

第三章 文獻回顧

獎勵生質能源，首先要看此獎勵的本身是否合理。如果生產生質能源時，投入的化石能源反而比產出的再生能源還多，那麼此項獎勵政策不合理；如果生產生質能源，反而造成環境污染，那麼此獎勵政策也不合理。

本章文獻回顧首先探討究竟能源產出是否大於能源投入，即所謂的淨能源產出是否為正的淨能源分析；接著，回顧生產再生能源造成環境負外部性的文獻；最後，才回顧有關以淨能源產出作為獎勵基礎的再生能源政策，並結合環境負外部性的觀點來探究此議題。

第一節 淨能源分析

獎勵再生能源發展的各项政策之目的，既是為了減少一國對化石能源依賴程度，我們就必須檢驗到底獎勵再生能源產出能否真正替代掉化石能源之使用。因此，當各國不斷制訂各種獎勵政策時，我們最關心的還是生產再生能源時，能源的產出是否大於能源投入，即淨能源產出是否為正，或 EROI 是否大於一。

表示能源產出是否大於能源投入的方法之一，即是淨能源產出。淨能源產出指的是生產再生能源時所產出的能源減去生產再生能源時所投入的化石能源；生產時所必須投入的勞動、資本、人力以及環境都是生產過程中的投入，這些投入的運作也間接的需要能源，故也算是生產過程中的間接能源(Pimentel, 2003)。在投資大量金錢補貼再生能源生產之前，首要之務即是確定所要補貼的再生能源其淨能源產出是否為正。

表示能源產出是否大於能源投入的另一種方法即是 EROI。EROI 是指生產再生能源所產出的能源除以生產再生能源所投入的化石能源。如果寫成公式，則可將淨能

源產出與 EROI 分別表示如下：

淨能源產出 = 總能源產出 - 總能源投入

$$\text{EROI} = \frac{\text{總能源產出}}{\text{總能源投入}}$$

由於在美國大多仍使用化石能源而非再生能源，特別是農業或工廠的能源投入多是化石燃料而非電力，所以 EROI 中，能源投入的部分是計算所投入的化石能源 (Hammerschlag, 2006)。EROI 大於一，代表使用化石能源投入來生產再生能源，所產生出來的能源較所投入的能源為多，而如果 EROI 小於一，則我們還不如使用化石能源。

Hill et al. (2006) 指出，不管是玉米酒精或是大豆所釀出之生質柴油，皆有淨能源產出，也就是能源產出一定大於能源投入。然而，玉米酒精的淨能源產出非常低，約只佔總能源投入的 25%，換句話說，其 EROI 為 1.25；相對的，大豆生質柴油提供之淨能源則佔總投入之 93%，表示其 EROI 為 1.93。另外，Shapouri、Duffield 與 Wang (2002) 計算用玉米生產生質酒精的 EROI，其投入計算涵蓋農場投入，包括各種肥料、種子之能源投入，以及運輸玉米之能源投入、轉換玉米成酒精之能源投入和酒精產銷時運輸之能源投入，請見表 3-1：

表 3-1 生產一加侖玉米酒精時未扣除副產品能源抵減之 EROI

生產階段	製造過程		
	乾製(Dry)	濕製(Wet)	加權平均
	BTU/加侖		
玉米生產	21,803	21,403	21,598
玉米運輸	2,284	2,246	2,263
酒精轉換	48,772	54,239	51,779
酒精配銷	1,588	1,588	1,588
總能源投入	74,447	79,503	77,228
淨能源值	9,513	4,457	6,732
EROI	1.11	1.04	1.08

資料來源：Shapouri、Duffield & Wang，2002。

表 3-1 中顯示在生產玉米酒精時未扣除副產品能源抵減¹¹(energy credits for coproducts)下，以兩種不同方法—即乾製(dry milling)與濕製(wet milling)生產酒精所產生之能源產出與能源投入，其生產酒精之EROI分別是 1.11 以及 1.04。乾製法規模較小，純粹只是用來製造酒精，而濕製主要是「精煉」酒精，製造較高品質的能源；由於這兩種方式都有被採用，Shapouri、Duffield 與 Wang (2002) 便予乾製之能源投入百分之四十五的權重，濕製法之能源投入百分之五十五的權重，來計算能源產出與能源投入之比例，得到其EROI為 1.08。

如果要計算副產品如烘乾的玉米穀粒、玉米油、玉米麩等的能源抵減，則有四種計算方式，包括以產量作為基礎的計算方式、能源含量作為基礎的計算方法、以市場價值來計算的，也有以替代值(replacement value)來計算的，其值各不同，如表 3-2。算出此抵減後再將其從總能源投入中扣除，以此計算出的 EROI 大約都在 1-2.25 之間，唯 Shapouri、Duffield 與 Wang (2002)採用替代值法來計算 EROI。

