

# 101 年度環境永續學院專題研究計畫 低碳永續管理與綠色產業實務應用研發

## 期末報告

總主持人：環境工程與科學系(所) 李孫榮

子計畫一：生命週期評估擾動分析應用於包裝材料之生態化設計研究

計畫主持人：環境工程與科學系(所) 李孫榮

協同主持人：環境資源管理系 陳意銘、楊英賢、葉仲超

子計畫二：低碳管理與綠色產業之商業行為研究

計畫主持人：環境資源管理系 陳意銘

協同主持人：環境資源管理系 葉仲超

子計畫三：以碳足跡與生命週期成本探討生物可分解材(PLA)之應用之最  
適化研究

計畫主持人：環境資源管理系 楊英賢

計畫執行期間：自民國 102 年 6 月 10 日起至民國 102 年 12 月 31 日

中華民國 103 年 1 月 31 日



# 子計畫三：以碳足跡與生命週期成本探討生物可分解材(PLA)之 應用之最適化研究

計畫主持人：環境資源管理系 楊英賢

兼任碩士生研究助理：謝名雅 林凱偉 林承瑩

計畫說明：以生命週期評估、碳足跡、生命週期成本及生態效益探討個案 PLA 之應用，考量生命週期各階段材料選用、製造、使用及回收與處理過程中之能源、資源與環境，探討不同回收技術之經濟性與環境性。計劃研究重點第一階段包括個案資料庫建立，相關回收技術比較，系統範疇界定與評選，生命週期評估模式，LCA 評估方法推估，主要污染物之排放係數建立，及生命週期評估；第二階段，進一步於建立相關生命週期成本資料，個案回收技術之生命週期評估及對回收技術提出生態效益與管理策略建議。研究成果期能提供相關產業的環境管理、產品碳足跡、廢棄物管理策略及未來相關政策參考。

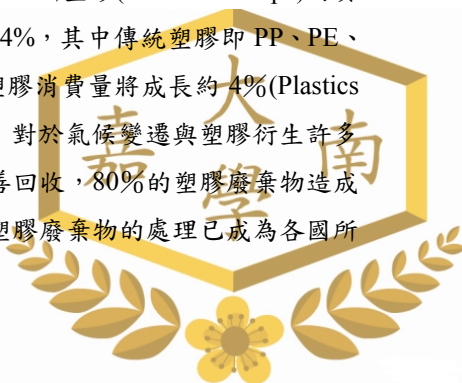
## 計畫摘要

在這資源有限及全球暖化的世代壓力下，對於塑膠的回收，有很高比例未能妥善處理，因而增加了許多環境與生態的負荷。現今綠色塑膠已漸漸應用於各種產品，透過生命週期評估方法，可以初步了解生命週期各階段之能源投入與產品碳足跡，但對於上游供應鏈之盤查與推估，資料不確定性較大，以致於塑膠應用於綠色設計上容易造成決策的偏差。本研究以聚乳酸(Polylactic acid, PLA)為各個案，探討聚乳酸在不同生命週期階段之碳足跡，並焦點於台灣種植階段。研究結果顯示，將 PLA 玉米原料之種植階段假設為台灣種植情境下，生產每公斤聚乳酸需投入的農藥、肥料使用量及運輸階段，將使 PLA 之碳足跡增加，以 2011 年生產一公斤聚乳酸玉米原料所投入的肥料量，其碳足跡為 1.45kgCO<sub>2</sub>-eq，其中農藥、肥料及運輸投入將產生碳足跡分別為 0.789kgCO<sub>2</sub>-eq、0.661kg CO<sub>2</sub>-eq 及 1.94E-3kgCO<sub>2</sub>-eq；其毒性方面仍呈現不同結果。藉由 PLA 種植階段之碳足跡分析，同時對玉米種植階段了解農藥使用之碳足跡與毒性，期能了解 PLA 碳足跡對臺灣所造成之環境衝擊分析，相關結果可供綠色塑膠應用於綠色設計之參考。

關鍵字：生物可分解塑膠，聚乳酸，生命週期評估，碳足跡

## 一、前言

現今經濟受全球不景氣影響，低價產品的販售蔚為主流產品之一，塑膠除了提供生活輕巧便利且價格低廉及多功能的選擇等，其材料的應用更是現代人不可缺乏的需求。根據歐洲塑膠(Plastics Europe)的資料顯示，2011 年全球塑膠產量達到 2 億 8 千萬噸與 2010 年相比成長了約 4%，其中傳統塑膠即 PP、PE、PVC 等就佔全球總需求量的 70% 左右，預估至 2016 年，全球平均每年塑膠消費量將成長約 4%(Plastics Europe, 2012)。顯示在低廉與普及的需求下，其產業將持續成長。然而，對於氣候變遷與塑膠衍生許多的環境問題日趨嚴重，根據估計，目前每年生產的塑膠約 85% 沒有被妥善回收，80% 的塑膠廢棄物造成全球海洋與環境的威脅(林佳蓓, 2012)。因此在重視經濟與環境保護下，塑膠廢棄物的處理已成為各國所



重視的環保問題。我國環保署在民國 63 年起所訂定的廢棄物清理法、民國 86 年資源回收四合一最後到民國 95 年垃圾強制分類的政策等(賴瑩瑩, 2009), 就是以回收角度及廢棄物資源化, 以減少掩埋場或焚化爐等大型處理廠之興建, 將人們所錯放的資源加以妥善處理與應用, 使垃圾變黃金以達到資源永續利用的目標。

生物可分解性塑膠又被稱為綠色塑膠, 其中以澱粉與聚乳酸為原料的綠色塑膠佔約 80%(曹智菀, 2011) 應用, 本研究以現今應用較廣之聚乳酸(Polylactic acid, PLA)作為案例, 因其物化特性如傳統塑膠般具有熱塑性, 且其原料來源為玉米作物經發酵製造而成, 最終處理經段, 透過微生物可完全自然分解, 因此被許多專家學者認為是有機會逐漸取代傳統塑膠之綠色塑膠, 以達塑膠再利用之生態循環。據生物可分解塑膠市場估計, 聚乳酸塑膠產量預估從 2010 年的 66.4 萬噸成長至 2016 年之 233 萬噸, 其中 2011 年至 2016 年的複合年增長率為 20.24%(Marketsand Markets, 2011)。雖然與傳統塑膠的產量相較仍為較低, 但為了減少環境衝擊及滿足人類的各方面需求, 生物可分解塑膠逐漸取代傳統塑膠主流方面應為確認, 未來若能進一步降低成本及考量完整生命週期評估, 生物可分解塑膠將可普及其應用層面。生物可分解塑膠中 PLA, 其原料來自玉米澱粉, 玉米種植階段, 除了土地需求面, 對於土地肥力及病蟲害防止更是不可少的投入。根據美國 EPA 研究結果顯示, 為使作物更能增加抵禦環境壓力或免於病蟲害, 農作過程常常需要增加藥性的強度, 結果將增加病蟲害的耐藥性, 其結果產生惡性循環而增加藥量投入與環境衝擊的增加, 更甚者影響環境風險和威脅糧食安全(EPA, 2007)。基於此, 本研究焦點聚乳酸原料在種植階段之農藥投入及肥料投入, 並以台灣實際種植的過程資料, 以生命週期評估法及碳足跡探討玉米種植階段之環境衝擊現狀, 相關結果期能提供未來綠色塑膠在台灣的價值分析與環境問題探討有更深入的研究。

