

## 區域型生質資源綠色循環利用之可行策略-以花蓮地區為例

台灣能資源永續與低碳經濟學會 蘇美惠秘書長

我國 2017 年生物性農業廢棄物共計 461 萬公噸，其中農產廢棄物包含稻殼、稻稈、廢棄菇包一年約 214 萬公噸，畜產廢棄物包含禽畜糞、畜禽屠宰後廢棄物及死廢畜禽約 228 萬公噸，批發市場廢棄物以果菜殘渣為主約 3 萬公噸，食品加工廢棄物包括農村小型農產品加工及蔬果截切等約 3.2 萬公噸(詳如表 1)；而這些廢棄物皆為具有加值再利用機會的良好生質物資源。

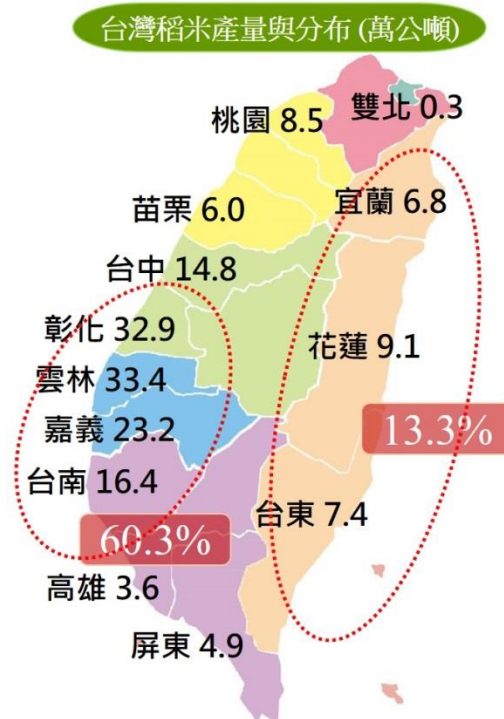
表 1、我國 2017 年生物性農業廢棄物統計

項 目	數量(公噸)
<b>農產廢棄物</b>	<b>2,137,220</b>
稻殼	335,513
稻稈	1,677,565
廢棄菇包	124,142
<b>漁業廢棄物</b>	<b>139,068</b>
牡蠣殼	139,068
<b>畜產廢棄物</b>	<b>2,275,410</b>
禽畜糞	2,178,005
畜禽屠宰後廢棄物	52,647
死廢畜禽	44,759
<b>批發市場廢棄物</b>	<b>29,285</b>
果菜殘渣	26,554
花卉殘渣	596
漁產殘渣	2,135
<b>食品加工廢棄物</b>	<b>31,952</b>
<b>合 計</b>	<b>4,612,935</b>

資料來源：農委會 106 年度「農業廢棄物排放量」統計。

以台灣稻米種植為例，一年兩期作共收穫 27.5 萬公頃，2017 年稻米產量達 175 萬公噸，集中於中南部地區，占全台 60.3%(圖 1)。東台灣亦為台灣稻米重要產區，稻米產量占全台 13.3%，以花蓮縣最多，收穫面積最大近 1.8 萬公頃，稻穀收穫量近 9.1 萬公噸，推估稻

稈亦有相同產量。整體而言，東台灣農作物生產以稻米為主，2015年稻米占全縣農作物生產收穫面積比重花蓮縣達 78.8%，宜蘭縣與台東縣也分別達 69.9%與 43%；因此，稻稈為東台灣最具規模之農業廢棄物。



資料來源：106 年農業統計年報；本研究整理

圖 1、我國 2017 年稻米產量分布圖

東台灣農業發達，相對生質物資源也豐富，因此為推動區域型生質資源綠色增值循環經濟之良好試點。由於東台灣地區大規模作物種植，以花蓮縣之稻米規模較大，加上花蓮縣中華紙漿廠內也有可加以利用之生質殘留物；因此，本研究以花蓮地區為例，盤點區域生質物潛量與分布，探討區域型生質資源綠色循環型利用之可行策略。

