

窒酸態 窒素의 보리 根圈土壤내 動的 變化와 N_{min} 土壤診斷法에 의한 適定 窒素追肥量 決定*

孫 尚 穆** · 마틴 큐케*** · 韓 仁 娥**

Dynamics of NO₃⁻-N in Barley Rhizosphere and Optimum Rate of Nitrogen Top-Dressing Based on N_{min} Soil Test*

Sang Mok Sohn** · Martin Kücke*** and In A Han**

ABSTRACT : The prevention of excessive use of nitrogen fertilizer get an attention in Korea not only for minimizing NO₃⁻ contamination of groundwater but also for establishment of environmental friendly sustainable agriculture. In order to find out the dynamics of NO₃⁻ in barley rhizosphere and its suitability for nitrogen fertilization strategies and for environmental control, the accumulation of NO₃⁻ in 3 layer, 0~30cm, 30~60cm, 60~90cm of soil profile has been detected in winter barley production system. It showed the recommended N fertilization rate for winter barley cause the NO₃⁻ contamination of groundwater through NO₃⁻ leaching during winter. The NO₃⁻ content of 0~90cm soil depth have directly reflected the amount of basal N fertilization in the early spring, but not 0~30cm and 0~60cm soil depth. The contents of NO₃⁻ measured to 0~30cm, 0~60cm soil depth were not significantly correlated with yield but the contents of NO₃⁻ measured to 90cm soil depth was highly correlated with yield. Nitrogen fertilizer requirement could be estimated accurately by soil test and it provides field specific N rate recommendation for spring N application to winter barley. It was concluded that N_{min} method could be applied to korean climatic and soil condition for optimal fertilizer application rate.

Key words : Nitrate leaching, Leaching loss, Rhizosphere, Nitrogen dynamics, Nitrogen recommendation, Soil test, N_{min} method, Nitrogen fertilizer, Yield, Barley

추천시비량을 초과하는 무분별한 질소의 과다시 용은 토양과 지하수의 오염^{1,2,3,7,17,19,20,21,24}, 토양의 산성화^{15,16,25}, 작물체 가식부위내 NO₃⁻ 과다집적^{3,5,22} 등 여러 문제를 야기하고 있어 환경보전형 지속농업차원에서 지난 수년 동안 중요한 연구의 대

상이 되고 있다^{4,19}. 시용질소의 용탈 및 유실을 최소화하기 위한 적정 질소시비법에는, 1) 토양비옥도에 따라 토양을 3 내지 5개 등급으로 나누어 추천시비량을 증감하는 방법²⁵, 2) 유기물 함량에 따라 추천시비량을 증감하는 방법^{6,9}, 3) 시비 직전

* 본 연구는 한국과학재단 연구비 지원에 의해 수행되었음(협총 2431-1439 한독 국제공동연구 1993-1995)

** 檀國大學校 農科大學 國際農業開發學科(Dept of International Agriculture, Dan Kook University, 330-714 Cheon An Korea)

*** 獨逸聯邦農業研究센타 植物營養土壤研究所(Institute of Plant Nutrition & Soil Science, FAL, Braunschweig, Germany ('94. 12. 7. 接受)

근권 토양내의 가급태의 형태로 존재하는 무기태 질소 함량을 분석한 후 질소시비량을 결정하는 방법^{9,13,26)} 등으로 대별되고 있다. 이들 토양진단에 의한 적정 질소시비법 중 현재 독일, 스위스, 오스트리아, 네덜란드, 영국 등 유럽의 대다수의 국가에서 적정 질소시비법 및 수질오염 방지방법으로 널리 사용되고 있는 토양진단법은 N_{min} method이며, 이른 봄 작물의 영양생장기 개시 직전에 0-90cm 근권내의 NH_4^+ 와 NO_3^- 를 측정하여 각 작물별, 토양특성별 NO_3^- 목표치(N_{min} Target Value)와 비교하여 질소의 부족치를 비료로 사용한다. N_{min} method는 작물수광과의 상관관계가 어떤 다른 토양화학적 parameter보다 더욱 높기 때문에 비료사용의 안전도를 현저히 높일 수 있고²¹⁾, 불필요한 질소과다사용의 회피와 그 비용의 절감효과 및 파종전, 수확후의 NO_3^- Monitoring을 통한 NO_3^- 용탈량의 정량적 계산을 가능케하는 유일한 방법이라는 평가를 받고 있다^{20,28)}.

미국의 경우 Corn belt 지역을 중심으로 옥수수 재배시 봄에 0-30cm 근권의 NO_3^- 함량측정을 통한 토양진단 방법인 Late Spring Soil Test를 최근 보급함으로써 옥수수 수량의 감소없이 질소시비량을 62% 감비하였다고 하나¹³⁾, Scharf와 Alley (1993)²¹⁾는 토양진단시 근권 0-90cm까지의 토양 시료를 채취하여 NO_3^- 함량을 분석하는 것이 수광과 가장 높은 상관관계가 있다고 보고하였다.

국내에서도 토양의 비옥도에 따라 시비량을 조절해야 한다는 지적이 많아^{9,29)}, 토양진단에 의한 질소시비법 개선의 일환으로 농촌진흥청에서는 질소시비량을 작토의 유기물함량에 따라 구분하여 시용토록 하는 시비처방 전산화방법과^{6,8)} 0-15cm

표토층의 NO_3^- 함량을 분석하여 질소시비량 결정의 자료로 활용하는 방법이 채소를 대상으로 시도되고 있다¹⁰⁾.

