良質米產業發展研討會專輯 85-98 (2013)

稻作環境親和栽培之環境影響評估

吳以健[1]、楊志維[2]、盧虎生[1]

[1] 國立臺灣大學農藝學系；[2] 行政院農業委員會桃園區農業改良場

摘　要

氣候與環境變遷，是現今環境生態上的重要議題。除了因人類活動產生溫室氣體所引起的全球暖化之外，優養化、酸化、水資源缺乏、能源危機等都將是未來可能遭遇的困難。面對變遷的趨勢，科學家提出的對策之一為「減輕(Mitigation)」，即調整目前產業運行方式，期望能降低現行產業造成之環境衝擊。評估環境衝擊的方式，目前常應用環境工程學之中所謂「生命周期評估(Life Cycle Assessment, LCA)」的工具，「生命周期評估」藉由調查產品從原料開採、運送、製造、加工、包裝、販售至廢棄的一連串過程之中的投入與產出，由此分析包括溫室效應潛勢(碳足跡)、優養化潛勢、酸化潛勢、水資源耗用、能源消耗等各種面向之環境衝擊。農業為人類最重要的產業，在農作物生產過程中同樣會帶來各種環境衝擊。以碳足跡為例，每生產1公斤的玉米與小麥，將分別排放0.33與0.38公斤的二氧化碳當量，然而，稻米生產的碳足跡卻是遠高於其他作物，主因在於水田的大量甲烷排放。前人研究亦顯示：農業生產過程的環境衝擊最顯著處在田間栽培階段，且可以藉由調整栽培方式，改變環境衝擊程度。例如：節水灌溉顯著降低田間碳足跡；合理化施肥可改善慣行方式的優養化與酸化衝擊；有機栽培則可以有效降低肥料製造端的能源消耗。如何平衡各項環境效益，探討一整合型的永續栽培方式，並兼顧產量及品質，發展新型的「環境親和農業」，是農業專家學者的重要目標。

關鍵詞：氣候變遷、水稻、碳足跡、環境衝擊、生命周期評估、有機栽培。

前　言

全球人口日益增加的趨勢之下，旺盛的人類活動對地球造成了更多的環境衝擊，除了因農牧業或燃燒化石燃料而產生大量溫室氣體所引起的全球暖化之外，清潔劑、肥料以及其他廢水的不當管理所造成的水體優養化，工廠、機械、交通機具所排放的廢氣在大氣中可能引發的酸雨危害等等，種種衝擊都讓我們的周遭環境蒙受莫大的損害。另一方面，人類活動需要更多的資源，例如：需要使用更大量的煤、石油、天然氣、電力以及其他能源，需要更多的水資源供農業生產、工業需求、民生使用。未來面臨到的全球暖化、優養化、酸雨、水資源缺乏、能源危機等都將成為環境生態上的重要議題。

面對氣候變遷以及因應即將來臨的環境衝擊與資源缺乏，該如何提出因應策略以促進環境生態的永續性，是目前科學家研究的重點。IPCC (International Panel on Climate Change，政府間氣候變遷小組)在2007年的氣候變遷評估報告中指出：因應策略的有無將決定該地區適應氣候變遷的能力。科學家們並歸類出三個主要的因應策略：預測及預警(Projection)、調適(Adaptation)、減輕(Mitigation) (IPCC, 2007)。以全球暖化為例，「預測及預警」是利用氣候預測模型，結合目前及未來可能的產業情境，提出未來可能升溫的範圍，並分析將帶來的衝擊；「調適」像是研發及栽培耐熱品種、避開高溫時期、執行散熱措施等；「減輕」則是藉由不同的環境親和方式，以降低溫室氣體的排放，進而減緩暖化的趨勢。此三策略中，「減輕」是其中最針對根源的方式，然而因為成效往往需要持續長期方能顯現出來，在過去常常被人們所忽略，直到近數十年環保意識的抬頭，才漸漸受到重視。

針對暖化的「減輕」方式相當多樣，然而在進行「減輕」策略之前，必須先對產業結構以及其運作過程進行詳細研究，環境工程學常使用之「生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)」即為此研究方向的主要工具之一。

