한국토양비료학회지 제 41권 6호
Korean J. Soil Sci. Fert. Vol. 41, No. 6, 408-414 (2008)

연구보문

보리-고추와 보리-콩 작부체계에서 이산화탄소수지 평가

김건엽* · 서상욱 · 고병구 · 정현철 · 노기안 · 심교문

농촌진흥청 국립농업과학원

Evaluation of CO_2 Balance in the Barley-Red Pepper and Barley-Soybean Cropping System

Gun-Yeob Kim,* Sang-Uk Suh, Byung-Gu Ko, Hyun-Cheol Jeong, Kee-An Roh, and Kyo-Moon Shim

National Academy of Agricultural Science(NAAS), RDA, Suin-ro 150, Gwonseon-gu, Suwon-si 441-707, Korea

Importance of climate change and its impact on agriculture and environment has increased with the rise Green House Gases (GHGs) concentration in the atmosphere. To slow down the speed of climate change many efforts have been applied in industrial sectors to reduce GHGs emission and to enhance carbon storage. In agricultural sector, many researches have been performed on GHGs emission reduction, but few on the role of carbon sink. In this study, we investigated carbon balance and soil carbon storage in agricultural field in the barley-red pepper and barley-soybean cropping system. With the system for automatic measuring of carbon dioxide, net ecosystem production(NEP) was estimated to be 6.3 ton CO_2 ha-1 for N-P-K chemical fertilizer treatment plot and 10.6 ton CO_2 ha^{-1} for N-P-K chemical fertilizer with swine manure treatment plot in the barley-soybean rotation cropping. In the barley-red pepper rotation cropping, it was 12.0 ton CO_2 ha^{-1} for N-P-K chemical fertilizer treatment plot and 13.2 ton CO_2 ha^{-1} for N-P-K chemical fertilizer with swine manure treatment plot. Soil carbon storage rate was estimated to be 0.7 ton C ha^{-1} for the barley-soybean cropping system and 0.5 ton C ha^{-1} for barley-pepper cropping system. In appeared that agricultural lands may contribute to the greenhouse effect as a potential carbon sink preserving carbon into soil.

Key words: Carbon Cycle, Soil Organic Carbon(SOC), Soil Respiration(SR), Net Primary Production(NPP), Net Ecosystem Production(NEP).

서 언

농업생태계에서 토양과 작물은 토양호흡과 작물의 생장을 통해 상당량의 탄소를 저장 또는 배출하고 있다(Schlesinger, 2000). 따라서 작물 생산량과 토양 호흡량 그리고 양분의 시비량에 따른 탄소 수지의 계절별 일변화의 정확한 측정은 경작지에서 대기로 배출되는 탄소 수지를 구명하는 데 있어서 매우 중요하다. 그러므로 토양수분과 토양온도 그리고 토양 유기물 등 이산화탄소 발생에 영향을 미치는 요소들의 변화에 대한 이해도 중요하다(Suh 등, 2006). 작물 군락의 이산화탄소 플럭스는 작물 군락의 광합성과 토양 호흡에 의하여 결정(IACGEC, 1996)되고, 토양에서 교환되는 이산화탄소는 식물의 뿌리호흡과 미생물에 의해 영향을 받으며, 그밖에 빗물 등 주변 환경에 의해 직접적으로 영향을 받을 수 있다(LI-COR, 1997). 그리고 이를 조절하는 주요 인자는 토양 온도, 토양 수분 그리고 유기물 함량이다(Kim 등, 2006; Fang 등, 1998).

토양은 대기 중에 존재하는 온실가스 중 이산화탄소의 주요 저장고로서 지구온난화를 완화할 수 있는 기능이 있고, 유입된 오염원에 대한 수권 · 대기권으로의 이동을 제한하며, 지하 대수층과 대기 사이의 완충지 역할을 한다(Ok 등, 2002). 토양의 탄소 저장 능력은 토양의 종류, 이화학적 특성, 이용 형태 그리고 재배 작물의 종류에 따라 다양하게 변화하므로 이러한 차이에 대한 세부적인 연구가 필요하다. 특히, 우리나라 농경지 토양과 식물의 종류에 따른 탄소의 저장량을 구명하는 연구는 그 유용성을 고려할 때 매우 시급하다(양 등, 2003).