¹¹副產品能源抵減是指生產副產品的能源投入之單位，往往被從總能源投入中扣除，不過此單位是一假設性的單位，可以用一些其他的資訊來推算出，例如本文中就用產量、市場價值、生產替代品之能源投入以及副產品所含能源來推算。

表 3-2 生產一加侖玉米酒精時扣除副產品能源抵減之 EROI

能源配置						
	玉米酒精	副產品	能源投入	副產品能源抵減	算入副產品之淨能源值	EROI
百分比			BTU/每加侖			
以產出作為權重基礎						
濕製	48	52	79,503	40,516	44,974	2.15
乾製	49	51	74,447	37,158	46,672	2.25
加權平均	48	52	77,228	39,333	46,066	2.22
能源含量						
濕製	57	43	79,503	33,503	37,961	1.83
乾製	61	39	74,447	28,415	37,929	1.82
加權平均	58	42	77,228	31,769	38,502	1.85
市場價值						
濕製	70	30	79,503	23,374	27,832	1.50
乾製	76	24	74,447	17,486	27,000	1.47
加權平均	72	28	77,228	21,179	27,912	1.50
替代值						
濕製	81	19	79,503	14,804	19,262	1.30
乾製	82	18	74,447	13,115	22,629	1.37
加權平均	81	19	77,228	14,372	21,105	1.34

資料來源：Shapouri、Duffield 與 Wang，2002。

表 3-2 說明四種計算副產品能源抵減的方式：第一種方法是根據酒精與其副產品的產量來分配權重，如此 48% 的能源投入應分配於生產酒精，而 52% 的能源投入要分配給生產副產品，但這在衡量投入的能源值上，不是個好的衡量方法。第二種估計副產品能源抵減的方式乃是以副產品之能源含量來估計，譬如，一磅的玉米麩為 8000 熱量單位(British thermal unit，以下簡稱 BTU)，即代表 57% 的能源投入應分配於生產酒精，而 43% 的能源投入要分配給生產副產品，但卡路里是食物營養的衡量單位，較為不好。第三種估計副產品能源抵減的方法是用酒精與其副產品的相對市場價值來

計算，亦即，假如生產酒精的能源投入是根據酒精以及其副產品十年來的平均市價來分配，則用來生產酒精的能源中，有 30% 的能源投入應該歸於生產副產品，但這種衡量方法參入了市場因素，也並非好的衡量方法。最後一種方式是根據生產此副產品之替代品所需使用之能源來計算副產品的能源抵減，譬如以大豆粉來替代烘乾的玉米粉、大豆油來代替玉米油，在此方法下，總能源投入中有 19% 的能源投入是用來生產副產品的能源。Shapouri、Duffield 與 Wang (2002) 偏好第四種估計方式，因為在此種方式下副產品能源抵減是以能源單位來衡量的，此時乾製法的 EROI 值為 1.37，而濕製法的 EROI 為 1.30，平均則為 1.34。

只是一直以來，EROI 是否大於一的問題，各方爭議不休，其淨能源值之計算是否為正，隨著諸多不同的情況，例如玉米收穫量、酒精轉換技術之差異、肥料製造效率、肥料應用率、產出之副產品價值、以及涵蓋的能源投入項目而有不同。Pimentel (2003) 也計算美國生產玉米時每公頃所需投入之能源與成本，如表 3-3。

表 3-3 生產玉米每公頃所需成本與能源投入(美國)

投入	數量	BTU*1000	成本
勞力	6.2hrs	1000	\$62.00
機械	55kg	5,656	103.21
柴油	90L	3,600	23.40
石油	56L	2,212	14.60
氮	148kg	10,952	81.40
磷	53kg	876	12.72
鉀	57kg	744	17.67
石灰	699kg	880	14.00
種子	21kg	2,080	74.00
灌溉	8.1cm	3,764	81.00
除草劑	2.1kg	840	21.00
殺蟲劑	0.15kg	60	6.00
電力	13.2kWh	136	2.38
運輸	222kg	1,072	66.60
加總		33,872	\$579.98
8,950 公斤玉米收 成/公頃		123,696	
BTU 投入：產出 = 1:3.65			

資料來源：Pimentel，2003。

註：一公頃的土地可生產出 8,950 公斤的玉米，約可被轉換成 842 加侖的酒精。

注意到表 3-3 中，生產玉米的能源投入算了「勞工」這一項，原文註釋中提及，如果一個勞工每年工作 2000 個小時，則平均將用掉 8100 公升(litres)的油，這也是 Shapouri、Duffield 與 Wang (2002)沒有算到的能源投入。

