

從法國農業前瞻看 2050全球農業發展

黃奕儒·孫智麗·鄒箴生

從量化模擬的彙整可發現，
不管是在AG1
或AGO之情境下，
2050年亞洲地區的糧食
存著供給不足的缺口，
必須仰賴進口
方能達到供需之平衡。
而法國農業前瞻
雖然對2050年農業發展
建構了不同的情境，
但其中所採用的一些假設
可能已經無法符合
當前的農業環境，
例如氣候變遷之影響
在近年更加劇烈，
原始情境忽略糧食供需情勢
可能面臨更嚴峻的挑戰。
因此，未來研究方向
應朝向即時更新農業資訊，
並掌握可能的
農業發展動態，
以作為我國未來
農業施政方向之參考。

近年來隨著全球人口持續成長與面對氣候變遷之嚴峻挑戰下，有關未來糧食安全的議題已逐漸受到國際間重視。國際農業發展基金會(IFAD)總裁Kanayo F. Nwanze在哥本哈根氣候變遷會議中指出，依據目前的成長趨勢，到2050年全球人口將增加至91億，同時大部分增加的人口都將出現在開發中國家。要滿足91億人口的糧食產量，需在現有基礎上增產70%；此外，氣候變遷對農業造成的影響，很可能導致農業生產力下降，以及全面糧食生產衰退，除非採取緊急行動，否則氣候變化將無可置疑地惡化全球糧食安全局勢，並大幅增加面臨飢荒和營養不良人口的數量。因此，國際間許多研究都希望透過對未來農業發展之模擬，掌握未來農業發展之可能趨勢，並找出確保糧食安全之因應之道。

Agrimonde前瞻平台從幾個不同面向進行量化模擬，包括2050人口、糧食消費、土地使用、糧食作物生產等，同時將未來分成AGO與AG1兩個主要的情境。

處理全球糧食與農業議題的前瞻平台

Agrimonde是由法國國家農業研究院(INRA)與法國農業國際發展研究中心(CIRAD)共同進行的農業前瞻計畫，於2006年開始執行，並被定位為處理全球糧食與農業議題的前瞻討論平台，其主要的目的在於：(1)探索2050年糧食與農業系統可能的情境；(2)針對INRA-CIRAD研究議程進行取向與策略之設計與討論；(3)有助於國際上針對糧食、農業與環境議題進行討論。

Agrimonde前瞻平台由指導委員會(steering committee)、計畫團隊(project team)、工作小組(working group)及專家委員會(expert

表1 Agrimonde前瞻平台團隊組成與分工

指導委員會	1.負責管理與監督各團隊之運作 2.由INRA與CIRAD之管理部門委派代表組成
計畫團隊	1.由INRA與CIRAD之科學家組成 2.負責質化與量化分析
工作小組	1.由具有各種背景專長之專家組成 2.負責情境模擬釋義與結果分析
專家委員會	1.由約20個機構組成 2.提供意見諮詢

資料來源："Agrimonde: Scenarios and Challenges for Feeding the World in 2050"，本研究整理。

committee)組成(表1)。其平台的主要特色在於同時結合質化與量化的分析，其內容包括：(1)主要量化分析工具為Agribiom，其可用來評估國家、區域、甚至全球之糧食生質能生產(food biomass production)，以及這些生質能在糧食與非糧食使用上之評估。糧食之生產、使用與交換都是採用「千卡」之熱量單位計算；(2)質化分析是由計畫團隊、工作小組及專家委員會共同經過討論來進行。

Agrimonde的執行可分成四個階段(表2)，在執行過程中並運用量化工具Agribiom，以過去的農業系統資訊，作為建構未來農業情境模擬的基礎。以農業的觀點來看，從1961~2003年間，農業的供需都在不斷的增加，其中需求的增加主要來自於人口以及平均每人糧食消費的增加；而供給的增加，則來自於耕地面積以及耕地單位產出的增加。同時，區域不均的現象也持續的惡化，特別是OECD國家與撒哈拉沙漠以南的非洲國家間的差異更是持續擴大。

