565ppm 정도의  $\text{NO}_3^-$  함량을 나타냈고, 색등급 IV와 색등급 V일 경우는 527~912ppm 정도의  $\text{NO}_3^-$  함량을 나타냈고, 색등급 VI, 색등급 VII의 엽색일 경우는 940~1457ppm 정도의  $\text{NO}_3^-$  함량을 보였고, 색등급 VIII의 엽색일 경우는 1,882~3,355ppm의  $\text{NO}_3^-$  함량을 나타냈다. 양상추도 색등급 VIII 정도의 엽색을 가진 엽을 제거하고 섭취한다면  $\text{NO}_3^-$  섭취량을 줄일 수 있을 것이라고 생각된다.

Ascorbic acid는  $\text{NO}_3^-$ 가  $\text{NO}_2^-$ 로 즉 질산염이 아질산염으로 변화하는 과정을 차단하여 위암 및 위염을 예방할 수 있다(이광호, 1997; 민진석, 1998)고 알려져 있으나  $\text{NO}_3^-$ 에서 발암의 원인이 되는 Nitrosoamines(M.

J. HILL et al, 1973 ; 谷村, 1983; Mücke, 1985; Scarpf, 1991; 三輪, 1995)의 전구 물질인  $\text{NO}_2^-$  변화 된것은 중화시킬수가 없다고한다.(민진석, 1998) 그러나 이 아질산염은 다시 ascorbic acid를 산화시켜 그 효능을 상실케 하는(이광호, 1997)작용을 한다고 알려져 있어 엽위별  $\text{NO}_3^-$  함량과 ascorbic acid 함량과의 관계가 관심의 대상이 되고 있다.

엽위별 함량 변화는  $\text{NO}_3^-$  함량 변화와 같이 내부엽에서 외부엽으로 갈수록, 즉 엽크기가 커질수록 그 함량이 많아지는 경향을 보였다.

결구 채소의 종류별로 엽위별 ascorbic acid 함량을 살펴 보면 배추중특의 경우 최내엽 부터 최외엽까지 77~277ppm까지의 변화를 보였고, 엽신의 경우 134~1,096ppm까지의 변화를 보였다.

양배추의 경우 먼저 중특은 4~490ppm까지의 변화를 보였고, 엽신의 경우는 최내엽에서부터 최외엽까지의 ascorbic acid 함량 변화는 6~810ppm정도 였다.

양상추의 경우 먼저 중특의 ascorbic acid 함량 변화는 6~168ppm 까지 였고 엽신의 경우 14~1,315ppm 까지 였다.

내부엽에서 외부엽으로 갈수록 ascorbic acid 함량이 늘어나는것은 세포가 성숙됨에 따라 작은 액포가 서로 붙어 대형화 되기 때문에 액포에 저장되어 있는 비타민류도 그 함량이 늘어 나기 때문이라 생각 된다.



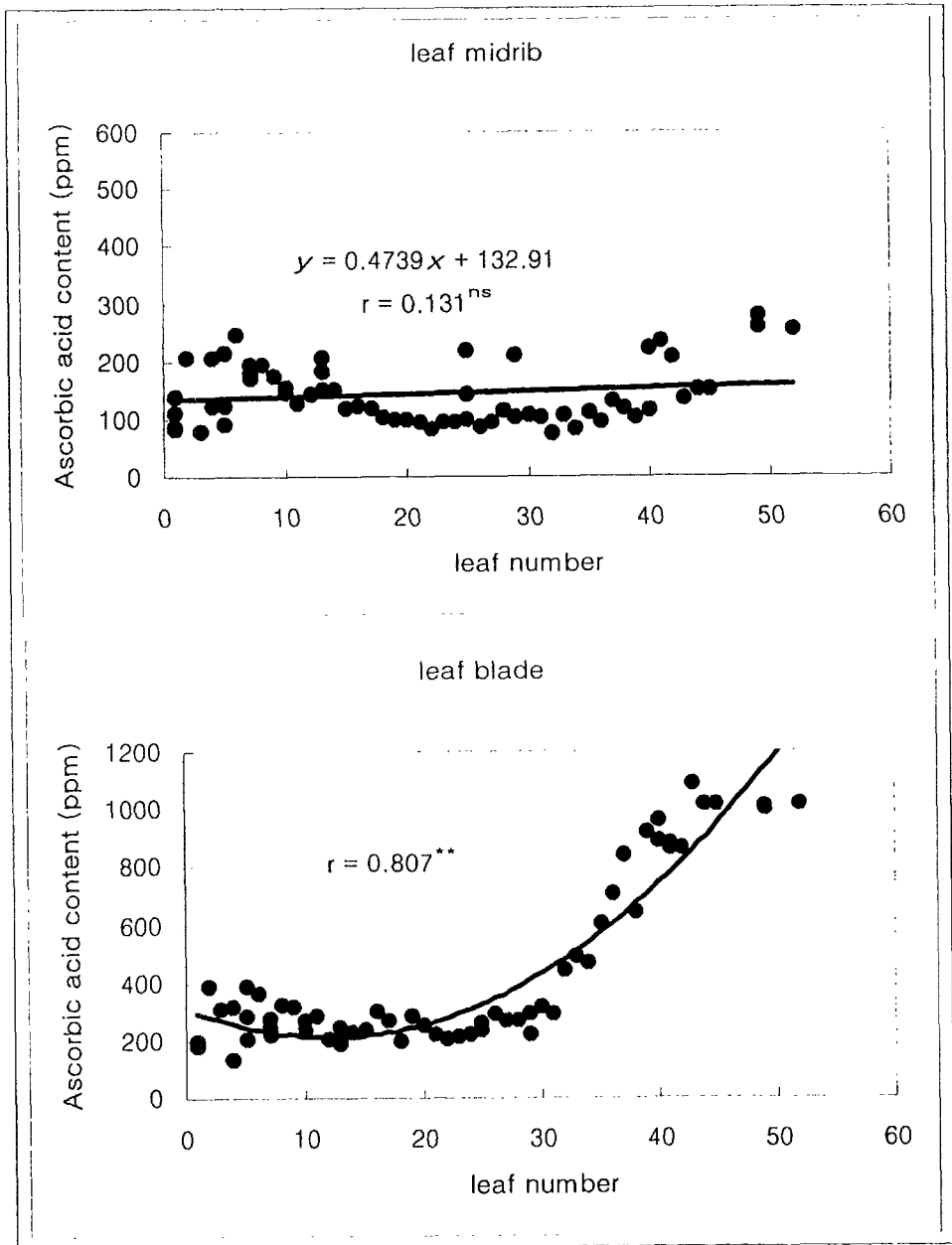


그림 4-25. 배추의 엽령별 Ascorbic acid 함량의 차이

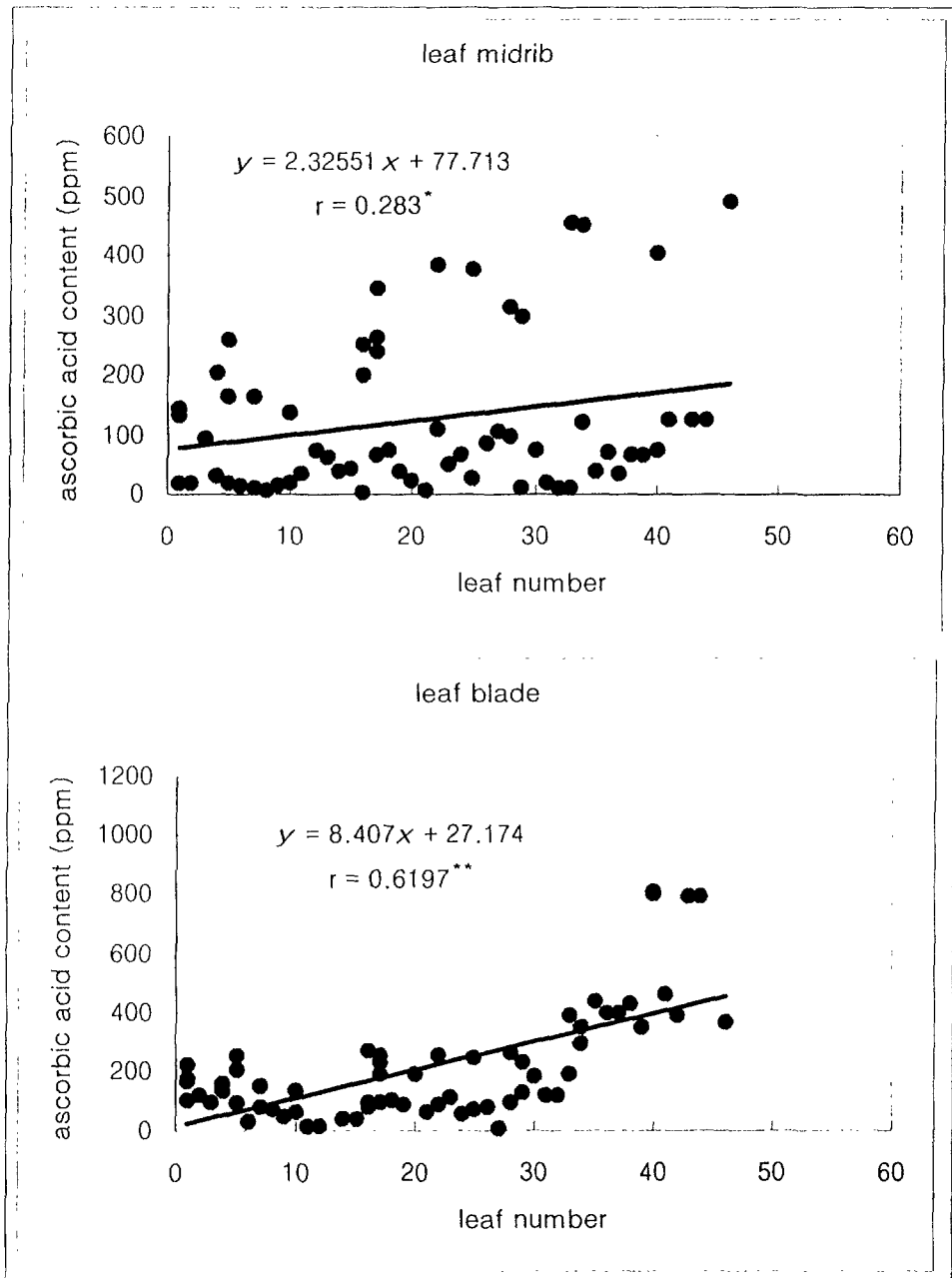


그림 4-26. 양배추의 엽령별 Ascorbic acid 함량의 차이

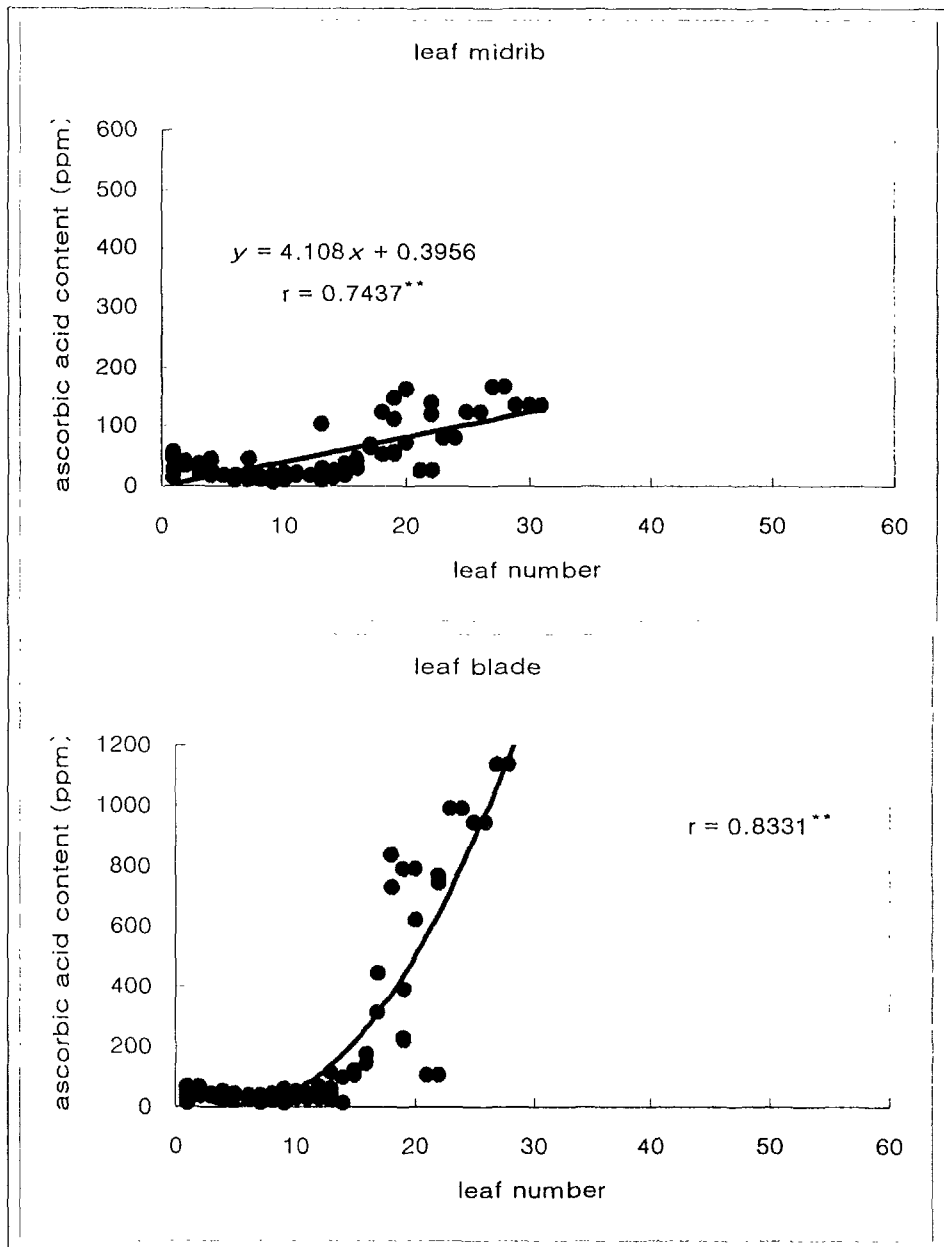


그림 4-27. 상추의 엽령별 Ascorbic acid 함량의 차이

$\text{NO}_3^-$  함량과 ascorbic acid 함량과의 관계는 그림 4-28, 4-29, 4-30에서 보는 바와 같이 배추의 중특을 제외하고는 모두 정의 상관 관계를 가지고 있다. 즉 엽속에  $\text{NO}_3^-$  함량이 증가하면 할수록 ascorbic acid 함량이 증가하고 있음을 나타내고 있다.

각각에 대해 알아보면 먼저 배추 중특의 경우  $r=0.104^{ns}$ 로 상관 관계가 없음이 나타났고 엽신의 경우  $r=0.860^{**}$  로 고도의 유의성을 보였다.

양배추의 경우 중특은  $r=0.421^*$ 의 정의 상관관계를 보였고, 엽신은  $r=0.438^*$ 의 유의성을 보였다. 양상추는 먼저 중특은  $r=0.814^{**}$ 의 정의 상관관계를 보였고 엽신은  $r=0.7923^{**}$ 의 정의 상관을 나타냈다.

이상에서 알수 있는 바와 같이  $\text{NO}_3^-$  함량이 늘어남에 따라 ascorbic acid 함량도 늘어나기는 하지만, 그 반면 ascorbic acid를 산화 시켜 그 활성을 잃게 하는  $\text{NO}_2^-$ 의 전구물질인  $\text{NO}_3^-$  함량도 늘어 난다는 점에서 고질산염 집적을 최소화할수 있는 재배적 조치 즉 최적질소시비와 노지재배가 필요하다라고 판단된다.

또 우리의 식생활 방식이 채소 섭취시 삶거나 데쳐먹는 방식이 주류를 이루고 있어 ascorbic acid가 열에 의해 산화될수도 있기때문에 채소 가식부의내  $\text{NO}_3^-$  함량을 줄여야 하는 노력이 더욱 필요하다고 생각된다.

특히 중특의 경우  $\text{NO}_3^-$  집적량은 외부엽으로 갈수록 매우 높게 증대되고 있으나 ascorbic acid 함량 변화는 거의 없었다는 점은 결구채소의 육중시 중특 부분이 적은 채소를 육성하는 육중 목표로의 방향전환이 필요하지 않나 사료된다.

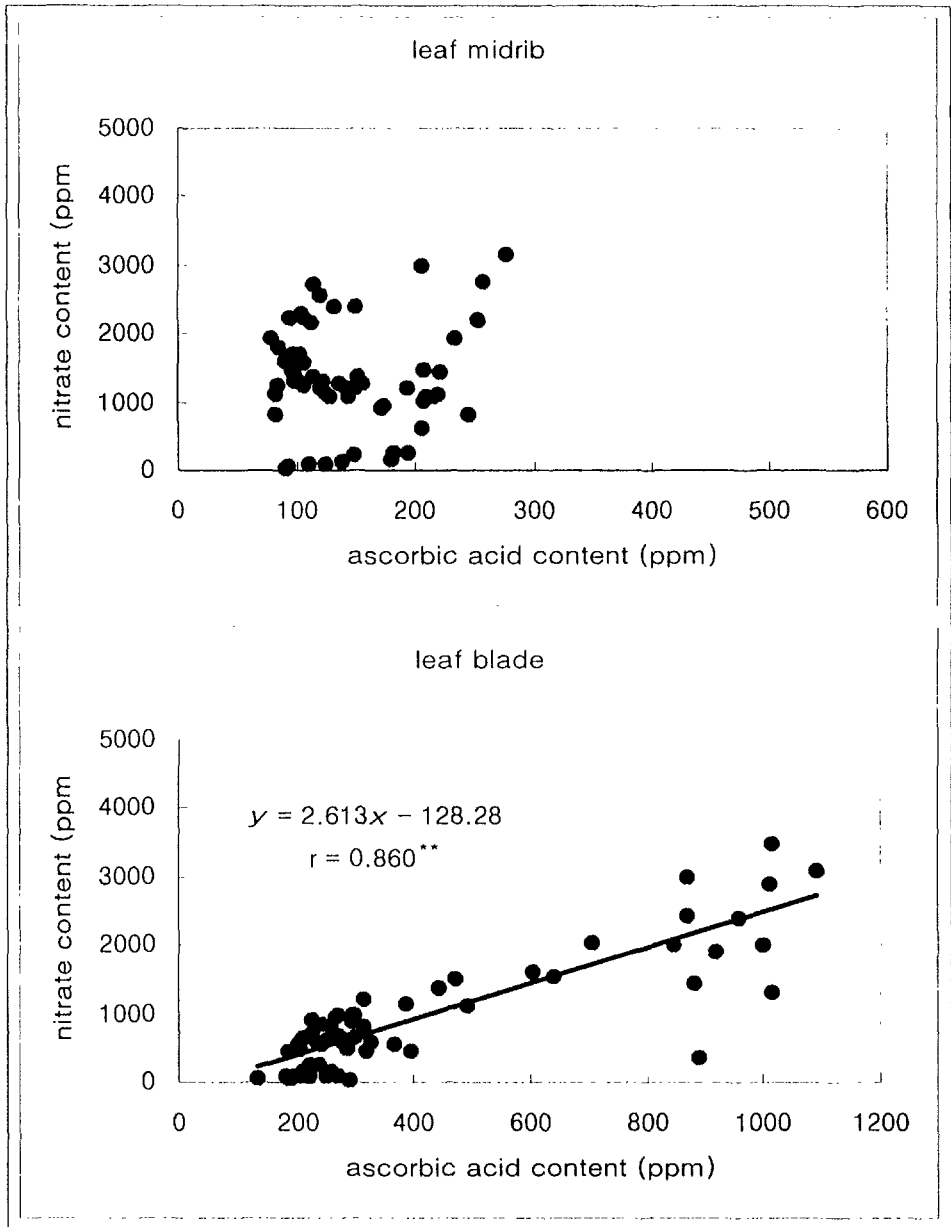


그림 4-28. 배추의 ascorbic acid 함량과 질산염 함량과의 상관관계

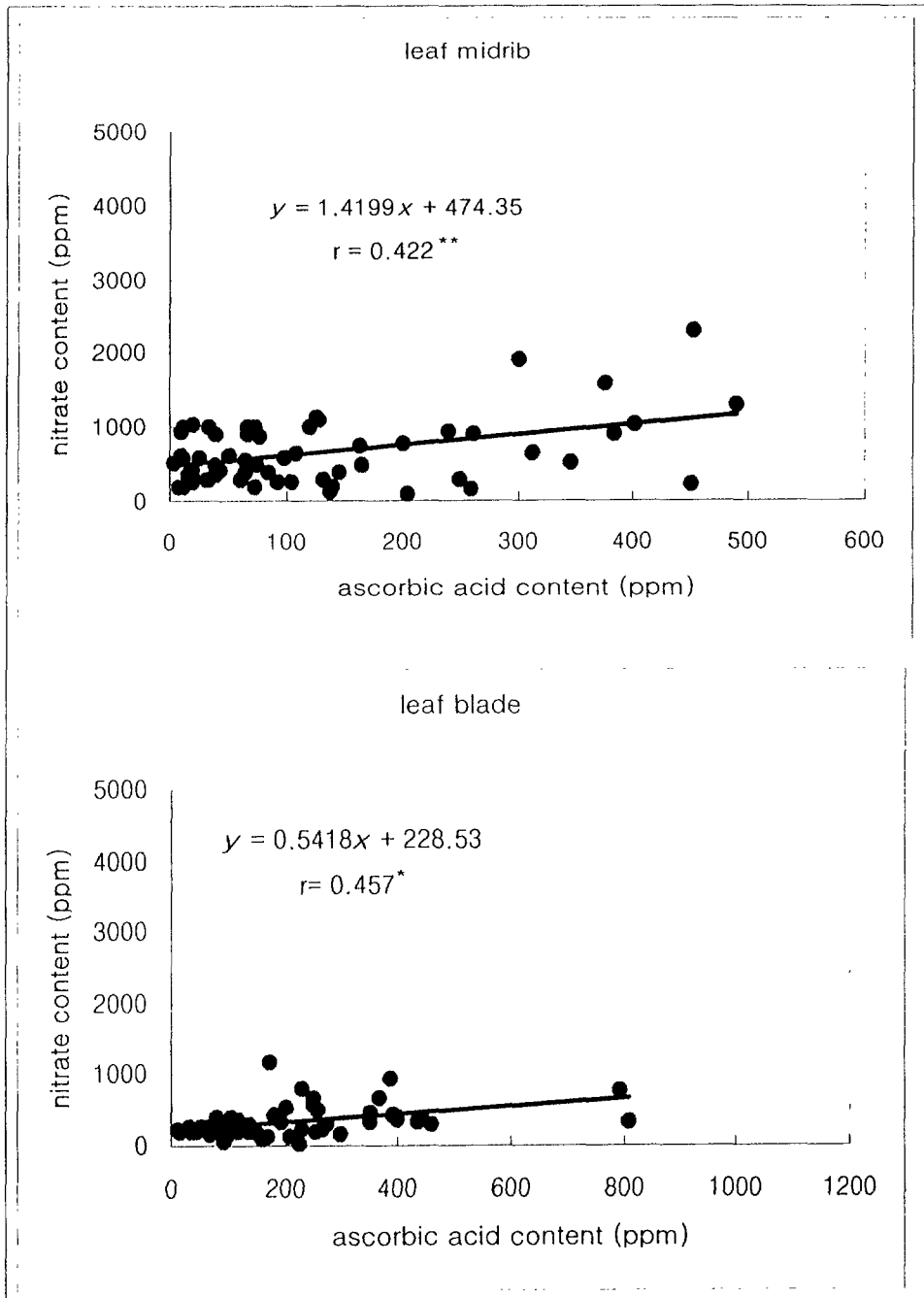


그림 4-29. 양배추의 ascorbic acid 함량과 질산염 함량과의 상관관계

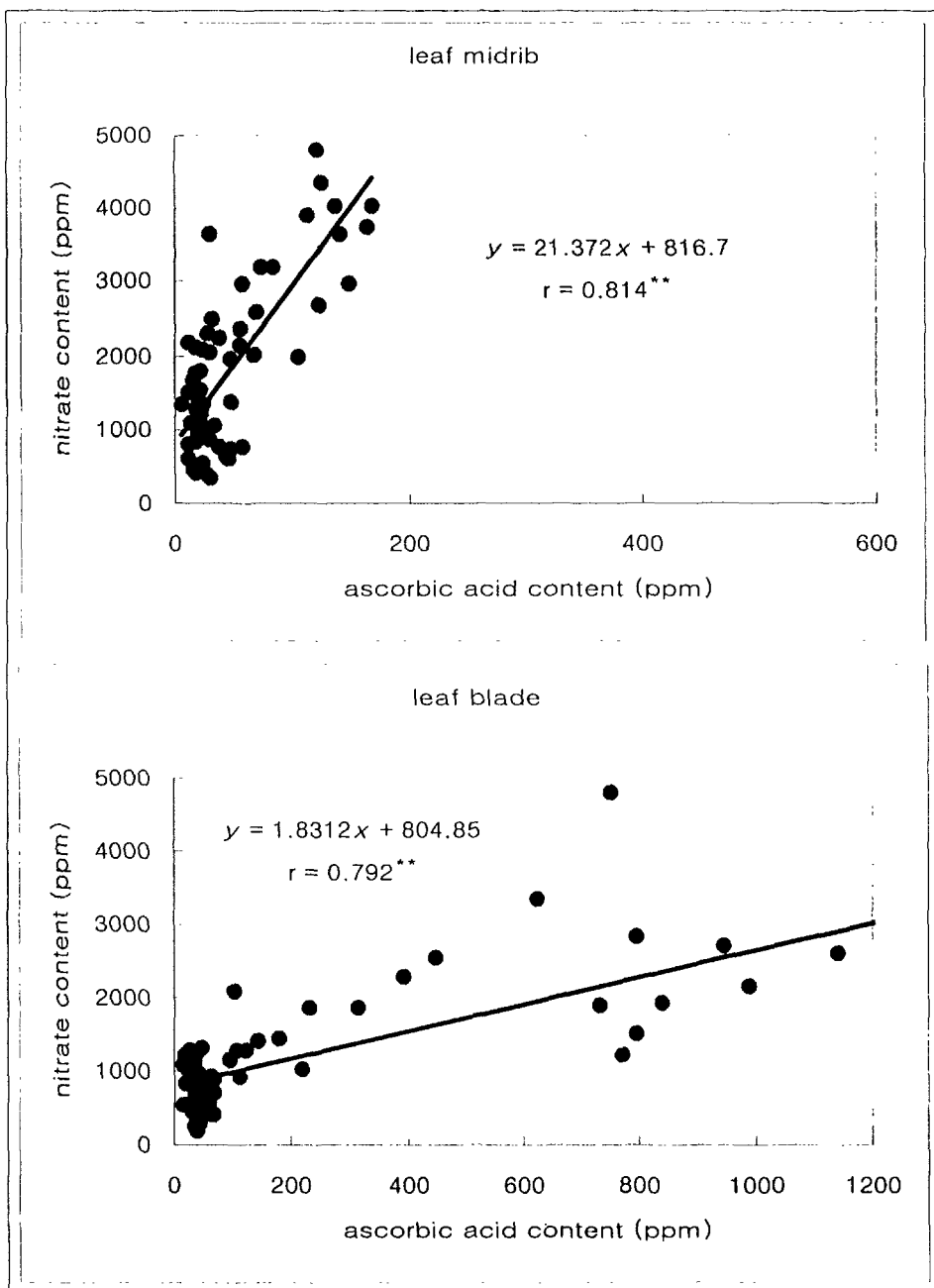


그림 4-30. 상추의 ascorbic acid 함량과 질산염 함량과의 상관관계

### 제3절 질소시비수준에 따른 질산환원효소 활성도와 질산염 집적과의 관계

질소시비량에 따른 배추 생체중은 그림 4-31에서와 같이 무비구에 비해 반비구, 보비구, 배비구의 생체중이 크게 높은 경향을 나타냈다. 외부엽 중특의 생체중이 무비구에서는 14g이었으나 반비구, 보비구, 배비구에서는 34~36g 수준으로 높았고, 내부엽 중특의 생체중은 무비구에서 11g이었으나 반비구, 보비구, 배비구에서는 33~37g 수준으로 높았다. 한편 엽신의 생체중도 중특의 증가경향과 같이 질소처리구에서 무비구에 비해 약 210%내외로 크게 높았다.

엽신의 생체중이 중특의 생체중에 비해 모든 처리구에서 많았으나 외부엽은 질소시비량이 증가할수록 생체중이 증가한 반면 내부엽 생체중은 중특은 반비구까지 증가하다가 보비구 이후 줄어들었고 엽신은 보비구까지 증가하다가 배비구 이후 감소하였다. 즉 질소시비처리는 주로 외부엽 중특과 엽신의 생체중 증가에 크게 기여하였음을 알 수 있었다.



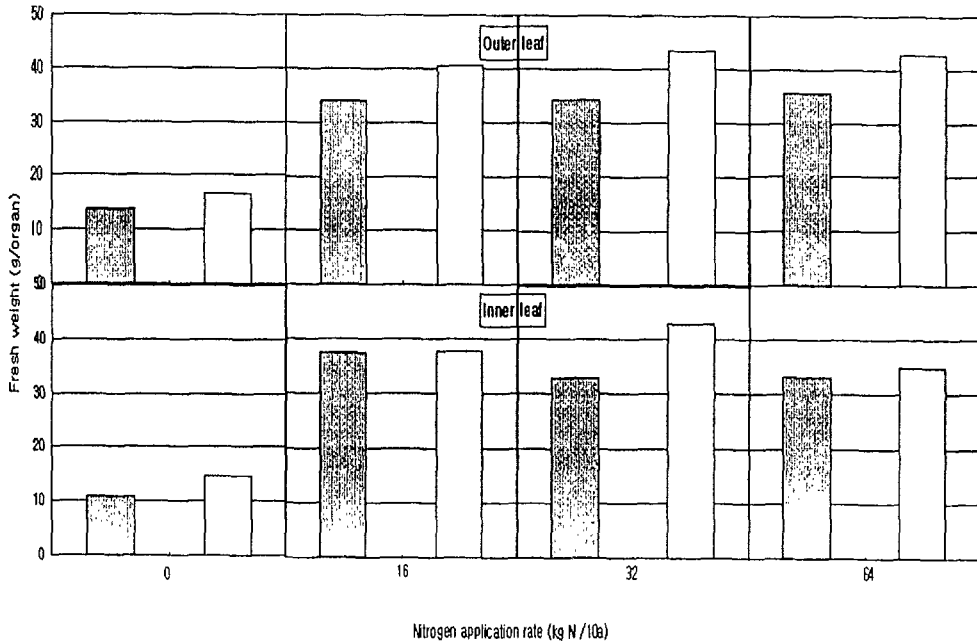


Fig 4-31. Fresh weight in Chinese cabbage by different rate of nitrogen application.

( : midrib,  : leaf blade)

배추 엽위별 nitrate함량의 차이는 질소시비량에 따라 부위별로 크게 차이가 있는데 이를 나타낸 것이 그림 4-32이다.

질소시비량이 증가할 때 내부엽보다 외부엽의 nitrate집적량이 훨씬 많았다는 것을 그림 4-32에서 알 수 있었다. 즉 외부엽의 경우 무비구의 nitrate함량이 중륙 643ppm, 엽신 902ppm에서 최고집적량을 보인 보비구에서 중륙 8998ppm, 엽신 6437ppm으로 높게 나타난 반면, 내부엽은 무비구의 nitrate함량이 중륙 334ppm, 엽신 283ppm에서 최고 집적량을 보인 보비구에서는 중륙 2468ppm, 엽신 1401ppm으로 낮게 나타났다.

각 처리구에서 중륵의 nitrate함량이 엽신보다 크게 높았는데 이같은 경향은 이전의 여러 연구자의 보고들과 일치하는 경향이었다. 한편 질소시비량에 따른 nitrate함량은 내외부엽 공히 질소시비량이 증가할수록 증가하다가 배비구에서는 오히려 낮게 나타났다.

이처럼 외부엽의 nitrate함량이 내부엽보다 높았던 것은 nitrate가 대개 세포내 액포에 저장되기 때문에 엽령이 많아 액포의 크기가 상대적으로 커진 외부엽에 다량의 nitrate가 집적되었기 때문으로 해석할 수 있다.

대부분의 작물은 질소원으로서 주로  $\text{NO}_3^-$ 를 흡수한다. 흡수된  $\text{NO}_3^-$ 는 뿌리에서 환원되지 않고 지상부 식물세포의 액포와 세포질에 대개 저장된다. (액포가 주 reverse pool). Nitrate reductase 활성도 induction은  $\text{NO}_3^-$ 의 흡수와 nitrate pool(주로 세포질내 질산염)에 의해 좌우된다. 그밖에 질산환원과정은 탄소동화작용 물질대사와도 연관되어 있다.