## 二、研究方法

本研究以生命週期評估探討 PLA 個案玉米種植階段之環境衝擊分析, 應用毒性指標及碳足跡兩項環境指標, 以探討其環境衝擊, 其詳述研究方法如下。

### 2.1 生命週期評估

生命週期評估 (Life Cycle Assessment, LCA) 是以國際標準組織 (International organization for standardization, ISO) 所訂定的一項產品或服務之評估工具, 考量範圍包括自原料階段、生產製造階段、各階段之運輸、使用階段及使用後之棄置等整體生命週期階段之評估, 對於各階段所投入之能、資源耗用及環境污染物排放之盤查推估, 進一步環境衝擊予以量化, 其量化過程包括特徵化、標準化及權重。有關於生命週期評估方法依目標需求而可選擇不同評估模式, 本研究主要基於對毒性方面及碳足跡指標之需求, 而選擇Eco-indicator 99、Impact 2002<sup>+</sup>與碳足跡三種評估方法。

#### 2.1.1 Eco-indicator 99

Eco-indicator 99 是使用了混合型的損害模型, 此方法是在 2000 年主要由荷蘭 PRé 的專家小組, 與其他各領域的專家參與。提出了由上而下的方法 (特別是以“損害評估為導向”) (Goedkoop and Spriensma, 2001)。其方法計算的標準值是符合 ISO14042 的標準, 相關生態指標之目的是使產品更往環保方面發展。Eco-indicator 99 方法中, 以損害導向為架構原理, 損害歸類為三大類別, 分別為人類健康(Human Health)、生態品質(Ecosystem Quality)及資源消耗(Resources)等, 其評價系統分為三種子系統, 乃根據考量不同時間、管理層面及衝擊議題等因素, 而分為 Egalitarian perspective、Hierarchist perspective 及 Individualist perspective。(Thompson, 1990; Hofstetter, 1998), 本研究則採用 Eco-indicator 99 (Hierarchist) 之中程尺度子系統, 以進行後續個案探討(如表 1)。



表1 Eco-indicator 99評價子系統之分類原則

	Time perspective	Manageability	Required level of evidence
H(Hierarchical)	Balance between short and long term	Proper policy can avoid many problems	Inclusion based on consensus
I(Individualist)	Short time	Technology can avoid many problems	Only proven effects
E(Egalitarian)	Very long term	Problems can lead to catastrophe	All possible effects

資料來源: Thompson, 1990 ; Hofstetter, 1998

Eco-indicator 99 主要就是針對自然資源(Natural Resources)如礦物及化石燃料、人類健康(Human Health)如致癌物質、輻射及生態品質(Ecosystem Quality)如生態毒性、土地使用等三種性質的環境衝擊項目，依不同的評價標準，計算投入產出用量之特徵化、標準化、權重及損害評估以得到生態指標值；其細項之環境議題包括人類毒性(human toxicity)、呼吸系統影響(respiratory effects)、離子輻射(ionizing radiation)、臭氧層破壞(ozone layer depletion)、光化學氧化(photochemical oxidation)、水生生態毒性(aquatic ecotoxicity)、陸地生態毒性(terrestrial ecotoxicity)、陸地酸化(terrestrial acidification)、水生酸化(aquatic acidification)、水體富營養化(eutrophication)、土地佔用(land occupation)、全球氣候暖化(global warming)、非可再生能源(non-renewable energy)、礦產開採(mineral extraction)等 14 項環境衝擊及 4 種傷害類別如人類健康(human health)、生態品質(ecosystem quality)、氣候變化(climate change)、資源(resources)等來詮釋個案對於環境產生的影響。

### 2.1.2 生態毒性

在生態毒性方面，本研究採 Impact 2002<sup>+</sup>之方法，評估生態毒性之環境因素。此方法為 2005 年時瑞士 EPFL(École Polytechnique Fédérale de Lausanne) 學院制定，其方法是採自上而下考慮從中間點至損壞面向，比較評估兩個部份，分別為水生和陸地之生態毒性，藉由物種型態及生物利用度的方式，進行生態及人體毒性的評估。而其中在人體毒性的傷害因子上，以計算致癌物質和非致癌物質、評估攝取劑量反應因子及嚴重程度，其中內容中所提之污染物的轉移，針對人類食物上是否將造成影響，其雖無過多的調查資料顯示，但相比農業和畜牧業產生的影響，其內容敘述，仍是略有描述；而此方法中舉例評估空氣品質的項目，是為比較室內及室外的空氣品質排放量，是可以被拿來作比較，其中降雨就是影響空氣品質好壞的比較因子。

在 Impact 2002<sup>+</sup>方法中，人類毒性的生態毒性主要影響的評估基礎是採以平均反應而非保守的假設，其參考的要點有結合如 Eco-indicator 99 及 CML 2002 中包括 LCI 的 14 類環境衝擊議題，其所有中點分數的表示單位最終都將與 4 種傷害評估指標如 human health, ecosystem quality, climate change, and resources 極其相關。而目前 Impact 2002<sup>+</sup>衍伸提供基本特性近 1500 種不同的 LCI 結果的因子，可供參考(Joliet O., et al, 2003)(如圖 1)。



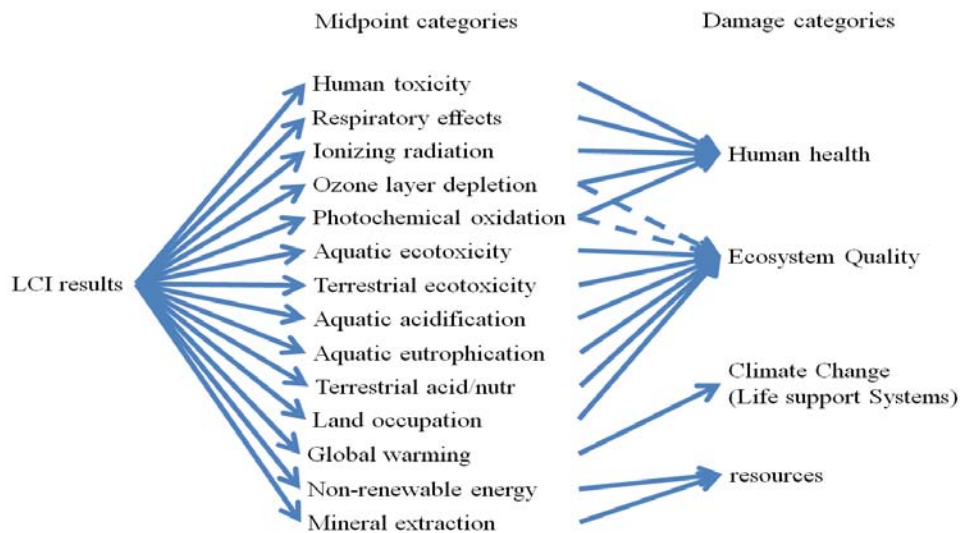


圖1 Impact 2002+連結LCI總體結果之框架

資料來源:Jolliet et al., 2003

## 2.2 碳足跡

碳足跡(Carbon Footprint)之定義，是為一項活動(Activity)或產品的整個生命週期過程所直接與間接產生的二氧化碳排放量。其計算應用工具包括：仍在制定的國際標準(ISO14067)、PAS2050、台灣碳足跡計算指引等，各國將視其需要自訂其計算標準；在規範系統範疇方面，以如產品類別規則(Product Category Rules, PCR)為產品比較的系統範疇；相關排放係數，可自官方公告或相關碳足跡與生命週期評估軟體及IPCC 2006 推估其溫室氣體排放係數。本研究推估溫室氣體之主要工具，主要根據聯合國政府間氣候變遷委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)訂定之溫室氣體潛勢值(Global warming potential, GWP)，並採用 IPCC 2007 為基準，依照 PAS 2050:2008 標準原則，以 100 年風險係數為評估 GWP 之標準，計算包含「京都議定書」公告六種溫室氣體及蒙特婁議定書下之溫室氣體(如表 2)。

