

Research Report

표준 시비에 따른 ‘신고’배 수체 및 재배지 토양의 탄소 및 질소 저장량 변화

노희명^{1,2†*}, 최진호^{3†}, 이서연¹, 이태규¹, 김종성¹, 박지숙¹, 최장전³, 이민진¹¹서울대학교 농생명공학부²서울대학교 농업생명과학연구원³농촌진흥청 국립원예특작과학원 배시협장

Annual Increase in Carbon and Nitrogen Stocks of Trees and Soils in a ‘Niitaka’ Pear Orchard Following Standard Fertilization Recommendations

Hee-Myong Ro^{1,2†*}, Jin-Ho Choi^{3†}, Seo-Yeon Lee¹, Tae-Kyu Lee¹, Jong-Sung Kim¹, Ji-Suk Park¹, Jang-Jeon Choi², and Min-Jin Lee¹¹Department of Agricultural Biotechnology and Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea²Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea³Pear Research Station, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Naju 520-820, Korea

Abstract: We determined the total C and N stocks in trees and soils after 1 year of fertilization in an experimental orchard with 16-year-old ‘Niitaka’ pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. Niitaka) trees planted at 5.0 m × 3.0 m spacing on a Tatura trellis system. Pear trees were fertilized at the rate of 200 kg N, 130 kg P and 180 kg K ha⁻¹. At the sampling time (August 2013), trees were uprooted, separated into six fractions [trunk, main branches, lateral branches (including shoots), leaves, fruit, and roots] and analyzed for their total C and N concentrations and dry masses. Soil samples were collected from 0 to 0.6 m in 0.1 m intervals at 0.5 m from the trunk, air-dried, passed through a 2-mm sieve, and analyzed for total C and N concentrations. Undisturbed soil core samples were also taken to determine the bulk density. Dry mass per tree was 5.6 kg for trunk, 12.0 kg for main branches, 15.7 kg for lateral branches, 5.7 kg for leaves, 9.8 kg for fruits, and 10.5 kg for roots. Total amounts of C and N per tree were respectively 2.6 and 0.02 kg for trunk, 5.5 and 0.04 kg for main branches, 7.2 and 0.07 kg for lateral branches, 2.6 and 0.11 kg for leaves, 4.0 and 0.03 kg for fruit, and 4.8 and 0.05 kg for roots. Carbon and N stocks stored in the soil per hectare were 155.7 and 14.0 Mg, respectively, while those contained in pear trees were 17.8 and 0.2 Mg·ha⁻¹ based on a tree density of 667 trees/ha. Overall, C and N stocks per hectare stored in the pear orchard were 173.6 and 14.2 Mg, respectively. Compared with results obtained in 2012, the amounts of C stocks have increased by 17.7 Mg·ha⁻¹, while those of N stocks remained virtually unchanged (0.66 Mg·ha⁻¹).

Additional key words: carbon sequestration, fertilizer, IPCC 2006 guidelines, net primary productivity, pear orchard

서 언

국가간 기후변화 협의체인 IPCC에서는 2006년 농업분야의 온실가스 배출권 측정에 관한 새로운 지침을 제시하였다 (IPCC, 2006). 이 지침에서는 작물이 탄소를 얼마나 흡수하는

지 평가하기 위하여 순1차생산량(Net Primary Productivity, NPP)을 측정하도록 제시하고 있는데, NPP는 작물의 연간 생체중 변화량을 말한다. Lee et al.(2008)은 사과 ‘후지’의 NPP는 과실을 제외하고 연간 0.44kg C·m⁻²이라 하였으며, Kim et al.(2005)은 우리나라 한대낙엽수림의 NPP를 4.8Mg C·ha⁻¹

*Corresponding author: hmro@snu.ac.kr

†These authors contributed equally to this work.

※ Received 17 November 2014; Revised 10 March 2015; Accepted 1 April 2015. 본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ008986042013)과 한국연구재단의 BK21사업 지원에 의해 수행되었음.

© 2015 Korean Society for Horticultural Science

로 보고하였다. Pyo et al.(2003)은 잣나무 조림지에서의 연간 CO₂ 고정량이 42.5Mg CO₂·ha⁻¹라고 하였다. 그러나 IPCC는 탄소의 변화량을 제시하도록 했던 Tier 2 수준보다, Tier 3 수준에서는 보다 더 정밀한 탄소 변화량을 산출하도록 제시하고 있다. Tier 3 수준에서는 Tier 2 수준의 산정에 재배지 관리를 포함한 지역적인 특성과 통계적 방법을 적용한 좀 더 정밀한 측정을 요구하고 있다(IPCC, 2006).