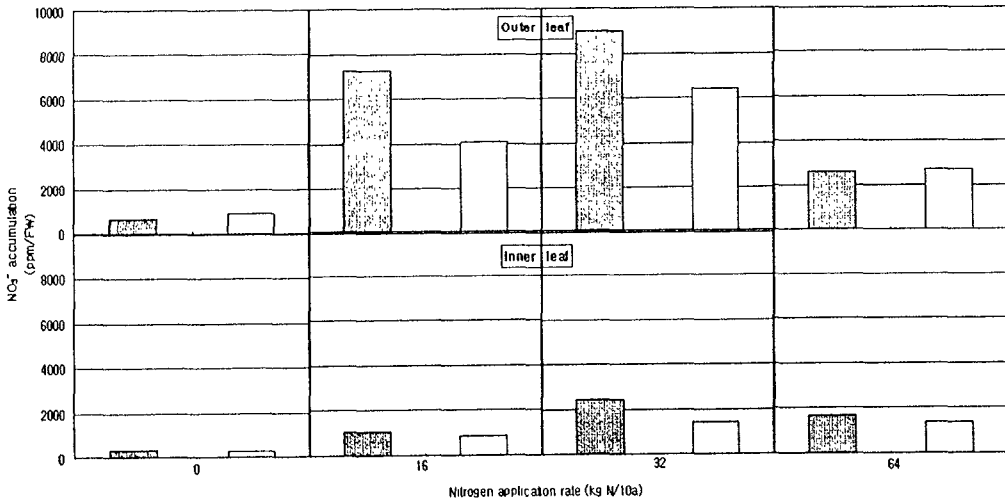


Fig 4-32 . Nitrate accumulation in Chinese cabbage by different rate of nitrogen application.

(  : midrib,  : leaf blade)

in vivo에 의한 nitrate reductase활성도 측정은 손상되지 않은 intact 식물조직을 incubation시켜 실시하므로 세포를 분쇄시켰을 경우 생기는 극미량의 방해물질에 의한 억제를 최소화할 수 있다는 장점이 있으나, intact 식물조직에서의 환원제 NADPH의 제한적 생산 때문에 in vitro법에 비해 1/6정도의 아주 낮은 효소활성도를 나타낸다고 알려져 있다(농촌진흥청, 1997). 따라서 본 연구에서는 in vitro상태에서의 nitrate reductase효소활성도를 측정하였다.

질소시비량에 따라 nitrate reductase 효소활성도가 어떻게 반응하는가를 나타내는 것이 표 4-33이다. DNA내에 질소의 turnover capacity가 들어있는 것이 발견되어 나타나는 것이 nitrate reductase 효소활성도라고 해석함으로써 nitrate reductase 효소활성도가 높으면 수량성이 높다고 보고되고 있다. 따라서 같은 품종을 동일 조건에서 재배할 때 nitrate reductase 효소활성도가 질소시비 처리수준에 따라 어떻게 달라지는가 하는 것은 nitrate함량의 집적기작을 해석하는데 크게 유익할 수 있기 때문이다. 왜냐하면 nitrate reductase는 nitrate를 nitrite로 환원하는 효소이기 때문에 이 효소의 활성도가 낮으면 흡수된 nitrate가 식물세포내에 집적될 수 있기 때문이다

Nitrate reductase 효소활성도중 ERE내 volume activity는 외부엽에 비해 내부엽이 그리고 중륵보다는 엽신에서 월등히 높은 수준을 나타냈다. 즉 외부엽 중륵의 효소활성도가  $0.7 \sim 21.1 \mu\text{molNO}_2^-/\text{min}$ 인데 비해, 외부엽 엽신은  $0.7 \sim 117.2 \mu\text{molNO}_2^-/\text{min}$ 이었다. 한편 내부엽 중륵은  $0.7 \sim 49.7 \mu\text{molNO}_2^-/\text{min}$ , 내부엽 엽신은  $0.7 \sim 133.3 \mu\text{molNO}_2^-/\text{min}$ 내외를 나타냈다.

질소시비수준별로는 중륵에서는 배비구 수준에 이르기까지 질소시용량의 증가에 따라 효소활성도가 증가한 반면, 엽신의 경우 효소활성도가 보비구에서 가장 높았으며 배비구에서는 오히려 낮아져 부위별로 다른 경향을 나타냈다. 즉 외부엽의 경우 중륵에서 보비구  $15.3 \mu\text{molNO}_2^-/\text{min}$ 이었던 효소활성도가 배비구에서  $21.0 \mu\text{molNO}_2^-/\text{min}$ 으로 증가한 반면, 엽신에서는  $117.2 \mu\text{molNO}_2^-/\text{min}$ 이었던 효소활성도가  $101.1 \mu\text{molNO}_2^-/\text{min}$ 수준으로 낮아졌다.

ERE내 nitrate reductase의 volume activity가 외부엽에 비해 내부엽이 높다는 것은 nitrate reductase효소가 NADPH를 필요로 하는 효소라는 측면에서 작물생육이나 질산염 함량과의 관계가 거의 없는 것으로 파악되었다.

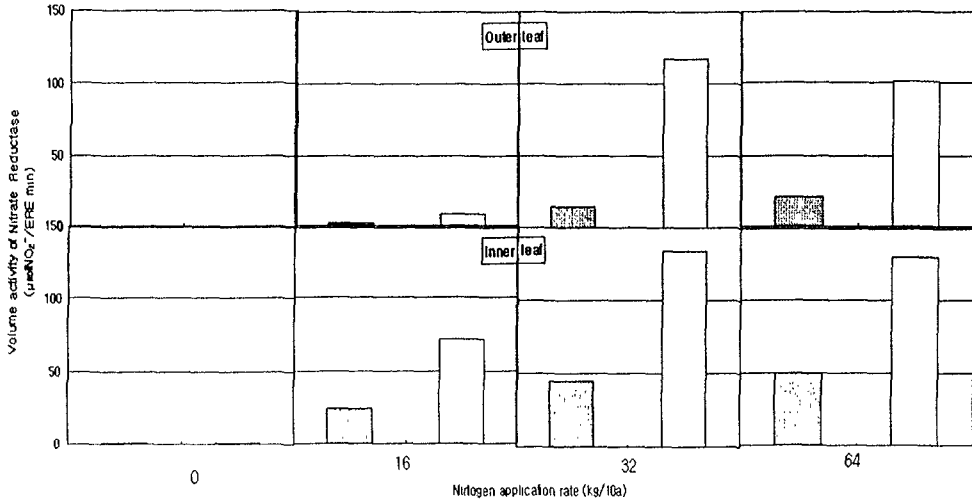


Fig 4-33. Volume activity of Nitrate Reductase in Chinese cabbage by different rate of nitrogen application.

(  : midrib,  : leaf blade)

생체중과 nitrate reductase 효소활성도의 관계에서 계산한 nitrate reductase의 specific activity는 외부엽보다는 내부엽의 효소활성도가 조금 높은 경향이였다. 외부엽 중륵의 효소활성도가 1.0~33.8U/g FW인데 비해, 외부엽 엽신은 1.0~162.0U/g FW 수준이였다. 한편 내부엽 중륵은 1.5~27.1U/g FW, 내부엽 엽신은 1.7~216.6U/g FW내외를 나타냈다. 즉 중륵보다는 엽신의 효소활성도가 4~6배나 높았음을 알 수 있었다.

질소시비수준별로는 엽신에서는 배비구 수준에 이르기까지 질소시용량의 증가에 따라 효소활성도가 크게 증가한 반면, 중륵에서는 효소활성도가 보비구에서 가장 높았

으며 배비구에서는 오히려 낮아지는 경향을 나타냈다. 즉 엽신의 경우 즉 외부엽에서 보비구 162.8U/g FW이었던 효소활성도가 배비구에서 120.2U/g FW으로 낮아지고 내부엽에서는 보비구 216.1U/g FW이었던 효소활성도가 183.8U/g FW로 저감한 반면, 중륵의 경우 외부엽에서 보비구 28, U/g FW이었던 효소활성도가 배비구에서 33.8U/g FW으로 증가하고 내부엽에서도 보비구 19.0U/g FW이었던 효소활성도가 19.1U/g FW로 증가하였다.

--문헌/해석--

빛에 의해서 nitrate reductase활성도가 촉진되는데 이것은 광합성에서 생긴 NADPH가 shuttle기작에 의해 세포질의 NADPH 농도를 높이기 때문인 것으로 본다. 또 한편 induction에 직접 관계가 있는  $\text{NO}_3^-$  농도가 phytochrome을 통하여 증가되는 것으로도 해석되고 있다.

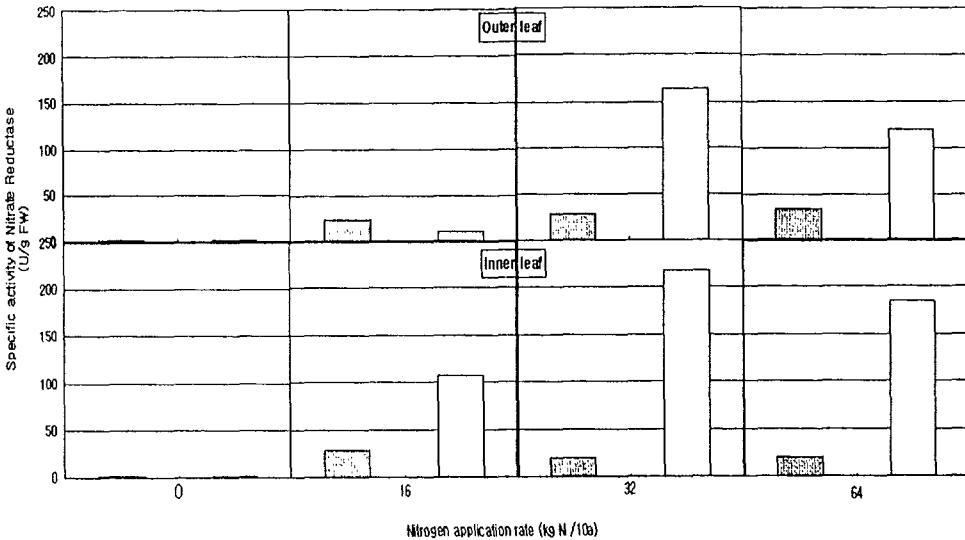


Fig 4-34. Specific activity of Nitrate Reductase in relation to fresh matter in Chinese cabbage

by different rate of nitrogen application .

(  : midrib,  : leaf blade)

ERE중의 단백질 함량과 nitrate reductase 효소활성도의 관계에서 계산한 nitrate reductase의 specific activity는 ERE중의 효소활성도를 나타내는 외부엽의 효소활성도가 내부엽에 비해 높았던 volume activity나 생체중과 nitrate reductase 효소활성도의 관계에서 계산한 nitrate reductase의 specific activity와는 전혀 다르게 내부엽의 효소활성도가 외부엽보다 높은 경향을 나타냈다(그림 4-35 참조). 즉 내부엽은 0.1~27U/mg protein 수준의 높은 효소활성도를 보인 반면 외부엽은 0.1~14.0U/mg protein 수준의 낮은 효소활성도를 나타냈다. 가장 낮은 효소활성도는 내부엽과 외부엽 공히 무비구 중특에서 0.1U/mg protein으로 나타났고, 가장 높은 효소활성도는 내부엽에서는 보비구 중특에서, 30.0U/mg protein, 외부엽에서는 보비구 엽신에서 14.0U/mg protein으로 각각 나타났다.

질소시비량에 따른 nitrate reductase의 specific activity(U/mg protein)는 그림 4-35에서 보는바와 같이 보비구 수준까지는 질소시비량이 증가할수록 높아졌으나 보비수준을 초과하는 배비구에서는 효소활성도가 조금 억제되는 경향을 보였다. 이 같은 현상은 외부엽과 내부엽에서 거의 동일하게 나타났으며, 중특과 엽신에서도 같은 경향이였다. 다만 외부엽 중특의 경우 보비구의 효소활성도가 반비구, 배비구에 비해 낮은 현상을 예외적으로 나타냈다.

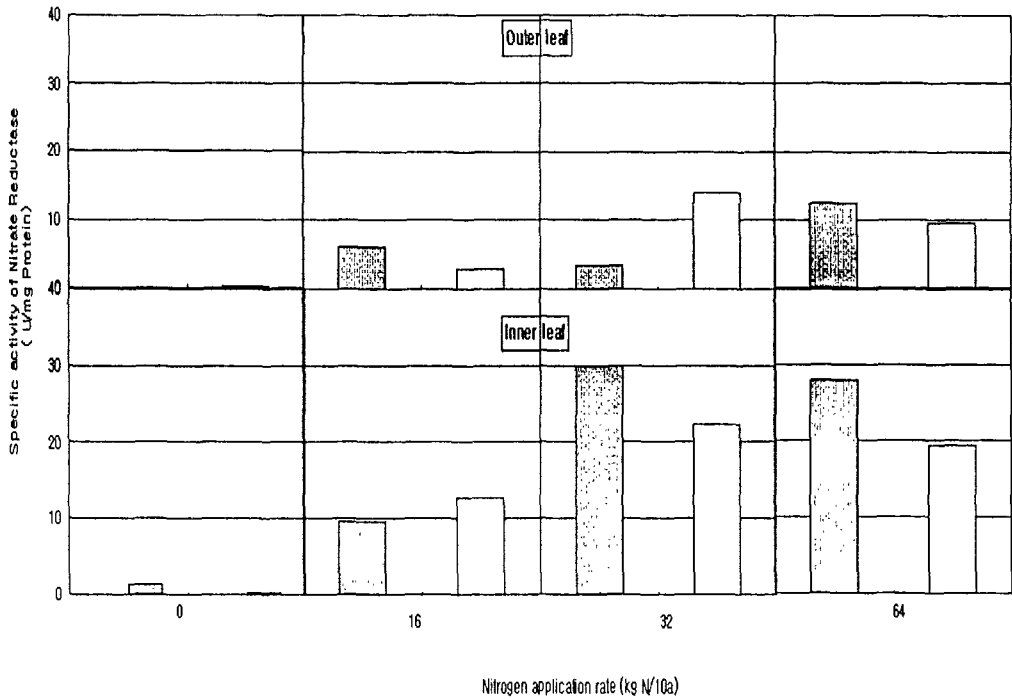


Fig 4-35. Specific activity of Nitrate Reductase in relation to protein in Chinese cabbage by different rate of nitrogen application.

( :midrib,  :leaf blade)

그림 4-36은 배추의 부위별 생체중과 nitrate함량과의 관계를 나타낸 것이다. 생체중이 증가할수록 부위별 nitrate함량이 함께 증가하여 중립에서는 5%수준의 높은 정의 상관관계가 엽신에서는 1%의 고도로 높은 정의 상관관계가 나타났다.

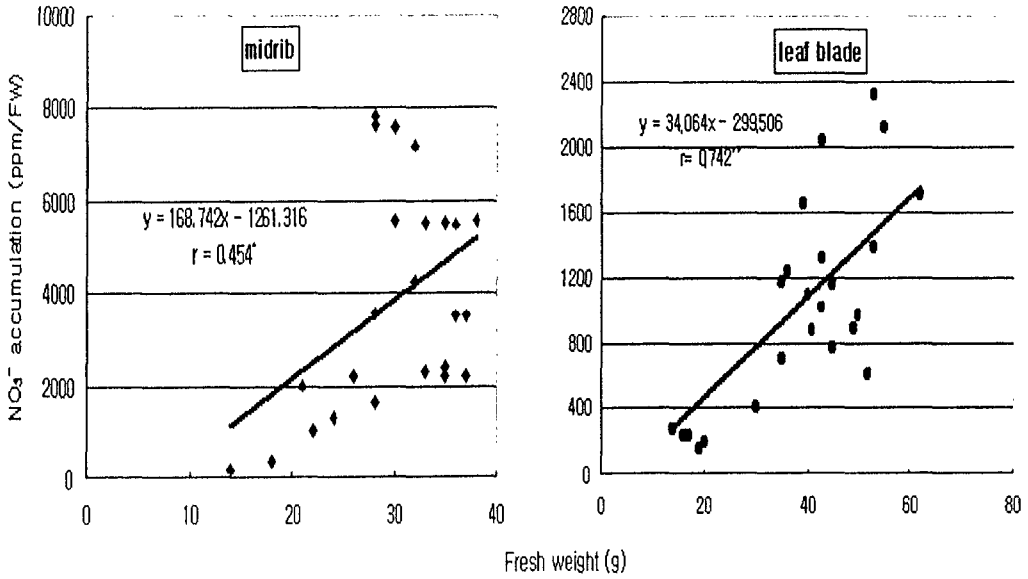


Fig 4-36. Relation between fresh weight and nitrate accumulation in midrib and leaf blade of Chinese cabbage.

한편 배추내의 nitrate함량이 증가함에 nitrate reductase 효소활성도가 어떻게 반응하는가를 알아본 것이 그림 4-37이다. ERE중의 단백질 함량과 nitrate reductase 효소활성도의 관계에서 계산한 nitrate reductase의 specific activity(U/mg protein)는 중특에서는 nitrate함량이 증가할수록 효소활성도가 감소하는 1%수준의 높은 부의 상관관계를 나타냈으나, 엽신에서는 nitrate함량이 증가할 때 효소활성도도 함께 증가하는 정의 상관관계를 나타냈다. 한편 nitrate reductase의 volume activity와 생체중과의 관계에서 계산한 specific activity(U/g FW)는 엽신에서 nitrate함량이 증가할수록 효소활성도가 증가하는 정상관관계를 나타냈으나, 중특에서는 nitrate함량과 효소활성도간에 아무런 상관관계를 보이지 않았다.



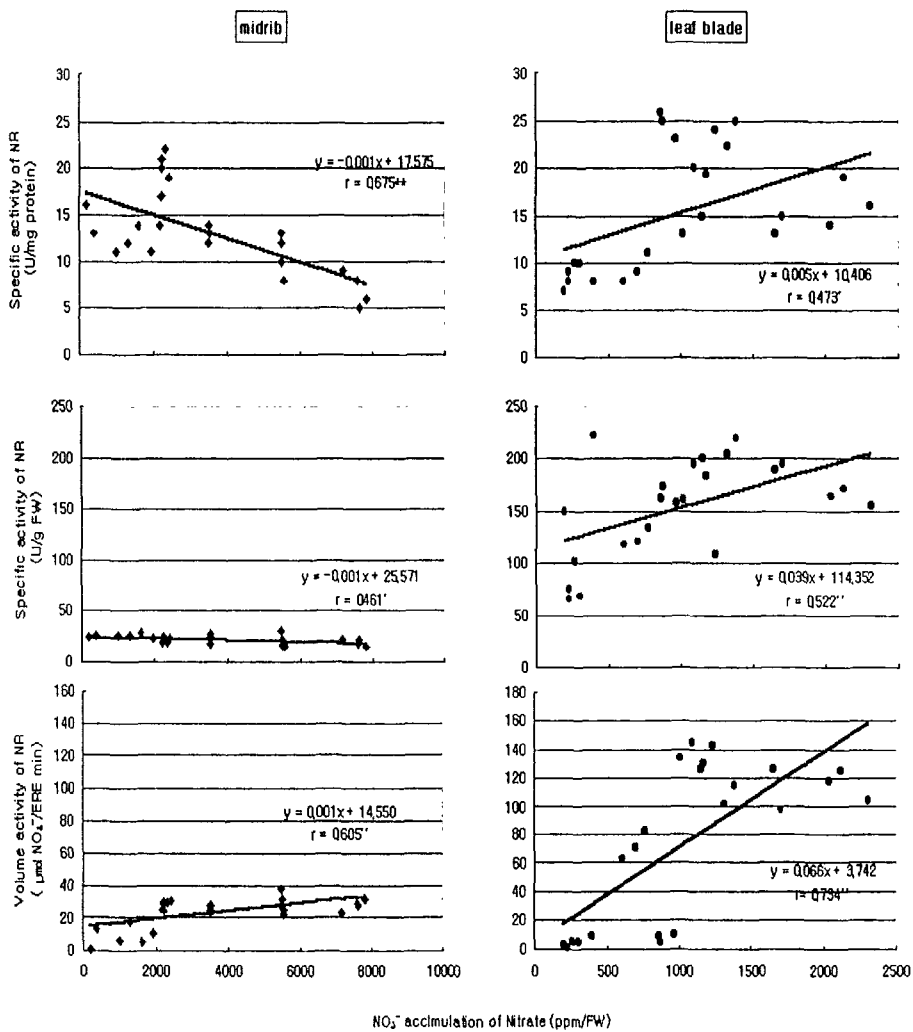


Fig 4-37. Specific activity and Volume activity of Nitrate Reductase of Chinese cabbage as affected by nitrate accumulation in the midrib and leaf blade.

## 제6장 저장, 유통, 가공시 질산염 함량 변화

### 제1절 수확시기 및 재배지역에 따른 질산염 함량

수확시기에 따른 질산염 및 아질산염 함량을 나타낸 결과, 1차 수확시 무의 질산염 함량은 2641.3ppm F.W., 2차 수확시 1793.8ppm F.W., 3차 수확시 1567.5ppm F.W.이었으며, 같은 수확시기에 배추의 질산염 함량은 3651.3ppm F.W., 2265.0ppm F.W., 1858.8ppm F.W.로써 무와 배추 모두 초기 수확된 시료의 질산염 함량이 후반기에 수확된 시료에 비해 높은 값을 나타냈다. 일조량이 많았던 시기에 생육했던 초기 수확 시료에서 질산염 함량이 더 낮을것으로 예상했으나, 실제로 실험기간 중 작물의 질산염 함량에 영향을 미칠만큼 유의한 수준의 일조량 차이는 없었던 것으로 판단되었다. 생육 후기의 질산염 함량 감소는 초기 생육이 왕성한 시기에 작물이 질소 성분을 다량 흡수함으로써 토양내의 전체 질소성분의 감소와 식물의 성숙으로 인한 희석 효과에 의한 것임이 보고된 바 있다. 본 실험도 이와 맥락을 같이하여 생육이 왕성한 시기에 수확한 초기 수확시기 그 흡수력이 증가하여 높은 경향을 보이며, 생육 후기는 다시 낮아진 것으로 사료되었다. 한편 무와 배추의 아질산염 함량은 각각 0.05 - 0.15ppm F.W. 및 0.2 - 0.6ppm F.W. 내외의 소량으로 조사되어, 수확시기에 따른 아질산염 함량에 큰 유의차는 나타나지 않았다. 이는 수확시기에 따라 작물내 질산환원효소의 활성에 큰 차이가 없었기 때문일 것으로 생각된다.

재배지역에 따른 질산염 함량을 조사한 결과, 무는 경기지역의 시료에서 2625.0ppm F.W.로 조사지역 중 가장 높은 함량을, 강원지역의 시료에서 1459.9ppm F.W.로 가장 낮은 함량을 나타냈다. 또한 배추는 전남지역의 시료에서 2706.0ppm F.W.로 최대 값을, 경기지역의 시료에서 1449.4ppm F.W.로 최소값을 나타내, 재배지역간에 질산염 함량에 유의차가 크게 나타나는 것으로 조사되었다. 이는 환경인자 및 재배요인이 지역마다 다르기 때문인 것으로 판단되며, 특히 재배지에서 가락동 농수산물 시장까지의 유통과정중 유통기간 및 온도 등의 요인도 각각 다르게 작용하여, 질산염 함량 차이에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

## 제2절 채소부위에 따른 질산염 함량

작물부위별 질산염 함량차이를 알아본 결과, 무와 배추 모두 부위에 따라 질산염 함량차이가 큰 것으로 조사되었다. 이러한 작물의 부위에 따른 질산염 함량차이는 질산환원효소의 활성 및 질산염 저장성 세포들간의 기능차이 때문인 것으로 보고되고 있다.

본 실험결과 무의 경우 사부부분(656.3ppm, F.W)보다는 표피부분(1766.3ppm, F.W)에서, 배추는 안쪽잎(1183.8ppm, F.W) 보다는 겉잎쪽(2371.8ppm, F.W)에서 더 높은 질산염 함량을 나타냈으며, 이는 질산환원효소의 활성 차이에 기인한 것으로 생각되나, 보다 정확한 원인접근을 위해 질산환원효소의 부위별 측정이 필요할 것으로 여겨진다.

## 제3절 포장 및 저장온도에 따른 질산염 및 아질산염 함량

처리별 배추와 무의 질산염 함량을 비교 조사한 결과, 배추의 질산염 함량은 각 저장온도에서 저장기간 동안 감소하는 경향을 나타냈으며, 질산염의 감소폭은 저온 및 PE 필름 처리구가 상온 및 필름 무처리구보다 적었다. Aworh는 상온에서 시금치를 수일간 저장할 경우 질산염의 분해 및 아질산염으로의 전이가 촉진되며, 이러한 전이는 부패미생물에 의해 그 속도가 빨라지는 것으로 보고하였다. 본 실험에서 저온과 PE 필름 처리구의 질산염 감소폭이 적었던 이유는 저온조건 이외에 PE 필름 내부에 일종의 MA 조건이 형성되어 고농도의 이산화탄소가 부패 미생물의 증식을 억제하여 아질산염으로의 전이를 지연시켰기 때문인 것으로 판단된다. 무의 질산염 함량변화도 배추와 비슷한 경향을 보였는데, 저장온도가 높을수록 저장기간중의 질산염 감소폭이 크게 나타나 20℃ 저장온도의 경우 초기 1793.8ppm F.W.에서 45일 저장후 750.6ppm F.W.로 감소하였다.

## 제4절 야적 및 가열조건에 따른 질산염 및 아질산염 함량

야적 30일 후 질산염은 무와 배추에서 감소하였으며, 명조건보다 암조건에서 질산염 감소가 적었다. 이와 반대로 아질산염은 야적전보다 함량이 크게 증가하였다. 배추를 가열할 때 80℃와 100℃의 비교에서 100℃ 온도에서 질산염 함량은 상대적으로 많이 감소하였다. 또한 1분, 5분, 10분, 15분, 20분의 처리시간별 함량변화의 조사에서 가열시간이 길어질수록 질산염 함량은 감소하였고 부위별 측정에서도 비슷한 경향을 보였다

## 제5절 건조 방법에 따른 질산염 함량

무의 건조방법별 함량변화 분석결과, 수확시의 질산염 함량은 건조되는 동안 모든 처리에서 감소하는 결과를 보였다. 한편 건조방법별 비교에서, 동결건조된 무에서 질산염 함량이 가장 적게 나타났고, dry oven에서 건조된 시료에서 질산염 함량감소가 가장 크게 조사되었다.

## 제6절 가공에 따른 질산염 함량변화

100℃에서 가열시간별 질산염 함량을 조사한 결과 작물마다 가열시간이 길어질수록 질산염 함량은 감소하는 경향을 나타냈다. 썩갓의 경우, 초기값에 비해 15초 처리시 약 1.7배, 5분 처리시 2.3배, 20분 처리시 3.5배 질산염 함량 감소효과를 나타냈다. 깻잎과 파는 15초 가열시 가열전과 비교하여 함량에 큰 유의차를 나타내지 않다가 5분이상의 가열처리에 의해 급속한 질산염 함량 감소를 나타냈으며, 20분 처리에 의해 각각 5배 및 4.8배 정도의 감소효과를 나타냈다. 고추, 무 및 당근의 경우도 처리시간이 길어질수록 질산염 함량 감소가 효과적인 것으로 나타났는데 20분 처

리에 의해 약 4.6-4.8배 정도의 함량감소 효과가 있었다. 위의 결과를 종합하여 볼 때 작물의 질산염 함량은 100℃에서 가열처리에 의해 감소하는 것으로 나타났으며, 가열시간이 길어질수록 감소효과가 큰 것으로 사료되었다. 또한 각 작물이 함유하고 있는 질산염 함량을 절반수준으로 감소시키는데는 약 5분 정도의 처리시간이 필요한 것으로 판단된다. 특히 초기 질산염 함량이 비교적 높게 나타났던 썩갓, 무 및 당근의 효과적인 질산염 함량 감소를 위해서는 20분 이상의 가열이 필수적일 것이라고 판단되었다.

## 제7절 조리방법에 따른 질산염 함량변화

조리방법별 질산염 함량을 조사한 결과, 썩갓은 튀기는 조리법에 의해 약 2.8배의 함량 감소가 나타나 볶기, 데치기, 전자렌지의 조리방법보다 함량 감소 효과가 높은 것으로 나타났다. 깻잎과 파는 튀기기와 볶기의 조리법이 질산염 함량 감소에 효과적인 것으로 나타났으며, 데치기와 전자렌지 조리법은 함량 감소 효과가 적은 것으로 나타났다. 고추는 튀김, 볶기, 데치기에서 질산염 함량이 적게 나타났으며, 특히 튀김에서 함량 감소 효과가 큰 것으로 나타났다. 그러나 전자렌지 조리법은 함량감소 효과가 없는 것으로 판단되었다. 무의 경우, 튀기기와 데치기에서 가장 적은 질산염 함량을 나타냈으나, 볶기와 전자렌지 조리법은 질산염 감소효과가 없는 것으로 판단되었다. 당근은 튀기기와 볶기의 조리법이 질산염 함량 감소에 효과적인 것으로 나타났다. 위의 결과를 종합하여 볼 때, 작물마다 함량 억제에 효과적인 조리방법에 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 그러나 공통적으로 튀김과 볶는 조리 방법이 작물마다 공통적으로 질산염 감소효과가 우수한 것으로 판단되었으며, 전자렌지와 데치기는 다른 조리방법에 비해 효과가 적은 것으로 판단되었다.

## 제8절 식염농도에 따른 질산염 함량변화

식염 농도에 따른 질산염 함량을 비교한 결과, 썩갯의 경우 본 실험에 사용된 작물 중 식염 처리에 의한 질산염 감소효과가 가장 큰 것으로 나타났는데, 식염처리에 의해 약 1.3-1.4배 정도 함량 감소 효과가 있었다. 그러나 질산염 함량에 있어 식염농도 처리간에 유의차는 없는 것으로 나타났다. 깻잎, 파 그리고 무의 경우, 수돗물 침지 혹은 식염 처리에 의해 약간의 함량감소가 나났으나 유의한 수준은 아니었으며 식염 농도 처리간에도 뚜렷한 함량차이는 나타나지 않았다. 따라서 깻잎, 파 그리고 무는 질산염 함량 감소에 미치는 식염 처리 효과는 미미 한 것으로 판단되었다. 고추와 당근의 경우, 수돗물과 식염 처리에 의해 질산염 함량이 감소되었으며, 1.5% NaCl 침지 처리보다 2.5% NaCl 침지 처리가 함량 감소에 더 효과적인 것으로 나타났다. 위의 결과를 종합하여 볼 때, 식염 처리는 작물에 따라 질산염 함량 감소에 효과가 달리 나타나는 것으로 생각되며, 가열이나 조리에 의한 함량 감소보다 그 효과가 상대적으로 적은 것으로 판단되었다.

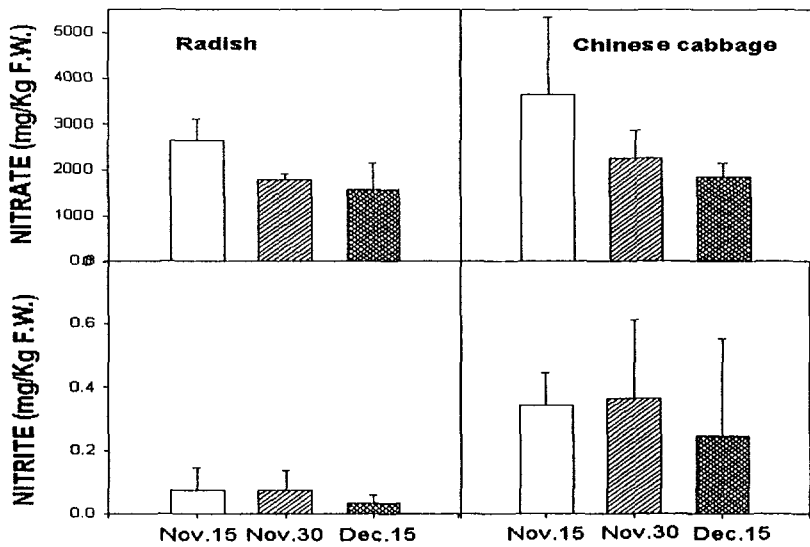


Fig. 5-1. Effect of harvest date on nitrate and nitrite contents in radish and Chinese cabbage. Vegetables were harvested from Nov.15 1997 with 15 days intervals. Vertical bars represent standard deviation.

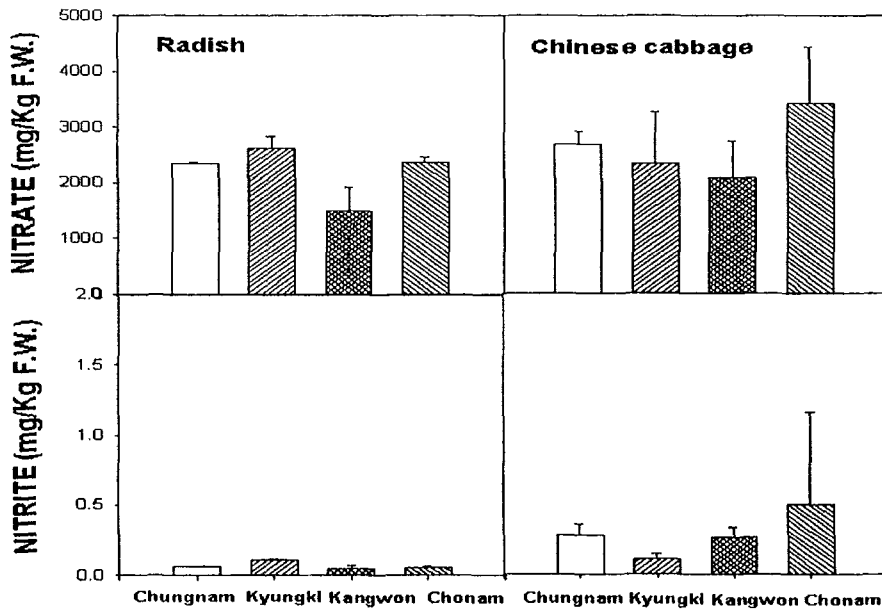


Fig. 5-2. Nitrate and nitrite contents in radish and Chinese cabbage harvested in different cultivation areas in South Korea. Vertical bars represent standard deviation.