而其計算公式是以個別排放係數 ( $mi$ ) 與溫室效應潛勢特徵化係數( $GWPI$ )之乘積總和，如公式 1。

$$GWP = \sum_i(mi \times GWPI) \quad (\text{公式 1})$$

表2 全球暖化潛勢100年係數

名稱	係數	名稱	係數
CO <sub>2</sub>	1	PFC-14	7390
CH <sub>4</sub>	25	HFC-23	14800
N <sub>2</sub> O	298	SF <sub>6</sub>	22800

資料來源:IPCC，2007

## 2.3 農藥碳足跡推估

針對農藥與肥料之盤查資料，主要是透過行政院農委會所建置之基礎資料庫而取得，而根據國貿局海關進出口資料顯示，肥料氮磷鉀肥進口比例僅佔 1%以下間，主要供給乃由國內自行生產，因此本研究假設所需投入之肥料量皆為國內自行製造，其碳足跡推估主要是原料階段及製造階段；在農藥方面，其作物所需之藥別項目，國內技術投入較少，大部分由國外原製造商進口至臺灣，因此碳足跡推估，將引用 Simapro7.3.3 及 eco-invent LCAI 2.2 之資料庫係數，經由特徵化、標準化及權重等，推估原料階段、製造階段、運輸階段及使用後之碳足跡，相關推估示意圖如圖 2 所示。



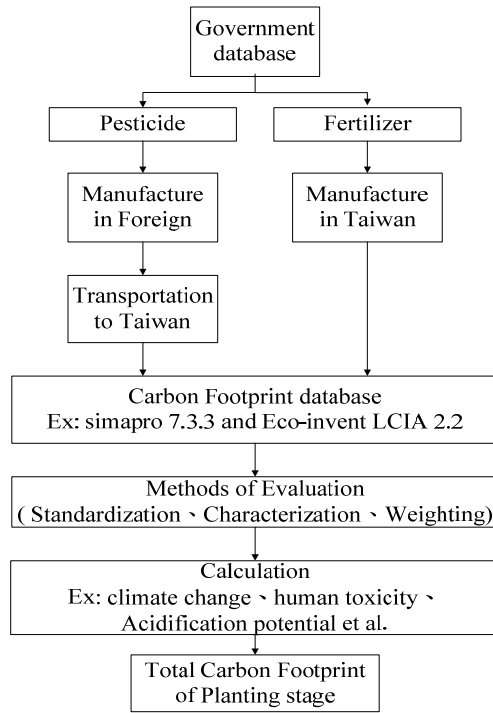


圖 2 農藥及肥料種植階段碳足跡盤查流程

## 2.4 個案分析-聚乳酸原料種植階段投入產出

### 2.4.1 目標與範疇界定

本研究之個案 PLA 材料生命週期評估，在種植階段之系統範疇，主要探討玉米原料在台灣生產範疇，其中農藥與肥料的使用方面，農藥大部分由國外進口，運輸至國內使用；肥料則是主要以國內生產為主，因此，原料種植階段之產品生命週期系統範疇如圖 3 所示，並以生產 1 公斤玉米為功能單位。



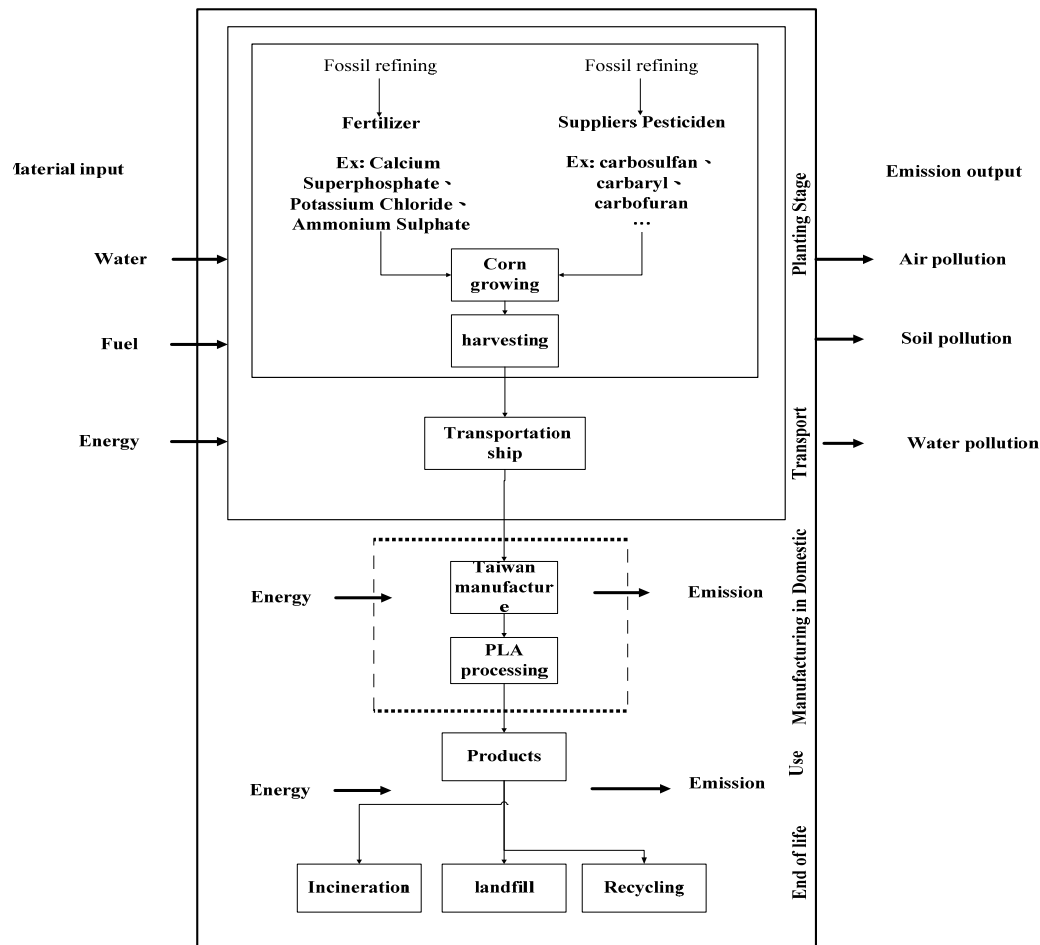


圖 3 個案生命週期系統範疇

#### 2.4.2 資料來源

個案盤查之資料來源以 2011 年為主，包含農藥及肥料使用量，其中農藥資料來源主要為行政院農業委員會動植物防疫檢疫局農藥資訊服務網之政府建置資料清單；而肥料的施用則依據政府提供之建議施用量與收穫量之乘積而得，求取年度總量，並假設玉米作物以一年兩期為估算基準，農藥施用實際施用盤查清單資料取得較為困難，無法實際盤查其真正施用情形，因此根據行政院農業委員會資料採經驗統計值；而運輸距離，分別以 google map 計算陸運出貨廠至出貨港及卸貨港至卸貨廠之距離，海運則以長榮海運所提供之查詢系統，用以計算出貨港與卸貨港之船運距離，根據上述相關資料來源與盤查資料，進一步推估功能單位之使用量。

本研究之基礎資料庫建立，主要為國內之行政院農委會所屬機關包含動植物防疫檢疫局、農業試驗所、農業藥物毒物試驗與聚乳酸 Natural Work 公司，其中 Natural Work 於 2010 年關於聚乳酸(PLA/NG)所進行盤查資料如表 3，其盤查之內容，除了直接排放源，包含製造流程的能源、資源投入與環境污染排放外，還包括間接排放源之外購電力、外包裝製造和廢棄物處理等。生產一公斤聚乳酸需投入 1.73E+00 平方米的土地使用及各種資源投入分別如表 3 所示。

