

우리나라 주요 작물의 탄소 고정량 산출

김건엽* · 고병구 · 정현철 · 노기안 · 심교문 · 이정택 · 이덕배 · 홍석영 · 권순익

농촌진흥청 국립농업과학원

Estimating Carbon Fixation of 14 Crops in Korea

Gun-Yeob Kim,* Byong-Gu Ko, Hyun-Cheol Jeong, Kee-An Roh, Kyo-Moon Shim,
Jeong-Taek Lee, Deog-Bae Lee, Suk-Young Hong, Soon-Ik Kwon

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

Carbon fixation and density of crops are important to estimate carbon uptake or emission by agricultural production activities and to establish life cycle inventory of crops for assessment of climate change impact. In this study, regional carbon fixation and density in each part of 14 crops, harvest index, and ratio of aboveground to underground were investigated to estimate biomass of 14 crops in Korea by using agricultural statistics data. Biomass yield of potato was 16.5 ton ha⁻¹, which was the highest, and those of rice, sweet potato, and garlic were 10.5 ton ha⁻¹, 8.7 ton ha⁻¹, and 7.5 ton ha⁻¹ respectively. Biomass yield of Green onion was the lowest as 2.8 ton ha⁻¹. Carbon density of 14 crops were in the order of potato (6.4 ton ha⁻¹), rice (4.2 ton ha⁻¹), sweet potato (3.4 ton ha⁻¹), rape (2.9 ton ha⁻¹) and garlic (2.8 ton ha⁻¹). Regional distribution of carbon contents for each crop mapped revealed that carbon fixation of rice, soybean, sesame, garlic, and green onion were the highest in Jeonnam province, barley, red pepper, and watermelon in Gyeongnam and perilla in Chungnam, peanut in Gyeongbuk, rape and carrot in Jeju, sweet potato in Gyeonggi, potato in Gangwon. The results can be applied for assessing life cycle inventory of crops and crop productivity using remotely sensed data.

Key words: Carbon fixation, Carbon density, Agricultural statistics

서 언

대기 중 이산화탄소 농도는 토지이용 방법과 화석연료 사용 빈도에 따라서 달라진다. 최근 화석연료의 과다사용과 도시지역 확대 및 산림과 농경지의 잠식에 수반되는 생태계의 식생피복 변화로 대기 중 이산화탄소는 계속 증가하고 있다 (Bruce 등, 1998). 최근 연구 결과에 의하면 지난 1990년대 이후로 주요 온실가스인 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O) 그리고 염화불화탄소(CFCs)가 전체 온실가스의 97%를 차지하고 있다고 한다 (IPCC, 1995, 2001). 이 중에 이산화탄소는 1990년을 기준으로 2006년까지 증가된 온실가스의 80% 이상을 차지하고 있는 것으로 나타났다 (Hutchinson 등, 2007). 염화불화탄소와 같은 온실가스는 줄어들고 있는 반면에 이산화탄소는 증가 추세에 있기 때문에 이를 줄이기 위한 노력이 절실하게 요구된다 (Desjardins 등, 2005).

온실가스인 이산화탄소의 감축을 위한 연구로 이산

화탄소가 대기권으로부터 육상생태계로 유입·유출되는 양에 대한 정량적 평가에 대한 관심이 고조되고 있다. 또한 이산화탄소는 작물의 광합성작용에 의해서 유기탄소 형태로 바뀌어 작물의 조직이나 기관을 구성하고 있다 (Desjardins 등, 2005; Thomson 등, 2006). 이러한 유기탄소는 작물생육기간 중에는 살아있는 작물의 형태로, 그리고 수확을 하거나 수명을 다하면 소각하거나 또는 잔사로서 농경지에 존재하게 된다. 탄소 고정량은 작물별로 광합성능력, 토양관리나 재배 방법의 차이에 의해서 달라진다 (Cambell 등, 2005; Gregorich 등, 2005). Marrakesh 합의문 (The marrakesh accords and the marrakesh declaration, 2001)에 의하면 산림 활동에 따른 온실가스 순 흡수량을 탄소배출권으로 인정하였으나, 농작물의 경우는 아직 인정받지 못하고 있다 (IPCC, 2001). 그러나 작물의 탄소 고정량은 농경지에서 탄소수지 (Follett 등, 2001), 토양 유기탄소 축적량, 잔사 소각으로 인한 대기 오염 평가 및 작물의 전 과정 목록(Life Cycle Inventory: LCI) 작성에서 수확지수 이용 등 농업의 탄소 평가를 위한 기초 자료로 이용할 수 있다.