본 연구는 환경보전형 지속농업적 적정 질소시비전략을 모색키위해 농업선진국들에서 실시하고 있는 토양진단법의 국내 적용 가능성을 검토코자 근권토양내에 용탈 집적되어 있는 NO_3^- 함량을 조사하여 보리 생육기간중의 질소시비량에 따른 무기태질소의 토양내 동적변화를 경시적으로 추적하였으며 이를 근거로 근권 몇 cm 깊이의 토양을 채취하여 토양진단하는 것이 한국의 기상, 토양, 작부체계하에서 질소시비량 결정에 적합한지를 검토코자 실시하였다.

材料 및 方法

1) 공시토양 및 시비처리

보리재배토양의 근권내 무기태 질소의 동적변화를 파악하기 위해 단국대학교 농과대학 실습농장에서 실시한 92/93년도 실험과 시비수준에 따른 근권깊이별 무기태질소의 동적변화와 토양진단에 의한 적정 질소시비법 검토를 위해 아산 둔포포장에서 실시한 93/94년도 실험의 공시토양의 근권깊이별 이화학적 특성은 표 1과 같다.

93년도 농대실습농장 실험에는 팔달보리를 공시 품종으로 10월 30일 10a당 14kg을 산파하였다. 시비처리는 질소무비구 0kg/10a, 질소반비구 6kg/10a, 질소 보비구 12kg/10a 등 3처리수준을 두었으며, 기비 50%는 파종 직전에, 추비는 익년 3월 11일과 29일에 각각 25%씩 요소비료로 분시하였

Table 1. Chemical properties of the soils used for experiments 1992-94

| Soil depth | pH (1:5) | OM (%) | T-N (ppm) | Avail. P_2O_5 (ppm) | Ex.Cation(me/100g) | | | | C.E.C (me/100g) |
|---|----------|--------|-----------|-----------------------|--------------------|-----|-----|------|-----------------|
| | | | | | K | Ca | Mg | Na | |
| Experiment farm of Dankook University for 1992/93 | | | | | | | | | |
| 0 -30cm | 6.06 | 1.71 | 165.6 | 4.91 | 0.07 | 2.5 | 1.3 | 0.04 | 7.02 |
| 30-60cm | 6.10 | 1.27 | 228.6 | 5.52 | 0.04 | 0.9 | 0.7 | 0.03 | 5.08 |
| 60-90cm | 6.16 | 1.04 | 102.8 | 6.44 | 0.04 | 0.9 | 0.6 | 0.02 | 3.98 |
| Dunpo upland used for experiment 1993/94 | | | | | | | | | |
| 0 -30cm | 5.82 | 1.26 | 721.0 | 293.46 | 0.48 | 5.3 | 4.8 | 0.04 | 12.04 |
| 30-60cm | 4.87 | 1.06 | 168.0 | 19.70 | 0.17 | 2.7 | 3.5 | 0.06 | 10.79 |
| 60-90cm | 4.74 | 0.80 | 107.3 | 6.50 | 0.16 | 2.0 | 3.2 | 0.07 | 10.09 |

다. 93/94년도 둔포포장 실험에서는 찰쌀보리를 공시하여 93년 10월 18일 10a당 14kg을 산파하였고 질소는 기비 3수준 0, 6, 12kg/10a, 1차추비 3수준(3월 6일) 0, 3, 6kg/10a, 2차추비 1수준(3월 21일) 3kg/10a 등 9개 질소처리수준을 두어 3반복 반복법으로 실시하였다.

한편 인산과 카리는 전량을 기비로 각각 13.5 kg/10a, 11kg/10a 시비하였으며 기타 재배는 농촌진흥청 표준재배법에 준하여 실시하였다.

2) NO₃⁻ 분석 및 수량조사

근권토양의 0~30, 30~60, 60~90cm 깊이별 NO₃⁻ 함량을 분석하기 위해 매 1달간격 및 시비직전에 토양시료를 채취하였다. 시료는 채취 즉시 4℃ 이하에서 신선한 상태로 운반하여 즉시 'Navone'법을 이용하여 분석하였다. 토양 100g을 취하여 0.025N의 CaCl₂용액 250ml를 넣고 30분간 진탕시킨 후, No. 595 1/2 filter paper로 여과시켰으며, 추출액 중 20ml을 취하고 10%의 H₂SO₄용액 1ml를 넣은 후 비환원 과 환원으로 나누어 10시간 방치한 후 UV-spectrophotometer를 이용하여 210nm에서 측정하였다.

토양의 기타 화학성분은 농업기술연구소 토양화학분석법에 따라 분석하였으며, 수량조사는 농촌진흥청 농사시험사업 조사기준에 준하여 실시하였다.

結果 및 考察

1) 질산태 질소의 보리 근권토양내 동적 변화

둔포포장에서 실시한 시험의 토양깊이별 NO₃⁻-N 함량 변화의 경시적 차이는 그림 1에서 보는 바와 같이 추비로 인해 공급되어진 질소양과 기온의 상승으로 인해 NO₃⁻-N 함량이 0~90cm의 전체근권에서 증가되며, 특히 기비로 사용된 질소가 표토층으로부터 서서히 심층 하층토로 용탈, 집적되고 있음을 나타냈다. 이는 특히 질소다비 사용구인 배비구에서 NO₃⁻-N 함량이 12월에서 3월까지 보리가 월동중이어서 질소흡수량이 극히 적었음에도 불구하고 0~30cm 표토층에서는 점차 감소하고 30~60cm 또는 60~90cm 하층토에서는 점차 증가하였음과 1차 및 2차추비 이후 60~90cm 하층토의 NO₃⁻-N 함량이 각각 18.29ppm, 38.67ppm으로 급격히 증가한 점에서 잘 나타나고 있다. 또한 2월의 표토층과 근권 하층토의 NO₃⁻-N 함량

