

주요 농작물 생산과정에서의 탄소배출량 산정 및 무기화학비료의 기여도 분석

정순철* · 정재우 · 허진호 · 이덕배¹

에코네트웍(주), ¹국립농업과학원 기후변화생태과

Estimation of Carbon Footprint for Production of Main Crops and Contribution Analysis of Inorganic Chemical Fertilizers

Soon Chul Jung*, Jae Woo Jeong, Jin Ho Huh, and Deog Bae Lee¹

Eco-Solution Business Division, Econetwork Co., Ltd

¹*Climate Change & Agroecology Division, National Academy of Agricultural Science*

Korea is currently underway research to estimate carbon footprint in agriculture centered on the RDA (Rural Development Administration). This study was estimated carbon footprint for major 47 crops. In addition, contribution of inorganic chemical fertilizers, main elements for production of crops were analyzed. The carbon footprint of 5.78E+00 kg CO₂ eq. kg⁻¹ for citrus fruit in greenhouse was highest, grape in greenhouse, sweet pepper in greenhouse, ginseng, green pepper in greenhouse were followed by 4.61E+00 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 4.34E+00 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 4.23E+00 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 4.04E+00 kg CO₂ eq. kg⁻¹ respectively. Next, production phase contribution of inorganic chemical fertilizer to carbon footprint of crop 1 kg were analyzed mean value 1.88%, 9.06% for single fertilizers and complex fertilizers respectively. And use phase accounted for mean value 14.24%. Therefore, to reduce the fertilization of inorganic chemical fertilizer will be reduced CO₂ from crop production, also greenhouse gas emissions of agricultural sector will be reduced.

Key words: Crops, Carbon footprint, LCA (Life cycle assessment), Inorganic chemical fertilizer, Contribution

서 언

2011년 10월 31일 현재 환경부에서 시행하고 있는 탄소성적표지 인증제도의 인증제품은 총 447개 제품으로 1년 전 260개 제품과 비교 시 170% 가량 증가하였고, 참여 기업도 55곳에서 93곳으로 170% 가량 증가하였다 (KEITI, 2011). 전 세계적으로 볼 때 2010년 이 제도를 시행하고 있는 국가가 우리나라를 포함하여 7개국이었으나 올해 10여개국으로 확산될 것으로 예상되고 있다. 국제표준화기구 (ISO, International Standard Organization)에서는 2012년 3월에 ISO 14067 (탄소발자국)로 표준화할 예정으로 (Smart and Company Co., Ltd, 2011) 앞으로 탄소라벨링은 기업의 미래에 커다란 도전 과제가 되는 동시에, 탄소성적을 이용한 제품환경성 정보를 통하여 소비자가 기후변화에 더욱 능동적으로 참여하게끔 할 것이다. 그러나 환경부의 탄소성적표지 인증제도는 제품 중에서 1차 농수축산물을 인증대상에서 제외하고 있어 농업분야의 탄소배출량 산정의 한계점을 가지

고 있다 (KEITI, 2009).

전 세계적인 흐름에 발 맞추어 현재 우리나라는 농업분야의 탄소배출량을 알아보기 위한 여러 방법을 진행 중이며, 특히 농작물의 탄소성적을 산정하기 위해 농촌진흥청은 2009년부터 “농식품 부문 탄소이력추적 기반구축 연구”를 진행해오고 있으며 이 중 세부과제로 LCI DB (Life Cycle Inventory Data Base) 구축 연구를 수행 중에 있다. 이 연구는 주요 농산물 및 기타농자재, 무기화학비료, 유기농자재의 생산에 있어 투입되고 배출되는 모든 물질과 양을 정량화하여 목록화하는 LCI DB 구축과 이를 활용한 탄소배출량 산정으로 나뉜다.

농작물은 종 및 재배방식에 따라 여러 가지 다른 농자재가 투입된다. 비료, 농약, 상토, 에너지, 기타농자재 (비닐, 지주대 등) 등이 대표적인 농자재로, 농작물의 탄소성적을 정확하게 산정하기 위해선 이것들의 탄소성적이 우선되어야 한다. 대체로 외국 및 국내 타 부처의 데이터에 의존했던 이전과는 달리 본 연구를 통해 현재는 우리나라 실정에 맞는 농작물의 탄소배출량을 산정할 수 있게 되었다.