지금까지 탄소수지 연구는 국내의 경우 산림에 국한되어 진행되었으며, 생태계 내에 존재하는 임목의 바이오매스와 이산화탄소 저감, 특정 지역 토양과 식물

접 수 : 2008. 10. 6 수 리 : 2008. 12. 7
*연락저자 : Phone: +82312900240,
E-mail: gykim@rda.go.kr

의 이산화탄소 발생량 추정 등의 소규모 연구에 국한되어 있어(Son 등, 1996), 국가적인 차원에서 더 큰 규모로 이산화탄소 발생량을 예측할 수 있는 기술의 개발과 자료의 축적이 시급한 실정이다. 특히, 농경지에서 탄소순환 연구는 찾아보기 어려울 뿐만 아니라 농경지의 생태계에서 토양의 탄소 배출과 작물의 탄소 고정 그리고 토양의 탄소 저장에 대한 종합적인 탄소순환에 관련한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 보리-고추와 보리-콩 작부체계에서 화학비료, 화학비료+돈분퇴비 시용시 탄소수지 및 토양 유기탄소 저장에 대한 종합적인 평가를 통해 농경지 탄소에 대한 기초연구로서 실시하였다.

재료 및 방법

재배 및 처리내용 본시험은 수원시에 위치한 국립농업과학원의 시험 포장에서 수행하였다. 시험 토양은 고평통 식양토 (37°15′ 27.68″ N, 126°59′ 16.0″5 E)에서 pH는 5.8, 유기물함량은 18.3 g kg-1로서 특성은 표 1과 같고 농촌진흥청 토양화학 분석법 (NIAST, 1988)에 준하였다.

보리는 2004 겨울~2007년 봄까지 3년 동안 재배하였고, 보리-콩과 보리-고추는 2005~2006년 2년 동안 재배하였다. 보리(팔도보리) 파종은 2004~2006년에 각 각 10월 26일, 10월26일, 10월27일에 파종하여 6월 20일경에 수확하였다. 보리-콩(대풍콩) 작부체계에서 보리는 2005년 11월 5일 파종하여 2006년 6월 21일경에 수확하였고, 콩은 6월 28일 파종하여 10월 30일경에 수확하였다. 보리-고추 작부체계의 경우 (2005~2006년), 보리는 11월 5일에 파종하여 5월 20일에 예취하였고, 고추(마니따)는 2월 19일 파종하고 5월 22일에 정식하여 9월 25일에 수확하였다. 시험구 면적은 7.2 ㎡이였으며, 완전임의배치 3반복으로 하였다.

시비는 작물별로 NPK처리구와 NPK+돈분퇴비를 처리하였는데 NPK 시비량 보리는 N-P_2O_5-K_2O 94-75-40 kg ha^{-1}, 콩은 32-33-37 kg ha^{-1} 그리고 고추는 190-112-149 kg ha^{-1}이었으며 NPK+돈분 퇴비 처리구에서는 작물별로 NPK 처리에 돈분 퇴비를 각 15, 12, 20 톤 ha^{-1}을 시용하였다.

토양의 총 탄소분석을 위하여 작물의 뿌리 근처 20 ㎝ 깊이에서 토양시료를 3반복으로 채취하였으며, 풍건 후 지름 250 ㎛ 체에 통과시킨 토양시료를 원소분석기(CHN-1000, Leco 502-602)로 분석하였다. 그리고 토양 CO_2 배출 및 작물 생태계 순 생산량 (Net Ecosystem Production, NEP)을 구하기 위하여 CO_2 정량분석은 NDIR(Non-dispersive Infrared)방식으로 모델 300E/EM (미국 Teledyne 社)으로 분석 하였다.

토양 CO_2 측정 토양에서 배출되는 CO_2량을 측정하기 위하여 Suh 등 (2006)의 자동개폐 챔버 (automatic opening-closing chamber) 방법을 이용하여 측정하였다(사진 1). 토양에 설치된 자동개폐 챔버 (0.2×0.3×0.8 m, 길이 폭 높이)는 8각형의 형태로서 양 끝에는 자동이동식 측정 장치와 유사한 대기 주입구와 대기 배출구가 설치되어 주입구와 배출구에서의 CO_2 농도차이를 통해 토양에서 발생하는 CO_2 플럭스를 측정하였다.

Photo. 1. Automatic chamber system for collecting CO_2 in soil.

CO_2 순 생산량(NEP)은 다음과 같이 계산 하였다.