### 一、花蓮縣區域農業殘留物生質物潛量分析

參考「花蓮縣 103 年統計年報」各項農作物之收穫面積及收穫量，分成稻米、雜糧作物、特用作物、蔬菜、果品等進行探討。花蓮縣農作物生產以稻米為主，以 2014 年收穫面積推估，稻米占全縣收穫面積 78.8%，其他還包含雜糧作物(5.6%)、特用作物(3.5%)、蔬菜與果品(12.2%) (表 2)。其中特用作物、蔬菜與果品種植面積相對較

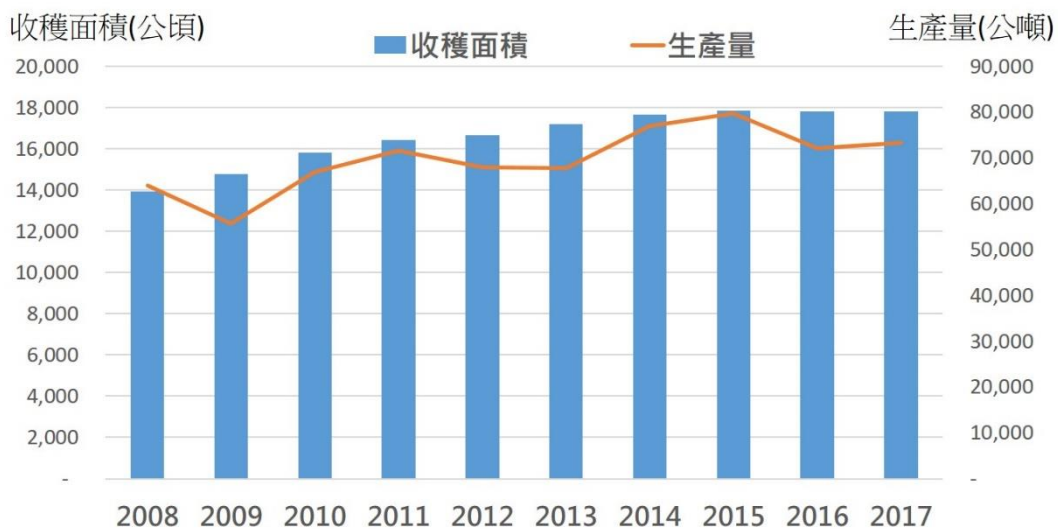
小，目前相關農業廢棄物皆留置田間做為有機肥，且根據農委會「綠色國民所得帳農業固體廢棄物」統計，亦未將其列入統計，而係以批發市場果菜殘渣進行統計。

表 2、2014 年花蓮縣各類農作物收穫面積概況

作物	稻米	雜糧作物	特用作物	蔬菜與果品
收穫面積 (公頃)	17,673	1,254	781	2,733
比重	78.8%	5.6%	3.5%	12.2%

資料來源：花蓮縣政府主計處，花蓮縣 103 年統計年報-農林漁牧。

花蓮地區稻米 2017 年收穫面積計 17,825 公頃，較 2016 年增加 24 公頃，成長 0.13%(圖 2)；稻米總生產量計 73,233 公噸，與 2013 相較，增加 1,140 公噸，增加 1.58%；十年間稻米收穫面積從 2008 年的 13,928 公頃逐年上升至 2017 年的 17,825 公頃，種植面積在 2015 年達到近十年新高後，一直維持在高檔。



資料來源：花蓮縣政府主計處(2018)，106 年花蓮縣農作物生產概況簡要分析。

圖 2、花蓮縣稻米收穫面積及生產量

由於稻稈與稻米產量約呈現 1:1 比例，稻殼產生量約為稻穀產量二成。若以 2014 年花蓮地區稻米收穫量數據進行推估，花蓮縣稻

稈產量約有 7.69 萬公噸，至於稻殼量則約有 1.54 萬公噸；若以乾物質計算，稻稈產量約有 6.92 萬公噸，至於稻殼量則約有 1.46 萬公噸(表 3)。目前花蓮地區稻稈處理方式，為水稻機械收穫後直接切碎留置田間，翻耕後做為綠肥；至於稻殼，則做為碾米廠烘乾燃料或堆肥使用。在雜糧作物方面，由於種植面積相對較小，農業廢棄物潛量也相對較低，詳如表 4 所示。