生命周期評估

生命周期評估源起於20世紀中葉，為了因應當時的石油危機，需提高能源的使用效率，因此發展出此一工具進行產業各階段的能源效率分析。往後，隨著時間的演進，環境保護的意識逐漸抬頭，「生命周期評估」日益受到重視，1993年國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)正式將其納入企業環境管理的系列標準－ISO 14000之中。依照ISO 14040的規範，「生命周期評估」定義為產品從原料開採、生產、加工、包裝、運輸，一直到後端的販售、使用，以及最後的廢棄處理等所有過程(即生命周期)，針對全周期之中各階段對於環境的影響評估(ISO 14040, 2006)。生命周期評估的流程分為4項(如圖1)：1.目標與範疇界定(Goal and Scope Definition)；2.生命周期盤查分析(Life Cycle Inventory Analysis, LCI)；3.生命周期衝擊評估(Life Cycle Impact Assessment, LCIA)；及4.生命周期闡釋(Life Cycle Interpretation)。也就是針對定義之評估範圍內的各個階段，進行消耗的資源與排放的廢棄物的詳細調查，經過統整後以「量化」且「可比較」的形式呈現其各項環境衝擊。這些不同種類的環境衝擊包括能源使用(Energy Use, EU)、溫室效應潛勢(Global Warming Potential, GWP)(即所謂的碳足跡，Carbon Footprint)、優養化潛勢(Eutrophication Potential, EP)、酸化潛勢(Acidification Potential, AP)、水資源使用(Water Use, WU)等，各衝擊的評估過程中，有其各自的調查項目、運算方式以及表示的單位，例如碳足跡的調查項目是各階段的CO_2、CH_4、N_2O、CO、SO_2等氣體的排放量，再依照各氣體各自的特徵化因子(Characterization factors)進行加權(不同項目的特徵化因子如表1)，最後以統一的單位－CO_2當量來表示。其他環境衝擊也依照相同的概念進行評估。

使用生命周期評估方式調查環境衝擊，由於分析過程中分別對生產過程各個階段進行詳細盤查，所以除了可以得到產業或產品的環境衝擊或資源耗用總量，更能夠找到在生產過程中衝擊最大的階段，在環境工程學上，這些最顯著衝擊的階段稱之為「熱點(Hot Spot)」。欲減輕環境衝擊，調整生產方式時，正可針對這些「熱點」進行重點改善，將能更有效率降低環境衝擊。

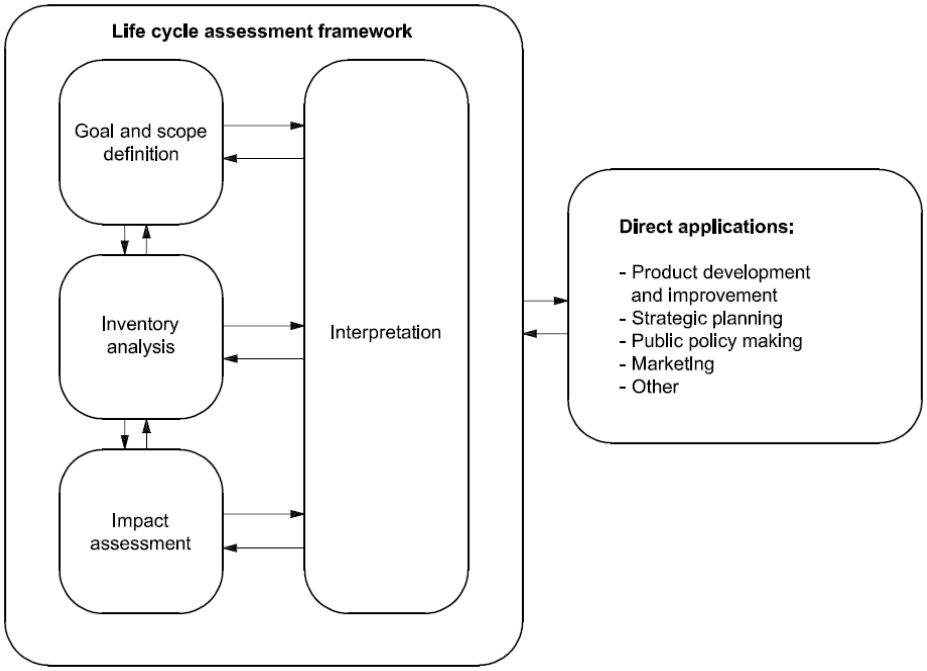


圖 1.生命周期評估的流程。(資料來源：ISO 14040, 2006)。

表 1.各衝擊項目的盤查內容，與其計算的特徵化因子及表示單位

(資料來源：Kasmaprapruet *et al.*, 2009)