접수 : 2009. 10. 10 수리 : 2009. 12. 28

*연락처 : Phone: +82312900240,

E-mail: gykim@rda.go.kr

본 연구에서는 5년 동안 시험포장과 현지농가 시험을 통하여 14개 작물에 대한 부위별 탄소량, 작물 수확지수와 지상/지하부 비율을 산출하고 작물의 바이오매스량을 추정하였다. 또한 농림통계연보의 농작물 재배면적과 수확량을 이용하여 우리나라 시·도별 작물의 탄소량을 파악하고 농업의 탄소 관리에 필요한 기초 자료를 제공하는 것을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

농경지의 바이오매스 생산량과 14개 작물의 부위별 탄소 고정량을 분석하여 산출한 결과를 농림수산식품부 농림통계연보의 작물재배면적과 생산량에 대해 2002~2006년 5년 평균자료를 적용하여 국내 재배 작물의 탄소 고정량을 산출하였다.

시험지 개황 농경지의 바이오매스 생산량과 작물의 부위별 탄소 고정량의 조사·분석을 위하여 2003년부터 2007년까지 경기도 수원시 농촌진흥청 국립농업과학원 연구포장(37° 15' 22"N, 126° 59' 24.5"E)에서 시험을 실시하였다. 시험구 면적은 24 m 13 m이며, 토양은 식양토이며 신답통에 속한다. 시험지의 기후는 연평균 기온이 11.6°C, 연평균 강수량은 1,267.9 mm, 상대 습도는 72.2%, 일사량은 11.78 Mj m⁻²로 온대기후에 속한다.

농작물별 부위별 탄소 고정량 평가 벼 등 14개 주요작물(보리, 콩, 참깨, 들깨, 유채, 고추, 수박, 감자, 고구마, 당근, 마늘, 대파 및 땅콩)을 대상으로 작물의 부위별 탄소고정량을 분석하기 위해 국립농업과학원 시험포장에서 2003년부터 2007년까지 시험을 수행하였다. 이 중 유채, 마늘, 대파를 제외한 11개 작물은 작물별 완전 임의배치법으로 시험포장에서 재배하였으며, 유채, 마늘, 대파는 지역 농가포장에서 재배된 시료를 채취하여 바이오매스 생산량을 조사하였다. 작물의 총 바이오매스는,

- 수확지수 (Donald와 Hamblin, 1976)
- =식용부분 건물생산량/총 건물생산량-----①
- 뿌리부분을 제외한 바이오매스 생산량
- =식용부분의 건물량/수확지수-----②
- 뿌리 바이오매스
- =뿌리 부분 제외한 바이오매스÷(지상부/지하부 건물중)----③
- 총 바이오매스
- =(식용부분 건물생산량÷수확지수)+뿌리부분 바이오매스---④

로 계산하였다. 경, 엽 등 작물 부위별 탄소 고정량은 작물 시료를 3만복으로 채취하여 원소분석기(CHN-

1000, Leco 502-602)로 탄소 고정량을 분석하여 각 작물별로 3년간의 평균을 산출하였다. 작물 부위별 탄소량은,

$$\text{작물의 부위별 건물량} \times \text{작물} \times \text{부위별 탄소 고정량} \text{-----} \text{⑤}$$

으로 환산하였다.

지역별 재배 작물의 부위별 탄소 고정량 산정 재배작물별 탄소 고정량을 평가하기 위해서 국내 작물별 농작물 재배면적 및 식용부분 생산량 현황조사 농림수산식품부의 농림통계연보 (2002~2006년)를 사용하였다.

지상부 바이오매스 생산량은 (식용부분 건물생산량/수확지수)×지상/지하부 비율을 구하였다. 주요 작물 부위별 건물중은 시험재배를 통하여 얻은 자료 (14개 작물)을 사용하였다. 수확지수는 총건물중에 대한 경제적인부분 즉 식용부분의 비율로 나타내었다. 지하부 바이오매스 생산량=지상부 건물생산량/(지상/지하부 비율)으로 산출하였다. 그리고 총 바이오매스 생산량은 지상부와 지하부의 바이오매스 생산량을 합한 것으로 하였다.