從其他主要的假設數值來看，在不同的情境之下，未來農業的量化參數也會有所差異(圖1)。

Agrimonde的量化模擬

Agrimonde前瞻平台從幾個不同面向進行量化模擬，包括2050人口、糧食消費、土地使用、糧食作物生產等，同時將未來分成兩個主要的情境：AGO與AG1。在AGO的情境中，是假設過去農業發展的趨勢會延伸到未來(a positive trend scenario)；在AG1的情境下，未來農業以規範式方式進行規劃，並以永續發展為前提(a normative departure scenario)。其量化模擬之主要內容如下：

(一) 2050之人口

未來人口預測是參考聯合國之預測結果，在2050年全球各區域人口預測會高達90億(圖2)。

(二) 2050糧食消費

觀察未來糧食消費在AGO與AG1不同情境下的可能趨勢(圖3)，其中AGO係採「糧食可獲性」(food availability)，作為糧食消費之代理變數，每人每天消費糧食為3,590大卡，同時營養不足的問題也大幅降低。在AG1情境下，所得並非糧食消費多寡的決定因素，在考慮健康、永續與公平的因素下，其假設2050年每人每天的糧食消費為3,000大卡。

(三) 2050土地使用

對於未來土地使用情況，Agrimonde彙整增加未來耕地面積的驅動因素，與限制未來耕地面積成長的因素(表3)。同時，亦彙整模擬亞洲、拉丁美洲、OECD國家、前蘇聯、非洲各區域之各種土地，包括耕地、牧地、森林的變化情況(表4)。

(四) 2050糧食作物生產

AGO對於未來糧食作物生產之推估，係以

表2 Agrimonde前瞻計畫執行階段

第一階段	1.由工作小組界定每一個模擬的基本原則，並將其轉化成量化之假設 2.上述資訊作為Agribiom的投入變數 3.同時處理模擬期間與地理區域界定
第二階段	1.運用Agribiom將糧食生質能資源及其使用進行量化分析 2.在本階段中決定各分析區域糧食之供需情勢——過剩或短缺 3.可同時評估資源是否可滿足全球之需求
第三階段	1.量化模擬的結果在本階段中，由工作小組與專家委員會進行分析，並建構質化分析之假設 2.本階段主要目標有三： (1)檢視量化模擬結果之一致性(consistency) (2)比較不同量化模擬結果以擷取其中隱含的經驗，同時建構質化分析的假設以呼應不同的未來路徑 (3)界定未來行動方案之原因與要點 3.質化分析的結果可能反饋回量化分析，並重新進行量化模擬
第四階段	完整的模擬結果開始進行描述、分析與討論