衝擊類別	調查項目	特徵化因子	單位
能源使用	能源消耗量	1	MJ
溫室效應	CO_2	1	克 CO_2 當量
	CH_4	25	
	N_2O	320	
	CO	2	
	SO_2	1	
酸化	NO_x	0.7	克 SO_2 當量
	NH_3	1.88	
	NO_3^-	1	
優養化	NO_2^-	1.35	克 NO_3^-當量
	NO_x	1.35	
	N_2O	2.82	
	NH_3	3.64	
	N	4.43	
	PO_4^{3-}	10.45	
	P	32.03	

農業的環境衝擊

農業是人類最重要的產業，糧食生產維繫人類生存的命脈。但農業的不確定性也相當高，自古以來，被稱作「看天吃飯」的產業，氣候與環境是影響農業活動最主要的因子，在栽培過程中，環境中不適合的溫度、水份、風等等因子都會影響作物生長，以水稻為例，學者預估平均溫度每上升攝氏1度，稻穀產量將減少7% (Peng *et al*., 2004)。意即：未來全球暖化的趨勢若持續發生，農業受到的衝擊將更為嚴重。實際上，不只是全球暖化會影響農業，在農業操作過程中，同樣也會排放溫室氣體而加劇暖化效應。除了排放溫室氣體之外，農業造成的環境衝擊還包括了優養化、酸雨、能源消耗等。農產品在產銷過程中，有整地、播種、栽培、收穫、加工、運輸、販售等一連串步驟，皆會帶來上述之環境衝擊，茲分述如下：

1.資材運輸過程，交通工具燃油排放：不管是田間資材如肥料、農藥、種子種苗，或是收穫後的穀粒或農產品，在運輸過程都會伴隨燃油消耗，據資料庫顯示：運送每1公噸的資材，路程每100公里，使用卡車將排放17公斤的CO_2當量；藉由船運則將排放3公斤的CO_2當量；但使用空運則是龐大的151公斤的CO_2當量。由此可知，貨品運送路程越長，將帶來更大量的碳排放。顯示「在地生產，在地消費」的重要性。

2.機械耗電與燃油：在產銷過程中，育苗或種子準備過程，機具將帶來電力的消耗；田間的整地、播種/插秧、施肥噴藥、收穫的機械則會消耗汽油或柴油；收穫後的碾製、加工、包裝亦使用電力與燃油。資料庫顯示：每製造1度(1千瓦-小時)的電力，會帶來0.533公斤CO_2當量的溫室氣體；每消耗1公升的汽油，將排放2.75公斤的CO_2當量；而每消耗1公升的柴油，更將排放3.19公斤的CO_2當量(SimaPro, 2006)。也就是說，機械密集度越高，造成的環境衝擊就越大，換言之，若能設法減少整地的次數或深度、施肥噴藥的次數，或是簡化加工的過程，應可降低此方面的環境衝擊。

3.肥料與農藥製造端：栽培過程時，使用的肥料與農藥，它們在製造過程時造成的環境衝擊，也必須列入農產品的生命周期評估之內。在製造過程中造成的環境衝擊最主要來自於化學合成階段的大量能源消耗。肥料三要素的氮、磷、鉀製造端以及農藥製造端的環境衝擊不盡相同，例如每生產1公斤的氮肥，依氮肥型態不同，會帶來2.68~5.81公斤的CO_2當量；每生產1公斤的磷肥(P_2O_5)，會帶來0.69~2.02公斤的CO_2當量排放；每生產1公斤的鉀肥(K_2O)，則排放0.50~1.43公斤的CO_2當量；每生產1公斤的農藥，平均約產生25~30公斤的CO_2當量(SimaPro, 2006)。雖然製造每單位農藥的環境衝擊高於肥料製造，但農藥的施用量遠低於肥料，所以計算製造端與施用量的環境衝擊，以用量最多的氮肥影響最為顯著。因此若能調整栽培方式來節約施肥量，應能顯著提高其環境效益。