Lee et al.(2005)은 광릉 낙엽활엽수림에 축적된 총탄소량이 258.4Mg C·ha⁻¹이며, 여기에 토양 30cm 깊이까지 탄소가 89.3Mg C·ha⁻¹ 축적되었다고 보고하였다. 이 결과는 산림의 탄소 흡수량을 산정할 때, 나무가 저장한 NPP 변화량 뿐만 아니라 토양에 격리된 탄소량의 변화도 함께 측정하는 것이 Tier 3 수준의 탄소 흡수량 평가에 필수적임을 단적으로 보여주었다. 그러나 산림과는 달리 농경지에서는 비료처리에 따른 토양 탄소 변화량도 주목해야 한다. Lee et al.(2010)은 장기간의 비료처리가 농경지의 토양 탄소량을 증가시키는 데 매우 효과적이며, 이는 토양의 질과 작물의 생산성을 증가시킨다고 하였다. 또한 Lim et al.(2012)은 토양의 탄소함량은 장기간 시용한 비료의 종류에 따라 달라진다고 하였다. 하지만 국내의 농업부문에서는 아직까지 농작물에 저장되는 탄소량과 비료처리에 따른 토양 탄소 흡수와 배출권에 관한 연구가 체계적으로 연구되지 못하고 있다.

국내 과수 재배 면적은 2012년 통계에 의하면, 노지에서 1523.87km², 시설 재배지에서 895.41km²로 총 2419.28km² 면적으로 전체 농경지의 약 14%에 해당한다(KOSIS, 2010). 이는 우리나라 전체 농경지 중에서 논과 밭에 비해 높은 비율이라고 볼 수 없으나, IPCC 2006 지침에 따른 농작물에 의한 온실가스 격리를 평가할 경우에 과수의 중요성은 더 높게 나타날 것으로 보인다(Lee et al., 2013). 국내 과수 재배지는 2012년 기준으로 사과 재배지가 307.34km²로 가장 넓었으나, 배 재배 면적은 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있는 추세이다(KOSIS, 2010).

배(*Pyrus pyrifolia* Nakai)는 배나무속(*Pyrus*)에 속하는 낙엽성 교목으로, 한국에서는 1906년 일본에서 개량된 남방형 동양배 품종이 도입되어 재배되고 있다(RDA, 2000). 그 중 ‘신고(Niitaka)’배는 일본에서 1927년 육성되었는데, 나무의 세력이 강하고 크게 자라는 성질로 인해 생산성이 높아 한국에는 1930년대에 도입되어 주로 재배되고 있다(RDA, 2000). 현재 국내에서 재배되는 배는 143.53km² 면적으로, 그 중 83%인 118.66km²에서 ‘신고’배가 재배되고 있다(KOSIS, 2010). 이에 따라, 최근 Lee et al.(2013)은 재배면적의 증가

로 온실가스 흡수 효과가 클 것으로 예상되는 배 과수원에서 Y자 수형의 15년생 ‘신고’ 배를 대상으로 수체와 토양의 탄소와 질소 저장량(stocks)을 산정하였다(탄소: 155.95Mg·ha⁻¹, 질소: 13.54Mg·ha⁻¹).

따라서 본 연구는 IPCC 2006 지침에 의거하여 국내 배 재배지 내 수체와 토양에 저장되어 있는 탄소와 질소의 양을 평가하는 연구의 일환으로, 1년 동안의 시비에 따라 배 과수원의 수체 및 토양의 탄소와 질소 저장량 변화를 파악하고자 하였다. 이를 위해 ‘신고’배 과수원에서의 수체와 토양이 저장하고 있는 탄소 및 질소 저장량(stocks)을 산정하였으며, 이를 동일한 지역에서 수행한 전년도 연구결과(Lee et al., 2013)와 비교하여 그 차를 구하였다.

재료 및 방법

시험포장

시험 재료는 전라남도 나주에 위치한 농촌진흥청 배시험장 재배포장에 5.0 × 3.0m 간격으로 재식(재식밀도: 667 trees/ha)한 Y자형 신고(*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. Niitaka) 16년생을 사용하였고, 평균 수고는 2.5m였다. 본 시험포장에서는 농촌진흥청 배나무 표준재배법(RDA, 2000)에 따라 관수와 시비를 비롯한 시험수의 일반적인 재배관리를 하였다. 본 연구가 진행되는 기간(2012년-2013년)에는 15년-17년생 배나무의 시비 기준인 질소, 인, 칼륨이 각각 200kg N·ha⁻¹, 130kg P·ha⁻¹, 180kg K·ha⁻¹ 시비되었다. 2012년에 선정했던 나무 중 배나무 3주(3반복)를 선정하여 2013년 8월에 실험수로 사용하였다. 시험포장의 토양은 Udalfs 아목에 속하며 자갈이나 모래가 거의 없고, 심토에 경반층이 있어 배수가 불량하다.