본 연구는 향후 농작물 탄소배출량 산정의 기초자료로 활용하기 위하여 수행되었다. 따라서 농작물 1 kg 생산 시 배출되는 탄소배출량을 전과정평가 (LCA, Life Cycle Assessment)

접수 : 2011. 11. 21 수리 : 2011. 12. 14

*연락처 : Phone: +8225716155

E-mail: sc_jung@econetwork.com

방법론을 통하여 산정하였으며, 더불어 농작물 탄소성적에 큰 비중을 차지하는 무기화합비료에 대해 기여도 분석을 하여 농작물 생산 시 발생하는 탄소배출량 절감에 대한 가능성을 제시하였다.

재료 및 방법

전과정평가는 제품 및 서비스 시스템 전과정 (원료취득, 제조, 사용, 폐기)에 관련된 투입물과 산출물의 목록을 취합하고 이를 통해 결과를 해석함으로써 제품이나 서비스와 관련된 환경성과 잠재적 영향을 정량적으로 평가하는 기술을 말한다 (KAB, 1998). 전과정평가는 국제표준화기구에서 제정한 환경영역제에 관한 국제표준 ISO 14040 규격에 의거하여 수행하였다 (ISO, 2006).

목적 및 범위 정의 본 연구의 대상 시스템은 농작물 생산 시스템으로, 기준흐름은 Table 1과 같이 '농작물 1 kg'으로 설정하였다 (1년에 한번 재배되는 농작물을 대상으로 하였으며, 인삼의 경우 4년에 한번 재배되는 4년근 인삼으로 하였다). 대상 제품은 Table 2와 같이 벼, 오이, 사과, 느타리버섯 등 노지재배 26개, 시설재배 21개 총 47개 농작물이다. 시스템 경계는 농작물 생산 과정에 사용되는 원료물질의 채취로부터 농작물이 생산되기까지의 모든 과정을 포함한 cradle to gate의 범위를 가지고 있다. 농작물은 Fig. 1처럼 종류에 상관없이 일반적으로 파종 또는 육묘, 정식, 재배, 수확 과정을 통해 생산되고 있다. 단 시설 재배 작물의 경우

노지 재배 작물과 달리 폴리에틸렌 시설 하우스 내부에서 연중 지속적으로 재배되며, 생산에 적합한 환경을 제공하기 위해 추가 에너지 등이 요구된다 (Park et al., 2010). 생산 과정에서 에너지가 투입되며, 대기배출물, 폐기물이 발생하게 된다. 시스템 경계의 시간적 경계는 2007, 2009, 2010년으로, 지역적 경계는 국내로, 기술적 경계는 현재 국내의 적용 기술로 정의하였다.

데이터 범주는 Fig. 1과 같이 국내 맞춤형화학비료 생산 시스템으로 투입되는 원료물질과 에너지, 그리고 이에 따라 산출되는 제품 및 대기배출물, 폐기물로 정의된다. 데이터 품질 요건으로는 Table 3에 나타낸 것과 같이 해당 농작물 생산과 정인 시스템 내부의 데이터와 원료 물질 생산 시스템 혹은 폐기물 처리 시스템 등의 시스템 외부 데이터로 구분할 수 있다.

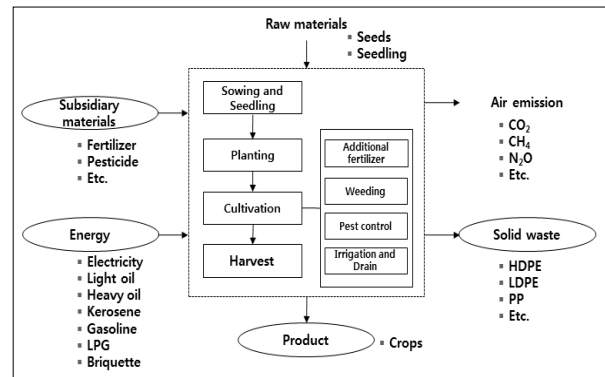


Fig. 1. System boundary of crops production system.