NEP = NPP* - SR

[*NPP(NPP = NEP + SR)는 추정하여 계산함]

위의 식에서 NEP는 작물체의 순 생산량이고, NPP (Net Primary Production)는 순 1차 생산량이며, 토양호흡량 (Soil Respiration: SR)은 토양 CO_2 배출량이다. 뿌리호흡량 (Root Respiration: RR)은 작물의 지하부 호흡량이며, 타가호흡량 (Heterotrophic Respiration: HR)은 토양미생물과 토양 미소동물의

Table 1. Chemical properties of soil before experiment.

Soil texture	pH	EC	OM	Av.P_2O_5	NH_4-N	NO_3-N	Exch. Cation		
							K	Ca	Na
	1:5 H_2O	dS m^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	---------- $cmol_c$ kg^{-1} ----------		
Clay loam	5.8	0.31	18	150	83.1	83.9	0.6	5.5	1.5

호흡량을 나타낸다.

작물 생태계 순 생산량(Net Ecosystem Production) 측정 보리, 콩 및 고추밭의 NEP를 측정하기 위해 자동측정 장치를 제작하였다. 소규모의 포장 실험에 주로 사용되는 canopy chamber 방법은 플럭스 측정 시 인간에 의한 간섭과 비교적 작은 작물만 chamber 내에 넣어 측정할 수 있다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 wind tunnel 방법인 자동이동식 측정 장치를 고안하여 제작하였다.

자동이동식 측정 장치 (사진 2)는 총 5개의 구간으로 구성되어 있으며, 각 구간은 1.8×4.0 m (챔버 폭×길이) 구간 5개로 구성되어 있으며 윗덮개는 1.8 4.0×1.7 m (챔버 폭×길이 높이) 크기의 덮개가 5개의 구간 위를 이동하게 설치하였다. 윗덮개가 이동하여 하나의 구간을 덮게 되면 윗덮개와 각 구간을 30분씩 밀폐시키고 한쪽 끝단에 있는 대기 주입구를 통해 구간마다 공급되는 대기의 CO_2 농도와 반대편 끝단에 있는 대기 배출구를 통해 배출되는 대기의 CO_2 농도를 측정하여 구간 안에서 CO_2 농도의 변화를 측정하게 된다. 구간별 채취하는 대기의 기체량은 2L이며, 측정 소요시간은 구간 당 30분, 1일 48회 연속으로 보리, 콩 그리고 고추를 수확기까지 측정하였다. CO_2의 양은 아래와 같이 계산하였다.

$$\text{SR 및 NEP } CO_2 \text{ (mg } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}) = \frac{\Delta c\ CO_2(ppm) \times L(\ l\ /\text{min}) \times \rho}{\pi r^2 (m^2)}$$

SR (Soil Respiration): 단위시간당 토양 단위면적에서 발생하는 CO_2양

NEP: 단위 시간과 면적당작물 재배지 생태계에서 소모, 발생한 CO_2의 양

Δc : CO_2 농도변화량

ρ : CO_2 밀도

L : 챔버로 들어가는 분당 공기의 양

결과 및 고찰

보리-콩 작부체계의 이산화탄소 플럭스 변화는 그림 1과 같다. 유묘기간에는 생태계 순 생산량이 150 mg CO_2 m^2 hr^{-1} 미만이었으며, 월동기에는 광합성작용이 활발하지 않아 토양호흡으로 배출되는 부분이 모두 CO_2의 배출량으로 작용하다가 보리의 월동이 끝나고 생육기로 접어들면서 토양호흡도 증가하며 이와 동시에 광합성을 통한 식물체의 CO_2 흡수도 일어나 생태계 순 생산량은 증가하기 시작하였다. 작부체계에 따라 다음 작물인 콩은 6월 22일에 파종한 후, 콩의 영양생장장기 후반 7월 13일 이후부터 생태계 순 생산량이 증가하기 시작하여 생식생장기인 8월 6일경을 기점으로 감소하기 시작하였다.

보리 생육 기간에 토양호흡은 생육재생기인 3월 10일경 후에 증가하였고, 콩에서는 생식생장기로 전환하는 시점에서 감소하기 시작하였다. 보리-콩 작부체계 전 기간에 걸쳐 생태계 순 생산량은 보리보다 콩에서 이산화탄소 축적량이 많았다.