表 3、花蓮縣 2014 年稻米農業廢棄物潛量分析

	稻稈產量	稻殼產量
田間產量(公噸)	76,891	15,378
乾重(公噸)	69,202	14,610

資料來源：本研究計算整理。

表 4、2014 年花蓮縣雜糧作物農業廢棄物潛量分析

作物別	甘藷莖葉	玉米桿	落花生殼	落花生藤	大豆藤
鮮重產量(公噸)	4,410	4,021	3,232	291	837
乾重產量(公噸)	882	3,796	2,909	268	712

資料來源：本研究計算整理。

## 二、花蓮地區可供利用各項生質物料源分布

由於花蓮縣地形狹長，南北長約 137.5 公里，東西寬約 43 公里。因此，為計算花蓮區域生質物潛能，本研究將花蓮區分為南北兩區，以便分析各區域潛能。在北區部分以壽豐鄉為中心，含括新城鄉、花蓮市、吉安鄉、壽豐鄉、鳳林鎮、與光復鄉；南區則以玉里鎮為中心，腹地包含玉里鎮、瑞穗鄉及富里鄉。此外，山地部落之秀林鄉、萬榮鄉與卓溪鄉，因運距較長暫不納入料源潛能計算；至於被海岸山脈阻隔之豐濱鄉，因交通運距關係，亦不納入料源潛能估算。有關各中心與各鄉鎮間之距離如圖 3 所示。

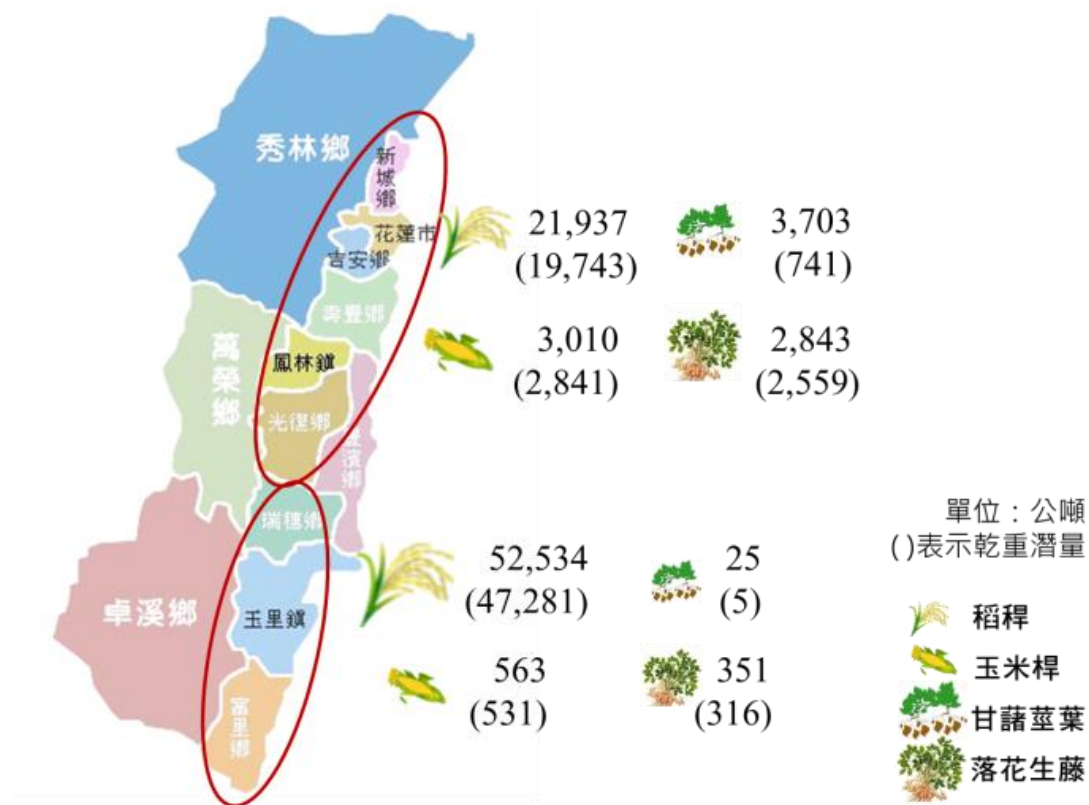


註：以 google 地圖顯示之最短汽車行駛距離，估算壽豐鄉豐田火車站和玉里鎮玉里火車站分別到各鄉鎮火車站或鄉公所之距離；萬榮鄉與卓溪鄉則以其重要農業村落為代表。