在表 3-3 中，要生產每公頃 8,950 公斤的玉米就要用掉三千三百九十萬 BTU 的能源，但生產每公頃 8,950 公斤的玉米等於製造一億兩千三百六十九萬 BTU；不過，這是僅考慮到生產玉米的 EROI，還未計算到將玉米發酵所需用到的能源。

Pimentel (2003)接著指出，要用玉米生產一加侖純度 95%的酒精，總能源投入需 99,119 BTU，但產出之酒精其能源值卻只有 77,000BTU，即生產一加侖的酒精，就要

多使用 29% 的能源投入，即 EROI 值為 0.78。表 3-4 說明用玉米生產一加侖純度 95% 的酒精所用的能源投入及成本。

表 3-4 用玉米生產一加侖純度 95% 的酒精所需之能源投入及成本

投入	公斤	BTU	美元
玉米	10.2	40,221	\$0.69
玉米運輸	10.2	4,727	0.22
水	601	1,353	0.08
鋼	0.023	1,348	0.04
不銹鋼	0,045	2,106	0.04
水泥	0.12	909	0.04
煤	1.40	39,076	0.08
電力	0.91kWh	9,379	0.06
污染控制成本	--	--	0.23
加總		99,119	\$1.48

資料來源：Pimentel，2003。

註：產出之一加侖酒精約為 77,000 BTU

表 3-4 中，能源投入產出的計算並未包括運輸酒精時所需耗用之能源，但根據美國能源部在 2002 年的計算，此值應是運輸每加侖的酒精就需耗用 5,000BTU。

在發酵與蒸餾的階段，玉米被充分磨碎；每 10.2 公斤之玉米需與 13 加侖的水混合；發酵後，為了從這含有 8% 的酒精與 92% 的水的混合液體中提煉出一加侖純度 95% 的酒精，意味著每製造一加侖的酒精，就必須移除掉 12 加侖的廢水；雖則酒精在攝氏 78 度時就會沸騰，但為了提煉出一加侖純度 95% 的酒精，就必須蒸餾三次；獲得一加侖純度 95% 的酒精後，還要再進一步處理，移除更多水分，達到純度 99.8%

的酒精；整個蒸餾的過程用掉大量的化石能源，如上表 3-4。

生產出一加侖玉米酒精的成本為美金 1.48 元，這其中半數的成本都在玉米燃料本身，約每加侖 0.69 分。根據當時的技術與油價，若無政府每年 14 億的補貼，美國的再生能源將無法生產或產量減少。酒精能源含量甚低，生產 1.5 加侖的玉米酒精其能源含量卻只有 1 加侖石油之能源含量，因此，若要製造出如一加侖石油能源含量的酒精，需要 2.24 美元，但製造一加侖的石油卻只需 63 分。

即使有人批評 Pimentel (2003) 在計算副產品的能源產出時賦予這些副產品的能源價值過低，一般還是認為即使淨能源產出為正，其能源投入產出的邊際報酬也是非常微小的 (Wald, 2007)。

Pimentel 與 Patzek (2005) 則進一步指出，以風傾草生產一加侖的酒精，要多用掉 57% 的能源投入(即 EROI 為 0.63)，另外生產生質柴油時若用大豆做為原料，就需多投入 27% 的能源(即 EROI 為 0.78)，若用向日葵做為原料，就需投入 118% 的能源(即 EROI 為 0.45)。再者生質酒精也並非是再生能源，因為生產生質酒精時，投入的能源反而多於生產出的能源。在生產酒精的過程中，包括栽植作物、發酵、蒸餾等等，用掉的化石能源比生產出來的生質能源還多。

Pimentel 與 Patzek (2007) 中計算使用玉米生產酒精的過程，在計算生產玉米時就涵蓋了十四種美國用來生產玉米的能源投入，到了蒸餾與釀成酒精的階段又多包含了 9 種認定的化石能源投入，根據他們的計算，用玉米生產酒精之 EROI 為 0.69，假如將副產品能源抵減扣除掉，那 EROI 也僅只有 0.78 而已。

Shapouri、Duffield 與 Wang (2002) 曾指出 Pimentel (1991) 在作淨能源分析時，使用最低的玉米收穫量資料、最高的肥料使用率以及最不效率的能源轉換技術，所以，在 Pimentel (2003) 不僅更新了所有的投入資料，還進一步指出，Shapouri、Duffield 與 Wang (2002) 的計算是不正確的，因為其計算過程中只涵蓋部分的能源投入，並非是所有的能源投入，例如其忽略了維持農場機械設備之運作與建造以及勞工維持工作時體力時都需耗用能源、其能源投入之資料為 1991 年的過時資料，產出資料也只涵