보리-고추 작부체계의 이산화탄소 플럭스 변화는 그림 1과 같이 보리의 생태계 순 생산량 변화와 비슷

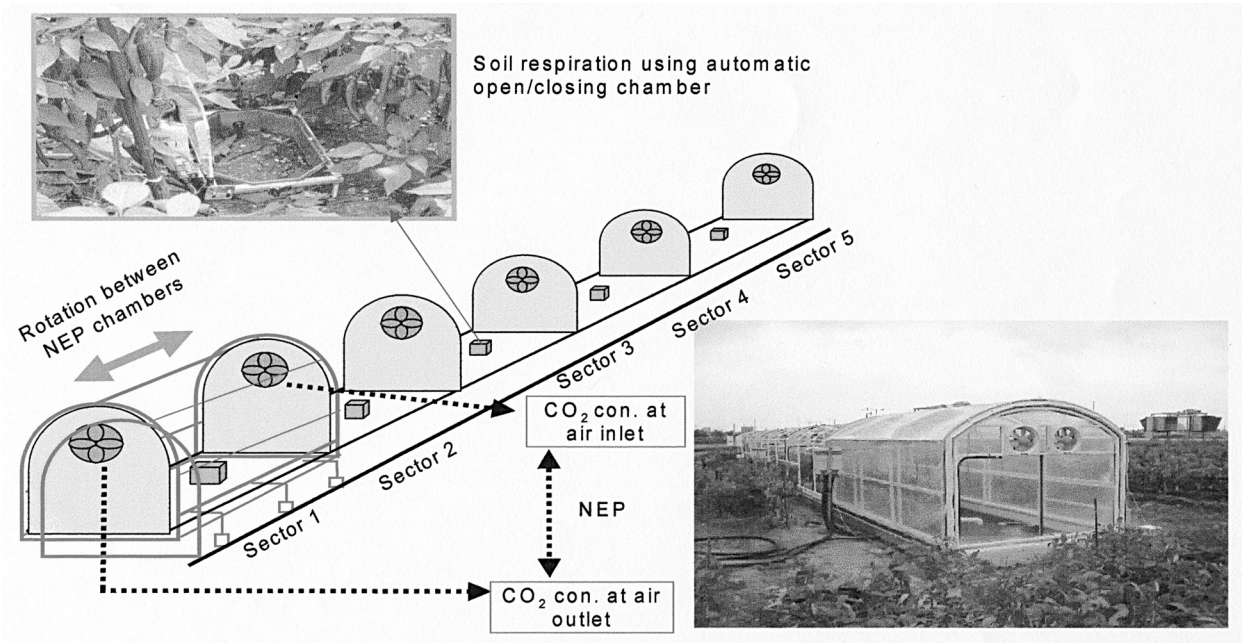

Photo. 2. Schematic drawing of the automatic sliding canopy chamber system.

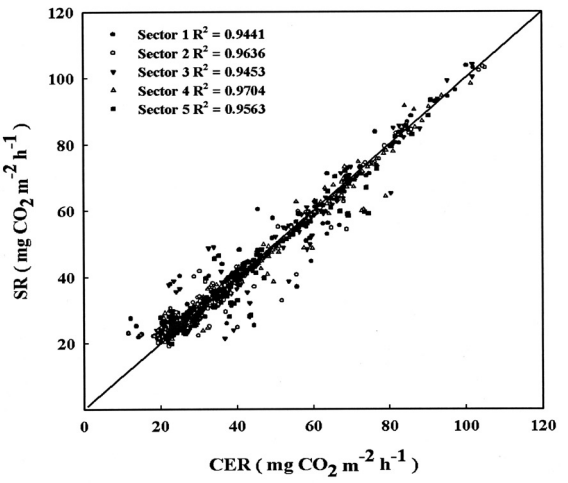

Fig. 1. Relationship between of carbon exchange rate(CER) and soil respiration(SR).

한 경향을 보였다. 고추는 영양생장기 초기부터 생식생장기 초기까지 완만하게 증가하고 이후부터 감소하였다 (그림 2). 이는 고추의 탈엽과 지온의 하강과 관련이 있는 것으로 생각되었다.