資料來源：同表1。

圖1 不同農業情境下的量化參數假設

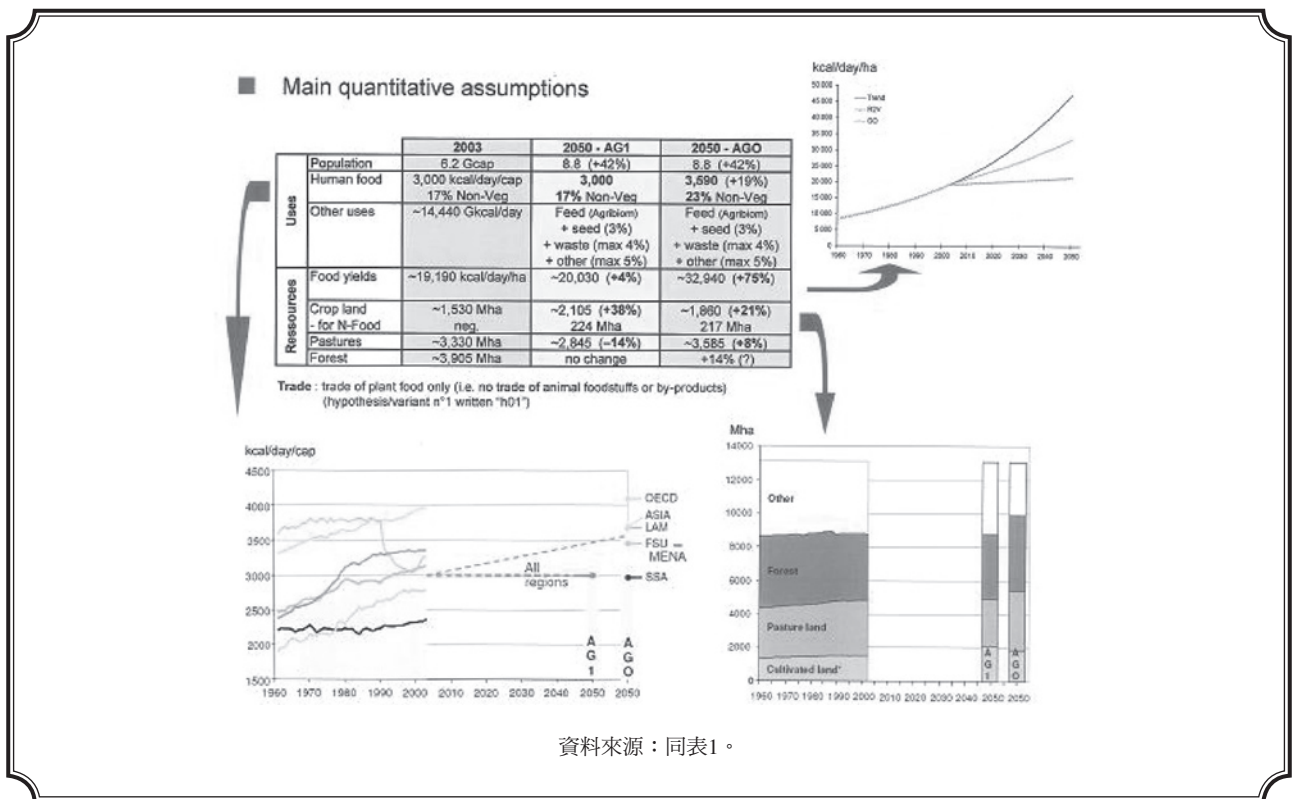


圖2 2050人口分布預測

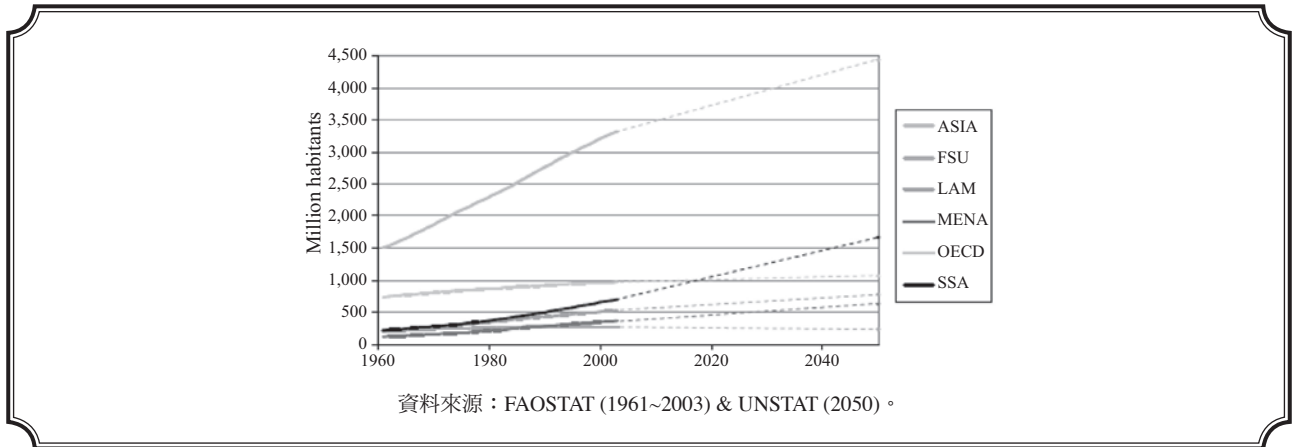
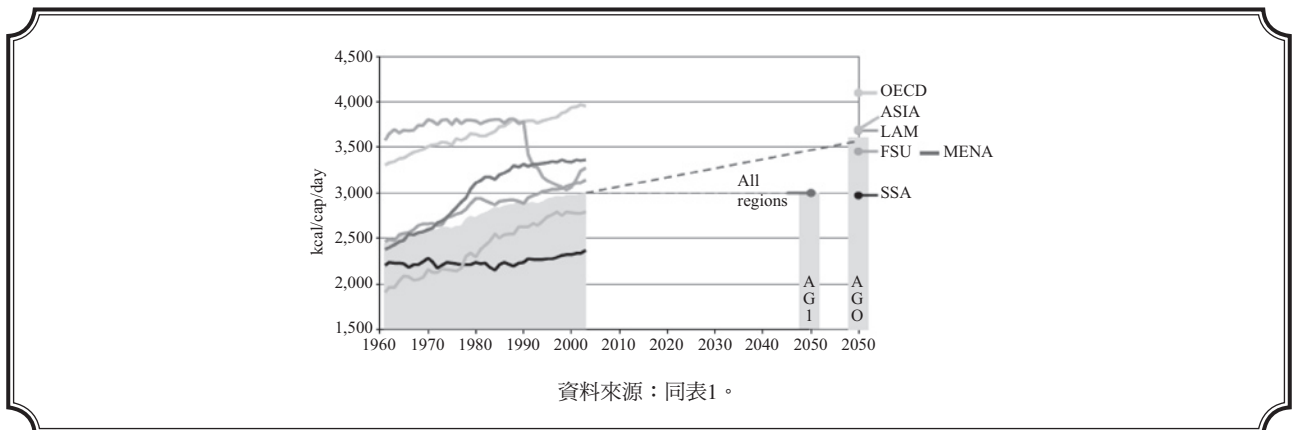


圖3 糧食消費情境模擬：AGO與AG1



2000年為基礎，加上MA中對2000~2050穀物增產之假設所得。AG1則是由專家在考慮過去生產趨勢、氣候變遷之衝擊、強化生態系統等因素下進行推估（表5）。

在AGO的情境中，是假設過去農業發展的趨勢會延伸到未來，因此以自由化和技術進步為未來情境的主要前提，因此AGO的情境是以經濟成長與當今人類的福祉為優先。

2050年農業新均衡的面貌

在這樣的背景之下，2050年農業新均衡會呈現何種面貌呢？如前所述，在Agrimonde中建構了兩個未來可能的情境，分別為AGO與AG1，而不同情境的產生主要取決於各項參數的設定，包括：

1. 人口成長與人口遷徙。
2. 所得與所得分配。