식물체 채취 및 분석

수체의 지상부는 과일과 잎을 먼저 수확한 후 주간, 주지, 측지를 각각 절단하고 지하부는 뿌리가 분포하는 대략 1m 정도 깊이까지 굴취하여 수확하지 못한 일부 잔뿌리를 제외한 전체부위를 채취하였다. 과일은 수량을 기록한 후 과육, 과심, 과피로 나누었다. 잎은 총 개수를 기록하였다. 수체의 각 부위는 세척한 후 생체중을 측정하였으며, 건조오븐(DS-80-2, Dasol Scientific Co., Korea)에서 65°C로 건조시킨 후 건물중을 측정하였다. 수체 각 부위 시료 일부를 골고루 취하여 분쇄기(MM301, Retsch GmbH & Co., Haan, Germany)로 곱게 갈아 균질화 시킨 후, 원소분석기(Flash

2000, Thermo Scientific, Cambridge, UK)로 총 탄소와 총 질소함량을 분석하였다. 과일의 경우 3부분(과육, 과심, 과피)으로 나누었으므로, 건물중에 가중치를 두어 평균 탄소 및 질소 함량을 구하였다.

토양 채취 및 분석

토양의 물리적인 특성으로 토성과 전용적밀도를 분석하였다. 토성은 토양을 풍건한 후 2mm 표준 체를 통과한 시료를 과산화수소수[30%(w/v) H₂O₂]로 토양유기물을 제거한 후 wet-sieving/pipette법으로 분석하였다(Day, 1965). 전용적밀도는 표토와 심토를 구분하여 분석하였는데, 직경 5cm 코어를 이용하여 각각 0-10cm, 11-20cm 깊이에서 채취한 후, 코어 내의 토양을 건조하여(105°C, 48시간) 건조의 중량으로 분석하였다.

토양의 화학적인 특성을 분석하기 위해, 배나무 주간으로부터 약 50cm 가량 떨어진 지점에서 지표로부터 60cm 깊이까지 10cm 간격으로 3반복으로 채취하였다. 채취한 토양은 바로 2 M KCl로 침출하여 질소자동분석기(Kjeltec Auto 1035/1038 System, Tecator AB, Sweden)로 무기태질소(NH₄⁺-N 및 NO₃⁻-N)를 측정하였다. 남은 토양은 풍건하여 2mm 체로 거른 후 일부를 골고루 취해 분쇄기(MM400, Retsch GmbH & Co., Haan, Germany)로 곱게 갈아 균질화 시켰다. 간 토양 일부를 tin capsule에 담아 원소분석기(Flash 2000, Thermo Scientific, Cambridge, UK)로 총 탄소와 총 질소 함량을 분석하였다.

통계분석

수체와 토양의 탄소와 질소 함량, 토양 무기태 질소농도

Table 1. Total C and N concentrations of pear orchard soils.

Depth (cm)	Total C (g·kg ⁻¹)	Total N (g·kg ⁻¹)
0 - 10	52.37 ± 11.10 ^z a ^y	4.87 ± 1.23 a
11 - 20	20.85 ± 1.75 b	1.95 ± 0.13 b
21 - 30	14.68 ± 1.60 bc	1.29 ± 0.11 bc
31 - 40	12.24 ± 1.58 c	1.09 ± 0.08 bc
41 - 50	11.89 ± 3.36 c	1.12 ± 0.24 bc
51 - 60	9.38 ± 2.94 c	0.91 ± 0.23 c

^zThe values are given as mean ± standard deviation (n = 3).

^yMeans in the same column with different letters represent significantly different values based on Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

는 SAS 9.3 Software(SAS Institute, 1988)를 이용하여 5% 유의수준에서 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, Duncan's Multiple Range Test를 통하여 평균간의 유의적인 차이를 비교하였다.