토양호흡에 의한 CO_2 배출은 토양수분과는 상관관계가 없고, 오히려 대기온도와 토양온도에서 높은 상관관계가 있다고 하였으며 (Kutsch와 Kappen, 1997; Rochette 등, 1995; Piao 등, 2000), 기온이 10℃씩 증가함에 따라 토양으로부터 배출되는 CO_2량은 1.5~3배 증가한다 (Parada 등, 1983; Norstadt와 porter, 1984)고 하였다. Yunsheng 등 (2004)은 토양 CO_2배출 플럭스가 토양수분 보다 토양온도와 토양 유기물 탄소와 밀접한 관계가 있다고 하였다.

표 2는 보리 생육기간 3년간 CO_2 수지를 분석하였다. 화학비료를 사용한 NPK 처리구 보다 NPK+돈분

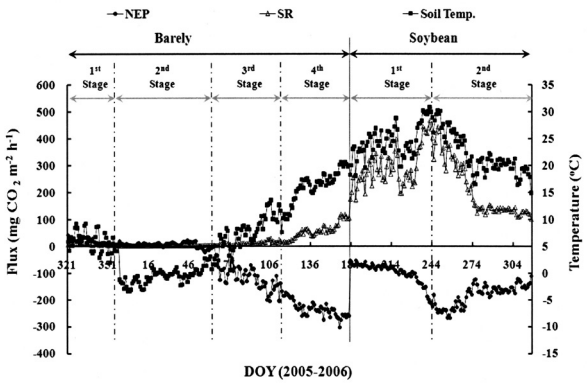

Fig. 2. CO_2 flux changes of barley-soybean rotation cropping ecosystem.

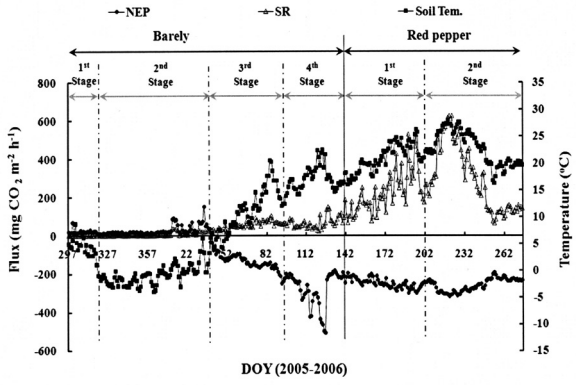

Fig. 3. CO_2 flux changes in barley-red pepper cropping ecosystem.

Table 2. Relationship of Annual carbon dioxide budget with fertilizer treatment at different growth stages during the barley cropping period.

Division		NPK					NPK + Pig manure compost				
		Germination -Seeding stage	Hibernation stage	Growing regeneration -Elongation stage	Ripening stage	Total	Germination -Seeding stage	Hibernation stage	Growing regeneration -Elongation stage	Ripening stage	Total
		---------- ton CO_2 ha^{-1} ----------									
2005	SR†	0.14	0.08	0.41	0.46	1.09	0.16	0.17	0.74	0.50	1.57
	NPP‡	0.48	-0.06	1.49	2.35	4.26	0.42	0	2.56	3.24	6.22
	NEP§	0.34	-0.14	1.08	1.89	3.17	0.26	-0.17	1.82	2.74	4.65
2006	SR	0.08	0.05	0.47	0.42	1.02	0.18	0.04	0.70	0.69	1.61
	NPP	0.25	-0.04	1.48	2.37	4.06	0.43	-0.06	2.03	3.27	5.67
	NEP	0.17	-0.09	1.01	1.95	3.04	0.25	-0.10	1.33	2.58	4.06
2007	SR	0.11	0.05	0.48	0.42	1.06	0.16	0.04	0.64	0.65	1.49
	NPP	0.37	-0.04	1.57	2.41	4.31	0.44	-0.06	2.01	3.39	5.78
	NEP	0.26	-0.09	1.09	1.99	3.25	0.28	-0.10	1.37	2.74	4.29

† SR: Soil respiration, ‡ NPP: Net primary production, § NEP: Net ecosystem production

퇴비 처리구에서 발아 시기부터 월동기까지 토양호흡량과 순 1차 생산량이 많았다. 화학비료를 사용한 NPK 처리구에서 생태계 순 생산량은 평균 3.15 ton CO_2 ha^{-1}이였으며, NPK+돈분 퇴비 처리구에서는 평균 4.33 ton CO_2 ha^{-1}이었다. NPK 처리보다 NPK+돈분 퇴비 처리에서 보리생태계 내 이산화탄소 축적량이 ha당 약 1.2 ton이 많았다.