3. 飲食習慣的改變。
4. 非糧食產品的需求（生質能源、生質原

表3 未來土地使用情境模擬

區域	耕地面積成長驅動因素	耕地面積成長限制因素
亞洲	農業人口大量增加	1.潛在可耕地面臨飽和 2.中國北方因氣候變遷導致水資源問題惡化 3.由於都市化產生的農業勞動不足問題
前蘇聯地區	1.可耕地的儲備充裕 2.永久凍土層的融化	人口減少
拉丁美洲	1.可耕地的儲備充裕 2.農業政策鼓勵（研究、訓練、發展） 3.農業（生質）燃料的增產	1.中美地區乾旱化及氣候變遷產生的稀樹草原地形使耕地面積減少 2.保護亞馬遜叢林地區的聲浪提高
東北非地區		1.潛在可耕地面臨飽和 2.因氣候變遷導致水資源問題惡化 3.保護森林地區以維繫區域水文功能 4.由於都市化產生的農業勞動不足問題
OECD	1.可耕地的儲備充裕 2.加拿大永久凍土層的融化 3.農業（生質）燃料的增產	1.重新造林運動 2.加強受保護物種之保育
撒哈拉以南非洲	1.可耕地的儲備充裕 2.政府無法有效限制草原及剛果森林盆地開發 3.政策鼓勵偏遠地區開發以及鄉村地區的組織化	氣候變遷造成的乾旱化