蓋美國九個州等。Hammerschlag (2006)回顧從 1990 年到 2006 年關於酒精 EROI 的文獻，指出要計算能源投入就要計算整個生產過程之能源投入，即考慮所有燃料、電力以及上游能源(upstream energy)。燃料與電力指的是農民所購買以及使用的煤、柴油、天然氣、其他化石燃料以及電力，而上游能源指的是農民或酒精工廠所購買的財貨，在被製造時所使用的燃料與電力，即開採以及處理投入燃料的化石能源；如果考慮到此上游能源，則 EROI 便較低。表 3-5 為自 1991 年至 2005 年使用玉米生質酒精之 EROI 的文獻，這些文獻中關於玉米生質酒精的 EROI 大部份皆介於 1.29~1.62 之間，也就是投入一單位的能源，能產生約 1.29~1.62 單位的能源。唯有 Pimentel 與 Patzek (2005) 所做的研究裡，玉米酒精生質 EROI 小於一，那是因為這兩個學者在能源投入的計算上，也算了每位勞工所消耗的能源等，例如工人們所吃的食物，也要算做間接能源投入 (Wald, 2007)。就經濟學機會成本的觀點而言，勞工吃飯、洗衣所使用的能源，也要算入其中，因為這些生產生質能源的勞工所使用來維持體力的能源，就是其他需要使用這些能源的工作之機會成本。另外，在 Hammerschlag (2006) 的文章也提到，Pimentel 與 Patzek (2005) 之所以有如此高的能源投入，主要也是因為其有較保守的假設，譬如其也計算上游的能源投入、對製造資本器材的上游勞工等都列入計算。表 3-6 是 Hammerschlag (2006) 整理從 1990 年到 2006 年關於纖維酒精的 EROI 的文獻，生產纖維酒精的 EROI 約介於 0.69~6.61 之間。從表 3-5 與表 3-6 即可看出纖維酒精的 EROI 高於玉米酒精之 EROI，那是因為纖維酒精含有木質素，而木質素即可用來燃燒，比較不需用到化石燃料，而木質素燃燒所產出的熱量還多於整個處理過程所需的熱量。

表 3-5 以玉米作為原料生產一公升的酒精之 EROI

	Marland 與 Turhollow (1991)	Lorenz 與 Morris (1995)	Graboski (2002)	Shapouri 等 (2002)	Pimental 與 Patzek (2005)	Kim 與 Dale (2005)
製程技術	濕製	混合乾、 濕製	混合乾、 濕製	乾製	乾製	乾製
本表數據單位為兆焦耳/每公升酒精						
燃料與電力						
農業						
燃料	2.0	0.7	2.2	2.7	2.0	0.8
電力	0.2	2.0	0.5	0.6	0.5	0.1
燃料運輸		0.4	0.5	0.6	1.5	0.5
工業製程						
燃料	10.5	10.9	11.8	10.0	11.7	12.5
電力	3.5	3.2	2.9	3.6	5.3	2.1
酒精配銷			0.4	0.4		0.6
總燃料電力	16.1	17.1	18.4	17.9	21.0	16.7
上游能源						
農業						
肥料	4.2	3.6	2.6	2.3	4.7	2.0
生物劑	0.3	0.3	0.2	0.4	1.3	0.4
其他		0.9	0.3	0.1	3.1	0.1
其他非農業					0.1	
總上游能源	4.5	4.9	3.2	2.8	9.2	2.5
r_E 計算						
總能源投入	20.6	22.0	21.6	20.7	30.1	19.3
生產副產品 能源投入	2.3	7.7	4.5	3.7	2.0	4.8
淨能源投入	18.3	14.3	17.1	17.1	28.1	14.5
分配係數 (%)	89%	65%	79%	79%	93%	75%
r_E	1.29	1.65	1.38	1.38	0.84	1.62
文獻資料						
上游能源涵 蓋否？	有	無	有	有	有	有

電力熱率	3.0	2.4	3.0	2.7	3.3	3.2-3.4
玉米產出 (Mg/ha)	7.5	7.5	8.8	7.7	8.7	9.0
酒精產出 (L/kg)	0.37	0.38	0.39	0.39	0.37	0.39
減少油量			94%	84%		
預測的 r_E	1.67	2.51	1.40			1.91