탄소 고정량은 생산된 바이오매스 중 부위별로 탄소 고정량을 계산하여 각각 농작물재배 지역별로 탄소 고정량을 산정하였다.

결과 및 고찰

2002~2006년까지 5년 동안 벼 등 14개 작물의 국내 바이오매스 생산량은 표 1과 같다. 농작물의 재배면적은 곡류인 벼가 987,179 ha로 가장 넓고, 콩 88,438 ha, 고추 66,796 ha, 참깨 35,221 ha, 마늘 31,378 ha, 들깨 26,033 ha, 감자 25,344 ha, 수박 22,953 ha, 대파 13,723 ha, 땅콩 3,868 ha 순이었고, 유채가 914 ha로 가장 적었다. 작물 종류별 ha 당 생산량은 당근 38.5 톤, 수박 36.0 톤, 대파 29.1 톤, 감자 26.3 톤, 우리나라 주곡인 벼가 4.8 톤이었다.

작물별 총 바이오매스 생산량을 추정하기 위하여 수분함량, 수확지수, 지상·지하부 비율을 구한 결과는 표 2와 같다. 곡류의 수분함량은 14~15%였고, 유지류는 5~10%였으며, 채소 및 서류는 70% 이상이었다.

국내 농작물 생산량에서 수분량을 고려하여 구한 건물생산량은 ha 당 감자가 16.5 톤으로 가장 많았고, 벼 10.5 톤, 고구마 8.7 톤, 마늘 7.5 톤 순이었고, 대파가 2.8 톤으로 가장 적었다. 3년 동안 시험포장에서 재배를 통하여 산출한 수확지수는 벼, 보리, 콩 등 곡류에서는 0.44~0.49였고, 참깨, 들깨, 땅콩, 유채 등

Table 1. Agricultural statistics of 14 crops for 5 years (2002~2006) in Korea.

Crops	Cultivation area	Production	Production
	ha	ton ha ⁻¹	ton
Rice	987,179	4.8	4,732,062
Barely	9,064	2.5	22,754
Soybean	88,438	1.6	139,658
Sesame	35,221	0.5	19,122
Perilla	26,033	0.8	20,455
Peanut	3,868	2.0	7,921
Rape	914	1.1	1,045
Sweet potato	15,861	18.9	299,808
Potato	25,344	26.3	666,494
Carrot	3,050	38.5	117,720
Garlic	31,378	11.7	367,502
Green onion	13,723	29.1	399,020
Red pepper	66,796	5.7	377,974
Watermelon	22,953	36.0	825,970

유료작물은 0.1~0.37이었으며, 과채류의 수박과 고추는 각각 0.85와 0.28로 차이가 아주 컸다. 서류작물인 고구마와 감자는 0.85~0.89, 당근, 마늘 그리고 대파 등 기타 채소류는 0.7 이상이였다.

각 작물별 수확지수는 뿌리부분을 제외한 바이오매스 생산량을 파악하기 위하여 구하였다. 대파가 0.9로 가장 높고 고구마는 0.89, 감자와 수박이 0.85, 그리고 참깨 0.15, 들깨는 0.1로 가장 낮았다.

지상부/지하부 비율은 작물 종류별로 차이가 컸다. 수박은 지상부/지하부 비율이 331로 전체 바이오매스 중에 뿌리가 차지하는 비율이 낮았으며 반대로 마늘은 0.35로 뿌리의 비율이 높았다. 서류인 감자와 고구마는 그 비율이 각각 0.84와 1.30으로 나타났다.

채배작물별 총 바이오매스 생산량은 감자가 16.5 톤

으로 가장 많았으며, 벼 10.5 톤, 고구마 8.7 톤, 마늘 7.5 톤 그리고 유채 6.2 톤, 들깨 5.6 톤, 고추 5.5 톤, 땅콩 5.3 톤, 겉보리 5.0 톤, 당근 3.9 톤, 참깨 3.8 톤, 수박 3.0 톤, 콩 2.9 톤, 대파 2.8 톤 순이였다.

