

## 상수리나무림 입상에 공급된 무기질소가 토양호흡에 미치는 영향

최 주 섭 · 문 형 태<sup>1\*</sup>

평택고등학교 · <sup>1</sup>공주대학교 자연과학대학 생명과학과

**적 요:** 공주 근교의 상수리나무림에서 무기질소가 토양호흡에 미치는 영향을 조사하였다. 입상의 지형이 비교적 평탄한 지소를 선정하여 1m × 1m 넓이의 49개 격자 중 대조구와 실험구 1, 실험구 2를 임의로 5반복으로 선정하였다. 실험구 1과 실험구 2에는 질산암모늄(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>)을 각각 30 g/m<sup>2</sup>, 60 g/m<sup>2</sup>로 시비하였다. 대조구와 실험구에서 토양호흡, 토양온도, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N를 6월부터 10월까지 2주 간격으로 측정하였다. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N은 6월 초 대조구의 상층과 하층토양이 각각 21.1 μg/g으로 동일하였는데, 실험구 1은 상층토와 하층토에서 각각 34.0 μg/g, 28.5 μg/g, 실험구 2는 각각 36.7 μg/g, 28.7 μg/g으로 대조구에 비해 현저히 높았다. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 양은 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N에 비해 매우 낮았지만 변화 양상은 유사하였다. 7월에 큰비가 내린 후인 8월에는 실험구의 무기질소가 현저히 감소하였다. 대조구에 비해 실험구의 호흡량이 높았다. 7월 초 대조구의 호흡량이 8.0 ± 0.4 μmol<sup>-1</sup> · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>인데 비해 실험구 1과 실험구 2에서는 각각 9.3 ± 0.6, 10.2 ± 0.5 μmol<sup>-1</sup> · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>으로 7월 말까지는 대조구와 실험구 간에 차이가 있었고, 이러한 차이는 5% 수준에서 유의성이 인정되었다. 그러나 8월 중순에 측정된 호흡량은 대조구, 실험구 1, 실험구 2에서 각각 13.0 ± 0.4, 13.5 ± 0.5, 13.3 ± 0.6 μmol<sup>-1</sup> · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>으로 유사하였다. 본 실험의 결과 상수리나무림의 입상에 공급된 무기질소는 토양호흡량을 증가시키는 효과가 있었다.

**검색어:** 무기질소 공급, 토양호흡, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N

### 서 론

이산화탄소는 자연적 그리고 인위적 활동을 통해 방출되는 중요한 온실가스 중의 하나이며, 대기 중 이산화탄소의 증가 원인은 화석연료의 연소가 가장 중요하지만 삼림의 벌목도 중요한 요인이 되고 있다(Maier and Kress 2000). 삼림은 광합성을 통해 대기 중으로부터 탄소를 흡수하여 유기물을 합성한 다음 일부를 목질부를 비롯한 식물의 각 기관에 저장하며, 나머지는 식물의 호흡을 통해 대기 중으로 방출한다. 잎에 저장되는 탄소는 낙엽으로 입상에 이입되어 토양유기물로 전환되며, 이들 탄소는 유기물의 분해과정인 토양미생물의 호흡을 통해 대기 중으로 방출된다.

Tans 등(1990)은 온대삼림생태계가 대기중의 탄소를 감소시키는 중요한 역할을 하는 것으로 주장한 바 있다. 삼림생태계의 물질생산은 이산화탄소의 흡수량과 직결된다. 삼림생태계의 지상부 생산력에 영향을 주는 환경요인에 대해서는 비교적 많은 내용들이 밝혀졌으나, 입상에서 대기 중으로 방출되는 탄소의 양과 그 기작에 관해서는 밝혀진 내용들이 많지 않다(Maier and Kress 2000).

토양호흡에 영향을 주는 환경요인으로는 토양온도, 토양수분, 유기물 함량 등이 알려져 있다(Lloyd and Taylor 1994, Raich and Potter 1995). 그러나 토양미생물의 활성은 이들이 이용할 수

있는 무기질소의 양과도 밀접한 관련을 맺고 있다. 최근 대기 중으로부터 이입되는 영양염류에 의해 토양의 부영양화가 진행되고 있으며(Mun 1997), 삼림토양의 경우 자연적인 천이를 거치는 과정에서 토양의 질소함량이 증가한다. 이러한 경우 토양미생물의 활성이 증가 또는 감소될 수 있으며, 따라서 토양호흡량의 변화가 예상된다.