Table 1. The target system, function, function unit and reference flow of the study.

The target system	• Manufacturing system in crops
The function	• Food • Raw materials in the manufacture of various food
The functional Unit and reference flow	• Crop 1kg in food and raw materials in the manufacture of various food

Table 2. Target crops list of the study.

Classification	Product
Field	Grain: Rice, Husked barley, Naked barley, Malting barley, Corn, Potato in spring culture, Potato in fall culture, Sweet potato, Soybean
Field	Vegetable: Red pepper, Radish in spring culture, Radish in fall culture, Radish in highland, Chinese cabbage in spring culture, Chinese cabbage in fall culture, Chinese cabbage in highland, Onion, Watermelon, Chinese chive
Field	Fruit: Apple, Pear, Peach, Sweet persimmon, Kiwifruit, Citrus fruit, Grape
Greenhouse	Retarding culture (or General culture): Green pepper, Sweet pepper, Radish, Chinese cabbage, Cucumber, Cherry tomato, Oriental melon, Chinese chive, Eggplant, Lettuce
	Semi-forcing culture: Cucumber, Tomato, Strawberry, Watermelon
	Forcing culture: Cucumber, Tomato, Strawberry
	Fruit: Citrus fruit, Grape
Special crops	Oyster mushroom, Ginseng

Table 3. Data quality requirements for LCA analysis of crops.

Internal system	<ul style="list-style-type: none"> • Collection of income data of agricultural and livestock products at 2007, 2009, 2010 • Collection of national statistical data • Collection of survey
External system	<ul style="list-style-type: none"> • Utilization of domestic LCI database • Utilization of foreign LCI database (Ecoinvent Life Cycle Inventories of Agricultural Production System)

데이터 수집 및 분석 데이터 수집은 Top-down method를 이용, 국내 농작물 생산 시스템에 대한 원료물질, 보조물질, 에너지 투입량 데이터는 농촌진흥청의 농축산물소득자료집 (RDA, 2007, 2009, 2010)과 통계청의 농산물생산비조사 (KOSIS, 2007)를 바탕으로 수집하였다. 또한 농약사용지침서 및 비료 생산 출하 실적 등 문헌 조사 및 전문가 문의를 통한 설문조사 등을 실시해 데이터를 수집하였다. 데이터 분석은 수집 데이터의 물질수지를 점검하는 과정을 통해 모든 단위를 물질 kg, 화석 에너지 (경유, 휘발유 등) kg, 전력 kWh로 통일하였고, 이상치 및 누락치를 검토하였다.

데이터 계산 복합비료에 대한 데이터 계산의 경우 상위 흐름인 LCI DB 유무에 따라 방법을 달리 하였다. DB 존재 시 통계 상의 투입량을 적용하였으며, DB 미존재 시 한국비료공업협회의 비료 생산 출하실적 (KFIA, 2011)을 활용하여 복합비료 제조에 투입된 무기질 단일비료의 양을 계산하였다. 출하실적에는 수입된 비료는 포함하지 않았다. 농약에 대한 데이터 계산의 경우 연간 사용량 통계 자료가 존재하지 않아 농약연보 (KCPA, 2010)의 연간 농약 생산량에 농약사용지침서 (KCPA, 2011)의 작물별 사용 농약 및 사용횟수, 회당 살포량을 가중치로 적용하였고 농림부 및 통계청의 작물별 재배면적을 활용하였다 (MIFAFF, 2007, 2009; KOSIS, 2007). 기타농자재의 경우 농자재별 표준제품 및 재질, 무게를 선정한 후 농림부의 시설 농업용 폐영농자재에 대한 통계를 바탕으로 평균수명을 추정·적용하였다 (KWA, 2007; MIFAFF, 2004). 연료 연소로 인한 직접대기배출물 배출량은 IPCC 방법론 (IPCC, 1996)을 적용하여 연료사용량 (1 L or kg yr⁻¹)에 저위발열량 (MJ L⁻¹), 단위전환계수 (10⁻⁶), 배출계수 (kg Green House Gas TJ⁻¹)를 모두 곱하여 계산하였다. 비료 사용으로 인한 N₂O 발생 또한 중요한 배출원으로 이에 대한 계산은 질산질 비료의 비료공정규격 상질소 함유량 (RDA, 2010)과 IPCC에서 제시한 N₂O 토양직접 대기배출 산정 방법을 적용하였다 (IPCC, 1996).

