

何謂植物工廠?

● 植物工廠指的是在設施內透過控制植物之生長環境(光、環境、溫度、二氧化碳濃度、養分、水分等)進行栽培，並對植物生長環境及生育狀況加以觀察，配合**高度環境控制及生長預測**，使蔬菜等植物可進行**全年、計畫性生產**的栽培設施；是設施園藝的終極型態。

<設施園藝的發展>

露天 → 隧道 → 簡易溫室 → 鋼骨溫室 →

太陽光利用型植物工廠 完全人工光型植物工廠

植物工廠的特徵與前景

- 計畫性生產：穩定供給與收入
- 堅韌性的生產力：實現高產量
- 營養、色彩、味道的控制：高品質
- 依地區、社(區)農產：差別性
- 不受地理位置限制；未被使用之地/銷售地
- 多樣的人才：創造就業機會

什麼是植物工廠?

一種環境控制的
一種對環境友善的
一種高效能的
一種穩態量產的
一種可確保產品品質的
一種可確保產品安全的

植物生產系統

植物工廠的分類與特色

植物工廠類型

「完全人工光源型」

在封閉環境中不使用太陽光照射且控制環境進行全年計畫性生產。

「太陽光利用型」

在溫室等半封閉環境中，基本上利用太陽光進行照射，但在雨天、陰天時進行補光，並利用控制夏季高溫等技術進行全年計畫性生產。

「太陽光、人工光源併用型」

「太陽光利用型」植物工廠中亦使用人工光源者。

植物工廠特色

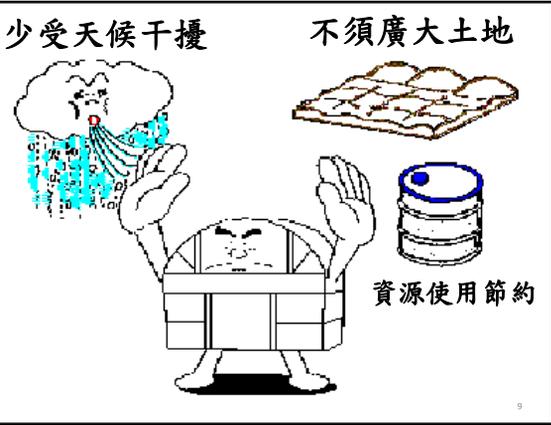
- 沒有重金屬殘留與微生物汙染等問題
- 不使用農藥所以不清洗也可食用
- 「安全、安心」：兩無兩低（無農藥/無重金屬、低生菌數/低硝酸鹽）
- 不怕風吹雨打日曬蟲侵菌裝昏天黑地
- 定期、定量與定品質生產，全年定價產銷，生產成本固定
- 減廢：採收後只需去除根部，其餘大多可食（低耗損）
- 可設置在工業用地與商店街等農地以外的地方
- 可進行計畫性生產
- 多層與立體化栽培達到土地有效利用目標（少用地，少用水）

農業由3K到3C的轉變!

日本稱植物工廠為
21世紀的新科技農業，也是新3C產業:

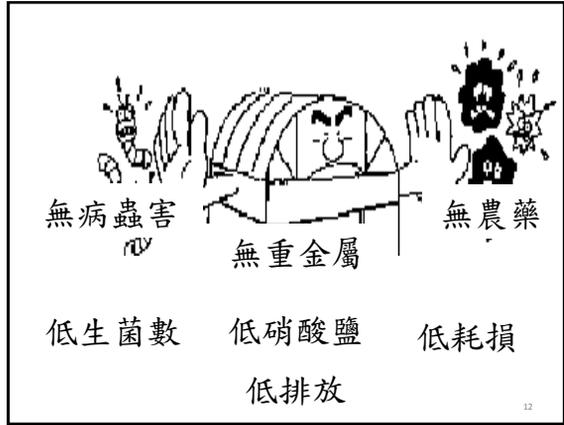
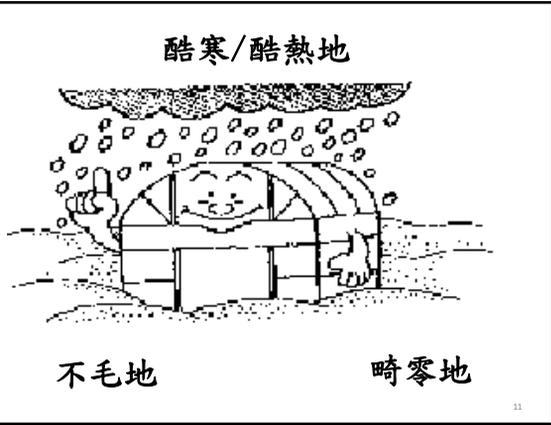
- 3K產業**
- ◎ Kitanai, 汚い 骯髒
 - ◎ Kiken, 危險 危險
 - ◎ Kitsui, きつい 辛苦

