



垂直農場 的時機到了?

撰文／泰敦 (Megan Tatum)

攝影／札伊諾 (Zakaria Zainal)

翻譯／連育德

本刊取得美國麻省理工學院Technology Review
期刊圖文授權
Technology Review,
Published by MIT.
TECHNOLOGY REVIEW
internet URL: www.
technologyreview.com

**MIT
Technology
Review**



B
E
E
T
I
N
G

垂直農法能不能達成它所勾勒的願景，
已經成為新加坡的生存關鍵。

立蔬的技術人員正在檢查葉菜類蔬菜（如小白菜）。這些蔬菜種植於垂直農場，以LED燈照射。

來到新加坡一處環境樸實無華的郊區，從外觀來看立蔬農場（Verti Vegies），彷彿是把幾個骯髒的貨櫃並排鑽在一起。貨櫃高度達2、3公尺，座落在水泥基座上。但夏拉（Ankesh Shahra）一踏進貨櫃裡，立刻看見龐大商機。

夏拉頂著一頭鬆垮垮的黑髮，穿著一看就知道不便宜的襯衫，還瀟灑地鬆開最上面的扣子。他當年在食品產業已經累積豐富經驗，祖父是印度大企業魯奇集團（Ruchi Group）的創辦人，營運觸角涵蓋鋼鐵、不動產與農業，父親也成立了規模達30億美元的油籽加工廠魯奇大豆（Ruchi Soya），給夏拉一個學習的舞台。

2017年夏拉參加朋友的派對時，認識了立蔬的創辦人塞克朗（Veera Sekaran），當時的他早已迫不及待想走出屬於自己的創業路。他先前也做過生意，從亞洲各地採購有機食品。「那次經驗讓我眼界大開，壓力也很大，」他說。在創業過程中，他發現一個需要解決的問題。

「全球各地的農夫太靠天氣吃飯了，」他說：「收成大好大壞，實在很不穩定，又高度仰賴氣候，大多數農家都經營得很辛苦。易腐品供應鏈斷得很嚴重。」當夏拉踏進塞克朗的改造貨櫃，頓時看到了解答。

只見貨櫃裡頭一堆塑膠托盤樣式不一，小心翼翼地疊放在工業鐵架上，從水泥地板一直延伸到波浪板鐵皮屋頂。每個托盤都種了小型綠色植物，種類和尺寸各有不同，根部浸在同樣的溶液裡，葉子往上捲曲，朝向上方嗡嗡作響、亮著微弱粉紅燈光的LED燈條。

塞克朗不在寬廣的田裡種菜，而是在室內垂直耕種蔬菜，把作物一個疊一個，形成好幾架；蔬菜也不種在土壤，而是種在水耕營養液裡。他採用其他人開發的耕種技術，作物不必受氣候或季節因素干擾生長，立蔬的所在地點便是在一個亟需找到新方式來因應糧食需求的國家。

新加坡是人口密集度排名全球第三的國家，高樓大廈櫛比鱗次。但新加坡的土地面積只有洛杉磯的一半，要把光鮮亮麗的大樓和將近600萬的人口擠在這裡，只好做出許多犧牲，糧食生產就是其中一個。礙於農地占總土地面積不超過1%（美國則是40%），這個蕞爾小

國只好每年砸下約100億美元進口9成糧食。

而立蔬現在有機會靠科技顛覆這個處境。

塞克朗的出身背景跟夏拉天差地別。在家中9個小孩當中排名第五的他，5歲時爸爸就過世了，從小家境清寒，窮到他只好穿著過大的制服去上學，把紙袋當書包來用。長大後他慢慢擺脫貧窮，大學時期的花費全都自己來，一直保持著研究生物的熱誠。還不認識夏拉之前，塞克朗已經是專業植物學家，曾經在塞席爾、巴基斯坦與摩洛哥等國工作，最後才回到新加坡。不管是媒體訪問還是傳記，大家都尊稱他是「會跟植物說話的人」。