전과정 목록 분석 수집된 데이터의 분석 및 계산 과정을 통해 Gate to Gate 목록을 기능단위인 농작물 1 kg 기준

Table 4. Gate to gate sample of rice.

Direction	Parameter	Unit	Amount
Input	Seeds	kg	1.12E-02
	Seedling	kg	2.15E-04
	Compost	kg	3.18E-01
	Urea	kg	1.25E-02
	Ammonium sulfate	kg	6.48E-04
	Thomas meal	kg	2.03E-04
	Fused phosphate	kg	9.94E-06
	Potassium chloride	kg	1.83E-04
	Potassium sulfate	kg	1.42E-05
	Complex fertilizer (21-17-17)	kg	1.42E-02
	Complex fertilizer (17-21-17)	kg	1.06E-03
	Complex fertilizer (15-15-15)	kg	1.17E-05
	Complex fertilizer (Unspecified)	kg	6.85E-02
	Calcium carbonate	kg	1.82E-03
	Silicate fertilizer	kg	2.76E-02
	Fungicide	kg	3.15E-04
	Pesticides	kg	4.16E-04
	Herbicide	kg	3.22E-04
	Growth regulator	kg	3.33E-04
	Electricity	kWh	4.11E-03
Light oil	kg	5.18E-03	
Kerosene	kg	7.61E-04	
Gasoline	kg	2.03E-03	
HDPE film	kg	1.86E-05	
LDPE	kg	2.30E-05	
Span-Bonded nonwoven	kg	2.92E-03	
Output	Product	kg	1.00E+00
	CO ₂	kg	2.39E-02
	CH ₄	kg	4.74E-02
	N ₂ O	kg	7.10E-04
	HDPE waste	kg	2.37E-06
	LDPE waste	kg	2.94E-06
	Mixed plastics waste	kg	5.31E-06
	Unspecified waste	kg	5.68E-04

으로 작성하였다. Table 4는 농작물 중 대표적인 벼의 Gate to Gate를 나타낸 것이다. 마지막 단계로 지식경제부에서 개발한 전과정평가 도구인 PASS (ver 4.1.3) software를 활용하여 상위/하위 데이터베이스를 연결시키고, 전과정 목록을 구축하였다. 환경부와 지식경제부의 국가 데이터베이스를 우선 연결하되, 연결 가능 항목이 없을 경우 해외 데이터베이스 (스위스 Ecoinvent database)를 연결하였다. 최종적으로 온실가스 배출량 산정은 도출된 전과정 목록에서 온실가스 지정 물질의 배출량에 해당 지구온난화지수를 곱한 후 이산화탄소 당량으로 정량화 (kg CO₂ eq. kg⁻¹)하여 나타냈다.

가정 및 제한사항 농작물은 특성상 원료물질 투입량과 제품 생산량 간 질량 보존 법칙이 성립하지 않는다. 또한 원료물질인 종자와 종묘는 특성상 질량 단위로의 환산이 무의미할 뿐만 아니라, 단위 환산 과정에서의 데이터 불확실성이 크기 때문에 통용되는 단위를 그대로 적용하였다. 농약병, 비료포대 등 원부자재 포장에 대한 환경부하는 고려하지 않았으며, 영구 재사용이 가능한 농자재는 시설로 간주하여 이로 인한 환경영향은 배제하였다. 마지막으로, 농작물은 재배 과정에서 부산물이 발생한다. 그러나 부산물이 경제적 가치를 가지지 않거나 아주 미미한 수준이 대부분이며, 부산물 재활용 과정에서 인위적인 공정이 없으므로 제품, 부산물 간 할당을 적용하지 않았다. 그 외 할당이 요구되는 폐기물에 대해서는 Extraction Load 방법을 적용하여 모든 영향을 작물에 부여하였다 (KAB, 1998).