작물 부위별 탄소 고정량은 표 3과 같다. 벼, 보리, 콩 등 곡류의 부위별 탄소 고정량은 경·엽에서 37.6~40.5%이었고 뿌리는 31.6~41.9%, 곡실 등 식용부위는 36.8~59.6%로 경·엽과 뿌리보다 높았다. 참깨, 들깨, 땅콩, 유채 등 유료작물의 식용부위 (54.0~59.6%)와 경·엽 부위 (40.0~44.5%)에서 탄소 고정량이 높았다. 고구마와 감자 등 서류는 탄소 고정량이 경·엽 부위에서 37.5~38.3%, 뿌리에서 36.6~39.5%로 나타났다. 농작물의 부위별 탄소 고정량은 전반적으로 수확대상이 되는 식용부분이 경·엽과 뿌리 부

Table 2. Total biomass of 14 crops in Korea (2002~2006).

Crops	Water content	Harvest Index	Ratio of aboveground to underground	Biomass			Total biomass
				Grain	Stem & leaves	Root	
				----- ton ha ⁻¹ -----			
Rice	15	0.490	3.76	4.1	4.2	2.2	10.5
Barely	14	0.440	34.57	2.2	2.7	0.1	5.0
Soybean	14	0.484	34.98	1.4	1.4	0.1	2.9
Sesame	7	0.147	6.90	0.5	2.9	0.4	3.8
Perilla	5	0.103	3.10	0.7	4.3	0.5	5.6
Peanut	10	0.367	21.04	1.8	3.2	0.2	5.3
Rape	15	0.170	12.50	1.0	4.7	0.5	6.2
Sweet potato	75	0.894	0.84	4.7	4.0	-	8.7
Potato	70	0.847	1.30	7.9	1.4	7.2	16.5
Carrot	91	0.722	0.11	3.5	0.4	-	3.9
Garlic	67	0.697	0.35	3.9	1.9	1.7	7.5
Green onion	92	0.901	8.69	2.4	-	0.3	2.8
Red pepper	73	0.282	73.86	1.5	3.9	0.1	5.5
Watermelon	93	0.847	331.82	2.5	0.5	-	3.0

위보다 높았으며 탄소 고정량은 유지류, 곡실류, 채소류, 서류 순이었다.

식용부위를 제외한 경·엽과 뿌리 등 작물 잔사의 토양 중 분해는 여러 요인이 관여하지만, 작물의 탄소 고정량도 중요한 요인으로 작용한다 (Heal 등, 1997; Silver와 Miya, 2001). 이중 토양에서 뿌리의 분해는 다른 부위의 분해보다 느린 속도로 분해되며, 뿌리의 느린 속도의 분해는 토양 유기탄소 축적에 대한 기여가 가장 크다고 하였다 (Balesdent와 Balabane 등, 1996; Yahai 등, 2003; Puget와 Drinkwater, 2001).

14개 작물의 ha 당 탄소 고정량은 표 4와 같다. ha 당 작물체내 부위별 탄소량은 식용부위에서 감자 3.21톤, 고구마 1.87톤 그리고 벼 1.73톤 그리고 마늘

1.52톤이었고, 경·엽에서는 유채 2.11톤, 들깨 1.81톤, 고추 1.69톤, 고구마 1.52톤, 뿌리는 감자 2.62톤, 땅콩 2.37톤, 벼 0.83톤 순이었다. ha당 총 탄소량은 감자가 6.4톤으로 가장 많았으며, 벼는 4.2톤, 고구마 3.4톤, 유채 2.9톤, 마늘 2.8톤 순으로 나타났다.

세계적으로 농업생산 과정에서 많은 양의 작물잔사가 발생하며, 들판에서 작물잔사 소각은 특히 개발도상국에서 빈번하게 일어난다 (IPCC, 2001). 농경지에서 작물잔사의 소각 비율은 개도국에서 40%로 선진국에서는 이보다 적은 것으로 알려져 있다 (IPCC, 1996). 우리나라 작물별 잔사비율과 잔사소각에 따른 탄소나 질소 중 Non-CO₂ 가스 생성비율 (IPCC,

Table 3. Carbon fixation in each part for 14 crops

Crops	Ratio of carbon composition at each part (%)		
	Stem and leaves	Harvested grain	Root
Rice	37.6	42.5	37.6
Barely	37.7	36.8	31.6
Soybean	40.5	49.2	41.9
Sesame	40.7	56.2	33.6
Perilla	41.7	54.0	23.6
Peanut	40.0	59.6	40.6
Rape	44.5	57.6	40.2
Sweet potato	38.3	-	39.5
Potato	37.5	40.7	36.6
Carrot	33.5	-	36.8
Garlic	36.7	39.2	31.6
Green onion	38.1	-	34.8
Red pepper	43.5	48.6	32.2
Watermelon	33.7	41.9	39.4

Table 4. Carbon density in each part of 14 crops by parts.