본 연구의 목적은 삼림생태계의 탄소수지 파악을 위한 기초 연구의 일환으로 토양의 무기질소 함량에 따른 토양 호흡량을 측정하여 토양의 부영양화에 따른 삼림생태계의 탄소수지 변화를 파악하기 위한 것이다.

### 재료 및 방법

#### 조사지 개황

충남 공주시에 위치한 본 연구의 조사지인 상수리나무림은 일반인의 출입이 부분적으로 통제되어 식생 보존이 매우 양호한 상태이다. 상수리나무 수령은 30~40년, 교목의 평균 흉고직경은 15.3 cm, 평균수고는 16.7 m 그리고 임목밀도는 2,100 그루/ha이었다. 관목층에는 비목나무, 국수나무, 산벗나무, 생강나무, 짚레꽃, 개울나무 등이 낮은 밀도로 분포하고 있으며, 초본층의 피도는 10% 정도로 낮았다. 입상은 연중 3~5cm의 낙엽층으로 덮여 있었다. 2003년 조사기간 동안의 강우량은 전년도에 비해 현저히 증가하였는데, 특히 2003년 7월의 강우량은 626.5 mm로

\* Corresponding author; Phone: 82-41-850-8499, e-mail: htmun@kongju.ac.kr

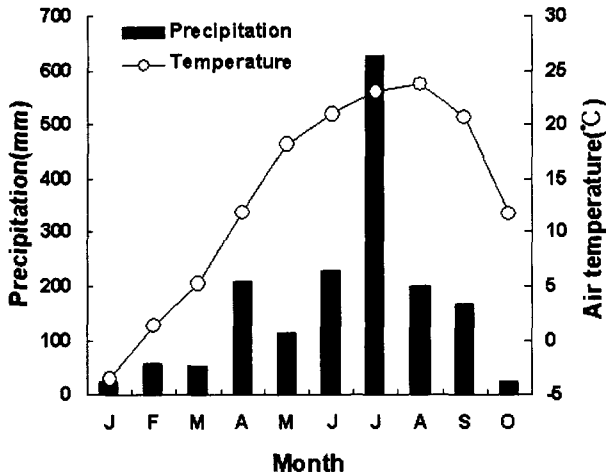


Fig. 1. Seasonal precipitation and average temperature in 2003 at Buyeo meteorological station about 32 km distance from the study area.

평년에 비해 높았다(Fig. 1).

**조사방법**

**실험구 설정 :** 임상의 지형이 비교적 고르고 평탄한 지소를 선정하여 7 m × 7 m의 넓이를 1 m × 1 m 넓이의 49개 격자로 구분하였다. 49개의 격자 중에서 대조구, 실험구 1, 실험구 2를 5반복으로 선정하였다. 대조구는 질소비료를 첨가하지 않은 상태이고 실험구 1과 실험구 2는 질산암모늄(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>)을 각각 30 g/m<sup>2</sup>, 60 g/m<sup>2</sup>로 시비하였다. 질소비료의 시비는 2003년 5월 15일에 실시하였다. 실험구 1은 각 반복구마다 30 g의 질산암모늄을, 실험구 2에는 각 반복구마다 60 g의 질산암모늄을 1 l의 증류수에 용해시켜 고르게 뿌려 주었다. 이때 뿌려주는 속도를 조절하여 물이 충분히 토양 속에 스며들도록 하였다. 대조구는 실험구와 토양수분 조건을 같게 유지하기 위하여 각 반복구에 증류수 1 l를 같은 방법으로 뿌려 주었다.