결과 및 고찰

구축된 전과정 목록을 토대로 농작물 1 kg 생산에 따른 탄소배출량을 Table 5와 Table 6과 같이 산정하였다. 시설 감귤이 5.78E+00 kg CO₂ eq. kg⁻¹로 가장 많은 배출량을 나

Table 5. Carbon footprint result on produced crops in field.

Classification	Product	Carbon footprint kg CO ₂ eq. kg ⁻¹	
Grain	Rice	1.49E+00	
	Husked barley	9.24E-01	
	Naked barley	9.68E-01	
	Malting barley	1.51E+00	
	Corn	1.40E+00	
	Potato in spring culture	4.96E-01	
	Potato in fall culture	5.55E-01	
	Sweet potato	2.92E-01	
	Soybean	2.29E+00	
Field	Red pepper	2.67E+00	
	Radish in spring culture	1.90E-01	
	Radish in fall culture	2.14E-01	
	Radish in highland	2.33E-01	
	Vegetable	Chinese cabbage in spring culture	2.20E-01
		Chinese cabbage in fall culture	1.75E-01
		Chinese cabbage in highland	2.82E-01
		Onion	3.10E-01
		Watermelon	4.05E-01
	Chinese chive	6.56E-01	
	Fruit	Apple	6.40E-01
		Pear	6.62E-01
		Peach	7.01E-01
Sweet persimmon		5.28E-01	
Kiwifruit		5.15E-01	
Citrus fruit		2.44E-01	
Grape	6.01E-01		

타냈으며, 시설포도 4.61E+00 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 착색단고추 4.34E+00 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 인삼 4.23E+00 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 시설고추 4.04E+00 kg CO₂ eq. kg⁻¹ 등의 순으로 탄소배출량을 나타냈다. 시설감귤의 탄소배출량이 가장 높은 것은, 감귤 재배 환경 조성 (온도유지)을 위해 사용된 에너지량이 타 작물에 비해 매우 많기 때문으로 에너지 중 중유와 경유가 주된 요인으로 분석되었다. 일반적으로 시설재배 및 축성재배 작물이 노지재배 및 반축성 작물에 비해 높은 탄소배출량을 보이고 있는데, 이는 시설 및 축성 작물의 생산성 및 품질 향상 등 환경 조성을 위해 비료 및 에너지의 투입량이 많아지기 때문으로 분석되었다 (Park, 2010). 그러나 무 4종 (노지 1.90E-01 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 가을 2.14E-01 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 고랭지 2.33E-01 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 시설 1.33E-01 kg CO₂ eq. kg⁻¹)과 배추 4종 (노지 2.20E-01 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 가을 1.75E-01 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 고랭지 2.82E-01 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 시설 1.87E-01 kg CO₂ eq. kg⁻¹)의 탄소배출량은 시설재배한 작물의 탄소배출량이 노지재배보다 작은 것을 알 수 있다. 이는 시설 환경 조성에 따른 비료 및 에너지 투입량보다 시설 재배로 인한 생산량 증대 효과가 크므로, 1 kg 기준으로 탄소배출량을 산정할 시 시설재배의 탄소배출량 값이 작아지기 때문으로 분석되었다 (Park et al., 2010). 인삼의 경우 4.23E+00 kg CO₂ eq. kg⁻¹ 으로 탄소배출량이 상위권으로 나타났는데, 타 작물에 비해 에너지가 많이 투입되는 반면에 생산량은 적기 때문으로 해석되었다. 또한 여기

Table 6. Carbon footprint result on produced crops in greenhouse.