을 비교한 그림 2에서도 무비, 보비, 배비구 모두 60~90cm의 함량이 0~30cm에서보다 훨씬 높아 이같은 사실을 뒷받침 해주고 있다. 이같은 사실은 근권 깊이별 NO₃⁻-N 농도의 경시적 변이에서 뿐만 아니라 근권깊이별 NO₃⁻-N 함량을 계산할 때에 더욱 명확히 나타났다. 즉 근권깊이별 NO₃⁻-N 함량 역시 그림 1과 2에서 알 수 있는 바와 같이 근권깊이가 깊어질수록 많아지는 경향을 나타냈으며 그림 3의 하단에서와 같이 심토층의 NO₃⁻-N 함량도 표토층에 비해 2월 말과 3월초에 각각 4.58배 2.78배나 많게 용탈 집적되었다. 그림 3은 1차 추비 직전인 2월 말과 3월 초의 0~30cm 깊이인 표토층만의 NO₃⁻-N 함량과 0~90cm 즉, 근권 상층부로부터 하층부까지의 NO₃⁻-N 함량의 합을 각각 비교하여 나타낸 것이다. 근권상층부인 0~30cm에서의 NO₃⁻-N 함량은 무비구, 보비구, 배비구의 기비시용량이 ha당 0, 60, 120kg이었음에도 불구하고 2월말의 경우 10.8, 28.8, 16.4 kg/ha이었으며, 3월초의 역시 25.2, 30.3, 16.9 kg/ha를 나타내 기비시용량을 전혀 반영하지 못하였다. 한편 0~90cm까지 전체 근권층에서의 NO₃⁻-N 함량의 합은 2월말의 무비구, 보비구, 배비구에서 29.6, 87.0, 135.4 kg/ha이며, 3월초에서는 39.5, 80.1, 110.0 kg/ha로서 기비로 사용한 질소시용량에 따른 토양내의 NO₃⁻-N 함량도 비례하여 높아져, 요소의 형태로 사용한 기비시용량이 질산화작용을 거쳐 거의가 반영되었다. 한국의 겨울철 강우가 그리 많지 않은 점과 Haude의 월별수분평형계산법 등을 근거로 10월-3월 기간중의 NO₃⁻ 용탈은 극히 적을 것으로 예상되었으나 그림 1과 4에서 알 수 있는 바와 같이 冬季期間 중에도 무기태질소의 근권내 이동이 뚜렷이 나타났다. 이는 표토의 서릿발 형성으로 인한 모관수상승 또는 눈과 비 등에 의해 토양수분함량이 포장용수량보다 많을 수 있어 강우량이 적은 冬季에도 용탈이 가능하다는 Altenmiller¹¹⁾의 주장과 일치하는 것이다.

한편 토양의 이화학적 특성 및 前作物이 상이한 두 밭토양에서의 근권 깊이별 NO₃⁻-N 함량은 사질토양이며 前作物로서 화곡류를 재배한 대학실습 밭포장보다 양토이며 두과작물을 재배한 아산 둔포 밭포장에서 높았다. 그림 1과 4에서 보는 바와 같이 파종 후로부터 1차추비 시용 직전까지인 12월, 1월, 2월, 3월 초의 무비구에서의 전체근권(0~90cm)의 NO₃⁻-N 함량 평균은 대학실습포장의 경우 0.42, 0.37, 0.24, 0.37ppm에 비해 둔포포장의 경