결과 및 고찰

재배포장의 토성은 자갈과 모래가 거의 없는 미사질 점토(silt clay: 모래 71g·kg⁻¹, 미사 419g·kg⁻¹, 점토 510g·kg⁻¹)이었다. 심층(1.34Mg·m⁻³)의 전용적 밀도는 표층(0.98Mg·m⁻³)보다 높았는데, 이는 토양 표층(0-10cm)의 총 탄소함량이 52.37g·kg⁻¹로 높았기 때문이라 생각되며, 이 값은 우리나라 배 재배지적 평균인 약 20-30g·kg⁻¹(NIHHS, 2011)보다 높았다(Table 1). 토양 내 총 탄소와 질소 함량은 모두 토심이 깊어질수록 낮아졌다(Table 1). 총 탄소와 질소 함량의 감소 정도는 토심 20cm부근에서 가장 컸는데, 이는 당해 년도의 낙엽과 낙과에 의해 표층에 쌓인 유기물이 경반층으로 인해 깊이 20cm까지만 영향을 미친 것으로 판단된다. Rouhier et al.(1994)은 토양탄소의 동위원소분할 연구를 통해 표층 토양탄소의 값이 밤나무 잎의 값과 12개월을 주기로 같게 나타난다고 하였는데, 이는 낙엽이 토양탄소의 주요 공급원임을 보여주었다. 토양의 깊이 별 총 탄소 및 질소 함량과 전용적 밀도로부터 단위면적당 탄소 및 질소의 저장량을 깊이 별로 산정하였다(Table 2). 이 역시 토심이 깊어질수록 탄소와 질소의 토양저장량은 감소하였으며, 토심 20cm를 기준

Table 2. C and N stocks stored in pear orchard soils.

Depth (cm)	Carbon (Mg·ha ⁻¹) ^z	Nitrogen (Mg·ha ⁻¹) ^z
0 - 10	55.44 ± 8.53 a ^y	4.69 ± 0.75 a ^y
11 - 20 ^x	30.35 ± 2.06 b	2.84 ± 0.08 b
21 - 30	21.35 ± 1.78 c	1.88 ± 0.88 c
31 - 40	17.79 ± 1.60 c	1.59 ± 0.05 c
41 - 50	17.24 ± 4.34 c	1.63 ± 0.33 c
51 - 60	13.56 ± 3.78 c	1.32 ± 0.29 c
Total	155.73 ± 11.49	13.95 ± 1.28

^zThe values are given as mean ± standard deviation (n = 3).

^yMeans in the same column with different letters represent significantly different values based on Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

^xBulk densities below 10 cm soil depth are assumed equal to value of bulk density at 11 - 20 cm depth.

Table 3. Fresh and dry mass of each part of pear trees.

Tree parts	Amount (number/tree)	Fresh mass (kg/tree)	Dry mass (kg/tree)
Trunk	1 ± 0.00 ^z	10.70 ± 1.54	5.56 ± 0.84
Main branches	2 ± 0.00	20.68 ± 6.41	11.96 ± 4.42
Lateral branches	260 ± 54.67	28.12 ± 14.35	15.69 ± 8.83
Leaves	7,316 ± 1,229	8.13 ± 1.97	5.71 ± 2.91
Fruit	116 ± 15.59	68.46 ± 9.20	9.81 ± 1.32
Peel		4.38 ± 0.59	1.00 ± 0.13
Core		5.07 ± 0.68	0.82 ± 0.11
Flesh		59.01 ± 7.93	7.99 ± 1.07
Roots	1 ± 0.00	21.33 ± 4.72	10.53 ± 2.53

^zThe values are given as mean ± standard deviation (n = 3).

Table 4. Inorganic nitrogen concentrations of pear orchard soils.

Depth (cm)	NH ₄ ⁺ -N (mg·kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N (mg·kg ⁻¹)
0 - 10	3.44 ± 0.24 ^z ab ^y	32.70 ± 4.74 a
11 - 20	6.09 ± 6.73 a	21.70 ± 1.74 b
21 - 30	2.11 ± 1.09 ab	13.95 ± 2.60 c
31 - 40	0.96 ± 0.50 ab	10.30 ± 1.97 cd
41 - 50	1.85 ± 2.03 ab	7.42 ± 1.34 de
51 - 60	0.57 ± 0.49 b	4.71 ± 0.99 e

^zThe values are given as mean ± standard deviation (n = 3).

^yMeans in the same column with different letters represent significantly different values based on Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

Table 5. Amounts of C and N contained in each part of pear trees.