Classification	Product	Carbon footprint kg CO ₂ eq. kg ⁻¹	
Greenhouse	Retarding culture (or General culture)	Green pepper	4.04E+00
		Sweet pepper	4.34E+00
		Radish	1.33E-01
		Chinese cabbage	1.87E-01
		Cucumber	5.54E-01
	Vegetable	Cherry tomato	1.80E+00
		Oriental melon	6.49E-01
		Chinese chive	1.04E+00
		Eggplant	2.02E+00
	Semi-forcing culture	Lettuce	6.30E-01
		Cucumber	7.46E-01
		Tomato	7.84E-01
		Strawberry	1.14E+00
Watermelon		4.53E-01	
Forcing culture	Cucumber	1.20E+00	
	Tomato	1.18E+00	
	Strawberry	1.04E+00	
Fruit	Citrus fruit	5.78E+00	
	Grape	4.61E+00	
Special crops	Oyster mushroom	2.34E+00	
	Ginseng	4.23E+00	

Table 7. Contribution analysis of carbon footprint to inorganic chemical fertilizers for produced crops in field.

Classification	Product	Ratio of carbon footprint			Total
		Production phase		Use phase (Fertilizing)	
		Single fert.	Complex fert.		
----- % -----					
Grain	Rice	1.36	7.12	13.14	21.61
	Husked barley	7.68	18.03	56.89	82.59
	Naked barley	6.51	16.81	51.09	74.42
	Malting barley	2.20	25.22	39.82	67.24
	Corn	2.65	12.50	25.50	40.64
	Potato in spring culture	0.36	11.21	14.88	26.46
	Potato in fall culture	0.56	17.29	22.97	40.81
	Sweet potato	3.02	14.60	20.17	37.79
	Soybean	0.98	9.61	14.13	24.72
Field Vegetable	Red pepper	1.38	2.59	24.09	28.07
	Radish in spring culture	1.35	11.98	17.42	30.75
	Radish in fall culture	1.83	13.53	23.71	39.08
	Radish in highland	0.99	22.20	30.70	53.88
	Chinese cabbage in spring culture	2.02	13.53	23.84	39.38
	Chinese cabbage in fall culture	2.09	10.86	23.25	37.01
	Chinese cabbage in highland	1.36	16.58	24.41	42.35
	Onion	1.97	61.25	16.21	79.44
	Watermelon	0.60	6.47	9.63	16.69
	Chinese chive	0.80	12.83	19.03	32.65
Fruit	Apple	1.30	4.72	7.71	13.73
	Pear	14.45	6.74	9.97	31.16
	Peach	1.31	9.94	14.56	25.80
	Sweet persimmon	0.86	11.95	17.33	30.14
	Kiwifruit	1.09	6.21	8.69	15.99
	Citrus fruit	0.87	16.07	25.17	42.11
	Grape	1.14	6.51	11.75	19.39
Mean value		2.34	14.09	21.77	38.23

서 말하는 인삼은 4년근으로 총 4년의 데이터를 모두 적용시켜 계산되었기 때문에 분석되었다.

Table 7과 Table 8은 농작물을 1 kg 생산할 때 발생하는 탄소배출량 중 무기화학비료가 차지하는 정도를 나타낸 표이다. 무기화학비료는 생산단계 뿐만 아니라 사용단계(비료사용)에서도 CO₂를 발생시므로 본 결과는 무기화학비료 생산단계와 사용단계를 모두 고려하였다(여기서 사용단계는 시비를 위한 농기계 운영 시 사용되는 에너지 등을 제외한 100% N₂O 토양직접대기배출만을 말한다. 배출된 N₂O 양에 지구온난화지수(GWP)를 곱하여 탄소배출량으로 환산한다). 무기화학비료는 단일비료와 복합비료로 구분되는데, 무기화학비료의 기여도 분석 중 Table 7과 같이 노지재배를 위한 단일비료의 생산단계는 평균 2.34%를 차지하였으며, 복합비료는 평균 14.09%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한 단일비료와 복합비료의 통합적 사용단계에서는 농작물