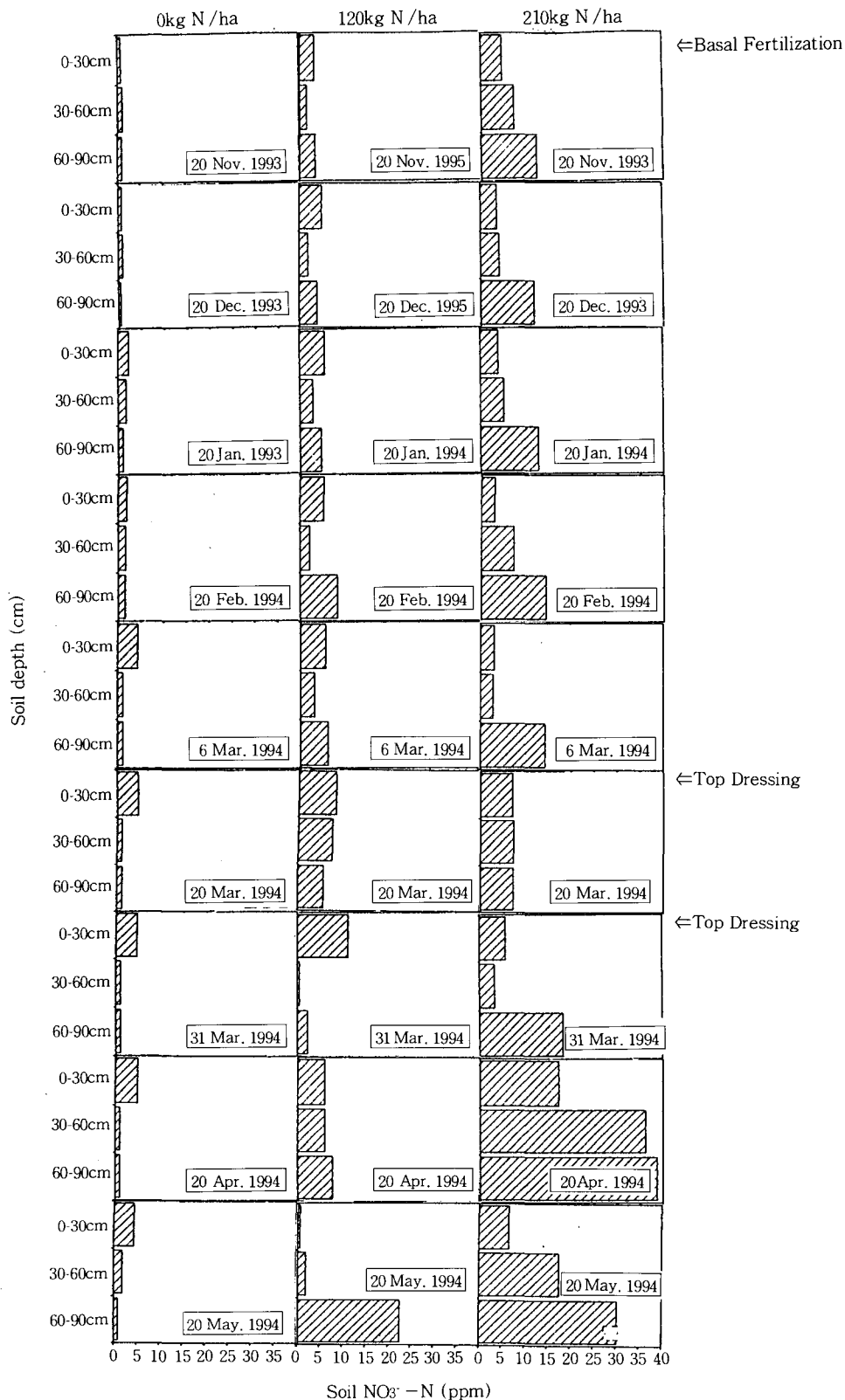


Fig. 1. Change of NO₃⁻-N content in different soil depth of upland during winter barley cultivation as affected by different rates in nitrogen fertilization(93/94 Dunpo).

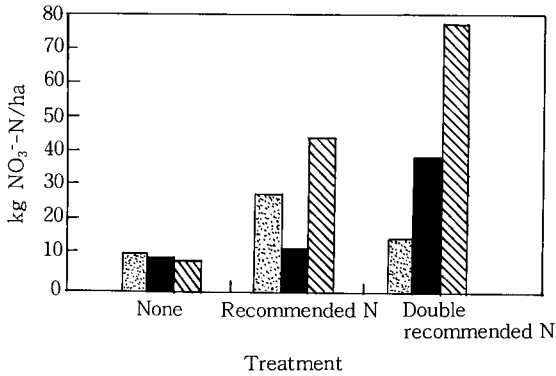


Fig. 2. Change of NO₃⁻-N content in different upland soil depths at 20th Feb. 1994 as affected by different rates of basal N fertilization.
(▨ 0-30cm, ■ 30-60cm, ▩ 60-90cm)

우 각각 0.95, 0.80, 1.86, 1.81, 2.37ppm 등으로 2.26 배 내지 6.40배나 높은 수치를 나타내었다. 이는 둔포포장이 첫째, 토성이 양토이기 때문에 질소의 용탈이 상대적으로 적을 수 있었고, 둘째, 유기물 함량이 높아 무기화작용에 의한 계속적인 무기태 질소의 공급이 가능했으며, 셋째, 前作物이 두과작물이었으므로 근권토양내에 많은 질소가 잔류하였기 때문이었을 것으로 추측된다. 이는 또한 표 1에서 본 바와 같이 시험전 토양이 함유하고 있는 NO₃⁻-N 함량을 비교해 볼 때, 대학실습포장의 경우 0~30cm의 표토에서 0.41 ppm, 30~60cm에서 0.30ppm, 60~90cm에서 0.35ppm 등으로 극히 낮은 반면 둔포포장의 경우 1.70ppm, 0.91ppm, 3.88ppm 등으로 상대적으로 높은 사실에서도 뒷받침 되고 있다. 이는 사질토양의 경우 점토함량이 많은 토양에 비해 NO₃⁻-N 함량이 거의 없거나 근권 하층부에 존재한다는 Byrnes¹⁴⁾와 Westerman 등²⁷⁾의 보고와 일치하는 것이다. 지하수의 NO₃⁻-N이 0~90cm 근권토양의 NO₃⁻-N 함량과의 상관관계가 있고²⁴⁾, 겨울밀 재배시 NO₃⁻-N 용탈로 지하수오염의 위험²⁷⁾이 있으므로 NO₃⁻-용탈량을 최소화할 수 있는 적정시비를 위해 토양의 물리적 성질, 前作物의 식물잔체, 토양비옥도, 유기질비료 사용량 등에 따라 근권내 가급 무기태 질소의 함량이 달라지므로 작목별 추천시비량제도가 아닌 포장별 매 작기 직전 토양진단에 의한 질소 처방이 필요하다고 판단된다.

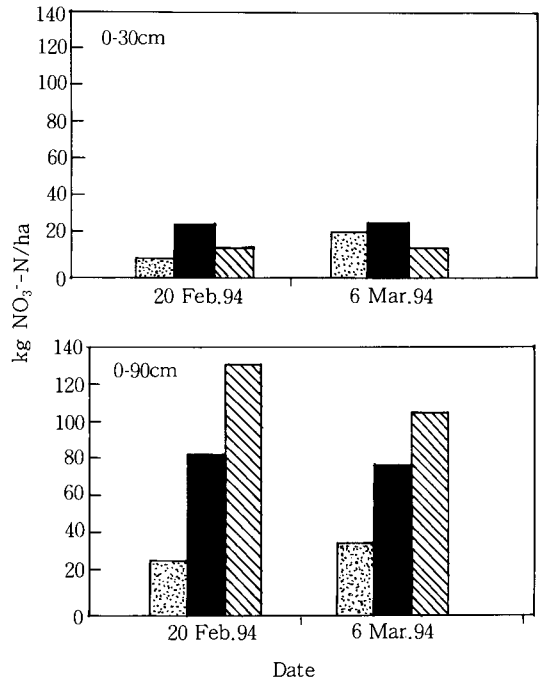


Fig. 3. The content of kg NO₃⁻-N/ha in different upland soil depth of at early spring as affected by different rates of basal nitrogen fertilization(93/94 Dunpo)
(▨ None, ■ Recommended N, ▩ Double recommended N)