「我們的個性很不一樣，」夏拉笑著說。但塞克朗在立蔬打造出一個經營原型，有機會實現兩人共享的願景。

「這個很有意思，」夏拉說：「從表面上來看，室內農法可以解決各式各樣的問題，但我看重的一點是：如何建立起長遠的營運模式？光靠5個、10個貨櫃是無法解決糧食安全問題的。」

夏拉花了半年的時間跟塞克朗討論，又花了幾個月到處拜訪亞洲各地的都市農場專家，把該學的都學起來，「我在2017年花了一整年研究農作系統與技術，但就是想不透該怎麼拓展規模，」他說。

在天時地利人和之下，他找到解決之道。

國內傷腦筋

平安無事過了幾10年，新加坡才赫然驚覺，它是糧食來源最脆弱的國家之一。

1970年代，政府絲毫沒有思考過這個風險，只忙著剷平木薯、地瓜和蔬菜等等大片農地，國內超過15,000公頃的農田不復存在，取而代之的是高聳的辦公大樓與公寓。當時的施政重點不在糧食，金融、電信與電子才是王道。

影響所及，新加坡經濟起飛（人均財富目前更名列全球第四高），但這樣的治國策略卻造成國內只剩下600公頃的農地。食品製造業的規模目前只有43億新加坡幣，占國內生產毛額（GDP）的1%，反觀美國的比重則略高於5%。



問題的嚴重性在2008年浮出檯面。在爆發金融海嘯的幾個月前，在氣候不佳、燃油成本攀升、人口成長的背景下，全球的大宗糧食成本飆漲，社會暴動和大規模政治動盪的新聞頻傳。

由於沒有自產糧食，新加坡的糧食供應大受打擊，進口生鮮食品的價格在1年間激增55%，稻米、穀物與玉米等大宗糧食也出現31%的漲幅。新加坡政府



立蔬控制耕種環境，因此蔬果（如可食花朵）不必灑農藥。

不得已只好吸收必要食品（如沙拉油、麵包與牛奶）的成本漲幅，但雪上加霜的是，每年出口約6億美元糧食到新加坡的中國，當時亦面臨半世紀以來最嚴峻的冬季，農損嚴重，導致亞洲糧食價格在2007年底到2008年中進一步攀升。

2008年2月，財政部長尚達曼

（Tharman Shanmu garatnam）向

國會報告壞消息，並提出預警：「造成糧食漲價的因素短期預計不會消失。」新加坡必須採取行動。

至此，糧食安全迅速成為執政重點之一。新加坡政府如今訂有明確政策，計畫在2030年前生產足夠糧食，供給國內營養需求的30%，高於目前的10%。政策指出，為了達成這項目標，新加坡必須自產國內所需糧食數量的一定比重，包括半數蔬果量、25%的肉類與25%的所有主食（例如糙米）。這樣的政策承諾形同要在未來10年讓產量增加2倍。此外，既然土地短缺，新加坡於是把希望寄託在科技。光是今年，政府已經編列5,500萬新加坡幣（4,000萬美元）資助農業科技計畫。另外還籌組研究團隊，展開糧食安全相關的調查任務，也成立大規模的農業科技園區。

2017年8月，政府當局為了扶植使用創新技術改善糧食安全的企業，開始提供農地讓業者使用，成了夏拉和塞克朗的契機。

這10塊農地為政府所有，每塊面積約2公頃，全部座落在位於新加坡北部的林厝港。這片綠地有果樹、牧場及有機蔬菜園，提供少量國內農產品需求。新創企業的計畫如果能打動政府當局，就能以相當優惠的價格買下土地。

平安無事過了幾十年， 新加坡才赫然驚覺， 它是糧食來源最脆弱的國家之一。

夏拉終於找到拓展立蔬營運規模的方法。「這樣等於搬走了最大的絆腳石，」他提及政府那年的公布時說：「讓我們有能力拓展規模。」

兩人匆忙彙整好前幾個月收集的資訊，拼湊出計畫提案，在2018年2月順利獲選，6月前以30萬新加坡幣買下土地，開始執行營運願景。

農場蓋好後，將成為新加坡規模最大的農場。倉庫面積將延伸2萬平方公尺（相當於3個足球場），產能一旦滿載，每天將可生產6公噸的葉菜類蔬菜、微型菜苗（Microgreen）與香草，供應餐廳、零售商與飯店。如果運轉順利，這些蔬菜的成長速度會比傳統室外菜田快25%，而且不需要土壤。此外，栽種範圍可以向上疊到2公尺高，所以整體所需面積只要傳統作物的五分之一。如果這座新農場的產量達標，就能將新加坡的蔬果產量提升10%。