4.田間栽培階段的排放：農產品製造過程中，各項環境衝擊最大的「熱點」，在於田間栽培階段，包括碳足跡、優養化、酸雨、水資源使用：

A.碳足跡：栽培過程中，施用氮肥之後，氮肥會經由土壤微生物的脫氮作用轉變為溫室氣體的N_2O釋放至大氣；作物與其他生物的殘體，以及施用有機肥時伴隨的有機質投入，會受到田間微生物的分解而產生含碳溫室氣體如CO_2或CH_4釋出。田間CO_2、CH_4與N_2O的排放就占全生產過程碳足跡的70%以上(Blengini and Busto, 2009)。

B.優養化：在田間施加氮肥與磷肥後，未被作物吸收的氮與磷，受到雨水或灌溉水的溶洗，將隨著排水或地下水流失至附近水體，這些氮與磷使得水體營養鹽濃度上升，促使水體藻類大量孳生，影響水體生態，造成水體污染。

C.酸雨：田間施氮之後，氮素經由微生物分解，將會釋放NH_3。雖然NH_3溶於水是鹼性，但實際上直接溶於雨水的NH_3數量很少，而大氣中的NH_3容易與硫酸根離子結合成硫酸銨，增加硫酸根溶解度而提高雨水酸化；另外，NH_3在繼續經由微生物作用之下，會反應生成亞硝酸與硝酸，更加劇酸化效應。

D.水資源使用：歷史資料顯示：農業用水占全球用水的92%，而農產品生產過程的水資源使用，多半用於田間灌溉用水，此階段的用水，超過全生產過程用水

量的80%，若是水田栽培的水稻或芋頭，更占總用水的95%以上(Blengini and Busto, 2009)。也就是說，田間灌溉水量在全球水資源之中扮演極重要的角色。

水稻的環境衝擊

全球前四大作物為玉米、稻米、小麥、大豆，目前已有許多文獻評估這些作物在生產過程之中的環境衝擊。以碳足跡來說，每生產1公斤的玉米、小麥、大豆，將分別排放0.33、0.38、0.25公斤的CO_2當量(Charles *et al*., 2006; Landies, *et al*., 2007)，這些碳足跡主要來自田間氮肥分解的N_2O排放，玉米本身是高度需肥的作物，每公頃大約需要140~160公斤的氮肥；小麥雖然每公頃只需要70~80公斤的氮肥，但小麥的單位面積產量較低，導致每單位生產量的需肥量反較玉米高；而大豆因本身有固氮能力，需氮量較少，使其N_2O排放低於其他作物。水稻是臺灣最重要的農作物，雖然需肥量少於玉米，單位面積產量亦高於小麥，然而由於臺灣的水稻栽培多屬移植插秧方式，相較於直播栽培，在育苗過程中會有額外的能源消耗與溫室氣體排放；另外，水稻採水田栽培，雖然田間土壤在缺氧狀態，能大幅降低N_2O排放，但這樣的還原態卻使土壤中的甲烷生成細菌的數量與活性顯著增加，釋放大量的甲烷。本研究室在桃園新屋的水稻田進行之試驗結果顯示：一期稻作時，每生產1公斤的白米，將排放0.71公斤的CO_2當量；二期稻作則是1.80公斤的CO_2當量。主要原因在於二期稻作初期的夏季高溫之大量甲烷釋放與二期作產量較低所致(DNDC Ver. 9.3, 2009)。平均而言，臺灣單位公斤白米的碳足跡大約是1.18公斤CO_2當量，相較於日本研究(Hokazono and Hayashi, 2012)，日本稻米生產每公斤約排放1.46公斤CO_2當量，臺灣的排放量略低，但若以單位面積來評估，臺灣每公頃每年將排放7.8噸的CO_2當量，而日本僅6.3噸，顯示臺灣的栽培操作仍有其改進空間。能源的耗用量也類似於碳足跡，臺灣每生產1公斤的白米在一期作與二期作分別耗能3.89 MJ與4.83 MJ，日本則需5.2 MJ，但單位面積方面，臺灣每年每公頃則耗能28 GJ，日本僅23 GJ。優養化與酸雨方面，臺灣稻米的優養化潛勢雖然只有日本稻米的24~37%，但酸雨潛勢卻是高出日本2~3倍，推測原因可能是臺灣較熱