Crops	Carbon density			Total
	Grain	Stem and leaves	Root	
----- ton ha ⁻¹ -----				
Rice	1.73	1.59	0.83	4.2
Barely	0.79	1.04	0.04	1.6
Soybean	0.67	0.59	0.03	1.3
Sesame	0.28	1.19	0.12	1.6
Perilla	0.40	1.81	0.12	2.3
Peanut	1.10	1.27	2.37	2.5
Rape	0.56	2.11	0.18	2.9
Sweet potato	1.87	1.52	-	3.4
Potato	3.21	0.53	2.62	6.4
Carrot	1.28	0.13	-	1.4
Garlic	1.52	0.71	0.61	2.8
Green onion	0.93	-	0.11	1.0
Red pepper	0.74	1.69	0.02	2.5
Watermelon	1.06	0.15	-	1.2

1996)과 표 2, 3, 4를 종합하여 작물잔사 소각에 의한 온실가스 배출량을 산출할 수 있다 (IPCC, 2003). 앞으로 잔사 소각으로 인한 대기 오염 평가를 위해 농업의 탄소 평가에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

국내 지역별 14개 작물의 탄소 고정량은 그림 1과 같다. 곡실류에서 작물체내 우리나라 총 탄소고정량은 벼가 총 4,104,442 톤으로 전라남도와 전라북도가 각각 773,791 톤과 630,779 톤으로 많았으며, 제주도가