2) N_{min} 토양진단법에 의한 적정 질소추비량 결정

근권토양내 가급 무기태질소의 함량을 분석한 후 적정시비량을 결정하는 방법에는 미국의 Late Spring Soil Test¹³⁾, 독일의 N_{min} method²⁶⁾ 등이 알려져 있으며 국내에서는 채소류를 대상으로 개발중인 농업기술연구소 토양진단법¹⁰⁾이 있다. 이들 방법은 모두 NO₃⁻ 함량을 분석하여 질소시용량을 결정하는 방법이나 맥류 및 옥수수의 경우 토양시료의 채취깊이가 농기연방법은 0-15cm, Late Spring Soil Test는 0-30cm, N_{min} method는 0-90cm로 근권시료의 채취깊이가 각기 상이하다.

적정 질소시비를 위한 대상작물의 토양진단용 시료를 근권깊이 얼마까지로 정할 것이냐에 있어 가장 중요한 것은 첫째, 시료채취 토양깊이내의 근권분포량이며, 둘째, 기·시비질소량이 근권깊이내에 잘 반영되고 있는가의 여부, 셋째, 토양진단 당시의 근권토양내 가급 무기태질소함량과 수량의 상

관이 얼마나 유의적으로 나타나느냐에 있다고 할 수 있다.

주근의 깊이는 보리 75cm에서 110cm, 호밀 199cm, 콩 및 완두 80-110cm, 토마토 100cm까지

뿌리가 발달하며¹⁸⁾, 일부 심근성 작물의 뿌리는 지하 180cm 또는 4m까지도 신장하나¹²⁾, 뿌리의 75% 내외는 작물별 근권깊이의 중간층 이상에 분포한다고 하며 토양, 수분, 양분 및 지상부 생육조건등

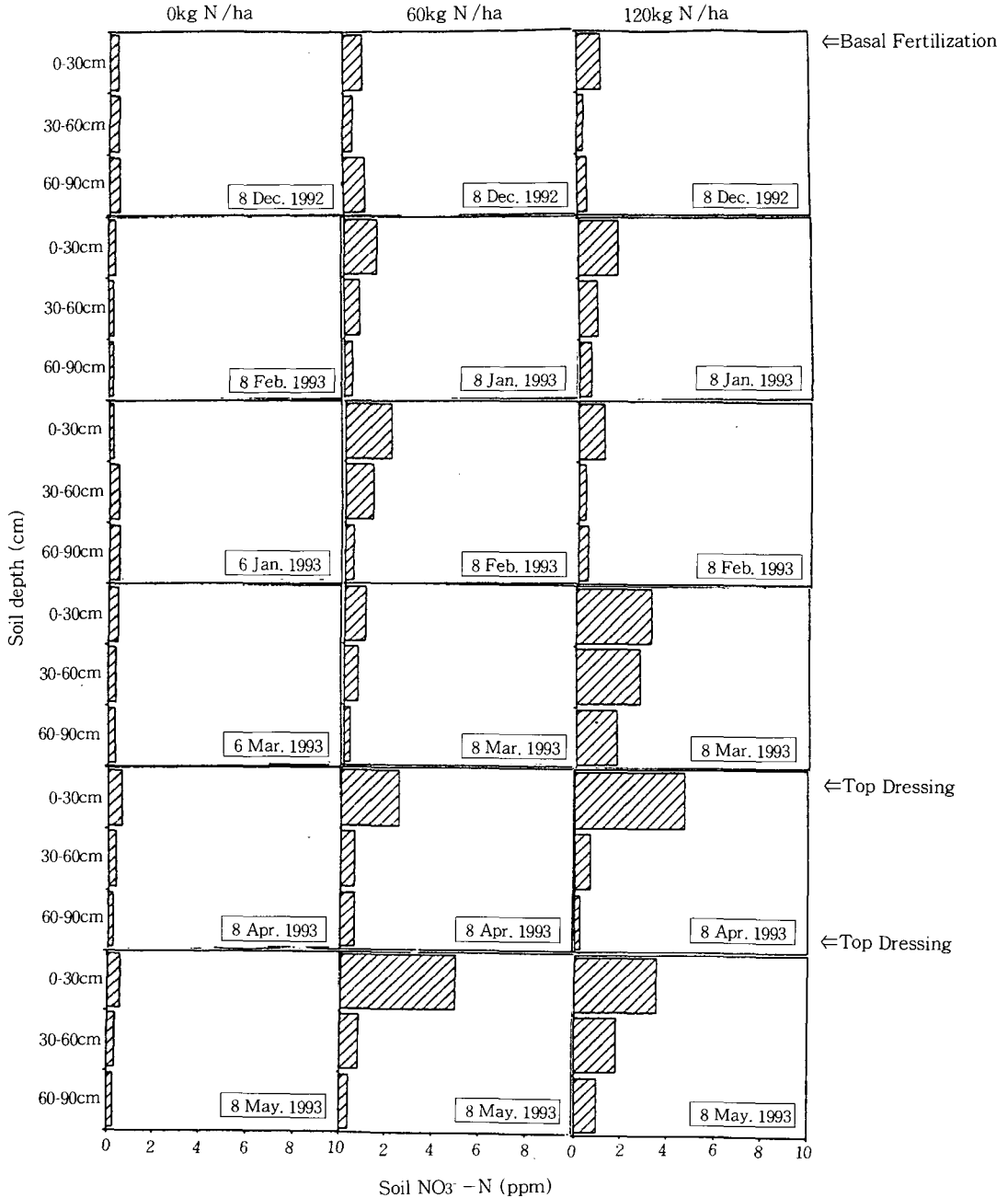


Fig. 4. Change of NO_3^- -N content in different soil depth of upland during winter barley cultivation as affected by different rates of nitrogen fertilization(92/93 experimental farm).