資料來源：Hammerschlag，2006。

- 註：
1. 總能源投入為生產玉米酒精之能源投入(即淨能源投入)再加上用來生產副產品的化石能源投入。
 2. 淨能源投入係指總能源投入減去生產副產品之能源投入。
 3. r_E 即 EROI，這裡算的是能源產出除以淨能源投入。
 4. 能源產出雖未列出，但文中說明為 23.6 兆焦耳/每公升酒精。
 5. 減少油量(oil reduction)一欄是指分別以汽油和玉米酒精做為燃料，行駛一段相同的距離時，若用生質酒精做燃料所減少的原油消耗量。這種作法忽略了生產玉米酒精會消耗其他型式的化石能源，如煤、天然氣與電力。
 6. 在文獻中，副產品通常被描述含有能源抵減，需從總能源投入中扣除。此數據就是本表中副產品能源投入那一系列的數值，不過這是具有誤導性的作法。正確的作法應是區分出生產酒精與生產副產品之能源投入，並將生產副產品之能源投入從總能源投入中減去。
 7. 分配係數是指淨能源投入除以總能源投入，表示能源投入中用來生產酒精的比例。
 8. 預測的 r_E 一欄為某些作者預測未來在玉米種植及酒精製造技術改進後的 r_E 。

表 3-6 以纖維植物作原料生產一公升的酒精之 EROI

	Tyson 等 (1993)	Lynd 與 Wang (2004)	Sheehan 等 (2004)	Pimental 與 Patzek(2005)
燃料	各式各樣	白楊	玉米稈	風傾草
本表數據單位為兆焦耳/每公升酒精				
燃料與電力				
農業				
燃料	0.8	1.1	0.8	1.1
電力				1.4
燃料運輸	0.4	1.3	0.5	
工業製程				
燃料	0.2	2.9		20.1
電力	0.1		0.3	8.9
酒精配銷	1.4			
總燃料電力	2.9	5.4	1.5	31.5
上游能源				
農業				
肥料		0.1	4.0	0.9
生物劑	1.1	0.0		0.3
其他				0.8
其他非農業 投入	0.5	0.4	0.3	0.5
總上游能源	1.5	0.5	4.3	2.5
r_E 計算				
總能源投入	4.4	5.9	5.8	34.0
多餘電力	5.4	3.3	1.9	
總能源產出	29.0	26.9	25.5	23.6
r_E	6.61	4.55	4.40	0.69
文獻資料				
上游能源涵 蓋否?	有	?	有	有
燃料產出	11.2-33.6		8.2	

(Mg/ha-yr)				10.0
酒精產出 (L/kg)	0.37-0.41	0.34	0.34	0.40
減少油量			95%	

資料來源：Hammerschlag，2006。

註：1. r_E 即 EROI，這裡是指總能源產出除以總能源投入，這是因為製造纖維酒精的過程並未包含副產品的生產。

2. 多餘電力(surplus electricity)指的是纖維植物所含木質素用來燃燒推動酒精發酵後，剩餘的熱能所發的電力。

3. 能源產出雖未列出，但文中說明為 23.6 兆焦耳/每公升酒精。這裡總能源產出為能源產出再加上多餘電力。

Hammerschlag (2006)指出，在表 3-6 中 Pimental 與 Patzek (2005)假定生產過程中所用到的能源都是化石能源燃燒與電，忽略了這些生產過程中的能源投入也可使用木質素來燃燒。不過，即使 Hammerschlag (2006) 以表格說明使用再生能源可減少化石能源使用，但再生能源多數量少而質差，生質能即為一例。量少是因為生質能等再生能源會受到大自然的條件限制，如能源不減定律與物質不減定律，能源含量都很低，產量亦有上限，質差是因為再生能源會隨自然界的條件而變(例如蟲害、太陽光、風力等)，不能穩定供應能源，時有時無(蕭代基，2007)。

第二節 再生能源生產之外部成本

生產生質能源是有外部成本的。Hill et al. (2006) 指出，在種植玉米以及大豆時，因為使用農業化學品，如肥料、殺蟲劑等，皆會對環境造成負面的影響。這些農業化學肥料所釋出的氮、磷，以及殺蟲劑滲入地下或藉由地表水流，從農田傳輸到其他棲地或者湖水，造成生物多樣性的喪失及優養化(eutrophication)、提高飲用水中硝酸鹽(nitrate) 及亞硝酸鹽(nitrite)含量，殺蟲劑的傳輸過程，也類似如此。

Pimentel (1991) 認為，種植生質作物在灌溉時，要抽取地下水，抽取的速度超過地下水補注的速度。此外，種植生質作物地區土壤侵蝕以及地力難以回復也是嚴重的問題。其文強調種植玉米所造成的土壤侵蝕，更甚於種植其他作物所造成的土壤侵蝕。而 Pimentel 與 Patzek (2006) 中，提到以玉米生產生質酒精，造成環境外部性的問題，包括嚴重土壤侵蝕、大量使用氮肥與殺蟲劑，嚴重造成溫室效應。除此之外，生產一加侖的玉米酒精需用掉 1700 加侖的水，並製造出 6-12 加侖的毒性有機廢水。