Tree parts	Carbon (kg/tree)	Nitrogen (kg/tree)
Trunk	2.63 ± 0.40 ^z b ^y	0.02 ± 0.01 c
Main branches	5.51 ± 1.93 ab	0.04 ± 0.02 bc
Lateral branches	7.19 ± 4.03 a	0.07 ± 0.04 ab
Leaves	2.59 ± 1.31 b	0.11 ± 0.05 a
Fruit	4.05 ± 0.54 b	0.03 ± 0.00 bc
Roots	4.77 ± 1.15 ab	0.05 ± 0.02 bc

^zThe values are given as mean ± standard deviation (n = 3).

^yMeans in the same column with different letters represent result of Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

으로 함량의 감소가 컸음을 알 수 있었다.

수체의 각 부위별 생체중은 과실에서 가장 무거웠으나, 건물중은 신초를 포함한 측지에서 가장 무거웠다(Table 3). 이는 Y자 수형의 배나무에는 주간에서 유인된 두 개의 주지에 신초(1년생)로부터 8년생까지의 측지가 많이 생성되었기 때문이었다. 측지에서 건물중에 기여하는 정도는 신초가 가장 컸다(4.22kg/tree). 2년생 측지부터 건물중이 감소하였으나, 어떤 특정한 경향은 없었다. 이는 전정과 같은 측지 조절, 적과 등에 의한 복합효과(Lee et al., 2013)로 볼 수 있으나, 배나무 재배 지역의 기상조건 및 배나무의 생장조건 변화 역시 연차별 생체중과 건물중에 영향을 주었다고 볼 수 있다(Kozłowski, 1964; Wilson, 2000). 과일의 경우 생체중과 건물중 모두 과육에서 가장 무거웠다. 생체중

은 과피보다 과심이 무거웠으나, 건물중은 그 반대였다. 시료 채취 당시 과수원 토양단면 내 무기태 질소(NH₄⁺-N 및 NO₃⁻-N) 농도는 과수가 생육하는 데 질소가 부족하지 않게 공급되었음을 확인할 수 있었다(Table 4). 전반적으로 질산태 질소의 농도가 암모늄태 질소의 농도보다 높았는데, 이는 재배지 토양의 통기성이 나쁘지 않아 뿌리의 흡수능력이 저해되지 않았음을 간접적으로 나타내었다(Ro and Park, 2000).

수체의 각 부위가 지닌 탄소의 양은 측지에서 가장 높았으나 앞에서 가장 낮았다(Table 5). 반면 질소의 양은 앞에서 가장 높았으며, 그 다음으로 측지에서 높았다. 측지가 지닌 질소의 양이 상대적으로 높았던 것은 건물중함량이 높은 신초(Table 3)를 포함하여 계산하였기 때문이다. 특히 1년생 부위인 과일과 잎이 지닌 탄소의 양 역시 많았는데(Table 5),

과일은 매년 수확하지만 잎은 낙엽으로 과수원에서 제거될 수 있기 때문에 과수원에서 상당량의 탄소가 없어질 수 있다. 그렇기 때문에 배나무 과수원에서의 탄소격리 효율과 양을 증가시키기 위해서는 과일과 잎의 관리가 앞으로 더욱 중요할 것으로 생각한다. 과일의 경우, 탄소 및 질소 함량은 과심에서 가장 높았으나, 과육의 건물중이 가장 무거웠기 때문에 과일의 탄소와 질소의 양에 미치는 영향은 과육이 가장 컸다(자료 제시하지 않았음). 사과와 달리 질소뿐만 아니라 Ca, Mg, K 및 P도 비슷한 경향이였다(Perring, 1984). 이러한 결과로 보면 상당량의 영양소가 과심에 많이 있을 것으로 추정할 수 있지만, 과일 전체로 보았을 때 과육이 건물중에서 약 80%를 차지하고 있는 반면 과심은 8%정도 밖에 되지 않아, 총량에 미치는 과심의 영향은 그리 크지 않다고 판단하였다(Lee et al., 2013).