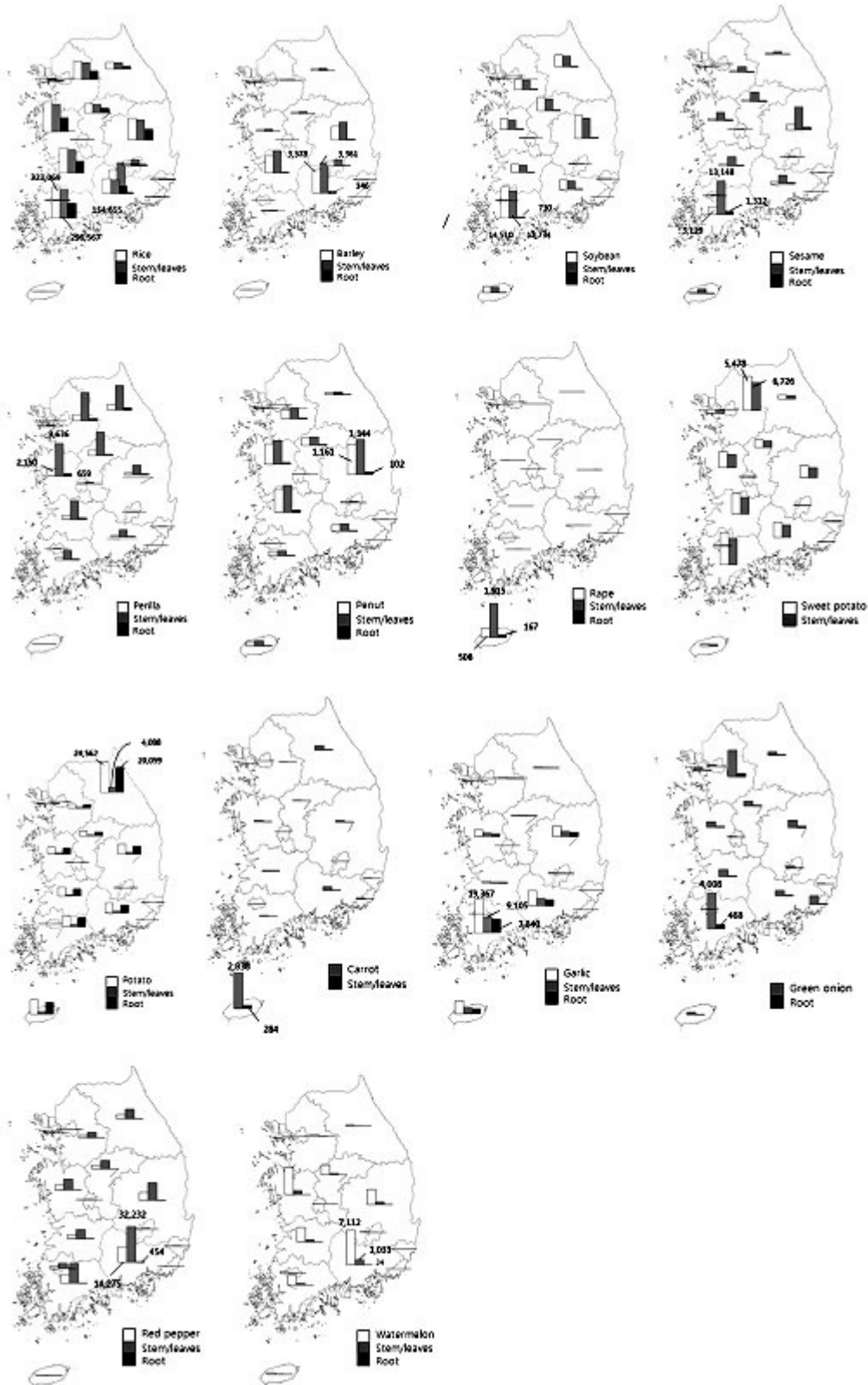


Fig. 1. Carbon fixation (ton) of 14 crops at each province or city in Korea.

634 톤으로 가장 적었다. 걸보리는 총 16,996 톤으로 경상남도가 6,084 톤으로 가장 많았다. 유지류의 작물 체내 우리나라 총 탄소 고정량의 산출 결과, 콩은 총 113,945 톤, 참깨는 총 56,183 톤으로서, 전라남도에서 27,973 톤 (콩), 17,589 톤 (참깨)으로 가장 많았다. 들깨는 총 60,729 톤으로서, 충청남도에서 12,445 톤, 유채는 총 2,611 톤으로서, 제주도에 2,590 톤으로 가장 많았다. 서류인 고구마는 총 53,720 톤으로서, 경기도에서 12,204 톤, 감자는 총 161,385 톤으로서, 강원도에서 48,709 톤, 채소류인 당근은 총 4,289 톤, 제주도에 3,122 톤, 마늘은 총 89,134 톤으로서, 전라남도에서 36,311 톤으로 많았고, 대파는 총 14,260 톤으로서, 전라남도에서 4,475 톤 그리고 고추는 총 164,205 톤, 경남에서 47,261 톤이며, 수박은 총 27,826 톤으로서, 경남에서 8,170 톤으로 가장 많았다.

적 요

2003년부터 2007년까지 5년 동안 국립농업과학원 시험포장에서 벼 등 14개 작물의 수확지수와 작물의 지상/지하부 비율을 산출하여 바이오매스 생산량을 추정하였다. 그리고 작물 부위별 탄소 고정량을 분석하고, 농림수산식품부 농림통계연보의 2002~2006년 작물의 재배면적과 생산량을 5년 평균한 통계 값을 이용하여 국내 재배 작물의 탄소 고정량을 산출하였다. 이와 같이 작물의 탄소 고정량을 통해 농경지에서 탄소 수지, 토양 유기탄소 축적량 그리고 잔사 소각으로 인한 대기 오염 평가 등을 위해 농업의 탄소관리에 필요한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

본 시험의 연구 결과, ha 당 작물별 총 바이오매스 생산량은 감자가 16.5 톤으로 가장 많았고, 벼 10.5 톤, 고구마 8.7 톤, 마늘 7.5 톤 이었고, 대파가 2.8 톤으로 가장 적었다. 수확지수는 벼, 보리, 콩 등 곡류에서 0.44~0.49 정도였고, 참깨, 들깨, 땅콩과 유채 등 유류작물은 0.1~0.37이었으며, 과채류인 수박과 고추는 각각 0.85와 0.28로 차이가 크게 나타났다. 서류작물인 고구마와 감자는 0.85~0.89, 당근, 마늘 그리고 대파 등 기타 채소류는 0.7 이상이였다.