表 3 生產 1 公斤聚乳酸所需原材料

Raw materials	Input in kg
Barytes	7.30E-05
Bauxite	7.00E-06



Sodium chloride (NaCl)	8.17E-02
Chalk (CaCO <sub>3</sub> )	1.02E-01
Clay	2.86E-02
Fe	4.51E-04
Pb	3.00E-06
Limestone (CaCO <sub>3</sub> )	3.51E-02
Sand (SiO <sub>2</sub> )	1.03E-02
Phosphate as P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7.45E-03
S (elemental)	7.76E-03
Dolomite	6.00E-06
O <sub>2</sub>	1.80E-04
N <sub>2</sub>	9.15E-03
Air	2.86E-01
Bentonite	6.00E-06
Gravel	2.00E-06
Olivine	4.00E-06
Potassium chloride (KCl)	1.48E-02
S (bonded)	3.30E-02
Biomass (including water)	3.14E-04
Land use (x E-06 m <sub>2</sub> )	1.73E+00

我國農委會提供 2011 年的玉米平均每公頃生產量為 4,351 公斤，而鑒於 NatureWorks 公司生產 1 公斤 PLA 原料需投入約 2.7 公斤的玉米(偉盟公司，2008)，其詳細計算種植一公斤玉米作物時所投入之農藥及化學肥料之用量，考慮國內所需之農藥類別並無生產需自國外進口，因此盤查資料主要分成三大部分。第一部份討論之農藥部分，我國農委會雖對於研發生物農藥技術，如天然素材、微生物製劑及生化製劑等(許嘉伊，2010)，但實際統計上對於生物農藥的使用量極少，主要仍以合成農藥使用為主，因此根據農委會登記有案之農藥種類殺蟎劑(代號 A, Acaricide)28 種、殺菌劑(代號 F, Fungicide)209 種、除草劑(代號 H, Herbicide)91 種、殺蟲劑(代號 I, Insecticide)175 種、除螺劑(代號 M, Molluscide)2 種、殺線蟲劑(代號 N, Nematicide)6 種、植物生長調節劑(代號 P, Plant growth regulator)21 種、殺鼠劑(代號 R, Rodenticide)5 種、混合分類(代號 X, Mixer)2 種，共計核准登記 539 種農藥產品中彙整以玉米種植所需之 25 種合成農藥別來作評估(如表 4)，根據以上資料進行農藥使用量推估。





表4 施用玉米作物農藥一覽表

農藥類別	劑型種類	代碼	每公頃用量	稀釋倍數	防治別
丁基加保扶	粒劑	GR	40 公斤	-	殺蟲劑
加保扶	粒劑	GR	40 公斤	-	殺蟲劑
加保利	粒劑	GR	30 公斤	-	殺蟲劑
陶斯松	粒劑	GR	20 公斤	-	殺蟲劑
芬普尼	粒劑	GR	20 公斤	-	殺蟲劑
撲奪草	可溼性粉劑	WP	4-6 公斤	170-250	除草劑
拔敵草	乳劑	EC	4 公升	200-300	除草劑
莫多草淨	水懸劑	SC	4 公升	250	除草劑
施圃草脫淨	可溼性粉劑	WP	3 公斤	稀釋至 600L	除草劑
錳乃浦	可溼性粉劑	WP	2.5-3 公斤	400	殺菌劑
必汰草脫淨	可溼性粉劑	WP	2.5 公斤	400	除草劑
蘇力菌	可溼性粉劑	WP	1.6-2 公斤	600	殺菌劑
納乃得	溶液	SL	0.9-1.2 公升	1000	殺蟲劑，殺蚜劑
撲滅松	乳劑	EC	1.0 公升	1500	殺蟲劑
護賽寧	溶液	SL	1 公升	800	殺蟲劑
第滅寧	乳劑	EC	0.7 公升	2000	殺蟲劑
依芬寧	可溼性粉劑	WP	0.67 公升	1500	殺蟲劑
諾伐隆	水分散性乳劑	DC	0.67 公升	1500	殺蟲劑
賜諾特	水懸劑	SC	0.625 公升	1600	殺蟲劑
護汰芬	水懸劑	SC	0.5 公升	2000	殺菌劑
待普克利	乳劑	EC	0.2 公升	5000	植物生長調節劑
乙基克繁草	水分散性粒劑	WG	60 公克	稀釋至 600 公升	除草劑
滅達樂	種子處理液劑	LS	5 公撮/公斤	-	殺菌劑
滅普寧	水懸劑	SC	1 公撮/公斤	-	殺菌劑
達有淨	可溼性粉劑	WP	-	250	除草劑

備註：以“每公頃用量”排序，其相同類別不同劑型此表暫不表述。

資料來源：農委會，農藥作物機制及化學分類檢索，2011

表 5 每公斤玉米之化肥使用量

年度	氮 (公斤)	磷 (公斤)	鉀 (公斤)
2002	6.10E-02	3.27E-02	2.83E-02
2003	6.25E-02	3.35E-02	2.90E-02
2004	6.33E-02	3.39E-02	2.94E-02
2005	6.76E-02	3.62E-02	3.14E-02
2006	6.64E-02	3.56E-02	3.08E-02
2007	7.11E-02	3.81E-02	3.30E-02
2008	6.85E-02	3.67E-02	3.18E-02
2009	6.47E-02	3.46E-02	3.00E-02
2010	6.66E-02	3.57E-02	3.09E-02
2011	6.44E-02	3.45E-02	2.99E-02

資料來源：行政院農委會玉米主題館，2011

第二部份討論之化學肥料，據農委會統計之施用於作物之化肥分別為過磷酸鈣(Calcium superphosphate)、硫酸銨(Ammonium sulphate)、尿素(Urea)、氯化鉀(Potassium chloride)、硝酸銨鈣(Calcium ammonium nitrate)、複合肥料(Combine fertilizers)及其他化學肥料(Others)等七項，但其細項皆不離針對作物的成長所含之氮磷鉀主要三元素，以功能單位生產一公斤玉米將分別投入氮肥 6.44E-02 公斤、磷肥 3.45E-02 公斤及鉀肥 2.99E-02 公斤(如表 5)作計算；第三部份則為上述所說之運輸至國內所需之運輸距離。



### 三、結果與討論

本研究以由生命週期評估方法探討 PLA 之環境衝擊，進一步探討 PLA 在台灣之供應鏈之碳足跡研究，其中在種植階段之碳足跡，乃根據系統範疇設定，收集相關資料與建立盤查資料，訂定基準年為 2011 年，以碳足跡及 Impact 2002<sup>+</sup>等生命週期評估方法推估玉米種植所投入之農藥及肥料之環境衝擊，相關結果與討論如後。

#### 3.1 玉米種植階段農藥之生命週期評估

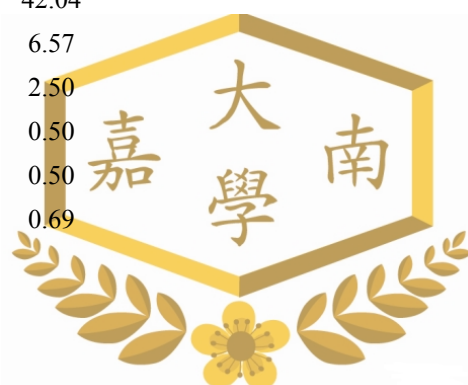
為了推估 PLA 在種植階段之碳足跡，相關盤查資料庫建構，其中農藥相關資料引用行政院農委會於 2011 年栽種之玉米作物登記建檔之農藥別，依據防治、劑型及用量不同，而分為 44 種，基於農藥的使用量，本研究將盤查資料進行資料篩選，此外，根據動植物防疫檢疫局說明差別，因此，本研究基於實際狀況與盤查資料整合之需要，將其 44 項農藥類別縮減至 16 項，根據碳足跡高階分析約可涵蓋 85% 以上，因此其盤查資料之完整性足夠。至於，個別農藥所產生的碳足跡，本研究根據農藥製作供應鏈及化學製作流程，以現有盤查資料庫及供應鏈物質流推估各種農藥之碳足跡，參照台灣地區玉米種植階段農藥使用量，整合個別農藥之碳足跡係數，計算出之碳足跡排放量(如表 6)，進一步考量台灣地區玉米種植面積，推估出在 2011 年種植一公斤的聚乳酸玉米原料，其投入之碳足跡約需投入 0.789 kg CO<sub>2</sub>-eq，其對於環境衝擊是不容忽視。而其中個別農藥之對於碳足跡影響較大，皆以殺蟲劑為主，分別為陶斯松 0.331kg CO<sub>2</sub>-eq，碳足跡比例為 41.95%；丁基加保扶 0.179 kgCO<sub>2</sub>-eq，碳足跡比例為 22.69%；及加保扶 0.110kg CO<sub>2</sub>-eq，碳足跡比例為 13.94%，顯示 PLA 玉米種植階段以陶斯松殺蟲劑之農藥別碳足跡為最大(如表 7)。

