

I、前言

隨著世界人口增加與國際原油價格上漲，國際糧食價格於 2002 年開始呈現上升之趨勢，而在 2006 年以後，由於氣候變遷與氣候異常，使加拿大、澳大利亞、俄羅斯、阿根廷與泰國等主要糧食出口國糧食減產，其中，阿根廷、俄羅斯與泰國採取相關管制或限制糧食出口之措施（黃晏青、杜美勳，2010；楊明憲，2008；蕭彩鳳，2008），使世界糧食價格於 2006 年至 2008 年間，以及 2010 年至今急遽上揚，而世界糧食可供應量亦日趨不穩。由世界糧農組織（Food and Agriculture Organization of the United Nations，以下簡稱 FAO）2014 年的資料得知，包括黃豆、小麥、玉米等作物之國際穀物價格，由 2011 年 1 月起至 2011 年 9 月，皆超過 2008 年之價格最高點，直到 2011 年 10 月後才逐步回跌（如圖 1）。另一方面，根據 Pachauri 與 Reisinger（2007）及 Schmidhuber 與 Tubiello（2007）之研究，世界平均二氧化碳濃度微幅增加，將使農產品平均產量增加；然而，因溫室效應之影響，全球暖化將使海平面上升，低緯度乾燥區域可利用之水資源減少，極端氣候發生機率增加，而可耕地數目亦將隨之減少（Pachauri & Reisinger，2007；Parry *et al.*，2004；Schmidhuber & Tubiello，2007；FAO，2008）。因此，若世界平均溫度增加超過一定程度，將減少世界糧食產量，並對糧食安全產生不利之影響。隨著世界人口與糧食需求增加及上述背景，糧食安全成為世界各國持續關注之議題。

台灣地狹人稠，農業資源相對缺乏，與主要糧食出口國相比，台灣農業經營規模較小，農業生產成本偏高，加上國人飲食結構改變，國產稻米消費量下降（林國慶，2010），並大量進口糧食，成為主要的糧食進口國，台灣糧食自給率長期亦呈下滑之趨勢。根據行政院農委會統計（行政院農業委員會，2013a），台灣以熱量為權數的糧食自給率於 1984 年為 55.6%，然而，

隨世界貿易自由化與國人飲食結構改變，糧食自給率逐年下降，並於 2009 年到達 32.0%，而國人之糧食消費亦逐漸依賴國外進口。因此，在國際糧價高漲且糧食可供應量不穩的環境下，若糧食出口國採取糧食禁運措施，台灣可能會面臨無法進口糧食之困境。

另一方面，台灣耕地面積逐年下降，人口數量卻逐年增加。台灣耕地面積由 1977 年之 92.2 萬公頃，降至 2011 年之 80.8 萬公頃（行政院農業委員會，2013a），但同時其人口數卻由 1977 年之 1,688.2 萬人，增加至 2,322.5 萬人（行政院主計處，2013）。因此，我國政府應關注目前所擁有之耕地，是否能於發生糧食危機時發揮作用，適時的提供國人充足的糧食。

糧食安全為任何人在任何時候，在生理與經濟上都能取得足夠、安全且營養的食物，以達到其糧食需求與偏好，維持其健康之生活（FAO，1996）；而根據 FAO 之定義（FAO，2003），糧食安全應包含：糧食充分供給（Food Availability）、糧食穩定供應（Food Stability）、糧食獲取（Food Accessibility）及糧食利用（Food Utilization）等構面（FAO，2003）；而糧食安全必須在個人、家戶、國家、區域與全球等各層級加以實踐（邱奕宏，2012）。其中，全球及國家層級之糧食安全，主要關注在區域或是國家，能否供應充分及穩定的糧食（Pinstrup-Andersen，2009）。國家糧食安全與氣候、環境、能源、戰爭、社會經濟及國際情勢息息相關（Løvendal & Knowles，2007；林國慶，2010）；為確保國家的糧食安全，除了維持平時糧食質與量的穩定供給之外，還應考量到非常時期可能會出現的糧食危機（林國慶，2010），而各國政府也應於必要時，發展有效因應國家糧食安全危急情況之機制（FAO，1996）。本研究之非常時期，乃指國家因戰爭、重大自然災害與其他社會經濟重大事故，使政府無法以平常時期之治理機制進行應變之時期，此時台灣的糧食安全可能會因為海陸封鎖或社會經濟恐慌，導致無法進口糧食，而使糧食安全受到威脅之狀況。

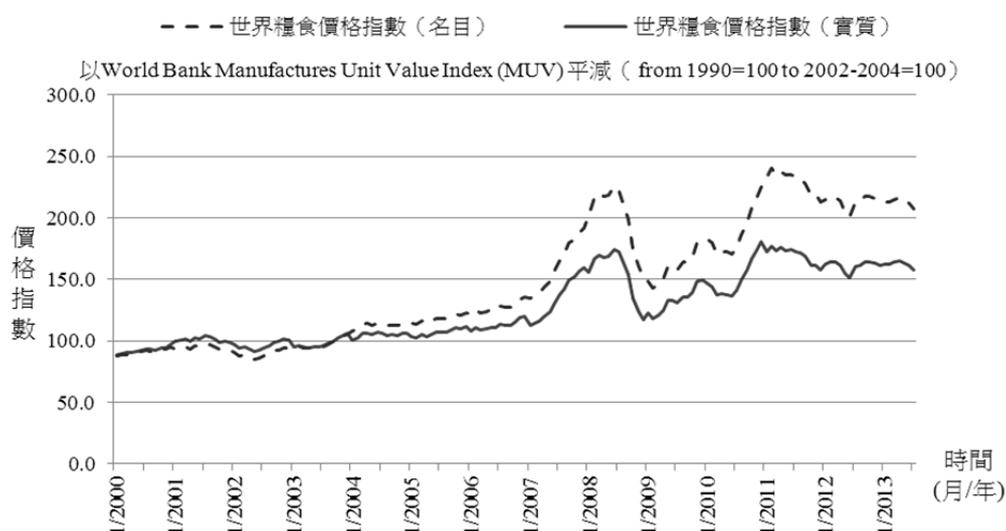


圖 1 世界糧食價格指數之變動

資料來源：FAO (2014)。

林國慶(2010)整理未來可能危及台灣國家層級糧食安全之因素，包括：戰爭威脅、能源危機與氣候變遷(如表1)。Grubb(2007)認為台灣為島國，且能源資源與糧食大量依賴國外進口，一旦發生區域衝突，容易遭到敵國之封鎖，切斷食物或能源之進口；而若台灣遭到敵國之戰略封鎖，無法由國外進口農業中間投入與糧食，則國內糧食之供應僅能仰賴糧食儲備與國內之農業生產(林國慶，2010)。能源危機使石化原料價格巨幅上漲，而農業中間投入價格隨之上揚，引起農業生產成本增加，國內與國際農產品市場供給減少，進而使糧食價格上揚(Mitchell, 2008; Mittal, 2009; Gilbert, 2010)。氣候變遷則可能使全球極端氣候發生頻繁，導致旱災、風災與水災，天然災害除了衝擊主要糧食生產國之農業生產，也可能毀壞相關的農業生產設施，造成長期的損失(Sage, 2013)，進而使主要糧食生產國減少或停止出口農產品，造成國際糧食供給下降，糧食價格巨幅上揚。

表 1 可能危及台灣未來國家層級糧食安全之因素

因素	可能造成現象	對糧食供應之影響
戰爭威脅	敵對國家實施戰略封鎖，無法從國外進口糧食與農業中間投入，國內農業生產成本增加。	無法進口糧食，而國內農業生產成本也增加，糧食安全短期可仰賴儲備，中長期則必須依靠糧食自給。
能源危機	能源價格飆升，農藥、肥料、飼料、農機與其他生產資財價格上升，農業生產與農產貿易運輸成本增加。	國際糧食供應量減少、糧食價格上升，國內農業生產成本上升，影響國內糧食產量與價格。
氣候變遷	主要糧食生產國之農業生產減少，國際農產品市場之供給減少。	國際糧食供應量減少、糧食價格上升。

資料來源：林國慶（2010）。

另外，由於糧食之必要性，當糧食之供給曲線低到必須水準下緣時，將因市場參與者的恐慌心理，使自由市場的分配機能無法維持正常運作，產生價格機能失靈，而此時政府必須對市場進行干預，實施強制性之分配制度（任耀廷，2012），而此時糧食之生產亦需政府加以進行調節。由於糧食屬於戰略物資，當國家在無法進口糧食之非常時期，糧食的分配與生產可能不會透過自由市場進行，政府可能會直接對糧食的分配與生產，進行必要的配給與調整，因此，本研究並沒有將價值（農產價格）之因素放入數理模型中。

過去日本政府曾為確保糧食安全，進行潛在糧食生產能力之研究，並進行四次最大化熱量糧食生產組合之估算，分別求算 2005 年、2010 年、2015 年與 2020 年之最大化熱量農業生產組合。日本政府由農林水產省大臣官房糧食安全保障課負責估算潛在糧食生產能力，並認為在非常時期時市場無法進行運作，屆時物資需採用配給制度，所以不可能保有原本的消費型態。日本政府以國內遭逢緊急危難，無法進口糧食為前提，假設日本之糧食需求，須由國內 100% 供給，在農地面積微幅減少（或維持不變），農業技術持續成長（或維持）之下，參考日本 1948 年至 1955 年戰後平均每人每日攝取熱

量 2,000 大卡，消費蛋白質產生熱量占總熱量消費比例大於 12% 之條件，並假設能充分利用日本國內農業基礎資源，以此基礎估算日本國內適宜之糧食生產組合（日本農林水產省，2010）。

本研究之目的為評估與分析台灣在非常時期時，是否有足夠能力以自給自足的方式，提供國人維生、營養消費與消費效用需求等三種層次之糧食，同時分析作物生產配置與供應能力。此外，本研究亦以敏感度分析，了解總耕地面積、蔬菜複種指數、蛋白質消費熱量占總熱量比例與作物種植面積上限變動，對於作物生產配置之影響。

II、糧食安全的三個層次

根據世界糧食高峰會對於糧食安全之定義（FAO，1996），糧食安全不僅在於糧食數量上的充足，還包括營養與偏好上的需求，以使人們得以健康生活，故本研究將非常時期之糧食供應分成維生、營養與消費效用等三種層次。本研究將非常時期糧食供應三個層次之定義與相對應的模型限制設定整理於表 2。

政府在無法進口糧食之非常時期時，應先考量維生層次之糧食供應，設法透過政策措施與農業生產規劃，以自給自足的方式，提供能讓台灣國民全體得以生存之最低糧食供給量及最低程度之熱量。根據日本農林水產省「糧食、農業、農村基本法」定義，發生非常時期而危及國內糧食供給時，日本應提供平均每人每日 2,000 大卡之最低消費熱量（約較平常時期減少 20%）（日本農林水產省，2010）。台灣目前並沒有訂定相關標準，因此，本研究參考日本標準與台灣過去之歷史經驗，作為糧食安全維生層次之供應標準。台灣於 1952 年至 1956 年為戰後物資缺乏之非常時期，當時平均每人每日糧食熱量供給約為 2,121 大卡，在考量非常時期時作物生產可能受阻，以及日本訂定之標準後，本研究設定 2,000 大卡為平均每人每日熱量消費之最低需求。

然提供國民維生層次之最低熱量作物組合，即便能維繫生命，從營養的觀點來說，可能也不利於健康之維護。因此，在確認台灣能生產滿足全體國人維生之糧食需求後，應再進一步考慮國人的營養需求，提供適當種類與數量的糧食，以維持國人一定的健康水準。國人營養需求有許多不同方式，包括：蛋白質、脂質與碳水化合物產生熱量占總熱量之比例（The Ratio of Calories from Protein, Fat, and Carbohydrates，以下簡稱 PFC 比例）、各種類營養素攝取量等。本研究為了將營養需求與熱量需求結合，故參考日本農林水產省之模擬情境，以蛋白質產生熱量占總熱量比例 12% 作為營養層次之限制（註 1）。

最後，糧食安全不能只考慮熱量與營養，在世界糧食高峰會於 1996 年對於糧食安全之定義中，滿足所有人之糧食消費偏好是一項重要的概念，該偏好並非是單一家庭或個人之偏好，而是長久以來，於該社會與文化所習慣與偏好之飲食消費型態（Pinstrup-Andersen, 2009）；因此，在確定能滿足營養所需之後，應進一步考慮消費者消費糧食所產生的效用，亦即盡可能在非常時期，供應類似平時國人之糧食消費組合，以滿足國民之效用。本研究為了使非常時期時之消費型態不至於產生重大變化，因此，對某些生產熱量與蛋白質效率較低的糧食品項設定消費下限，例如：糖、蛋類、奶類、水果類等，若沒有對這些品項設定下限，則在每人每日熱量供給極大化與消費蛋白質產生熱量占總熱量比例限制下，這些糧食品項的消費量會變成零，消費型態會發生顯著改變，而使消費者效用顯著下降。故本研究採用設定各糧食品項消費下限的作法，減少消費型態因重大改變所造成的效用下降，並利用數學規劃模型，估算在耕地限制下，滿足類似於目前糧食消費型態之潛在糧食自給能力。

為了解非常時期對於台灣國民糧食供應與糧食消費型態之衝擊，本研究將台灣 2011 年各品項糧食進口比例與熱量計算的糧食自給率整理至表 3。由表 3 顯示，除了稻米、甘藷、花生、蔬菜類、水果類、肉類與油脂類以外，

表 2 非常時期糧食供應三個層次與本研究模型限制設定

糧食供應層次	定 義	模型限制設定
維生層次	提供能讓台灣國民全體得以生存之最低糧食供給量及最低程度之熱量。	平均每人每日熱量消費應達到 2,000 大卡。
營養層次	提供適當種類與數量的糧食，滿足國人之營養需求，以維持國人一定的健康水準。	消費蛋白質產生熱量占總熱量比例 12%。
消費效用層次	提供類似平時國人消費之糧食消費組合，以滿足國人之糧食消費效用。	設定各糧食品項之消費下限。