**토양호흡 및 온도측정 :** 토양호흡은 2003년 6월부터 10월까지 5개월 동안 2주간격으로 측정하였다. 측정은 휴대용 CI-301 CO<sub>2</sub> Gas Analyzer와 soil respiration chamber를 이용하였으며, 측정단위는 CO<sub>2</sub> μmol<sup>-1</sup> · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>이다. 토양온도는 T&D Thermo Recorder(온도기록계)를 사용하여 조사기간 동안 매일 1시간 간격으로 측정하였다. 온도기록계 본체에 연결된 sensor는 토양 층 5 cm와 10 cm 깊이에 묻어 깊이에 따른 온도 변화를 측정하였다.

**토양채취, 처리 및 분석 :** 대조구와 실험구에서 토양호흡을 측정하는 시점에 토양을 채취하였다. 토양채취는 채토기를 이용하여 상층토(표층에서 5 cm 깊이)와 하층토(5 cm에서 10 cm 깊이)로 구분해서 채취하였으며, 대조구와 실험구의 각 반복구마

다 1점의 토양을 채취하였다. 이때 3지점의 토양을 채취하여 하나로 혼합하였다. 채취한 토양은 비닐봉지에 밀봉하여 실험실에서 수분함량과 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N를 정량하였다. 토양의 수분함량은 건조법을 이용하였으며, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N는 자동분석기(QuickChem 8000)로 정량하였다.

대조구와 각 실험구별 호흡량 평균치의 차이는 SPSS 통계프로그램을 이용하여 유의수준 5%에서 t-검정을 실시하였다.

**결 과**

**호흡량**

6월부터 8월 초순까지는 대조구에 비해 실험구에서 호흡량이 높았다(Fig. 2). 6월 초 대조구의 호흡량이 5.7±0.4 μmol<sup>-1</sup> · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>인데 비해 실험구 1에서는 6.2±0.3 μmol<sup>-1</sup> · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 실험구 2에서는 6.4±0.5 μmol<sup>-1</sup> · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>으로 높았다. 8월 초의 토양호흡량은 대조구, 실험구 1 그리고 실험구 2에서 각각 15.3±0.3, 16.5±0.4, 16.4±0.2 μmol<sup>-1</sup> · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>이었으며, 대조구와 실험구 1 그리고 대조구와 실험구 2의 호흡량의 차이는 5% 수준에서 유의성이 인정되었다. 그러나 8월 15일에 측정된 호흡량은 대조구 13.0±0.4, 실험구 1이 13.5±0.7, 실험구 2가 13.3±0.6 μmol<sup>-1</sup> · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>으로 유사하였다(Fig. 2).

**토양의 무기질소**

토양의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 함량은 6월 초에 대조구의 상층부와 하층토양이 각각 21.1 μg/g으로 동일하였는데, 질소비료를 첨가한 실험구 1은 상층토와 하층토에서 각각 34.0 μg/g, 28.5 μg/g, 실험구 2는 각각 36.7 μg/g, 28.7 μg/g으로 대조구에 비해 현저히 증가하였다. 7월 말에 대조구 상, 하층 토양의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 함량은 각각 24.9 μg/g, 22.3 μg/g, 실험구 1에서는 37.7 μg/g, 25.1 μg/g, 실험구 2에서는 43.0 μg/g, 32.1 μg/g이었으나 7월의 큰비가 내린 후인 8월

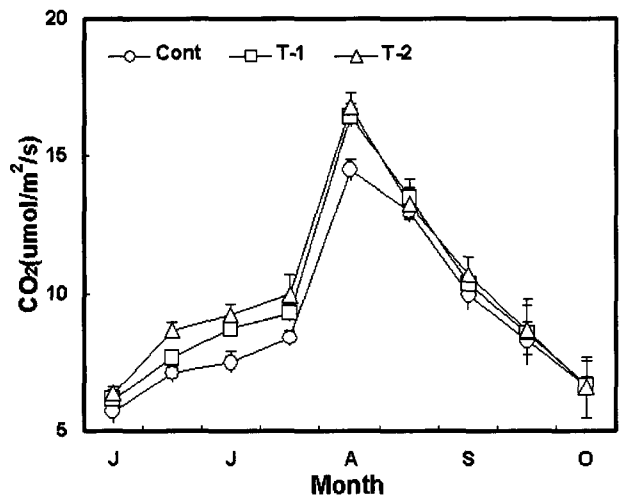


Fig. 2. Seasonal CO<sub>2</sub> evolution at Quercus acutissima stand. (Cont: control, T-1: treatment 1, T-2: treatment 2)