資料來源：同表1。

表4 未來土地使用變化率情境模擬

土地使用型態	區域	變動率 1961~2000	變動率 2000~2050		區域	變動率 1961~2000	變動率 2000~2050	
			AG1	AGO**			AG1	AGO**
耕地*	亞洲	+23%	+23%	+11%	前蘇聯地區	-15%	+53%	+10%
牧地		+36%	-9%	+30%		+19%	-16%	-41%
森林		-5%	-10%	-11%		-8%	0%	+12%
耕地*	拉丁美洲	+58%	+91%	+64%	東北非地區	+14%	+9%	+12%
牧地		+20%	-20%	-1%		+39%	-2%	-2%
森林		-9%	-4%	-1%		-33%	0%	-35%
耕地*	OECD	-2%	+18%	+12%	撒哈拉以南非洲	+33%	+76%	+58%
牧地		-8%	-23%	-19%		+2%	-12%	+49%
森林		-9%	+10%	+13%		-10%	-9%	-31%
耕地*	World	+12%	+39%	+23%				
牧地		+11%	-15%	+7%				
森林		-9%	-1%	-1%				

注：1.*Cultivated land = food crop area + non-food crop area。
2.** As the reference surface areas for the year 2000 differ in the MA and Agribiom data, a corrective factor has been applied to the MA gross surfaces of 2050 (for the Global Orchestration scenario), to be comparable with those of Agrimonde 1。

資料來源：同表1。

表5 未來各地區糧食生產之情境模擬

區域	1961~2000			2000~2050					
	糧食作物產出		每年成長率	AG1低變化		AG1高變化		AGO	
	1961	2000		糧食作物產出	每年成長率	糧食作物產出	每年成長率	糧食作物產出	每年成長率
亞洲	9,485	25,134	2.53	25,100	0	37,700	0.81	46,416	1.15
前蘇聯地區	6,549	7,476	0.34	14,500	1.33	22,428	2.22	12,825	0.75
拉丁美洲	9,041	18,688	1.88	23,500	0.46	37,376	1.40	36,494	1.45
東北非地區	4,921	12,836	2.49	14,500	0.24	17,970	0.67	21,362	1.05
OECD	10,742	22,587	1.92	22,600	0	33,880	0.81	33,507	0.73
撒哈拉以南非洲	5,027	9,460	1.63	11,750	0.44	18,920	1.40	23,133	1.81
World	8,607	18,703	2.01	20,027	0.14	30,462	0.98	32,940	-

資料來源：同表1。

- 料)。
5. 經濟自由化與國際貿易。
 6. 環境管制 (森林、溫室氣體、生物多樣性)。
 7. 維持過去產量增加的能力 (化石燃料、水資源、農藥)。
 8. 氣候變遷。

除了上述的參數之外，Agrimonde也參考過去文獻對未來的可能情境之模擬，包括以基因工程為核心的第二次綠色革命(The Doubly Green Revolution scenario)，以及千禧年生態系統評估模擬(The Millennium Ecosystem Assessment scenarios)等報告，將這些資訊作為Agrimonde平台的討論背景，並據以建構AGO與AG1兩個不同情境 (圖4)。

觀察不同的未來的農業情境發展 (圖5)，在AGO的情境中，是假設過去農業發展的趨勢會延伸到未來(a positive trend scenario)，因此以自由化和技術進步為未來情境的主要前提，AGO的情境是以經濟成長與當今人類的福祉為優

先，其主要的特徵包括：(1)飲食習慣隨經濟成長而改變；(2)在單位產出大量增加，以及耕地面積適度擴增下，資源也隨之增加；(3)被動式的生態系統管理方式。

在AG1的情境下，未來農業以規範式方式進行規劃，並以永續發展為前提(a normative departure scenario)，其主要特徵包括：(1)飲食習慣因環境與健康考量而改變；(2)在單位產出適度增加，以及耕地面積大規模擴增下，資源也隨之增加；(3)積極式的生態系統管理方式。