然而，立蔬之所以與競爭對手有別，不只在於營運規模而已。取得土地後才短短半年，夏拉還跟中國大陸公司中科三安簽下合作協議。中科三安號稱是全球最大的垂直農法科技公司，在中國大陸經營大規模的室內農場，2017年承諾投資10億美元擴大相關技術。「中科三安在室內農法方案投入大量研發資金，規模是我們絕對辦不到的。他們的技術比我拜訪過的公司領先了好幾年，」夏拉說。在2018年8月跟中科三安簽訂合資協議後，夏拉的團隊不但能夠進出對方的耕種場地，還可以取得對方累積多年的相關數據，學習如何把作物種得更快更好。

在新冠肺炎疫情肆虐的情況下，立蔬只好暫緩主要耕種業務的計畫，重點暫時轉向小型的替代系統，建造起來更快更方便，目標每天能生產700到800公斤的蔬果。過程中，新農場將可讓各界一瞥高科技室內

農場的未來，也就是科技終於能夠實質貢獻主流農業生產。



全球有麻煩

糧食安全在新加坡已經是急迫問題，但在全球其他地方也愈來愈堪慮。

全球人口在2050年前預計成長四分之一，達97億人，糧食需求更加迫切。需求量會增加多少，估計漲幅從25%到70%不等，但需要更多糧食如穀物、肉類與新鮮蔬菜，已經是社會共識。糧食的生產與配銷成本居高不下，已經加重全球營養不良的問題：2019年全球飢餓人口達6.9億人，比2018年多出1,000萬人。如果不設法增加糧食產量，還會有幾百萬人口陷入長期飢餓。

傳統的室外農法預計難以因應糧食需求，更何況目前還有氣候變遷的衝擊。光是在2019年，隨著全球暖化加重氣候問題，全球農糧體系就已出現一連串災難：熱浪重創美國中西部的農場；撒哈拉沙漠以南的非洲地區遭到幾次颶風襲擊，損毀玉米產量；印度乾旱嚴

重；湄公河河水暴漲，農家只能眼睜睜看著牲畜被沖走。

都市化只會讓問題更加嚴重，不但壓縮農地面積，也使得人口更加密集。聯合國指出，全球目前有55%的人口居住在地狹人稠的都市，2050年前將增加到68%。影響所及，都市人口將更加仰賴糧食進口，即使市場受到小幅衝擊或供應出現波動，都可能波及都市民眾。

新冠疫情已經讓人瞥見未來的可能慘況。伊利諾大學昆蟲系助理教授恩甘比（Esther Ngumbi）說，隨著肯亞的疫情擴散，平常通往奈洛比的糧食供應路線中斷，導致都市貧民窟的民眾彼此搶奪食物。恩甘比亦是歐耶斯卡蔬果（Oyeska Greens）的創辦人，這家新創農業公司位於肯亞，營運目標在於提升在地農場的能力。他告訴我說，我們必須找到替代方案，讓產量更能貼近需求，已經到「迫在眉睫」的時刻。

哥倫比亞大學微生物學和公共衛生學名譽教授、亦是垂直農法發起人之一的戴斯朋米耶（Dickson Despommier）認為，在所有可行的農法當中，高產量的都市農場是目前的最佳選項。「等到氣候變遷導致傳統農業不可行的時候，我們必須要考量其他農業策略，取得食物來源，」他說：「室內農業是很棒的選擇，其中又以垂直農法的效率最高，小小的農耕面積就能生產大量糧食。」

有些新創產業走高科技路線，或以幹細胞養殖蝦子，或從黑水蛇萃取蛋白質，但室內農場不一樣，在全球各地已經有經營的業者。歐美國家冒出愈來愈多高科技農產業者，標榜環保，自詡是傳統農場的另一個選擇，銷售成袋的微型菜苗或羽衣甘藍，價格是傳統蔬菜的2倍，口袋深的消費者照樣買單，不受這樣的差價所影響，因為業者保證產品沒有農藥又富含營養。