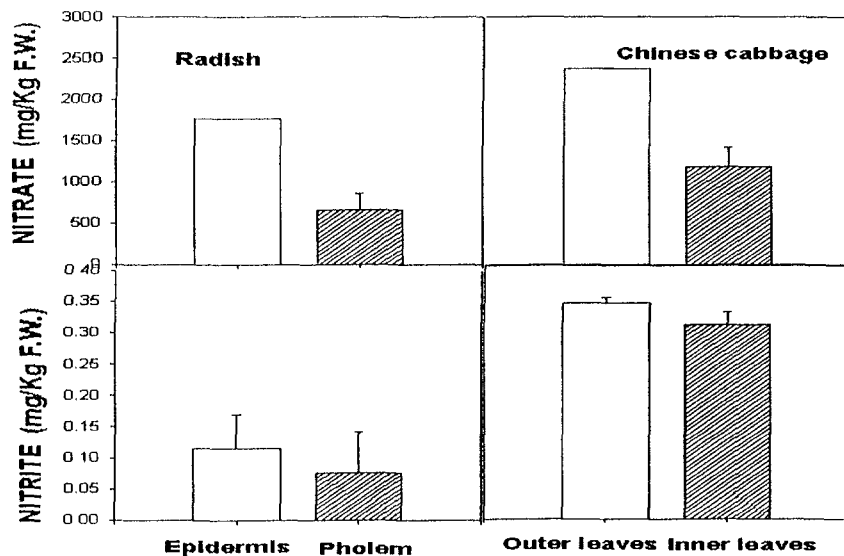


Fig. 5-3. Nitrate and nitrite contents according to plant part in radish and Chinese cabbage. Vertical bars represent standard deviation.

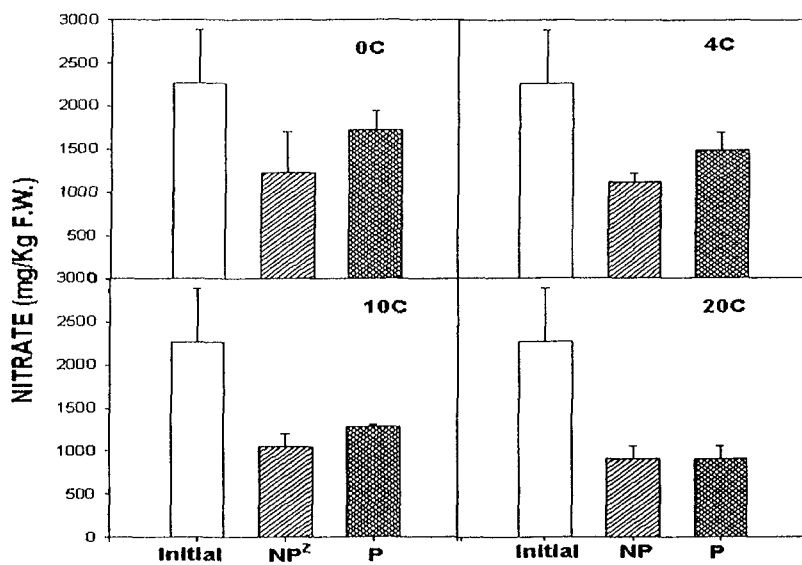


Fig. 5-4. Effect of film packaging and storage temperature on nitrate contents during storage for 45 days in Chinese cabbage. Vertical bars represent standard deviation. <sup>z</sup>; NP - non packaging, P- packaging



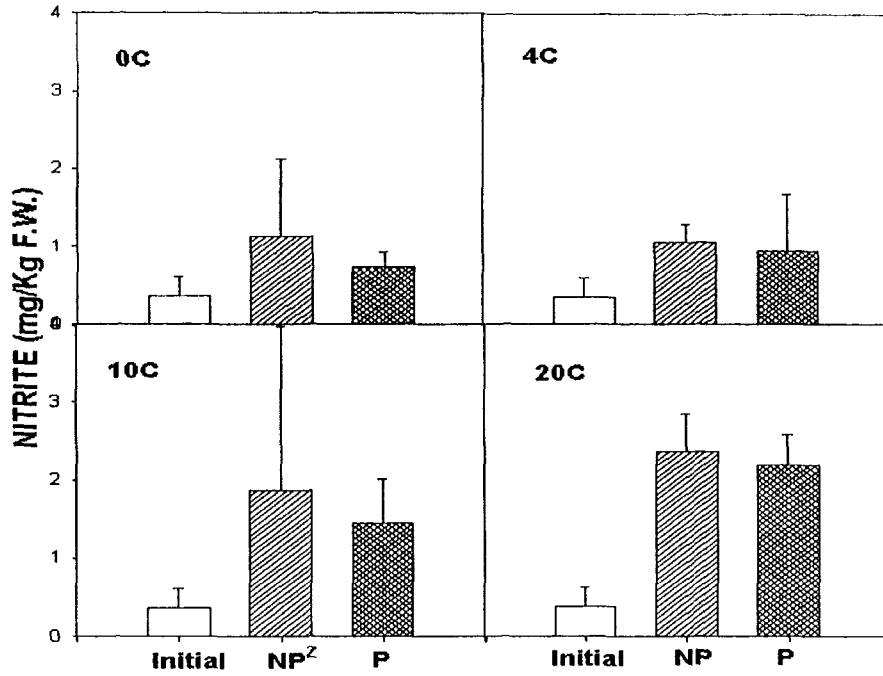


Fig. 5-5. Effect of film packaging and storage temperature on nitrite contents during storage for 45 days in Chinese cabbage. Vertical vars represent standard deviation.  
<sup>z</sup> ; NP - non packaging, P - packaging

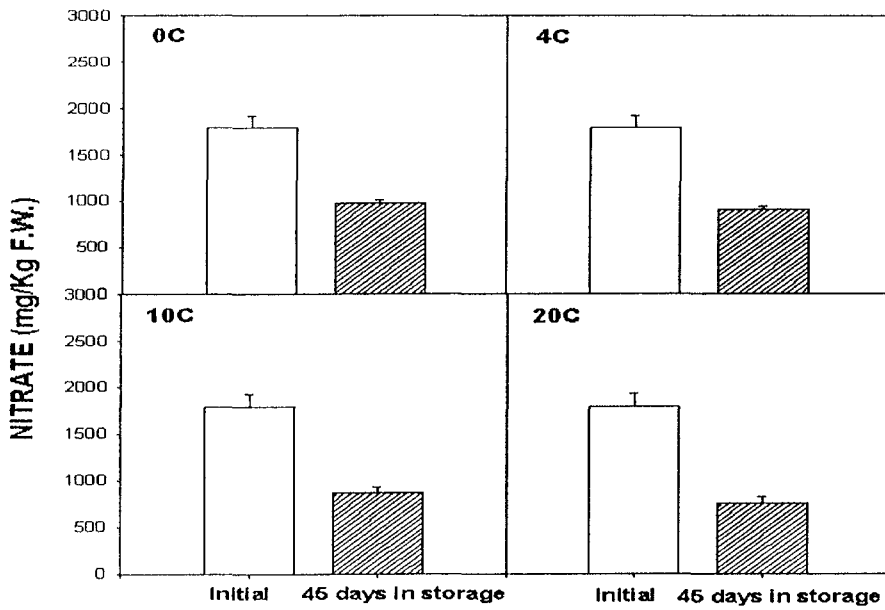


Fig. 5-6. Effect of storage temperature on nitrate contents during storage for 45 days in radish. Vertical bars represent standard deviation.

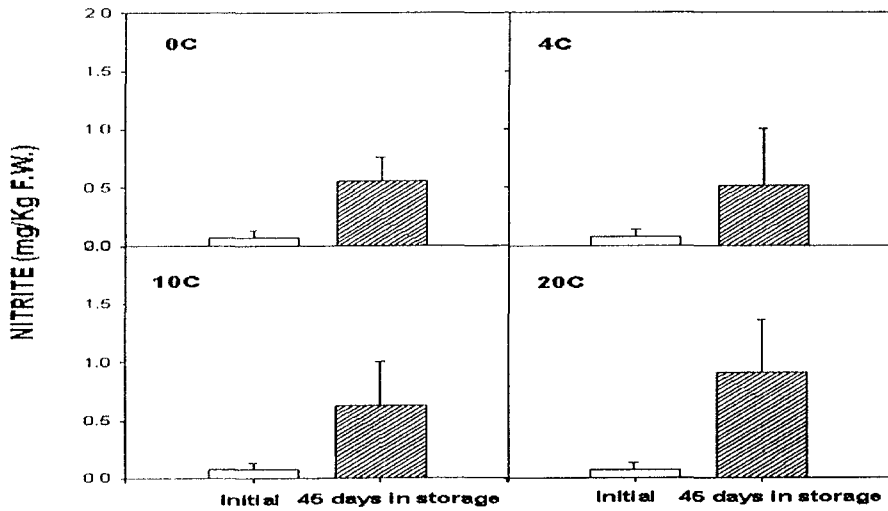


Fig. 5-7. Effect of storage temperature on nitrite contents during storage for 45 days in radish. Vertical bars represent standard deviation.

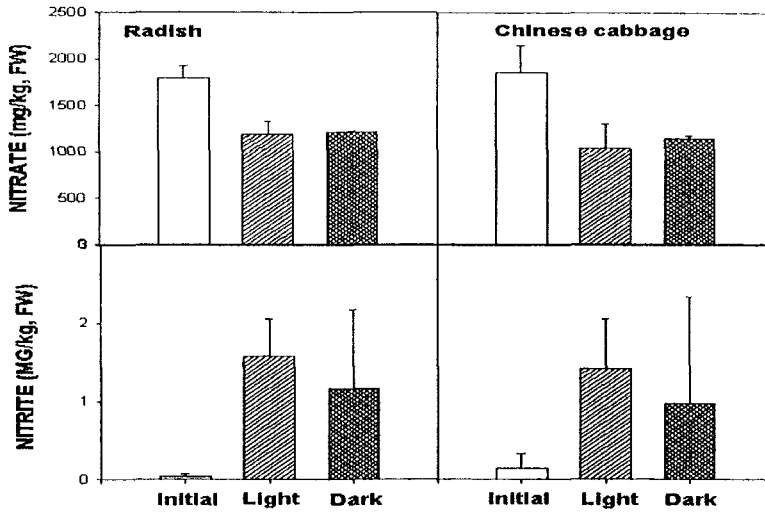


Fig. 5-8. Changes in nitrate and nitrite contents during field stacking in radish and Chinese cabbage for 30 days with white and black films. Vertical bars represent standard deviation.

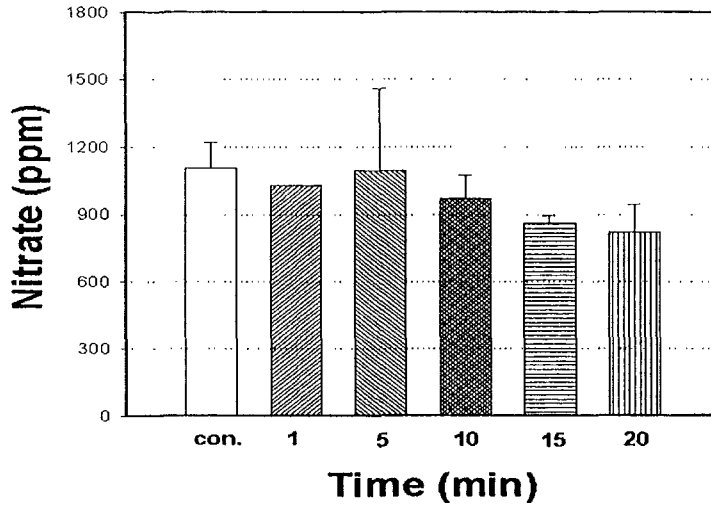


Fig. 5-9. Effect of boiling temperature at 80C and time on nitrate contents in inner part of Chinese cabbage. Vertical bars represent standard deviation.

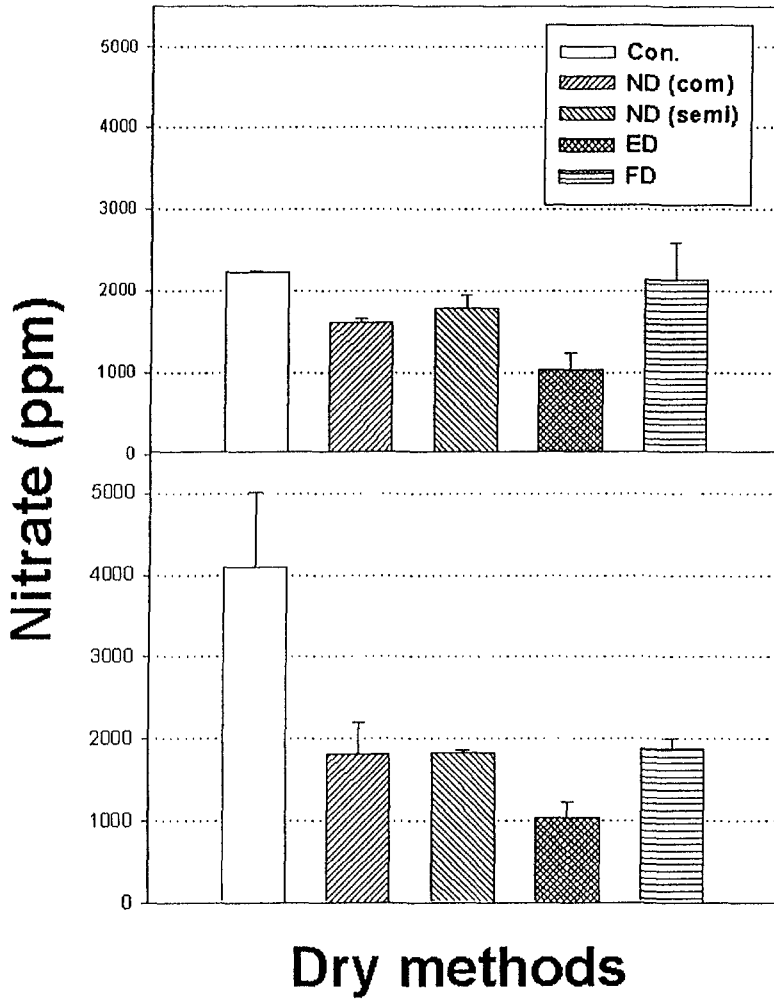


Fig. 5-10. Effect of dry method on nitrate contents in inner (top) and outer (bottom) parts of radish. Vertical bars represent standard deviation. Con ; control, ND(com) ; natural dry (completely-dried) ; ND(semi) ; natural dry (semi-dried), ED; electrical dry, FD ; freezeing dry

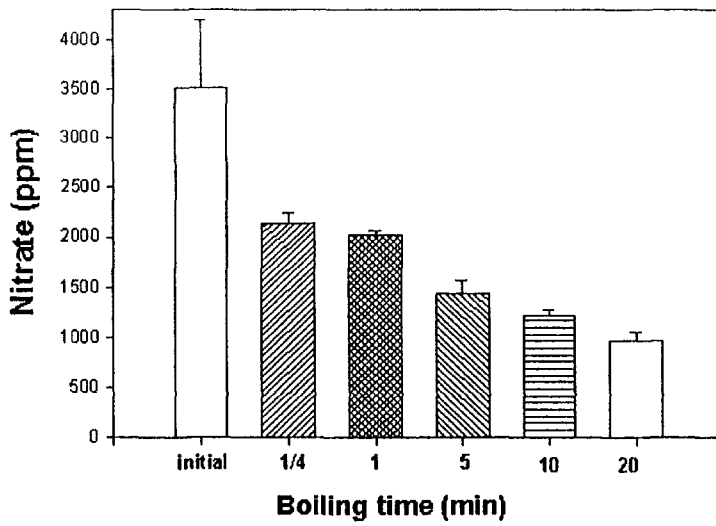


Fig. 5-11. Effect of boiling time at 100C on nitrate contents in Garland chrysanthemum. Vertical bars represent standard deviation.

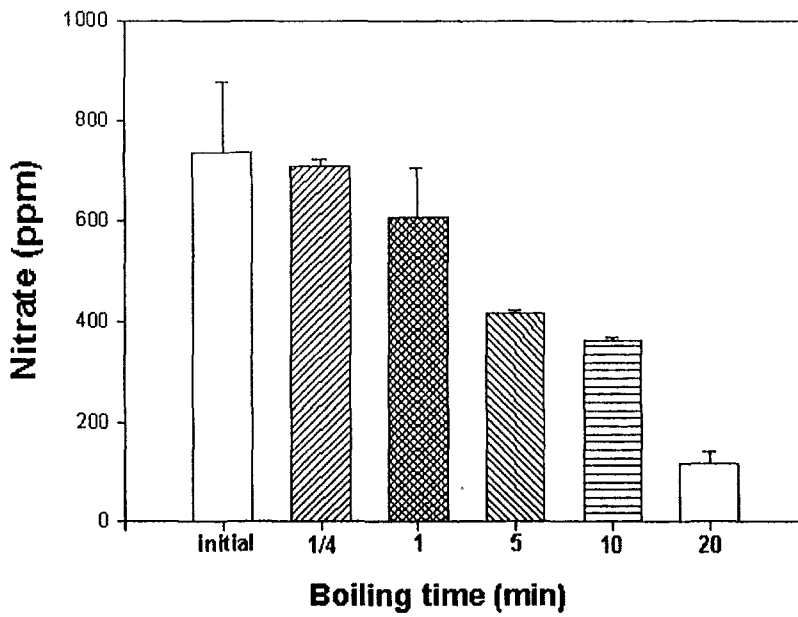


Fig. 5-12. Effect of boiling time at 100C on nitrate contents in perilla. Vertical bars represent standard deviation.

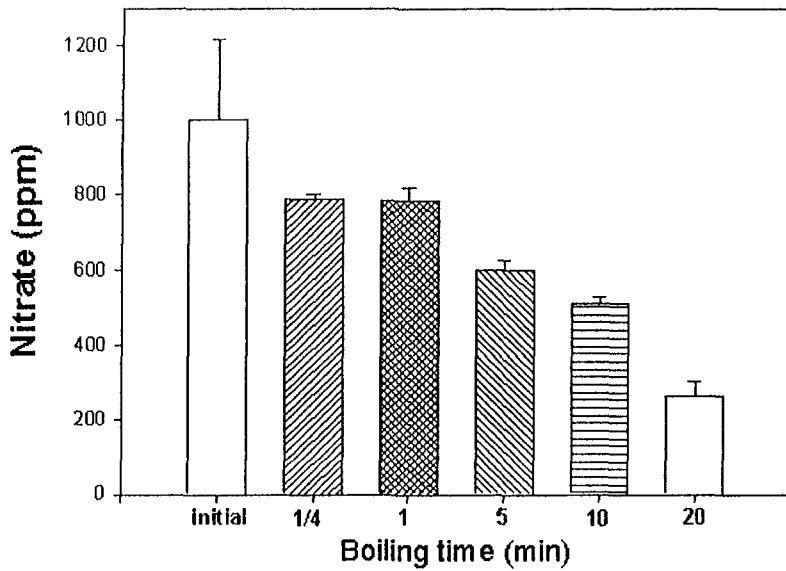


Fig. 5-13. Effect of boiling time at 100C on nitrate contents in welsh onion. Vertical bars represent standard deviation

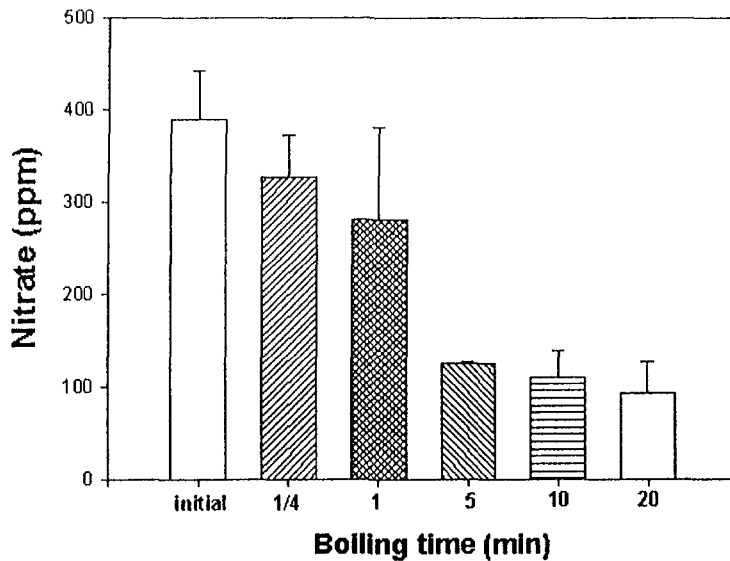


Fig. 5-14. Effect of boiling time at 100C on nitrate contents in pepper. Vertical bars represent standard deviation.

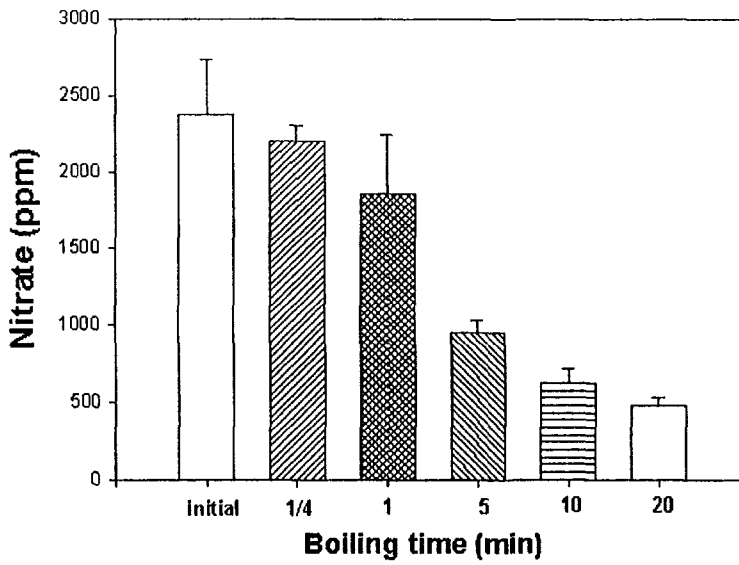


Fig. 5-15. Effect of boiling time at 100C on nitrate contents in radish. Vertical bars represent standard deviation.

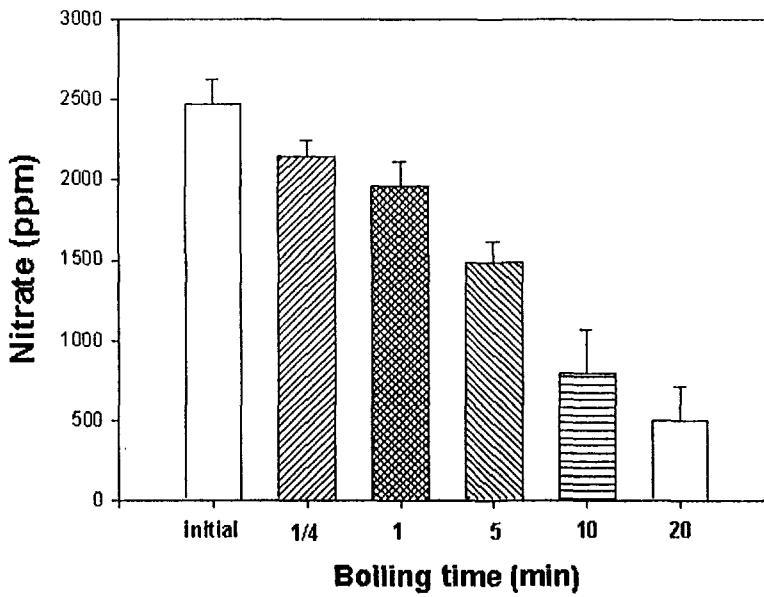


Fig. 5-16. Effect of boiling time at 100C on nitrate contents in carrot. Vertical bars represent standard deviation.

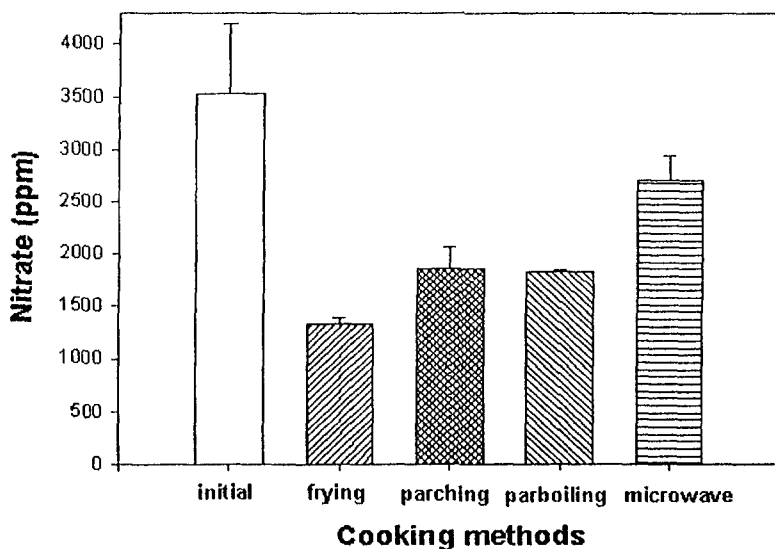


Fig. 5-17. Effect of cooking methods on nitrate contents in garland chrysanthemum. Vertical bars represent standard deviation

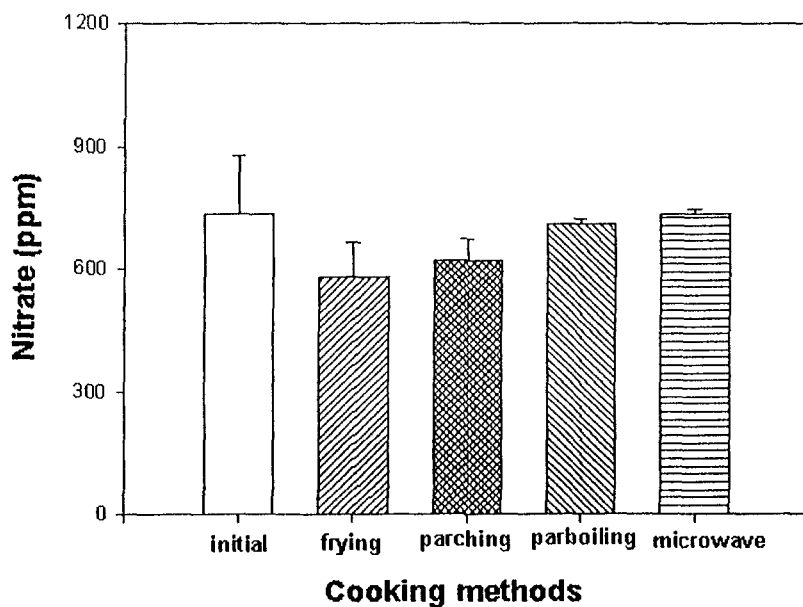


Fig. 5-18. Effect of cooking methods on nitrate contents in perilla. Vertical bars represent standard deviation.



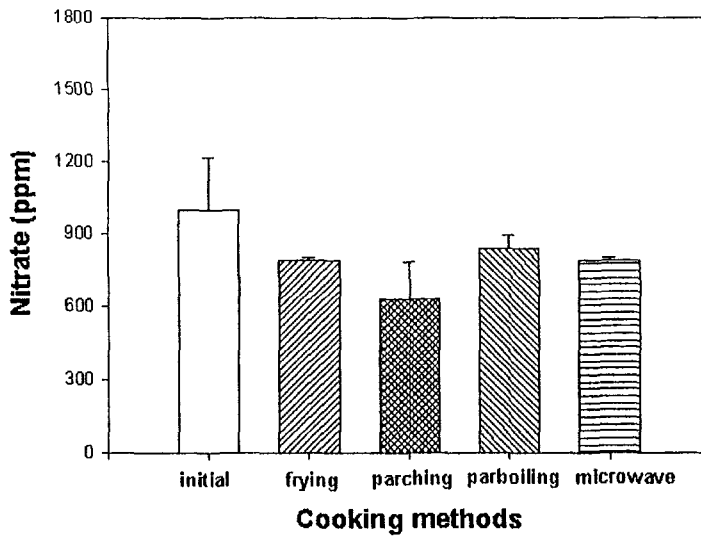


Fig. 5-19. Effect of cooking methods on nitrate contents in welsh onion. Vertical bars represent standard deviation.

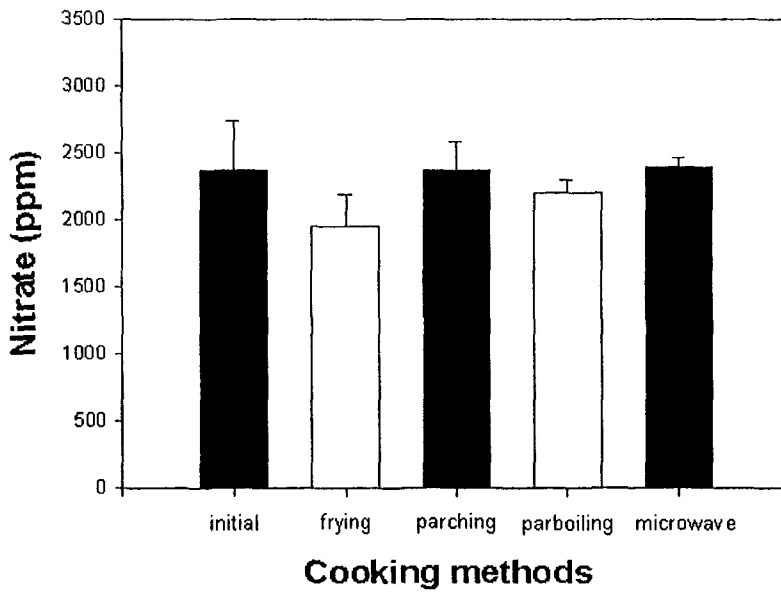


Fig. 5-20. Effect of cooking methods on nitrate contents in radish. Vertical bars represent standard deviation.

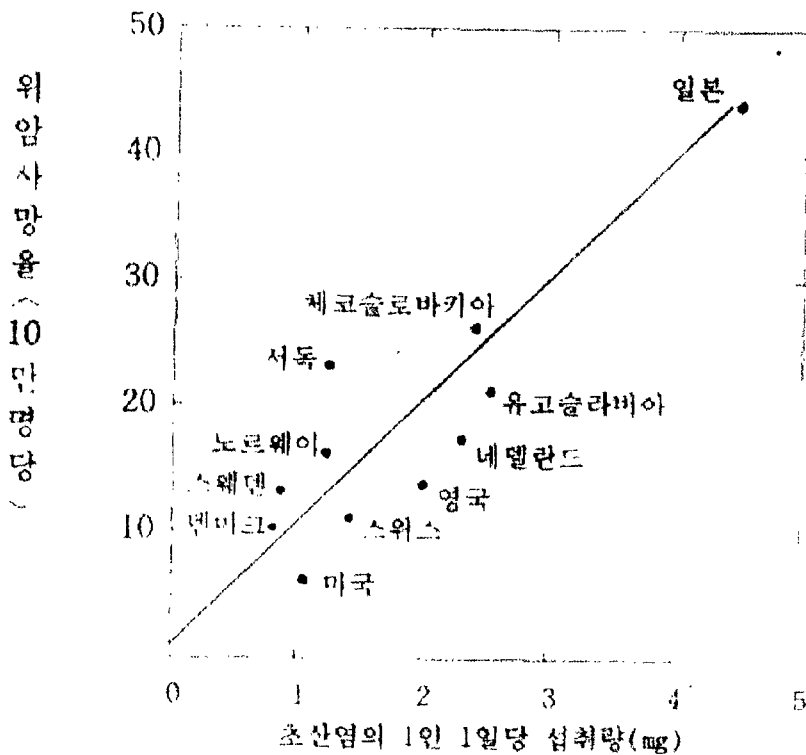


그림 6-3. NO<sub>3</sub> 섭취량과 위암 사망률의 관계(Tanimura, 1983)

## 제2절 질산염 섭취량

### 1. 일일 질산염 섭취량과 식품원별 섭취량

질산염이 체내에 흡수 된후의 대사과정에서의 위해 가능성이 알려지면서 일일섭취량 및 식품원별 섭취량에 대한 연구는 유럽의 농업선진국들을 중심으로 1970년대부터 본격적으로 이루어졌다.

독일의 경우 일일 질산염 섭취량(Claus, 1983; Rahner, 1994; Scharpf, 1991; Wehrmann & Scharpf, 1984; Wiebe & Behr, 1987)은 병원음식 45mg, 가정음식 49mg 내외로 보고되고 있으며 가정음식 중의 주요 질산염 섭취원은 채소이다. 표6-5에서 보는바와 같이 독일인들은 일일 질산염 섭취량의 72.4%인 35.7mg을 채소를 통해 섭취하고 있다. 한편 일본인은 일일 313mg을 섭취한다고 하며, 표6-6에서 알 수 있는 바와 같이 채소를 통해 89.9%인 281.9mg을 섭취한다(Tanimura, 1983).