表 6 農藥之二氧化碳當量與生態毒性

中文名稱	英文名稱	化學式	分子量	kg CO <sub>2</sub> -eq	玉米之農藥碳足跡 kg CO <sub>2</sub> -eq
丁基加保扶	CARBOSULFAN	C <sub>20</sub> H <sub>32</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> S	380.5	16.50	0.18
加保利	CARBARYL	C <sub>12</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>2</sub>	201.23	7.68	0.11
加保扶	CARBOFURAN	C <sub>12</sub> H <sub>15</sub> NO <sub>3</sub>	221.25	10.10	0.06
陶斯松	CHLORPYRIFOS	C <sub>9</sub> H <sub>11</sub> C <sub>13</sub> NO <sub>3</sub> PS	350.6	61.00	0.33
芬普尼	FIPRONIL	C <sub>12</sub> H <sub>4</sub> C <sub>12</sub> F <sub>6</sub> N <sub>4</sub> OS	437.2	9.53	0.05
莫多草淨	Metolachlor	C <sub>15</sub> H <sub>22</sub> CLNO <sub>2</sub>	283.8	18.20	0.02
錳乃浦	MANEB	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> MnN <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	265.3	5.27	0.00
蘇力菌	BACILLUS THURINGIENSIS	-	-	0.00	0.00

表 7 農藥施用之碳足跡總量

農藥類別	農藥施用量 (公斤)	農藥施用碳足跡排放當量 (kg CO <sub>2</sub> -eq)	百分比(%)
丁基加保扶	40.00	1.79E-01	22.69
加保扶	40.00	1.10E-01	13.94
加保利	30.00	6.26E-02	7.94
陶斯松	20.00	3.31E-01	42.04
芬普尼	20.00	5.18E-02	6.57
莫多草淨	4.00	1.97E-02	2.50
錳乃浦	2.75	3.94E-03	0.50
錳乃浦	2.75	3.94E-03	0.50
加保利	2.60	5.42E-03	0.69



蘇力菌	1.80	0.00E+00	0.00
加保利	1.50	3.13E-03	0.40
加保利	1.50	3.13E-03	0.40
加保扶	1.35	3.71E-03	0.47
加保扶	1.35	3.71E-03	0.47
加保扶	1.30	3.57E-03	0.45
加保扶	1.30	3.57E-03	0.45

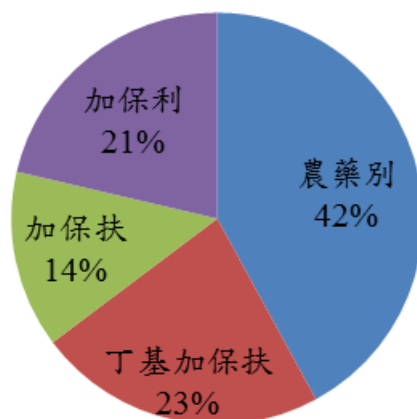


圖 4 玉米種植階段農藥施用量比例

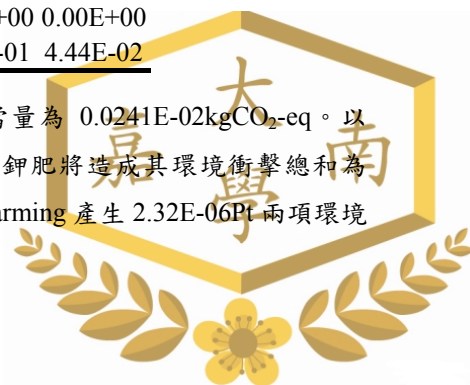
### 3.2 玉米種植階段化學肥料之生命週期評估

玉米種植階段之化學肥料使用量，其 2011 年肥料使用量，藉由 simapro7.3.3 工具計算出，每公斤玉米種植肥料投入之總碳足跡為 0.661kgCO<sub>2</sub>-eq，其分別以氮肥使用量 6.44E-02Kg 之碳足跡為 0.546 kgCO<sub>2</sub>-eq 最大，佔有 82%，其次為磷肥使用量 3.45E-02Kg，碳足跡 0.0912 佔有 13%，及最小為鉀肥使用量 2.99E-02kg。在細部 Eco-indicator 99 特徵化(如表 8)與毒性方面，分別是：

表 8 玉米種植化學肥料之 Eco-indicator 99 特徵化結果

衝擊項目	單位	氮	磷	鉀
Carcinogens	DALY	1.69E-11	7.67E-12	2.14E-12
Resp. organics	DALY	5.35E-11	5.75E-11	7.02E-12
Resp. inorganics	DALY	1.77E-07	1.23E-07	7.79E-09
Climate change	DALY	1.31E-07	1.91E-08	5.03E-09
Radiation	DALY	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ozone layer	DALY	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ecotoxicity	PAF*m <sup>2</sup> yr	1.69E-07	1.48E-07	2.44E-08
Acidification/Eutrophication	PDF*m <sup>2</sup> yr	1.33E-02	4.77E-03	2.49E-04
Land use	PDF*m <sup>2</sup> yr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Minerals	MJ surplus	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Fossil fuels	MJ surplus	4.10E-01	1.59E-01	4.44E-02

鉀肥以一公斤玉米種植需投入 2.99E-02 公斤計算，其二氧化碳當量為 0.0241E-02kgCO<sub>2</sub>-eq。以 Impact2002<sup>+</sup>指標中之單一得點所計算出其生產一公斤的玉米所投入之鉀肥將造成其環境衝擊總和為 5.92E-06 Pt，而其中以 Non-renewable energy 產生 2.47E-06Pt 及 Global warming 產生 2.32E-06Pt 兩項環境



議題較為嚴重，如以損害評估結果表示之 Global warming 將造成 2.30E-02 kgCO<sub>2</sub>-eq 的環境衝擊；而以 Eco-indicator 99 特徵化來看，將特別著重於 Fossil fuels 產生 4.44E-02 MJ surplus 及產生 Acidification/Eutrophication 2.49E-04 PDF\*m<sup>2</sup>yr。

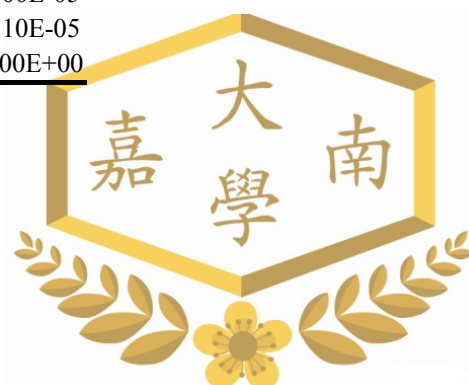
在磷肥的施用，以一公斤玉米種植需投入 3.45E-02 公斤計算，其二氧化碳當量為 9.12E-02kg CO<sub>2</sub>-eq；以 Impact2002<sup>+</sup>指標中之單一得點所計算出其生產一公斤的玉米所投入之磷肥將造成其環境衝擊總和為 3.50E-05Pt，其中以 Respiratory inorganics 產生 1.68E-05Pt 及 Global warming 產生 8.90E-06Pt 兩項環境議題較為嚴重，如以損害評估結果表示之 Global warming 將造成 8.82E-02 kgCO<sub>2</sub>-eq 的環境衝擊；而以 Eco-indicator 99 特徵化來看，將特別著重於 Fossil fuels 產生 1.59E-01 MJ surplus 及產生 Acidification/Eutrophication 4.77E-03 PDF\*m<sup>2</sup>yr。