Sampson 등, (2006) 은 토양에 투입 양분을 20% 줄이면 순 1차 생산량은 6% 그리고 생태계 순 생산량은 19% 감소한다고 하였으며, 토양의 투입양분과 토양호흡 사이에 매우 중요의 관계가 있고, 투입양분에 따라 순 1차 생산량과 생태계 순 생산량도 영향을 미친다고 하였다.

보리-콩 작부체계에서 이산화탄소 수지를 평가하였다 (표 3, 4). 표 3에서 NPK 처리구의 이산화탄소 수지에서 보리 (3.3 ton CO_2 ha^{-1})와 콩 (3.0 ton $CO_2$2 ha^{-1})의 생태계 순 생산량은 차이가 거의 없었으나, 표 4의 NPK+돈분 퇴비 처리구에서 보리 (4.0 ton CO_2 ha^{-1})보다 콩의 생태계 순 생산량이 (6.6 ton CO_2 ha^{-1}) 더 많았다. 이는 보리의 비료 양분이 질소 94 kg ha^{-1}, 돈분 퇴비 15 ton ha^{-1} 그리고 콩은 질소 32 kg ha^{-1}, 돈분 퇴비 20 ton ha^{-1}으로 토양에 투입한 것으로 볼 때, 보리보다 콩 재배가 생태계 순 생산량을 높이는 데에는 효율적이라고 볼 수 있다. 전체 작부기간으로 보면 NPK+돈분 퇴비 처리구에서 NPK 처리구에 비해 생태계 순 생산량이 ha당 4.3 ton이 많았다.

표 5와 표 6에서 보는 바와 같이 보리-고추 작부체계에서 이산화탄소 수지평가에서는 NPK 처리구의 이산화탄소 수지에서 보리와 고추가 각 3.3 ton CO_2 ha^{-1}, 8.7 ton CO_2 ha^{-1}, NPK+돈분퇴비 처리구에서 4.2 ton CO_2 ha^{-1}, 9.6 ton CO_2 ha^{-1}로 생태계 순 생산량이 많은 차이를 보이고 있다.

토양으로부터 양분 투입량은 고추가 질소 190 kg ha^{-1}, 돈분 퇴비 20 ton ha^{-1}로서 보리의 양분 투입량보다 많았으며, 양분 투입량이 많을수록 생태계 순 생산량이 증가한다는 Sampson 등, (2006) 등의 결과와 일치하였다. 전체 작부기간에서 생태계 순 생산량은 NPK+돈분퇴비 처리구에서 NPK 처리구보다 ha당 1.2 ton CO_2 ha^{-1}이 많았다.

표 7에서 토양 유기 탄소 수지는 보리-콩 작부체계에서 ha당 탄소량은 재배 전 토양에서 112 ton, 토양으로부터 투입된 퇴비의 탄소량 7.7 ton 그리고 비료는 1.4 ton이었다. 재배 후 토양의 탄소량 (121.7 ton)에 재배 전 토양, 돈분퇴비 그리고 비료의 투입된 탄소량을 감하면 작물재배 기간이 끝난 토양의 순수 유기 탄소 축적량은 0.7 ton 이였고, 보리-고추의 유기 탄소 축적량은 재배 전 토양으로부터 투입된 탄소량이 123.4 ton 그리고 재배 후 탄소저장량이 124 ton, 토양의 순수 유기 탄소 축적량은 연간 0.5 ton으로 나타났다. 작부체계별로 보면 고추보다 콩의 유기 탄소 축적이 많은 것으로 나타났다.

Table 3. Evaluation of carbon dioxide budget with NPK treatment at different growth stages barley-soybean cropping system.

Division	Barley					Soybean			Total
	Germination -Seeding stage	Hibernation stage	Growing regeneration-Elongation stage	Ripening stage	Total	Vegetative growth stage	Reproductive growth stage	Total	
	---------- ton CO_2 ha^{-1} ----------								
SR	0.1	0.05	0.4	0.3	0.9	0.4	0.5	0.9	1.8
NPP	0.3	-0.04	1.4	2.5	4.2	1.5	2.4	3.9	8.1
NEP	0.2	-0.09	1.0	2.2	3.3	1.1	1.9	3.0	6.3

Table 4. Evaluation of carbon dioxide budget with NPK+pig manure compost at different growth stages in barley-soybean rotation cropping system.