再看到開發中國家，也有業者調整農作系統，以便因應電力供應不穩定與預算不多的情況。根據瑞典國際農業網絡計畫（Swedish International Agriculture Network Initiative），烏干達首都坎帕拉目前約有35%的糧食來自於小型都市農場，其中也包括垂直農耕設



上：葉菜類蔬菜與香草（如芝麻菜）經採收後，包裝銷售。

下：一層蔬菜成熟後，整架蔬菜就能採收。



備，把蔬菜種在能夠避免紫外線傷害的低成本袋子，層層疊起。推廣人士說，這樣每平方公尺的產量大增，最高可以達傳統農法的6倍。

然而，採取室內農法技術最積極的地區，非亞洲莫屬。不管是上海、首爾，還是東京或新加坡，這些氣候溼熱、人口快速成長的亞洲大都會，是全球率先擁抱大規模室內農場的城市。2010年，日本的室內農場數目已經高於美國在2016年的數目。亞洲各地的商業室內農場目前約有450家。

康乃爾大學的丹麥籍經濟學家與榮譽教授安德森（Per Pinstrup Andersen）說，會出現這個現象不是沒有道理。跟非洲一樣，許多亞洲國家的都市中產階級逐漸擴大，糧食需求也跟著增加，但不同的是，許多亞洲國家還有資金能夠投資相關科技，最明顯的例子莫過於新加坡。

機會與挑戰

隨著高科技農場成為新加坡糧食擴產計畫的主軸，在茂豐農場（ComCrop）擔任推廣協調員的唐戴倫（Darren Tan；音譯）有機會站在第一線觀察。茂豐農場是新加坡最著名的都市農場業者之一，在2018年將據點搬遷到新的溫室，面積達8,000平方呎（740平方公尺）。來到一處舊室內停車場的屋頂，可以看到工業玻璃搭建的小屋，新加坡的毒辣陽光穿過窗戶，照在一大片葉菜類蔬菜、萵苣與義大利羅勒上。

儘管茂豐農場不「往上發展」，但過去10年仍不斷琢磨傳統垂直農法的相關技術。個子高瘦的唐戴倫，滔滔不絕講著水耕法，也就是以水基溶液取代土壤，透過感測器測試電導度，並費心測量各種養分的比例。

他說，即使只是簡單的水耕系統，產量也比傳統農耕高出1倍，「如果能夠完全優化耕種過程，擴大規模，利用到每一塊土地，產量還可以增加好幾倍，」小空間能夠有高生產力，正是都市農場的一大

誘因。「唯一的限制是光線，」他說。

垂直農場的情況不一樣，上層蔬菜會擋到下層蔬菜的日照，所以需要採用LED燈。這反而成為室內農場的優勢，因為不受氣候的影響，可以不間斷提供人工光線，加速光合作用。

事實上，根據新加坡南洋理工大學教授鄧保羅（Paul Teng；音譯）的估計，光是靠室內種植工廠（立蔬目前興建的類型），全國葉菜類蔬菜自產比重就能大幅成長，從目前的13%增至10年後的30%，每年產量預計增加1.87萬公噸。

唐戴倫說，室內農產的目標不是要新加坡放棄「放眼世界」的精神，「而是除了進口糧食之外，國內至少也要有一些供應來源，在爆發危機或供應鏈萬一斷鏈時，可以爭取緩衝空間。」

儘管立蔬和其他業者讓垂直農場不再遙不可及，但還是有不少人存疑，大多是針對垂直農法的高成本。

都市農場用到的土地面積雖然比室外農場少，但土地成本卻高出許多。根據2017年澳洲一份研究報告估計，墨爾本市中心1平方公尺耕地要3,491美元，遠遠高於鄉下耕地的0.40美元。在價格落差這麼龐大的情況下，以土地為主要資本支出的垂直農耕，即使空間再壓縮，也沒有辦法省下太多成本。