수체의 각 부위별 탄질비는 잎에서는 상당히 낮았던 반면, 다른 부위에서는 높았는데, 이 결과는 지난해의 결과(Lee et al., 2013)와 같았다. 특히 잎을 제외한 모든 부위에서 탄질비는 지난해 결과보다 높아졌다. 이는 배나무가 지난해에 비해 질소보다 많은 양의 탄소를 흡수하였기 때문이라 생각할 수 있었다. 주간을 제외한 다른 목질부 부위의 주당 탄소의 양은 높은 편이었는데, 이는 탄소동화산물이 저장된 부위의 저장크기를 반영한 것으로 보였다. 반면 질소의 경우 탄소의 양이 많은 목질부 부위 외에 잎에서도 상당히 많았다(Table 5). 탄소동화산물은 일반적으로 생육초기에는 잎으로 많이 이동하지만, 생육후기에는 뿌리로 가장 많이 이동하여 저장되는 것으로 알려져 있다(Rouhier et al., 1994). 그러나 이러한 부위별 저장 특성은 수목별로 차이가 나는 것으로 알려져 있다(Rouhier et al., 1994). 반면 질소의 양은 잎에서 가장 많았는데, 이는 잎에 엽록소 함량이 높았기 때문이다(Field, 1983; Hopkins, 2008; Niinemets, 1997). Field(1983)는 잎의 위치에 따라서도 질소함량의 차이가 난다고 했으나, 본 연구에서는 이러한 차이에 관한 것은 목적 밖으로 측정하지 않았다. 수체의 탄소 및 질소 함량은 부위별로 차이가 많았으나, 부위별 건물중(Table 3)의 영향으로 부위별 차이는 감소하였다(Table 5).

배나무 각 부위별 건물중과 재식밀도(667trees/ha)를 이용하여 환산한 배나무의 주당 탄소와 질소의 양은 Table 6과 같다. 배나무의 NPP는 수체가 저장한 탄소의 양으로 1ha당 17.83Mg이었으며, 지난해의 결과(17.66Mg)와 비교하면 1년동안 시비에 의해 0.17Mg이 증가하였다. 배나무의 경우 매년 전정을 통해 1년생 가지의 90%이상이 제거됨에도 불

구하고 NPP가 증가한 것은 이러한 수세관리가 수체의 광합성 증가와 이에 따른 건물중 증가를 유도하였기 때문이라 판단하였다. 신초를 제외한 과일과 잎의 탄소량은 주당 탄소량의 24.8%정도로 상당히 큰 비중을 차지하고 있다(Table 5). 현재 농경지에서의 온실가스흡수 평가에는 낙엽과 과일은 아직 포함하지 않고 있으나(IPCC, 2006), 앞으로 배나무의 NPP를 크게 좌우하는 과일과 잎에 의한 탄소저장량을 온실가스흡수 산정에 포함시킬 필요가 있다고 본다.

2년 동안 측정한 배나무 수체 내에 저장된 탄소 저장량의 차이를 통해 ‘신고’배 과수원의 NPP와 토양탄소저장량의 변화를 계산하였다(Table 7). 과일과 잎은 IPCC 2006 지침의 Tier 3 접근에 의해서는 NPP로 간주되지 않기 때문에, 이를 제외하고 NPP의 변화를 계산하였다. 매년 제거되는 과일과 잎을 제외하면 뿌리에서의 NPP가 가장 높음을 알 수 있었으며, 주간과 주지의 경우 작년과 비교(Lee et al, 2013)할 때, 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 과일과 잎이 수체의 NPP를 높이는 데 큰 비중을 차지하며, 탄소의 저장량을 높이는 중요한 부분임을 알 수 있었다. 재배지 토양의 탄소 저장량은 작년 결과(Lee et al., 2013)와 비교하였을 때, 17.4Mg C·ha⁻¹ 증가하였다(Table 7). 매해 농촌진흥청 배나무 표준재배법(RDA, 2000)에 따른 일정한 관수와 시비관리로 재배되는 것만으로도 토양 탄소의 저장량이 증가되었다. 일반적으로 시비관리가 적절하게 이뤄지는 토양은 이산화탄소를 23-46kg·ha⁻¹·year⁻¹ 고정할 수 있다고 알려져 있다(IPCC, 2006). 따라서 적절한 시비와 전정을 통해 배나무 관리를 한다면, 배나무 재배지가 온실

Table 6. C and N stocks of pear trees estimated based on a tree density of 667 trees/ha.

Tree parts	Carbon (Mg·ha ⁻¹)	Nitrogen (Mg·ha ⁻¹)
Trunk	1.75 ± 0.26 ^z b ^y	0.01 ± 0.01 c
Main branches	3.68 ± 1.28 ab	0.03 ± 0.01 bc
Lateral branches	4.79 ± 2.68 a	0.05 ± 0.03 ab
Leaves	1.73 ± 0.87 b	0.07 ± 0.03 a
Fruit	2.70 ± 0.36 b	0.02 ± 0.00 bc
Roots	3.18 ± 0.77 ab	0.04 ± 0.01 bc
Total	17.83 ± 5.33	0.22 ± 0.88

^zThe values are given as mean ± standard deviation (n = 3).