經濟學人(2007)指出，生產生質能源會產生和其所取代的化石能源一樣多的污染排放，視這些生質能源的生產過程而定。如果生產生質能源的電力是來自煤炭，那麼減少二氧化碳排放的效益就微乎其微，同樣的，如果油菜花的生產要大量使用到由天然氣製造成的肥料，則所生產出來的生質柴油對於減少污染排放的貢獻實在不大。另外，生質能源作物生產輸出國裡大規模破壞性的農事對於環境的損害更甚於燃燒石油，例如印尼抽乾沼澤來種植油棕樹，導致每公噸生產出來的棕櫚油就造成三十三公噸的二氧化碳排放，因為抽乾沼澤會使得泥碳地加速分解。不過，燃燒一公噸的棕櫚油來取代化石能源燃燒，只能減少三公噸的二氧化碳排放。

Koplow (2006)也指出，因為美國政府大力的獎勵與推動，使得中西部的輪作制度中，玉米大量被栽植，犧牲了大麥與牧草的栽植。玉米與黃豆之栽植係屬化學藥劑密集之栽植，且此類栽植造成的土壤侵蝕更甚於栽植大麥與牧草所造成之土壤侵蝕。栽植玉米與製造酒精之工廠同時都需要大量使用水，酒精工廠在生產酒精時兼且大量

排放廢氣；為了生產再生性的能源，卻用了耗竭性以及非永續性的作法，是否值得三思。

贊成生產纖維酒精人士指出，生質燃料多樣化可以解決如上問題，但是一旦纖維作物能有效的取代化石能源時，作物多樣性、土地利用變更以及水和肥料之投入的問題又會重新浮現。

關於外部效益與外部成本的問題，在 Farrell et al.(2006)的文章也有探討。其指出酒精取代石油對於溫室氣體減量的效益非常微小而且模稜兩可；如果酒精產出是以天然氣作為能源投入的話，溫室氣體減量的效益比使用汽油「稍稍好些」，但若生產酒精時是以煤作為能源投入，那麼反而比使用汽油產生更多的溫室氣體。

在 Niven (2005)中亦指出，E10 的生產可能會增加光化學煙霧，其對於溫室氣體減量、能源效率以及環境永續上的貢獻不大，且會嚴重污染土壤及地下水；而 E85 雖對溫室氣體減量貢獻卓著，但其生產卻會嚴重污染空氣，對生物多樣性造成威脅；其對地下水污染的程度和環境永續的衝擊是未知的。

支持生產生質酒精的人強調生產生質酒精能減少溫室氣體的排放，但在 Righelato 與 Spracklen (2007) 中卻指出，要替代 10%的汽油需要目前歐美 43%的農田，而替代 10%的柴油需要其 38%的農田，如此將使森林大量被砍伐，而林地砍伐釋出的溫室氣體將超過所減量的溫室氣體。同樣的土地假如三十年來都用來植林，所隔絕的溫室氣體將是使用生質酒精所減少的溫室氣體的 2~9 倍。種植林木也可預防因為單一作物種植所引起的環境問題。

第三節 淨能源政策分析與環境外部性之模型文獻

本節為本文理論模型之核心文獻，主要回顧以淨能源概念來建構模型的文獻。首先介紹淨能源的基本模型，進而回顧將淨能源基本模型與環境負外部性所結合起來之文獻。

一、淨能源的基本模型

在 Huettner (1976) 中，所謂淨能源，即是指生產再生能源所產出的能源減去生產再生能源所投入的化石能源。生產時所必須投入的勞動、資本、人力以及環境都是生產過程中的投入，這些投入的運作也間接的需要能源，故也算是生產過程中的間接能源。在作淨能源的計算與投入產出的加總時，需考慮到不同的能源投入有不同的能源品質，需將不同的能源品質轉換成相同且可加總的單位，如「有效能」(exergy)。另外，Huettner (1976) 假設(一)能源是無可替代的財貨、(二)能源可用來運轉所有的系統和生產過程、以及(三)能源無法回收，否則將違反熱力學第二定律；換句話說，當整個社會用盡了高級能源後，即需要更多的能源投入來生產一定量的能源，雖然粗能源還是會增加，但淨能源卻無法如總能源增加的那麼快，甚至會減少。本模型的主要貢獻在於創造了一個以淨能源分析作為基礎的模型。

在 Huettner (1976) 中，首先定義能源產出 q 為生產時所有投入 x_i 的函數，而 f 為一單調性轉換遞增函數。

$$q = f(x_1, \dots, x_n) \quad (3.1)$$

此生產函數將為一連續凹函數，且可對 x_i 作二次微分：

$$f_x > 0$$

$$f_{xx} < 0$$

接著談淨能源分析，作者定義 α_i 為競爭市場下所決定每單位投入要素所使用直接、間接的能源仟卡。淨能源 n 為產出能源減去投入所含的能源，如(3.2)式。

$$n = q - \sum_i \alpha_i x_i = f(x_1, \dots, x_n) - \sum_i \alpha_i x_i \quad (3.2)$$