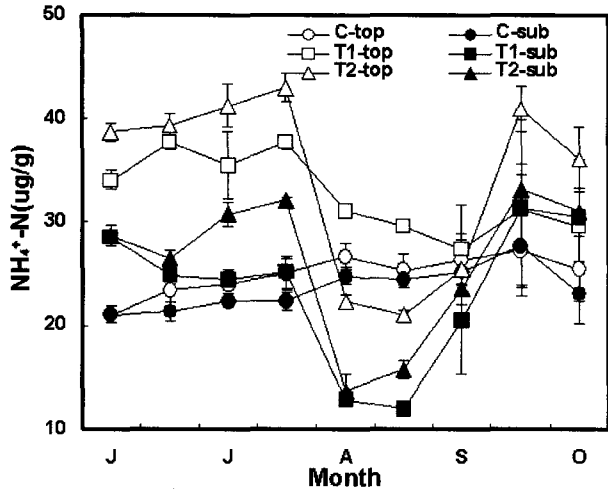


Fig. 3. Seasonal NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N in top-soil and sub-soil in each plot in the study site. C; control, T<sub>1</sub>; treatment 1, T<sub>2</sub>; treatment 2.

중순에는 대조구 상, 하층 토양의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 함량은 각각 26.7 μg/g, 13.7 μg/g으로 7월에 비해 증가한 반면 실험구 1에서는 31.1 μg/g, 12.8 μg/g, 실험구 2에서는 22.4 μg/g, 32.1 μg/g으로 현저히 감소하는 것으로 나타났다.

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 양은 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N에 비해 매우 낮았다. 대조구에서는 6월 초에 상층토양과 하층토양에서 각각 0.13 μg/g, 0.32 μg/g이었으며, 실험구 1은 각각 0.48 μg/g, 0.39 μg/g, 실험구 2는 각각 0.51 μg/g, 0.48 μg/g이었다. 7월 말에 상, 하층 토양의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 함량은 대조구에서 0.20 μg/g, 0.22 μg/g, 실험구 1에서 0.69 μg/g, 0.48 μg/g, 실험구 2에서는 0.56 μg/g, 0.42 μg/g로 증가하였으나 8월 중순에는 대조구에서 각각 0.29 μg/g, 0.35 μg/g, 실험구 1에서는 0.49 μg/g, 0.25 μg/g, 실험구 2에서는 0.33 μg/g, 0.31 μg/g으로 대조구에서는 증가하였으나 실험구에서는 모두 현저히 감소하였다. 대조구의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N는 하층토에 비해 상층토에

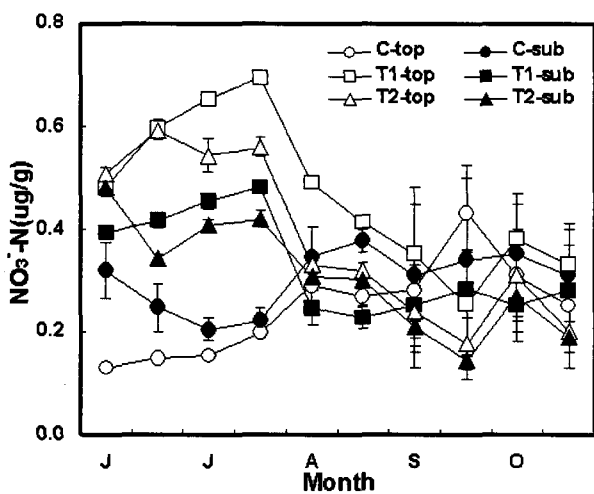


Fig. 4. Seasonal NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N in top-soil and sub-soil in each plot in the study site. C; control, T<sub>1</sub>; treatment 1, T<sub>2</sub>; treatment 2.

서 그 값이 높았으나 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 양은 상층토에 비해 하층토에서 높은 것으로 나타났다. 그러나 실험구 1과 2에서는 대조구와는 달리 하층토에 비해 상층토에서 실험기간 동안 그 값이 높았다.