작물부위별 탄소 고정량은 전반적으로 수확대상이 되는 식용부분이 경·엽과 뿌리 부위보다 높았으며 탄소 고정량은 유지류, 곡실류, 과채류, 서류 순이였다.

작물별 ha당 탄소량은 감자가 6.4 톤으로 가장 많았고, 벼 4.2 톤, 고구마 3.4 톤, 유채 2.9 톤 그리고 마늘 2.8 톤 순으로 나타났다.

지역별 14개 작물의 탄소량은 벼는 전라남도에서, 걸보리는 경상남도, 콩과 참깨는 전라남도, 들깨는 충청남도, 땅콩은 경북, 유채는 제주도, 서류인 고구마가

경기도 그리고 감자는 강원도에서 많았다. 채소류는 당근이 제주도, 마늘과 대파는 전라남도에서 많았고, 고추와 수박은 경남에서 가장 많았다.

인 용 문 헌

- Balesdent, J. and M. Balabane. 1996. Major contributions of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. *Soil Biol. Biochem.* 28:1261-1263.
- Bruce, J., M. Frome, E. Haites, H. Janzen, R. Lal, and K. Paustian. 1998. Carbon sequestration in soils. *J. Wat. Conserv.* 54: 382-389.
- Cambell, C.A., H.H. Janzen, K. Paustian, E.G. Gregorich, L. Sherrod, B.C. Liang, and R.P. Zentner. 2005. Carbon Storage in Soils of the North American Great Plains: Effect of Cropping Frequency. *Agonim. J.* 97:349-363.
- Desjardins, R.L., W.N. Smith, B. Grant, C.A. Campbell, and R. Riznek. 2005. Management strategies to sequester carbon in agricultural soils and to mitigate greenhouse gas emission. *Climate Change.* 70:283-297.
- Donald, C.M., and J. Hamblin. 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Adv. Agron.* 28:361-405.
- Follett, R.F., 2001. Soil management concept and carbon sequestration in cropland soils. *Soil and tillage research.* 61: 77-92.
- Gregorich, E.G., P. Rochette, A.J. VandenBygaart and D.A. Angers. 2005. Greenhouse gas contribution of agricultural soils and potential mitigation practice in Eastern Canada. *Soil and Tillage research.* 83:53-72.
- Heal, O.W., Anderson J.M., Swift M.J.. 1997. Plant litter quality and decomposition: An historical overview. In Cadisch G and Giller KE (Eds.), *Driven By Nature. Plant Litter Quality and Decomposition.* pp 3-30. CAB International, Wallingford.
- Hutchinson, J.J., C.A. Cambell, and R.L. Desjardins. 2007. Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology* 142: 288-302.
- IPCC. 1995. WMO/UNEP Intergovernmental Panel on Climate Change, Second Assessment Report. *Climate Change, 1995.* Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. 1996. Revised IPCC guideline for national greenhouse gas inventories: Reference Manual, revised in 1996, IPCC.
- IPCC. 2001. A Report for Working group I of the intergovernmental panel on climate change, *climate change 2001: The scientific basis,* Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use, Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F.,(Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.
- Puget P. and L.E. Drinkwater. 2001. Short-Term Dynamics of Root- and Shoot-Derived Carbon from a Leguminous Green Manure. *Soil Sci. Soc. Ad. J.* 65:771-779.
- Silver W.L. and R.K. Miya. 2001. Global patterns in root decomposition: comparisons of climate and litter quality effects.

- Oecologia 129:407-19.
- The marrakesh accords and the marrakesh declaration. 2001. 2nd plenary meeting 2 November 2001.
- Thomson, A.M., R.C. Izaurralde, N.J. Rosenberg, and X. He. 2006. Climate change impacts on agriculture and soil carbon sequestration potential in the Huang-Hai Plain of China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 114: 195-209.
- Yahai, L., A. Watanabe, and M. Kimura. 2003. Carbon dynamics of rhizodeposits, root- and shoot-residues in a rice soil. *Soil Biol Biochem* 35:1223-1230.
- 농림수산식품부. 2002, 2003, 2004, 2005, 2006. 농림 통계연보. p 96-119.