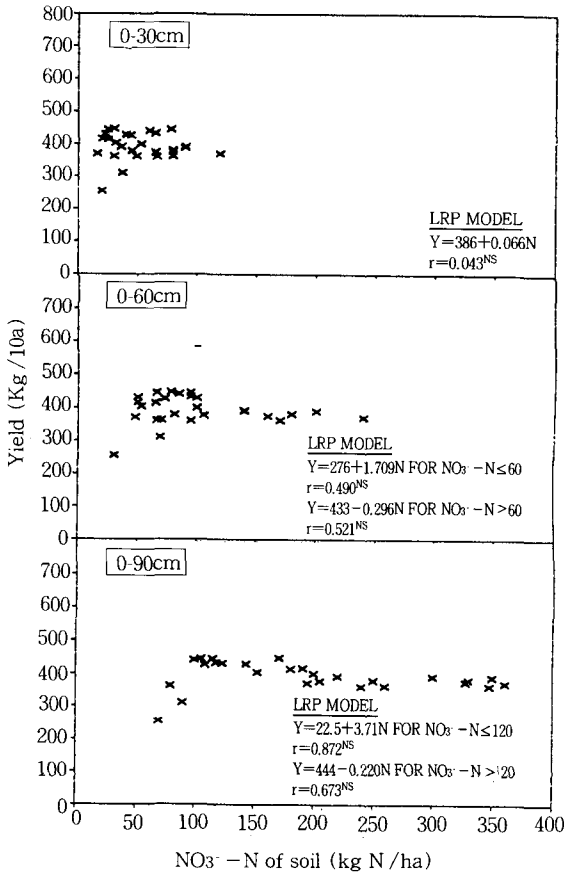


Fig. 5. Relationship between winter barley grain yields and the amount of NO₃⁻-N in different Rhizosphere depth for soil test.

에 따라 뿌리의 분포는 달라질 수 있다¹⁵⁾. N_{min} method의 경우, 95% 내외의 뿌리가 분포하는 근권의 NO₃⁻-N 함량을 파악하기 위해 독일에서는 화곡류인 밀과 겨울보리의 경우 0~90cm, 여름 보리, 감자, 시금치, 셀러리는 0~60cm 배추, 무우는 0~30cm 깊이의 근권토양을 토양진단용 시료로 이용하며²³⁾, 스위스의 경우 밀, 보리는 0~100cm의 토양시료를 채취하는 등, 채취토양의 근권깊이는 작물별 근권분포에 따라 합리적으로 각기 다르게 적용하고 있다¹⁶⁾.

한국적 기상, 토양, 작부체계 하에서 근권토양의 채취깊이를 얼마로 할 것인지를 검토하였던 바, 0~90cm 근권 하층부까지의 토양분석을 통한 토양진단이 작물체에 이용 가능한 무기태질소의 양을 정확히 파악하는데 적정한 것으로 나타났다. 0~15cm까지의 표토만을 분석대상 시료로 채취하

고 있는 농업기술연구소의 토양진단법과, 0~30cm 표토만을 시료로 채취하고 있는 "The late-spring soil test"¹³⁾는, 보리의 근권 상층부로부터 하층부 깊숙히까지 집적되어, 작물체에 이용 가능한 상태로 존재하는 NO₃⁻-N의 정확한 양을 읽어내는 데에는 무리가 있음을 알 수 있었다. 이는 그림 1, 2, 3, 4에서 보는 바와 같이 기비로 사용한 질소의 대부분이 1차 추비 직전인 이른 봄에 이르러 이미 근권 하층부 심토층인 60~90cm 깊이 의 근권으로까지 이동하고 있기 때문에 0~15cm, 또는 0~30cm의 표토만을 분석하여 추비량을 결정할 경우 영양생장기에 흡수 이용될 수 있는 가급 무기태 질소함량을 포함시키지 못하였다.

표 2는 농업기술연구소에서 개발중인 토양진단법에 의한 질소시비량 결정방법과 이미 유럽에서 널리 이용되고 있는 N_{min} method를 이용하여 둔포포장의 근권깊이별 NO₃⁻-N 함량을 근거로 두 토양진단법에 의한 계산과정과 계산 결과 얻어진 질소추비량을 상호 비교한 것이다. N_{min} method에 의해 계산된 결과를 보면 질소추비량은 각 처리구에서 기비사용량이 많을수록 1차추비로 사용해야 할 질소비료의 양은 적어졌다. 기비로 10a당 0kg, 6kg, 12kg을 사용한 무비구, 보비구, 배비구에서 추비로 사용해야 할 질소비료의 양은 각각 8.06, 4.00, 1.01kg N/10a로 적었고, 이는 현재의 추천시비량 제도에 따른 질소 1차추비량 6kg/10a와 비교할 때 보비구에서 약 2kg정도의 차이가 나타났다. 이처럼 기비사용량에 따라 N_{min} method에 의한 1차 추비량이 차이가 있는 것은 토양질소, 유기물, 시비질소 등 모든 질소원으로부터 무기화 또는 질산화작용을 거쳐 근권내에 무기태질소의 형태로 존재하는 모든 질소가 반영된 것으로 보이며, 둔포포장은 이들 각종 질소원으로부터 공급되어지는 NO₃⁻-N 함량이 많으므로 추천시비량 6kg보다 적은 4kg을 사용해도 적당하다고 생각된다. 한편 농업기술연구소 토양진단법에 따른 추비량은 각 처리구에서 5.55, 5.47, 5.70kg N/10a으로 추천시비량에 따른 1차 추비량과는 비슷하였으나 기비수준에 따른 처리구별 추비량 차이가 전혀 나타나지 않았다. 이는 N_{min} method와 농업기술연구소 토양진단방법에 의한 시비법이 각각 근권 내 토양의 NO₃⁻-N 함량을 측정하여 시비량을 결정하는 선진화된 방법을 취하고 있음에도 불구하고 두 토양진단방법간에는 토양진단을 위한 토양시료의 채취깊이가 서로 상이하기 때문에 나타나는 필연적인 결

과이다(그림 1,3,4 참조). 즉, 기비로 시용한 질소가 표토층에만 남아있는 것이 아니라 60cm 또는 90cm까지의 근권 하층부 심토층까지 용탈집적되어 있기 때문에(그림 2,3) 표토층만에서의 NO_3^- -N만을 이용한 토양진단방법은 근권내의 흡수 가능한 정확한 질소의 양을 파악하기에는 한계가 있었기 때문이다.