資料來源：本研究。

其他進口比例皆高於六成。其中，肉類與油脂類雖然供應進口比例不高，但由於其所使用之飼料原料，以及榨油用主要原料自給率極低，尤其是玉米與大豆，所以實際上肉類與油脂類之生產非常仰賴進口。

因此，由表 3 可推論，台灣一旦進入非常時期而無法進口糧食的時候，食物的消費型態會大幅度的改變。其中，小麥製品、玉米、以玉米為原料之加工食品、以樹薯澱粉為原料之加工食品、馬鈴薯、糖與蜂蜜類、大豆、肉類、油脂類與乳類食品供應量會大幅下降；與之相對應的，蛋白質與脂質的供應量亦將隨之大幅下降。由此可知，在無法進口糧食之非常時期時，將可能會使台灣國民之消費型態大幅改變，此時，政府應設法透過措施與農業生產規劃，達成維生層次、營養層次及消費效用層次之糧食供應。

III、推估台灣非常時期糧食需求之理論模型

為建立推估台灣極大化糧食熱量產出之數學規劃模型，必須先建立耕地、糧食與國人營養消費間之關係，本研究將糧食生產至營養消費間的過程整理成圖 2。生產者以耕地生產糧食作物直接供消費者食用，同時亦生產飼料作物供畜禽食用，消費者再食用畜禽產品，消費者則由消費這一些農產品，

表 3 台灣 2011 年糧食供應進口比例與自給率（以熱量計算）

單位：%

類別	品項	供應進口比例 ¹	自給率
穀類		81.1	26.2
	稻米	10.0	108.2
	小麥	103.3	0.0
	玉米	92.7	1.7
	高粱	99.9	0.1
	其他穀類	113.3	0.3
薯類		93.5	25.6
	甘薯	0.2	100.0
	樹薯	119.0	0.1
	馬鈴薯	54.1	24.8
糖與蜂蜜類	糖與蜂蜜類	121.8	12.1
油脂類 ³	油脂類	52.5	--
子仁及油籽類		102.4	4.1
	大豆	106.1	0.0
	花生	11.5	89.9
	芝麻	98.2	3.0
	其他子仁及油籽類	93.7	4.5
蔬菜類	蔬菜類	11.8	92.1
水果類	水果類	15.0	88.7
肉類 ²	肉類	17.9	82.9
蛋類	蛋類	0.4	100.2
水產品類	水產品類	40.7	156.7
乳類	乳類	66.2	31.6

資料來源：行政院農業委員會（2012a）。

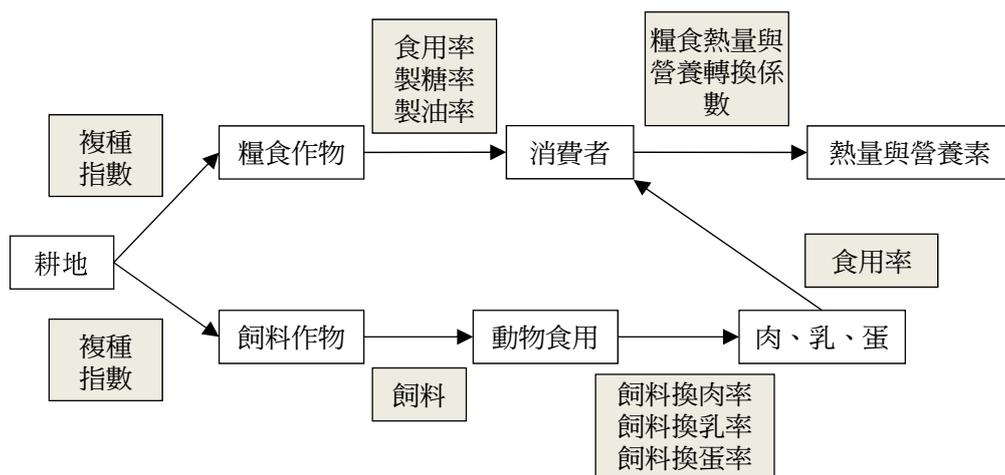
註 1：台灣糧食供應進口比例為進口量除以國內供應量，再乘以 100。因此當進口量大於國內供應量的情形時（存在進口糧食加工出口），糧食供應進口比例就會大於 100%。

註 2：台灣的肉類自給率（以熱量計算）並沒有考慮進口飼料熱量的份額，而台灣的飼料原料自給率，乃與一般食用雜糧合併計算（如玉米、其他穀類等）。

註 3：台灣糧食供需年報只提供油脂類的進口比例，未提供油脂類的自給率，係因台灣自給率乃原始未加工農產品的自給率，因此油脂類的自給能力，應參考榨油原料的自給率，如大豆、芝麻等。

得到熱量、營養素以及效用。因此，本研究必須先建立耕地與各項農產品之種植面積間的關係，各項農產品之種植面積與年產量之關係，糧食作物年產量與純供應量之關係，飼料作物與飼料間之關係，飼料與畜禽產品年供給量之關係，畜禽產品與純供應量之關係，以及糧食純供應量與熱量及 PFC 比例間之關係，才能對極大化糧食熱量供應問題進行求解。

其中，糧食作物與飼料作物生產函數部分，本研究將其簡化，假設作物生產要素只有耕地，且固定投入產出比例，而畜禽產品的部分，則假定飼料由一固定之飼料原料比例組成，並以飼料換肉率與飼料換蛋率、飼料換乳率建立投入與產出之關係。



資料來源：本研究。

圖 2 本研究農產資料處理

3.1 耕地與消費者攝取熱量及營養素關係之理論模型建構

假設台灣總耕地面積為 \bar{r} ，則糧食作物（註 2）（以 i 代表， $i=1,2,\dots,m$ ）耕地面積 r_{food} ，加上飼料作物（以 k 代表， $k=1,2,\dots,n$ ）之耕地面積 r_{feed} ，不能超過台灣總耕地面積 \bar{r} 。 r_{food} 為各項糧食作物 i 使用耕地 r_{foodi} 之加總，而

r_{feed} 則為各項飼料作物 k 使用耕地 r_{feedk} 之加總。三者之關係如式 (1-1)、(1-2) 及 (1-3)。

$$\bar{r} \geq r_{food} + r_{feed} \quad (1-1)$$

$$r_{food} = \sum_{i=1}^m r_{foodi} \quad (1-2)$$

$$r_{feed} = \sum_{k=1}^n r_{feedk} \quad (1-3)$$

不同作物類別，每年能種植的次數不同，將糧食作物 i 平均每年期作次數（複種指數/100） α_i 乘以其使用之耕地面積，即可求得糧食作物 i 每年之期作種植面積 X_i ，然而各項糧食作物之種植，皆有其自然因素與耕種傳統上之限制，因此設定糧食作物 i 之種植面積上限 \bar{X}_i 。耕地面積與期作面積之關係如式(2)。

$$X_i = r_{foodi} \times \alpha_i, \quad X_i \leq \bar{X}_i \quad (2)$$

將作物 i 之每年期作面積乘以農產品 i 之每公頃期作種植面積平均產量 a_i ，可求得作物 i 之每年總產量 Y_i ，如式(3)。

$$Y_i = X_i \times a_i \quad (3)$$

農產品生產後並非所有產出都能直接被消費者所食用，必須扣除加工用、種用，以及部分產品可能會毀損，或消費者食用時會將其去掉不食用的部份（例如：果皮、果核）以及製糖、榨油等加工過程之廢棄物，因此必須將上述用途、毀損或不食用的部份扣除後，才等於農產品確實被消費者食用的糧食純供給量。設定糧食作物 i 之糧食純供給量占總產量比例為 β_i ，則農產品 i 之每年總產量 Y_i 乘以糧食純供給量占總產量比例 β_i ，可求得糧食作物 i 每年純供給量 Z_i ，如式(4)。

$$Z_i = Y_i \times \beta_i \quad (4)$$

農產品 i 之每年純供給量 Z_i ，乘以每單位 i 農產品經食用可產生之熱量與蛋白質、脂肪及碳水化合物之向量 θ_i ，可求得農產品 i 每年產生之總熱量與蛋白質、脂肪與碳水化合物，如式(5)。其中， N_i 代表農產品 i 每公頃耕地面積每年可供給之熱量、蛋白質、脂肪與碳水化合物之向量。

$$N_i = Z_i \times \theta_i \quad (5)$$

在飼料作物的部分，不同飼料作物類別，每年能種植之次數不同，將飼料作物 k 平均每年期作次數（複種指數/100） α_k 乘以其使用之耕地面積，可求得飼料作物 k 每年之期作種植面積 X_k ，而飼料作物 k 之種植面積上限則設為 \overline{X}_k ，如式(6)。

$$X_k = r_{feedk} \times \alpha_k, \quad X_k \leq \overline{X}_k \quad (6)$$

將飼料作物 k 之每年期作面積，乘以農產品 k 之每公頃期作種植面積平均產量 a_k ，可求得作物 k 之每年總產量 Y_k ，如式(7)。

$$Y_k = X_k \times a_k \quad (7)$$

飼料作物生產後並非所有產出都能被畜禽食用，必須取其乾物質比例，才等於飼料作物被畜禽食用的純供給量。將飼料作物 k 之純供給量占總產量比例設定為 β_k ，則飼料作物 k 之每年總產量 Y_k 乘以純供給量占總產量比例 β_k ，可求得飼料作物 k 每年純供給量 Z_k ，如式(8)。

$$Z_k = Y_k \times \beta_k \quad (8)$$

不同畜禽產品有不同的飼料配方需求，本研究將畜禽產品 j 之每年飼料消費，表達為各項飼料作物 k 純供給量之函數 $f(\bullet)$ ，如式(9)。

$$F_j = f(Z_1, Z_2, \dots, Z_k) \quad (9)$$

畜禽食用飼料之後轉換成肉類、乳類與蛋類，將畜禽 j 每年消費飼料總量 F_j 乘以飼料轉換係數之倒數 σ_j^{-1} （亦即飼料換肉率、飼料換乳率及飼料換蛋率），可求得畜禽產品 j 之每年總供給量 Y_j ，如式(10)。

$$Y_j = F_j \times \sigma_j^{-1} \quad (10)$$

求得畜禽產品 j 之每年總供給量後，消費者不會將所有產出之畜禽產品完全消費，因此須將總供給量乘以純供給量占總產量比例 β_j ，以求得畜禽產品 j 每年純供給量 Z_j ，如式(11)。

$$Z_j = Y_j \times \beta_j \quad (11)$$

畜禽產品 j 之每年純供給量 Z_j ，乘以每單位 j 畜禽產品經食用可產生之熱量及蛋白質、脂肪與碳水化合物之向量 θ_j ，可求得畜產品 j 每年產生之總熱量及蛋白質、脂肪與碳水化合物，如式(12)。其中， N_j 代表畜產品 j 消費每公頃耕地面積生產之飼料作物，每年可供給之熱量、蛋白質、脂肪與碳水化合物之向量。

$$N_j = Z_j \times \theta_j \quad (12)$$

本研究將模型設定所使用內生變數與外生變數整理如表 4。

表 4 本研究設定之內生變數與外生變數說明

變數類別	符號	意 涵
內生變數	r_{food}	糧食作物使用之耕地面積。
	r_{feed}	飼料作物使用之耕地面積。
	r_{foodi}	糧食作物 i 使用之耕地面積。
	r_{feedk}	飼料作物 k 使用之耕地面積。
	X_i	糧食作物 i 之期作種植面積。
	X_k	飼料作物 k 之期作種植面積。
	Y_i	糧食作物 i 之年產量。
	Y_j	畜禽產品 j 之年產量。

表 4 本研究設定之內生變數與外生變數說明(續)

變數類別	符號	意 涵
內生變數	Y_k	飼料作物 k 之年產量。
	Z_i	糧食作物 i 之每年純供給量。
	Z_j	畜禽產品 j 之每年純供給量。
	Z_k	飼料作物 k 之每年純供給量。
	F_j	畜禽產品 j 之平均每年消費飼料數量。
	N_i	糧食作物 i 之每公頃耕地面積年供給熱量、蛋白質、脂肪與碳水化合物之向量。
	N_j	畜禽產品 j 之每公頃耕地面積生產之飼料作物，每年供給熱量、蛋白質、脂肪與碳水化合物之向量。
	外生變數	\bar{r}
a_i		糧食作物 i 之每公頃期作種植面積平均產量。
a_k		飼料作物 k 之每公頃期作種植面積平均產量。
\bar{q}_i		糧食作物 i 之平均每人每年最低供給量。
\bar{q}_j		畜禽產品 j 之平均每人每年最低供給量。
\bar{g}_i		糧食作物 i 之平均每人每年最高供給量。
\bar{g}_j		畜禽產品 j 之平均每人每年最高供給量。
h_i		每單位糧食作物 i 之熱量含量。
h_j		每單位畜禽產品 j 之熱量含量。
p_i		每單位糧食作物 i 之蛋白質含量。
p_j		每單位畜禽產品 j 之蛋白質含量。
\bar{P}_t		蛋白質產生熱量占總熱量之比例下限。
α_i		糧食作物 i 平均每年期作數(複種指數/100)。
α_k		飼料作物 k 平均每年期作數(複種指數/100)。
β_i		糧食作物 i 之糧食純供給量占總產量比例。
β_j		畜禽產品 j 之純供給量占總產量比例。
β_k		飼料作物 k 之純供給量占總產量比例。