資料來源：本研究整理。

圖 3、花蓮縣各區域間運距分析

花蓮縣作物廢棄物可供利用各項生質物料源分布，以較大宗之稻稈、玉米桿、甘藷藤與落花生藤進行評估(如圖 4 所示)，北區以壽豐鄉為中心之腹地，主要以雜糧作物生產為主，在最長運距 28.1 公里下，稻稈一年乾重潛量約 1.97 萬公噸，玉米桿約 2,841 公噸，甘藷莖葉 741 公噸，落花生藤則約有 2,559 公噸。至於南區則指以玉里鎮為中心之腹地，以稻作生產為主，在運距最長 24.2 公里下，稻稈一年乾重潛量約 4.7 萬公噸，玉米桿約 531 公噸，甘藷莖葉僅 5 公噸，落花生藤則約有 316 公噸。



資料來源：本研究計算整理。

圖 4、2015 年花蓮縣作物農業廢棄物區域潛量分析

### 三、區域型生質資源綠色循環利用之可行策略評估

由於不同生質物加值技術所使用的料源為相互競爭，為評估適合於花蓮縣地區加值利用之應用技術，本研究分別從成本效益面與環境面，評析稻稈用於包含生質酒精、生質發電、沼氣發電、生質瓦斯與纖維乳酸(PLA)等，具備應用潛力之加值技術替代原有產品後，可能產生之各項效益進行評估，如表 5 所示。

表 5、生質物加值後產品之替代品一覽表

生質物加值技術	混燒	沼氣發電	沼氣燃燒	纖維酒精	纖維乳酸
替代品	化石電力	化石電力	天然氣	汽油	石化塑膠

資料來源：本研究整理。

每公噸稻稈加值利用後，其可產生之經濟面與環境面效益整理



於表 6；研究結果顯示，以纖維乳酸經濟價值最高，每公噸稻稈產製纖維乳酸後，約可創造新台幣 22,400 元產值；纖維酒精的經濟價值則次之，每公噸稻稈產製纖維酒精產值約 6,600 元。至於應用生質混燒、沼氣發電或生質瓦斯等技術，其所產生之市場價值相近，約介於 3,742 元~3,984 元。

表 6、稻稈應用於各項生質能技術之單位效益評估

技術項目		生質混燒	沼氣發電	生質瓦斯	纖維酒精	纖維乳酸
經濟面	產量	1,023 度/公噸	746 度/公噸	300 m <sup>3</sup> /公噸	220 公升/公噸	280 公斤/公噸
	產值 (元/公噸)	3,984	3,742	3,804	6,600	22,400
環境面	減碳量 (kgCO <sub>2</sub> /公噸)	567	413	564	462	617
技術面	技術層次	低	中	中	高	高

註：1.發電效率生質混燒與沼氣發電分別以 20%及 25%計算，生質瓦斯燃燒效率則以 100%推估。

2.產值推估，生質混燒與厭氧沼氣發電為參考 107 年度再生能源發電設備電能躉購費率，每度電分別為 3.8945 元與 5.0161 元；生質瓦斯市場價格則參考 2018 年 10 月 2 日起中油天然氣工業用戶售價每立方公尺 12.6808 元。酒精市場價格，以油價 70 美元/桶所對應之 95 汽油價格，每公升約 30 元計算。乳酸價格則以目前市價約每公斤新台幣 80 元進行分析。

3.排放係數，電力碳排放係數為參考 106 年台電電力排放係數每度電為 0.554 公斤 CO<sub>2</sub>；天然氣排碳量則參考環保署台灣產品碳足跡資訊網，每立方公尺約 1.881 公斤；生質酒精碳足跡則以能源局公布每公升約 2.1 公斤 CO<sub>2</sub>；纖維乳酸碳排放量為參考 Vink et. al. (2007)每公斤約 2.203 公斤 CO<sub>2</sub>。