使用簡單靜態模型並求淨能源極大，則一階條件如(3.3)式：

$$f_x - \alpha_i = 0 \quad (3.3)$$

$$\text{或 } f_x = \alpha_i \quad (3.4)$$

即淨能源產出極大時要求邊際能源產出等於邊際能源投入。此模型奠定了日後本文以淨能源做為基礎的政策分析，包括價格政策工具以及數量政策工具。

二、淨能源分析與外部性結合

林益豪 (2007) 進一步根據 Huettner (1976) 的模型，以靜態數學模型以及圖形來闡述淨能源生產與環境外部性的關係。其指出，能源的生產也需要以投入能源，所以真正能夠替代化石能源的是再生能源之淨產出，而不是被一般大眾所誤解之總產量。

假設短期單位化石能源使用所造成的環境成本為固定時，再生能源產出之外部效益也如同淨能源產量一樣，於短期的生產限制下，隨著再生能源產量的增加，總效益將呈現先遞增後遞減的趨勢，如圖 3-1。

圖 3-1 中， mc 是為廠商之邊際生產成本，包括邊際能源成本 $c_e'(q_r)$ 與邊際非能源成本 $c_n'(q_r)$ 。廠商生產再生能源利潤極大化的點應是 q_r^i ，即價格 P 等於邊際成本處；社會最適之產出為 q_r^s ，即價格於邊際社會成本處，而能源產出最大的點為 q_r^m ，即能源的邊際投入成本等於價格之處。在此處的能源生產因為邊際報酬遞減的關係，已經停止淨能源產出，也就是能源的投入開始大於能源之產出，邊際淨產出為零。另一方面，由於能源作物的生產具有環境外部效益，且此外部效益在短期的生產限制下，有隨著再生能源總產量增加而遞減的趨勢，所以其邊際社會成本 mc^s 剛開始隨著總產量增加而增加，但是當產量到達 q_r^m 時已無淨能源產出，也就是能源的邊際投入開始大於邊際成本時，環境的邊際外部效益變成環境的邊際外部成本，此邊際外部成本因為排放化石能源造成溫室氣體增加而來；圖 3-1 說明在產量達到 q_r^m 之前皆有環境外部效益，所以社會邊際成本曲線低於私人邊際成本曲線，然一旦產量超過 q_r^m 能源產出極大點之後，環境邊際外部效益轉為環境邊際外部成本，其社會邊際成本曲線於焉高於私人邊際成本曲線。