在氮肥的施用，以一公斤玉米種植需投入 6.44E-02 公斤計算，其二氧化碳當量為 5.46E-01kg CO<sub>2</sub>-eq；以 Impact2002<sup>+</sup>指標中之單一得點所計算出其生產一公斤的玉米所投入之氮肥將造成其環境衝擊總和為 8.73E-05Pt，其中以 Respiratory inorganics 產生 2.50E-05Pt 及 4.00E-05Pt 兩項環境議題較為嚴重，如以損害評估結果表示之 Global warming 將造成 3.96E-01 kgCO<sub>2</sub>-eq；而以 Eco-indicator 99 特徵化來看，將特別著重於 Fossil fuels 產生 4.10E-01 MJ surplus 及產生 Acidification/Eutrophication 1.33E-02PDF\*m<sup>2</sup>yr。

在農藥之整體生命週期評估結果，其總體而言，針對 Impact 2002<sup>+</sup>評價指標，標準化、損害評估、權重及單一得點之單一得點(如表 9)及以致癌性(Carcinogens)、非致癌性(Non-carcinogens)、呼吸無機物(Respiratory inorganics)、游離輻射(Ionizing radiation)、臭氧層(Ozone layer depletion)、水/陸生生態毒性(Aquatic/ Terrestrialecotoxicity)、優養化(Acidification/Eutrophication)等 15 項環境衝擊項目(如表 10)，可看出生產玉米所投入之肥料輔助藥劑對於 Global Warming 此項的環境衝擊皆是有所影響，而所探究之投入量與環境衝擊之差異原因，主要是氮肥對於植物的葉和莖的生長是不可或缺；而鉀肥則為促使澱粉和糖類的形成，增強對病蟲害的抵抗力等功能，因此基於成本考量，鉀肥一般施用量較小，因此環境衝擊與碳足跡也相對較小。

表 9 玉米肥料施用之單一得點比較

物質	單位	鉀	磷	氮
Carcinogens	Pt	6.35E-09	1.45E-08	5.99E-08
Non-carcinogens	Pt	3.16E-08	6.88E-08	3.09E-07
Respiratory inorganics	Pt	1.08E-06	1.68E-05	2.50E-05
Ionizing radiation	Pt	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ozone layer depletion	Pt	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Respiratory organics	Pt	9.89E-10	8.11E-09	7.54E-09
Aquatic ecotoxicity	Pt	3.45E-15	3.53E-14	6.04E-12
Terrestrial ecotoxicity	Pt	8.18E-13	8.88E-12	2.39E-09
Terrestrial acid/nutri	Pt	1.81E-08	3.48E-07	9.66E-07
Land occupation	Pt	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Aquatic acidification	Pt	-	-	-
Aquatic eutrophication	Pt	-	-	-
Global warming	Pt	2.32E-06	8.90E-06	4.00E-05
Non-renewable energy	Pt	2.47E-06	8.86E-06	2.10E-05
Mineral extraction	Pt	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00



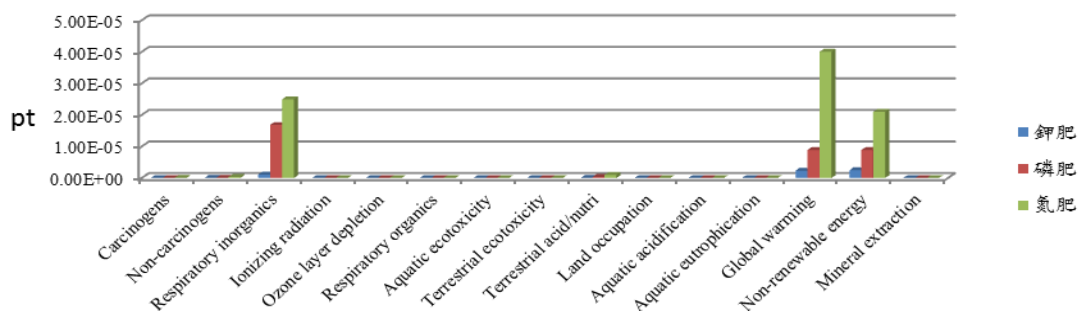


圖 5 玉米種植肥料投入之單一得點比較

表 10 玉米肥料施用之損害評估比較

物質	單位	鉀	磷	氮
Carcinogens	DALY	4.50E-11	1.03E-10	4.25E-10
Non-carcinogens	DALY	2.24E-10	4.88E-10	2.19E-09
Respiratory inorganics	DALY	7.63E-09	1.19E-07	1.77E-07
Ionizing radiation	DALY	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ozone layer depletion	DALY	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Respiratory organics	DALY	7.02E-12	5.75E-11	5.35E-11
Aquatic ecotoxicity	PDF*m <sup>2</sup> *yr	4.73E-11	4.83E-10	8.27E-08
Terrestrial ecotoxicity	PDF*m <sup>2</sup> *yr	1.12E-08	1.22E-07	3.27E-05
Terrestrial acid/nutri	PDF*m <sup>2</sup> *yr	2.48E-04	4.76E-03	1.32E-02
Land occupation	PDF*m <sup>2</sup> *yr	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Aquatic acidification		-	-	-
Aquatic eutrophication		-	-	-
Global warming	kg CO <sub>2</sub> -eq	2.30E-02	8.82E-02	3.96E-01
Non-renewable energy	MJ primary	3.75E-01	1.35E+00	3.19E+00

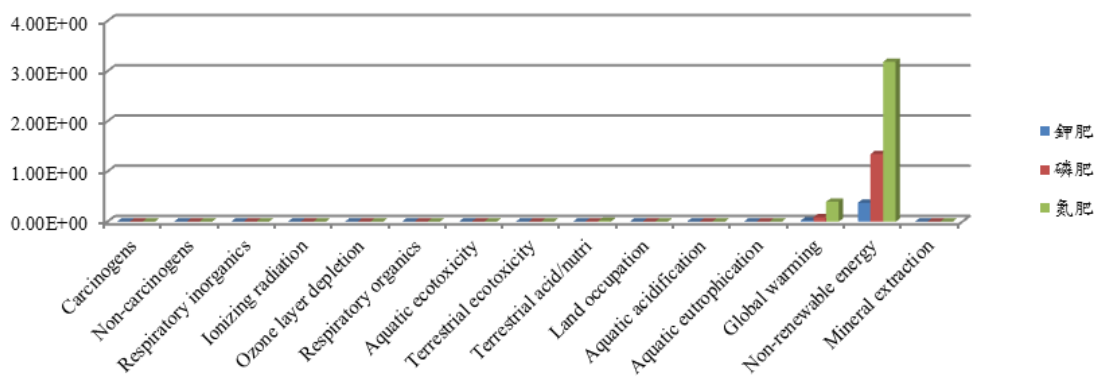


圖 6 玉米種植肥料投入之損壞評比



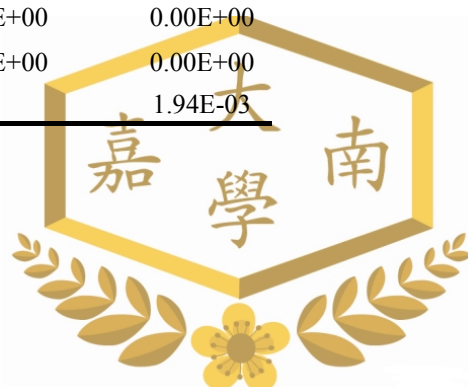
### 3.3 運輸之碳足跡

對於玉米種植每公斤之碳足跡推估，針對本研究所著重之國內種植所需之農藥投入，其來源主要是國外進口，因而運輸距離將增加產品之碳足跡，根據陸運及海運之距離計算其運輸之總排碳量為 1.94E-3kg CO<sub>2</sub>-eq(如表 11)，其中以陶斯松及芬普尼兩項殺蟲劑之運輸產生的碳排量較多，其值分別為 6.27E-4 kg CO<sub>2</sub>-eq 及 6.59E-4 kg CO<sub>2</sub>-eq，此兩項農藥主要來自印度進口，且出貨廠也與當地最近之港口有段距離，且海運距離相較於其他農藥之運輸距離較長。至於若需要減少碳足跡，則進口商應可選擇較近距離國家或由本國自行製造，將可有效降低碳足跡的數值。