현재 근권내 NO_3^- 함량을 분석함으로써 정확히 작물에게 필요한 질소를 시비하고자 하는 토양진단에 의한 적정질소시비법인 Late Spring Soil Test, 농기연 토양 진단법, N_{\min} method 중에서 어느 방법 즉 토양진단시 0~30, 0~60, 0~90cm 중 근권 깊이를 얼마까지로 하는 것이 한국의 토양 및 기상조건에서 적절할 것인가를 검토하고자 둔포포장의 9개 질소처리수준에서의 근권깊이별 NO_3^- -N 함량과 보리수량과의 관계를 나타낸 것이 그림 5이다. 0~30cm 및 0~60cm에서는 근권내 NO_3^- -N 함량이 높을수록 보리수량이 높아지는 경향을 보였으나 이는 미국 Corn Belt 지역에서 0-30cm 근권토양의 NO_3^- -N 함량이 20ppm까지는 옥수수 수량과 상관관계가 있다는 Blackmer¹³⁾의 보고와는 달랐다. 한편 근권 0-90cm에서의 NO_3^- -N 함량은 수량과 유의성있게 정의 상관관계를 나타냈다. ha당 NO_3^- -N 함량이 120kg일 때까지는 보리 수량의 직선적인 증가를 나타냈으나 ha당 NO_3^- -N 함량이 120kg 이상 존재하면 오히려 수량이 점점 낮아지는 것으로 나타나 과다한 NO_3^- -N이 근권내에 집적되는 것은 바람직하지 않은 것으로 나타났다. 이는 겨울밀의 0~30cm, 0~60cm, 0~90cm, 0~120cm 근권깊이별 NO_3^- 함량, $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ 및 A층의 유기물함량, 식물체 N함량 등을 분석한 결과 0~90cm 근권내 NO_3^- 를 분석하는 것이 가장 높은 결정계수를 나타낸다는 Scharf와 Alley²¹⁾의 보고와 일치하는 것이다.

이상의 결과로 보아 적정 질소시비를 위한 토양진단법중에서 겨울보리의 경우 0~90cm 근권토양을 토양진단용 분석시료로 채취하는 N_{\min} method가 타당하며 이 때의 1차 추비량 결정을 위한 Target value는 120kg NO_3^- -N/ha 내외가 적절한 것으로 나타났다.

摘 要

겨울보리재배시 질소시비 수준을 달리한 0~30cm, 30~60cm, 60~90cm 근권깊이별 NO_3^- -

N 함량의 경시적 동적 변화를 추적하고 이를 토대로 시료채취 근권깊이를 달리하는 몇몇 토양진단법에 의한 적정 추비량 결정의 국내 적용의 적절성 여부를 검토한 결과,

1. 기비 및 추비로 시용된 질소가 표토층으로부터 서서히 심층 하층토로 용탈, 집적되고 있었는데 이는 근권깊이별 NO_3^- -N 농도보다 NO_3^- -N 함량을 계산할 때에 더욱 명확하였다.
2. 추비직전인 2월말 0~90cm 근권층에서의 NO_3^- -N 함량은 기비로 시용한 질소시용량에 따른 토양내의 NO_3^- -N 함량도 비례하여 높아져 기비시용량 차이가 대체로 반영하였으나 0-30cm 근권상층부에서의 NO_3^- -N 함량은 기비시용량을 전혀 반영시켜 주지 못하였다. 추비시용 이후의 토양깊이별 NO_3^- -N 함량의 경시적 차이 역시 0~30cm에 비해 0~90cm 근권층에서 질소시비량간 차이가 뚜렷하였다.
3. 0~90cm 근권깊이의 NO_3^- -N 함량에 따라 질소추비량을 결정하는 N_{\min} method에 의해 계산된 질소추비량은 무비구, 보비구, 배비구에서 기비시용량이 많을수록 질소추비량은 80.6, 40.0, 10.1kg/ha로 낮았으며, 보비구의 경우 질소추천추비량 60kg/ha보다 20kg/ha 정도 낮았다. 한편 0~30cm 토양진단에 따른 질소추비량은 각 처리구에서 추천시비량의 1차 질소추비량과는 비슷하여 기비처리 수준에 따른 질소추비량 차이가 전혀 없었다.
4. 0~30cm, 0~60cm, 0~90cm 근권 NO_3^- -N 함량과 수량과의 관계를 비교한 결과 0~90cm 근권 NO_3^- -N 함량만이 수량과 높은 정의 상관관계를 나타내 N_{\min} 토양진단법이 적절하였다. 한편 0~90cm 근권 NO_3^- -N 함량이 120kg/ha일 때 수량이 최고에 도달하였다.