資料來源：本研究計算整理。

除了花蓮地區本身蘊藏豐沛的稻稈生質物資源外，位於花蓮縣的中華紙漿花蓮廠年產紙漿 25 萬公噸、紙張 12 萬公噸，製程所產生之廢棄物有木屑、廢水生物污及廢漿，這些廢棄物也都是可加以高質化利用的生質物資源。在木屑部分，每日約產生 21.4 公噸，含水率 50%，目前主要作為堆肥使用；廢水生物污泥日產生量約 30.1 公噸，主要運送至台東廠焚燒，供台東廠電力自用；廢漿部分日排渣量約

2.5 公噸，交由廢水處理廠處理為沉漿，成為一級汙泥後，再行利用。

因此，本研究鎖定將中華紙漿花蓮廠內之廢木屑搭配花蓮縣境內之稻稈，加以高質化應用，評估發展區域型生質資源循環經濟之可行性。考量料源可供應規模不大，終端產品應從高經濟價值產品加以規劃，投資效益才會顯著。故本研究假設於中華紙漿花蓮廠內設立一座纖維乳酸精煉廠，以廢木屑搭配花蓮地區稻稈廢棄物作為料源進行評估。

在同時使用稻稈與廢木屑料源下，該纖維乳酸廠年產能約為 5,316 公噸。除了產出纖維乳酸外，副產品包含發酵後木質素殘渣做為汽電共生原料，所產生的能源供纖維乳酸廠使用；此外，半纖維素中的五碳糖(C5)可作為飼料用木寡糖，木寡糖年產能約為 1,555 公噸；相關情境設定參數如表 7。

表 7、中華紙漿花蓮廠纖維乳酸工廠情境設定

料源	稻稈	廢木屑
日進料量(公噸)	60	10.7
乳酸轉換率(公斤/公噸乾料源)	245.3	280.5
乳酸年產量(公噸)	4,415	900
料源佔比	0.83	0.17
木寡糖轉換率(公斤/公噸料源)	73.00	75.00
副產品利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 發酵後木質素殘渣做為汽電共生原料</li> <li>• C5 作為飼料用木寡糖，售價 5 元/公斤</li> </ul>	
設備使用年限	20 年	
工作天	300 天/年	
年產能	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 乳酸：5,316 公噸</li> <li>• 飼料用木寡糖：1,555 公噸</li> </ul>	

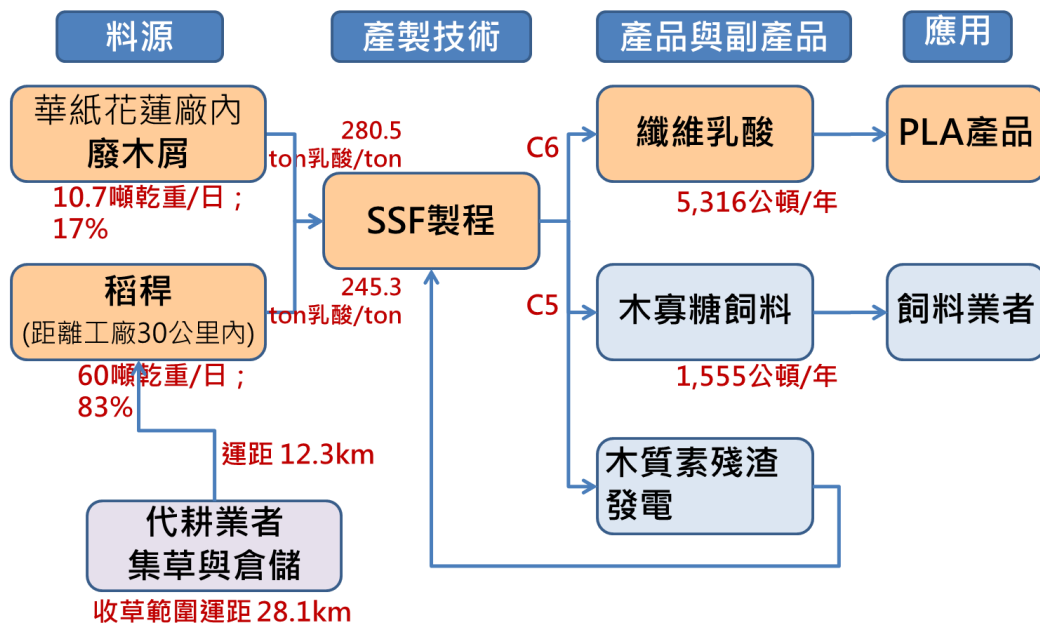
註：廢木屑日進料量為 21.4 公噸濕重，含水率 50%；換算乾重為 10.7 公噸。