另一個存在多年的問題是光合作用成本。傳統農場有免費能源（日光）可用，反觀室內農場必須全天候打開人工光線，是營運的一大開銷。以立蔬的新農場為例，每100平方公尺的耕種面積必須裝設720條

LED燈管。室內農場的能源成本可能高得嚇人，根據2014年一項著名的研究分析指出，採用標準室內耕種技術生產1條吐司的成本高達23美元。

雖然這項分析經常被人採用，但也已經過時。普通60瓦LED燈泡的成本在往後6年逐漸下降，「比10年前還要便宜8成」，而且能源效率也大幅改善。LED燈泡的每瓦流明在2005年只有25，到2017年已經成長



茂豐農場座落於廢棄的停車場頂樓。



上：立蔬的農場規劃有2萬平方公尺，未來有助於大幅增加新加坡的蔬菜產量。

下：新加坡計畫在2030年達到30%的糧食自產率。



到160。LED路燈現在的壽命可以達6萬個小時左右。

但這不表示室內種植農場的創辦與營運成本不高。成立一家室內種植農場的資本支出很高，」鄧保羅說：「為了回收投資成本和直接營業成本，業者必須提高蔬菜售價，例如比馬來西亞與中國的進口蔬菜高出10%到15%，」許多業者的差價甚至高出更多。

成本與價格的拉鋸，夏拉也感受得到。他和小團隊等待新農場完工的同時，已經在新加坡的試行地點開始耕種，這裡面積達140平方公尺，每週蔬菜產量可達250公斤。夏拉花了好幾天的時間接洽當地零售商與餐廳，希望說服對方花多一點錢採買室內栽種的蔬果。他自己也坦誠，室內農場不但成本高，而且還在實驗階段。

「說穿了，農業畢竟還是農業，」他說：「雖然我們是在有空調的室內耕種，但過程又反覆又辛苦。室內農場可以有一大堆噱頭，但到頭來只是在種菜。」

要把價格壓低，必須把規模做大；要達到規模經濟，又必須成為市場主流。鄧保羅指出，這個雞生蛋、蛋生雞的問題正是全球室內農場一直以來的困境。但安德森認為，2020年是一個重大轉捩點。

「10年前，室內農業只是有志之士的夢想，」他說：「但現在LED燈的照明效率提升，經營實務也轉佳，所以成本愈來愈有競爭力，很接近溫室與室外農場耕種的蔬菜……只是需要有人推它一把，」

疫情是危機也是轉機

新冠疫情在4月時成為這股助力。夏拉正要準備興建新農場之際（塞克朗已在年初離職），新加坡政府官員發現一處移工宿舍爆發群聚感染。

事情的後續發展跟全球其他地方如出一轍，政府祭出禁足令、超市大排長龍、民眾恐慌性囤貨、出現零散的食物短缺等等，甚至傳出有人跑到傳統農場偷採農作物。一夕之間，新加坡的糧食供給吃緊，讓原本看不見、摸不著的疫情有了具體樣貌。

夏拉這時成了眾所矚目的焦點。「糧食安全突然成為每個人的切身問題，」他說：「如果我去年討論這件事，大家的反應會很不一樣。現在大家能夠感同身受。」

鄧保羅也這麼認為，「拜疫情之賜，大家開始認識糧食安全的議題，效果比我和同仁過去幾年寫這麼多報告都好。」他一臉辛酸地說：「新加坡民眾現在都知道，我們是全世界最脆弱的國家之一。」

政府官員也積極起來。政府宣布有限度封城後的2天，便火速通過高達3,000萬新加坡幣的補助金額，資助促進國內雞蛋、蔬果與魚類供應的農業方案。立蔬能夠成立新農場，正是因為有了這筆資金。

「現在每天都有人討論這個議題，」夏拉說：「這項創新技術頓時成為顯學。我當初在2017年還覺得不可能做得起來，現在市場卻興起一股龐大又正面的農業運動。」

「大家朝著共同的目標前進，自然會有好的結果，」夏拉想。■

泰敦（Megan Tatum）是位於馬來西亞的自由投稿記者，專門報導糧食、科技與健康等領域。

Copyright©2020, Technology Review. All Rights Reserved.