表 4 本研究設定之內生變數與外生變數說明（續）

變數類別	符號	意 涵
	θ_i	糧食作物 i 經食用後產生熱量、蛋白質、脂肪與碳水化合物之向量。
	θ_j	畜禽產品 j 經食用後產生熱量、蛋白質、脂肪與碳水化合物之向量。
	σ_j	畜禽產品 j 之飼料轉換係數。 (包含：飼料換肉率、飼料換蛋率、飼料換乳率)
	μ	台灣總人口數。
	D	一年之日數。
	\overline{X}_i	糧食作物 i 之種植面積上限。
	\overline{X}_k	飼料作物 i 之種植面積上限。
	R_i	糧食作物 i 之蛋白質轉換熱量係數。
	R_j	畜禽產品 j 之蛋白質轉換熱量係數。

資料來源：本研究。

3.2 推估台灣非常時期糧食需求之理論模型

本研究之目的為評估緊急時期時，在生產面與消費面之限制下，以台灣的農業生產資源，最多能提供多少國人平均每人每日之熱量供給。因此，此問題即為一個最適化問題，而數學規劃為常見的最適化問題的解決方法。一般化的數學規劃模型由目標函數和限制式兩部分組成， $F(X)$ 為欲極大化或極小化之目標函數，而目標式(13)即為在限制式之條件下，極大化或極小化之函數；假設式(14)與(15)為限制式，而 S_1 與 S_2 則為限制式對應之值域。

$$\text{Optimize } F(X) \quad (13)$$

$$\text{Subject to } X \in S_1 \quad (14)$$

$$G(X) \in S_2 \quad (15)$$

本研究使用之目標式為極大化每人每日熱量供給，而限制式則包含：耕

地面積上限、各品項作物種植面積上限、各品項作物最低消費量限制、各品項作物最高消費量限制，以及蛋白質產生熱量占總熱量比例限制。

目標函數式(16)為極大化每人每日熱量供給式，等式右側分為兩部分，第一部分為消費者平均每人每日食用糧食作物所產生之熱量，其分子為作物 i 每年提供之總熱量，亦即糧食作物 i 每年純供給量 Z_i ，乘上每單位作物 i 之熱量含量 h_i 。將作物 i 提供之總熱量除以一年之日數 D 與總人口數 μ ，則可求得種植面積 X_i 種植作物 i 可提供平均每人每日之熱量；將這部分所有糧食作物 ($i=1,2,\dots,m$) 加總，即可求得糧食作物之平均每人每日熱量供給。第二部分為畜禽產品之平均每人每日熱量供給，其分子為作物 j 每年提供之總熱量，亦即畜禽產品 j 每年純供給量 Z_j ，乘上每單位畜禽產品 j 之熱量含量 h_j 。將畜禽產品 j 提供之總熱量，除以一年之日數 D 與總人口數 μ ，再將所有畜禽產品 ($j=1,2,\dots,s$) 加總，則可求得畜禽產品之平均每人每日熱量供給。將兩部分加總並求其極大值，表示極大化每人每日消費熱量。

$$\text{Maximize } Y = \sum_{i=1}^m \frac{Z_i \times h_i}{D \times \mu} + \sum_{j=1}^s \frac{Z_j \times h_j}{D \times \mu} \quad (16)$$

式(17)為蛋白質之熱量占總熱量比例之限制，式(17)不等式左邊分為兩部分，第一部分為消費者平均每人每日食用糧食作物所含蛋白質產生之熱量，分子為作物 i 每年由蛋白質提供之總熱量，亦即糧食作物 i 每年純供給量 Z_i ，乘以每單位作物 i 之蛋白質含量 p_i ，以及作物 i 之蛋白質轉換熱量係數 R_i 。將作物 i 所含蛋白質提供的熱量除以一年之日數 D 與總人口數 μ ，可得到種植面積 X_i 種植作物 i 所含蛋白質提供平均每人每日的熱量，此時，再將所有糧食作物 ($i=1,2,\dots,m$) 加總，即可求得糧食作物之平均每人每日由蛋白質所供給之熱量。第二部分則為消費者平均每人每日食用畜禽產品所含蛋白質產生之熱量，分子為畜禽產品 j 每年由蛋白質提供之總熱量，亦即畜禽產品 j 每年純供給量 Z_j ，乘以每單位畜禽產品 j 之蛋白質含量 p_j ，以

及畜禽產品 j 之蛋白質轉換熱量係數 R_j 。若將畜禽產品 j 所含蛋白質提供的熱量除以一年之日數 D 與總人口數 μ ，即為畜禽產品 j 所含之蛋白質提供平均每人每日的熱量，最後將所有畜禽產品 ($j=1,2,\dots,s$) 加總，可求得畜禽產品之平均每人每日由蛋白質所供給之熱量。將兩部分相加，可得到平均每人每日由蛋白質所供給之熱量。

式(17)不等式右邊也分為兩部分， \overline{Pt} 代表消費蛋白質產生熱量占總消費熱量之最低比例，括弧內則與式(16)相同，代表平均每人每日熱量消費，兩者相乘代表平均每人每日總熱量消費中，由蛋白質提供熱量之下限。式(18)則為式(17)移項簡化之結果。

$$\sum_{i=1}^m \frac{Z_i \times p_i \times R_i}{D \times \mu} + \sum_{j=1}^s \frac{Z_j \times p_j \times R_j}{D \times \mu} \geq \overline{Pt} \times \left(\sum_{i=1}^m \frac{Z_i \times h_i}{D \times \mu} + \sum_{j=1}^s \frac{Z_j \times h_j}{D \times \mu} \right) \quad (17)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^m \frac{Z_i \times p_i \times R_i}{D \times \mu} + \sum_{j=1}^s \frac{Z_j \times p_j \times R_j}{D \times \mu}}{\sum_{i=1}^m \frac{Z_i \times h_i}{D \times \mu} + \sum_{j=1}^s \frac{Z_j \times h_j}{D \times \mu}} - \overline{Pt} \geq 0 \quad (18)$$

式(19)為總耕地面積之限制，代表生產糧食作物與飼料作物所使用的耕地面積，不能超過台灣總耕地面積上限 \bar{r} 。不等式左邊第一項為生產糧食作物所使用的耕地面積，為糧食作物 i 之期作種植面積，除以一年期作次數 α_i ，求得該糧食作物使用之耕地面積，再將所有糧食作物 ($i=1,2,\dots,m$) 加總。第二項為飼料作物所使用的耕地面積，亦即飼料作物 j 之期作種植面積，除以一年期作次數 α_k ，求得該飼料作物使用之耕地面積，再將所有飼料作物 ($k=1,2,\dots,n$) 加總。另外，農作物之種植限制還需要考量作物適栽性，若不對個別農作物設定種植限制，模擬結果會將全部的耕地生產熱量與蛋白質生產效率較佳之作物，但實際上並非所有土地都適合某些農作物之生產。式(20)與式(21)分別代表糧食作物之種植面積 X_i 以及飼料作物之種植面積 X_k ，不得高於個別作物之種植面積上限 X_i 與 X_k 。

$$\sum_{i=1}^m \frac{X_i}{\alpha_i} + \sum_{k=1}^n \frac{X_k}{\alpha_k} - \bar{r} \leq 0 \quad (19)$$

$$X_i - \bar{X}_i \leq 0 \quad (20)$$

$$X_k - \bar{X}_k \leq 0 \quad (21)$$

另外，為減緩因糧食消費型態改變，而對國人糧食消費效用產生之衝擊，本研究對特定作物設定平均每人每年消費量下限，以避免某些熱量與蛋白質生產效率較差之重要糧食消費量等於零。式(22)與式(23)分別為平均每人每年糧食作物與畜禽產品消費量下限。式(22)不等式左邊第一項代表平均每人每年糧食作物 i 之消費量，為糧食作物 i 之年總可消費量除以總人口數，而其不得低於糧食作物 i 之最低消費水準 \bar{q}_i 。式(23)不等式左邊第一項代表平均每人每年畜禽產品 j 之消費量，為畜禽產品 j 之年總可消費量除以總人數，其不得低於畜禽產品 j 之最低消費水準 q_j 。

最後，糧食消費組合也需考量國人胃納量與飲食習慣的問題，若大幅增加某些糧食之供應，將會造成糧食消費型態的顯著性改變，以及產生國人無法吸收過多該類糧食的問題，因此本研究對特定農產品設定平均每人每年消費量上限，如式(24)與式(25)。式(24)不等式左邊第一項為糧食作物 i 之年總可消費量除以總人數 μ ，為平均每人每年糧食作物 i 之總消費量，其不得高於糧食作物 i 之最低消費水準 g_i 。式(25)不等式左邊第一項為畜禽產品 j 之年總可消費量除以總人數 μ ，為平均每人每年畜禽產品 j 之總消費量，其不得高於畜禽產品 j 之最低消費水準 g_j 。

$$\frac{Z_i}{\mu} - \bar{q}_i \geq 0 \quad (22)$$

$$\frac{Z_j}{\mu} - q_j \geq 0 \quad (23)$$

$$\frac{Z_i}{\mu} - g_i \leq 0 \quad (24)$$

$$\frac{Z_j}{\mu} - g_j \leq 0 \quad (25)$$

IV、實證資料來源與參數設定說明

本研究參考台灣糧食供需年報的糧食平衡表（不包含酒類），將農產品項分成 11 大類，其中高能量的農產品如：穀類、薯類、子仁及油籽類、肉類與油脂類產品，以細項的方式處理，而蔬菜與果品類，則以加總的方式處理；另外，部分與耕地關聯較小，以及對本研究答案無重大影響但處理上又非常繁瑣之農產品，或在非常時期不大可能會加工製成的農產品，則予以簡化與省略。如糖及蜂蜜類中，蜂蜜類與土地關連較低，且國人之年消費量不高，故本研究在此將蜂蜜省略；乳品類之奶粉為生乳經加工後之產品，在非常時期時，國內乳品不大可能先製成奶粉再予國人消費，因此本研究在規畫求解時將其省略。另外，由於漁撈與養殖漁業不會直接使用耕地，或僅微量的使用到耕地（註 3），本研究為求簡化，假設台灣漁撈與養殖漁業所使用之耕地面積為零，並在水產類之供應與消費分配的部分，假設在非常時期時平均每人每年之水產類消費量，可以達到台灣 2011 年 35.10 公斤之消費量水準（行政院農業委員會，2012a）。

4.1 模型參數設定說明

根據本研究所建立之數學模型，分別就一般糧食作物、油品類、糖類、飼料作物與肉品之參數與其資料來源進行說明。一般糧食作物及油品類之生產，本研究依據台灣農業統計年報（行政院農業委員會，2013b），使用台灣

2002 至 2011 年十年間各品項每公頃平均產量之平均資料，求算各品項農產品之毛供給量，再依據糧食供需年報附錄（行政院農業委員會，2012a），扣除種用與耗損量的部分，並乘以可食用比例（減去不可食用的部份），得到實際上各品項平均每公頃的純供給量。其中，蔬菜類與果品類的部分，由於農業統計年報與糧食平衡表之分類不同，因此，本研究參考行政院農業委員會統計室所提供之資料，將兩類生產量之細項重新整理，並取得兩大類每公頃平均產量，如表 5。

另外，耕地與作物種植面積之間需考慮複種指數，本研究在這部分係參考林國慶（2011）對於複種指數之設定。通常一公頃的耕地每年可以有一次或一次以上的收穫，複種指數即衡量耕地平均一年可以收穫幾次，如果複種指數為 200，則表示一公頃的耕地一年可以有兩公頃的收穫（或兩公頃的期作產出）。

在糖類生產的部分，本研究假設糖類產品完全由製糖用甘蔗所提供。因此，參考農業統計年報（行政院農業委員會，2013b）製糖用甘蔗每公頃產糖之平均產量。而油品類生產之估算，會先將植物油原料與食用農產品分開處理，油品的生產係參考糧食供需年報附錄（行政院農業委員會，2012a），大豆油為製油用大豆乘以 17% 製油率而得，花生油則由製油用花生乘以 75% 之食用率及 37% 之製油率而得，而芝麻油由製油用芝麻乘以 40% 之製油率而得。本研究將油料作物每公頃平均產量，乘以食用率、製成率與耗損率，換算成平均每公頃種植面積製成油品的產量。

各品項每百克糧食純供給熱量與營養素，則參考衛生署台灣地區食品營養成份資料庫（行政院衛生署，2013），與 2011 年糧食供需年報之糧食平衡表（行政院農業委員會，2012a），將各品項每人每日營養供給，除以純供給量而得。蛋白質、脂質與碳水化合物等，經消費者食用後（以 100 公克為單位），透過個別作物之營養轉換係數轉變為熱量，而所謂 PFC 比例，係指營養素轉換之熱量，占總熱量攝取之比例。各品項作物營養素因細部組成不

同，故其營養素轉換為熱量之比例亦不盡相同。本研究使用各品項作物每百克 PFC 轉換熱量係數，係參考衛生署台灣地區食品營養成份資料庫（行政院衛生署，2013）之設定。

飼料作物與畜禽產品的部分，則如表 6 與表 7，本研究假設肉豬、肉雞與蛋類飼料主要由飼料玉米與大豆所組成，而肉牛、肉羊與乳品所使用的飼料，則以精料與芻料比例 1：1 設算，其中，精料由飼料玉米與大豆粕製成，而芻料則單獨由牧草生產。其中，大豆需先轉換成大豆粕才能製成飼料，而芻料配方之計算，皆以牧草的乾物質比例為基準，該比例參考中國畜牧學會（1993）。其中，各種牧草乾物質比例與每公頃平均產量差異甚大，因此本研究以台灣單位面積產量較高與種植面積較廣的狼尾草當作設算標準。本研究假設之各種飼料配方，為依據中國畜牧學會（1993）以及羅伯英與湯健華（1987）之建議。各項飼料作物之平均產量為參考農業統計年報（行政院農業委員會，2013b），並參考糧食供需年報（行政院農業委員會，2012a）扣除其耗損率。