표6-5. 독일 가정음식의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 주요 섭취원 및 일인당 평균섭취량

섭취원/재료	섭취비율	섭취량
채소	72.4%	35.7mg
육류	18.5%	9.1mg
곡류	5.5%	2.7mg
과일	2.9%	1.4mg
유제품	0.7%	0.3mg
총계	100%	49.2mg

표6-6. 일본인의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 섭취원 및 일인당 일일 질산염 섭취량(Tanimura, 1983)

섭취원/재료	섭취비율	섭취량
야채	89.9%	281.3mg
식육 및 육가공품	1.3%	4.0mg
곡류	6%	18.7mg
과일	0.9%	2.8mg
우유 및 유가공품	0.1%	0.2mg
음료	0.2%	0.8mg
기타	1.6%	5.2mg
수액		(68.9)
합계	100%	313.0mg

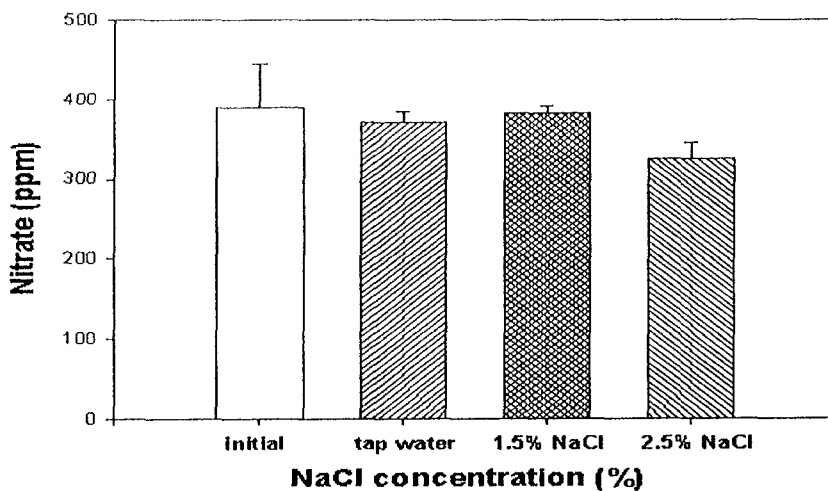


Fig. 5-25. Effect of NaCl concentration on nitrate in pepper. Vertical vars represent standard deviation.

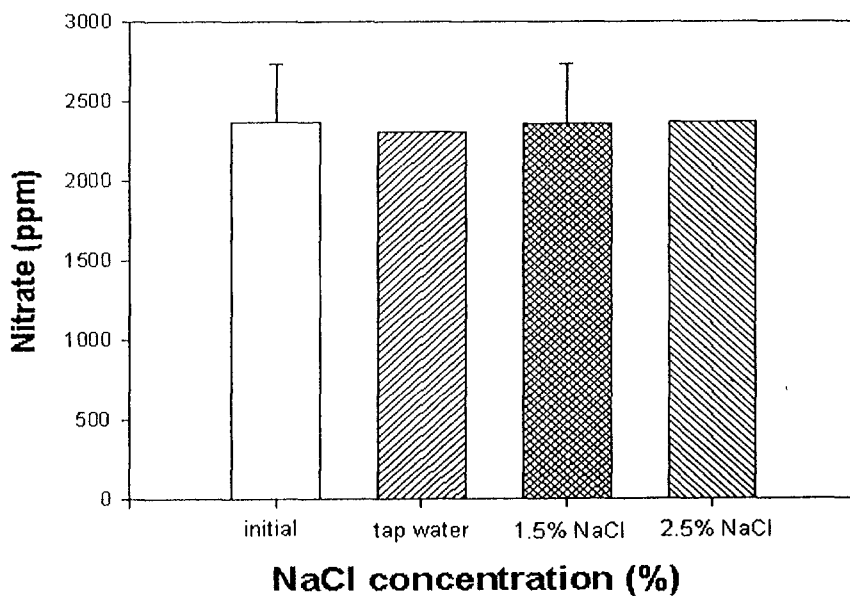


Fig. 5-26. Effect of NaCl concentration on nitrate in radish. Vertical vars represent standard deviation.

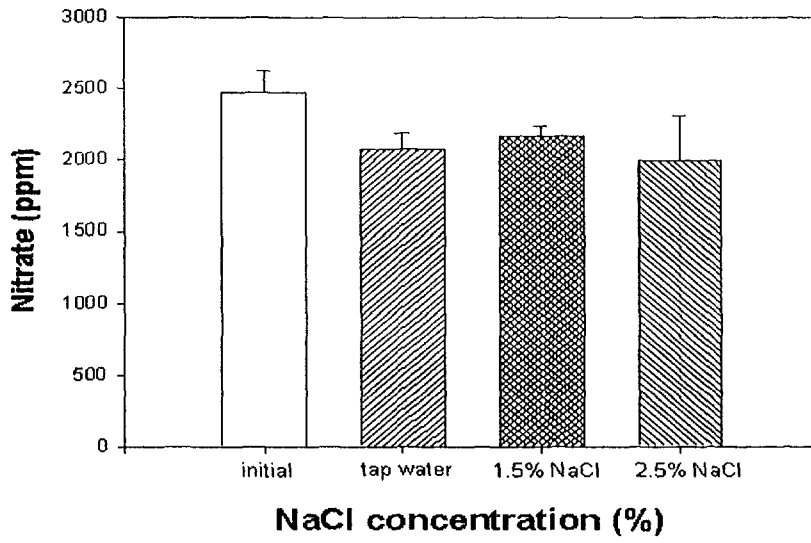


Fig. 5-27. Effect of NaCl concentration on nitrate in carrot  
Vertical vars represent standard deviation.

## 제7장 유럽의 채소질산염 함량 허용기준제도 연구

안전농산물이란 그 나라 국민의 식생활 패턴을 고려하여 각 농산물별로 식품내 잔류 농약, 중금속, 무기성분 등 허용물질의 수와 허용치에서 안전한 농산물을 말한다.

우리 나라는 안전농산물의 규정이 아직까지 마련되어 있지 않은 상태이다. 특히 인체 내에 섭취되어 청색증(청람증, Blue baby syndrome)과 각종 원인물질로 작용할 수 있는 물질인 「질산염함량의 허용기준」이 안전농산물이라고 일반인들이 믿고 있는 품질인증농산물의 검사대상에도 포함되어 있지 않다. 이에 비해 유럽 각국과 유럽연합(EU)에서는 각 채소별 질산염함량 허용기준치가 정해져 있으며, 특히 독일의 경우 “질산염 허용기준치”, “중금속 허용기준치”와 같이 「안전농산물 기준」에 포함되어 있다.

본고는 채소를 통한 질산염의 체내 대사과정에서의 위해성, 각국별 채소별 허용기준과 허용기준 관리제도, 일일 질산염 섭취량을 소개하면서 한국의 채소를 통한 일일 질산염섭취량에 대하여 보고하고자 한다. 본 연구 결과는 한국FDA측의 연구결과보고와 유럽 각국의 최신자료 및 하계에 발표된 각종 문헌을 종합한 것이며, 한국FDA의 연구보고서는 부록에 첨부하였다.

### 제 1 절 질산염의 인축위해성

모든 식품은 질산염( $\text{NO}_3^-$ )을 함유하고 있다. 질산염은 자연상태에 존재하기도 하나, 작물재배를 위해 질소비료를 통해 시비하게 될 때 농작물에 다량 집적될 수 있고, 식품가공과정에서 첨가제로 사용되어 식품 중에 함유되기도 한다. 식품내 질산염 함유량이 문제가 된 것은 인축에 미치는 위해성을 배제 할 수 없었기 때문이며 이는 오래 전부터의 관심사항이었다.

식수 또는 각종 식품류를 통해 질산염이 다량 섭취될 경우 hemoglobin과 결합하여 어린이에게 청색증(일명, 청람증 또는 Blue Baby Syndrome)을 일으키거나, 위내 강산성 조건하에서 아민류와 반응하여 nitrosamine이 생성되기도 하는데 질산염의 대사생리과정을 정리하면 그림6-1과 같다.

# Nitrate/Nitrite Circulation

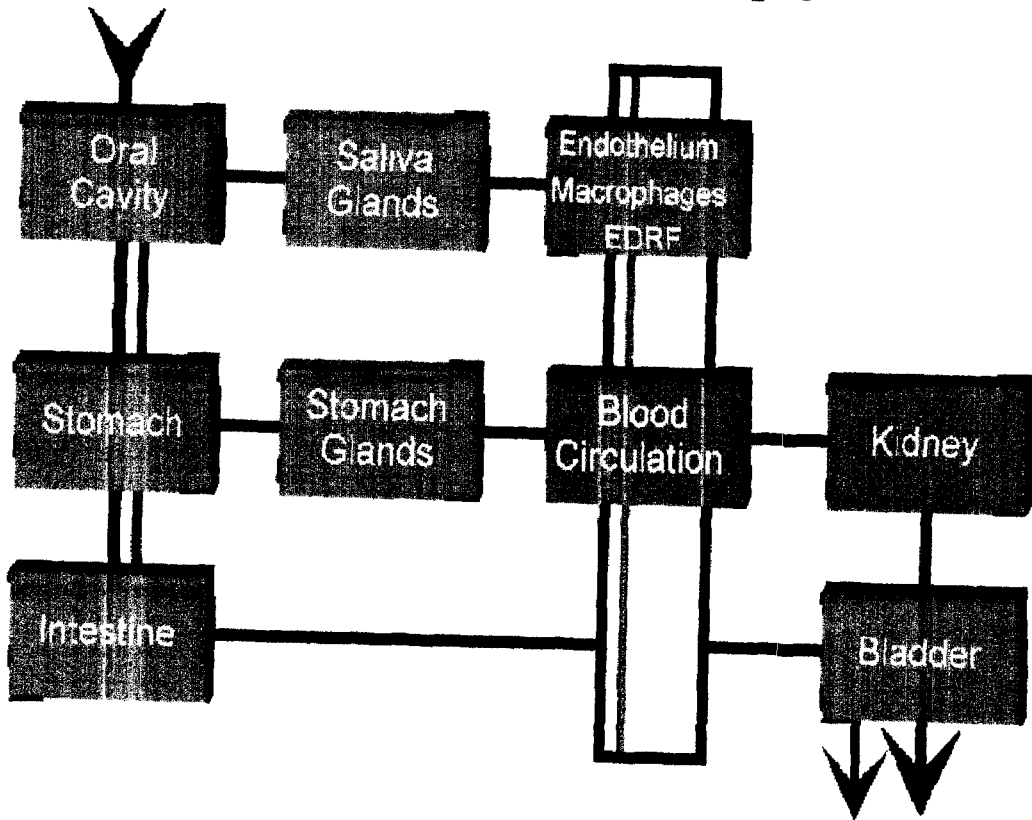


Fig. 6-1. Nitrate/Nitrite Circulation in Human Body after Nitrate Intake by Food

한편 질산염이 섭취된 후 인체내 대사과정에서 생성되는 N-nitros compounds가 인체에 미칠 수 있는 위해성(Frommberger, 1985; Miwa&Miwa, 1995; Tanimura, 1983)은 다음과 같다고 보고되어 있다.

첫째, 체내에 흡수된 질산염은 혈액중의 hemoglobin과 결합하여 methemoglobin을 형성하게 된다. methemoglobin은 산소결합능력이 없어 이의 비율이 높아질 경우 혈액

중의 산소운반능력이 저하되며 청색증 증세가 나타나며 특히 유아의 경우 그 위험성이 크다. Hemoglobin대 methemoglobin의 비율이 40-70%에 이를 경우 심한 청람증 증세 또는 사망의 위험까지 있다(표 6-1 참조).

둘째, 질산염은 환원되어 아질산( $\text{NO}_2^-$ )으로 전환되어 단백질 소화과정중 나타나는 amine류와 결합될 때 생성되는 nitrosamine은 발암성물질로 작용할 수도 있다고 의학계에 보고되어 있다(표6-2, 6-3, 6-4, 및 그림 6-2 참조). 단,  $\text{NO}_3^-$ 에 의한 수질오염지역과 암 발생과의 상관관계는 아직까지 증명되지 못하고 있는데, 이는 식수로 섭취되는 질산염은 총섭취량중 2.7-5.1%에 불과한 소량이며 질산염의 대부분은 채소를 통해 섭취되기 때문이다.

표 6-1. 혈액내 hemoglobin 대비 methemoglobin 비율과 청람증 증세

비율	청람증 증세
10%	근육의 강화 등 경미한 청람증의 징후
30-40%	근육이완, 피부색변화, 맥박 및 호흡속도 증가 뚜렷한 청람증 증세
40-70%	심한 청람증 증세 또는 사망의 위험 (Blue baby 현상)

\* 1% 건강한 성인, 4% 신생아, 6% 호흡기 질환, 설사증인 아기



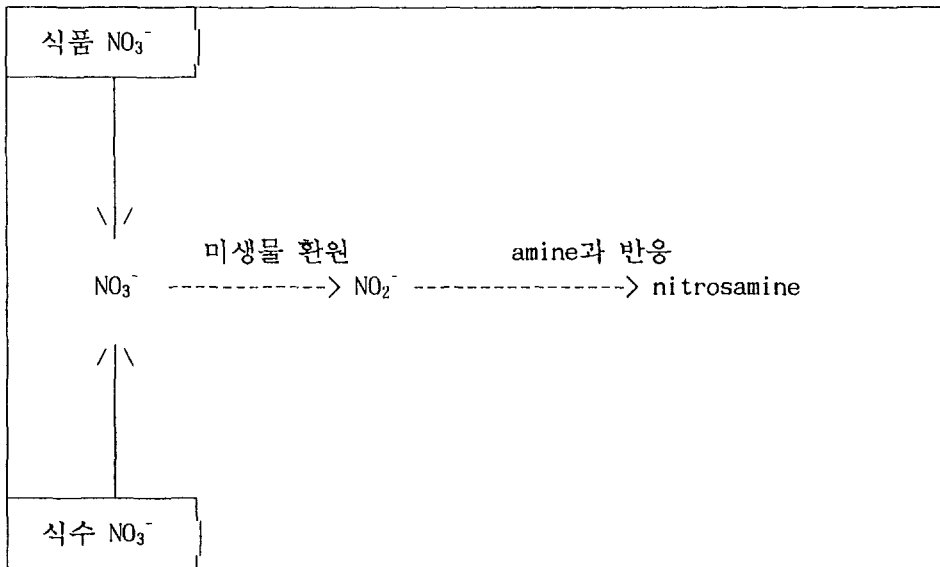


그림-2. 질산염의 흡수 및 nitrosamine의 체내 생성도 (AID:1991, Scharpf, 1991)

질산염은 인체내에서 복잡한 대사과정을 거치게 되는데, 잠재적으로 건강에 유해한 효과를 나타내는 물질도 나타나고 유익한 효과를 나타내는 물질도 나타난다. 일 예 로 건강에 유해한 작용을 하는 발암성 N-nitroso 화합물(Carcinogenic N-nitroso compounds)이 질산염이 대사과정에서 생성된다는 것이다.(Sugimura et al, 1970; MAFF, 1999). 이와는 대조적으로 위내의 강산성 조건에서 질산(nitric acid)이 생성 되어 병원성 박테리아에 대한 체내 저항성을 향상시킨다는 최근의 보고도 있다 (Dykhuizen et al, 1996; Mcknight at al, 1997).

유럽연합의 식품과학위원회(SCF, Scientific Committee for Food)는 질산염 이온의 일일섭취허용량(ADI, Acceptable Daily Intake)을 3.65mg/kg body weight(이는 60kg체중을 기준으로 할 때 219mg/day에 해당)으로 권장하고 있다(European Union, 1998; Commission of the European Communities Scientific Committee for Food, 1992). SCF가 정한 질산염 ADI는 영국의 Committee on Toxicity of Chemicals in Food, Consumer Products and the Environment(COT)에 의해 지지되고 있다(MAFF, 1992). 질산염 ADI 설정 근거에 관한 자세한 자료는 유럽연합의 SCF보고서 (European Commission, 1998, 1992), 영국 농림수산성의 식품감시보고서(Food

Surveillance Paper 32, 1992), 식품가시보고서(Food Surveillance Paper, 163)에 나타나 있다.

질산염섭취량과 암 발생과의 관계에 대한 문헌을 정리한 것이 표6-2, 6-3, 6-4이며, 그림6-3은 질산염섭취량과 각국별 위암 발생으로 인한 사망률과의 관계를 보여주는 것이다.

Table 6-2. Eight human epidemiology tests in 11 countries show a link between nitrate consumption and cancer.

Author	Country	Finding
Gilli, 1984	Italy	High water nitrate regions have a higher risk of stomach cancer.
Clough, 1983	Britain	For men, gastric cancer rates associated with water nitrate intake.
Armijo, 1975, Armijo, 1981	Chile	Chile Gastric cancer associated with fertilizer use.
Cuello, 1976	Colombia	Gastric cancer associated with water nitrate intake. Particularly high risk for those exposed early in life.
Weisenburger, 1990	USA	Non-Hodgkin's Lymphoma associated with nitrate or pesticide contamination of drinking water wells.
Haenszel, 1976	Japan	Gastric cancer associated with drinking well-water which is generally higher in nitrate.
Jensen, 1982	Denmark	Region of high water nitrate intake associated with increased gastric cancer risk.

Table 6-3. Human or animal studies indicating that exposure early in life can significantly increase cancer risks from nitrate exposure.

Authors	Type	Finding
Druckrey, 1966 Givelber, 1969	Animals	A single dose of an N-nitrosamide early in the pregnancy can cause birth defects in the offspring.
Shuval & Gruener, 1972	Animals	Nitrite and N-Nitroso compounds can cross the placental barrier and affect fetal development.
Super, 1981	Humans	Mothers exposed to elevated levels of nitrate in drinking water have higher rates of infant death in the first year of life.
Knox, 1972	Humans	In Britain, consumption of foods high in nitrite was associated with birth defects (anencephaly).
Dorsch, 1984	Humans	Consumption of water high in nitrate associated with birth defects of the musculoskeletal or central nervous system. A dose-response relationship was observed.

Table 6-4. Human or animal studies indicating that nitrate, nitrite, or N-Nitroso compounds can cause birth defects.

Author	Type	Finding
Druckrey, 1966, Givelber, 1969	Animals	A single dose of an N-nitrosamide early in the pregnancy can cause birth defects in the offspring.
Shuval & Gruener, 1972	Animals	Nitrite and N-Nitroso compounds can cross the placental barrier and affect fetal development.
Super, 1981	Humans	Mothers exposed to elevated levels of nitrate in drinking water have higher rates of infant death in the first year of life.
Knox, 1972	Humans	In Britain, consumption of foods high in nitrite was associated with birth defects (anencephaly)
Dorsch, 1984	Humans	Consumption of water high in nitrate associated with birth defects of the musculoskeletal or central nervous system. A dose-response relationship was observed.

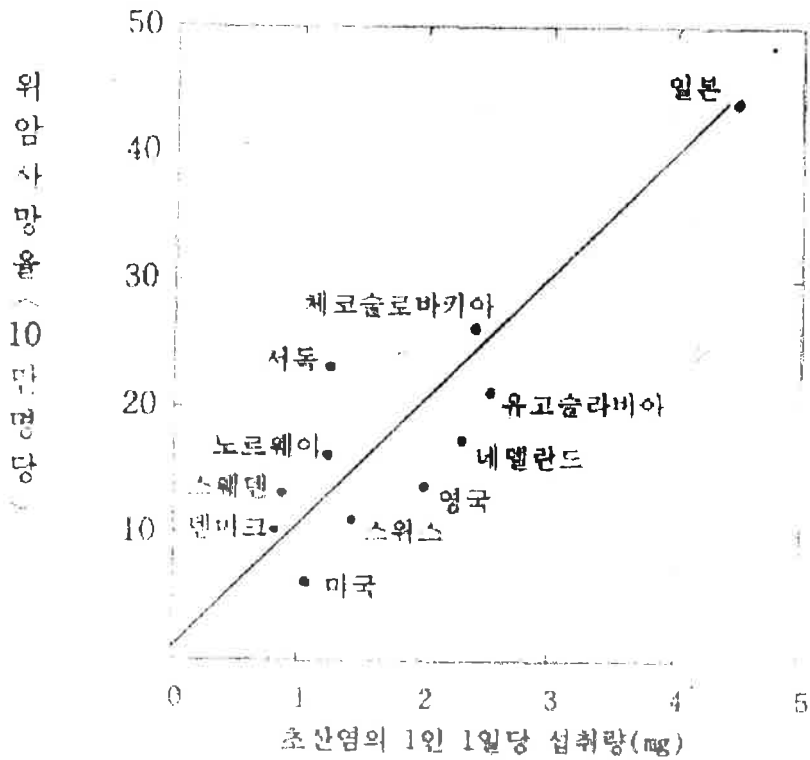


그림 6-3. NO<sub>3</sub> 섭취량과 위암 사망률의 관계(Tanimura, 1983)

## 제2절 질산염 섭취량

### 1. 일일 질산염 섭취량과 식품원별 섭취량

질산염이 체내에 흡수 된후의 대사과정에서의 위해 가능성이 알려지면서 일일섭취량 및 식품원별 섭취량에 대한 연구는 유럽의 농업선진국들을 중심으로 1970년대부터 본격적으로 이루어졌다.

독일의 경우 일일 질산염 섭취량(Claus, 1983; Rahner, 1994; Scharpf, 1991; Wehrmann & Scharpf, 1984; Wiebe & Behr, 1987)은 병원음식 45mg, 가정음식 49mg 내외로 보고되고 있으며 가정음식 중의 주요 질산염 섭취원은 채소이다. 표6-5에서 보는바와 같이 독일인들은 일일 질산염 섭취량의 72.4%인 35.7mg을 채소를 통해 섭취하고 있다. 한편 일본인은 일일 313mg을 섭취한다고 하며, 표6-6에서 알 수 있는 바와 같이 채소를 통해 89.9%인 281.9mg을 섭취한다(Tanimura, 1983).

표6-5. 독일 가정음식의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 주요 섭취원 및 일인당 평균섭취량

섭취원/재료	섭취비율	섭취량
채소	72.4%	35.7mg
육류	18.5%	9.1mg
곡류	5.5%	2.7mg
과일	2.9%	1.4mg
유제품	0.7%	0.3mg
총계	100%	49.2mg

표6-6. 일본인의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 섭취원 및 일인당 일일 질산염 섭취량(Tanimura, 1983)

섭취원/재료	섭취비율	섭취량
야채	89.9%	281.3mg
식육 및 육가공품	1.3%	4.0mg
곡류	6%	18.7mg
과일	0.9%	2.8mg
우유 및 유가공품	0.1%	0.2mg
음료	0.2%	0.8mg
기타	1.6%	5.2mg
수액		(68.9)
합계	100%	313.0mg

일일 질산염 섭취량중 채소를 통한 질산염 섭취율이 매우 높기 때문에 외국에서는 식수의 질산염 허용기준과 함께 채소에서 질산염 허용기준(AID 1223, 1991; AID 1024, 1993; Rahner, 1994)이 정해져 있다. 유럽 환경농업선진국에서는 채소별 질산염 허용기준치가 농약, 중금속 허용치와 함께 식품규격에 포함되어 있다(Rahner, 1994).

각국별 1인당 일일 질산염 섭취량은 독일이 49~75mg으로 가장 낮고, 영국 63~149mg, 네덜란드 52~131mg, 핀란드 77mg, 스위스 91~125mg, 미국 99.8~103mg, 유고슬라비아 114~132mg, 체코슬로바키아 142mg, 폴란드 178mg, 프랑스 150.7mg, 이탈리아 245mg, 이집트 296mg, 일본 218~408mg 순으로 높다(谷村顯雄, 1983; Sharat, et al, 1994). 유식위주의 구미인중에서 이태리인들이 일일 질산염 섭취량이 가장 많고 폴란드인, 프랑스인 순으로 높는데 이는 일본은 218~408mg을 섭취하는 것으로 보고(Tanimura, 1983)되고 있어 가장 많이 질산염을 섭취하고 있는 것으로 알려져 있다(표6-7 참조).

표6-7. 세계 각국별 질산염과 아질산염의 일일섭취량(谷村顯雄, 1983; Sharat, et al, 1994)

국 명	조사년도	아질산(mg)	질산염(mg)	비고
노르웨이	1994	1.8	43	
핀란드	1999	-	77	
영 국	1973	-	63	
	1994	-	102	
	1994	-	97	
	1994	0.3~0.9	84	
	1994	2.1	149	
폴란드	1999	-	78	시금치/상추
	1994	-	178	성인
	1994	4.0	142	1~3살 어린이
네덜란드	1994	1.4	30	3~12개월 유아
	1976	5.1±4.4	131±114	
	1994	0.6	71	
체코슬로바키아	1999	-	52	
	-	-	142.1	
	1977	-	91.1	
스 위 스	1994	-	125	
	1999	-	154	채소
백지움	1972~1974	0.76	131.6	
	1977~1978	4.28	113.5	
서 독	-	3.3	75	
	1971	1.7	49	
	1994	2.6	68	식수는 제외
프랑스	1994	>3	150.7	식수는 제외
이탈리아	1994	-	245	
이집트	1999	-	296	질산염+아질산염
미 국	-	2.6	99.8	
	1994	1.2	103	일반식
	1994	2.6	107	가공육류식
	1994	1.2	367	채식주의자
	1994	1.2	319	
일 본	1976	-	408±197	
	1977	-	251±119	
	1977	-	276±135	
	1977	0.4±0.5	218±264	
	1974	0.6	286	
	1976	1.3±0.7	245±186	
일일섭취허용량	1972~1974	1.2	314	
		아질산염: 8mg/60kg b.w.	질산염: 219mg/60kg b.w.	

## 2. 한국인의 일일 질산염 섭취량

육식위주의 서구인에 비해 채식위주의 동양인은 채소를 통한 질산염 섭취량이 많을 수밖에 없다(손, 1994<sub>3</sub>). 한국인의 일일 채소 섭취량은 세계 제1위이며 일본인의 경우 장년층 세대주 가정의 채소 섭취량이 제일 많다(농수산물유통공사 1994년 자료 520g, 농촌진흥청 1992년 자료 352g).

표6-8. 각국별 일인당 채소 섭취량 (농수산물유통공사, 1994)

국 가 명	1인당 채소소비량 (g/person/day)	국 가 명	1인당 채소소비량 (g/person/day)
스페인	359	이집트	329
구 소련	259	일본	298
미국	270	터어키	519
멕시코	87	호주	216
칠레	189	한국	520

표6-9. 일본인의 세대주 연령층별 채소 섭취량(g/person/day) \*

연령	1980년	1989년
19세 이하		144.2
20-29세	213.7	171.5
30-39세	217.7	221.2
40-49세	249.4	234.8
50-59세	262.5	260.8
60-69세	253.5	262.8
70세 이상	238.3	251.0

\* 일본 후생선 “국민영양조사”

한국인의 1인당 무, 배추 소비량은 1974년 각각 72g, 72g이었다가 증가하여 1978년 178g, 296g로 최고였으며 이후 점차 감소 추세에 있다. 1994년 현재 1인당 무, 배추의 소비량은 각각 98g, 166g이다(통계청 자료, 1995).



표6-10. 1인당 무우, 배추 및 주요채소 소비량(통계청, 1995)

년 도	일일 무우 소비량 g/person/day	일일 배추 소비량 g/person/day	주요채소 소비량(무우,배추,양배추,파) g/person/day
1974	72.26	71.71	153.29
1976	129.54	238.29	377.38
1978	178.38	296.58	491.93
1980	141.79	218.47	398.20
1982	137.24	243.56	422.39
1984	117.84	227.82	381.54
1986	113.34	226.62	390.15
1988	114.53	163.15	321.55
1990	112.54	215.57	367.09
1992	95.12	150.97	294.97
1994	98.18	165.73	304.95

서구인이 주로 섭취하는 채소는 가식부위별 질산염 함량이 500ppm이하인 저수준군 또는 중간수준군 채소(Claus, 1983; Scharpf, 1991; Wiebe & Behr, 1987)들 인데 반해 우리가 주로 섭취하는 채소인 무, 배추, 상추는 질산염 함량이 고수준군에 속하는 채소(손과 오, 1993<sub>2</sub>; 손, 1994<sub>1,4</sub>)들 이라는데 문제가 있다.

표6-11. 가식부위별 질산염 함량에 따른 한국 채소, 과일, 화곡류의 분류 (손과 오, 1993<sub>2</sub>; 손, 1994<sub>1,4</sub>)

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 함량 수준	채소 종류
고수준	무우, 배추, 상치, 시금치, 꽃상치, 썩갓
중수준	썰러리, 당근, 호박, 감자, 양배추, 대파
저수준	치코리, 양파, 오이
미량수준	고구마, 키위, 레몬, 사과, 금귤, 배, 포도 토마토, 고추, 화곡류

표6-12. 가식부위별 질산염 함량에 따른 채소, 과일, 화곡류의 분류(Scharpf, 1991; Sharat et al, 1994)

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 함량 수준	채소 종류
고수준 (2000-5000ppm)	무우, 배추, 상치, 시금치
중수준 (500-2000ppm)	셀러리, 당근, 파, 감자, 양배추
저수준 (500ppm이하)	호박, 토마토, 완두, 멜론, 아스파라거스, 사과, 배, 치코리, 딸기, 꽃양배추, 콩, 파프리카

한국인은 질산염 섭취량의 대부분을 채소를 통해 섭취하고 있는 것으로 나타나고 있다(표6-13 참조). 식수의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 10ppm 식수 내에 함유되어 있고 채소 중에는 합의 중인 허용기준치 2000ppm 또는 그 절반인 1000ppm 정도밖에 함유되고 있지 않다고 가정하는 경우의 週當 질산염 섭취량 2727~5197mg은 각각 WHO의 週當 허용치 1540mg을 최소한 약 1.77~3.37배나 초과하고 있다는 사실이다. 한편 식수를 통한 질산염 섭취량은 전체섭취량의 최대한 2.7~5.1%에 불과한 것으로 나타나고 있다.

표6-13. 식품원별 한국인 질산염섭취량, 섭취율 및 WHO 질산염 일일섭취량 허용치\*와의 비교

식품원	섭식량 ** (kg/week/person)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 함량 (mg/kg or mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 섭취량 (mg/week)	섭취율, % (a/c,
곡류	3.19 kg	-	-	
육류	0.42 kg	100	42	
우유	0.83 kg	30	25	
채소	2.47 kg	(1000) a	(2470) a	(90.6)
a		(2000) b	(4940) b	(95.1)
b				
서류	0.06 kg	60	4	
과일	0.92 kg	50	46	
a			(2587) a	(94.9)
b			(5057) b	(97.3)
식수	14 l	(10)	(140)	(5.1)
a				(2.7)
b				
a			(2727) a	(100)
b			(5197) b	(100)
WHO 일일 허용기준치*			1540	(177)
a				(337)
(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/60kg체중)				
b				

\* WHO Technical Report Series 648 (1980), \*\* 농산물 섭식량: 1992, 농촌진흥청 자료

a: EU에서 규정하고 있는 채소 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량 허용기준치 2000ppm의 1/2이 함유되고 있는 것으로 가정.

b: EU에서 규정하고 있는 채소 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량 허용기준치 2000ppm를 함유하고 있는 것으로 가정.

한국인이 일일섭취허용량(ADI, Acceptable Daily Intake)을 1.77배 내지 3.37배나 초과하는 많은 양의 질산염 섭취량을 갖고 있다는 것은 질산염 허용기준치를 설정하고 있는 유럽인들의 질산염 섭취량이 질산염ADI에 1/2에도 크게 밑돈다는 사실과 비교할 때 크게 놀라운 일이다. 유럽인들은 질산염ADI에 크게 못 미치는 일일 질산염 섭취량에도 불구하고 채소별 질산염허용기준 규정을 설정하고 채소의 질산염 함량을 다중이용 식당과 채소시장 그리고 국경에서 감시하고 있는 것은 질산염으로 인한 잠

재적 인축위해성 때문이라고 볼 때 질산염 ADI를 훨씬 초과하는 질산염섭취량을 갖고 있는 우리 나라는 이에 대한 적절한 조치가 필요하다고 볼 수 있다.

질산염을 일일 최대 100mg정도 섭취하였을 때 침의 아질산염 함량은 5~15ppm에 이른다고 한다(독일연방암연구센터, <http://dkfz-heidelberg.de/box/nitrate.htm>). 한편 질산염ADI의 1.77~3.37배를 초과하는 많은 량의 일일섭취량을 가지고 있는 한국인의 침의 질산염 함량을 조사한 결과 식사후 1~3시간에 245~257ppm에 도달하였고 식후 5시간까지 침의 질산염함량이 72ppm으로 높게 유지되었다고 한다(손, 2000<sub>2</sub>). European Environmental Research Organisation (EERO)의 Nitrate, nitrite and N-nitroso compounds에 대한 위해성 평가보고서(Sharat, 1994)에 의하면 아질산염은 인체내 침속에서 주로 생성된다고 하며, 소화흡수된 질산염의 약 25%가 침의 질산염으로 분비되며, 이 중에서 약 20%가 구강 내에서 아질산염으로 전환된다고 한다. 따라서 섭취되는 질산염의 약 5%가 아질산염으로 전환되는 것이라는 보고이다(Spiegelhalder et al, 1976; Eisenbrand et al, 1980; Walters & Smith, 1981). 즉 한국인은 약 49~51.4ppm의 아질산염이 구강 내에서 질산염으로부터 전환 생성되어진다고 볼 수 있다. 이는 서구인의 구강내 아질산염의 농도인 5~15ppm보다 3.4~9.8배나 높은 아질산염의 농도인 것이다.