^yMeans in the same column with different letters represent significantly different values based on Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

Table 7. Increases in carbon stocks stored in a pear orchard between two consecutive years (2012-2013).

Tree organs	Tree		Depth (cm)	Soil	
	2012 (A) ^z (Mg C·ha ⁻¹)	2013 (B) (Mg C·ha ⁻¹)		2012 (C) ^z (Mg C·ha ⁻¹)	2013 (D) (Mg C·ha ⁻¹)
Trunk	1.51	1.75	0 - 10	33.54	55.44
Main branches	4.28	3.68	11 - 20 ^y	25.63	30.35
Lateral branches	4.26	4.79	21 - 30	25.04	21.35
Leaves	N.I. ^x	N.I.	31 - 40	21.73	17.79
Fruit	N.I.	N.I.	41 - 50	17.84	17.24
Roots	1.79	3.18	51 - 60	14.52	13.56
$\Delta\text{NPP} = B - A = 1.56$		$\Delta\text{Carbon Stocks} = D - C = 17.43$			

^zData from previous study (Lee et al., 2013).

^yBulk densities below 10 cm soil depth are assumed equal to value of bulk density at 11 - 20 cm depth.

^xNot included in the net primary productivity (NPP) calculation according to Tier 3 approach of 2006 IPCC guidelines.

가스 감축에 기여하는 바는 더 클 것으로 기대할 수 있다.

본 연구는 1년동안의 시비에 따른 배나무 수체와 토양에 저장되는 탄소와 질소량의 변화를 조사하였다. 당해 년도의 토양 탄소 저장량은 155.7Mg, 질소 저장량은 14.0Mg이었으며, 재식밀도당 배나무 수체에 저장된 탄소량은 17.8Mg·ha⁻¹, 질소량은 0.2Mg·ha⁻¹였다. 이러한 결과는 2012년도의 결과 (Lee et al., 2013)와 비교하면, 배 과수원의 탄소 저장량은 17.7Mg·ha⁻¹ 증가한 반면, 질소저장량(0.66Mg·ha⁻¹)은 큰 변화가 없었다.

하지만 앞으로 IPCC 2006 지침에 의거한 Tier 3 단계에의 적용과 향후 온실가스 감축을 위한 데이터 베이스 구축에 다년생 과수의 경우 주요 탄소 저장 부위(Table 6)인 과일과 잎의 관리 방안도 함께 장기적으로 고려해야 할 것을 제시한다.

초 록

IPCC 2006 지침에서 제시한 Tier 3 수준에 맞게 배나무 과수원의 온실가스 저장량을 산정하기 위하여, ‘신고(*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. *Niitaka*)’ 배 재배지를 대상으로 1년 시비에 따른 과수와 재배지 토양의 총 탄소와 질소 저장량을 평가하였다. 이를 위해 전라남도 나주에 위치한 농촌진흥청 배시험장 재배포장에서 5.0 × 3.0으로 재식된 Y수형의 16년생 ‘신고’배에 질소와 인, 칼륨비료를 각각 200kg N·ha⁻¹, 130kg P·ha⁻¹, 180kg K·ha⁻¹ 시비하였다.

2013년 8월, 배나무 수체와 토양의 총탄소와 질소 함량을 평가하기 위해 샘플을 채취하였다. 과수는 굴취하여 주간,

주지, 측지, 잎, 과일, 뿌리로 분류하여, 총탄소와 질소 함량, 건중량을 조사하였다. 토양은 과수 주간으로부터 약 0.5m 떨어진 지점에서 0.6cm 깊이까지 0.1m 간격으로 토양을 채취하여, 풍건한 뒤 2mm체에 통과시킨 시료를 채취하여 총탄소와 질소 함량을 분석하였다. 나무 한 그루당 건중량은 주간은 5.6kg, 주지는 12.0kg, 측지는 15.7kg, 잎은 5.7kg, 과일은 9.8kg, 뿌리가 10.5kg 이었다. 나무 한 그루당 총탄소와 질소 함량은 주간에서 2.6C kg, 0.02N kg였고, 주지는 5.5C kg, 0.04N kg, 측지는 7.2C kg, 0.07N kg, 잎은 2.6C kg, 0.11N kg, 과일은 4.0C kg, 0.03N kg, 뿌리에서는 4.8C kg, 0.05N kg이었다. 재식밀도(667trees/ha)를 기준으로 산정하였을 때, 토양에 저장되는 탄소량은 155.7Mg, 질소량은 14.0Mg이었으며, 수체에 저장되는 탄소량은 17.8Mg·ha⁻¹, 질소량은 0.2Mg·ha⁻¹이었다. 따라서 배나무 재배지 내에 저장되는 총탄소량은 173.6Mg였으며, 질소량은 14.2Mg이었다. 이를 작년 2012년 결과와 비교하였을 때, 1년 시비 결과 배 과수원의 탄소 저장량은 17.7Mg·ha⁻¹ 증가하였으나, 질소 저장량은 변화가 거의 없었다(0.66Mg·ha⁻¹).