家禽與家畜食用飼料，應換算成肉類與其他畜禽產品。飼料投入數量與其對應生產之畜禽產品數量的關係，為飼料換肉率、換蛋率與乳牛飼料效率。本研究假設肉豬、肉牛、肉羊與白肉雞的換肉率分別為 3、7.2、7.2 與 1.64（黃欽榮，2009；中國畜牧協會，1993；行政院農業委員會，2007）；在蛋類與乳類的部分，假設生產每公噸蛋需要 2.44 噸飼料（黃次洋，1990），而生產每公噸牛乳則需要 2.3 噸飼料（菱沼毅，2010）。

4.2 模型限制條件設定

本研究之實證模型，以極大化每人每日供給熱量為目標式，而限制條件則可分為生產面與消費面之限制。生產面限制包括總耕地面積上限與各品項產品種植面積上限；而消費面之限制則包括：蛋白質占熱量比例、各品項產品消費量下限，以及各品項產品消費量上限。

表 5 糧食作物相關參數

糧種 指數	每公頃 平均產量 (公斤/ 公頃)	每公頃種植面積平均產量與 純供給量之關係			每百克純糧食營養供給量			各品項作物每百克 PFC 轉換熱量係數				
		種用率/ 製油率	耗損率	食用率	每公頃期作糧食純 供應量占總量比例	熱量 (大卡)	蛋白質 (公克)	脂質 (公克)	碳水化合物 (公克)	蛋白質轉換 熱量係數	脂質轉換 熱量係數	碳水化合物 轉換熱量係數
稻米	200	4,780	1%	88%	86%	355.00	7.50	0.90	77.20	3.91	8.37	4.12
小麥	100	3,688	3%	74%	70%	362.00	13.90	2.30	69.90	3.91	8.37	4.12
玉米	200	3,753	--	100%	97%	178.20	1.51	0.78	39.43	3.91	8.37	4.12
高粱	200	3,838	--	--	85%	368.00	12.50	4.30	68.80	3.91	8.37	4.12
其他穀類	200	1,808	3%	50%	47%	373.19	10.89	4.38	71.38	3.91	8.37	4.12
甘藷	200	21,592	3%	9%	88%	124.00	1.00	0.30	28.60	3.91	8.37	4.12
樹薯	100	12,462	--	5%	18%	352.00	0.10	0.20	88.00	4.00	8.92	3.97
馬鈴薯	100	23,967	4%	10%	86%	81.00	2.70	0.30	16.50	3.91	8.37	4.12
其他薯類	100	28,669	--	5%	25%	89.38	0.02	0.02	22.44	4.00	8.92	3.97
大豆	200	2,033	4%	3%	100%	279.69	26.49	11.93	18.74	3.47	8.37	4.07
花生	200	2,778	6%	3%	75%	553.00	28.60	43.20	22.60	3.47	8.37	4.07
芝麻	200	585	--	3%	100%	568.00	18.50	50.25	20.65	3.47	8.37	4.07
其他子仁 及油籽類	200	1,717	--	3%	100%	387.94	20.50	17.22	39.57	3.47	8.37	4.07
蔬菜類	300	18,091	--	10%	100%	25.78	1.46	0.35	4.72	2.62	8.37	3.90
水果類	120	13,039	--	10%	100%	36.44	0.58	0.19	9.10	3.36	8.37	3.60
糖類	100	6,235	--	--	100%	370.29	0.01	0.00	95.66	0.00	0.00	3.87
大豆油	200	--	17%	0.3%	100%	882.80	0.00	99.88	0.00	4.27	9.02	0.00
花生油	200	--	37%	0.3%	75%	882.80	0.00	99.88	0.00	4.27	9.02	0.00
芝麻油	200	--	40%	--	100%	882.80	0.00	99.88	0.00	4.27	9.02	0.00

資料來源：行政院農業委員會 (2013b)；行政院衛生署 (2013)；行政院農業委員會 (2012a)；林國慶 (2010)。

表 6 飼料作物生產資料

飼料作物	複種指數	每公頃平均產量 (公斤/公頃)	飼料製成率/乾物質比例
飼料玉米	200	4,936	--
大豆粕	200	1,972	0.83
牧草	200	78,345	0.23

資料來源：行政院農業委員會 (2013b)；中國畜牧學會 (1993)。

表 7 畜禽產品相關參數

畜禽產品	畜產品飼料配方比例		飼料轉換係數	純供應量占總供給量比例	每百克糧食純供給量			各品項作物每百克 PFC 轉換熱量係數				
	玉米	大豆粕 (狼尾草)			牧草	熱量 (大卡)	蛋白質 (公克)	脂質 (公克)	碳水化合物 (公克)	蛋白質轉換熱量係數	脂質轉換熱量係數	碳水化合物轉換熱量係數
肉豬	75%	18%	0%	3.00	91%	180.86	12.98	13.91	0.18	4.27	9.02	0.00
肉牛	19%	2%	79%	7.20	98%	204.00	11.27	17.27	0.94	4.27	9.02	0.00
肉羊	19%	2%	79%	7.20	98%	108.90	10.34	7.15	0.00	4.27	9.02	0.00
肉雞	66%	22%	0%	1.64	98%	169.89	11.44	13.43	0.04	4.27	9.02	0.00
雞蛋	64%	25%	0%	2.44	98%	126.98	10.60	8.96	0.35	4.27	9.02	0.00
牛乳	0%	12%	88%	2.30	99%	61.50	3.08	3.50	4.63	4.27	8.79	3.87

資料來源：行政院農業委員會 (2012a)；行政院衛生署 (2013)；中國畜牧學會 (1993)；羅伯英與湯健華 (1987)；黃欽榮 (2009)；黃次洋 (1990)；菱沼毅 (2010)。

生產面限制的部分如表 8，本研究假設目前台灣沒有投入生產的耕地，其潛在生產力等於已經投入生產耕地的平均生產力，而模擬所使用之總耕地面積，應小於或等於台灣目前之耕地面積，亦即 80.8 萬公頃；而各品項產品種植面積上限則參考台灣過去之種植面積作細部調整。若沒有設定種植面積上限，在模擬結果中，會大量生產熱量或蛋白質生產效率較佳之作物，另外，基於每種作物均有其適栽性，要短期間大幅度提高期作種植面積，可能會遇到困難，或者需要很高的成本才能達成，因此對各品項作物設定種植面積上限。

表 8 台灣 1952 至 2011 年種植面積與模型設定種植面積上限

		單位：萬公頃	
品項（大類）	品項（小類）	1952-2011 年 最大種植面積	模型設定種植 面積上限
穀類		--	--
	稻米	79.42	51.09
	小麥	2.52	3.78
	玉米	1.92	2.88
	高粱	2.73	4.09
	其他穀類	0.70	1.04
薯類 ¹		--	--
	甘薯	24.76	37.14
	馬鈴薯	0.40	0.59
糖類	甘蔗	11.94	17.91
子仁及油籽類		--	--
	大豆	5.97	8.95
	花生	10.36	15.55
	芝麻	0.14	0.20
	其他子仁及油籽類	4.96	7.45
蔬菜類 ²	蔬菜類	19.56	19.56
水果類 ³	水果類	22.58	22.58

資料來源：行政院農業委員會（2011^{12b}）；本研究。

註 1：薯類包含甘薯、馬鈴薯、其他薯類，由於台灣其他薯類種植面積很小，故省略不計入。

註 2：蔬菜類包含糧食供需年報中葉菜類、根菜類、莖菜類、花果菜類、菇類等。

註 3：水果類包含糧食供需年報中香蕉、鳳梨、柑橘類、瓜果類、其他果品類等。

本研究以台灣 2010 年實際稻作期作面積 24.39 萬公頃，與休耕轉作期作面積 26.70 萬公頃之總和，做為水稻之水田期作面積限制；蔬菜與水果類則參考農業統計要覽（行政院農業委員會，2011、2012b），以台灣 1952 年至 2011 年間之最大種植面積，作為種植面積上限；而水稻以外之穀類、薯類、糖類與子仁及油籽類等每百克熱量較高之作物，本研究假設非常時期會盡可能的對熱量較高之作物進行增產，因此將其作物種植面積上限，設定為 1952 至 2011 年最大種植面積之 1.5 倍。這樣的假設可能缺乏理論基礎，實際上每種品項於非常時期最大種植面積為何，則需要由其他研究作更深入的分析，本研究在此以敏感度分析的方式，了解當各品項種植面積上限改變時，對於最適解之影響。

在消費面限制的部分，為確保非常時期能夠顧及糧食營養需求層次，因此設定蛋白質占總熱量比例下限。表 9 為不同的平均每人每日消費大卡與各營養素產生熱量占總熱量比例。由表 9 可得知，台灣 2011 年糧食供需年報建議，PFC 比例應分別占 13%、27%與 60%（13：27：60），而台灣 2011 年實際消費的熱量及 PFC 比例，為平均每人每日消費熱量為 2,685.17 大卡，PFC 比例為 13.4：37.4：49.2；但在非常時期，該建議結構應做適當之調整。

表 9 不同情境下平均每人每日消費大卡與各營養素比例

情境	平均每人每日消費大卡 (大卡)	蛋白質產生 熱量占總熱 量比例 (%)	脂肪產生熱量 占總熱量比例 (%)	碳水化合物產生 熱量占總熱量比 例 (%)
台灣 PFC 比例建議值	--	13.0	27.0	60.0
台灣 2011 年消費型態	2,685	13.4	37.4	49.2
台灣 1952 年-1957 年 平均值	2,121	10.6	11.4	78.0
日本模擬情境一	2,135	11.0	11.0	78.0
日本模擬情境二	2,026	12.0	12.0	76.0
日本模擬情境三	2,020	12.0	12.0	76.0

資料來源：行政院農業委員會（2012a）；日本農林水產省（2010）；本研究。

根據日本農林水產省於 2008 年時，模擬 2020 年最大化熱量供給之農業生產估算之三種情境，PFC 比例為 11：11：78（模擬情境一）與 12：12：76（模擬情境二與模擬情境三），而其蛋白質占總熱量比例，皆超過台灣 1952 年至 1957 年戰後時期，國人糧食消費之蛋白質占總熱量比例。本研究參考日本模擬情境，以 12% 作為蛋白質占總熱量比例下限。

在達到一定程度之營養層次之糧食供應之後，應儘量顧全效用消費層次，亦即考量到飲食之多樣化，讓國人在非常時期，仍能消費到糖類、水果、肉類、蛋類、乳類與油脂類。若沒有對這些品項設定下限，在熱量極大化目標，以及蛋白質產生熱量占總熱量消費 12% 限制下，可能會犧牲這些糧食之生產。因此本研究以設定糧食消費量下限的作法，降低國人因消費型態顯著改變所造成的效用下降。在這部分本研究參考日本模擬情境（日本農林水產省，2010），以各情境之各品項之最大值，作為本研究之模型下限，如表 10。其中，水果類、肉類、糖、蛋類、乳類、油脂與糖類之消費量下限，分別為：蔬菜 33 公斤、水果類 17 公斤、肉類 7 公斤、蛋類 2 公斤、乳類 12 公斤、油脂 2 公斤與糖 7 公斤。

最後，必須調整蔬菜類的消費上限。由於每公頃耕地所生產之蔬菜類作物，透過國人消費所產生的蛋白質數量，與每公頃耕地面積所生產之飼料作物，經過餵養畜禽所生產之肉品，再透過國人消費所產生之蛋白質數量差異不大。因此，若不對蔬菜類設定消費上限，則在馬鈴薯、小麥、其他子仁及油籽類、大豆、花生等生產蛋白質效率較佳之作物達到生產上限後，將會開始大量增加蔬菜類之消費，以滿足蛋白質 12% 之營養下限，而這樣的蔬菜量可能超過國人平時平均每人每日的純糧食消費量。因此，本研究針對最大化熱量實證模型，以 2011 年平均每人每年消費蔬菜 107.07 公斤（行政院農業委員會，2013a）做為消費上限。

表 10 基礎模型各品項糧食消費量下限與各情境之消費量

單位：公斤/平均每人每年

類 別	品 項	模型消費量 下限	日本試算 情境 1	日本試算 情境 2	日本試算 情境 3
穀類		--	--	--	--
	稻米	--	56	56	73
	小麥	--	20	20	20
	玉米	--	--	--	--
	高粱	--	--	--	--
	其他穀類	--	2	2	2
薯類		--	256	220	177
	甘薯	--	--	--	--
	馬鈴薯	--	--	--	--
糖類	糖類	7	7	7	7
子仁及油籽類		--	--	--	--
	大豆	--	13	13	13
	花生	--	--	--	--
	芝麻	--	--	--	--
	其他子仁及油籽類	--	--	--	--
蔬菜類	蔬菜類	33	33	33	33
水果類	水果類	17	17	17	17
肉類	肉類	7	4	7	4
蛋類	蛋類	2	2	2	2
乳類	乳類	12	12	12	12
油脂	油脂	2	1	2	2

資料來源：日本農林水產省（2010）；本研究。

V、熱量供給極大化實證模型設定與基礎實證模型模擬結果

熱量供給極大化實證模型，以 GAMS 數學軟體進行規劃求解，模擬結果如表 11。根據前段設定之限制條件下，極大化每人每日熱量供給，則平均

表 11 熱量供給極大化實證模型模擬結果

品 項	種植面積 上限 (萬公頃)	平均每人每 年消費 (公斤/平均 每人每年)	種植面積 (萬公頃)	耕地面積 (萬公頃)
稻米	51.1	90.7	51.1	25.5
小麥	3.8	4.2	3.8	1.9
玉米	2.9	0.0	0.0	0.0
高粱	4.1	5.8	4.1	2.0
其他穀類	1.0	0.0	0.0	0.0
甘薯	37.1	124.2	15.2	7.6
馬鈴薯	0.6	5.2	0.6	0.3
糖類	17.9	7.0	2.6	2.6
大豆	8.9	7.3	8.9	4.5
花生	15.5	12.7	15.5	7.8
芝麻	0.2	0.0	0.0	0.0
其他子仁及油籽類	7.5	5.3	7.5	3.7
蔬菜類	19.6	33.0	4.7	1.6
水果類	22.6	17.0	3.4	2.8
肉類	--	22.1	23.0	1.2
蛋類	--	2.0	3.2	1.6
水產類	--	35.1	0.0	0.0
乳類	--	12.0	7.9	4.0
油脂	--	2.0	6.8	3.4
平均每人每日供給熱量(大卡)			2,086	
PFC 比例(%)			12 : 18 : 70	
糧食作物耕地面積(萬公頃)			63.7	
飼料作物耕地面積(萬公頃)			17.1	
總耕地面積			80.8	