**토양온도와 호흡량과의 상관**

상층토양의 온도는 5월 초에 14.1°C이던 것이 서서히 증가하여 8월 중순에 22.1°C이었으며 그 이후 감소하였다. 하층토의 경우에도 유사한 경향을 보였으며 8월 중순에 21.1°C로 최대를 보인 후 감소하였다(Fig. 5). 2003년 조사기간 동안의 토양온도를 2002년과 비교해 보면 전체적으로 그 값이 낮은 것을 알 수 있는데(Lee 2003), 이는 2002년에 비해 2003년에 강우일수가 많기 때문인 것으로 판단된다.

토양호흡량과 토양온도 간의 관계는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 지수함수적인 상관관계가 있는 것으로 나타났고, R<sup>2</sup>=0.87로 비교적 높은 상관관계를 보였다.

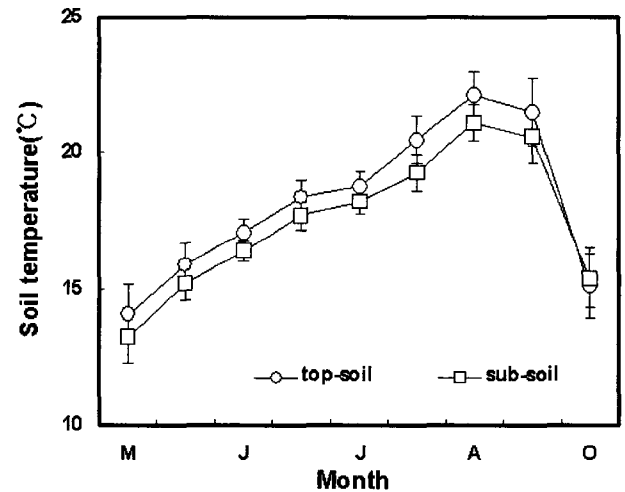


Fig. 5. Seasonal soil temperature at top-soil and sub-soil in the study area.

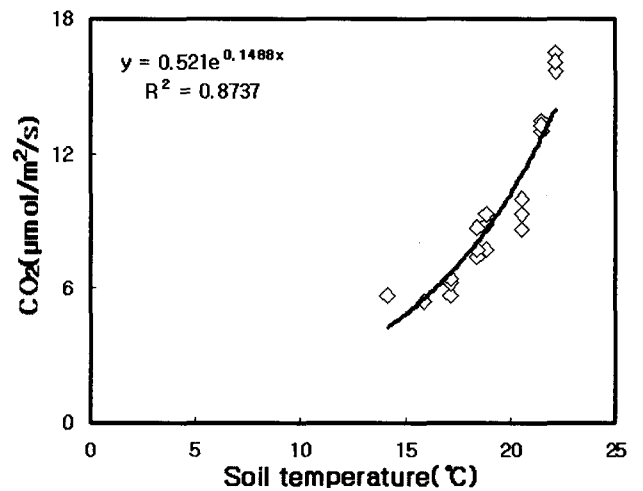


Fig. 6. Relationship between the soil respiration and the soil temperature in the study area.

## 고찰

## 인용문헌

생태계의 탄소순환에서 토양호흡의 중요성이 대두된 이후 많은 사람들이 다양한 기후대와 식생형에서 토양호흡을 측정하였다(Gordon *et al.* 1987, Kursar 1989, Schlentner and Van Cleve 1985, Billings *et al.* 1998, Striegl and Wickland 1998).

토양 호흡에 관한 대부분의 연구에서 토양 호흡이 1차적으로 토양 온도에 의해서 주도되며 이들간에 상당히 높은 상관관계가 있음을 보고하였다(Witkamp 1969, Vose *et al.* 1995, Son and Kim 1996, McHale *et al.* 1998, Lee and Mun 2001). 삼림 토양의 온도는 미생물에 의해 주도되는 분해활동과 생물지화학적 전 과정에 영향을 미치는 주된 요인이며, 뿌리 호흡과도 밀접한 관련이 있다(Bonan and Van Cleve 1991, MacDonald *et al.* 1995). 본 연구에서도 토양호흡과 토양 온도 사이에 비교적 높은 양의 상관성이 있음을 알 수 있었다.