的環境，使土壤微生物迅速將氮素轉變為NH_3，而減少了流失到水體的氮營養鹽，然而，臺灣的稻田多半位於平原，距離山坡集水區常常較遠，優養化的重要性較不若大陸地區來得高，反而臺灣由於工廠林立，廢氣造成的酸雨將會造成許多嚴重的生態衝擊，因此臺灣稻米生產的酸雨潛勢，應設法改善之。

表 2.臺灣與日本的慣行水稻生產的各項環境衝擊比較

衝擊類別	臺灣 [a]		日本 [b]	
	單位公斤白米	單位公頃	單位公斤白米	單位公頃
碳足跡(公斤 CO_2 當量)	1.18	7830	1.46	6300
能源耗用(MJ)	4.3	28439	5.2	23000
優養化(公斤 PO_4^{3-}當量)	0.0018	12.12	0.0076	33
酸雨(公斤 SO_2 當量)	0.027	183.71	0.011	49

[a] 本研究室試驗資料。
[b] 資料來源：Hokazono and Hayashi, 2012。

栽培管理的調整

由以上敘述，顯示水稻生產過程的環境衝擊，主要在於田間栽培階段，而栽培管理之中，又以施肥最為重要：肥料製造端影響碳足跡與能源使用、田間氮素影響田間N_2O釋放(碳足跡)、N滲漏(優養化)、NH_3排放(酸雨)、施肥機械耗油(能源使用)。此外，管理田間甲烷排放亦是減碳策略之重要環節，田間甲烷的來源在於田間有機碳投入，除了產量多寡以及收穫後莖稈處理方式之外，若施用有機肥，其肥料裡大量有機質成份也是碳投入的其中之一，再者，甲烷生成與土壤環境的水份條件息息相關，水份管理是甲烷減量之關鍵要素。因此，本節以合理化施肥、節水栽培/水旱輪作、有機栽培等栽培方式，相較於慣行方式進行比較：

1.合理化施肥：近年來各區域農業改良場皆致力推行作物栽培的合理化施肥，由土壤分析資料與葉色監測結果，施加足量而非過量的肥料，避免過去因過度施肥造成的植株弱勢與肥料浪費。本研究室試驗結果指出：在桃園地區，比照慣行，降低10~20%施肥量，仍能維持與慣行者無顯著差異的穀粒產量，如此一來，除了

顯著降低肥料製造端的碳足跡與能源使用之外，田間的優養化和酸雨潛勢亦呈現明顯改善，證明合理化施肥不管是在作物健康管理、肥料投資報酬率、環境效益評估三方面皆有其效果。

2.節水栽培/水旱田輪作：由於臺灣水資源的供應時常不甚穩定，學者們提出節水栽培以因應遭遇缺水的情況。義大利的研究指出：節水栽培能有效節約用水，且田間水份較少的環境，將有利土壤通氣，降低甲烷的生成，進而降低整體碳足跡。然而，同一研究亦指出：節水栽培反而會增加27~57%的能源使用，以及使優養化更為嚴重(表3)(Blengini and Busto, 2009)。再者，節水栽培雖然提高了水份生產力，但相較於慣行栽培，其單位面積產量較低是其缺點。因此若進行水旱田輪作，將整年度分為水稻時期與旱作時期(可種植大豆、玉米、小麥等)，在水田時期維持其單位面積產量，旱田時期節約灌溉水。除了兼顧產量與省水，更可節能減碳、降低病蟲害、調節糧食供需。另外，前述顯示：二期稻作的碳足跡高於一期作，若在二期作期間轉作旱作，更可有效減少甲烷釋放並顯著降低溫室氣體排放。