資料來源：本研究。

每人每日可消費 2,086 大卡之熱量，大於平均每人每日維生最低熱量需求 2,000 大卡，PFC 比例約為 12：18：70，其蛋白質產生熱量占總熱量比例 12.0% 之設定，達到本研究所設定之營養層次糧食供應條件。相對於台灣 2009 年消費型態之 PFC 比例 13：37：50，模擬結果之碳水化合物比例大幅上升，此乃薯類與穀類消費量大幅增加之結果。另外，肉類與油脂類消費量下降，導致蛋白質與脂質比例下降，而其中脂質下降比例較蛋白質高。熱量供給極大化實證模型之模擬結果中，達到消費量下限者包括：糖、水果類、蛋類、乳類、油脂類與蔬菜類。

根據基礎模型之模擬結果，在非常時期時，種植糧食作物之耕地面積為 63.7 萬公頃，種植飼料作物之耕地面積為 17.1 萬公頃，總耕地需求為目前耕地面積上限 80.8 萬公頃；達到各品項種植面積上限者包括：稻米、小麥、高粱、馬鈴薯、大豆、花生、其他子仁及油籽類。其中，在主食類的部分，甘藷消費量最多，為平均每人每年 124.2 公斤，其次為稻米平均每人每年消費 90.7 公斤，而小麥與高粱則平均每人每年消費量分別為 4.2 與 5.8 公斤，而高蛋白質之作物如：大豆、花生與馬鈴薯，其平均每人每年消費量則分別為 7.3、12.7 與 5.2 公斤，而肉類、蛋類與乳類其平均每人每年消費量則分別為 22.1、2.0 與 12.0 公斤。

5.1 熱量供給極大化實證模型與台灣過去平均消費型態之比較

根據本研究模擬結果，穀類平均每人每年總消費量為 100.6 公斤，大於台灣 2007 至 2011 年平均每人每年消費量 80.9 公斤，平均每人每年稻米消費量 90.7 公斤，約為台灣 2007 至 2011 年平均消費量之兩倍。台灣目前小麥大多來自進口，台灣無法生產目前國人對於小麥的需求量，故非常時期無法進口時之消費量，遠小於目前平均每人每年消費量 34.2 公斤。

在營養供給的部分，本研究模擬之平均每人每日供給熱量為 2,086 大卡，小於 2007 至 2011 年平均每人每日供給熱量 2,684 大卡；而本研究模擬

結果之 PFC 比例為 12 : 18 : 70，相對於台灣 2007 至 2011 年 PFC 比例 13 : 38 : 49，兩者之蛋白質比例相近，然而由於畜禽與油脂類產品供給量下降，薯類供給量增加，脂質與碳水化合物比例相差甚遠。若比較台灣 PFC 比例建議值之 13 : 27 : 60，可發現模擬結果之脂質比例低於建議值 9 個百分點，2007 至 2011 年平均之脂質比例則高於建議值 11 個百分點；模擬結果之碳水化合物比例高於建議值 10 個百分點，而 2007 至 2011 年平均之碳水化合物比例則比建議值低 11 個百分點。

另外，根據表 12，本研究模擬結果之穀類平均每人每年消費量為 101 公斤，小於台灣 1952 至 1956 年平均每人每年消費量之 147 公斤。其中，平均每人每年稻米消費量為 90.7 公斤，小於台灣 1952 至 1956 年平均每人每年消費量之 132 公斤，然而，該模擬結果已達到種稻之面積上限。台灣於 1952 至 1956 年時，稻米種植面積較本研究定義之水稻種植面積大，且當時人口數較目前少很多，即便當時的平均每公頃產量較低，但平均每人每年消費量仍大於此模擬結果。

本研究模擬結果之薯類平均每人每年總消費量共 124.2 公斤，大於台灣 1952 至 1956 年平均每人每年消費量 66 公斤，此乃極大化每人每日熱量供給之結果。本研究模擬結果之平均每人每年糖類、水果類、蔬菜類、蛋類、乳類與油脂類消費量皆達到消費限制之下限，其中糖類與油脂類平均每人每年消費量小於台灣 1952 至 1956 年之平均值，平均每人每年蛋類消費量則在兩情境下相等，而水果類與乳類消費量，以及肉類消費量之模擬結果，則大於台灣 1952 至 1956 年平均每人每年消費量。

本研究模擬結果之平均每人每日供給熱量為 2,086 大卡，與台灣 1952 至 1956 年之平均每人每日供給熱量 2,121 大卡差異不大，因此，將台灣 1952 至 1956 年視為台灣非常時期之參考情境應為適當。而本研究模擬結果之 PFC 比例為 12 : 18 : 70，相對於台灣 1952 至 1956 年之 12 : 12 : 76，更接近糧食供需年報之建議值 13 : 27 : 60。因此，根據本研究模擬結果，在平

均每人每日供給熱量與 PFC 比例做為衡量之基準下，台灣在非常時期可透過適當的糧食生產配置，提供國人獲得較 1952 至 1956 年平均消費型態更好之糧食供給組合。

表 12 熱量供給極大化實證模型模擬結果與各情境消費量之比較

單位：公斤/平均每人每年

類別	品項	熱量供給極大化實證模型模擬結果	日本試算情境 2	台灣 1952 至 1956 年消費平均	台灣 2007 至 2011 年消費平均
穀類		--	--	--	--
	稻米	90.7	56.0	132.0	46.7
	小麥	4.2	20.0	15.0	34.2
	玉米	0.0	--	--	--
	高粱	5.7	--	--	--
	其他穀類	0.0	2.0	--	--
薯類		--	220.0	66.0	21.5
	甘薯	124.2	--	--	--
	馬鈴薯	5.2	--	--	--
糖類	糖類	7.0	7.0	9.0	24.5
子仁及油籽類		--	--	10.0	25.4
	大豆	7.3	13.0	--	--
	花生	12.7	--	--	--
	芝麻	0.0	--	--	--
	其他子仁及油籽類	5.3	--	--	--
蔬菜類	蔬菜類	33.0	33.0	59.0	104.5
水果類	水果類	17.0	17.0	16.0	126.4
肉類	肉類	22.1	7.0	17.0	74.8
蛋類	蛋類	2.0	2.0	2.0	16.9
乳類	乳類	12.0	12.0	3.0	20.4
油脂	油脂	2.0	2.0	4.0	22.3
平均每人每日供給熱量（大卡）		2,086	2,026	2,121	2,684
PFC 比例（%）		12：18：70	12：12：76	11：11：78	13：38：49

資料來源：日本農林水產省（2010）；行政院農業委員會（2012a）；本研究。

5.2 熱量供給極大化實證模型與日本最大化熱量供給試算情境 2 結果之比較

本研究模擬結果之穀類平均每人每年消費量為 100.6 公斤，大於日本試算情境 2 之平均每人每年 78 公斤；而平均每人每年稻米消費量 91 公斤，大於日本平均每人每年稻米消費量 56 公斤，然而台灣平均每人每年小麥消費量低於日本之消費量，此結果是由於兩國不同的農業生長環境所致，台灣地處熱/亞熱帶，而日本地處溫帶，因此台灣的自然環境較適合稻米生長，而日本之自然環境則較適合小麥之生產。

另外，本研究模擬之薯類平均每人每年消費量共 124.2 公斤，小於日本模擬結果之平均每人每年 220 公斤，而平均每人每年糖類消費量達到消費限制之下限，等於日本試算情境 2 之平均每人每年消費量。本研究模擬之子仁及油籽類之平均每人每年總消費量共 25.3 公斤，而日本試算情境 2 之子仁及油籽類只消費大豆 13 公斤，其大豆消費量大於本研究模擬之大豆消費量平均每人每年 7.3 公斤，此乃台灣自然環境較不適合生產大豆，而較適合生產花生之緣故。另外，本研究模擬之平均每人每年肉類消費量亦大於日本情境 2 之結果，其餘消費量則達到消費量下限，等於日本情境 2 之平均每人每年消費量。

本研究模擬結果之平均每人每日供給熱量為 2,086 大卡，大於日本情境 2 之結果 2,026 大卡，而本研究模擬結果之 PFC 比例為 12：18：70，相對於日本之 12：12：76 更接近糧食供需年報之建議值 13：27：60。因此，根據本研究模擬結果，台灣政府在非常時期時，可透過適當的糧食生產配置，提供較日本非常時期時更好的消費型態，不論是平均每人每日供給熱量，或是 PFC 比例。

因此，根據熱量供給極大化實證模型模擬結果，本研究推論在非常時期時，在台灣目前 80.8 萬公頃之耕地面積條件下，台灣有能力提供國人平均

每人每日維生所需之最低糧食需求 2,000 大卡，並且能同時符合營養之標準（蛋白質比例大於或等於 12%）。本研究無法推論非常時期時，消費者因糧食消費組合改變而導致效用減少的確切幅度，但利用各品項農產品消費下限設定，能在符合維生與營養的條件下，盡量減少消費效用下降。

VI、熱量供給極大化實證模型之敏感度分析

本研究針對可能顯著影響模擬結果之重要變數進行敏感度分析，而其重要變數包含：總耕地面積上限、蔬菜複種指數、蛋白質消費占總熱量消費比例，以及各品項作物種植面積上限之敏感度分析等四個部分。

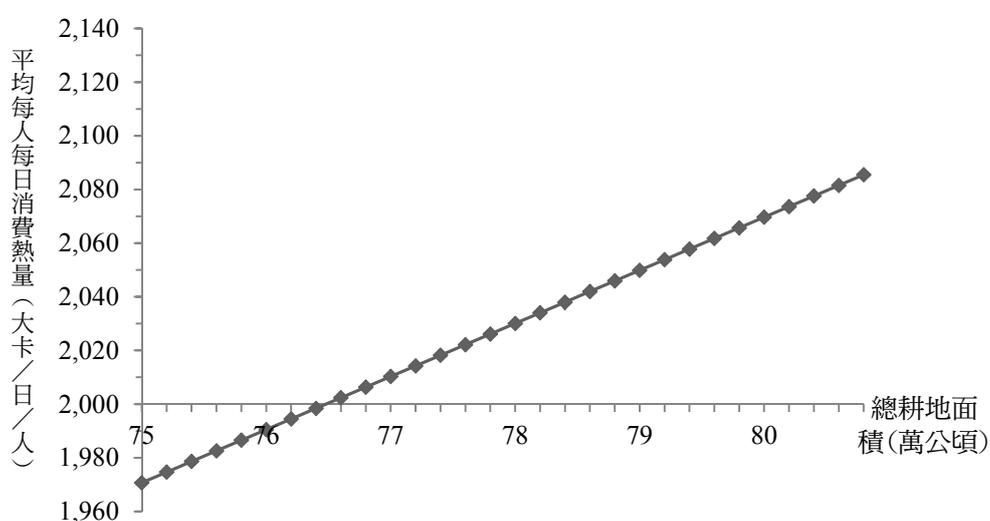
6.1 耕地面積上限敏感度分析

由於台灣實際總耕地面積可能由於變更使用、污染或土質鹽化等因素，或因當前台灣大量的休廢耕，使得部分土地荒蕪，無法恢復種植，使實際可利用之耕地小於目前總耕地面積之 80.8 萬公頃，因此本研究針對耕地面積上限進行敏感度分析，推估在不同耕地面積限制下，在無法進口糧食之非常時期時，台灣應如何分配生產資源，才能生產滿足國人維生、營養與消費效用各層次之極大化熱量糧食生產組合。

本研究針對耕地面積上限進行敏感度分析，以逐步調降基礎模型之總耕地面積上限，由目前總耕地面積 80.8 萬公頃，模擬總耕地面積逐步下降至 75 萬公頃之結果。本研究沒有針對總耕地面積增加的情況進行模擬，因為若要將非農業用地轉變成農業用地，或以開闢荒地、填海造地或開墾邊際土地之方法增加耕地面積成本高昂，因此只針對耕地面積下降的情況進行敏感度分析。

圖 3 為總耕地面積限制與平均每人每日消費熱量之關係。由圖 3 可知，當總耕地面積下降時，平均每人每日消費熱量減少。總耕地面積每下降 1%，

平均每人每日消費熱量將減少 0.75% 至 0.77%，下降幅度隨總耕地面積減少而逐漸降低。總耕地面積約下降至 76.5 萬公頃時，平均每人每日消費熱量達最低限制 2,000 大卡；亦即，在蛋白質比例大於或等於 12%，以及部分品項農產品最低消費限制之假設下，台灣最少需要 76.5 萬公頃之耕地面積，才能提供平均每人每日維生所需之熱量。