대조구의 경우에는 7월과 8월에 무기질소 함량이 증가하는 것으로 조사되었는데, 이것은 기온상승에 따른 미생물의 활동 증가로 유기질소의 무기화 과정이 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 실험구 1과 2에서도 이러한 증가 현상을 볼 수 있다. 그러나 실험구 1과 2에서는 대조구와는 달리 7월을 기점으로 8월에는 그 값이 현저히 감소하였다. 이것은 강수량 자료에서 볼 수 있는 바와 같이 7월에 많은 비가 내려 인위적으로 공급한 무기질소의 대부분이 세탈되었기 때문인 것으로 판단된다. 실험구에서 무기질소 함량의 감소는 토양호흡의 감소를 초래하였다.

삼림토양은 자연적인 천이과정을 거치는 동안 질소함량이 증가하며, 특히 대기 중의 질소산화물이 증가함에 따라 대기로부터 토양에 이입되는 질소가 증가하여 토양의 부영양화를 촉진하는 것으로 알려져 있다(Bell 1994). 토양의 무기질소 증가가 뿌리나 미생물의 활성을 증가시킬 경우 호흡량은 증가할 수 있지만 질소 첨가가 뿌리와 미생물의 활성을 감소시킬 경우 전체 토양호흡량은 감소될 수 있다. 또한 무기질소 증가가 토양호흡에 미치는 효과는 단기적 그리고 장기적으로 다르게 나타날 수 있다.

본 실험의 결과 질소비료를 첨가한 구에서 대조구에 비해 호흡량이 많았다. 이것은 무기질소 이용도 증가에 따라 미생물의 활성이 증가한 때문인 것으로 판단된다. 삼림토양의 경우 임상에 낙엽과 목질부가 첨가됨에 따라 질소에 비해 탄소의 비가 증가하는데, 이것은 미생물의 활성을 억제하는 것으로 알려져 있다. 따라서 질소 첨가로 질소이용도가 증가하면 토양미생물의 활성이 증가한다. 그러나 장기적으로 질소함량이 증가할 경우 오히려 미생물의 활성이 감소되어 토양호흡량이 감소될 수 있다(Vose *et al.* 1995).

토양의 무기질소 함량 증가는 식물의 물질생산을 촉진시켜 지상부의 탄소 고정량을 증가시킬 수 있다. 따라서 질소 이용도의 증가가 토양호흡을 통해 대기 중의 이산화탄소 농도를 증가 혹은 감소시키는 문제에 대해서는 더 많은 연구가 필요하다고 판단된다.