資料來源：本研究整理。



其中稻稈料源部分，假設於壽豐鄉由代耕業者設立集草與倉儲中心，收集花蓮北區包含新城鄉、花蓮市、吉安鄉、壽豐鄉、鳳林鎮與光復鄉等地區的稻稈，運輸距離最長約 28.1 公里，則共計每年約有 19,743 公噸(乾重)稻稈可加以利用。假設每日進料 60 公噸稻稈，則每年約需 18,000 公噸稻稈料源；以花蓮北區稻稈料源產量來看，足以供應。中華紙漿花蓮廠與壽豐鄉距離約 12.3 公里，因此，從壽豐鄉集草與倉儲中心運送稻稈至中華紙漿花蓮廠，其運距尚屬經濟範圍。

本研究設定情境如圖 所示，原料採用中華紙漿花蓮廠內廢木屑(17%)，以及花蓮縣北區稻稈(83%)相互搭配。製程部分則採用同步糖化及發酵製程(簡稱 SSF)，其中六碳糖(C6)用於生產纖維乳酸，年產量約為 5,316 公噸，下游可進一步加工產製聚乳酸(Polylactic Acid; PLA)及其相關產品，做為石化塑膠的替代品。五碳糖(C5)則可用於產製木寡糖飼料，年產量約 1,555 公噸，作為飼料添加劑、動物保健品和抗生素替代品等。另一項副產品則為發酵後的木質素殘渣，可將之作為汽電共生料源，所產生電力在回歸廠內製程所需電力與能源所使用。



資料來源：本研究繪製。

圖 5、中華紙漿花蓮廠廢木屑搭配稻稈產製纖維乳酸情境設定圖

依據此一情境設定，推估纖維乳酸生產成本如表 8 所示；在稻稈售價每公噸 2,410 元下，料源成本每公噸乳酸約 8.28 元，產製成本 58.82 元，扣除副產品攤提 6.53 元後，每公斤纖維乳酸生產成本約 60.57 元。由於目前乳酸市場價格約為每公斤 80 元，因此，從成本面來看，已具備經濟價值。本研究同時估算，若稻稈市價以目前雲林地區集草業者的售價，運輸距離 40 公里內售價每公噸 3,600 元計算，推估每公斤纖維乳酸生產成本約 64.48 元，仍具備成本經濟性。

表 8、中華紙漿花蓮廠廢木屑產製纖維乳酸成本分析(元/公噸)

項目	稻稈 2,410 元/公噸	稻稈 3,600 元/公噸
料源成本	8.28	12.19
產製成本	58.82	58.82
操作成本	51.50	51.50
固定成本	7.33	7.33
副產品攤提	(6.53)	(6.53)
<b>總生產成本(元/公斤乳酸)</b>	<b>60.57</b>	<b>64.48</b>

註：料源成本以目前稻草收購價每公噸 700 元，再加上收集、運輸(運距 28.1 公里)成本及業者利潤後，推估約為 2,410 元。

資料來源：本研究計算整理。

另一方面，從此情境的投資效益面來分析，若中華紙漿花蓮廠投入此一專案，期初投資成本約為 6.07 億元；根據財務評估結果，考量貨幣時間價值後，總計 20 年營運期間可以帶來的淨收入(NPV)約為 6.66 億元。投資報酬率部分，內部報酬率(IRR)為 18.18%，已超過折現率 6%；考量貨幣時間價值後，回收年限(DPP)約為 8.6 年。

既使，料源成本從稻稈售價每公噸 2,444 元提高至 3,600 元，此時投資案之 NPV 為 4.79 億元，IRR 為 15.03%，回收年限約 10.4 年；