表 11 運輸距離之總足跡

農藥類別	出貨廠與當地港口 (kg CO <sub>2</sub> -eq)	港與港 (kg CO <sub>2</sub> -eq)	卸貨港對卸貨廠 (kg CO <sub>2</sub> -eq)	總碳足跡 (kg CO <sub>2</sub> -eq)
丁基加保扶	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
加保扶	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
加保利	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
陶斯松	1.47E-04	4.56E-04	2.38E-05	6.27E-04
芬普尼	1.54E-04	4.40E-04	6.45E-05	6.59E-04
莫多草淨	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
錳乃浦	8.08E-06	1.47E-04	4.92E-06	1.60E-04
錳乃浦	8.08E-06	1.47E-04	4.92E-06	1.60E-04
加保利	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
蘇力菌	1.41E-05	5.71E-05	1.96E-06	7.31E-05
加保利	4.41E-06	8.02E-05	2.68E-06	8.73E-05
加保利	4.41E-06	8.02E-05	2.68E-06	8.73E-05
加保扶	6.39E-07	1.34E-05	1.48E-06	1.55E-05
加保扶	3.64E-06	1.01E-05	1.61E-06	1.54E-05
加保扶	7.99E-06	2.98E-05	1.55E-06	3.93E-05
加保扶	1.83E-07	1.36E-05	1.40E-06	1.52E-05
加保扶	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
加保扶	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
納乃得	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
撲滅松	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
蘇力菌	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
第滅寧	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
第滅寧	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
第滅寧	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
依芬寧	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
諾伐隆	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
賜諾特	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
護汰芬	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
總碳足跡當量				1.94E-03

### 四、結論與建議



本研究以生命週期評估方法，研究聚乳酸原料-玉米種植階段需投入之農藥與肥料，以臺灣為最終處理計算其生命週期評估，研究結果針對玉米一年於春秋兩期作所需投入輔助藥品之碳足跡、生態毒性及個案階段環境衝擊之比較，其結論與建議如下。

1. 種植一公斤玉米所需投入之農藥、肥料與運輸階段之碳足跡排放計算結果顯示，農藥產生之碳足跡總量為 0.789kg CO<sub>2</sub>-eq，主要是以殺蟲劑對於碳足跡的衝擊最大；肥料產生之之碳足跡總量為 6.61E-01kg CO<sub>2</sub>-eq 以氮肥投入所產生之衝擊較大；運輸階段之農藥進口產生之碳足跡總量為 1.94E-03kg CO<sub>2</sub>-eq 以進口殺蟲劑型的廠商造成碳足跡排放量為最多。
2. 農藥、肥料及運輸投入碳足跡，生產一公斤玉米其搖籃至大門階段之碳足跡總量為 1.45 kg CO<sub>2</sub>-eq，而生產一公斤聚乳酸需投入 2.7 公斤之玉米原料，以此推估生產一公斤聚乳酸在台灣種植階段之碳足跡總排放量为 3.92kg CO<sub>2</sub>-eq，以此推估結果，並不包含肥料及農藥裝填時所需之包材，因此對此碳足跡推估，未來仍需增加包材相關的碳足跡投入。
3. 對於種植階段之生命週期評估中，對於碳足跡推估仍有許多不確定，包括農藥使用後之溫室氣體排放、農藥製造過程由於相關盤查資料不足，雖然結合理論與盤查資料庫以降低碳足跡推估之不確定，但部分農藥不確定性可能仍高，可進一步收集更完整資料進行推估。
4. 透過本個案探討之初步結果，藉由 PLA 種植階段之碳足跡分析，同時對玉米種植進一步了解農藥使用所產生的碳足跡與毒性，期望能供未來碳足跡盤查工作參考。
5. 玉米作物種植過程需投入之廢料及農藥等產品，是以生命週期方法去探討聚乳酸於上游階段將被輕忽的問題點，而透過本個案之結果，將進一步推估玉米原料加工製造為聚乳酸後之整體碳足跡完整性。

## 五、參考文獻

1. Álvarez-Chávez C.R., Edwards S., Moure-Eraso R., Geiser K. (2012) Sustainability of bio-based plastics: general comparative analysis and recommendations for improvement, *Journal of Cleaner Production*, 23, 47-56.
2. Aoe, T., (2007), Eco-efficiency and ecodesign in electrical and electronic products, *Journal of Cleaner Production* 15 1406-1414.
3. British Standard Institution (2008), PAS 2050:2008, 2008.
4. Cerdan, C., Gazulla, C., Raugei, M., Martinez, E., Pere, F.P., (2009), Proposal for new quantitative eco-design indicators: a first case study, *Journal of Cleaner Production* 17, 1638-1643.
5. Chandra, R., Rustgi, R., (1998), *Biodegradable Polymers*, 1998 Elsevier Science Vol. 23, 1273-1335.
6. Chien Y.C., Liang C., Yang S.H. (2011) Exploratory study on the pyrolysis and PAH emissions of polylactic acid, *Atmospheric Environment*, 45, 123-127.
7. Coon, R. E., Kolstad, J. J., Borzelleca, J. F., Dixler, D. S., Filer Jr, L. J., LaDu, Jr, B. N., Pariza, M. W., (1990), Safety Assessment of Polylactide (PLA) for Use as a Food-contact Polymer, *Fd Chem. Toxic.* Vol. 33, No. 4, 273-283.
8. Eco-profiles, Plastics Europe, 2012. <http://www.plasticseurope.org/plastics-sustainability/eco-profiles.aspx>
9. Elcock, D., (2007), Life-Cycle Thinking for the Oil and Gas Exploration and Production Industry, Argonne National Laboratory Report ANL.
10. EPA, 2007a. Planting. Ag 101. <http://www.epa.gov/oecaagct/ag101/cropplanting.html> (accessed 31.08.11).