3.有機栽培：有機栽培法不使用任何化學肥料與化學農藥，改以有機堆肥、生物防治、天然資材、機械除草、灌溉管理等操作替代之，本研究室評估結果顯示：有機栽培的能源耗用較低，原因在於有機肥的堆肥化過程相較於化學肥料，是相對節約能源的製造方式。在優養化與酸雨方面，有機肥的肥力釋放較緩慢，氮素較不易被淋洗滲漏或被微生物分解產生NH_3，使優養化和酸雨潛勢有些許降低。然而，碳足跡方面，資料庫顯示：每公斤的有機肥在堆肥化的製造過程中將伴隨0.311公斤CO_2當量的排放，換算為足量的氮肥施用，每年每公頃須施加的4000公斤有機肥，其製造端即排放了1,244公斤CO_2當量，較慣行方式的化學肥料製造端(約816公斤CO_2當量)，高出了50%。另外，在田間施用有機肥的同時，會伴隨大量有機質的投入，這些有機質雖然可以改善土壤性質而增加土壤永續性，但卻同時提供給土壤大量的有機碳素投入，將可能在微生物作用之下，增加CO_2與CH_4等含碳溫室氣體的釋放。此外，由於有機栽培禁止使用除草劑，有些有機農民常

使用長時間的深水灌溉來防止雜草的生長，然而這樣的長期湛水，再加上前述的豐富有機碳投入，將導致土壤排放大量的甲烷，大幅提高田間碳足跡。

表 3.相較於慣行方式，有機方式與節水栽培的環境衝擊比較─能源耗用、碳足跡、優養化、水資源使用

(資料來源：Blengini and Busto, 2009)

栽培方式	能源耗用	碳足跡	優養化	水資源使用
慣行栽培	100%	100%	100%	100%
有機栽培	96%	113%	90%	101%
節水栽培	127%	44%	117%	41%

但實際上，有機栽培只要在管理方式上進行調整，於減碳方面依然具有優勢：

A.第一，有機堆肥化過程雖然有大量溫室氣體產生，其中以甲烷為主，若能將堆肥化過程集中在堆肥場進行，並將堆肥場審慎設計，有效收集甲烷，不但能減少甲烷排放，更可將所收集的甲烷作為燃料用途，一舉數得。

B.第二，雖然在禁止使用除草劑的前提下，常常須採用灌水方式防治雜草，但若能配合稻株不同的生育時期進行謹慎的水份管理，例如：在分蘗後期厲行排水晒田，在生殖生長期實行間歇性灌水，除了有效降低甲烷排放，更可節約灌溉水，並促進稻株的根系發育。

C.第三，許多有機稻田在栽培過程中，常同時放養禾鴨，除了藉由禾鴨防治雜草與福壽螺之外，更可提高稻田的生物多樣性。除此之外，研究指出：禾鴨在稻株間游水與行走時，會提高田水與土壤溶氧量，間接降低土壤內甲烷生成細菌的數量與活性，進而減少甲烷生成(Fu *et al*., 2008)。另一方面，禾鴨帶來了額外排泄物作為氮肥投入，亦可間接節約肥料使用量。

結　　語

在氣候與環境變遷的未來，如何改善現行產業運作方式以達到「減輕」環境衝擊的目標，是現今最重要的課題之一。應用生命周期評估，能夠分析目前農業

生產方式的各種環境衝擊，以及衝擊最顯著的生產階段，文獻與本研究室結果皆顯示環境衝擊的熱點在於「田間栽培」階段，調整栽培方式應能有效降低其環境衝擊，然而，慣行方式、節水栽培、有機栽培等方式，各自有其不同之環境效益的優勢，若能攫取其優點，並融入合理化施肥、水旱田輪作、妥善灌溉管理，以及維持田間生態，研發兼顧高產優質、節能低碳的「整合式稻米生產方式」，在氣候變遷的趨勢之下，作為未來發展臺灣本土稻米的「永續農業操作(Sustainable Agricultural Practices, SAPs)」與「氣候智慧型農業(Climate Smart Agriculture, CSA)」的重要依據。