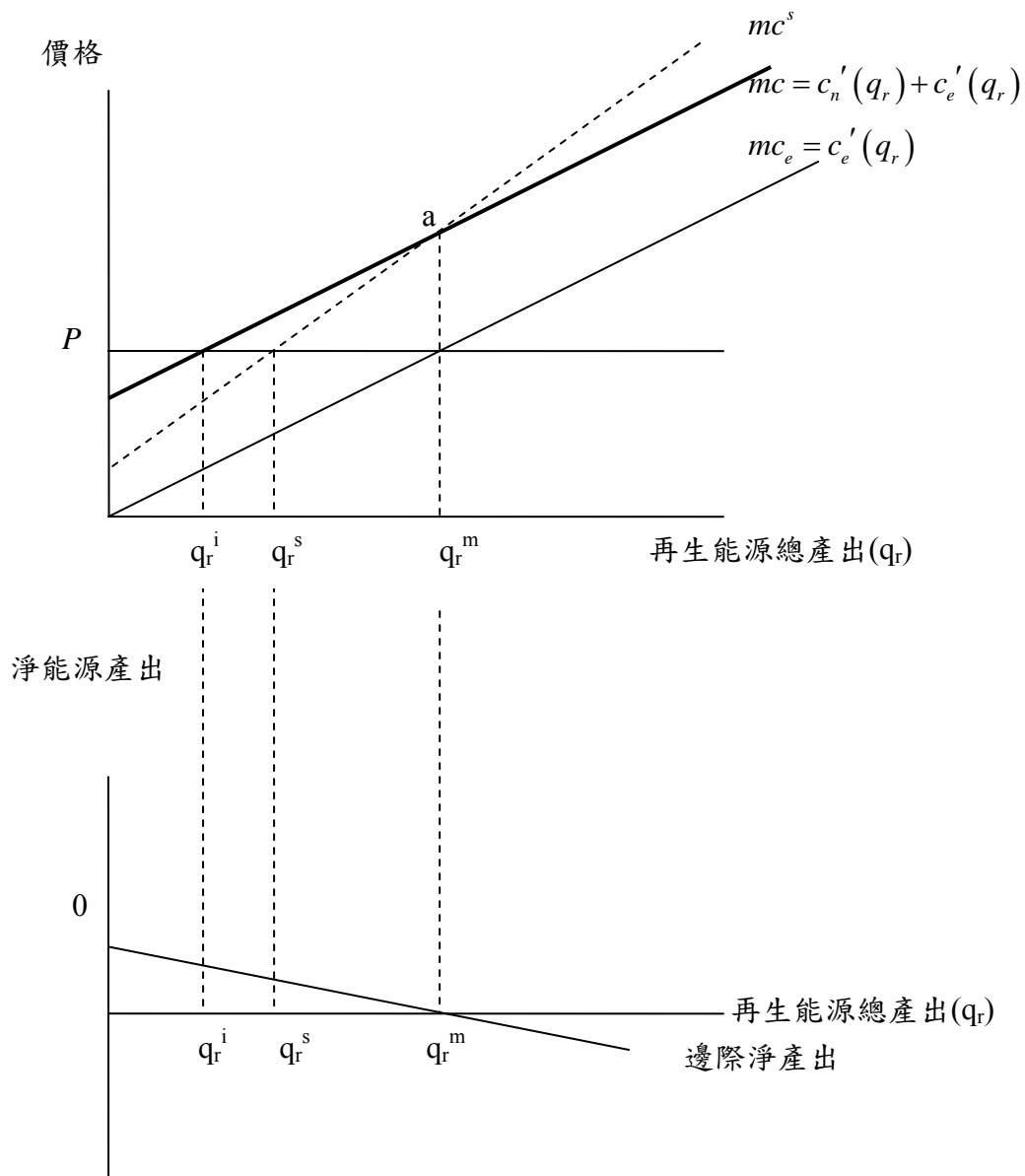


圖 3-1 能源淨產出與外部性的關係

資料來源：林益豪，2007。

林益豪 (2007) 接著以靜態最適數學模型及圖形指出，政府以總能源產出作為獎勵再生能源的機制，也就是光看廠商生產出多少再生能源就給予多少補貼，是非常不恰當的；圖 3-2 說明以總能源產出作為躉購價格政策的基礎時，會造成能源浪費的社會成本。

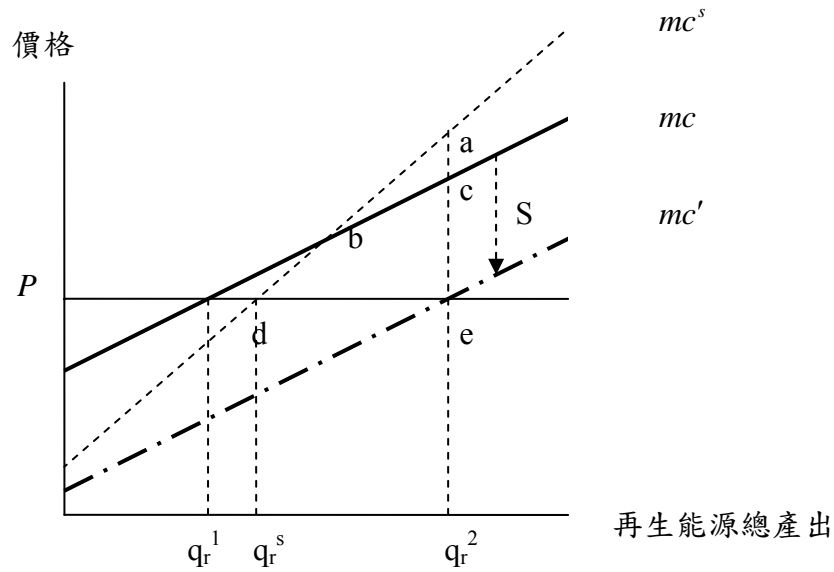


圖 3-2 保證價格(躉購費率)政策對再生能源產出的影響

資料來源：林益豪，2007。

如上圖 3-2，當能源價格為 P 時，在 mc 之私人邊際成本下與 mc^s 之社會邊際成本下，廠商將生產再生能源總產量 q_r^1 而小於社會最適產量 q_r^s ，此時若政府對再生能源單位產出進行 S 金額的補貼，廠商的邊際成本曲線由 mc 下降至 mc' ，在能源價格 P 價格不變下，廠商生產數量由原先的 q_r^1 升至 q_r^2 水準，進而造成額外的社會總成本 $\triangle aed$ ，包括 $\triangle acb$ 為浪費能源使用所造成之外部成本與 $\square bcde$ 之浪費能源與其他經濟成本之內部成本(林益豪，2007)。