탄소배출량 중 평균 21.77%를 차지하는 것으로 나타나 무기화학비료는 사용단계에서 더 많은 탄소를 배출하는 것으로 분석되었다. 단일비료 및 복합비료 생산단계, 사용단계를 모두 더한 값은 평균 38.23%로 무기화학비료는 농작물 생산과정에서 발생하는 탄소배출량의 1/3 이상을 차지하는 것으로 분석되었다. 다음으로 Table 8과 같이 시설재배를 위한 무기화학비료의 탄소배출량 기여도를 분석하였다. 단일비료의 생산단계는 평균 1.31%, 복합비료는 평균 2.83%를 차지하였으며, 단일비료와 복합비료의 사용단계에서는 평균 4.91%를 차지하였다. 생산단계 및 사용단계의 합은 평균 9.06%로 시설재배에서의 무기화학비료로 인한 탄소배출량 기여도는 노지재배보다 4배 가량 낮은 것으로 분석되었다.

노지재배의 경우 무기화학비료로 인한 기여도가 시설재배에 비해 대체로 큰 것을 알 수 있다. 이는 노지재배의 경우 강우 등의 환경적 영향으로 인해 비료의 유실이 생겨 농

Table 8. Contribution analysis of carbon footprint to inorganic chemical fertilizers for produced crops in greenhouse.

Classification	Product	Ratio of carbon footprint			Total		
		Rroduction phase		Use phase (Fertilizing)			
		Single fert.	Complex fert.				
		----- % -----					
Greenhouse	Green pepper	0.25	0.74	2.78	3.76		
	Sweet pepper	17.19	0.00	3.37	20.56		
	Radish	1.38	26.21	35.96	63.55		
	Chinese cabbage	1.90	7.46	14.87	24.23		
	Retarding culture (or General culture)	Cucumber	0.61	2.36	4.68	7.65	
		Cherry tomato	0.16	0.43	0.73	1.33	
		Oriental melon	1.06	2.94	4.38	8.39	
		Chinese chive	0.51	5.63	8.80	14.94	
		Eggplant	0.25	0.67	1.60	2.53	
		Lettuce	0.60	1.95	3.91	6.47	
		Semi-forcing culture	Cucumber	0.46	1.18	2.67	4.31
			Tomato	0.40	1.20	2.38	3.98
	Strawberry		0.29	2.14	3.16	5.59	
	Watermelon		1.16	3.15	7.48	11.78	
	Forcing culture	Cucumber	0.16	0.72	1.32	2.20	
		Tomato	0.12	0.49	0.76	1.37	
	Fruit	Strawberry	0.26	1.18	1.80	3.24	
		Citrus fruit	0.01	0.04	0.57	0.98	
	Special crops	Grape	0.35	0.83	1.40	2.58	
		Oyster mushroom	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Ginseng	0.35	0.07	0.40	0.82		
	Mean value	1.31	2.83	4.91	9.06		

작물 1 kg 기준 더 많은 비료가 투입되기 때문이며, 시설재배의 경우 시설 유지로 인한 전기 및 화석연료 등 에너지 사용 비중이 노지재배에 비해 상대적으로 높기 때문이다 (Park et al., 2010).

결과적으로 노지재배 농작물의 경우 비료 저감 영농법 및 완효성 비료 개발·적용하여 비료 사용량을 감소시키는 것이 가장 효과적으로 CO₂를 줄일 수 있는 방법으로 판단되며, 시설재배의 경우 효율적인 에너지 사용을 통하여 농작물의 탄소배출량을 감축 시키는 것이 가장 좋은 방법이라 사료된다 (Park et al., 2010; So et al., 2010).

비료는 작물의 품질 향상과 생장 속도 향상 등 우수한 상품성을 위해 필수적으로 투입되어야 하는 농자재이다. 따라서 농작물의 탄소배출량 중 무기화학비료가 차지하는 비율이 높다고 하여 일률적으로 사용량을 줄일 수는 없을 것이다. 현재 사용되는 비료의 탄소배출량 정도를 파악하고, 우수한 품질의 저탄소 비료를 개발·보급하는 등 정부의 노력이 있을 때 농작물의 탄소배출량이 감소될 수 있을 것이다. 또한 나아가 농업분야의 온실가스를 감축시킬 수 있을 것이다.