Division	Barley					Soybean			Total
	Germination -Seeding stage	Hibernation stage	Growing regeneration-Elongation stage	Ripening stage	Total	Vegetative growth stage	Reproductive growth stage	Total	
	---------- ton CO_2 ha^{-1} ----------								
SR	0.2	0.04	0.7	0.7	1.6	1.1	1.4	2.5	4.1
NPP	0.4	-0.06	2.0	3.3	5.6	4.3	4.8	9.1	14.7
NEP	0.3	-0.10	1.3	2.6	4.0	3.2	3.4	6.6	10.6

Table 5. Carbon dioxide budget with NPK treatment at different growth stages in barley-red pepper cropping system.

Division	Barley					Red pepper			Total
	Germination -Seeding stage	Hibernation stage	Growing regeneration-Elongation stage	Ripening stage	Total	Vegetative growth stage	Reproductive growth stage	Total	
	ton CO_2 ha^{-1}								
SR	0.1	0.03	0.4	0.4	0.9	3.1	2.2	5.3	6.2
NPP	0.3	-0.04	1.6	2.4	4.2	8.3	5.7	14.0	18.2
NEP	0.2	-0.07	1.2	2.0	3.3	5.2	3.5	8.7	12.0

Table 6. Carbon dioxide budget with NPK+pig manure compost at different growth stages in barley-red pepper rotation cropping system.

Division	Barley					Red pepper			Total
	Germination -Seeding stage	Hibernation stage	Growing regeneration-Elongation stage	Ripening stage	Total	Vegetative growth stage	Reproductive growth stage	Total	
	ton CO_2 ha^{-1}								
SR	0.2	0.04	0.6	0.7	1.5	5.1	3.8	8.9	10.4
NPP	0.4	-0.06	2.0	3.4	5.7	10.5	7.4	17.9	23.6
NEP	0.2	-0.10	1.4	2.7	4.2	5.4	3.6	9.0	13.2

Table 7. Soil organic carbon budget in barley-soybean and barley-red pepper.

(Barley-Soybean)

Division	The amount of carbon input before cultivation ⓐ			The amount of carbon sequestration after cultivation ⓑ	The amount of organic carbon sequestration after barley-soybean cultivation [ⓑ-ⓐ]
	Soil	Pig manure	Fertilizer		
	ton CO_2 ha^{-1}				
Barley	53.26	4.28	0.90	58.70	
Soybean	58.70	3.43	0.45	62.99	
Total	111.96	7.71	1.35	121.69	0.7

(Barley-Red pepper)

Division	The amount of carbon input before cultivation ⓐ			The amount of carbon sequestration after cultivation ⓑ	The amount of organic carbon sequestration after barley-soybean cultivation [ⓑ-ⓐ]
	Soil	Pig manure	Fertilizer		
	ton CO_2 ha^{-1}				
Barley	52.64	4.28	0.90	58.06	
Soybean	58.06	5.71	1.83	65.89	
Total	110.70	9.99	2.73	123.95	0.5

적 요

온실가스의 농도 증가에 따른 지구온난화로 기후변화 및 환경적 영향이 증가하고 있으며, 다른 산업 분야별 온실가스 저감 노력이 계속 되고 있다. 농경지에서 온실가스 배출 저감 및 탄소 수지 연구를 통하여 농업생산 활동이 온실가스를 배출 이외에도 탄소를 고정 또는 축적 기능이 있다는 것을 밝히고자 하였다. 먼저 작물 작부체계에 따른 탄소 수지를 평가하고자 대기 중 이산화탄소 자동측정 장치를 개발하여 CO_2 함량 변화를 조사하였다. 이를 통해 작물 생태계 내에서 보리-콩 및 보리-고추 작부체계의 생태계 순 생산

량이 화학비료를 사용한 NPK 처리구와 돈분 퇴비를 추가한 NPK+돈분 퇴비 처리구를 두고 CO_2 함량을 조사하였다. 보리-콩 작부체계의 NPK 및 NPK+퇴비 처리구는 각 6.3, 10.6 ton CO_2 ha^{-1} 그리고 보리-고추 작부체계에서는 12.0, 13.2 ton CO_2 ha^{-1}이 축적된 것으로 나타났다. 토양 탄소수지 평가에서는 보리-콩 작부체계에서 토양 유기 탄소 축적은 0.7 ton C ha^{-1}, 보리-고추에서 0.5 ton C ha^{-1}이 토양 중에 저장하였다. 이로써 농경지가 탄소 저장원 역할을 하는 것으로 해석할 수 있다.