未來農業發展的兩個可能面向

在Agrimonde中建構了AGO與AG1兩個未來農業可能的情境，其代表了兩個未來農業發展的可能面向，以下則針對其情境進行描述：

(一) 情境一AGO：維持全球經濟成長態勢

在AGO中，全球各區域的經濟都持續成長，而在亞洲、中非及前蘇聯國家等區域，由於貿易自由化與國家間的經濟合作更為密切，經濟成長的趨勢更為快速。同時，開發中國家並在

圖4 Agrimonde下之未來情境模擬

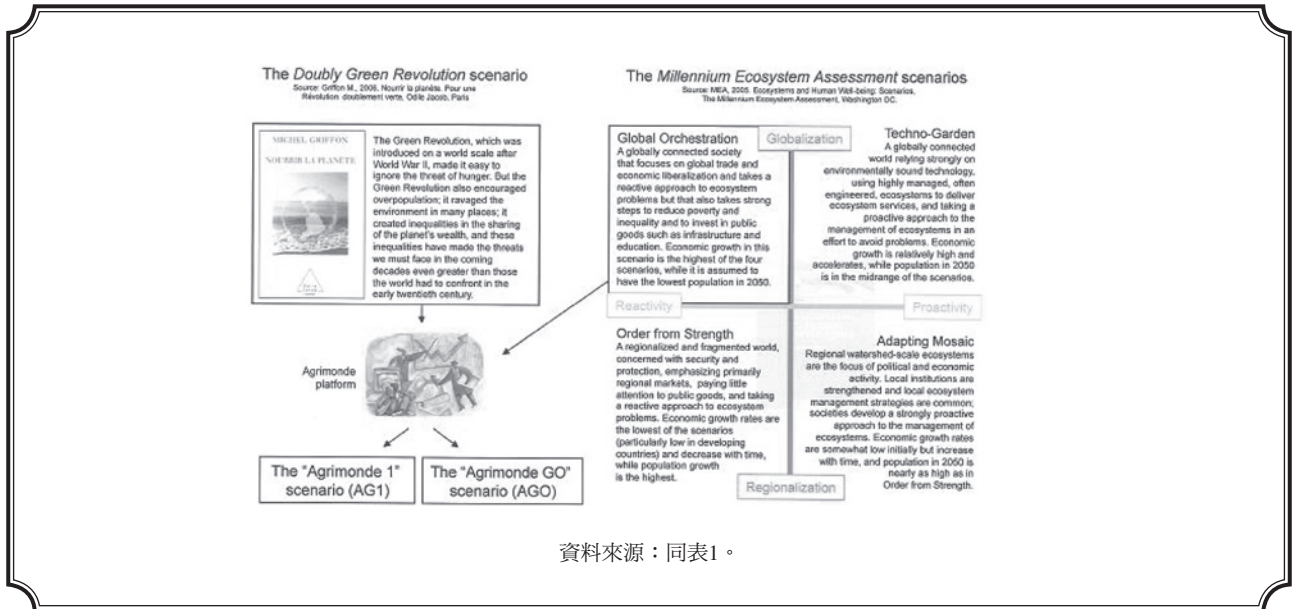
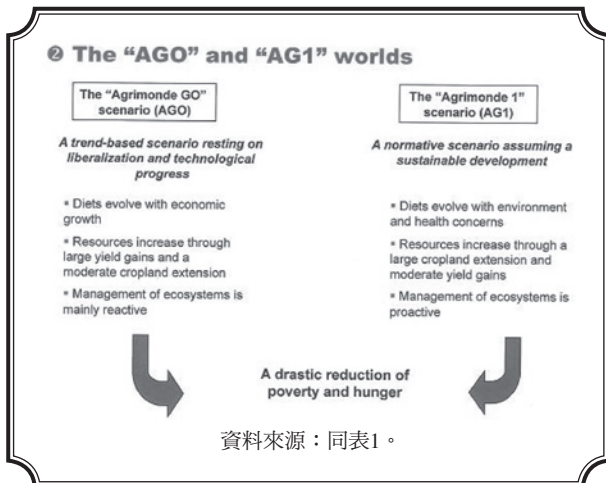