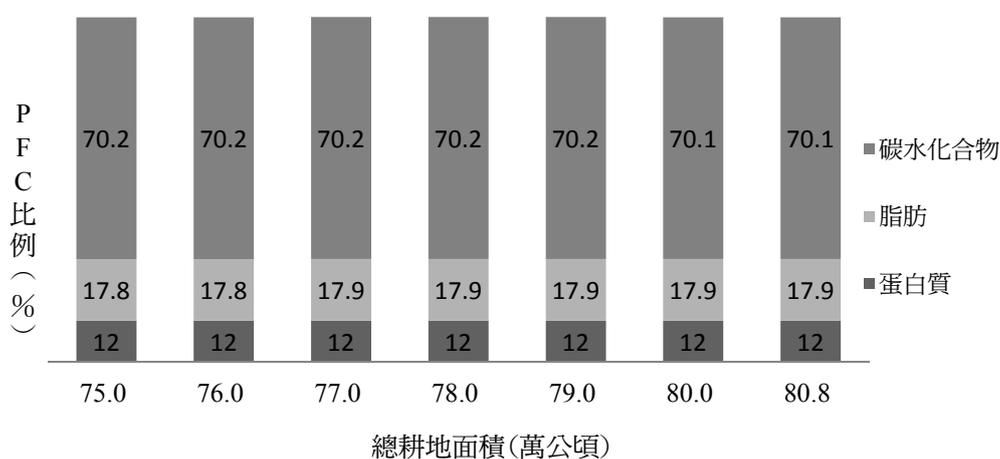
資料來源：本研究。

圖 3 總耕地面積限制與平均每人每日消費熱量

圖 4 為總耕地面積限制與最適解 PFC 比例之關係。隨著總耕地面積限制下降，碳水化合物占總熱量比例隨之上升，脂質占總熱量比例則呈現下降的趨勢；碳水化合物占總熱量比例由 70.1% 上升至 70.2%，脂質占總熱量比例由 17.9% 降至 17.8%。碳水化合物占總熱量比例上升，脂質占總熱量比例下降的原因在於甘藷與肉類的消費量同時減少，但碳水化合物含量比例較高的甘藷，其消費量減少的比例，較脂質含量比例較高的肉類少，因此造成此種現象。

圖 5 為總耕地面積限制與甘藷及肉類消費量之關係。當總耕地面積下降時，平均每人每年甘藷與肉類之消費量隨之下降。總耕地面積由 81.3 萬公

頃逐漸減少至 75 萬公頃，甘藷消費量由平均每人每年消費 124.1 公斤，下降至平均每人每年消費 102.1 公斤。總耕地面積每下降 1 萬公頃，則甘藷消費量平均約減少 3.8 公斤，下降幅度約 3.1%至 3.7%。在肉類消費量的部分，耕地面積由 81.3 萬公頃逐漸減少至 75 萬公頃，肉類消費量由平均每人每年消費 22.1 公斤減少至 13.5 公斤。總耕地面積每下降 1 萬公頃，則肉類消費量平均約減少 1.5 公斤，下降幅度約 6.7%至 10.9%。

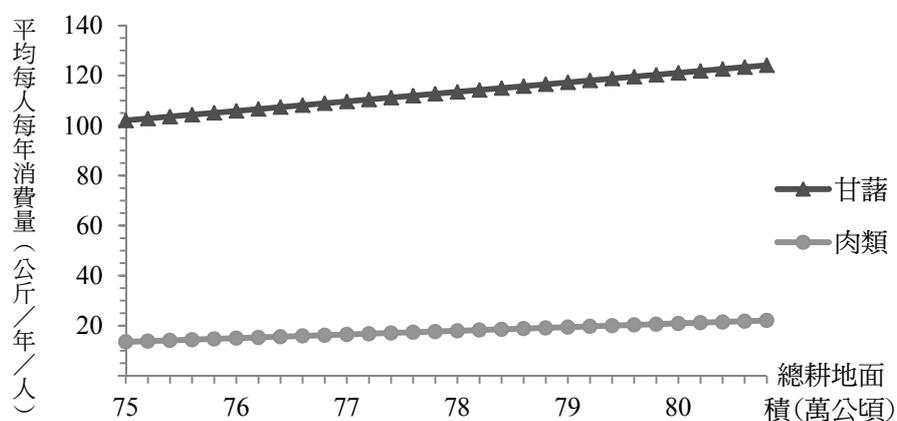


資料來源：本研究。

圖 4 總耕地面積限制與 PFC 比例

6.2 蔬菜複種指數敏感度分析

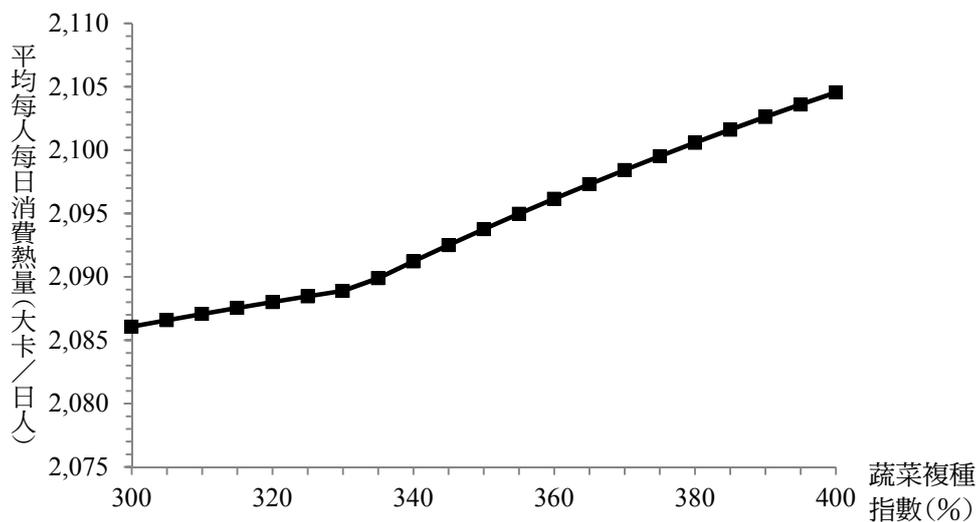
本研究之模型設定蔬菜複指數為 300，然而，實際上蔬菜種類複雜，某些蔬菜類複種指數可能高於本研究設定之 300，故本研究針對蔬菜複種指數進行敏感度分析，將蔬菜複種指數由 300 逐步調升至 400，以了解蔬菜複種指數改變後，對消費型態、消費熱量與營養比例等最適解之影響。



資料來源：本研究。

圖 5 總耕地面積限制與平均每人每年甘藷與肉類消費量

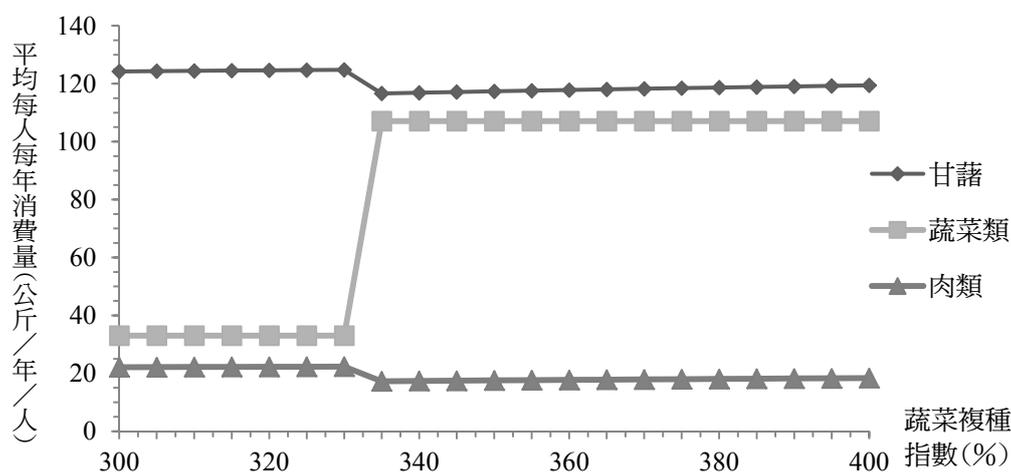
本研究將蔬菜複種指數由 300 逐步增加至 400，並將模擬結果繪製成圖 6。由圖 6 得知，當蔬菜複種指數增加時，平均每人每日消費熱量會增加，在蔬菜複種指數小於 330 時，蔬菜複種指數每增加 1%，平均每人每日消費熱量約增加 0.01% 至 0.02%，然而，在蔬菜複種指數大於 330 時，蔬菜複種指數每增加 1%，平均每人每日消費熱量約增加 0.04%。



資料來源：本研究。

圖 6 蔬菜複種指數與平均每人每日消費熱量

整理各品項平均每人每年消費量後，可發現蔬菜複種指數由 300 調整至 400，僅對最適解下的甘藷、蔬菜類與肉類生產產生影響（如圖 7）。由圖 7 可得知，蔬菜複種指數在 330 至 335 間，蔬菜類對甘藷與肉類產生取代的現象，而取代之原因，在於當蔬菜複種指數超過 330，蔬菜類每公頃耕地面積蛋白質生產之效率，將高於由每公頃耕地面積生產肉品中之蛋白質生產效率，在蛋白質消費熱量占總熱量比例 12% 的限制下，蔬菜類大幅增加至消費上限，而相對的肉類之消費則大幅下降。



資料來源：本研究。

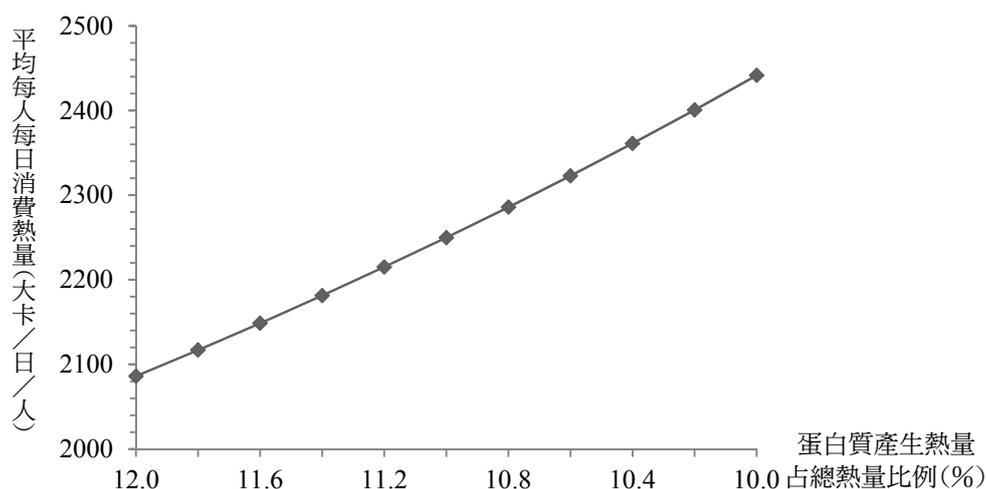
圖 7 蔬菜複種指數與平均每人每年甘藷消費量

6.3 蛋白質消費占總熱量消費比例之敏感度分析

本研究設定蛋白質消費占總熱量消費比例下限為 12%，然而，過去台灣於 1952 至 1956 年間，平均蛋白質消費占總熱量消費比例約為 11%，因此本研究想了解，若模型設定之蛋白質消費占總熱量消費比例下限少於 12%，對於熱量極大化之糧食生產配置與營養供給，將會發生何種改變。

本研究針對蛋白質消費占總熱量消費比例進行敏感度分析，將該比例由 12% 逐步調降為 10%，以模擬各品項糧食消費量、糧食作物與飼料作物之耕地需求、熱量供給與 PFC 比例之變化。

圖 8 為蛋白質消費占總熱量消費比例由 12% 降至 10% 時，平均每人每日消費熱量之變化。由圖 8 可得知，隨著蛋白質產生熱量占總熱量比例之限制上升，平均每人每日消費熱量會下降。蛋白質產生熱量占總熱量比例從 12% 下降至 11% 時，總供給熱量約上升 163.8 大卡 (7.9%)，而其由 11% 下降至 10% 時，平均每人每日消費熱量約上升 191.7 大卡 (5.5%)。

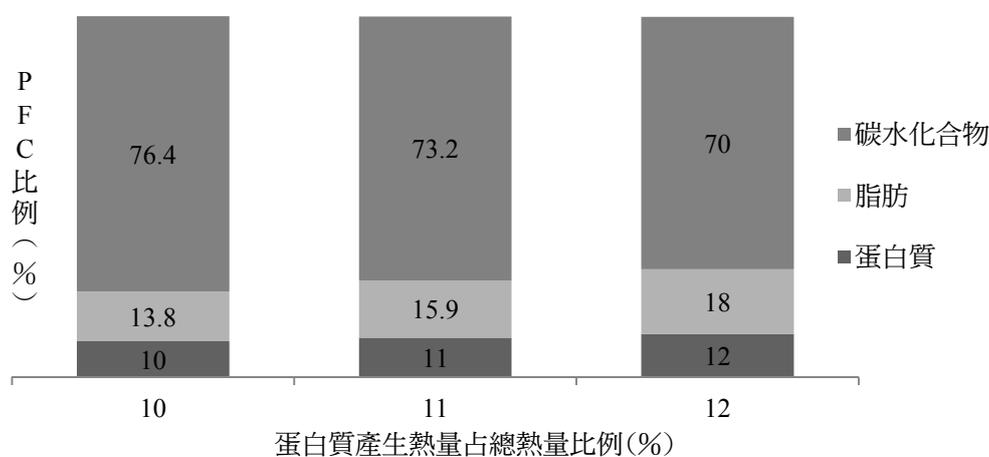


資料來源：本研究。

圖 8 蛋白質產生熱量占總熱量比例與平均每人每日消費熱量

圖 9 為蛋白質消費占總熱量消費比例限制，對 PFC 值之影響。由圖 9 可以得知，隨著蛋白質產生熱量占總熱量比例之限制上升，最適解之脂質產生熱量占總熱量比例會上升，碳水化合物產生熱量占總熱量比例會下降。脂質產生熱量占總熱量比例從 13.8% 上升至 18.0%，碳水化合物產生熱量占總熱量比例則由 76.4% 降至 70.1%；而造成該變化的因素，在於生產蛋白質之主要作物早已達生產上限，蛋白質之增加需依靠肉品消費的增加，而調降蛋