- Bell, N. 1994. The ecological effects of increased aerial deposition of nitrogen. BES Ecological Issues No. 5. 36 p.
- Billings, S.A., D.D. Richter and J. Yarie. 1998. Soil carbon dioxide fluxes and profile concentrations in two boreal forest. Can. J. For. Res. 28: 1773-1783.
- Bonan, G.B. and K. Van Cleve. 1991. Soil temperature, nitrogen mineralization and carbon source-sink relationships in boreal forest. Can. J. For. Res. 22: 629-639.
- Gordon, A.M., R.E. Schlentner and K. Van Cleve. 1987. Seasonal patterns of soil respiration and CO<sub>2</sub> evolution following harvesting in the white spruce forests of interior Alaska. Can. J. For. Res. 17: 304-310.
- Lee, K. J. 2003. A study on the organic carbon distribution in forests ecosystems. M.S Thesis. Kongju National Uni., 44 p.
- Kursar, T.A. 1989. Evolution of soil respiration and soil CO<sub>2</sub> concentration in a lowland moist forest in Panama. Plant Soil 113: 21-19.
- Lee, Y.Y. and H.T. Mun. 2001. A study on the soil respiration in *Quercus acutissima* forest. Korean J. Ecol. 24: 141-147.
- Lloyd, J. and J.A. Taylor. 1994. On the temperature dependence of soil respiration. Functional Ecol. 8: 315-323.
- MacDonald, N.W., D.R. Zak and K.S. Pregitzer. 1995. Temperature effects on kinetics of microbial respiration and net nitrogen and sulfur mineralization. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 223-240.
- Maier, C.A. and L.W. Kress. 2000. Soil CO<sub>2</sub> evolution and root respiration in 11 year-old loblolly pine(*Pinus taeda*) plantations as affected by moisture and nutrient availability. Can. J. For. Res. 30: 347-359.
- McHale, P.J., M.J. Mitchell and F.P. Bowles. 1998. Soil warming in a northern hardwood forest: trace gas fluxes and leaf litter decomposition. Can. J. For. Res. 28: 1365-1372.
- Mun, H.T. 1997. Effects of colony nesting of *Adrea cinerea* and *Egretta alba modesta* on soil properties and herb layer composition in a *Pinus densiflora* forest. Plant Soil 197: 55-59.
- Raich, J.W. and C.S. Potter. 1995. Global patterns of carbon dioxide emission from soils. Global Biochem. Cycles 9: 23-36.
- Schlentner, R.E. and K. Van Cleve. 1985. Relationships between CO<sub>2</sub> evolution from soil, substrate temperature and substrate moisture in four mature forest types in interior Alaska. Can. J. For. Res. 15: 97-106.
- Son, Y.H. and H.W. Kim. 1996. Soil respiration in *Pinus rigida* and *Larix leptolepis* plantation. J. Korean For. Soc. 85: 496-505.
- Striegl, R.G. and K.P. Wickland. 1998. Effects of a clear-cut harvest on soil respiration in a jack pine-lichen woodland. Can. J. For. Res. 28: 534-539.

- Tans, P.P., I.Y. Fung and T. Takahashi. 1990. Observational constraints on the global atmospheric CO<sub>2</sub> budget. *Science* 247: 1431-1438.
- Vose, J.M., K.J. Elliott, D.W. Johnson, R.F. Walker, M.G. Johnson and D.T. Tingey. 1995. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and N fertilization on soil respiration from ponderosa pine(*Pinus ponderosa*) in open-top chambers. *Can. J. For. Res.* 25: 1243-1251.
- Witkamp, M. 1969. Cycles of temperature and carbon dioxide evolution from the forest floor. *Ecology* 47: 492-494. (2004년 4월 6일 접수; 2004년 5월 4일 채택)

---

## Effects of Nitrogen Addition on Soil Respiration

Choi, Ju-Seop and Hyeong-Tae Mun<sup>1\*</sup>

*Pyeong-Taek High School, Pyeong-Taek, 450-830, Korea*

<sup>1</sup>*Department of Biology, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea*

**ABSTRACT** : In order to gain a better understanding of how forests participate in the cycling of carbon, effects of nitrogen addition on soil respiration were investigated on the oak forest in Kongju, Korea. Study site was divided into control, treatment 1 and treatment 2 plots, with 5 replication in each plot. In each replicate of treatment 1 and treatment 2 were fertilized with ammonium nitrate (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), 30 g/m<sup>2</sup> and 60 g/m<sup>2</sup>, respectively. Soil respiration, soil temperature, ammonium-N and nitrate-N were measured during the experimental period. Ammonium-N and nitrate-N in T<sub>2</sub> were higher than those in control and T<sub>1</sub>. Ammonium-N and nitrate-N in top-soil and sub-soil decreased sharply in August after big rainfall in July in T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub>, however, those in control plot increased. Soil respiration in T<sub>2</sub> plot showed consistently higher than those in control and T<sub>1</sub> until the end of July. However, soil respiration was similar among the control, T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub> in mid-August and September. The amount of CO<sub>2</sub> released from soil respiration in control, T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub> in July was 8.0±0.4, 9.3±0.6 and 10.2±0.5 μmol<sup>-1</sup> · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, respectively. However, those in control, T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub> in mid-August was 13.0±0.4, 13.5±0.5, 13.3±0.6 μmol<sup>-1</sup> · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, respectively. The results suggest that nitrogen addition in this oak forest has a positive effect on soil respiration.

**Key words** : Ammonium-N, Nitrate-N, Nitrogen addition, Soil respiration

---