從財務投資角度而言，本專案從 NPV、IRR 及 DPP 等三項決策指標來看，皆具備經濟可行性。

此外，在外部效益部分，因建置年產 5,316 公噸纖維乳酸廠，除了可帶動一次性投資約 6.07 億元外，每年可為花蓮地區新增農業產值 4,400 萬元。在環境面部分，推估每年約可減碳 11,711 公噸二氧化碳，每年減碳量相當於 45 座大安森林公園。

表 9、中華紙漿花蓮廠廢木屑產製纖維乳酸投資效益評估

決策指標	分析結果		評估結果
	稻稈售價 2,410 元/公噸	稻稈售價 4,300 元/公噸	
淨現值(NPV)	6.66 億元	4.79 億元	NPV > 0，經濟可行
內部報酬率 (IRR)	18.18%	15.03%	IRR > 折現率 6%，經濟可行
折現後回收年限 (DPP)	8.6	10.4	DPP < 使用年限 20 年，經濟可行

資料來源：本研究計算整理。

#### 四、結論

稻米為我國最大規模之經濟作物，相對每年所產生之農業廢棄物稻稈之數量亦相當龐大。稻稈纖維素含量豐富，為相當好之生質原料；然而因為國內稻田分散，使得收集運輸成本高，而降低其被利用性。因此，欲發展稻稈生質資源循環經濟，必須從區域性利用著眼，以降低集運成本。

花蓮縣農作物生產以稻米為主，稻稈產量亦高，若能以花蓮北區稻稈與中華紙漿花蓮廠內之廢木屑搭配作為生質料源，利用場內現有之土地空間增設一座纖維乳酸廠，則每年約有 5,316 公噸纖維乳酸產能規模，並可年產木寡糖飼料約 1,555 公噸，可作為飼料添加劑、動物保健品和抗生素替代品。本研究初步估算，在此情境下每公斤纖維乳酸生產成本約 60.57 元~64.48 元，以目前乳酸市場價格約為每公斤 80 元來看，本投資案在財務面表現已具備經濟價值；同時，也具備減碳與帶動地方經濟等外部效益。

在許多國家開始推動限塑政策下，生質乳酸產品需求量將快速增加；稻稈搭配當地事業生質廢棄物產製生質乳酸，即為良好之區域型生質資源綠色循環經濟，建議值得中華紙漿深入評估。然而，本案關鍵因素之一為稻稈集運系統的建立，目前花蓮地區並無集運業者，此方面值得花蓮縣府相關單位給予輔導。此外，花蓮南區稻稈產量亦相當豐富，再結合台東縣北區稻稈，亦可支持一座纖維乳酸廠的設立，建議後續可以持續進行探討。

## 五、參考文獻

1. Erwin T.H. Vink, David A. Glassner, Jeffrey J. Kolstad, Robert J. Wooley, Ryan P. O'Connor. The eco-profiles for current and near-future NatureWorks® polylactide (PLA) production Industrial Biotechnology. Industrial Biotechnology. Vol. 3, No.1, 2007.
2. 台灣大學生物能源研究中心。2009。農業廢棄物（稻稈）集運方式及成本調查專案研究計畫期末報告。行政院環境保護署委託專案計畫。
3. 行政院農業委員會。2017。農業統計年報。
4. 行政院農業委員會。2017。農業廢棄物排放量統計。  
<http://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/common/CommonStatistics.aspx>。
5. 花蓮縣政府主計處。2015。花蓮縣 103 年統計年報。
6. 花蓮縣政府主計處。2018。106 年花蓮縣農作物生產概況簡要分析。
7. 楊紹榮。農業廢棄物處理與再利用。台南區農業改良場。  
<http://www.tndais.gov.tw/Soil/bl.htm>。
8. 經濟部。2018。中華民國一百零七年度再生能源電能躉購費率及其計算公式。
9. 環保署台灣產品碳足跡資訊網，  
<https://cfp.epa.gov.tw/CARBON/EZCFM/FUNCTION/PLATFORMINFO/FLFOOTPRODUCT/MODULUSDATABASE.ASPX>。
10. 蘇美惠。2016。東台灣生質能資源循環型利用之發展潛能評估與案例

分析期末報告。行政院原子能委員會委託研究計畫研究報告。