誌　　謝

感謝農業委員會農糧署提供經費支持，感謝桃園縣新屋鄉陸穀稻米產銷班提供試驗田與栽培操作之協助，感謝桃園區農業改良場在試驗過程提供各項協助。

參考文獻

1. Blengini, G. A. and M. Busto. 2009. The life cycle of rice: LCA of alternative agri-food chain management systems in Vercelli (Italy). Journal of Environmental Management. 90: 1512-1522.
2. Charkes, R., O. Jolliet, G. Gaillard, and D. Pellet. 2006. Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment. Agriculture, Ecosystem and Environment. 113: 216-225.
3. DNDC Ver 9.3. 2009. User's guide for the DNDC model. Institute for the study of earth, oceans and space, University of New Hampshire.
4. Fu, Z., H. Huang, X. Liao, Y. Hu, X. Wei, and B. He. 2008. Effect of ducks on CH_4 emission from paddy soils and its mechanism research in the rice-duck ecosystem. Acta Ecologica Sinica. 28: 2107-2114.

5. Hokazono, S. and K. Hayashi. 2012. Variability in environmental impacts during conversion from conventional to organic farming: a comparison among three rice production systems in Japan. Journal of Cleaner Production. 28: 101-112.
6. IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers. http://www.ipcc.ch/wg1_spm_17apr07.pdf
7. ISO 14040. 2006. Environmental management: life cycle assessment, principles and guidelines. International Organization for Standardization, Geneva.
8. Kasmaprapruet, S., W. Paengjuntuek, P. Saikhwan, and H. Phungrassami. 2009. Life cycle assessment of milled rice production: case study in Thailand. European Journal of Scientific Research. 30: 195-203.
9. Landis, A. E., S. A. Miller, and T. L. Theis. 2007. Life cycle of the corn-soybean agroecosystem for biobased production. Environmental Science and Technology. 41: 1457-1464.
10. Peng, S. B., J. L. Huang, J. E. Sheehy, R. C. Laza, R. M. Visperas, X. Zhong, G. S. Centeno, G. S. Khush, and K. G. Cassman. 2004. Rice yield decline with higher night temperature from global warming. PNAS 101: 9971-9975.
11. SimaPro. 2006. Software and Database Manual. Pre' Consultants BV, Amersfoort, The Netherlands.

ABSTRACT

Climate and environmental changes are crucial environmental and ecological issues nowadays. Greenhouse gases produced by human activities can contribute to global warming. Additionally, eutrophication, acidification, water shortages, and energy crises are potential challenges that may be encountered in the future. To face the challenges caused by climate and environmental changes, scientists have proposed a solution – "mitigation"; that is to adjust current industrial operational models in an effort to mitigate the environmental impact from industries. Environmental engineers commonly conduct "life cycle assessment (LCA)" that investigate the input and output of production, from the exploitation of raw materials, to the transportation, manufacturing, processing, packaging, selling, and waste of products, to evaluate the environmental impact. Life cycle assessment can evaluate various environmental impacts, including global warming potential (carbon footprint), eutrophication potential, acidification potential, water use, and energy use. Agriculture is the most essential human industry; however, the crop production process also has diverse environmental impacts. Regarding carbon footprints, 1 kg of corn and of wheat can emit 0.33 kg and 0.38 kg of CO_2 equilibrium, respectively. The carbon footprint for rice is significantly higher than that of other crops and primarily results from substantial methane emissions during the field farming period. Previous studies have indicated that the most significant environmental impact of agricultural production occurs during the field farming period; however, the degree of environmental impact can be reduced by adjusting farming methods. For example, water-saving irrigation can significantly reduce the carbon footprint during the field farming period, rational fertilization can mitigate the eutrophication and acidification resulting from conventional fertilization methods, and organic farming can effectively reduce the energy used to manufacture fertilizer. How

to balance various environmental benefits, establish integrative substantial farming methods that can sustain quantity and quality, and develop a new environmental-friendly agricultural industry are essential goals for agricultural experts and scholars.

Key words: Climate change, Rice, Carbon footprint, Environmental impact, Life cycle assessment, Organic farming.