引用 文 獻

1. 농어촌 진흥공사. 1994 농어촌 간이 급수시설 수질조사 보고서. 농어촌진흥공사 지하수 개발 보급처. P 10.
2. 손상목, 김진형. 1991. 폴리에틸렌 필름 멀칭처리에 따른 토양의 NO_3^- -N 함량 및 Okra생육 및 수량의 차이. 국제농업개발학회지 2(1): 79-92.
3. 손상목, 오경석. 1993. 질소비료 저투입에 의한 우수농산물 간이관정 지표로서 주요 농작물의

- "가식부위내 NO₃⁻함량" 활용가능성에 관한 연구. 한국유기농업 학회지. 2(1):2-15.
4. 손상목, 한인아. 1993. 선진농업국의 환경보전형 지속농업 전환추세. 단국 대학교논문집 27 :843-853.
 5. 손상목. 1994. 채소를 통한 한국인의 일일 NO₃⁻섭취량과 안전농산물의 NO₃⁻함량 허용기준 설정. 유기농업의 현황 및 발전방향에 관한 심포지움(1994.10.12-13, 농촌진흥청 농민회관). 농촌진흥청 농업기술연구소, 농협중앙회, 한국토양 비료학회 공동주최.
 6. 신용화. 1992. 비료의 합리적 시용을 위한 시험연구와 기술지도의 상호 관계. 제 60차 세계 비료공업협회 연차총회.
 7. 윤순강, 유순호. 1993. 토양중 질산태질소의 행방과 지하수질. 한국환경 농학회지 12(3) : 281-297.
 8. 이재엽, 한원식, 정이근. 1990. 밭토양 개량을 위한 시비처방 전산화 연구. 농시논문집(토양 비료편) 32(2):24-30.
 9. 이춘수, 광한강, 이용재, 박영대. 1990. 토양검정에 의한 NPK시비량 추정. 농시논문집(토양 비료편) 32(3):32-37.
 10. 허범량. 1993. 농촌진흥청 농업기술연구소. 개인적인 면담.
 11. Altemüller, H. J. 1994. Personal Communication. Institute of Plant Nutrition and Soil Science, Federal Research Center of Agriculture, Braunschweig-Völkenrode (FAL) / Federal Republic of Germany.
 12. Bartholomew, W. V. 1977. Soil nitrogen changes in farming systems in the humid tropics. Pages 27-44. In : Biological Nitrogen Fixation in Farming Systems of the Tropics. Chichester Wiley.
 13. Blackmer, A.M. 1990. Impacts of Industrialization on Agricultural Environments. interntl. Symp. Environ. Pollut. Agric., September 21, 1990, Seoul Nat'l. Univ., Seoul, Korea, P. 7-13.
 14. Byrnes, B. H. 1990. Environmental effects of N fertilizer use - An overview. Fertilizer Research 26 : 209-215.
 15. Jeffrey, D. W. 1987. Soil-Plant Relationships, An Ecological Approach, Croom Helm / Timber Press, Pages 295.
 16. Lehmann, H.J., Jaeggli, F., Walther, U., and Siegenthaler, A. 1990. Stickstoffdüngung im Ackerbau. Landwirtschaftliche Beratungszentrale, Lindau/Z rich, P. 4.
 17. Neeteson, J. J. 1990. Development of nitrogen fertilizer recommendation for arable crops in the Netherlands in relation to nitrate leaching. Fertilizer Research 26 : 291-298.
 18. Peterson, G. A., Anderson, F. N., Varvel, G. E. and Olson, R. A. 1979. Uptake of ¹⁵N-labeled nitrate by sugar beets from depths greater than 180cm. Agron. J. 71 : 371-372.
 19. Reneau, R.B., Berry, Jr. D. F., and Martens, D.C. 1990. Fate and Transport of Selected Pollutants in Soils. Interntl Symp. Environ. Pollut. Agric., September 21, 1990, Seoul Nat'l. Univ., Seoul, Korea, P. 14-44.
 20. Sauerbeck, D. and Hersemann, H. 1990. The Nitrogen Balance of Agriculturally used Water Catchment Areas. In : Merck, R., Vereecken, H. and Vlassak, K. (eds.). Fertilization and the Environment, P. 225-232, International Symposium 28. Aug. 30. Aug. 1989 in Leuven/ Belgium. Presses Universitaires des Louvain, Leuven/ Belgium.
 21. Scharf, P. C. and Alley, M. M. 1993. Spring Nitrogen on Winter Wheat : I. A Flexible Multi-component Rate Recommendation System. Agro. J. 85 : 1186-1192.
 22. Scharpf, H.C. 1991. Fachgerechte Stickstoffdüngung. AID Heft Nr.1017, Bonn / Germany
 23. Scharpf, H. C. and Weier, U. 1994. Kaulatorische Ermittlung des N_{min}-Sollwertes im Gemüsebau unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoffimmobilisierung bzw Stickstofffixierung. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 157 : 11-16
 24. Schepers, A. N., Moravek, M.G., Alberts, E. E., and Frank, K. D. 1991. Maize production impacts on groundwater quality. J. Environ. Qual. 20 : 12-16.
 25. VDLUFA. 1984. Ermittlung des Düngerbedarfs. Frankfrut(Main). DLG-Verlags-

GmbH. Pages 16-40.

26. Wehrmann, B. and Scharpf, H. C. 1979. Der Mineralstickstoffgehalt des Boden als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf (Nmin method). (Engl. summary.) *Plant and Soil* 52 : 109-126.
27. Westerman, R. L., Randal, K. B., William, R. R., and Johnson, G. V. 1994. Ammonium and Nitrate Nitrogen in Soil Profile of Long-term Winter Wheat Fertilization Experiments. *Agron. J.* 86 : 94-99.
28. Williams, A. J. 1993. High-Yield Nutrient Management Systems and Environmental Constraints. *International Crop Science Vol I* : 37-42.
29. Yoo, S.H. and Jung, Y.S. 1992. Soil Management for Sustainable Agriculture in Korea. *FFTC Extension Bulletin No.* 355.