요 약

본 연구를 통하여 우리나라 대표적인 농작물 47개의 탄소배출량을 산정하였다. 또한 농작물 생산 시 주요 요소로 투입되는 무기화학비료의 기여도 분석을 통하여 무기화학비료가 차지하는 탄소배출량을 정확하게 파악하였다. 농작물 중 시설감귤의 탄소배출량이 5.78E+00 kg CO₂ eq. kg⁻¹으로 47개 작물 중 가장 높았으며 시설포도 4.61E+00 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 착색단고추 4.34E+00 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 인삼 4.23E+00 kg CO₂ eq. kg⁻¹, 시설고추 4.04E+00 kg CO₂ eq. kg⁻¹ 순으로 나타났다. 다음으로 농작물 1 kg 생산 시 발생하는 탄소배출량 중 무기화학비료의 기여도는 생산단계, 사용단계를 모두 포함하여 평균 25.19%를 차지하는 것으로 분석되었다. 정부의 정책, 정부 및 기업의 연구 개발을 통한 고품질 저탄소 비료 생산 보급과 같은 노력이 함께 이루어진다면 농업분야의 온실가스 감축에 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 2011년 농촌진흥청 공동연구사업 “농식품 부문 탄소이력추적 기반구축 연구” 과제번호 PJ007262를 수행하면서 얻은 결과를 바탕으로 작성되었습니다. 과제 수행에 힘써주신 농촌진흥청 연구책임자 및 관계자, 또한 연구가 수월하게 진행되도록 협조하여 주신 관련 기관 관계자에게 깊은 감사를 드립니다.

인 용 문 헌

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. The Revised 1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories. Geneva. Switzerland.
- ISO (International Organization for Standardization). 2006. ISO 14040:2006 (E) Environmental management - Life cycle assessment - Principles and Framework.
- KAB (korea Accreditation Board). 1998. Theory and Guidelines of Life Cycle Assessment. Seoul, Korea.
- KCPA (korea Crop Protection Association). 2007, 2010. Agrochemical year book. Seoul. Korea.
- KCPA (korea Crop Protection Association). 2008, 2011. Agrochemical use guide book. Seoul. Korea.
- KEITI (Korea Environment Industry and Technology Institute). 2009. Carbon labeling certification guide book. Korea Environment Industry and Technology Institute. Seoul, Korea
- KEITI (Korea Environment Industry and Technology Institute). 2011. Carbon labeling certified performance. Korea Environment Industry and Technology Institute). Gwachen, Korea.
- KFIA (Korea Fertilizer Industry Association). 2010. Fertilizer production data. Korea Fertilizer Industry Association. Seoul, Korea. www.fert-kfia.or.kr. accessed on July 2011.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2007. Agricultural area survey. Korean Statistical Information Service. Daejeon, Korea. www.kosis.kr/abroad/.
- MIFAFF (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). 2004. A study on Establishing effective management system for equipped agricultural input wastes. C2004-A1. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. Seoul, Korea.
- MIFAFF (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). 2007, 2009. Greenhouse vegetable facility status and production performance. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. Seoul, Korea.
- Park, J.A., S.C. Jung, J.H. Huh, K.H. So, and K.A. Roh. 2010. Life Cycle Assessment for open field and greenhouse peppers. Korean J. KSLCA. 11: 91-102.
- RDA (Rural Development Administration). 2007, 2009, 2010. Agro-livestock incomes data book. Rural Development Administration. Suwon, Korea.
- RDA (Rural Development Administration). 2010. Official standard of commercial fertilizer. Rural Development Administration. Suwon, Korea.
- Smat and Company co., ltd. 2011. Green Factory Journal. 11, Seoul, Korea.
- So, K.H., J.A. Park, J.H. Huh, K.M. Shim, J.H. Ryu, G.Y. Kim, H.C. Jeong, and D.B. Lee. 2010. Estimation of carbon emission and LCA (Life Cycle Assessment) from pepper (*Capsicum annuum* L.) production system. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(6):904-910.