추가 주요어 : 탄소 격리량, 비료 시비, IPCC 2006 guideline, 순 1차 생산량, 배 재배지

인용문헌

Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. p. 545-567. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement

- and sampling. Soil Sci. Soc. Am.
- Field, C. 1983. Allocating leaf nitrogen for the maximization of carbon gain: Leaf age as a control on the allocation program. *Oecologia* 56:341-347.
- Hopkins, W.G. and N.P.A. Huner. 2008. Introduction to plant physiology. 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., Marblehead, MA, U.S.A.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan.
- Korean Statistical Information Service (KOSIS). 2010. Agr. Area Survey. www.kosis.kr.
- Kozlowski, T.T. 1964. Shoot growth in woody plants. *Bot. Rev.* 30:335-392.
- Kim, S.D., W. Kim, N. Liang, and G. Inoue. 2005. CO₂ sink assessments for long-term monitoring in a cool-temperate deciduous forest in Korea. Asia Flux Workshop 2005 proceedings. p. 28.
- Lee, C.H., S.Y. Kim, C.Y. Park, K.Y. Jung, and P.J. Kim. 2010. Effects of long-term fertilization on carbon and nitrogen sequestration in mono-rice paddy soil. *Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* p. 287-288. (Abstr.)
- Lee, J.S., S. Shu, Y. Min, C. Chae, J. Kim, J. Gu, R. Park, Y. Shon, and J. Lim. 2005. Carbon budget in temperate deciduous forest in Gwangneung. *Kor. Soc. Agric. For. Meteorol.* 2:15-18.
- Lee, J.T., G.Y. Kim, H.H. Kim, and H.H. Seo. 2008. Estimation of the net ecosystem productivity and net primary productivity of apple orchard in Korea, p. 1-135. Study on carbon sink agricultural sector regarding to UNFCCC. RDA, Suwon, Korea.
- Lee, T.K., J.J. Choi, J.S. Kim, H.C. Lee, and H.M. Ro. 2013. Carbon and nitrogen stocks of trees and soils in a 'Niitaka' pear orchard. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 31:828-832.
- Lim S.S., K.S. Lee, B.J. Jeon, S.I. Lee, J.H. Ham, H.Y. Kim, W.J. Choi. 2012. Carbon sequestration potential in rice paddy with the application of chemical fertilizer, green manure, and livestock manure compost. *Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* p. 73-74. (Abstr.)
- NIHHS. 2011. Pear growing techniques. Natl. Inst. of Hort. & Herbal Sci., RDA, Suwon, Korea.
- Niinemets, U. 1997. Distribution patterns of foliar carbon and nitrogen as affected by tree dimensions and relative light conditions in the canopy of *Picea abies*. *Trees* 11:144-154.
- Perring, M.A. 1984. Redistribution of minerals in apple fruit during storage. Preliminary investigations with the variety Spartan. *J. Sci. Food Agric.* 35:182-190.
- Pyo, J.H., S.U. Kim, H.T. Mun. 2003. A Study on the Carbon Budget in *Pinus koreansis* Plantation. *Kor. J. Ecol.* 26:129-134.
- Rouhier, H., G. Billes, A. Kohen, M. Mousseau, and P. Bottner. 1994. Effect of elevated CO₂ on carbon and nitrogen distribution within a tree (*Castanea sativa* Mill.) - Soil system. *Plant Soil.* 162:281-292.
- Ro, H.M. and J.M. Park. 2000. Nitrogen requirements and vegetative growth of pot-lysimeter-grown 'Fuji' apple trees fertilized by drip irrigation with three nitrogen rates. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 75:237-242.
- Rural Development Administration (RDA). 2000. Standard farming manual, pearl cultivation. RDA, Suwon, Korea.
- SAS INSTITUTE (1988). SAS/STAT Guide for Personal Computers. Release 6.03 Edition. SAS Inst., Inc., Cary, NC, USA. 1-441.
- Wilson, B.F. 2000. Apical control of branch growth and angle in woody plants. *Am. J. Bot.* 87:601-607.