圖5 AGO與AG1下的農業發展



創新、教育、健康與基礎建設方面進行大量投資，由於生產能力的提升與耕地、牧地面積的增加，各地區農業產出在2050年也快速的提升，並能因應糧食需求的急遽增加。貿易障礙的持續掃除促進區域間的技術擴散，以及跨國

企業的發展，同時也使農業朝向企業化經營，但對環境保護相對較不重視。

在此快速成長的情境中，一個重要的特徵為能源需求的急遽增加，雖然技術進步有效改善能源使用效率，但對化石能源的需求持續增加。在2050年，電力生產有10%是來自於再生能源與生質能源，而由於化石能源價格的持續提高，能源作物的生產面積也大量增加。

從2000~2050年間，全球平均每人每天可獲得的糧食（以卡路里計算）增加了818大卡，特別是在亞洲、中非及拉丁美洲地區的增加更為顯著，同時，開發中國家兒童營養失調的人數到2050年已減少60%。而由快速經濟成長與密集都市化所帶動的農業生產趨勢，使得人們的飲食習慣也朝向高蛋白質肉類的消費，並使亞洲及非洲等區域之肥胖問題日益嚴重。

技術發展使農業型態更朝向集約式農業發

展，並伴隨著大量化肥，以及基改植物材料(plant material)的使用。大多數的農場都朝向機械化與產業化發展，一些地區性的know-how也被標準化的生產方式所取代，同時農業物種的多樣性也逐漸減少；農業部門之跨國性企業在2050年也將占有優勢地位，而由於其掌握新遺傳品系的發展，這些跨國性企業也在生產上具有相當程度的控制力。

(二) 情境二AG1：強調生態系統保護

從2000~2050年全球經濟成長的主要動能是來自於開發中國家，除了考慮強化生態系統之外，這些開發中國家為配合區域規劃與供應鏈之發展，開始建置基礎建設，包括運輸、儲存、工業加工能量等，同時也包含健康、教育、訓練等方面之建設。這些大量的投資也改善了鄉村地區的收入，同時也使得鄉村地區得以分配到更多農業生產過程中的附加價值。也由於鄉村地區收入的增加，開發中國家鄉村地區人口外移的現象也獲得改善。

2050年在糧食安全的考量下，糧食貿易由聯合國組織所管制，並制訂相關規定避免競爭上的扭曲，同時，也要使糧食進口國有足夠的糧食供應。由於人口快速成長與開發中國家之經濟起飛，在21世紀初的實質糧食價格下跌趨勢已經不再，因此，市場管制的重點也開始朝向避免糧食價格劇烈波動的方向進行設計。

在2000~2050年間，農業與環境領域的研發也朝向強化生態系統方向的創新，雖然這些創新有部分具有地區農業之獨特性，但仍對一般性的科學突破有所貢獻；同時，創新行為也朝向互動式與參與式方向發展，並有更多的人共同參與。

借鏡歐盟的整合性發展政策，使得原本具有地區或部門獨特性的糧食與農業系統得以整合，並將加工、配送與農產品供應以群聚化的形式重新整併。先進國家之援助已經不完全為了生產，取而代之的是朝向生態系統管理方向進行，並以提升農業的多功能性為主。

在21世紀初的氣候變遷問題已經成為農業技術研發方向的決定性因素，生態強化技術(ecological intensification technology)的發展可以有效降低環境變遷對農業產生的衝擊。然而，糧食價格的上漲與需求的增加，仍是對於自然資源保育產生一些壓力，因此，包括亞馬遜及剛果盆地的森林砍伐問題，仍無法完全停止。