Tab 6-14. Nitrate circulation in the body and nitrite formation

	Mean or Range	Maximum
Nitrate ingestion	~ 100 mg/day	up to 1000 mg/day
Endogenous nitrate formation	~ 50 mg/day	
Nitrite formation in saliva	6 ~ 10 mg/day	
Nitrite concentration in saliva	5 ~ 15 mg/l (ppm)	up to 500 mg/l (ppm)

Source: <http://dkfz-heidelberg.de/tox/nitrate.htm>

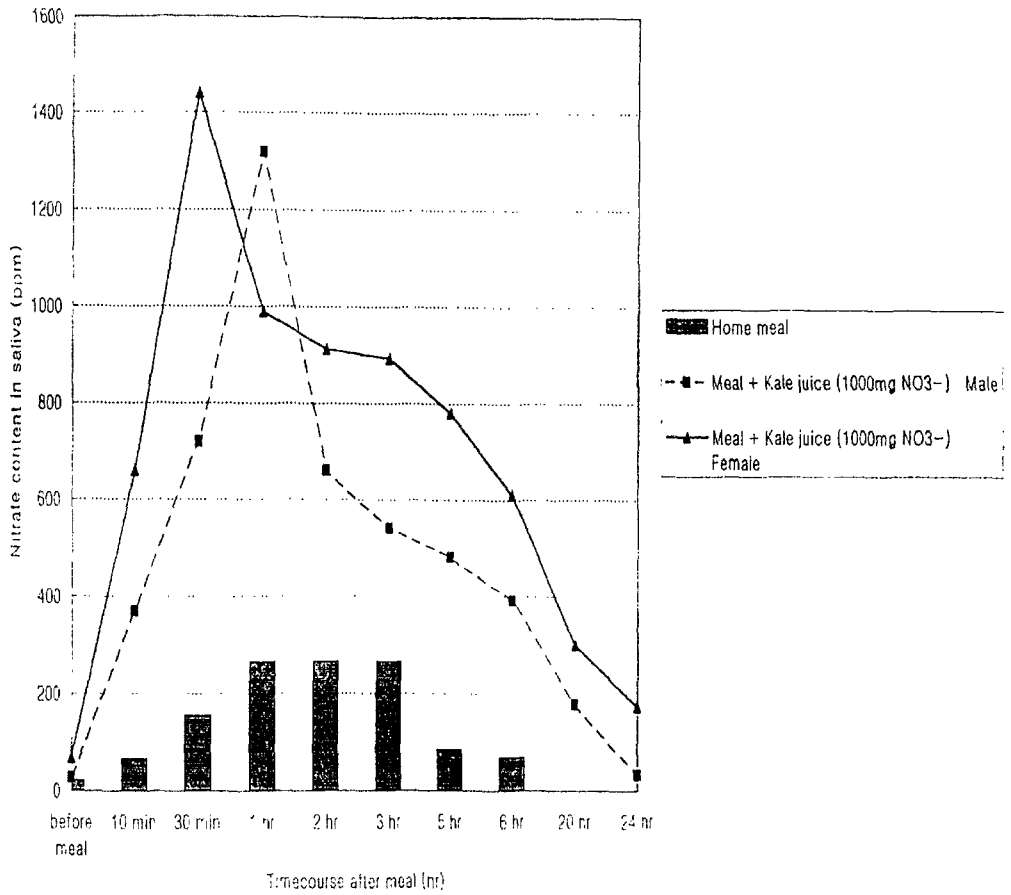


그림6-3. 한국인의 식후 및 케일주스 섭취후 구강내 침의 질산염 함량의 경시적 변이

### 제3절 유럽연합(EU)의 질산염 허용기준치

유럽연합의 SCF가 질산염의 ADI를 권장하고(European Union, 1998; Commission of the European Communities Scientific Committee for Food, 1992), SCF의 질산염 ADI를 영국의 COT가 지지한 것은 각국이 채소의 질산염허용기준을 설정한 것과 일맥상통한다.

독일, 네덜란드, 스위스, 오스트리아 등 유럽 농업선진국의 상치, 양상치, 시금치, 빨간무우, 무우 등 5개 주요 채소의 질산염함량 허용기준치(ppm/FW)는 2000~4500ppm이며 그 중에서 독일의 기준치가 2000~3000ppm으로 가장 엄격하다(AID, 1993). 이처럼 인접 국가간의 채소질산염 허용기준치가 각기 달라 유럽 각국간의 채소질산염 분쟁이 잦았다. 유럽연합의 채소질산염 허용기준치가 제정되게 된 것도 이 같은 각국간의 채소질산염 허용기준치가 다르기 때문에 발생하는 문제를 근본적으로 해결하기 위함이 그 목적중의 하나였다. 수년간에 걸쳐 계속된 질산염함량 허용기준치 협상에서 EU 회원국가는 그 동안 각국별로 달랐던 채소의 질산염함량 허용기준(875~4500ppm)을 역내 모든 국가에서 통용 되는 단일허용기준치로 통일하기 위해 각국의 실무자들이 4년간 협상하였다(Rahner, 1998).

최근 유럽연합(EU)의 상추와 시금치에 대한 채소질산염 허용기준치(European Commission Regulation No.194/97)가 다음과 같이 제정(EU, 1997<sub>1</sub>)되었다. (표6-15 참조). 이 기준은 1997년 7월4일부터 효력을 발생하여 역내 15개 회원국<sup>1)</sup>에서 실시되고 있으나, EU의 채소질산염 허용기준에 규정되어 있지 않은 채소에 대한 허용기준치는 기존의 각국 허용기준치를 병용하고 있다. 이 규정의 주목적은 이들 채소에 대한 질산염 허용기준이 각국마다 다른데서 발생하는 통상문제를 해결하는 것과 유럽연합 SCF의 식품내 질산염에 대한 우려를 고려하여 역내 주민의 건강을 보호하자는 의도에서였다(EC, 1998; MAFF, 1999).

표6-15. 시금치와 상추에 대한 유럽연합의 질산염  
허용기준치

생 산 물	수확시기	최대 질산염 함량(ppm/f.w.)
시금치(신선채소)	11.1 ~ 3.31	3000
	4.1 ~ 10.31	2500
시금치(냉동 및 통조림)		2000
상 추	10.1 ~ 3.31	4500
	4.1 ~ 9.30	3500
노지상추 제외	5.1 ~ 8.31	2500

표6-16. 유럽연합의 채소별 질산염 허용기준이 설정되기 이전부터 각국에서 실시하고 있는 주요채소의 국별 질산염함량 허용기준치\*

식품 또는 채소	독일	네덜란드	스위스	오스트리아		
상치/양상치	3000	4500	3000	4000	4000	3000
시금치	2000	4500	3500	3500	3000	2000
빨간무우	3000	4000	3500	3000	4500	3500
무우				875	1500	
양배추					1500	
치코리/파					1500	
당근/셀러리					2500	
배추						
회향		2000				

\*(AID 1223:1991, AID 1024:1993, Rahner:1994)

한편 독일, 네덜란드, 스위스, 오스트리아, 러시아 등 유럽 각국과 유럽연합(EU)의 질산염 허용기준치의 변화 추이를 종합해 보면 다음과 같다. 네덜란드의 경우 시금치의 허용기준치가 시행조기인 1991년에 4500ppm(겨울 시금치), 3500ppm(여름 시금치)이었다가 4년후인 1995년에는 2500ppm으로 하향 조정되었는데, 이는 관행적 과다시비에 젖어온 농민들에게 일정기간 질소시비량을 표준시비량 이내로 시비조절하여 허용 기준치이내의 시금치를 생산할 수 있도록 기회를 주려했던 조치였던 것으로 생각된다.

또한 네덜란드, 오스트리아가 여름철과 겨울철에 따라 채소의 질산염 허용기준치를 다르게 설정하고, 러시아에서 노지재배와 시설재배 채소의 질산염 허용기준치를 다르게 설정한 것도 모두 농민들이 최대 수량을 목표로 채소를 재배할 때 어쩔 수 없이 도달하는 질산염 함량을 감안하려 한 조치이다. 즉 질소비료의 표준시비량을 시용 하였을 때의 질산염 함량과 수량의 극대화와의 조화를 도모한 흔적이 역력하다고 판단된다. 이에 관련해서는 채소질산염함량이 질소시비량 증가와 함께 증가한다는 농업과학기술원이 실시한 연구결과와 손과 오(1993<sub>1,2</sub>), 손(1994<sub>3,4</sub>), 손(1990) 등의 연구결과를 참고하면 될 것이다.

채소의 가식부위내 질산염 집적량은 작목 및 품종, 작물체의 가식부위, 재배환경조건 등에 따라 다르고 질산염 집적량에 미치는 재배환경조건으로는 질소시비량이 가장 영향을 미친다고 한다(손, 1994<sub>3,4</sub>). 질산염 집적량은 배추, 무의 경우 질소시비량이 증가할수록 증가하며 특히 추천시비량을 초과하는 질소과다시비구에서 수량의 증가는 거의 없거나 완만한 반면 질산염 집적량은



무비구에 비해 배비구에서 배추 엽병은 22.2배, 무우의 근지상부는 40.8배까지 급격한 증가한다고 한다(손과 오, 1993<sup>1,2</sup>; Sohn 1994<sup>3,4</sup>). 감자 역시 질산염함량은 질소소비량이 증가함에 따라 생체중 100g당 3.6mg에서 18.2mg까지 크게 증가된다(손, 1990)고 한다.

한편 이 같은 유럽의 채소 질산염 허용기준치에 대해 채소질산염은 인체에 유해하다는 증거가 없고, Codex, 미국, 일본등 선진국에서 기준을 설정하지 않고 있음으로 채소질산염 허용기준치 설정이 필요하지 않다는 것이 한국FDA의 주장이다(부록2 참조). 그러나 채소질산염 자체가 인체에 유해한 것이 아니라 소화과정을 거쳐 인체에 흡수된 이후 아질산으로 환원되어 위내의 강산성 조건하에서 단백질 분해과정에서 나오는 아민류와 결합되어 nitosamine을 형성하는 것이 인체에 유해할 수 있다는 것이 학계의 주장(부록2 참조)이다.

표6-17. 채소 질산염 허용기준치의 변화 추이

국가 / 지역	작목	1991년	1995년	1998년	2000년
독일	상 추	3000ppm ----->			
	시금치	2000ppm ----->			
	부 우	3000ppm ----->			
네덜란드	상 추	3500ppm(겨울) ----->			
		3000ppm(여름) ----->			
	시금치	4500ppm(겨울) 3500ppm(여름)	2500ppm	----->	
스위스	엔디브	3000ppm(여름) ----->			
	상 추	4000ppm ----->			
	시금치	3500ppm ----->			
오스트리아	상 추	4000ppm(겨울) ----->			
		3000ppm(여름) ----->			
	시금치	3000ppm(> 7월) ----->			
		2000ppm(< 7월) ----->			
	부 우	4500ppm(겨울) ----->			
		3500ppm(여름) ----->			
	양배추	1500ppm ----->			
	엔디브	2500ppm ----->			
	당 근	1500ppm ----->			
	배 추	2500ppm ----->			
러시아	상 추	2000ppm(노지) ----->			
		3000ppm(시설) ----->			
	시금치	2000ppm(노지) ----->			
		3000ppm(시설) ----->			
	양배추	900ppm(여름) ----->			
당 근	400ppm(여름) -----> 250ppm(겨울) ----->				
EU(유럽연합) Austria, Belgium, Denmark, Finland, Germany, Greece, Ireland, Italy, Luxembourg, Portugal, Spein, Sweden, United Kingdom	상 치	3500ppm(4~9월)			
	시금치	2500ppm(4~10월) -----> 3000ppm(11~3월) ----->			

FECFA, IFA 등 국제기구의 “채소 질산염 위해성” 관련 문헌과 자료에서도 질산염은 그 자체로서의 위해성은 없으나 환원된 이후의 아질산염이 nitrosamine의 형성이 암을 유발 할 수 있다는 가능성 등 위해성이 문제시 될 수 있음을 배제하지 않고 있는 것이다. EU 및 EU회원국에서 기준을 설정한 것은 통상문제 등 경제적 이유에서라고 한국FDA는 주장하나 (부록1 참조), 수집된 문헌과 자료 어느 곳에서도 유럽연합의 채소질산염 허용기준 설정은 무역과 통상장벽을 만들기 위한 것이 아니라, 회원국마다 질산염 허용기준이 서로 각기 다른데서 발생하는 통상문제를 해결하는 것과 유럽연합 SCF의 식품내 질산염에 대한 인축 위해성에 대한 우려를 고려하여 역내 주민의 건강을 보호하자는 목적에서였다(EC, 1998; MAFF, 1999).

#### 제4절 채소의 고질산염 함량에 대한 감시 및 통제

독일의 경우 연방정부 보건부 및 환경부가 공동으로 제정한 “식품규정”의 제1차-제5차 개정시까지의 농약에 대한 허용기준치만을 규정하고 있었으나 1992년 개정된 제6차 식품규정, 1994년 개정된 제7차 식품규정에서는 채소별 질산염함량 허용기준이 추가되었다. 채소나 가공식품 등이 질산염 허용기준치를 초과하는 경우 그 농산물은 외국으로부터 수입, 국내 산지로부터의 시장까지의 운반 및 판매가 금지되며, 전량 수거되어 폐기 처분된다. 7차 식품규정에서는 채소별 질산염함량 허용기준이 추가되었다. 농약, 중금속, 질산염이 허용기준 이상으로 함유된 식품은 안전농산물, 즉 좋은 농산물(Good Agricultural Products)로 인정받지 못하고 폐기 처분의 대상이 되는 것이다.

채소나 가공식품, 특히 채소의 질산염함량 허용기준치에 대한 독일의 통제 관리체제에 의하면(AID 1154, 1992), 주 최고행정기관인 주지사는 관할권역내의 검사소설치와 업무내역을 조정하고, 지역행정책임자는 개별 검사소의 관리감독을 담당하며, 시/군/구의 단위 식품검사소는 관할지역의 농산물의 식품검사 및 통제관리 업무를 수행하고 있다. 단위 식품검사소가 실시하는 검사소에서 채소 및 가공식품의 질산염함량이 허용기준치를 초과할 때 그 정도가 경미한 경우 경고조치 또는 벌금조치가, 심한 경우 식품검사소의 통고에 따라 경영책임자는 檢事에 의해 고발되어지고 엄청난 벌금형으로 회사를 파산케 하고 있다. 실제로 농장, 운반용 트럭, 가공공장, 시장, 식당 등에서의 시료채취를 통해 정기 및 부정기적 통제관리를 담당하는 곳은 단위 식품검사소이며 이밖에 국경, 공항, 항만에서도 검사를 실시하고 있다(Rahner, 1994).

표6-18독일의 식품검사소 조직, 업무조정, 감독/관리기관 체계(AID 1154,1992)

누가	무엇을
제1단계	
주 최고행정기관 (주지사)	검사소 설치/업무조정
제2단계	
지역 최고행정 책임자	개별 검사소의 감독 및 관리
제3단계	
시/구/군 단위 검사소	관할지역 검사/ 통제관 업무수행

독일에서는 guideline상의 채소중 질산염함량을 이유로 들어서 2회 이상 부적합으로 적발된 벨기에의 상추에 대해 벨기에의 수출항구에서 수입금지 조치를 내린 경우도 있다고 한다. 실제로 독일의 채소질산염 허용기준은 외국산채소에 대해서 뿐만 아니라 자국산 채소의 국내 유통에 대해서도 엄격히 적용되고 있다. 독일에서는 채소 질산염 허용기준치를 초과하는 채소의 경우(BML, 1993; Rahner, 1994) 국가간 교역이 금지되어 수출채소가 국경에서 되돌려 보내지거나, 국내생산 채소의 경우도 시장 또는 식당/급식소에서 검사를 통해 질산염함량 허용기준치를 초과하는 채소를 강제 폐기처분 하고 있다. 한편 영국에서는 자국산 채소뿐만 아니라 수입되는 외국채소에 대해서도 질산염함량을 조사하고 있다(MAFF, 1999). UK Monitoring Programme for Nitrate에서는 시설재배 상추, 노지재배 상추, 시금치, 감자, 당근, 비트, 순무우(Swede), 양파, 토마토, 꽃양배추, 양배추 등에 대한 질산염 함량을 조사하고 있다. 영국 농림수산성 보고서(MAFF,1999)에 의하면 외국산 수입 상추와 시금치에 대한 질산염함량 조사에서 5개 시료에서 유럽연합의 허용기준치를 초과하는 수입채소가 5회 발견되었으며 생산국은 사이프러스(1회), 이태리(2회), 스페인(1회) 등이었다. 수입상추의 경우 허용기준치를 초과하는 경우가 없었으나, 시금치의 경우 수입 물량의 22%에서 허용기준치를 초과하는 질산염함량이 검출되었다고 한다( MAFF,1999).

표6-19. EU의 질산염 허용기준치 3000ppm을 초과하는 수입산 시금치 시료에 대한 분석치

수입국	질산염 함량(ppm)	
	ADAS Laboratories	West Yorkshire Analytical Service
Cyprus	3536	3465
Italy	3643	3689
Italy	3845	3682
Spain	3691	3530
Spain	3405	3382

식품, 특히 채소를 통한 질산염 섭취에 의한 인축위해성을 평가하기 위한 기초자료를 얻기 위해 질산염 일일섭취량을 계산하고 또 이를 ADI와 비교하는 조사연구가 영국에서 1996년부터 농림수산성에 의해 실시되었다(MAFF, 1992의 Food Surveillance Paper nr.32; MAFF, 1998의 Food Surveillance Information sheet Paper Nr.63, Nr.158 MAFF, 1996의 Food Surveillance Information Sheet Paper Nr.91; MAFF, 1997의 Food Surveillance Information Sheet Paper Nr.137; MAFFM 1987의 Food Surveillance Information Sheet Paper Nr.20 ). 그 결과 영국인들의 일일질산염 섭취량은 57mg으로 ADI에 크게 미치지 못하는 낮은 수준으로 밝혀졌다(MAFF, 1998의 Food Surveillance Information Sheet Paper Nr.163).

질산염ADI에 크게 미달하는 독일과 영국에서 질산염허용기준제도를 실시하고 지속적인 질산염 함량 조사를 실시하고 있는 것은 질산염ADI를 크게 상회하는 세계1위의 일일질산염 섭취량을 가지고 있는 우리에게 시사하는 바가 매우 크다고 할 수 있다.

1998년 영국 농림수산성이 실시한 채소의 질산염함량 조사(Food Surveillance Information Sheet Nr.177)에서 영국산 시금치의 30%와 영국산 상추의 6%가 질산염 함량이 허용기준을 상회하는 것으로 밝혀졌으나, 1997/98년 조사(Food Surveillance Information Sheet Nr.154)에서는 영국산 시금치의 35%, 영국산 상추의 7%가 질산염 허용기준을 초과하는 것으로 밝혀졌다(MAFF, 1999).

표6-20. 유럽연합의 채소 질산염허용기준을 초과하는 시금치, 상추의 질산염함량 조사결과\*

작물			사료수	질산염함량		EU허용기준치의초과비율
				평균	범위	
상추	여름	영국산	29	1729	76~4197	7%
		수입산	3	665	505~872	0
	겨울	영국산	24	2228	445~4543	4%
		수입산	6	1173	724~2161	0
	총계	영국산	53	1955	76~4543	6%
		수입산	9	1004	505~2161	0
시금치	여름	영국산	18	2029	356~3750	33%
		수입산	2	894	785~1002	0
	겨울	영국산	2	1110	470~1750	0
		수입산	21	2132	571~3845	240%
	총계	영국산	20	1937	356~3750	30%
		수입산	23	2024	571~3845	22%

\*MAFF(1999):Food Surveillance Information Sheet Nr.177

각국에서 실시한 질산염함량 조사 결과는 유럽연합에 보고되고 있다(MAFF, 1999). 또한 허용기준을 초과하는 시금치를 수입한 수입업자에게는 영국의 경우 그 결과가 통보되어지고, 농림수산성의 채소의 질산염함량 조사보고서(Food Surveillance Information Sheet Nr.177)에 진술서를 첨부하도록 조치되고 있다. 또한 시금치를 수출한 국가에도 수출물품에서 유럽연합의 채소질산염 허용기준치를 초과하는 질산염이 검출되었음이 통보되고 있다.

영국의 UK Monitoring Programme for Nitrate in Lettuce and Spinach은 1999년 3월부터 3년간 다시 그 조사를 개시하였는데, 조사결과는 Food Safety Information Bulletin과 Food Surveillance Information Sheets에 공개되고, 또한 매년 유럽연합에 보고되어져 EC Regulation Nr.194/97의 연장 및 개정여부를 결정하는 자료로 활용될 예정이다.

## 제8장 종합결론

1. 국내 채소류의 질산염함량은 외국의 조사결과와 유사하거나, EU의 상추 및 시금치에 대한 질산염허용기준과 비교할 때 그리 높은 수준이 아니며, 특히 가공된 채소 중의 질산염함량은 신선채소류에 비해 낮은 수준을 보이고 있음.
2. 채소류중 질산염함량 저감을 위한 시비관리는 표준시비량이나 토양검정시비량을 사용하면서 1~2톤/10a 의 퇴비를 혼합 사용하면 EU의 채소 질산염허용기준을 넘지 않을 것으로 판단되며, 화학비료와 퇴비를 적절히 혼합 사용함으로써 채소류의 수량을 높이고 질산염함량이 낮은 농산물의 생산이 가능할 것으로 판단됨.
3. 유기농업의 경우에도 토양진단 최적시비처방에 의한 적정유기질비료를 사용할 경우 질산염 함량을 크게 줄일수 있어 EU의 채소질산염 허용기준을 넘지 않을 것으로 판단됨.
4. 노지재배, 시설재배, 유기재배 공히 배추 외부엽의 질산염 함량이 내부엽에 비해 훨씬 높았는데 이는 소비자가 배추를 다듬는 과정에서 일부 외부엽을 제거하고 섭취함으로써 일일질산염 섭취량을 크게 줄일 수 있을 것으로 판단 됨 .
5. 질산염 함량이 증류에서 높으므로, 배추 신제품종 육종시에 되도록 증류이 적은 배추를 선발목표로 삼는 것이 바람직할 것으로 사료됨.
6. 양액재배 채소의 질산염 함량은 EU의 질산염 허용기준치보다 대개 낮아 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단됨.
7. 과다한 질소시비는 토양의 질산염 함량도 높혀 질산염 용탈로 연결되어 지하수 오염을 야기할 수 있으므로, 친환경농업을 위해서도 표준시비량을 지켜 채소를 재배하도록 농민들을 계몽하고 이를 적극 지도사업에 반영하여야 할 것임.



8. 우리 나라에서는 EU의 채소질산염 허용기준을 당분간 원용하여 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.

## 참 고 문 헌

김연화, 손상목(1999): 유기농산물에 대한 소비자 의식 구조. 한국유기농업학회지 8(1):49-67

농촌진흥청(1974) 토양화학분석법

농촌진흥청(1995) 농사시험 연구조사기준

농촌진흥청 (1997): 작물재배생리의 이론과 실험. 손상목 외, 농촌진흥청 농업과학기술총서 II, Pages 1083

문보흠. (1996): 수경재배 미나리의 체내 질산태 질소수준 저하 방법과 품질에 관한 연구. 서울대학교 석사학위 논문.

손상목 (1989): 소맥엽의 Glutamine Synthetase활성도에 관한 연구 제1보 엽위별 GS 활성도의 차이 및 출수후 "V"자형 변화현상. 한국작물학회 34(1):98-105

손상목 (1990): 유기농업과 관행농업의 수익성비교 및 유럽 수개국 유기농업단체들의 유기농산물 보증상품등록제에 관한 연구. UNESCO Report of Technology for Community Development PP 29-38

손상목 (1990): 질소소비량에 따른 감자 괴경내  $\text{NO}_3^-$ , Glutamine, Asparagine, Protein 함량변화. 단국대학교 논문집 24:715-724

손상목 (1994): 일반 관행농법과 유기농법 배추, 무우의 가식부위내  $\text{NO}_3^-$  집적량 차이. 한국유기농업학회지 3:87-97

손상목 (1994): 채소를 통한 한국인의 일일  $\text{NO}_3^-$  섭취량과 안전농산물의  $\text{NO}_3^-$  함량 허용기준 설정. 유기농업의 현황 및 발전 방향에 관한 심포지움 (1994.10.12- 13, 농촌진흥청 농민회관), 농촌진흥청 농업기술연구소, 농협중앙회, 한국토양비료학회 공동주최, PP 251-276

손상목 (1995): 세계화를 위한 한국 유기농업의 과제. 한국유기농업발전 정책토론회. PP 25-64, 한국유기농업학회외 4개단체 공동주최. 서울프레스센터 1995.7.5

손상목 (1995): 외국의 농업환경 정책방향. 농림수산 환경정책과제에 관한 세미나. pp 119-142, 농림수산환경연구포럼. 중소기업회관 1995.4.18.

손상목 (1995): 주요 유럽 농업선진국들의 환경보전형 지속농업실태와 한국의 접근과제. 국제농업개발학회지 7:138-155

손상목 (1996): 유기농업의 환경보전 기능과 안전농산물 생산. 제101회 소비자 세미나, 환경친화형 농산물생산과 식생활 안전을 위한 대책. Page 58, 서울프레스센터 1996.9.23. PP43-58.

손상목 (1996): 최적질소시비를 위한 미국의 토양질산염진단법과 이용현황. PP 85-103, 1996년도 NICEM 심포지움 “농업환경 과학연구의 최근동향”. 주최:농업과학 공동기기센터, 일시:1996.11.8, 서울대학교 농업생명과학대학. Page 299

손상목 (1997): 한국유기농업의 환경보전과 안전농산물 생산. 농협중앙회 경남지역본부 경남쌀연구회 1997년도 세미나, PP47-69, 1997.5.9

손상목 (1998): 한국 환경농업의 성공적 정착을 위한 정책적 및 기술적 접근과제. 전북농업기술원, 행정간행물등록번호 (64500-51800-96-26) PP 41-73

손상목 (1999): 21세기 미래인간생활양식 “생태마을”과 유기농업에 대한 국제적 동향과 전망. ‘99 생태계보전과 미래 생활양식 심포지움 「생명의 먹거리, 유기농산물의 현황과 전망」, 한국소비생활연구원, SBS문화재단, 한국프레스센터, 1999.3.19

손상목(1999): 21세기 주거모델 “생태마을”과 유기농업의 국제적 동향. 한국국제농업개발학회 11(3):264-274

손상목 (2000): 한국 토착유기농법의 토양비옥도 증진책의 문제점과 대안. 한국유기농업학회지 8(2):53-77

손상목, 김영호 (1995): 국제 유기농업 기본규약과 한국 유기농업 실천기술의 비교 분석 연구 - 국제 유기농업 기본규약, 환경농업선진국 유기농업단체 기본규약과 한국형 유기농업의 주요 실천기술은 무엇이 어떻게 다른가? 한국유기농업학회지 4(2):97-136

손상목, 김영호, 박양호 (1999): 유기농법 실시농가를 위한 토양진단 최적 유기질비료 시비법. 대산논총 7:43-56

손상목, 김영호, 윤지영 (1999): 우리나라 유기농 채소내 질산염 함량의 경시적 추이. 한국유기농업학회지 7(2):125-151

손상목, 김영호, 한도희 (1996): 관행농법, 시설재배 및 유기농법재배지 토양의 화

학적 특성과 배추, 상추의  $\text{NO}_3^-$  집적량 차이. 한국유기농업학회지 5(1):149-165

손상목, 김진형 (1990): 폴리에틸렌 필름 멀칭처리에 따른 토양의  $\text{NO}_3^-$  함량 및 Okra 생육, 수량의 차이. 국제농업개발학회지 2(1):79-92

손상목, 박양호(1998): 배추, 양배추, 양상추의 엽령별  $\text{NO}_3^-$  함량 차이에 관한 연구. 한국유기농업학회지 7(1):115-128

손상목, Alley, M (1996): 적정 질소시비를 위한 미국의 토양질산염진단법과 이용현황. 국제농업개발학회지 8(1):24-33

손상목, 오경석 (1993): 질소비료 저투입에 의한 우수농산물 간이판정지표로서 주요 농작물의 “가식부위내  $\text{NO}_3^-$  함량” 활용 가능성에 관한 연구. 한국유기농업학회지 2(1):2-15

손상목, 오경석(1993): 질소시비량이 배추, 무우, 오이의 가식부위내  $\text{NO}_3^-$  집적량에 미치는 영향. 한국토양비료학회지 26(1):10-19

손상목, 오경석, 이장석 (1995): 차광정도 및 질소시비량이 배추수량과 가식부위의  $\text{NO}_3^-$  집적량에 미치는 영향. 한국토양비료학회지 28:154-159

손상목, Emes, M. J. (1992):  $\text{NO}_3^-$  수준이 Oxidase Pentose Phosphate Pathway와 질산동화작용효소 Nitrate Reductase, Nitrite Reductase, Glutamine Synthetase<sub>1</sub> 및 암모늄재동화작용 주요효소 Glutamine Synthetase<sub>2</sub> 활성도의 상호관계에 미치는 영향. 한국작물학회지 37(5):468-475

손상목, 윤덕훈(1996): 수확후 저장과 조리조건에 따른 배추 가식부위내  $\text{NO}_3^-$  함량 변화. 유기농업학회지 5(1):101-110

손상목, 윤지영(1998): 채소 모재료의 종류, 수확시기, 부위별 혼합비율, 저장조건 및 생산회사에 따른 녹즙의  $\text{NO}_3^-$  함량 차이. 한국유기농업학회지 7(1):91-104

손상목 외 8인 (1998): 환경보전 직접지불제. 조건불리지역 및 환경보전에 대한 직접지불제도 조사 연구, 제3권, 한국농촌경제연구원(C8-4-3/1998.8). Pages 289

손상목 외 17인 (1999): 원예기술. 충남대학교 최고농업경영자과정 교재. 정현사. pages 323

손상목, 이윤건, 김영호, 박양호(1997): 김치 모재료 채소의 질산염 함량 분포와 배추 엽장처리 및 김치 조리방법에 따른 질산염 함량 변화. 한국유기농업학회지

6(1):63-75

손상목, 이윤건, 한도희, 김영호 (1996): 농가의 상이한 농법에 의한 배추, 상추, 케일 재배 근권토양 및 가식부위내  $\text{NO}_3^-$  집적량 차이. *대산논총* 4:143-152

손상목, 정길생 (1997): 한국 환경농업의 성공적 정착을 위한 기술적 및 정책적 접근과제. *유기농업학회지* 5(2):13-36

손상목, 채제천, 김영호(1998): 국제유기농업 기본규약상의 잡초방제 규정. *한국유기농업학회지* 6(2):81-106

손상목, Kücke, M., 이윤건(1997): *E. coli* cell을 이용한 식물체, 토양, 수질의 질산태질소 분석방법. *한국토양비료학회* 30(4):361-369

손상목, Kücke, M. 한인아 (1995): 질산태 질소의 보리 근권토양내 동적변화와  $\text{N}_{\text{min}}$  토양진단법에 의한 적정 질소추비량 결정. *한국작물학회지* 40:185-194

손상목, Przemek, E.(1991): 밀의 Glutamine Synthetase 활성도와 질소함량 및 수량과의 관계. *한국작물학회지* 36(6):545-553

손상목, 한인아 (1993): 선진농업국의 환경보전형 지속농업 전환추세. *단국대학교 논문집* 27:843-853

신광순, 남궁석(1977) 채소 및 과실중의 질산염과 아질산 염의 축적에 관한 연구, *한국영양학회지* 10

신대휴(1982) 재배중 토마토 과실의 질산염 및 아질산염과 Ascorbic acid의 함량변화, *경북대학교 석사학위논문*

육완방, 손상목 (1992): 수도권 상수도 보호지역내에서의 경작형태가 환경오염에 미치는 영향. *한국초지학회* 12:201-210

윤순강, 유순호(1994) 요소유래  $\text{NO}_3\text{-N}$  및 동반 양이온의 토양중 행동 I.  $\text{NO}_3\text{-N}$  및 동반 양이온의 용탈. *한국토양비료 학회지* 27(1):15-20

윤순강, 유순호(1994) 요소유래  $\text{NO}_3\text{-N}$  및 동반 양이온의 토양중 행동 II. 토양과 용탈수의 pH 변화 및 시용질소의 행방. *한국토양비료 학회지* 27(1):21-26

원경풍, 김낙경, 소유섭, 정소영, 윤희경, 류근제, 전영민, 김은엽, 장문익. (1997): 채소류중 질산염에 관한 연구. *식품의약품 안정청. 연보* 제 1권. 50-56.

이상모, 류순호. 1994. 논토양에서 중질소(N-15)를 이용한 표면시용 요소로부터 유래하는 질소의 행동에 관한 연구, 한국농화학회지 37(4):277-286.

이용호, 이병일. (1991): 미나리의 수경재배 체계 개발에 관한 기초 연구. I. 양액 조건이 무기양분 흡수와 생육에 미치는 영향. 한원지. 32(1) : 29~42.