11. European bioplastics, (2010), <http://en.european-bioplastics.org/>.
12. Flieger, M., Kantorová, M., Prell, A., Řezanka, T., Votruba, J., (2003), Biodegradable Plastics from Renewable Sources, *Folia Microbiol.*48(1), 27-44.
13. Gironi, F., Piemonte, V., (2010), Life Cycle Assessment of Polyactic Acid And Polyethylene Terephthalate Bottles for Drinking Water, *Environmental Progress&Sustainable Energy*.
14. Goedkoop, M., Effting, S., Collignon, M., (2000) *The Eco-indicator 99 Manual for Designers*. PRÉConsultants .
15. Gupta, B., Revagade, N., Hilborn, J., (2007), Poly(lactic acid) fiber: An overview., *Prog. Polym. Sci* 32, 455-482.
16. IFEU, (2006), Life Cycle Assessment of POLYLACTIDE (PLA), Institut für Energieund Umweltforschung, Heidelberg GmbH.
17. IFEU, (2009), Life Cycle Assessment of food packaging made of Ingeo™ biopolymer and (r)PET, Institut für Energieund Umweltforschung, Heidelberg GmbH.
18. IPCC, (2006), Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 5.
19. IPCC, (2007), Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
20. James, K., Grant, T., (2005) *LCA of Degradable Plastic Bags*, Centre for Design at RMIT University, Melbourne.
21. Japan BioPlastics Association(2010) · <http://www.jbpaweb.net/english/english.htm> .
22. Joliet O., Margni M., Charles R., Humbert S., Payet J., Rebitzer G., Rosenbaum R., 2003, *IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology*, A New Life Cycle Impact Assessment Methodology, *Int J LCA* 8 324 – 330.
23. Kale, G., Auras, R., Singh, S. P., Narayan, R., (2007), Biodegradability of polylactide bottles in real and simulated composting condition, *Polymer Testing* 1049-1061.
24. Khardenavis, A. A., Kumar, M. S., Mudliar, S. N., Chakrabarti, T., (2007), Biotechnological conversion of agro-industrial wastewaters into biodegradable plastic, poly β-hydroxybutyrate., *Bioresource Technology* 98 , 3579–3584.
25. Lunt, J., (1997), Large-scale production, properties and commercial applications of polylactic acid polymers. *Polymer Degradation and Stability* 59, 145–152.
26. Madival, S., Auras, R., Singh, S. P., Ramani Narayan, R., (2009), Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology, *Journal of Cleaner Production* 17 ,1183–1194.
27. Mark, G., Suzanne, E., Marcel, C., (2000), *The Eco-indicator 99, A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Manual for Designers*, PRÉ Consultants B.V. 17.
28. Mark, G., Marjolein, D., Marcel, C., (1996), *The Eco-indicator 95, Weighting method for environmental effects that damage ecosystems or human health on a European scale. Contains 100 indicators for important materials and processes. Updated version, November.*
29. Marketsand Markets, May 1, 2011, *Biodegradable Plastics Market: by Types (Starch, PLA, PHA, PCI, and PBS), Applications, Regulations, Prices, Trends & Forecast (2011 - 2016)*, 361 Pages.





30. Nampoothiri, K, M., Nair, N, R., John, R, P., (2010), An overview of recent developments in polylactide (PLA) research, *Bioresource Technology* 101, 8493-8501.
31. Nolan-ITU., (2002), *Environment Australia Biodegradable Plastics –Developments and Environmental Impacts*, Prepared in association with ExcelPlas Australia.
32. OVAM, (2006), *Comparative LCA of 4 types of drinking cups used at events*.
33. PET Resin Association., (2007), *LCI Summary for PLA and PET 12-ounce water bottles*, Franklin Associates.
34. Plastics Europe (2010) · <http://lca.plasticseurope.org/index.htm>.
35. Rahman, W.A.WA., Sin, L.T., Rahmat, A.R., Samad, A.A., (2010), Thermal behaviour and interactions of cassava starch filled with glycerol plasticized polyvinyl alcohol blends, *Carbohydrate Polymers* 81 (2010) 805–810.
36. Razza, F., Fieschi, M., Innocenti, F, D., Bastioli, C., (2009), *Compostable cutlery and waste management: An LCA approach*, *Waste Management* 29 , 1424–1433.
37. Sarnacke, P., Wildes, S., (2008), *Disposable Bioplastics Consumer disposables Agricultural films*, United Soybean Board.
38. Saxena, K, S., (2004), *Polyvinyl Alcohol (PVA) Chemical and Technical Assessment (CTA), Chemical and Technical Assessment, 61st JECFA*.
39. Shah, A, A., Hasan, F., Hameed, A., Ahmed, S., (2008), *Biological degradation of plastics: A comprehensive review*, *Biotechnology Advances* 26, 246-265.
40. Shen.L., Haufe.J., Patel.M.K., (2009), *Product overview and market projection of emerging bio-based plastics*, Utrecht , The Netherlands.
41. Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., Rosa, M, D., (2008), *Biodegradable polymers for food packaging :a review*, *Trends in Food Science & Technology* 19, 634-643.
42. The ACC Plastics Division., (2008), *LCI Summary for half-gallon milk containers*, Franklin Associates.
43. Thompson M., Ellis R., Wildavsky A.; *Cultural Theory*, Westview Print Boulder 1990.
44. Vink .Erwin .T.H., Glassner David. A., Kolstad Jeffrey, J., Wooley Robert, J. and O’Connor Ryan, P., (2007), *The eco-profiles for current and near-future Nature Works Polylactide(PLA) production , Industrial Biotechnology*.
45. Vink .Erwin .T.H., Ra’bago.Karl .R., Glassner.David. A., Gruber.Patrick.R., (2003), *Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production*, *Polymer Degradation and Stability* 80 403–419.
46. VinkErwin T.H., Davies S., Kolstad J.J., *The eco-profile for current ingeopoly lactide production, industrial biotechnology. Vol 6, No4., pages. 212-224, August 2010.,nature work LLC*.
47. WBCSD, (2006), *Eco-efficiency learning module, Business Role/CSR*
48. World steel association, *CO<sub>2</sub> emissions data collection user guide, version 6, 2008.*  
<http://www.worldsteel.org/steel-by-topic/climate-change/data-collection.html>
49. 中華民國環保生物可分解材料協會(2010) , <http://www.ebpa.org.tw/page-2-4.htm>。
50. 行政院農業委員會，*農藥作物機制及化學分類檢索*，2011。



51. 行政院環保署-台灣碳足跡資訊網(2010)，<http://cfp.epa.gov.tw/carbon/defaultPage.aspx>。
52. 林佳蓓(2012)，海洋恢復聯盟之塑膠揭露專案PDP(下)，綠色環保報第65期，2012.06.01，財團法人塑膠工業技術發展中心。
53. 長榮海運(2011)，<http://www.searates.com/cn/reference/portdistance/>。
54. 姚元婕、吳易凡(2006)，分解性塑膠產業與技術發展趨勢，經濟部技術處產業技術知識服務(IT IS)計畫，2006.12。
55. 偉盟工業股份有限公司(2008)，聚乳酸(PLA)市場脈動與契機。  
<http://www.weimon.com.tw/page.php?PageID=65&Method=Detail&ID=8>
56. 張茂祥(2010)，以生命週期評估探討生物可分解塑膠個案應用之環境效益—以聚乳酸為例，碩士論文，嘉南藥理科技大學環境工程與科學系。
57. 曹智菴(2011)，2013年全球生物可分解材料年成長率將突破37%，生技與醫療器材報導月刊，2月號。<http://www.101975.tw/tab/435/id/8318/>。
58. 陳志成、王雲平、王金煌(2008)，生物可分解塑膠的世界市場展望，化工：中國化學工程學會會刊，臺灣化學工程學會會刊，11~15。
59. 陳慶、劉宏(2010)，三大生物降解塑膠未來五年市場需求預測，塑料工業，第38卷第2期，中國。
60. 楊英賢(2008)，生命週期與不確定分析應用於火力電廠與燃料選擇，博士論文，成功大學環境工程學系。
61. 楊斌，(2010)，PLA聚乳酸環保塑膠，五南。
62. 經濟部工業局(2001)，ISO14000系列生命週期評估技術與應用手冊。
63. 經濟部工業局(2001)，生態效益主導21世紀經濟理念。
64. 經濟部工業統計處(2009)，工業生產統計年報。
65. 經濟部標準檢驗局(2005)，國家標準CNS14661，[可堆肥化塑膠]。
66. 蕭志強譯，日本生物可分解研究會，(2006)，圖解生物可分解塑膠，世茂。
67. 羅秋雄、張金城(2003)，作物施肥手冊，5卷，行政院農委會桃園區農業改良場。