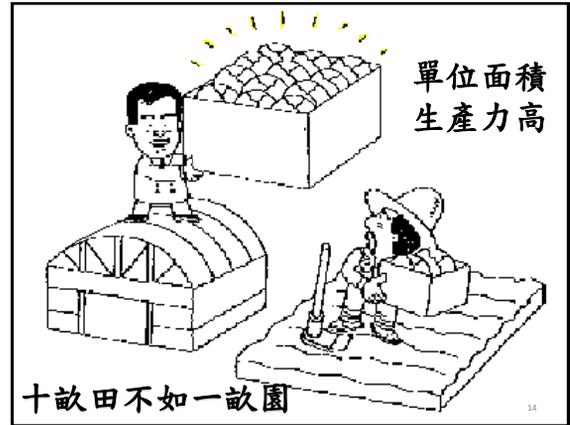
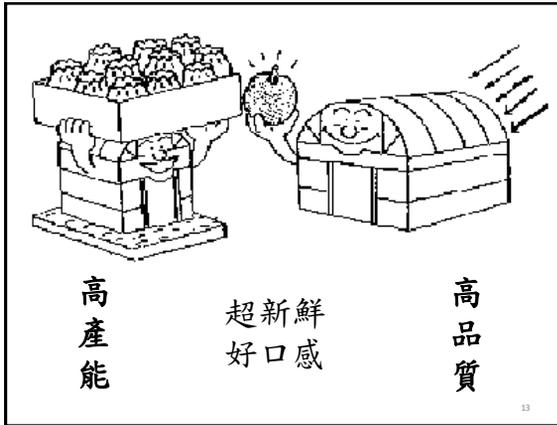
- 3C產業**
- ◎ Clean 潔淨
 - ◎ Clear 透明
 - ◎ COOL 產地認證
Certification Of Origin Labeling



植物工廠八不怕

不怕雨打、不怕風吹
不怕菌襲、不怕蟲侵
不怕光弱、不怕光強
不怕乾溼、不怕冷熱





	植物工廠 (A)	溫室 (B)	比 (A/B)
地板面積	15 m ²	210 m ²	0.071
每年苗生產次數	32	18	1.8
每次育苗天數	10	22	0.45
每穴盤苗株數	288	144	2.0
總穴盤數	64	230	0.28
穴盤數 / m ²	4.3 (=64/15)	1.1 (=230/210)	3.9
每年苗生產總數	589,824株 (=32×288×64)	596,160株 (=18×144×230)	0.99
每年單位面積苗生產數	39,321株 / m ² (=589,824/15)	2,839株 / m ² (=596,160/210)	13.4

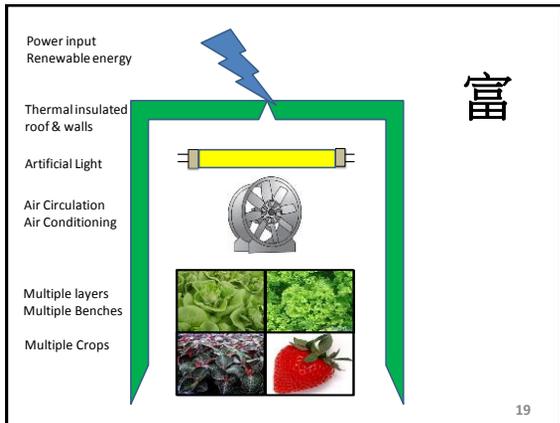
高效能

	完全控制型 植工 A	溫室 C	比例 A/C
床面積	91 m ² (四層)	1250 m ²	0.073
週轉次數 / 年	19	4	4.75
栽培日數 / 次	18	34	0.53
株數 / 穴盤	72	72	1
總穴盤數	256	500	0.51
穴盤數 / m ²	2.8	0.4	7
全年生產數量	350208 株	144000 株	0.97
單位面積生產數量	3848 株 / m ²	115 株 / m ²	33.5