임선옥(1982) 식물영양·비료학. 일신사. pp. 179-187

장경란, 손상목 (1999): 독일 유기농업과 생명동태농업의 작물학적 비교 고찰. 한국 국제농업개발학회지 11(4):34-349

장경란, 손상목 (2000): 두과·녹비작물 재배를 통한 유기농법 토양비옥도 유지와 증진. 한국유기농업학회지 8(2):97-110

정길생, 손상목, 이운건 (1996): 선진 유럽유기농업의 환경보전적 기능과 안전농산물 생산. 유기농업학회지 5(1):45-66

조백현(1972) 신제 비료학. 향문사. pp. 55-72

조백현(1984) 신고 토양학. 향문사. pp. 50-54, 126-128, 194-196

허남돈. (1993): 질소급원 형태 비율이 상추의 생육에 미치는 영향. 고려대학교 석사학위 논문.

현해남, 오상실(1994) 제주도 토양의 오염물질흡착능과 지하수 오염. 제주도 지하수자원의 환경학적 보전과 개발이용 심포지움. 대한지하수환경학회. pp. 26-53

谷村顯雄. (1983): 亞醋酸およびその 関連物質に關する最近の研究. 食品衛生研究. Vol. 33(12): 17~23.

農業技術大系. (1992): (土壤肥料編) 2卷. 作物の 營養と生育, 醋酸含量. 農産演村文化協會

農業技術大系. (1992): (土壤肥料編) 4卷. 作物の 營養と生育, 植物體內窒素, 農産演村文化協會

三輪 操 三輪清志. (1995): 發癌と NO. 實驗醫學. Vol. 13, NO 8(増刊)

孫尙穆, 米山忠克 (1996): 野菜の硝酸: 作物体の硝酸の生理, 集積, 人の攝取. 農業および園藝 71(11):1179-1182

岩田正利, 小野泰. (1968): 窒素形態の差異とそ菜の生育 (第4報)生育段階との関係. 日園學雜. 38 : 44~51.

伊達昇, 米山徳造, 都田雄志, 加藤哲郎. (1980): 野菜の 醋酸根蓄積に及ぼす 肥培管理の影響. 東京道農業試験場 研究報告. 13:3~13

中村武次郎. (1983): 葉菜類の 生育と 醋酸態 窒素 含有量. 農耕および 園藝. 第58(4):97~98

池田英男, 大澤孝也. (1980): 施用窒素形態とそ菜の適應性(第2報). 水耕栽培において硝酸, アンモニア, 亞硝酸を窒素源とした葉菜の生育並びにアンモニア態及び硝酸態窒素蓄積の差異. 日園學雜. 48 : 435~442.

池田英男, 大澤孝也. (1981): 施用窒素形態とそ菜の適應性(第3報). 水耕栽培において $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ をN源とした根菜の生育並びに $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{NO}_3\text{-N}$ 素蓄積の差異. 日園學雜. 49 : 563~570.

池田英男, 大澤孝也. (1983): 水耕培養液中の $\text{NO}_3^-$ と $\text{NH}_4^+$ の濃度並びに比率がそ菜の生育, 葉中N成分及び培養液のpHに及ぼす影響. 日園學雜. 52 : 159~166

ADAS. (1999): Nitrate in Spinach and Lettuce. Report on a survey undertaken on behalf of MAFF by ADAS (1998/99).

Addiscott T. M., Whitmore, A. P and Powison, D. S., (1991): Farming, Fertilizers and the Nitrate Problem.

Administracion de la Comunidad Autonoma del Pais Vasco. (1997): Food Chemical Surveillance in the Basque Country: 1990-1995. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz.

Ahn, Y. S.(1987) Plant analysis for evaluating plant nutrition. In "International training workshop on soil test and plant analysis", RDA & FFTC/ASPAC

Aldrich (1980): Nitrogen in relation to food, environment, and energy. Agricultural Experiment Station Special Publication 61. University of Illinois. Urbana, IL.

Alt D. and Struwe, S., (1982): Decline of the Nitrate Content in Lettuce by Means of Monitoring the Nitrogen Content of the Nutrition Solution in Hydroponic Systems. 1982. Proceedings of the Ninth International Plant Nutrition Colloquium. P 17~21.

Angle J. S., Gross, C. M., Hill, R. L and McIntosh, S., (1993): Soil Nitrate concentrations under Corn as Affected by Tillage, Manure, and Fertilizer Applications. J. Environ Qual. Vol. 22(1) : 141~147.

Anton, et al. (1988): Nitrate in drinking water: Report to the Legislature. Report No 88-11WQ. Division of Water Quality. California State Water Resources Control Board. October.

Arbuckle, et al. (1988): Water nitrates and CNS Birth Defects: A Population Based Case Control Study. Archives of Environmental Health. 43(2). 162-167.

Armijo. R. and Coulson, A.M. (1975): Epidemiology of stomach cancer in Chile. The role of nitrogen fertilizers. International Journal of Epidemiology. 4. 301-309.

Armijo, R. et al., (1981): Epidemiology of stomach cancer in Chile I. Case control study. International Journal of Epidemiology. 10. 53-56.

Aworth, O. C., Brecht, P. E., Minotti, P. L., (1978): Nitrate and nitrite levels in fresh spinach as influenced by postharvest temperatures. J. Amer. Soc. Sci. 103(3) : 417-419.

Aworth, O. C., Hicks, J. H., Lee, C. Y. and Minotti, D. L., (1980): Effects of chemical treatments and controlled atmospheres of postharvest nitrate-nitrite conversion in spinach. J. Food Sci. 45:496-498.

Aworth, O.C., Hicks, J. R., Lee, C. Y. and Minotti, P. L., (1980): Effects of chemical treatments and controlled atmosphere on postharvest nitrate-nitrite conversion in spinach. Jor. Food Sci. 45:496-499.

Babar, E. S., and Lee, K., (1987): Nitrate and Nitrite Method of Analysis and Levels in Raw Carrots, Processed Carrots and in Selected Vegetables and Grain Products. J. Food Science. 52(6) : 1632-1637.

Bachmann H. J., Cb. Daniel, R. und Ruf, D., (1978): Die automatische bestimmung von nitrat und nitrit in pflanzenmaterial mit der



cadmiumreduktionsmethode. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. 78:168-181.

Badzhov, K. and E. Ikonomova(1971) <sup>15</sup>N for studying nitrogen transformations in soil, nitrogen nutrition of plants and in assessing available nitrogen in soil In "nitrogen-15 in soil-plant studies". IAEA pp. 21-32

Benoit, F. and Ceustermans, N. (1995): Horticultural aspects of ecological soilless growing methods. Acta Horti. 396 : 11~24.

Benoit F. and Wiebe, C. R. (1992): Relation between photosynthesis and nitrate content of lettuce cultivars. Scient. Hort. 49 : 175~179.

Beresford, S. (1985): Is nitrate in the drinking water associated with the risk of cancer in the urban U.K.? International Journal of Epidemiology. 14(1). 57-63.

Berry, J.T. Commercial Fertilizers (1994): Tennessee Valley Authority Environmental Research Center, Muscle Shoals, AL.

Borawska, M., Markiewica, R., and Wikowska, A. (1998): Nitrate and nitrite content in daily hospital diets during the winter season - comparison of analytical and calculation methods. European Journal of Clinical Nutrition41, 489-493.

Bouchard, et al. (1992): Nitrate contamination of groundwater: sources and potential health effects. Journal AWWA. September. 85-90.

Bremner, J. M.(1965) Inorganic forms of nitrogen. In "Method of soil analysis part 2. Chemical and microbiological properties(C. A. Black ed). pp. 1179-1237. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.

Bruning-Fann, C.S., Kaneene, J.B. (1993): The effects of nitrate, nitrite, and N-nitroso compounds on human health: a review. Vet Human Toxicol 35:521-538.

Brussaard, J.H., van Dokkum, W., van der Paauw, C.G., de Vos, R.H., de Kort, W.L.A.M. and Lowik, M.R.H. (1996): Dietary intake of food contaminants in The Netherlands (Dutch Nutrition Surveillance System). Food Additives and Contaminants 13, 561-573.

Burt T. P., Heathwaite, A. L and Trudgill, S. T., (1993): Nitrate, Processes, Patterns and Management

Cantliffe, D. J. (1972): Nitrate accumulation in spinach grown under different high intensities. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97:152.

Carina Grijspaardt-vink. (1994): A European View of Nitrates in Vegetables. P 31

Carlo, et al. (1992): The Health Scientist Survey: Identifying Consensus on Assessing Human Health Risk. Health and Environmental Sciences Group. Washington, DC.

Carlson, D.J. and Shapiro, F.C. (1970): Methemoglobinemia from well water nitrates: A complication of home dialysis. Annals of Internal Medicine. 73:757-759.

Carlson, Gary. (1987): United States Environmental Protection Agency Drinking Water Subcommittee Memorandum to Richard Griesemer: SAB Opinion on Nitrate/Nitrite. May 11.

Chao, W. L. and C.C. Chao(1997) Nitrogen transformation in tropical soils: influence of fertilization and crop species. Agriculture, Ecosystem and Environment 64: 11-17

Chilvers, C., et al. (1984): A survey of dietary nitrate in well-water users. International Journal of Epidemiology. 13(3). 324-331.

Chong, C. and Berard, L. S., (1983): Changes in glucosinolates during refrigerated storage of cabbage. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108(5):688-691.

Clough, P. (1983): Nitrates and gastric carcinogenesis. Minerals and the Environment. (5)91-95.

Cohen, et al. (1995): Weed Killers By the Glass: Weed Killers By The Glass Update. Environmental Working Group. Washington, DC. September.

Commission of the European Communities Scientific Committee for Food. (1992): Opinion on Nitrate and Nitrite, expressed on 19 October 1990 (26th series).

- Committee on Nitrate Accumulation. (1972): "Accumulation of Nitrate." Natl. Acad. Sci., Washington, D.C.
- Committee on Nitrate Accumulation, Ag. Board, Div. Of Biology & Agriculture, National Research Council (1972) Hazards of Nitrate, Nitrite, and Nitrosamines to Man and Livestock. In: Accumulation of Nitrate, National Academy of Sciences, Wash., DC, pp. 46-75
- Commoner, B. (1977): Cost-Risk Benefit Analysis of Nitrogen Fertilization: A Case History. *Ambio* 6 (2-3). 157-161.
- Corre, W. J. and Breimer, T. (1979) Nitrate and nitrite in vegetables. Pudoc. Wageningen, Netherlands, p.75
- Council of Economic Advisors. (1995): Economic Report of the President. United States Government Printing Office. Washington, DC.
- Cove, D. J. (1966): The induction and repression of nitrate reductase in the fungus *Aspergillus nidulans*. *Biochim. Biophys. Acta.* 113:51-56.
- Cove, D. J. (1967): Kinetic studies on the induction of nitrate reductase and cytochrome c reductase in the fungus *Aspergillus nidulans*. *Biochem. J.* 104:1033-1039.
- Cuello, C., et al., (1976): Gastric cancer in Colombia I. Cancer risk and suspect environmental agents. *Journal of the National Cancer Institute.* 57(5). 1015-1020.
- Dejonckheere, W., Steurbaut, W., Drieghe, S., Verstraeten, R. and Braeckman, H. (1994): Nitrate in food commodities of vegetable origin and the total diet in Belgium (1992-1993). *Microbiologie - Aliments - Nutrition* 12, 359-370.
- Department of Commerce. (1993): Statistical Abstract of the United States. Bureau of the Census. Washington, DC.
- Dich, J., Jarvinen, R., Knekt, P. and Penttila, P. (1996): Dietary intakes of nitrate, nitrite and NDMA in the Finnish Mobile Clinic Health Examination Survey. *Food Additives and Contaminants* 13, 541-552.
- Dorsch, et al. (1984): Congenital malformations and maternal drinking water supply in rural South Australia: A case control study. *American Journal of*

Epidemiology. 119(4). 473-486.

Druckrey, et al. (1966): Teratogenic and carcinogenic effects in the offspring after single injection of ethylnitrosourea in pregnant rats. *Nature*. 210. 1378-1379.

Duffy, M. (1987): Impacts of the 1985 Food Security Act. Iowa State University. Ames, Iowa.

Dusdieker, et al. (1994): Nitrate in baby foods: Adding to the nitrate mosaic. *Archives of Pediatric and Adolescent Medicine*. 148:490-494.

Dykhuizen, R.S., Frazer, R., Duncan, C., Smith, C.C., Golden, M., Benjamin, N. and Leifert, C. (1996): Antimicrobial effect of acidified nitrite on gut pathogens: importance of dietary nitrate in host defence. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 40, 1422-1425.

ECETOC. (1988): European Chemical Industry Ecology and Toxicology Centre. Technical Report No. 27: Nitrate and Drinking Water. Brussels.

El-Hout, N.M. and Blackmer, A.M., (1990): Nitrogen status of corn after alfalfa in 29 Iowa fields. *Journal of Soil and Water Conservation*. January-February, 115-117.

Ellen, G., Egmond, E., van Loon, J.W., Sahertian, E.T. and Tolsma, K. (1990): Dietary intakes of some essential and non-essential trace elements, nitrate, nitrite and N-nitrosamines, by Dutch adults: estimated via a 24-hour duplicate portion study. *Food Additives and Contaminants* 7, 207-221.

Ellis J. R., Mielke, L. N and Schuman, G. E., (1975): The Nitrogen Status Beneath Beef Cattle Feedlots in Eastern Nebraska. *soil Sci. Soc. Amer. Proc.* Vol 39 : 107~ 114

European Commission. (1997): Commission Regulation (EC) No. 194/97 of 31 January 1997. *Official Journal of the European Communities* No. L31/48.

European Commission. (1997): Food - Science and Techniques. Reports on tasks for scientific co-operation. Report of experts participating in Task 3.2.3. Assessment of dietary intake of nitrates by the population in the European Union, as a consequence of the consumption of vegetables. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

European Commission (1998): Reports of the Scientific Committee for Food (Thirty-eighth Series). Opinion on Nitrates and Nitrite pp. 1-33. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

European Commission. (1999): Draft Commission Regulation amending Commission Regulation (EC) No. 194/97 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Document VI/8735/98 rev.2.

Evans, James. (1995): Ohio Environmental Protection Agency response to Environmental Working Group information request. Columbus, Ohio. January, 20. 10 pages.

Exner and Spalding. (1990): Occurrence of pesticides and nitrate in Nebraska's ground water. Lincoln. University of Nebraska. Institute of Agriculture and Natural Resources. 34 p.

Fan, A.M. et al. (1987): Evaluation of the nitrate drinking water standard with reference to infant methemoglobinemia and potential reproductive toxicity. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 7:135-148.

Fassett, D.W. (1973): Nitrates and Nitrites; Toxicants Occurring Naturally in Foods (2nd edition). National Academy of Sciences, Washington DC.

Ferguson, A. R. and Bollard, E. G., (1969): Nitrogen metabolism of *Spirodela oligorrhiza*. I. Utilization of ammonium, nitrate and nitrite. *Planta*. 88:344-352.

Ferrera-J. (1995): Dutch Lettuce under Treat from Germany, *Fresh Produce Journal*. Nov. 10 : 1-3

Fox R. H., Roth, G.W., Iversen, K.V. and Piekielek, W.P., (1989): Soil and Tissue Nitrate Tests Compared for Predicting Soil Nitrogen Availability to Corn. *Agronomy Journal*. Vol. 81(6) : 971~974.

Frale, G.W., et al. (1994): An assessment of on-farm applications of the later-spring soil nitrate test in Iowa. Iowa Department of Natural Resources, Technical Information Series 28. January.

Frommberger R. (1985): Nitrate, Nitrit, Nitrosamine in Lebensmitteln pflanzlicher Herkunft. *Ernaehrung-Umschau*. 32:47-51.

Gangolli, S.D., van den Brandt, P.A., Feron, V.J., Janzowski, C., Koeman, J.H., Speijers, G.J.A., Spiegelhalder, B., Walker, R. and Wishnok, J.S. (1994): Assessment: nitrate, nitrite and N-nitrosocompounds. *European Journal of Pharmacology, Environmental Toxicology and Pharmacology*. Section 292, 1-38.

GAO (1990): Drinking water compliance problems undermine EPA program as new challenges emerge. GAO/RCED-90-127. June. Washington, DC

Gilli, et al., (1984): Concentrations of nitrates in drinking water and incidence of gastric carcinomas: First descriptive study of the Piemonte region, Italy. *Science of the Total Environment*. 24. 35-48.

Givelber, H.M. and DiPaolo, J.A. (1969): Teratogenic effects of N-Ethyl-N-nitrosourea in the Syrian hamster. *Cancer Research*. 29. 1151-1155

Gottschalk, B. (1984): Nitrat und schwermetalle in gemuse. *Auswirkungen der Anbauintensitat*. 9:324-327.

Grant, R.M. (1981): Well water nitrate poisoning review: A survey in Nebraska 1973-1978. *Nebraska Medical Journal*. August. 197-200.

Gray, R., Peto, R. et al., Chronic nitrosamine ingestion in 1040 rodents: the effect of the choice of nitrosamine, the species studied, and the age of starting exposure. *Cancer Research*. 51. 6470-6491.

Greenwood D. J. (1982): Plant Nutrition and Food Production. *Plant Nutrition 1982. Proceedings of the Ninth International Plant Nutrition Colloquium*. P 1~6.

Gregory, J., Foster, K., Tyler, H. and Wiseman, M. (1990): *The Dietary and Nutritional Survey of British Adults*. The Stationery Office, London.

Gundimeda, U., Naidu, A.N. and Krishnaswamy, K. (1993): Dietary intake of nitrate in India. *Journal of Food Composition and Analysis* 6, 242-249.

Haenszel, W. (1976): Stomach cancer in Japan. *Journal of the National Cancer Institute*. 56:268-278.

Hageman, R. H. and Flesher, D. (1960): Nitrate reductase activity in corn seedlings as affected by light and nitrate content of nutrient media. *Plant*

Physiol. 35:700-708.

Hagemann, R. H. and Hucklesby, D. P. (1971): Nitrate reductase from higher plants. *Methods in Enzymology* 23:491-503.

Hallberg, (1986): Agrichemicals and water quality. Proc. Colloquium on Agrichemical Management to protect water quality. Board of Agriculture. National Research Council. Washington, DC.

Hallberg. (1986): From hoes to herbicides: Agriculture and groundwater quality. *Journal of Soil and Water Conservation*. November-December. pp 357-364.

Hallberg, G.R. (1989): Nitrate in ground water in the United States. In: Nitrogen Management and Ground Water Protection, R.F. Follet, ed., Elsevier, Amsterdam, pp. 35-74.

Hallberg, et al. (1991): A progress review of Iowa's agricultural-energy-environmental initiatives: Nitrogen management in Iowa. Technical Information Series 22. Iowa Department of Natural Resources. December.

Hallberg and Keeney. (1993): Nitrate, in Alley, Regional Ground-Water Quality. Van Nostrand Reinhold. New York.

Hans Harms and Grzegorz Nowak. (1990): Effects of Foliar Applied Nitrogen and Kinetin on Nitrogen Redistribution during Grain Growth in Wheat. I. Grain Growth, Accumulation Redistribution of Nitrogen, *Angew. Botanic*. 64 : 253~260

Hartmann, P.E. (1983): Putative mutagens/carcinogens in foods. I Nitrate/nitrite ingestion and gastric cancer mortality. *Environ. Mutagen*. 5:111-121.

Heiler, E. G., Siciliano, J., Krulick, S., Feinberg, J. and Schwart, J. H. (1974): Changes in nitrate and nitrite content, and search for nitrosamines in storage-abused spinach and beet. *J. Agr. Food Chem*. 22(6):1029-1032.

Hewitt, E. J. and Afridi, M. M. R. J. (1959): Adaptive synthesis of nitrate reductase in higher plants. *Nature*. 183:57-58.

Hicks, J. R., Stall, R. E., and Hall, C. B. (1975): The association of bacteria and nitrates in carrot juice. *J. Amer. Soc. Hort. Sci*. 100:402.

Hill, M.J., et al. (1973): Bacteria, nitrosamines and cancer of the stomach. British Journal of Cancer. 28. 562-567.

Horticulture Research International. (1998): Effectiveness of the UK Codes of Good Agricultural Practice for the production of lettuce and spinach in minimising nitrate residues. Final report of MAFF project number CSA 4418.

<http://www.ewg.org/pub/home/reports/nitrate/nitratehealth.htm>

<http://www.foodstandards.gov.uk/maff/archive/food/infosheet>

<http://dkfz-heidelberg.de/tox/nitrate.htm>

Huber, C. (1992): Huge new system to clean nitrates from Des Moines water. Des Moines Register. January 26. p. 1.

Hunt, J. and Seymour, D.J. (1985): Method for measuring nitrate-nitrogen in vegetables using anion-exchange HPLC (high performance liquid chromatography). Analyst 110, 131-133.

Hyde, G.E., Wilberding, J.A., Meyer, A.L., Campbell, E.R. & Campbell, W.H. (1989): Monoclonal antibody-based immunoaffinity chromatography for purifying corn NADH:nitrate reductases. Plant Mol. Biol. 13: 233-246.

IAEA(1976) Tracer manual on crops and soils. Technical Report Series No. 171. pp. 119-122

Knight, T. M., Forman, D., Al Dabbagh, S. A., and Doll, R. (1987) Estimation of dietary intake of nitrate and nitrite in Great Britain, Food. Chem. Toxicol. 25(4):277-285

IARC (1978): IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks of Chemicals to Man. Volume 17: Some N-Nitroso Compounds. World Health Organization.

Ingle, j., Joy, K. W. and Hagemas, G. H. (1966): The regulation of activity of the enzymes involved in the assimilation of nitrate by higher plants. Biochem. J. 100:577-588.

Iowa State University. (1993): Cooperative Extension Service. Backgrounder:



Nitrogen Use In Iowa. Update. December 1. Ames, Iowa.

Jack E. Rechcigh. (1990): Soil Amendments and Environmental Quality. Agriculture and Environment Series.

Jensen, O.M. (1982): Nitrate in drinking water and cancer in Northern Jutland, Denmark, with special reference to stomach cancer. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 6, 258-267.

Johnson, C.J. and Kross, B.C. (1990): Continuing importance of nitrate contamination of groundwater and wells in rural areas. *American Journal of Industrial Medicine*. 18(4) 449-456.

Johnson, et al. (1987): Fatal outcome of methemoglobinemia in an infant. *Journal of the American Medical Association*. 257. 20:2796-97.

Jones J. Benton, Jr Benjermin Wolf, Harry A. Mills. (1995): Plant Analysis Handbook. A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide.

Joseph H. Hotchkiss. (1987): Nitrate, Nitrite, and Nitroso Compounds in Foods. *Food Technology* P127-134

Jouany, J. (1985): An example of interaction between environmental pollutants: modification of thiram toxicity to freshwater organisms by nitrites or nitrates in relation to nitrosamine synthesis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 9. 327-338.

Keeney, D. (1986): Nitrate in ground water: Agricultural contribution and control. *Proceedings of the Agricultural Impacts on Ground Water Conference*. August.

Keeny, D. (1989): Sources of nitrate in ground water. in *Nitrogen Management and Ground Water Protection*. R.F. Follet, ed. Elsevier Press. New York.

Kinsky, S. K. (1961): Induction and repression of nitrate reductase on *Neurospora crassa*. *J. Bact.* 82:898-904.

Knowles, R. and J. Lefebvre(1971) Field, greenhouse and laboratory studies on the tranformation and translocation of <sup>15</sup>N- labelled urea in a boreal forest black spruce system, *Proceeding of a symposium on isotopes and radiation in*

soil-plant relationships including forestry. 13-17 December 1971. IAEA

Knox, E.G. (1972): Anencephalus and dietary intakes. *British Journal of Preventive and Social Medicine*, 26, 219-223.

Kross, et al. (1995): in *Soil amendments: Impacts on biotic systems*. Rechchigl, ed. Lewis Publishers, Boca Raton.

Kross, B.C., Hallberg, G.R., Bruner, D.R., Cherryholmes, K and Johnson, J.K. (1993): The Nitrate Contamination of Private Well Water in Iowa. *Am J Public Health* 83:270-272.

Kücke, M. and Sohn, S.M. (1995): Conclusion from Measurement on the Mineral Nitrogen Dynamics in Korea and Germany for their Applicability for N Fertilization Recommendation in Asia. *Proceeding of 2nd ACSA Conference held in Fukui/Japan 21-24 August 1995*

Kücke, M. Han, I.A. and Sohn, S.M. (1996): Implication of Examination of the Mineral Nitrogen Dynamics in Korea and Germany for N Fertilization Recommendations and Environmental Protection in Asia. Eds. R.Ishii and T.Horie, *Crop Research in Asia: Achievements and Perspective*. Asian Crop Science Association, March 1996. PP462-463

Kuebler, W., Hueppe, R. (1985) What level of nitrate intakes are tolerable in man?, *Ernaehr-Umsch* 32(10):328-332

Laitinen, S., Virtanen, S. M., Raesaenen, L., Penttilae, P. L. (1993) Calculated dietary intakes of nitrate by young Finns, *Food. Add. Contam.* 10(4):469-477

Lehr, J.H. (1985): Nitrate: Unwarranted Fear, Unnecessary Exposure. *Ground Water Monitoring Review*. Spring. 4-5. Madison, R.J. and J.O. Brunett. 1985. Overview of the occurrence of nitrate in ground water of the United States. *National Water Summary 1984*. United States Geological Survey Water Supply Paper 2275. Washington, DC.

L'Haridon, J., et al. (1993): Evaluation of the genotoxicity of N-Nitrosoatrazine, N-Nitrosodiethanolamine and their precursors in vivo using the newt micronucleus test. *Water Research*. 27(5). 855-862.

Lowe, R. H. and Hamilton, J. L. (1967): Rapid method for determination of

nitrate in plant and soil extracts. *J. Agr. Food Chem.* 15:359-361.

Luhrs, C. E. (1973): In "Nitrogenous Compounds in the Environment" (Hazardous Materials Advisors Committee, ed., E.M. Mark, chairman). EPA-SAB-73-001, pp.159-173. U.S. Environ. Prot. Agency, Washington, D.C.

Lyons, D. J., Rayment, G. E. Nobbs, P. E. and McCallum, L. E., (1994): Nitrate and nitrite in fresh vegetables from Queensland. *J. Sci. Food Agric.* 64: 297-281.

Malberg, J.W., et al. (1978): Nitrates in drinking water and the early onset of hypertension. *Environmental Pollution.* 15(2). 155-160.

Maynard, D. N., Barker, A. V., Minotti, P. L., Peck, N. H. (1976): Nitrate Accumulation in Vegetables. *Advances in Agronomy.* 28 : 71~118.

McColl, R. Stephen. (1989): Biological Safety Factors in Toxicological Risk Assessment: Final Report. University of Waterloo, Ontario. Institute For Risk Research.

McKnight, G.M., Smith, L.M., Drummond, R.S., Duncan, C.W., Golden, M. and Benjamin, N. (1997): Chemical synthesis of nitric oxide in the stomach from dietary nitrate in humans. *Gut* 40, 211-214.

Mengel, K. and E. A. Kirkby(1982) Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Switzerland. pp. 340-343

Meyer, M. (1994): How common is methemoglobinemia from nitrate contaminated wells? A South Dakota perspective. 39th Annual Midwest Ground Water Conference, Bismark, ND. October.

Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (1987): Nitrate, Nitrite and N-Nitroso Compounds in Food. Food Surveillance Paper Number 20. The Stationery Office, London.

Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (1992): Nitrate, Nitrite and N-Nitroso Compounds in Food: Second Report. Food Surveillance Paper Number 32. The Stationery Office, London.

Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (1996): Nitrate in Vegetables. Food Surveillance Information Sheet Number 91.

Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (1997): 1994 Total Diet Study - Nitrate and Nitrite. Food Surveillance Information Sheet Number 137.

Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (1997): 1996/97 UK Monitoring Programme for Nitrate in Lettuce and Spinach. Food Surveillance Information Sheet Number 121.

Ministry of Agriculture, Fisheries and Food/ Department of Health. (1997): Food Safety Information Bulletin Number 88.

Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (1998): 1997/98 UK Monitoring Programme for Nitrate in Lettuce and Spinach. Food Surveillance Information Sheet Number 154.

Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (1998): 1997 Total Diet Study - Nitrate and Nitrite. Food Surveillance Information Sheet Number 163.

Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (1998): Nitrate in Vegetables. Food Surveillance Information Sheet Number 158.

Mirvish, S.S. (1983): The etiology of gastric cancer: Intragastric nitrosamide formation and other theories. *Journal of the National Cancer Institute*. 71(3). 631-647.

Mirvish, S.S. (1991): The significance for human health of nitrate, nitrite, and n-nitroso compounds. in *Nitrate Contamination: Exposure, Consequence, and Control*. NATO ASI Series, Vol. G30. Bogardi, et al., eds. Springer Verlag. Berlin.

MMWR. (1993): Morbidity and Mortality Weekly Report. Methemoglobinemia in an infant -- Wisconsin, 1992. 42:217-219.

Moller, et al. (1989): Endogenous nitrosation in relation to nitrate exposure from drinking water and diet in a Danish rural population. *Cancer Research*. 49. 3117-3121.

Morton, W.E. (1981): Hypertension and drinking water constituents in Colorado. *American Journal of Public Health*. 6(7). 1371-1378.

Mueller, D., et al. (1995): Nutrients in ground water and surface water of the

United States -- an analysis of data through 1992. United States Geological Survey Water Resources Investigation Report 95-4031. Washington, DC.

National Academy of Sciences, Safe Drinking Water Committee. (1977): Drinking Water and Health. Washington, D.C.

National Academy of Sciences, Environmental Studies Board. (1978): Nitrates: An Environmental Assessment. Washington, DC.

National Academy of Sciences. (1995): Board on Environmental Studies and Toxicology. Nitrate and Nitrite in Drinking Water. Washington, DC.

National Research Council. (1993): Board on Agriculture. Soil and Water Quality: An Agenda For Agriculture. National Academy Press. Washington, DC. NRDC. 1994. Natural Resources Defense Council. Think Before You Drink: 1992-93 Update. Washington, DC.

Nitrates and Nitrites. (1988): Reviews of Environmental and Toxicology. Springer-Verlag New York Inc. Vol. 107 : 117~130.

Nitrates and Nitrites. (1993): Encyclopedia of Food Science, Food Technology and Nutrition Vol. 5 : 3240~3244

Packer, P.J., Caygill, C.P.J., Hill, M.J. and Leach, S.A. (1995): Regional variation in potable water nitrate concentration and its effect on total dietary nitrate. Aqua 44, 224-229.

Pennington, J.A.T. (1998): Dietary Exposure Models for Nitrates and Nitrites. Food Control 9, 385-395.

Pereira, L.S. and dos Santos, J.Q., (1991): Fertilizer and water application, and control of nitrate pollution: Management issues in Nitrate Contamination: Exposure, Consequence, and Control. NATO ASI Series, Vol. G30. Bogardi, et al., eds. Springer Verlag. Berlin.

Perlman, H. (1994): U.S. Geological Survey water-use data files. United States Geological Survey. Atlanta, Georgia.

Peterson, G.A. and Frye, W.W., (1989): Fertilizer Nitrogen Management. in Nitrogen Management and Groundwater Contamination, R.F. Follett, ed. Elsevier Press. Amsterdam.

Peterson, T.A. and Russelle, M.P., (1991): Alfalfa and the nitrogen cycle in the corn belt. *Journal of Soil and Water Conservation*, May-June, 229-235.

Peto, et al., (1991): Effects on 4080 rats of chronic ingestion of N-Nitrosodiethylamine or N-Nitrosodimethylamine: A detailed dose-response study. *Cancer Research*, 51:6415-6451.

Phizackerley, P. J. R. and Al-Dabbagh, S. A. (1983): The estimation of nitrate and nitrit in Salvia and Urine. *Analytical Biochemistry*, 131:242-245.

Puckett, L.J. (1994): Nonpoint and Point Sources of Nitrogen in Major Watersheds In The United States. U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report 94-4001, Washington, DC.

Puckett, L.J. (1995): Identifying the major sources of nutrient water pollution. *Environmental Science & Technolnology*: 408A - 414A

Rosenfeld, et al. (1993): Agrichemicals In America: Farmers' Reliance on Pesticides and Fertilizers. *Public Voice For Food and Health Policy*, Washington, DC.

Saleh, Z.A., Brunn, H., Paetzold, R. and Hussein, L. (1998): Nutrients and chemical residues in an Egyptian total mixed diet. *Food Chemistry* 63, 535-541.

Sattelmacher P.G. (1962): Methemoglobinemia from nitrates in drinking water. *Schriftenreihe des Vererins fur Wassar Boden und Lufthygiene*, no. 21.

Scharpf, H. C. (1991): Nutrient influences on the nitrate content of vegetables. *The Fertilizer Society*, 3-9.

Schrader, L. E. and Hageman, R. H. (1967): Regulation of nitrate reductase activity in Corn (*Zea mays* L.) seedlings by endogenous metabolites. *Plant Physiol*, 42:1750-1756.

Shaner, D.L. and John S. Boyer. (1976): Nitrate reductase activity in (*Zea mays* L.) leaves. *Plant Physiol*, 1976, 58:499-504.

Shuval, H.I. and Gruener, N., (1972): Epidemiological and toxicological aspects of nitrates and nitrites in the environment. *American Journal of Public Health*, 62(8), 1045-1052.