在2050年，以卡路里計算的飲食消費習慣逐漸趨於一致，全球平均每人每天消費之熱量為3,000大卡。由於在飲食供應系統，以及消費者自發性減少食物的浪費，人均消費熱量從21世紀初以來就開始逐漸降低；同時，有效的營養政策推廣，也有助於人均消費熱量降低之趨勢。

由於中小型農場與加工企業的多元化，從2000~2050年農業產業模式逐漸朝向在地化的糧食與農業系統發展，特別是在開發中國家，此一趨勢更為明顯。因此，過去農業朝向標準化、國際化以及集中化的現象已經逐漸減少。此一趨勢的主要原因是來自於政府對確保糧食安全的考量，以及大型企業對其企業社會責任之認知。特別是在先進國家，在永續發展概念的推廣下，消費者對於糧食議題更為關切，因此在農業部門，社會企業責任對公司經營的影響更為顯著。

長期性的策略與政策目標擬定仍尚待強化

從法國農業前瞻Agrimonde的情境模擬中，透過不同的量化假設與質化分析，我們看到了未來農業發展的兩種截然不同的面貌，而每一種面貌則代表我們對未來的不同選擇，此亦為前瞻活動的主要精神，亦即瞭解未來的可能發展，並選擇我們希望前進的道路。

從本文中對2050未來農業發展情境的模擬結果，可進一步探討對我國未來農業發展應思考的問題。從量化模擬的彙整可以發現，不管是在AG1或AGO之情境下，2050年亞洲地區都是處於供給不足，必須仰賴其他區域的進口方能達到供需之平衡。雖然國際間農產貿易本為常態，然此一糧食缺口也勢必產生相當程度的風險。在2008年的糧食危機中已經可以發現，當全球面臨糧食供應短缺的情況下，許多國家為確保國內糧食供應之穩定，可能採用限制糧食出口為手段，這對需要大量糧食進口的區域而言將產生嚴重的衝擊，特別是在全球氣候變遷的威脅下，未來糧食生產的風險更將大幅提高，類似2008年糧食危機的現象，極可能在未來再次發生。

對糧食自給率偏低的我國而言，面對未來可能發生的糧食供給不足問題，如何擬定長期性的因應策略，也應為農業主管機關審慎規劃的重點。以日本而言，在近年來之農業政策中，提高糧食自給率已成為重要的施政目標，並開始推行包括飲食教育、境外生產等供需層面的策略，希望能達到預定的糧食自給率目標。我國雖然近年來也開始正視此一問題，然對長期性的策略與政策目標之擬定仍尚待強化。從法國農業前瞻對未來農業的情境模擬，也提醒我

國農業主管機關應更積極運用長期性思維，建構國內農業的發展策略。

雖然法國農業前瞻對2050年農業發展建構了不同的情境，但其中所採用的一些假設可能已經無法符合當前的農業環境，例如農業生產受氣候變遷之影響在近年來更加劇烈，這也使得其對未來糧食生產之推估可能過於樂觀，進而忽略未來糧食供需情勢可能面臨的嚴峻挑戰。因此，未來研究方向應朝向即時更新農業資訊，並掌握未來可能的農業發展動態，作為未來農業施政方向之參考。

（作者分別為台灣經濟研究院生物科技產業研究中心副研究員、研究員兼主任、資深顧問）

■ 參考文獻

- 1."Agrimonde: Scenarios and Challenges for Feeding the World in 2050", Editorial coordination: Sandrine Paillard, Sébastien Treyer and Bruno Dorin Matière à débattre et décider collection Editions Quae 2010.
- 2.Carpenter S. R., Pingali P. L., Bennett E. M., Zurek M. B.(2005), Ecosystems and Human Well-being: Scenarios, Volume 2, The Millennium Ecosystem Assessment, Washington DC.
- 3.McIntyre B.D., Herren H.R., Wakhungu, J, Watson, R.T.(2009), Agriculture at a Crossroads, Synthesis Report, International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development.
- 4.World Bank (2008), World Development Report: Agriculture for Development.