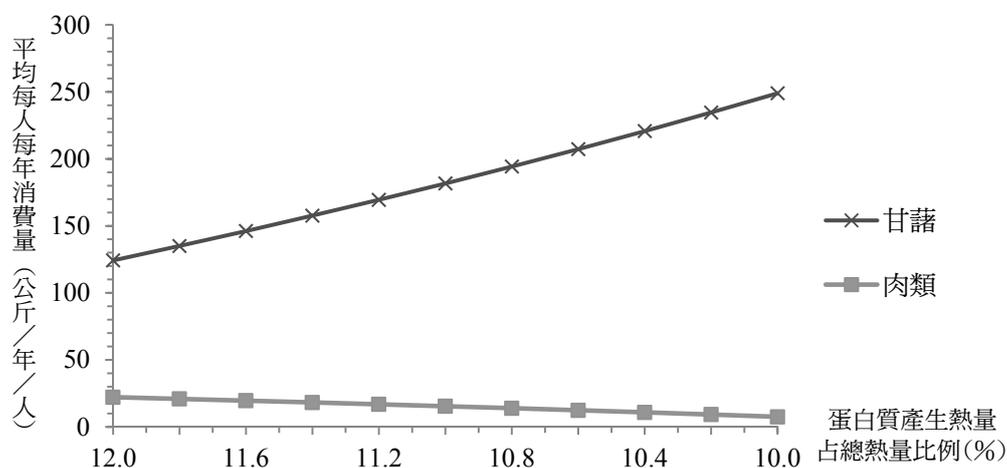
白質產生熱量占總熱量比例下限，將減少脂質比例較高之肉類消費，增加碳水化合物比例較高之甘薯之消費，因此使脂質產生熱量占總熱量比例隨之下降。



資料來源：本研究。

圖 9 蛋白質產生熱量占總熱量比例與 PFC 比例

蛋白質產生熱量占總熱量比例由 12% 降至 10%，僅對甘薯與肉類之消費量產生影響，本研究將甘薯與肉類之消費量變動情況整理成圖 10。當蛋白質產生熱量占總熱量比例限制從 12% 下降至 11% 時，平均每人每年甘薯消費量由 124.2 公斤上升至 181.7 公斤，共上升 57.5 公斤（46.3%），而蛋白質比例較高之肉類，其平均每人每年消費量則由 22.1 公斤，降低至 15.4 公斤，共降低 6.7 公斤（30.5%）。當蛋白質產生熱量占總熱量比例下限從 11% 下降至 10% 時，平均每人每年甘薯消費量將進一步上升 67.3 公斤（37.0%），而平均每人每年消費肉類則進一步降低 7.9 公斤（51.4%）。



資料來源：本研究。

圖 10 蛋白質產生熱量占總熱量比例與平均每人每年甘藷、稻米及肉類消費量

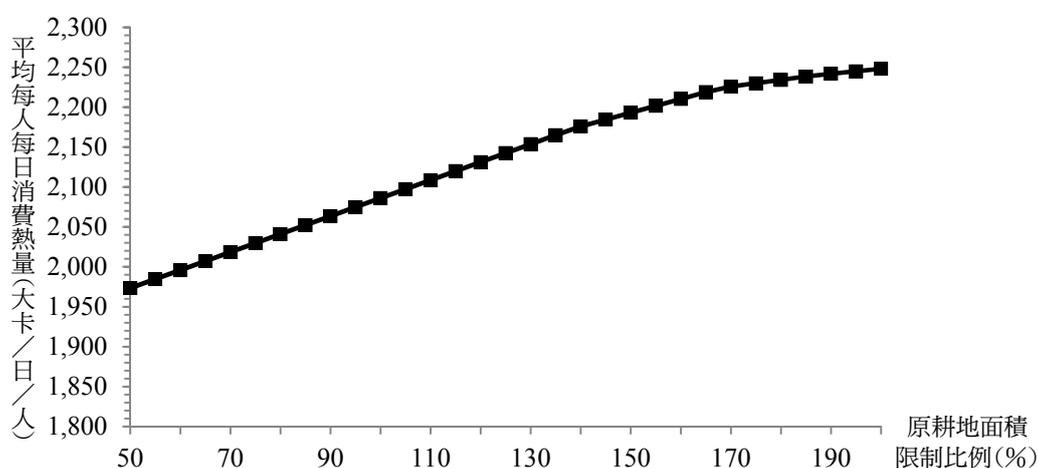
6.4 各品項作物種植面積上限之敏感度分析

本研究假設非常時期會盡可能的對熱量較高之作物進行增產，因此將水稻以外之穀類、薯類、糖類與子仁及油籽類之種植面積上限，設定為 1952 至 2011 年最大種植面積之 1.5 倍，而蔬菜類與水果類則設定為 1952 至 2011 年最大種植面積之 1 倍，然而，這樣的假設可能缺乏理論基礎。因此，本研究以敏感度分析的方式，設定水稻以外之穀類、薯類、糖類與子仁及油籽類，以及蔬菜類與水果類之原耕地面積限制條件為基礎，逐步由原耕地面積限制條件之 50% 放寬至 200%，以模擬極大化熱量及各品項糧食消費量之變化。

圖 11 為耕地面積限制條件改變時，平均每人每日消費熱量之變化。由圖 11 可得知，隨耕地面積限制條件放寬，平均每人每日消費熱量隨之增加。當耕地面積限制由原限制之 50% 逐漸放寬至原限制，平均每人每日消費熱量由 1973 大卡，增加至 2,086 大卡；而當耕地面積限制由原限制逐漸

放寬至原限制之 200%，平均每人每日消費熱量由 2,086 大卡，增加至 2,248 大卡。

隨原耕地面積限制條件逐漸放寬，稻米、小麥、高粱、甘藷、馬鈴薯、大豆、花生、其他豆類與肉類之消費量都發生改變。為使結果較為清楚，本研究將消費量較多的作物：稻米、甘藷、花生與肉類整理至圖 12，而消費量較少的作物：小麥、高粱、馬鈴薯、大豆與其他豆類則整理至圖 13。

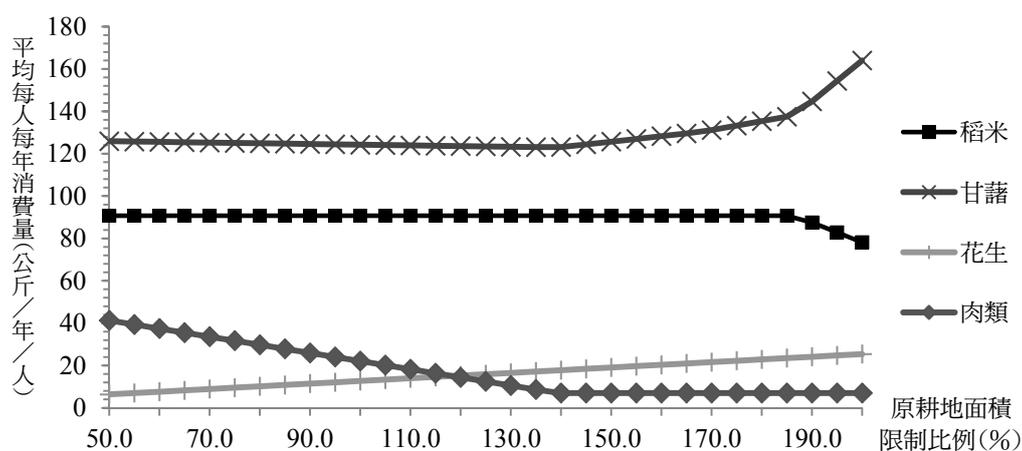


資料來源：本研究。

圖 11 耕地面積限制條件與平均每人每日消費熱量

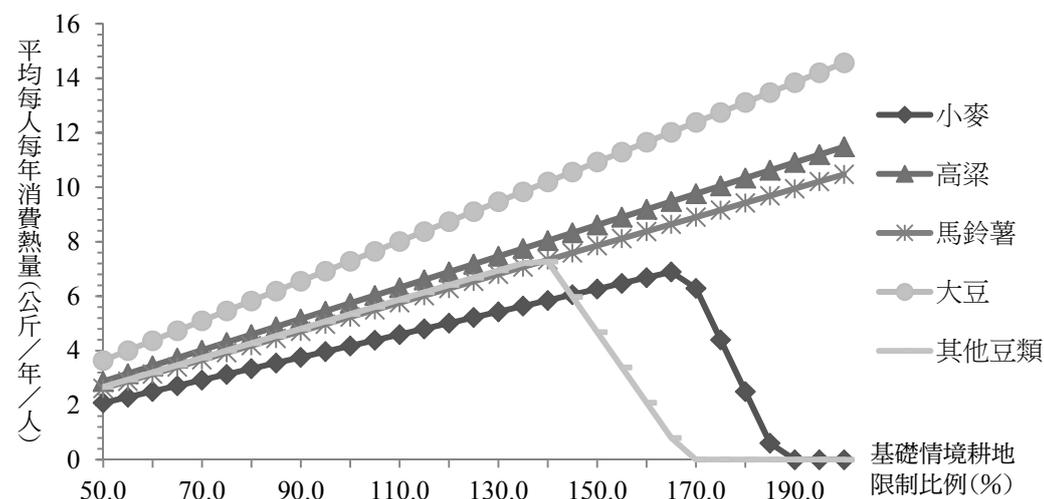
由圖 12 與圖 13 可得知，隨著面積限制條件由 50%放寬至 200%，蛋白質生產效率較高的花生、大豆、馬鈴薯與高粱，其平均每人每年消費量分別由 6.4 公斤、3.6 公斤與 2.6 公斤增加至 25.4 公斤、14.6 公斤與 10.5 公斤，而蛋白質生產效率相對較低的肉類消費量則由 41.3 公斤下降，直到到達其消費下限 7 公斤。稻米、小麥、甘藷與其他豆類消費量的趨勢則較為特殊；稻米的消費量在面積限制條件 180%以前，穩定維持在 90.7 公斤，但在之後卻逐步下降至 78.1 公斤；小麥與其他豆類之消費量皆呈現先升後降之趨

勢，分別由 2.1 公斤與 2.7 公斤，逐步上升至 6.9 公斤與 7.3 公斤，最後再先後下降至 0 公斤；甘藷消費量在面積限制條件 130% 以前，呈現微幅下降之趨勢，但在之後卻逐步漸增加至 164.0 公斤。



資料來源：本研究。

圖 12 耕地面積限制條件與平均每人每年稻米甘藷花生及肉類消費量



資料來源：本研究。

圖 13 耕地面積限制條件與平均每人每年小麥高粱馬鈴薯大豆及其他豆類消費量

這樣的趨勢變化反映糧食不同品項蛋白質與熱量的生產效率，在肉類消費量下降至消費下限以前，花生、大豆、小麥、高粱馬鈴薯與其他豆類的消費量，皆沿著耕地限制放寬而增加，表示相較於肉類所提供的蛋白質與熱量，由花生、大豆、小麥、高粱、馬鈴薯與其他豆類所提供之蛋白質與熱量更有效率。一旦肉類達到消費下限，則開始逐漸以減少其他豆類消費量、增加甘藷消費量來達成熱量之提升，並持續增加花生、大豆、小麥、高粱與馬鈴薯之消費量，以維持蛋白質產生熱量占總熱量之一定比例。而在其他豆類消費量亦降至 0 後，就開始以降低小麥消費量，持續增加甘藷、馬鈴薯、花生、大豆、高粱與馬鈴薯之消費量來提升熱量，並維持蛋白質產生熱量占總熱量之一定比例。最後，當小麥消費量下降至 0 以後，則開始以降低稻米消費量，持續增加甘藷、花生、大豆、高粱與馬鈴薯之消費量，以提升熱量，以及維持蛋白質產生熱量占總熱量之一定比例。

VII、結論與政策建議

台灣農業資源稀少，糧食自給率偏低，為糧食之淨進口國，而世界糧食供應不穩定與糧食價格波動，將對台灣具有不利的影響。為因應全球糧食供應潛在之危機，台灣應未雨綢繆，發展有效因應國家糧食安全危急情況之機制，健全台灣糧食安全體系。有鑑於此，本研究估算台灣糧食生產潛力，以及滿足非常時期無法進口糧食時之國產糧食供應型態，供決策者參考，作為政府維護社會安全及確保台灣糧食安全之依據。

本研究考量維生、營養與消費效用等三個層次之糧食供應，透過數學規劃，了解台灣在無法進口糧食之非常時期時，如何以現有的耕地面積，進行各項作物之生產配置，並滿足蛋白質產生熱量占總熱量比例 12% 以上之營養限制，以及滿足各類糧食之最低消費量限制，以達到極大化之熱量供給之目標，而該熱量供給至少應滿足平均每人每日熱量 2,000 大卡。

根據極大化每人每日熱量供給之模擬結果，在台灣現有之耕地面積為 80.8 萬公頃、蛋白質消費產生熱量占總熱量比例 12%，以及其他相關假設下，台灣在無法進口糧食之非常時期時，可供給國人平均每人每日 2,086 大卡之熱量，PFC 比例約為 12：18：70，相對於 2009 年消費型態之 PFC 比例 13：37：50，碳水化合物比例大幅上升，此乃薯類與穀類消費量大幅增加之結果。此時，種植糧食作物之耕地面積為 63.7 萬公頃，種植飼料作物之耕地面積為 17.1 萬公頃，總耕地需求為目前耕地面積上限 80.8 萬公頃；其中，達到種植面積上限之糧食包括：稻米、小麥、高粱、馬鈴薯、大豆、花生、其他子仁及油籽類。