Simon, et al. (1964): Über vorkommen, pathogenese, und möglichkeiten zur prophylaxe der durch nitrit verursachten methamoglobinämie. Zeitschrift für Kinderheilkunde. 91. 124-138.

Smith, F.W. and John F. Thompson. (1971): Regulation of nitrate reductase in excised barley roots. Plant Physiol. 48:219-223.

Smith, R.A., et al. Stream water quality in the conterminous United States -- status and trends of selected indicators during the 1980's. National Water Summary 1990-91. United States Geological Survey Water Supply Paper 2400.

Solley, et al. (1991): Estimated Use of Water in the United States in 1990. United States Geological Survey Circular 1081. Washington, DC.

Super, M., et al., (1981): An epidemiological study of well-water nitrates in a group of south west African/Namibian infants. Water Research. 15, 1265-1270  
Terry, et al. 1995. Commercial Fertilizers 1995. The Association of American Plant Food Control Officials/The Fertilizer Institute. Washington, DC.

Sohn, S.M. (1994): NO<sub>3</sub>- Accumulation in Edible Parts of Chinese Cabbage and Radish Cultivated by Conventional and Organic Farming and its Limit Value for Safe Agricultural Products. 10th IFOAM Conference (11-16th December 1994), Lincoln University, New Zealand, 139 page

Sohn, S.M. (1995): Appropriate Organic Fertilizer and Nitrate Accumulation of Vegetables in Organic Agriculture. Conference Proceeding for Food, Culture, Trade and the Environment held 19-22nd July 1995 in Seoul/Korea, Organized by PAN, IFOAM Asia, CACPK, KOFA, KFFWN, KSOA. Pages 91

Sohn, S.M. (1996): Environmental friendly function and safe food production of korean organic agriculture. KAVKAS Gemeinsames Seminar "Umwelt als gesellschafts- polotisches Anliegen. 23-24 Nov.1996, Boeun/Korea, Pages 87

Sohn, S.M. (1996): Nitrate and Overuse of Organic Fertilizer. 11th IFOAM Scientific Conference, Copenhagen/Denmark, Aug 11-15th 1996, Page 36

Sohn, S.M. (1997): Accumulation of nitrate in Vegetables and phosphate in the rhizosphere. School of Nutrition Science and Policy, Tufts University,

Boston/USA, International Conference on Agricultural Production and Nutrition, Boston, Massachusetts, USA, March 19-21, 1997

Sohn, S.M. (1997): Chemical characteristics of soil and  $\text{NO}_3^-$  accumulation of vegetable by conventional and organic farming. 4th International Conference of ESAFS (East and Southeast Asia Federation of Soil Science Society, 11-14th November 1997. Grand Hotel, Cheju Island/Korea.

Sohn, S.M. (1997): chemical characteristics of soil and  $\text{NO}_3^-$  accumulation of vegetable by conventional and organic farming. *In* "Soil Quality Management and Agro-Ecosystem Health". Published by KSSSF, Seoul/Korea, PP186-199

Sohn, S.M. (1997): Organic Farming and Nitrate Accumulation in Vegetables and in the Rooted Soil Layer. Institute of Agricultural Chemistry, University of Göttingen, International Symposium including Environmental Aspects of Agriculture, Göttingen / Germany, 1997.6.6-7

Sohn, S.M. (1999): The Basic Concepts for Korean Eco-village. AgEnergy '99, Energy & Agriculture towards the Third Millennium, FAO-Network on Sustainable Rural Environment and Energy, European Commission, UNESCO, ICAE, EurAgEng, 2-5 June 1999. Athens, Greece

Sohn, S.M. (1999): The Basic Concepts for Korean Eco-village. *In: Energy and Agriculture towards the Third Millennium. Proceedings of AgEnergy '99.* Organized by European Commission, FAO, UNESCO and EurAgEng. Agricultural University of Athens. June 1999. PP 711-716

Sohn, S.M. (1999): Chemical Characteristics of Rooted Soil Profile and Nitrate Content of Cucumber by Organic Farming only Applying Organic Fertilizer. PP 1-17, 2<sup>nd</sup> Workshop of Sustainable Development in Horticulture in Asia and Oceania. (Monbusho International Scientific Research Programs: Cooperative Research by the University of Tokyo, Massey University and Seoul National University), Seoul National University, Suwon/Korea. Sept. 29, 1999

Sohn, S.M. and Alley, M.M. (1997):  $\text{NO}_3^-$ -N Accumulation in Vegetables and Soil Profiles Due to Excessive Organic Fertilizer Application. 1997 Annual Meetings of ASA /CSSA /SSSA at Anaheim/CA, Oct. 26-31, 1997, USA

Sohn, S.M. and Chung, K.S. (1997): Development, Issues and Prospects of Organic Agriculture in Korea. Korean Journal of Organic Agriculture 5(2):71-84



Sohn, S.M. and Kim, Y.H. (1999): Environmental Impact and Safe Vegetable Production of Korean Organic Farming only Applying Organic Fertilizer to Maintain/Increase Soil Fertility. Korean Journal of Organic Agriculture 8(1):111-129 (1999)

Sohn, S.M. and Kücke, M. (1995): Investigation on the Dynamic of NO<sub>3</sub> in Barley Rhizosphere and its Suitability for N-Fertilization Strategies and Environmental Control. Proceeding of 2nd ACSA Conference held in Fukui/Japan 21-24 August 1995

Sohn, S.M. and Kücke, M. (1996): Investigation on the Dynamic of NO<sub>3</sub> in Barley Rhizosphere and its Suitability for N-Fertilization Strategies and Environmental Control Eds. R.Ishii and T.Horie, Crop Research in Asia: Achievements and Perspective. Asian Crop Science Association, March 1996. PP460-461

Sohn, S.M. et al (1992): Biochemisches und Ernährungsphysiologisches Praktikum. Göttingen University Press, Göttingen/Germany

Straat, P.A. and Nason, A. (1965): Characterization of nitrate reductase from the chemoautotroph *nitrobacter agilis*. The Journal of Biological Chemistry. 240(3):1412-1415.

Sugimura, T., Fujimura, S. and Baba, T. (1970): Tumour production in the glandular stomach of the rat by N-methyl-N1-nitro-N-nitroguanidine. Cancer Research 30, 455-465.

The Contaminants in Food Regulations. (1997): (S.I. [1997] No. 1499). The Stationery Office, London.

The Miscellaneous Food Additives Regulations. (1995): (S.I. [1995] No. 3187). The Stationery Office, London.

The Nitrate Elimination Co., Inc. (NECi) -- Innovative Products to Help Eliminate Nitrate Problems Worldwide

United States Environmental Protection Agency. (1990): Science Advisory Board. Nitrate/Nitrite SAB Briefing Document. February 1. Washington, DC.

United States Renal Data System. (1994): USRDS. Annual Data Report. Ann Arbor,

MI.

USDA. (1992): Objective Yield Survey. Economic Research Service. Washington, DC.

USDA. (1995): Agricultural Chemical Usage: 1994 Field Crops Summary. Economic Research Service. Washington, DC.

US EPA Office of Water (WH-550) "Is Your Drinking Water Safe?" EPA 570 9-91-005, Sept. 91.

van Maanen, et al. (1994): Consumption of drinking water with high nitrate levels causes hypertrophy of the thyroid. Toxicology Letter. 72:365-374.

Varvel, G. E. and T. A. Peterson. 1990. Nitrogen fertilizer recovery by corn in monoculture and rotation system. Agron. J. 82:935-938

Vroomen, H. and Taylor, H., (1992): Fertilizer Use and Price Statistics, 1960-1991. USDA Economic Research Service. Statistical Bulletin 842. Washington, DC.

Walton, B. (1951): Survey of the literature relating to infant methemoglobinemia due to nitrate contaminated water. American Journal of Public Health. 41. 986-996.

Weisenburger, D. (1990): Environmental epidemiology of Non-Hodgkins Lymphoma in Eastern Nebraska. American Journal of Industrial Medicine. 18. 303-305.

Weisenburger, D., et al. (1987): N-Nitrosoatrazine (NNAT). Synthesis, chemical properties, acute toxicity, and mutagenicity. Proceedings of the American Association For Cancer Research. 28. Atlanta, Georgia.

Weisenburger, D., et al. (1988): Mutagenesis tests of atrazine and N-nitrosoatrazine, compounds of special interest to the Midwest. Proceedings of the American Association For Cancer Research. 29. New Orleans, Louisiana.

Weisenberg, E., et al. (1982): An assessment of the implication of nitrate-rich water on salivary nitrate. Ecotoxicology and Environmental Safety. 6. 97-101.

Westin, Jerome B. (1990): Ingestion of Carcinogenic N-Nitrosamines by Infants

and Children. Archives of Environmental Health, 45:6, 359-363.

Wiles, R., et al. (1994): Tap Water Blues: Herbicides In Drinking Water. Environmental Working Group, Washington, DC.

Woodward, et al. (1995): Summary results: Soil nitrate tests for corn: 1993 state surveys. USDA, Economic Research Service, Washington, DC.

Yang, Y. J. (1992): Effect of storage treatment on NO<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> contents in vegetables. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 33(2):125-130.

Yang, Y. J. and Henze, J. (1988): Influence of CA storage on external and internal quality features in broccoli. IV. Changes in the content of vitamin C, nitrate and nitrite. Gartenbauwissenschaft 53(4):185-188.

Yang, Y. J. and Jeong, J. C.. (1993): Nitrate-nitrite conversion during CA-storage of carrots. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 34(2):115-119.

Yang, Y. J., Park, K. W., and Jeong, J. C. (1991): The influence of pre- and post-harvest factors on the shelf-life and quality of leaf lettuce. Kor. J. Food Sci. 23(2):133-140.

Ysart, G., Clifford, R. and Harrison, N. (in press). Monitoring for Nitrate in UK-Grown Lettuce and Spinach. Food Additives and Contaminants.

Xu, et al. (1992): The relationship between gastric mucosal changes and nitrate intake via drinking water in a high risk population for gastric cancer in Moping county, China. European Journal of Cancer Prevention, 1:437-443.

# 부록1: 한국 FDA의 보고서

제목: 유럽의 채소질산염 함량 허용기준제도 연구

## 1. 연구개발 목표와 내용 및 평가의 착안점

### 가. 연구개발 목표

#### ○ 연구개발 목표

- EU 소속국가들의 채소 질산염 규제현황 및 과학적 근거 자료 수집 및 분석
- 채소 질산염 함량조사결과 데이터 수집 및 분석

#### ○ 연구개발 내용

- 규제선정된 정부관계자 접촉을 통한 자료수집

### 나. 연구평가의 착안점

- 독일의 질산염 허용기준치, 제도, 규제기관, 도입근거
- EU 질산염 허용기준, 근거, 내용의 분석, 규제방법

## 2. 연구개발 목표의 달성도

- EU 소속국가들의 채소 질산염 규제현황 및 과학적 근거 자료 수집 및 분석 - 100%달성
- 채소 질산염 함량조사결과 데이터 수집 및 분석 - 100%달성

### 3. 계획대비 진도표

구분 개발내용	연구 개발 기간												진도(%)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
EU 국가의 채소 질산염 규제현황 및 과학적 근거 자료수집														100
채소 질산염 함량조사결과 데이터 수집 및 분석														100
총진도율					10			45					45	100

### 4. 연구수행 방법

- EU 국가의 채소 질산염 허용기준치 관련자료 수집 및 분석
  - 영국, 독일, 벨기에등 EU 국가방문 및 채소질산염 관련 전문가 면담
  - 규제 설정한 국가들의 정부관계자 접촉
  - 규제설정의 과학적 근거 검토 및 평가
- 채소 질산염 함량조사결과 데이터 수집 및 분석
  - 영국, 독일, 벨기에등 EU 국가의 채소질산염 함량 모니터링 자료수집
  - 일본, 미국등 규제설정하지 않은 국가의 모니터링 자료수집 및 분석
  - 우리나라의 모니터링 자료수집 및 평가

### 5. 연구수행 내용 및 결과(제 6세부과제 식품의약품안전청 김낙경 소요예산:17,190)

#### 가. 연구수행 내용

## 1. EU 국가의 채소 질산염 규제현황 및 과학적 근거자료수집

독일, 영국, 벨기에, EU의 질산염 담당자 회의 참석 (1997년 10월 27일 - 11월 8일)

### ① 채소류 질산염 규격 설정 배경 조사

- 영국MAFF의 Dr. Ysart는 질산염과 오염물질 안전관리를 담당하는 식품과학자로서 EU에서의 질산염 기준설정작업에 참여하였음. 채소 질산염의 독성은 불분명하며, EU에서 기준이 설정된 것은 회원국간의 통상문제와 정치적인 관계에 얽혀 결정된 것이라고 설명하였음.
- 독일 보건성의 Dr. Schmidt (Dr. Somogy와 함께 질산염 기준설정을 담당하는 공무원)는 과거 독일에서 네덜란드와 벨기에로 부터의 상처 수입을 막기 위하여 질산염함량을 도구로 사용하였으며 이로인하여 오랫동안 무역분쟁이 발생하였고, 독일내의 녹색당 (Green Party: 독일내 8개의 정당중 16.5%의 의석을 확보하고있는 가장 강력한 다수당입)에서 지속적으로 안전성문제를 제기함으로써 정치적 압력에 밀려 guideline을 설정하였음을 설명함.
- 벨기에 사회부의 채소질산염 담당자들도 독일과 벨기에간의 통상문제를 문제삼고 있었으며 EU의 기준설정은 과학적 근거보다는 정치적, 또는 통상문제의 해결을 위하여 설정되었음을 설명하였음

### ② EU내의 채소 수출입관련 통상문제

- 네덜란드, 벨기에에서 생산되는 상처는 대부분 (90%이상) 독일로 수출되고 이 수출통로가 막힐 경우 막대한 경제적 손실을 입게됨에따라 이들 국가들과 독일간의 무역분쟁은 오랜 세월동안 지속되어왔으나 독일측이 일방적으로 수입을 불허함으로써 발생되어온 것임.
- 실제로, 독일에서는 guideline상의 채소중 질산염함량을 이유로 들어서 2회이상 부적합으로 적발된 벨기에의 상처에대해 벨기에의 수출항구에서 수입금지 조치를 내린 경우도 있었음

### ③ EU회원국가별 지정학적 요인

- 채소 질산염 함량은 연중 일조량이 풍부한 유럽남부의 국가들에서보다 영국이북의 국가들(네덜란드, 핀란드 등)은 채소 재배방법을 합리적으로 변경하더라도 일조량 부족으로 질산염 함량이 높은 경향을 보임

### ④ EU회원국 내의 정치적 문제

- EU 회원국들은 EU 국회의 결정시 행해지는 투표에서 행사할 수 있는 투표권이 국가별로 달라서 영국, 독일 등의 강대국은 10개의 투표권을 가지나, 약소국들은 3개의 투표권만을 가짐.
- 따라서, 강대국들의 입김이 강하게 작용할 수 있으며, 공식적으로 확인된 사실은 아니나, 채소질산염 규격설정시 행해진 투표에서는 매우 근소한 차이로 법안이 통과되었음.

### ⑤ 국가들의 규제, 감시, 모니터링 현황

- 영국: EU규격 설정전에는 자국 규격기준이 없었으므로, 채소질산염의 규제, 감시가 없었으며 모니터링 결과는 EU규격에 적합한 수준임. 그간의 모니터링결과를 입수하였음
- 독일: 채소류중 질산염이 인체에 유해성과의 관련은 희박한 것으로 인정하고 있으나 과도한 질산염의 섭취를 방지하기 위한 예방적 차원에서 운영되고 있음. Guideline에 의하여 부적합 판정을 내린 결과가 상당수 있었으며 EU기준을 적용할 경우 부적합율은 내년초에 집계될 예정임. 그간의 모니터링 결과를 입수하였음
- 벨기에: 채소류에 대한 질산염 잔류기준을 설정, 시행하고 있으나 채소류에서의 질산염 잔류량 모니터링 결과가 인체에 크게 유해할 정도는 되지 않고 보다 많은 채소류 섭취를 권장해야한다는 보건 및 식품영양 관련인사들의 주장에 따라 동기준이 엄격하게 적용운용되지 못하고 있는 실정임. 그간의 모니터링 결과를 입수하였음

## ⑥ 공인 sampling 및 분석방법

- 채소중 질산염을 분석하기 위한 공인방법은 현재까지 EU 및 영국, 독일, 벨기에에서 결정된 바가 없음
- 영국 MAFF의 FAPAS에서 채소중 질산염에 대한분석의 정확성을 AQA parameter(정확성, 정밀성, 재현성 등)으로 관리하고있음. 따라서 채소중 질산염 분석에 있어 HPLC, Ion Chromatography, Quick test등의 방법을 선택하는 것은 분석기관의 자율에 의거하며, 다만 그 정확성이 일정수준에 도달하면 문제가 없는 것으로 판단됨.
- EU단일기준에 명시된 채소 sampling방법 directive를 입수하였으며 이것은 질산염의 정량방법에 대한 언급은 없으며, 검체의 전처리등 시료 채취과정을 설명한 자료임.

## 2. 채소질산염 함량조사결과 데이터수집 및 분석

### (1) 채소질산염 모니터링 결과자료 입수 및 분석

KFDA에서 97년도에 조사된 우리나라 채소류의 질산염 함량과 외국의 모니터링 결과를 비교분석한 결과 대체로 유사하거나 낮은 수준으로 나타났 다.(Table 1)

최근 EU 7개국가에서 수행된 채소류의 모니터링 결과를 종합한 자료<sup>(7)</sup>에 의 하면 상치의 평균 질산염 함량은 907-4,674mg/kg, 시금치의 평균함량은 390-3,383mg/kg로 채소종류별로 각 나라마다 평균 질산염 함량차이가 큼을 볼 수 있다. 개별국가들의 모니터링 자료를 보면 일본<sup>(2)</sup>은 배추, 무우의 질산 염함량이 낮고 상치, 시금치의 질산염 함량이 높게 나타났으나 시료건수가 작아서 평균값만으로 우리나라와 비교하기는 어렵다. 벨기에의 모니터링 결과<sup>(3)</sup>는 시료건수가 우리나라와 비슷한데 조사결과 무우, 상치는 우리나라보다



높게, 시금치는 우리나라보다 낮게 나타났다. 네덜란드 결과<sup>(4)</sup>는 배추, 무우, 상치, 시금치 모두 3,400mg/kg 이상으로 높게 나타났으며 영국 모니터링 결과<sup>(5)</sup>는 우리나라와 비슷한 수준이었다.

Table 1. 국가별 채소류중 질산염 모니터링 결과 (단위:mg/kg)

	한국 <sup>1)</sup>		일본 <sup>2)</sup>		벨기에 <sup>3)</sup>		네덜란드 <sup>4)</sup>		영국 <sup>5)</sup>		독일 <sup>6)</sup>		EU <sup>7)</sup>	
	건수	평균 (최소-최대)	건수	평균	건수	평균	건수	평균	건수	평균 (최소-최대)	건수	평균 (최소-최대)	건수	평균
배추	100	1,498 (362-3,015)	9	1,040	-	-	34	3,800	-	-	-	3,100	-	-
무우	100	1,551 (273-4,151)	12	1,060	90	2,136	1	3,410	7	(583-4172)	-	(780-2,400)	-	1,100-1,510
상치	100	2,287 (542-4,484)	3	5,360	112	2,782	2	3,600	589	(240-5628)	-	(750-5,500)	-	907-4,674
시금치	100	2,788 (311-5,522)	9	3,560	72	2,297	1	3,400	147	(225-4121)	-	(900-5,400)	-	390-3,383

1. 식품의약품안전청 97년 연구사업결과
2. Sumiko T. Masako k. et al : Naturally occurring of nitrite and nitrate Existing in Various raw and Processed Foods, *J of Food hygienic society of Japan* 34(4), 294-313, 1993.
3. Dejonckheere, W., Steurbaut, W., Drieghe, S., Verstraeten, R. and Braeckman, H :Nitrate in food commodities of vegetable origin and the total diet in belgium(1992-1993), *Microbiologie Aliments nutrition*, 12, 359-370, 1994.
4. 네덜란드 Inspection Health Protection : 1995.

5. MAFF, Food Surveillance Paper Number 91 : Nitrate in vegetables. 1996.
6. Gangolli, S.D., van den Brandt, P.A., Feron V.J., Janzowsky, C., Koeman J.H., Spijkers G.J.A., Spiegelhalter, B., Walker, R., Wishnok, J.S : Assessment of Nitrate, nitrite and N-nitroso compounds. *European J. of Pharmacology, Environmental Toxicology and Pharmacology Section*, 292, 1-38, 1994.
7. European Commision Scientific Committee for Food : Opinion on nitrate and nitrite. Annex4 To Document III/5611/95, 1995.

(2) EU 국가의 채소질산염 기준

EU 국가의 채소질산염 기준 및 단일규격(98.2.1)은 Table 2와 같다.

Table 2. EU 국가의 채소류의 질산염 잔류기준

(단위: mg/kg)

채소류 \ 국 가	독 일	네덜란드	벨기에	오스트리아	EU 단일기준
무 우 (Radish)	3,000	—	—	3,500 (5-10월)	—
		—	—	4,500 (11-4월)	—
배 추 (Chinese cabbage)	—	—	—	2,500	—
상 치 (Lettuce)	2,500 (5-10월)	3,500 (5-10월)	3,000 (4-10월)	3,000 (5-10월)	3,500 (4-9월)
	3,500 (11-4월)	4,500 (11-4월)	4,000 (11-3월)	4,000 (11-4월)	4,500 (10-3월)
시 금 치 (Spinach)	2,500	3,500 (4-10월)	2,500 (4-10월)	2,000 (<7월)	2,500 (4-10월)
		4,500 (11-3월)	3,500 (11-3월)	3,000 (>7월)	3,000 (11-3월)

## 나. 연구수행 결과

1. 채소 질산염은 인체에 유해하다는 증거가 없고 Codex, 미국, 일본등 선진국에서 기준을 설정하지 않고 있음.
2. EU 및 EU 회원국에서 기준을 설정하는 것은 통상문제 등 경제적 이유로 인한 것임이 문헌조사 결과 나타남.
3. 우리나라에서도 채소의 질산염 함량에 기준을 설정할 필요는 매우 적다고 판단되며 그 이유는 다음과 같음.

○ 수많은 역학조사결과 채소 섭취량이 증가 할수록 암발생이 줄어드는 등 건강증진 효과가 분명히 밝혀짐

○ 채소 질산염 규제는 채소 소비량을 감소시키고 육류 소비량을 증가시켜 국민 건강을 해할 우려가 있음.

○ JECFA, IFT 등 국제기구에서 채소 질산염 위해성 문제는 이미 종합적으로 검토되어 결론지워진바 있음.

○ 한국 식품의약품안전청은 JECFA, WHO, 미국 FDA, IFT 등의 기관에서 내린 위해성 평가 및 관리내용을 기본적으로 수용하며 국내학계에서 채소 질산염의 규제 설정이 필요하다고 주장하는 과학자들은 그 근거를 확보하기 위하여 위에 언급한 기관들로부터 채소질산염이 인체에 유해하다는 공식의견을 접수하는 등 조치를 취할 필요도 있다고 생각됨

## 부록2: 질산염 허용기준치가 안전농산물 기준의 하나로 설정되어야 하는 이유

러시아, 독일, 네덜란드, 스위스, 오스트리아 등 농업선진국의 경우 이미 채소에서의 질산염 허용기준이 정해져 있을 뿐만 아니라 농산물검사소 등을 통한 강력한 통제 체제가 식수에 대한 질산염 허용 기준의 규정과 대책 못지 않게 확립되어 있다.

우리 나라의 경우 안전농산물 기준으로 채소의 질산염 함량 허용기준치를 유럽 국가에서보다 더욱 엄격히 설정하고 이를 규제하여야 할 당위성은 다음과 같다.

첫째, 일일 질산염 섭취량중 채소를 통한 질산염 섭취량이 75.1~85.8%에 이른다는 점(식수를 통한 질산염 섭취량은 12.2~21.3% 에 불과),

둘째, 우리 나라 일인당 일일 채소 소비량이 세계 제 1위인 점,

셋째, 우리가 애용하는 채소인 배추와 무의 가식부위내 질산염 집적량이 다른 채소들(양채류)에 비해 월등히 높은 작물인 점(우리가 주로 많이 섭취하는 배추, 무는 고수준군에 서양인들이 많이 먹는 양채류 계통은 대개 중수준군 및 저수준군에 속함),

넷째, 우리 나라 단위면적당 질소시비량이 세계 제2위로서 추천시비량보다 1.6배나 많은 질소비료를 사용하고 있다는 점(질소비료사용량이 증가에 따라 채소의 질산염 집적량이 증가) 등 때문이다.

놀라운 사실은, 만약 무우, 배추의 가식부위내 질산염 함량을 2000ppm으로 가정하더라도 (물론 실제 무우 배추의 질산염 함량은 이 보다 높음) 1995년 현재 1인당 일일 무우 소비량 98g, 배추소비량 166g 섭취만을 통해서 528mg의 질산염을 섭취하는 것이 되며 이는 배추, 무우 섭취를 통해서 이미 FAO의 일일 질산염 섭취허용량 219mg을 2.4배나 초과하게 된다는 사실이다.

무우 98g 섭취 \* 2000ppm = 196mg 질산염 섭취

배추 166g 섭취 \* 2000ppm = 332mg 질산염 섭취

따라서 정부는 국민의 건강을 위해 더 이상 지체하지 말고 즉시 채소의 질산염 함량 허용기준치 제도를 도입하여야 한다. 질산염 함량 허용기준을 결정할 때에는 서양인과 다른 한국인의 식생활 습관, 즉 채소별 섭취량을 고려하여 일일 질산염 섭취량이 WHO의 허용기준치를 초과하지 않도록 채소별 질산염 함량 허용기준치를 정하여야 한다. 다만 농민들에게 주는 충격을 감안하여 네델란드와 같이 점차적으로 채소별 질산염 함량 허용기준치를 줄여 나가는 방법을 도입하는 것이 바람직 하지 않을까 생각된다. 예를 들어 배추의 경우 실시 1차년도(1996년)에는 4000ppm정도로 하고 그후 매 2년 간격으로 1000ppm씩 낮추어 1998년에 3000ppm, 2000년에 2000ppm으로 조정하는 방법이 있을 수 있겠다. 또는 유럽연합 또는 유럽각국의 채소별 허용기준치를 당분간 준용해 나가는 것도 하나의 방법이 되겠다.

### 부록3. 질산염의 위해성

## Health Effects of Nitrate Exposure

---

A review of available peer reviewed literature on nitrate toxicity reveals a near systematic failure of the EPA to incorporate current scientific knowledge into drinking water standards. These shortcomings apply to all the toxic effects of nitrate, including:

### *Methemoglobinemia*

Nitrate causes methemoglobinemia in infants and this has been the principle health concern of regulators around the globe. The U.S. standard for nitrate is two times weaker than the standard in Germany and South Africa, and nearly twice as permissive as guidelines set by the European Community.

### *Cancer*

Nitrate is converted to nitrite after ingestion, and this nitrite reacts with both natural and synthetic organic compounds to produce N-Nitroso compounds in the human stomach. Many of these N-Nitroso compounds are carcinogenic in humans (IARC 1978, NAS 1977), and numerous researchers and a substantial body of literature suggest that high nitrate levels in drinking water may increase cancer risks (Mirvish 1983, Mirvish 1991). To date, the EPA has completely ignored the contribution of nitrate in drinking water to the human cancer risk from N-Nitroso compounds.

Infant exposure, particularly when nitrate levels approach the 10 ppm standard, appears to be especially important. Recent animal studies have shown that rats exposed to N-Nitrosodiethylamine during infancy are six times more likely to develop cancer than those exposed after weaning (Gray et al 1991). Human epidemiology studies also have suggested that cancer risks may be higher for those exposed to nitrate contaminated water in the first ten years of life (Cuello 1976).

### *Disruption of thyroid function*

An important study by Danish researchers found that individuals drinking water with a high nitrate content exhibited a dose related increase in hypertrophy, a condition marked by enlargement of the thyroid, the gland responsible for many of the body's endocrine and hormonal functions (Van Maanen, et al. 1994).

### *Birth Defects*

At least five studies have indicated a possible link between exposure to nitrite, nitrate and N-Nitroso compounds and birth defects. The effects of exposure were first observed in animal studies, but have since been observed in human epidemiological studies (Dorsch 1984; Knox 1972; Super 1981).

Given the litany of health effects associated with nitrate exposure and the uncertainty that this volume of evidence brings to the prediction of health risks, sound scientific judgment dictates that the U.S. EPA apply a safety factor of at least two to the current 10 PPM standard for nitrate-nitrogen in drinking water.

The EPA should further establish a Maximum Contaminant Level Goal of 3 ppm nitrate-nitrogen in drinking water, equal to the generally accepted maximum background level of uncontaminated groundwater aquifers used for drinking water in the U.S. This would allow the EPA to at least establish the goal of maintaining ground and surface water resources used for drinking water free from added nitrate contamination.

### *Nitrate and Methemoglobinemia*

Methemoglobinemia, or blue-baby syndrome, is a condition caused by the inability of the blood to deliver enough oxygen to the body. It is the most well-known effect of exposure to elevated levels of nitrate in drinking water.

When nitrate is ingested it is converted to another chemical form, nitrite. Nitrite then reacts with hemoglobin, the proteins responsible for transporting oxygen in the body, converting them to methemoglobin, a form that is incapable of carrying

oxygen. As a result, the affected individual suffers from oxygen deprivation.

Infants under four months of age are most susceptible to methemoglobinemia because their stomach is relatively non-acidic, meaning that compared to adults more nitrate is converted to nitrite in the infant stomach, and because infant or fetal hemoglobin reacts to form methemoglobin easier than adult hemoglobin. Diarrhea and other gastric disturbances (often caused by microbial contamination of drinking water) are also thought to play an important role in methemoglobinemia, perhaps because they increase stomach pH and weaken immune systems (NAS 1978). Virtually all reported cases of methemoglobinemia have involved children under the age of six months suffering from gastric disturbances.

Symptoms of methemoglobinemia include anoxic appearance, shortness of breath, nausea, vomiting, diarrhea, lethargy, and in more extreme cases loss of consciousness, and even death. Approximately seven to ten percent of all reported methemoglobinemia cases have resulted in death of the infant, and in recent years at least one death has been reported in the United States (NAS 1977, Johnson et al. 1987). Additional deaths caused by nitrate contaminated drinking water in the United States have almost certainly occurred, but gone unreported (Johnson and Kross 1990).

### The Current EPA Standard Has No Safety Factor

The current enforceable drinking water standard (Maximum Contaminant Level or MCL) for nitrate as nitrogen (N) of ten parts per million (ppm) is unique for at least two reasons: (1) unlike most MCL's, which are based on the results of animal studies, the nitrate standard was set based on data from infants reported in a 1951 study of methemoglobinemia occurrence published in the American Journal of Public Health (Walton 1951); and, (2) unlike virtually all other water and food standards based on human data, which use at least a 10 fold safety factor to account for differences in human susceptibility to the toxicant in



question, the 10 ppm standard for nitrate has no safety factor at all.

The Walton study analyzed 278 reported cases of methemoglobinemia that occurred in the United States between 1945 and 1950 and found that none of the reported cases occurred at nitrate concentrations below 10 ppm. On the basis of this study, 10 ppm of nitrate as nitrogen (N) was established as the "safe" dose of nitrate in drinking water for infants. In 1962 the American Public Health Service formally recommended a 10 ppm nitrate standard in drinking water, based on the Walton research. This same analysis was relied upon by the EPA during the 1987 MCL standard setting process.

Two retrospective German studies found that 3-4 percent of the reported methemoglobinemia cases in that country occurred at nitrate concentrations of 11 ppm or less (Sattelmacher 1962; Simon 1964). Infants suffering from gastric disturbances, respiratory illness, or diarrhea are particularly sensitive to methemoglobinemia and virtually all reported cases have involved this sensitive subpopulation.

In addition to infants, other populations may be more susceptible to the effects of elevated nitrate. These include African Americans, Alaskan Eskimos, and Native Americans, who lack a hereditary enzyme that helps reduce methemoglobin levels in the blood (NAS 1978; Aldrich 1980) as well as individuals suffering from stomach conditions such as gastric ulcers, pernicious anemia, adrenal insufficiency, gastritis, or gastric carcinoma, all of which reduce stomach acidity and cause more nitrate to be converted to hazardous nitrite (NAS, 1978). Pregnant women, with naturally high levels of methemoglobin in the latter period of their pregnancy, may also be sensitive to the effects of nitrate (Kross 1994, NAS 1977). A final group that is particularly sensitive includes dialysis patients, who are uniquely susceptible to methemoglobinemia. For water used for dialysis, a standard of 2 ppm has been recommended because of this sensitivity (Carlsen and Shapiro 1970, Fan et al. 1987).

There have been no estimates of the total size of the nitrate sensitive subpopulation, although it is quite large -- studies have indicated that enzyme deficiencies affect approximately 7 percent of African American males (Aldrich, 1980) -- a population of over one million, and over 140,000 people receive dialysis treatment each year (USRDS 1994).

In addition to the known sensitive populations, a recent reported case of methemoglobinemia in Wisconsin also provides cause for concern (MMWR 1993). In this case, an infant was hospitalized due to acute methemoglobinemia. When testing of the tap water was conducted, the nitrate concentration of the well water was found to be 9.9 ppm -- below the current EPA standard. The well was also found to be contaminated with copper, and the case was thought to have been caused by a synergistic effect of copper and the nitrate acting together.