인 용 문 헌

Fang, C. and J.B. Moncrieff, J.B. 1998. An open-top chamber for measuring soil respiration and the influence of pressure difference on CO_2 efflux measurement. Functional Ecolology. 12:319-325.

Garrity, D.P., C.Y. Sullivan, and D.G. Watts. 1984. Rapidly determining sorghum canopy photosysthetic rates with a mobile field chamber. Agron J. 76:163-165.

Held, A.A., P. Steduto, F. Oegaz, A. Matista, and T.C. Hsiao. 1990. Bowen-ratio/ energy-balance technique for estimating crop net CO_2 assimilation, and comparison with a canopy-chamber. Theor Appl Climatol. 42:201-213.

Koizumi H., M. Kontturi, S. Mariko, T. Nakadai, Y. Bekku and T. Mela. 1999. Soil Respiration in three soil types in agricultural ecosystems in Finland. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science. 49:65-74.

Inter-Agency Committee on Global Environmental Change. 1996. UK National Strategy for GER. Report of Expert Panel.

Kim, G.Y., B.H. Song, B.K. Hyun, K.M. Shim, 2006. Predicting N_2O emission from upland cultivated with pepper through related soil parameters. 39:253-258.

Kutsch, W. and L. Kappen, 1997. Aspects of carbon and nitrogen cycling in soils of the BornHoved Lake district-II:modelling the influence of temperature increase on soil respiration and organic carbon content in arable soils under different management. Biogeochemistry. 39:207-224.

LI-COR, inc. 6400-09 Soil Flux Chamber Instruction Manual. 1997.

NIAST(National Institute of Agricultural Science and Technology)(1988), Methods of Soil Chemical Analysis. Sam-Mi press, 20-214.

Norstadt, Fred A., Lynn K. Porter, 1984. Soil gases and temperatures: a beef cattle feedlot compared to alfalfa, Soil Sci. Soc, Am. J. 48:783-389.

Ok, Y.S., S. Lim, and J.G. Kim. 2002. Electrochemical properties of soils - principles and applications. Life Sci. And Natural Resour. Res. 10:69-84.

Parada, C.B., A. Long, and S.N. Davis. 1983. Stable-isotope composition of soil carbon dioxide in the Tucson Basin, Arizona, U.S.A. Isotope geoscience. 1:219-236.

Piao, H.C., Y.Y. Wu, Y.T. Hong, and Z.Y. Yuan. 2000. Soil-released carbon dioxide from microbial biomass carbon in the cultivated soils of karst areas of southwest China. Biol. Fertil. Soils. 31:422-426.

Rochette, P., R.L. Desjardins, E. Pattey, and R. Lessard. 1995. Crop net carbon dioxide exchange rate and radiation use efficiency in soybean. Agron. J. 87:22-28.

Sampson, D.A., R.H. Waring, C.A. Maier, C.M. Gough, M.J. Ducey, K.H. Johnsen. 2006. Fertilization effects on forest carbon storage and exchange and net primary production: A new hybrid process model for stand management. Frest Ecology and Management. 221:91-109.

Schlesinger, W. H. 2000. Carbon sequestration in soils: some caution amidst optimism, Agriculture, Ecosystem and Environment. 82:121-127.

Son, Y., G. Lee and J.Y. Hong. 1994. Soil carbon dioxide evolution in three deciduous tree plantations. J. Kor. Soc. Soil Sic. Fertil. 27:290-295.

Suh, S. U., Y. M. Chun, N. Y. Chae, J. Kim, J. H. Lim, M. Yokozawa, M. S. Lee, and J. S. Lee. 2006. A chamber system with automatic opening and closing for continuously measuring soil respiration based on an open-flow dynamic method. Ecol Res. 21:405-414.

Lou Yunsheng, Z. Li, T. Zhang and Y. Liang. 2004. CO2 emissions from subtropical arable soils of China. Soil Biology and Biochemistry. 36:1835-1842.

Yang, S.Y., S.S Lim, and Y.S Cho. 2007. Kyoto Mechanisms, CDM Project, Economics Opportunities, Agricultural Policies. Korea Association of Livestock Management