本研究同時針對模型中可能顯著影響模擬結果之重要變數進行敏感度分析，包括：總耕地面積上限、蔬菜複種指數、蛋白質消費占總熱量消費，以及各品項種植面積上限等四部分。本研究將總耕地面積限制由 81.3 萬公頃逐漸減少至 75 萬公頃，而當總耕地面積下降時，平均每人每日消費熱量亦逐漸減少。總耕地面積每下降 1%，平均每人每日消費熱量將減少 0.75% 至 0.77%，下降幅度隨總耕地面積減少而逐漸降低。另外，總耕地面積每下降 1 萬公頃，甘藷消費量之平均約減少 3.8 公斤，肉類消費量則平均約減少 1.5 公斤。其中，總耕地面積約下降至 76.5 萬公頃時，平均每人每日消費熱量達最低限制 2,000 大卡；亦即，在本研究之設定下，台灣最少需要 76.5 萬公頃之耕地面積，才能提供平均每人每日維生所需之熱量。

當蔬菜複種指數由 300 逐步增加至 400 時，平均每人每日消費熱量會增加，其中，蔬菜複種指數小於 330 時，蔬菜複種指數每增加 1%，平均每人每日消費熱量約增加 0.014% 至 0.015%，然而，在蔬菜複種指數大於 330 時，蔬菜複種指數每增加 1%，平均每人每日消費熱量約增加 0.036% 至 0.043%。蔬菜複種指數在 330 至 335 間，蔬菜類對甘藷與肉類產生取代的現象，此時蔬菜消費量急遽增加至消費量上限，而肉品與甘藷消費量則急遽下跌，其原因在於當蔬菜複種指數超過 330，蔬菜每公頃耕地面積之蛋白質

生產效率，將高於由每公頃耕地面積生產肉品之蛋白質生產效率。

隨蛋白質產生熱量占總熱量比例之限制，由 12% 降至 10% 時，平均每人每日消費熱量會隨之上升。蛋白質產生熱量占總熱量比例從 12% 下降至 11% 時，總供給熱量約上升 163.8 大卡，而其由 11% 下降至 10% 時，平均每人每日消費熱量約上升 191.7 大卡。隨著蛋白質產生熱量占總熱量比例之限制下降，脂質產生熱量占總熱量比例也會隨之下降，碳水化合物產生熱量占總熱量比例則會上升，其中，脂質熱量占總熱量比例從 18.0% 下降至 13.8%，而碳水化合物熱量占總熱量比例則由 70.1% 上升至 76.4%；而造成該變化的因素在於肉類消費之減少。

隨各作物品項原耕地面積上限條件逐漸上升，花生、大豆、馬鈴薯與高粱之消費量隨之增加；肉類消費量則逐漸減少至消費下限；其他豆類與小麥之消費量呈現先升後降之趨勢，甘藷則由原本之緩慢下降，而後逐漸上升；稻米則是平穩維持其消費量，直到小麥消費量下降至平均每人每年 0 公斤後，才開始逐漸下降。而這樣的趨勢變化反映糧食不同品項蛋白質與熱量的生產效率，當蛋白質與熱量生產效率較高的農產品耕地面積限制被逐漸放寬，則蛋白質與熱量生產效率較低的品項之生產將會逐漸下降，以換取生產蛋白質與熱量生產效率較高的品項之機會。

雖然根據本研究的推估結果，在非常時期時，台灣能在維生、營養層次與一定的消費效用型態下，提供國人所需之糧食，而在此推估中耕地扮演重要的角色。本研究假設目前台灣沒有投入生產的耕地，其潛在生產力等於已經投入生產耕地的平均生產力，但實際上，這些未投入生產耕地之生產力並不得而知。當前台灣領取休耕給付之耕地面積超過 20 萬公頃，且複種指數偏低，若加上棄耕與廢耕的耕地，每年可能有近半的期作面積沒有投入農業生產，而這些耕地的生產力，將決定台灣是否能夠因應非常時期的糧食危機。耕地在適當的休耕之下，可使地力回復，然而，長期的廢耕與棄耕，將會改變土壤的物理及化學性質，進而產生耕地荒蕪與復耕不易之問題。當前

台灣有大量的耕地處於連續或長期休耕的狀態，長期的休廢耕可能造成地力流失以及資源沒有有效利用的問題，政府必須予以重視。政府應定期檢視台灣農地之利用狀況，並針對檢視結果提出因應對策，改善耕地長期休耕與棄耕的情形，維持台灣耕地妥適的經營狀況與生產力，使得大部份的耕地都能處於隨時投入生產的狀況。

台灣 2011 年以熱量計算之糧食自給率為 33.5% (行政院農業委員會，2012a)，國民之飲食消費中，約有三分之二的熱量仰賴進口。糧食生產與消費間若存在較大的缺口，在發生非常時期時，短期間補足缺口的幅度也較大，其所遇到的不確定將相對較高，也較難掌握與克服各種因素。因此，台灣應於平時研擬相關對策來提升糧食自給率，並強化對寶貴農業資源的利用率與利用能力，強化在非常時期的應變能力，也進而提升潛在糧食生產力。

附註

1. 根據衛生署所編製的臨床營養工作手冊，建議國人一般飲食所攝取之蛋白質產生熱量占總熱量比例為 12%（容許範圍為 10 至 15%）；一般飲食所攝取之脂肪產生熱量應占於總熱量之 30% 以下；而碳水化合物產生熱量應占總熱量之 58%。另外，根據民國 93 年至 100 年糧食供需年報，部分設定理想 PFC 比例為 12：25：63，部分則引用日本糧食平衡表之建議 13：27：60。本研究過去曾對於以上之建議進行模擬，並了解到台灣無法以現有之耕地面積，提供平均每人每日 2,086 大卡之熱量，並同時符合以上所建議之 PFC 比例之糧食供應。本研究在參考台灣 1952 年至 1957 年飲食狀況，以及日本農林水產省模擬情境後，決定將脂肪與碳水化合物的限制放寬。在放寬之後（即本文之實證模擬結果），台灣在相關耕作與消費量限制下，可使用 80.8 萬公頃之耕地面積提供平均每人每日 2,086 大卡之熱量，而此時 PFC 比例為 12：18：70，該比例較日本模擬結果，以及台灣 1952 年至 1957 年平均值更接近理想比例。其中，脂肪產生熱量占總熱量比例為 18%，高於日本模擬之 11% 或 12%；而碳水化合物產生熱量占總熱量比例為 70%，低於日本模擬之 78% 或 76%。因此，本研究只單採用蛋白質比例占總熱量比例做為限制條件。
2. 本研究中之糧食作物係指可直接食用或加工食用，且不須透過畜禽所產生之糧食，包括：穀類、薯類、子仁及油籽類、蔬菜類、果品類、糖類與油脂類等。
3. 水產品與耕地之關聯，主要在於內陸養殖漁業所使用的土地，以及其種植相關飼料（穀類、豆類與其他植物籽粕）所使用之耕地，而本研究之所以假設水產品使用撈與養殖漁業所使用之耕地面積為零，主要基於以下理由：
 - (1) 台灣內陸養殖漁業所使用土地，其編定主要為養殖用地，而根據農業發展條例第三條第 11 款，耕地定義：「指依區域計畫法劃定為特定農業區、一般農業區、山坡地保育區及森林區之農牧用地。」，因此，耕地並不包含養殖用地。
 - (2) 內陸養殖漁業飼料所使用之飼料，主要為：魚粉；穀類、豆類與其他植物籽粕及菜粕，其中許多為制皂、釀酒、榨油、去糠、去麩與磨麥等副產品。另外，水產養殖之中，各種魚類與養殖方式飼料換肉率差異極大。若考量內陸養殖漁業所使用之飼料，以及飼料換肉率，處理過程將會變得非常繁複。因此，本研究為簡化研究與相關分析，假設台灣漁撈與養殖漁業所使用之耕地面積為零。如果維持水產品消費量需要耕地面積，則耕地所需面積將會增加。

參考文獻

- 中國畜牧學會，1993。『畜牧要覽-飼料篇』。台北：中國畜牧學會。
- 日本農林水產省，2010。『熱量効率を最大化した場合の国内農業生産による供給可能エネルギー（平成32年度試算）』。東京都：農林水產省。
- 行政院主計處，2013。『民國99年統計年鑑』。台北：行政院主計處。
- 行政院農業委員會，2007。『養肉雞 叫我第一名 夢幻組合競賽 養雞密笈大公開』。台北：行政院農業委員會。
- 行政院農業委員會，2011。『農業統計要覽』。台北：行政院農業委員會。
- 行政院農業委員會，2012a。『糧食供需年報』。台北：行政院農業委員會。
- 行政院農業委員會，2012b。『農業統計要覽』。台北：行政院農業委員會。
- 行政院農業委員會，2013a。『統計資料查詢系統』。台北：行政院農業委員會。
- 行政院農業委員會，2013b。『農業統計年報』。台北：行政院農業委員會。
- 行政院衛生署，2013。『台灣地區食品營養成份資料庫』。台北：行政院衛生署。
- 任耀廷，2012。「世界糧食危機與國際的共同因應」，『國際關係學報』。33期，67-101。
- 林國慶，2010。「提升我國糧食自給水準之策略研究」。行政院農業委員會。99農科-5.1.1-企-Q1(7)。國立台灣大學農業經濟研究所。
- 邱奕宏，2012。「APEC 糧食安全的發展與我國的挑戰」，『台灣經濟研究月刊』。35卷，6期，39-47。
- 菱沼毅，2010。「ドイツの酪農食育パンフレットはKuh（乳牛）が主役」，『畜産コンサルタント』。2月。69。
- 黃次洋，1990。「液蛋廠是挑戰也是商機」，『畜禽半月刊』。65卷，1期，25-27。
- 黃晏青、杜美勳，2010。「全球糧荒之成因、影響與因應對策」，『經濟研究』。11期，199-230。
- 黃欽榮，2009。「台灣養豬產業的競爭策略」，『中國畜牧』。41卷，12期 118-127。
- 楊明憲，2008。「國際穀物供需變化與台灣糧食生產之研析」，『農政與農情』。192期，52-58。

- 蕭彩鳳，2008。「世界糧食供需與價格變動情勢」，『農政與農情』。193期，104-109。
- 羅伯英、湯健華，1987。『飼料配方手冊』。台北：五洲出版社。
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1996. *Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003. *World Agriculture Towards 2015/2030: An FAO Perspective*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008. “Soaring Food Prices: Facts, Perspectives, Impacts and Actions Required,” Paper presented at the High-Level Conference in World Food Security: The Challenges of Climate Change and Bioenergy. Rome, June 3-5.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014. *FAO Food Price Index*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gilbert, C. L., 2010. “How to Understand High Food Prices,” *Journal of Agricultural Economics*. 61(2): 398-425.
- Grubb, M. C., 2007. “Merchant Shipping in a Chinese Blockade of Taiwan,” *Naval War College Review*. 60(1): 80-102.
- Løvendal, C. R. and M. Knowles, 2007. “Tomorrow’s Hunger: A Framework for Analysing Vulnerability to Food Security,” In *Food Security Indicators, Measurement, and the Impact of Trade Openness*. Edited by Basudeb Fuha-Khasnabis, Shabd S. Acharya, and Benjamin Davis. New York: Oxford.
- Mitchell, D., 2008. “A Note on Rising Food Prices,” World Bank Policy Research Working Paper No. 4682. World Bank, Washington, D.C.
- Mittal, A., 2009. “The 2008 Food Price Crisis: Rethinking Food Security Policies,” United Nations G-24 Discussion Paper Series No. 56. United Nations, New York.
- Pachauri, R.K. and A. Reisinger, 2007. *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.

- Parry, M. L., C. Rosenzweig, A. Iglesias, M. Livermore, and G. Fischer, 2004. "Effects of Climatic Change on Global Food Production under SRES Emissions and Socio-Economic Scenarios," *Global Environmental Change*. 14(1): 53-67.
- Pinstrup-Andersen, P., 2009. "Food Security: Definition and Measurement," *Food Security*. 1(1): 5-7.
- Sage, C., 2013. "The Interconnected Challenges for Food Security from a Food Regimes Perspective: Energy, Climate and Malconsumption," *Journal of Rural Studies*. 29(1): 71-80.
- Schmidhuber, J. and F. N. Tubiello, 2007. "Global Food Security Under Climate Change," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 104(50): 19703-19708.

An Analysis of Food Security in the Emergency Period in Taiwan

Kuo-Ching Lin^{*}, Tzu-Chiao Lin^{**}, and Hsing-Wei Lin^{***}

Taiwan is a net food-importing country. Concern of food availability, pressure of current diplomacy status, and regional security, food security becomes one of the most important issues in Taiwan. This study applies mathematical programming to study the allocation of farm land resources in Taiwan under emergency conditions for the achievement of food intake calories maximization while import food from abroad is impossible. Sensitivity analysis is also applied to analyze how overall changes in total cultivation area, changes in vegetable multiple cropping indexes, and changes in the proportion of PFC constraints affect the optimal solution. The results show that under emergency conditions, the current cultivation area of 808,000 hectares would be able to provide an estimated daily total food calorie of 2,086 kcal per person, with 12% of total calories generated from protein. If the total cultivation area falls below 765,000 hectares, it would be impossible to meet the daily food calories needs of 2,000 kcal per person. Our research is based on the assumption that the productivity of fallow and abandoned land is equal to the productivity of areas under cultivation. Therefore, if the total amount of fertile farm land is lower than 765,000 hectares, it may not be possible to meet national food calorie needs. For this reason, the government should regularly examine usage conditions of farm land resources and implement coping measures based on the results of these examinations in order to maintain proper management and productivity of farm land.

Keywords: National Security, Food Security, Emergency Period, Agricultural Land

* Professor, Department of Agricultural Economics in National Taiwan University.

** Master, Department of Agricultural Economics in National Taiwan University.

*** Corresponding author. Ph. D. Student, Department of Agricultural Economics in National Taiwan University, Taipei, Taiwan. E-mail: d98627003@ntu.edu.tw. The authors appreciate two anonymous referees and editors for their valuable comments and the Council of Agriculture, Executive Yuan for the research funding support (100AS-5.1.1-EP-Q1(2)). If there are any mistakes in the article, the authors will be responsible for those.