A final cause for concern is that some baby foods contain naturally occurring nitrate. A recent study found that a number of baby foods, including bananas, carrots, garden vegetables, spinach, green beans, and beets, contain high concentrations of nitrate (Dusdieker, et al 1994). A young infant drinking contaminated water and eating commercial baby food that is also high in nitrate can easily exceed acceptable intake levels and become ill. The current EPA standard contains no safety standard to account for this simultaneous consumption of nitrate in food and drinking water.

## The No Safety Approach Is Invalid

In theory, drinking water standards with no safety factors could be set based on human data, if the sample sizes for the study were large enough and statistically designed to capture all of the variability in the exposed human population.

The nitrate standard is based on a single 45 year-old study of 278 reported cases of methemoglobinemia in infants. It is inappropriate for two reasons. First, the sample size is far too small to account for the variable sensitivity of the entire U.S. population. And second, the standard fails to account for a number of

confounding factors, including the fact that infants are also exposed to nitrate in food, and that exposure to nitrate may cause additional long-term health problems in addition to methemoglobinemia.

EPA justifies the absence of a safety factor by arguing that the Walton study is in fact a study of sensitive infants, because the condition of methemoglobinemia only occurs in sensitive infants. Therefore, according to the EPA, the fact that methemoglobinemia was not reported at contamination levels under 10 ppm by Walton, proves that nitrate is not likely to afflict any infant anywhere at levels under 10 ppm, because the sensitive infants in this study accurately represent the sensitivity to nitrate of all infants in the United States.

Several facts contradict this assertion. First, the study is only of reported cases, which, according to most medical experts, underrepresents the total number of cases. Methemoglobinemia is underreported because reporting is often not required, and because the symptoms mimic other conditions including congenital heart conditions, and even sudden infant death syndrome (Johnson and Kross 1990). As the National Academy of Sciences found in their recent study, "...the absence of reported cases [of methemoglobinemia below 11.3 ppm] might in part be due to the lack of requirements for reporting cases..." (NAS 1995)

And second, scientific data document methemoglobinemia at doses below 10 ppm (Sattelmacher 1964; Simon 1962). At a minimum, in order to fully justify not adopting a safety factor for nitrate, the EPA must lower the MCL to the lowest dose at which methemoglobinemia occurred in the infants in these more recent studies.

## Methemoglobinemia Occurrence is Vastly Underreported

The only two surveys conducted in the last 15 years indicate that only a small percentage of methemoglobinemia cases are reported or publicized. In 1974, a Nebraska researcher noted that there had been no cases reported in the literature, and set out to determine if it was due to lack of occurrence (Grant 1981). A

survey was sent to 910 physicians in a 72 county area, 442 of whom included infants in their practice. This survey asked all physicians if they had seen a case of nitrate induced methemoglobinemia, and reported that 33, or seven percent, had seen a case in the period 1973-1978. During that time not a single case had been reported in the medical literature.

A similar survey was carried out after a nitrate contaminated well caused the death of an infant by methemoglobinemia in South Dakota (Johnson, et al. 1987). The author sent questionnaires about methemoglobinemia to all doctors in the 12 county area of the Big Sioux aquifer. The survey found that many cases of methemoglobinemia went unreported (Meyer 1994). Although this was only the second reported case in South Dakota history, doctors reported that they had treated at least 80 cases in the period 1950-1980 -- in a region that comprises only 0.28% of the U.S. population. The study concluded that "the common perception that methemoglobinemia occurs rarely may be wrong..."

A 1994 study noted succinctly that "signs of methemoglobinemia...may be difficult to detect in an infant by a caretaker or an unsuspecting physician" (Dusdieker 1994) and in a 1990 review, researchers in Iowa and South Dakota concluded that many cases of preventable nitrate poisoning were still occurring. They reported that:

"the contamination of ground and rural drinking water supplies by nitrates...continues to be a serious potential hazard throughout the world. Nitrate poisoning certainly contributes to national infant death rate statistics." (Johnson and Kross 1990)

## Other Consequences of Nitrate Exposure

Although methemoglobinemia is the most immediate life threatening effect of nitrate exposure, there are a number of equally serious longer-term, chronic impacts. In numerous studies, exposure to high nitrate drinking water has been linked to a variety of effects ranging from hypertrophy (enlargement) of the

thyroid, to 15 different types of cancer to two kinds of birth defects and even to hypertension. All of these effects have been observed in human epidemiology studies, and are often supported by further human physiology or animal studies. These results indicate that the current MCL does not provide adequate protection against chronic effects of exposure to elevated concentrations of nitrate.

In 1978, food regulations, set by the USDA, were strengthened in order to reduce the risk from nitrite and nitrate present in cured meats. Since 1978, only 120 ppm nitrite has been allowed in nitrite preserved products, and these products also must contain either ascorbate or erythorbate, two compounds that prevent the formation of hazardous N-Nitroso compounds. This has reduced exposure to hazardous nitrites by a factor of five or more (Mirvish 1991). And most importantly, current USDA regulations specifically ban the use of added nitrate or nitrite in "baby, junior, and toddler foods" (CFR 9 at 318.7).

### Nitrate and Hypertrophy of the Thyroid

A recent study by Danish researchers revealed a strong correlation between prolonged exposure to nitrate contaminated water causes hypertrophy of the thyroid, the gland responsible for many of the body's endocrine and hormonal functions (van Maanen, et al. 1994). The study compared three dose groups -- low nitrate (0 ppm nitrate in drinking water), medium nitrate (4-10 ppm) and high nitrate (> 10 ppm) -- and found that "a dose-dependent difference in the volume of the thyroid was observed between low and medium vs. high nitrate exposure groups, showing development of hypertrophy at nitrate levels exceeding [11.3 ppm]". Adding further weight to the human epidemiological evidence, the researchers also noted that similar effects had been observed in laboratory animals, where nitrate interfered with the uptake of iodine by the thyroid.

### Nitrate, Nitrite, Nitrosamines and Cancer

For many years, public health professionals have known that nitrate has the potential to form carcinogenic compounds when it reacts with naturally occurring materials (NAS 1977, 1978; Mirvish, 1991, 1983). Historically, however, there has

been uncertainty over the risk posed by nitrate in drinking water, in large part because of questions over the relative importance of the dose of nitrate in water compared to larger amounts consumed via food, and a lack of understanding of the full series of reactions in the human body that lead to the formation of N-Nitroso compounds. Nonetheless, over the last 20 years, numerous human epidemiology and physiology studies (Table 6) as well as animal studies have shown a potential link between nitrate intake in water and increased risk of cancer.

Evidence from animal and human studies suggests that exposure to elevated levels of N-Nitroso compounds during infancy can significantly increase lifetime cancer risks (Cuello, et al 1976; Gray, et al. 1991). While questions do remain over the link between nitrate in drinking water and cancer, prudent public health principles and the evidence of potential carcinogenic effects provide strong support for an additional safety factor in the nitrate standard.

Nitrate itself is not carcinogenic, but instead acts as a "procarcin-ogen", meaning that it reacts with other chemicals to form carcinogenic compounds via a multiple step process. First, nitrate is converted into nitrite after consumption. Second, the nitrite reacts with natural or synthetic organic compounds (known as secondary amines or amides) in food or water to form new combinations, called N-Nitroso compounds (either nitrosamines or nitrosamides), many of which are carcinogens. In animal or human studies, this class of compounds has been associated with 15 different types of cancers, including tumors in the bladder, stomach, brain, esophagus, bone and skin, kidney, liver, lung, oral and nasal cavities, pancreas, peripheral nervous system, thyroid, trachea, acute myelocytic leukemia, and T and B cell lymphoma -- a wider range of tumors than any other group of carcinogens (Mirvish 1991). More than one hundred of these N-Nitroso compounds have been tested for carcinogenicity in animals, and 75-80% of them have been found to be carcinogens (NAS 1977).

There is strong evidence that many of these compounds are carcinogenic in humans. In 1978, the International Agency for Research on Cancer reviewed 11

N-Nitroso compounds for which adequate data was available, and concluded that all 11 "should be regarded for practical purposes as if [they] were carcinogenic in man" (IARC 1978). Citing several human epidemiological studies, the National Academy of Sciences noted that "there is no reason to suppose that man is not susceptible." (NAS 1977). In humans, the organs thought to be most at risk from cancers caused by nitrosamine formation are the stomach, esophagus, nasopharyngeal cancer, and cancer of the bladder.

## Human Evidence that Nitrate in Drinking Water Can Cause Cancer

Epidemiology. Since 1976, at least 8 different human epidemiology studies conducted in 11 countries show a relationship between increasing rates of stomach cancer and increasing nitrate intake (Hartmann, 1983; Mirvish 1983).<sup>3</sup> The National Academy of Sciences, in their recent study on Nitrate and Nitrite in Drinking Water, ignored the vast majority of these studies, arguing that for most adults, nitrogen intake via water was relatively small. Those conclusions do not hold true for infants and others with highly contaminated tap water.

Links between nitrate and cancer have been found in at least three separate European countries. A 1984 study in the Piemonte Region of Italy compared the incidence of gastric cancer in regions with high and low nitrate in drinking water. Researchers found a positive relationship between communities having a significantly elevated cancer risk and a high nitrate content (>4.5 ppm as nitrate) in their drinking water (Gilli 1984). High nitrate communities were 13 times more likely to have higher than average stomach cancer rates than low-nitrate communities. Although this study did not adjust for many social or medical risk factors, for historical changes in nitrate concentrations or for a variety of other factors, the data do provide statistically significant evidence across a broad geographical area consisting of more than 150 communities of a potential link between nitrate contaminated drinking water and stomach cancer.

In Britain, a 1985 study of 253 urban areas found a negative relationship between water nitrate levels and stomach cancer rates (Beresford 1985). However, EPA and others have criticized this analysis because nitrate concentration data and cancer occurrence data are not from the appropriate time period -- that is, that the study ignores the long latent period between nitrate exposure and cancer occurrence (ECETOC 1988; USEPA 1990).

An English study which overcame this problem did in fact find a positive relationship between nitrate content and stomach cancer in males, although no relationship was observed for females (Clough 1983). This study analyzed 43 districts and boroughs in the county of Kent with water nitrate concentrations ranging from 0 to 11 ppm nitrate as N, and reported that, for both males and females, an increase in nitrate concentrations was linked with an increase in stomach cancer occurrence. For both groups, a dose response relationship was observed for nitrate concentrations up to 7 ppm. For women, risks increased at higher concentrations, while for men, no further increase in risk was observed at higher concentrations. Women exposed at greater than 7 ppm had gastric cancer risks approximately 10 percent higher than women exposed at concentrations between 0 and 2.5 ppm. Men exposed at greater than 7 ppm had gastric cancer occurrence rates approximately 17 percent higher than women exposed at concentrations between 0 and 2.5 ppm. Notably, increases in cancer occurrence were found at concentrations well below the current MCL.

A 1982 study in Denmark also found a link between nitrate exposure and occurrence of stomach cancer. This study compared stomach cancer rates in Aalborg, a town with approximately 5-7 ppm nitrate in drinking water, with surrounding communities that had lower nitrate concentrations. Stomach cancer rates in the high nitrate region were approximately 25% higher than in the low nitrate region. Although the authors only compared cancer rates in two communities, and did not control for many outside factors, this study did support a possible link between nitrate exposure and stomach cancer. The author concluded that, while the results did not provide proof of a link between water nitrate and cancer, they did "support the hypothesis of a possible role for nitrate



in the etiology of stomach cancer" (Jensen 1982).

Three epidemiology studies in South America have shown an association between high rates of gastric cancer and nitrogen fertilizer use, nitrate intake, or nitrate contaminated water on cancer rates (Armijo 1975,1981; Cuello 1976). Perhaps the most compelling was a study of the incidence of stomach cancer rates in Narino, Colombia -- the first to link nitrate exposure via water and stomach cancer -- published in the Journal of the National Cancer Institute in 1976. This research compared nitrate content of well water with gastric cancer risk, finding a significant correlation between the two. Even more disturbing were data in the study showing that cancer occurrence rates were higher for members of the population using wells (which generally had higher nitrate content) at a young age, between 0 and 10 years old. The authors noted in their abstract that the "data could be construed as presumptive epidemiologic evidence for the role of nitrate availability in the etiology of stomach cancer" (Cuello 1976).

A 1992 study conducted in China showed a link between nitrate exposure in drinking water and gastric cancer (Xu, et al. 1992). This study, which was based upon determinations of exposure and disease for individuals rather than groups, found that individuals at higher risk for gastric cancer had an average exposure to nitrate in drinking water that was more than twice as high as individuals at lower risks. These findings led the authors to conclude that "the results suggest that nitrate in drinking water probably plays an important role in gastric carcinogenesis."

Finally, a recent epidemiological study of nitrate in well water in Nebraska showed an association between nitrate contamination and a different kind of cancer, non-Hodgkins lymphoma (Weisenburger 1990). As noted previously, N-Nitroso compounds have been found to cause cell lymphomas in animal studies. The study, which was designed to suggest possible factors in the increased incidence of non-Hodgkins lymphoma in many regions of Nebraska, reported that NHL incidence was twice as high in counties where more than 20% of the wells were contaminated by nitrate or in the 33% of counties with

highest fertilizer use. Previous studies also found relationships between pesticide use and NHL, leading the authors to conclude that "these findings suggest that NHL in eastern Nebraska may be related to the use of pesticides and nitrogen fertilizers" (Weisenburger 1990).

Physiology. Although the evidence from the database of human epidemiology studies suggests a link between nitrate contamination and cancer, three critical human physiology studies add significant weight because they indicate that nitrate in water may contribute more than nitrate in food to total body burden of nitrite, and because they prove that the entire series of reactions necessary to convert nitrate into carcinogenic N-Nitroso compounds can occur in the human body.

In a 1982 study, researchers compared two groups, one drinking nitrate contaminated water (at 20 ppm) and another drinking water with lower levels of nitrate. The study found that salivary nitrate concentrations more than doubled and salivary nitrite concentrations quadrupled after drinking nitrate contaminated water, and noted that "ingestion of nitrate rich water can provide a steady and prolonged supply of nitrite to the gastric system" (Weisenberg 1982) A second noteworthy finding of the study was that the threshold for water affecting salivary nitrate was lower than the threshold for food. In previous findings, researchers had indicated a food threshold intake of approximately 13 milligrams nitrate before any increase in salivary nitrate was noted. However, Weisenberg, et al. (1982) reported that "the dose of nitrate ingested from water needed to increase the salivary nitrite seems to be much lower." This may be particularly important because salivary nitrite generally accounts for 75% of all exposure to hazardous nitrite or N-nitroso compounds (NAS 1977).

In a second study published in 1992, researchers at the University of Nebraska Medical Center were able to provide convincing evidence that nitrate consumed via drinking water could produce nitrosamines in the human body (Mirvish 1991). In the study, 44 Nebraska men were divided into two groups, one drinking well water high in nitrates (>18 ppm) and one group drinking well water lower in

nitrate (<18 ppm). Each of these men was also given a small dose of proline, a compound which reacts with nitrite to form nitrosoproline (NPRO), a nitrosamine. During the study the researchers measured NPRO concentration in the urine and found that the high nitrate group had higher levels of NPRO, proving that drinking water high in nitrate can lead to increased production of carcinogenic nitrosamines in the human body. Similar results were observed in a Danish study of populations drinking water high in nitrate, leading those researchers to note that "it would seem well advised to reduce the intake of nitrate from drinking water." (Moller 1989).

These studies provide strong physiological evidence supporting the association between nitrate contamination of drinking water and increased cancer rates observed in the human epidemiology studies. They clearly indicate that nitrate ingested via water can undergo the full set of reactions needed to ultimately produce carcinogenic N-Nitroso compounds in the human body, and they further suggest that given an equal amount of nitrate in food and water, that nitrate in water may account for a proportionately greater amount of actual exposure to both nitrate and nitrite.

Nitrate, Infants, and Children: A High Cancer Risk? Just as children are more sensitive to methemoglobinemia than adults, there is strong experimental and epidemiological evidence to support the conclusion that infants, children, and the fetus, when exposed to nitrate, may face notably higher cancer risks later in life (Table 7).

There are several possible reasons for this higher sensitivity or risk in the young. Infants have a lower stomach acidity than adults, meaning that when nitrate is consumed in water more of it will be converted into the hazardous nitrite form. In addition, children drink more water per unit of body weight than adults -- bottle-fed infants subsist on a diet composed entirely of formula and water, and relative to body weight, the average infant drinks approximately seven times more tap water than the average adult.

A series of human and animal studies have indicated that infants, children, and even the fetus may face elevated risk later in life due to the effects of nitrate or nitrite exposure. Human epidemiology studies conducted in an area of high nitrate exposure in Colombia focused on the effect of nitrate exposure early in life. The study found that increases in stomach cancer rates were associated with consumption of well water high in nitrate and that individuals exposed during the first ten years of life formed a high risk group (Cuello et al. 1976).

Studies with N-Nitroso compounds on both fetal and infant equivalent animals support this finding. Research on rats has shown that nitrite is transported through the placental barrier and delivered to the fetus, and that a high dose of nitrate to the pregnant dam can cause subacute methemoglobinemia in fetal rats (Shuval and Gruner 1972). A second study showed the potential significance of fetal exposure to N-Nitroso compounds. In this case a single dose of a nitrosamide (ethylnitrosourea) given to the mother on the 15th day of the pregnancy was sufficient to cause rare malignant ocular tumors in the offspring. Significantly, these cancers occurred relatively early in the life of the offspring, indicating even greater potency for the compound than is suggested by the otherwise compelling fact that a single dose during gestation was sufficient to cause cancer in 100 percent of the surviving fetuses (Druckrey 1976).

Further reason for concern about infant exposure to nitrate comes from a massive study of 1,040 rats fed an N-Nitroso compound, N-Nitrosodiethylamine (NDEA).

This study was designed to determine a threshold for exposure below which no adverse effects occurred, but instead the authors found "no indication of any 'threshold'" for tumor formation (Peto et al., 1991). The investigation found that the N-Nitrosamines caused tumors of the liver and esophagus, with a strong dose-response relationship between the concentration of NDEA and the tumor formation rate.

In conjunction with this study, the authors examined the effects of age of initial exposure on cancer incidence (Gray et al. 1991). In this part of the study, the rats were broken into three groups with treatment starting at either three, six, or 20 weeks of age.

The results of this research showed that the initial age of exposure had a significant effect on liver tumor rates, and that young animals were particularly sensitive to the cancer causing effects of the chemical. After the same duration of exposure, rats starting treatment at three weeks of age had a cancer rate three times higher than rats starting treatment at six weeks, and six times higher than rats starting treatment at 20 weeks of age.

The authors reported that, although they could not identify the exact cause, their result:

"indicates a profound influence of nitrosamine treatment of the liver during the first few weeks of life on subsequent tumor onset rates, due to some temporary factors that greatly enhance the sensitivity of the organ." (Gray, et al 1991)

The National Academy of Sciences Conclusions on Nitrate and Cancer

In its recent report on nitrate in drinking water, a subcommittee of the National Research Council concluded that cancer risk from nitrate in drinking water is negligible. For most of the U.S. population, where nitrate contamination in drinking water is low, this assessment is likely accurate.

For this average person in the U.S. population, the subcommittee estimated nitrate consumption via drinking water at 2 mg per day, or three percent of daily exposure. Food exposure was estimated at 73 mg per day, or 97 percent of daily exposure.

In areas with high nitrate contamination, described as "nitrate-rich water" by the subcommittee, nitrate consumption via drinking water was estimated at 160 mg per day, or 69 percent of daily exposure. This exposure level is many times

greater than the average exposure via drinking water, and contributes to a total daily exposure more than triple the average exposure.

The flaw in the committee's analysis is the failure to assess the increased cancer risk associated with high consumption of nitrate during the first years of life.

For newborns whose sole food source is infant formula reconstituted with nitrate-rich tap water, the exposure during the first six months of life would be 80 times greater than the average bottle fed infant. The committee made no assessment of the effect of elevated nitrate exposure during infancy on cancer risk other than to note that the epidemiological literature provides contradictory evidence of an association between high nitrate consumption in the general population and cancer risk. None of these studies cited by the committee examined the potential increase in risk associated with high nitrate consumption during infancy.

According to the subcommittee, five percent of nitrate ingested is converted to carcinogenic N-Nitroso compounds in the digestive tract. And there is reason to believe that exposure to N-Nitroso compounds during the first year of life present significantly higher cancer risks than exposure during other periods of life (see previous).

The question that the committee failed to address is: What is the increase in cancer risk for the infants subsisting on water based formula that is contaminated with nitrate at levels much higher than those deemed to present negligible risk over a lifetime. Reliable data indicate that early life exposure to N-Nitroso compounds significantly increases cancer incidence in rats. It follows that highly elevated early life exposure in humans might have the same effect.

Infants also lack vitamins in their diet that inhibit the formation of N-Nitroso compounds. Vitamin C and E found in many fruits and vegetables are known to inhibit the formation of carcinogenic N-Nitroso compounds. Consuming ample

vitamin C and E can mitigate much of the potential cancer risk associated with a diet high in nitrate. Newborns drinking nitrate contaminated water have no such dietary defenses. This lack of risk mitigating components that are present in the adult diet may contribute to increased cancer risks from heavy nitrate exposure early in life.

## Other Chronic Effects: Birth Defects and Hypertension

A number of other human or animal studies support two other potential adverse, chronic effects of nitrate exposure: birth defects and hypertension.

At least five studies have indicated a possible link between exposure to nitrite, nitrate and N-Nitroso compounds and birth defects. The effects were first observed in animal studies, but have since been observed in human epidemiological studies (Table 8).

Studies in rats and hamsters have indicated that N-Nitroso compounds are potent teratogens (Druckery 1966; Givelber 1969). In both of these animals, multiple birth defects, including malformations of the eye, central nervous system, and musculoskeletal system, were observed when a single dose of N-Ethyl-N-Nitrosourea, a nitrosamine, was given to the mother.

Other studies have indicated that nitrite can be transferred from the mother to the fetus and could affect behavioral development at sublethal doses (Shuval and Gruener 1972). When pregnant rats were exposed to high nitrite concentrations in water, nitrite was transferred through the placenta, and resulted in high nitrite levels and subacute methemoglobinemia in the fetuses. The same study indicated that in pregnant rats exposed to sodium nitrite in their drinking water "a pronounced effect on mortality" of the infants in the high dose group (Shuval and Gruener 1972). This effect -- an increase in infant death rates -- has also been observed in human epidemiology studies. A study of African mothers exposed to elevated nitrate levels in their drinking water found that in an increase in infant deaths was associated with increasing exposure of pregnant

mothers and infants to nitrate (Super, et al. 1981). This may have been either due to undetected toxic methemoglobinemia or to malformations and weaknesses in the infant caused by fetal nitrate exposure.

After these animal studies indicated the teratogenic effects of N-Nitroso compounds, a number of human epidemiology studies were conducted. The first, in 1972, attempted to compare rates of anencephaly (a birth defect causing severe brain malformation) with dietary intakes of a number of food products (Knox 1972). The clearest link was found between anencephaly rates and intake of cured meat containing high levels of nitrite. Over a ten year period, 1960-1970, anencephaly rates were closely linked to seasonal and yearly variations in national intake of cured meat products. This study provided the first suggestive evidence in humans that nitrite consumption in food could have adverse impacts on the fetus.

Later studies indicated that birth defects may also be caused by nitrate in water. A 1984 study of ground and surface water drinkers in South Australia analyzed birth defects in relation to nitrate contamination in drinking water and found statistically significant dose response relationships between birth defects of the central nervous system and musculoskeletal system and increasing nitrate concentration of drinking water (Dorsch, et al. 1984).

This study broke mothers into three groups, those consuming 0-1.1 ppm nitrate, those consuming 1.1-3.5 ppm of nitrate, and those consuming over 3.5 ppm of nitrate in their drinking water. Women in the 1.1-3.5 ppm category experienced a threefold increase in risk of a birth defect, while women in the highest exposure category faced a fourfold increased risk. Interestingly, this study also found a seasonal gradient in risk, with greater risks occurring for conception during the spring and summer. The authors attributed this to the possibility of increased water consumption in the warmer months.

While the authors (and other critics of the work) have noted that, because of the design of the study, they could not exclude other causes besides nitrate, they



discussed two factors that strengthened the association:

The fact that a true dose-response relationship was observed, and Other studies that indicate, in humans or animals exposure to nitrate, nitrite, or N-Nitroso compounds is associated with birth defects.

Based on these findings, the authors concluded that ...the internal cohesion of our findings and their consistency with our earlier study and experimental evidence, lend weight to the possibility of a real association between groundwater nitrate consumption and malformations. (Dorsch, et al. 1984)

Based on the results of the Australian study, a similar follow-up study was performed attempting to link defects of the central nervous system with nitrate exposure via drinking water in New Brunswick, Canada (Arbuckle, et al. 1988). This study, although it did not contradict the results of the Australian study, found the evidence for an association between nitrate and birth defects to be weaker. In the study, no statistically significant risk relationship was found between CNS birth defects and nitrate exposure. The authors discuss a number of reasons for the variability in study results, including differences in sensitivity of the populations, biases in exposure estimates in the Australian study, and differences in levels of exposure between the Australian and Canadian groups.

Although both studies analyzed risks at exposure below the current MCL of 10 ppm, the majority of the Canadian population was not exposed above 3 ppm. Notably, when the relationship between nitrate exposure and birth defects was analyzed for two higher exposure subgroups of the population (well water drinkers and those in a high occurrence region, both of which were exposed at relatively high nitrate levels, although still below the MCL), moderate but not statistically significant increases in CNS birth defect rates were observed with increasing nitrate exposure. The authors of this study concluded that these results warranted further study, and that future studies must include a larger population exposed to higher nitrate levels.

The risk of birth defects due to nitrate exposure is a particular concern because of the fact that risk could be due to a single high dose of nitrate early in the pregnancy that later has profound effects on long-term fetal development. As noted previously, studies have indicated that N-Nitroso compounds are transported through the placenta to the fetus (Shuval and Gruener 1972) and that fetal exposure can cause cancer later in life (Druckrey 1966). The same author reported that a single dose of a nitrosamide given to pregnant rats on day 15 of the pregnancy can causes birth defects in the offspring.

Human epidemiology studies have also indicated a link between nitrate intake and hypertension. A 1971 study published in the American Journal of Public Health analyzed the risk of hypertension and hypertension mortality and found a positive relationship between hypertension and increased nitrate exposure through drinking water (Morton 1971). The study was designed with the goal of identifying the cause of a localized area of increased hypertension risk in eastern Colorado, and analyzed a number of drinking water parameters (hardness, sodium, nitrate and chlorine) in relation to this risk. Among the six watersheds that were analyzed, the strongest relationship was between elevated nitrate levels and increased hypertension. In the study, Republican River watershed residents, with the highest mean nitrate concentration at 3.1 ppm (3 times lower than the current MCL) had hypertension mortality rates that were more than twice the rates of the next highest region.

A second study, conducted seven years later, reported on eighteen communities in Weld County, Colorado (Mallberg 1977). This study separated community water supplies into a high-nitrate group and a low-nitrate group, and did not report any epidemiological evidence of increased hypertension with increased nitrate consumption. However, the study did provide some evidence supporting the initial findings. Among residents in the exposed communities, there was an earlier onset of hypertension, with the exposed group exhibiting a peak among the 50-59 age group that was not evident in the non-exposed communities.

Supporting these epidemiological findings, complementary evidence from workers exposed to high levels of organic nitrates appeared to strengthen the link. Among explosives industry employees exposed to high levels of nitrate in the workplace, a variety of adverse cardiovascular effects are observed, including elevated blood pressure, increased risk of angina pectoris, and sudden coronary death (Morton 1971).

## Notes

1. Nitrate concentrations are generally reported in one of two ways: either measured as nitrogen, or measured as nitrate. The EPA standard of 10 ppm is based on nitrate measured as nitrogen. For conversions, this is equivalent to 45 ppm nitrate measured as nitrate. In this text, when referring to nitrate concentrations we are referring to nitrate measured as nitrogen. This is the format generally used by American scientists.

2. Although for infants eating baby food there may still be exposure from nitrate that occurs naturally in vegetables.

3. These studies were ecologic studies, meaning that groups of individuals, not the individuals themselves, were the subjects of the study.

4. Water that contains concentrations of nitrate-nitrogen approaching the current EPA standard of 10 ppm.

**Environmental Working Group**

**1718 Connecticut Ave., N.W., Suite 600**

**Washington, DC 20009**

**E-mail: [info@ewg.org](mailto:info@ewg.org)**

**<http://www.ewg.org/pub/home/reports/nitrate/nitratehealth.htm>**

## 부록4. 질산염의 위해가능성

### Nitrate: Health Risks to Consumers

Nitrate is a wide spread contaminant of ground and surface waters worldwide (1, 2). Nitrate is a potential human health threat especially to infants, causing the condition known as methemoglobinemia, also called "blue baby syndrome". Nitrate is converted in the gut to nitrite, which then combines with hemoglobin to form methemoglobin, thus decreasing the ability of the blood to carry oxygen. Infants are more susceptible to nitrate toxicity than older children or adults. Fatalities are rare, but subacute methemoglobinemia can be asymptotic while affecting development, making the condition particularly insidious. Chronic consumption of high levels of nitrate may also cause other health problems, for example some cancers and teratogenic effects; data are inconclusive, but cause for concern (3, 4).

As stated in the EPA publication "Is Your Drinking Water Safe?" (5): "Only two substances for which standards have been set pose an immediate threat to health whenever they are exceeded: bacteria and nitrate." In addition, high nitrate levels in water and feed lead to reduced vitality and increased stillbirth, low birth weight, and slow weight gain in livestock (6). Nitrate concentration is monitored in municipal water supplies world-wide, and in foodstuffs, to prevent exposure of populations to harmful or toxic levels.

The accumulation of nitrate in the environment results mainly from non-point source runoff from the over-application of nitrogenous fertilizers and from poorly or untreated sewage. In addition, nitrate-containing wastes are produced by many industrial processes including paper and munitions manufacturing. Because agriculture is implicated in the nitrate pollution problem, farmers and rural communities are the most threatened populations. In the United States, the problem is concentrated in the Mid-West and the Far-West, with large areas of Iowa, Illinois, Kansas, Michigan, Wisconsin, Washington and California being

heavily affected (1); see Maps. The USGS (U. S. Geological Survey) released a report in 1995 which revealed that nitrate concentration in the nation's groundwater supply is increasing steadily: 9% of wells tested have nitrate concentrations exceeding the EPA maximum contaminant level (MCL) for nitrate of 10 ppm, up from 2.4% in prior studies.

Consumer concern and awareness regarding the quality and safety of water, food and the environment is well established. Recent strong evidence of this trend was the public outcry in 1995 when the Clean Water Act was endangered in Congress. Articles in the popular press also reflect this concern; for example, Good Housekeeping (Nov. 1995), Consumer Reports (Dec. 1995), Sierra (August 1995), and National Geographic (Feb. 1996) all carried feature articles on water quality in recent issues. Consumer test kits for radon and lead have begun to appear in hardware stores, and many hardware and discount stores carry water purification products. Because nitrate is such a potentially harmful substance and nitrate contamination is such a widespread problem, NECi believes that a safe, reliable, and easy to use nitrate test kit has a place on the shelves.

The nitrate problem is an opportunity for The Nitrate Elimination Co., Inc.: NECi's president and senior scientist, Dr. W. H. Campbell, has been involved in research on higher plant nitrate reductase for more than 20 years. In the course of his academic research, an immunoaffinity method for the purification of NADH:nitrate reductase was developed (7), making production of useful quantities of a remarkably stable enzyme preparation possible. NECi was founded in 1993 to commercialize nitrate reductase for nitrate testing and for water purification.

#### *REFERENCES:*

1. Hallberg, G.R. (1989) Nitrate in ground water in the United States. In: Nitrogen Management and Ground Water Protection, R.F. Follet, ed., Elsevier, Amsterdam, pp. 35-74.

2. Puckett, L.J. (1995) Identifying the major sources of nutrient water pollution. *Environmental Science & Technology*: 408A - 414A
3. Kross, B.C., G.R. Hallberg, D.R. Bruner, K. Cherryholmes, and J.K. Johnson (1993) The Nitrate Contamination of Private Well Water in Iowa. *Am J Public Health* 83:270-272.
4. Bruning-Fann, C.S., J.B. Kaneene (1993) The effects of nitrate, nitrite, and N-nitroso compounds on human health: a review. *Vet Human Toxicol* 35:521-538.
5. US EPA Office of Water (WH-550) "Is Your Drinking Water Safe?" EPA 570 9-91-005, Sept. 91.
6. Committee on Nitrate Accumulation, Ag. Board, Div. Of Biology & Agriculture, National Research Council (1972) Hazards of Nitrate, Nitrite, and Nitrosamines to Man and Livestock. In: *Accumulation of Nitrate*, National Academy of Sciences, Wash., DC, pp. 46-75
7. Hyde, G.E., J.A. Wilberding, A.L. Meyer, E.R. Campbell & W.H. Campbell (1989) Monoclonal antibody-based immunoaffinity chromatography for purifying corn NADH:nitrate reductases. *Plant Mol. Biol.* 13: 233-246

-----  
The Nitrate Elimination Co., Inc. (NECi) -- Innovative Products to Help  
Eliminate Nitrate Problems Worldwide  
-----