植工所需投資較低

Comparison of initial investment cost between closed system and greenhouse (Unit: 1000 JPY)

Item	Closed System (CS)	Greenhouse (GH)
CS (Floor area: 92 m ²)	29,400	-
Work room for CS (663 m ²)	13,650	-
GH (Floor area: 1,994 m ²)	-	35,700
Env. Cont. Units for GH	-	20,475
Potting/Mixing Units	3,045	3,045
Construction	6,566	4,998
Total	52,661	64,208



植物工廠的五多

- 植物工廠允許在
 - 多樣的地區中：
 - 不平坦的耕地、大小都市中的空地/畸零地、大型建築物的屋頂、室內、地下室、海埔新生地或荒地上，廢耕農地，混合住宅地，辦公大樓內或中、小鄉村中
 - 以多樣的形式
 - 由多樣的人
 - 只需輕勞動作業，除了一般工作人員之外，也可提供老年人、身障者、家庭主婦或失業者新的就業機會
 - 以多層的方式
- 進行
 - 多樣植物的生產（葉菜、種苗、小型觀賞作物、蔬果）

20

植物工廠可確保的五不變

產期不變
品質不變
產能不變
成本不變
價格不變

21



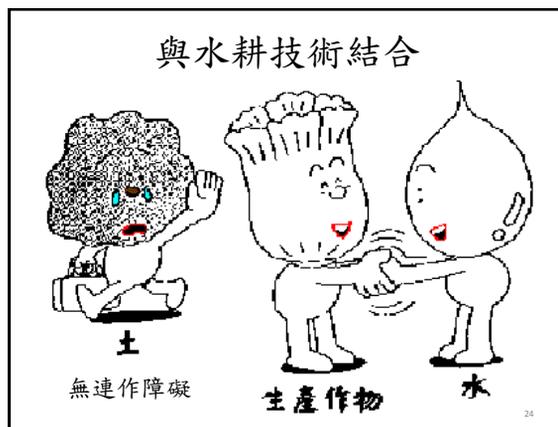
植物工廠帶來六種變化

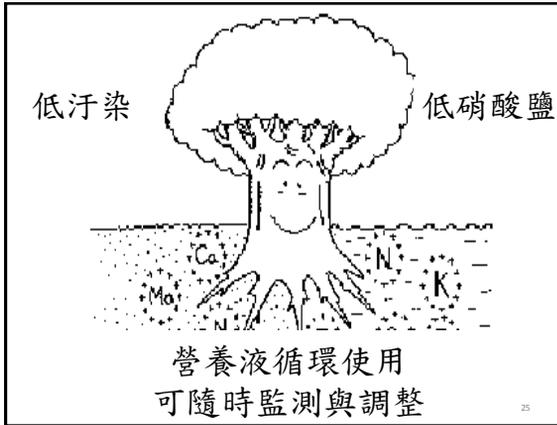
傳統農業

室外變室內
平面變立體
工作變輕鬆
環境變舒適
務農變上班
收穫變穩定

環控農業

23





完全人工光源型植物工廠-從水資源角度是否合算?
用水效率計算 Water utilization efficiency

$$= \frac{\text{Dehumidified - Ventilated}}{\text{Irrigated}} = \frac{(2100 - 58)}{2100} = 0.97$$

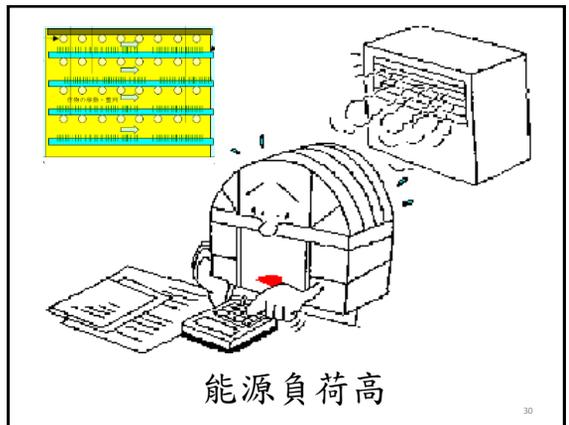
Dehumidified by heat pumps for re-use: 2000 kg

Irrigated: 2100 kg

Increase in plants and substrate: 42 kg

Ventilated: 58 kg

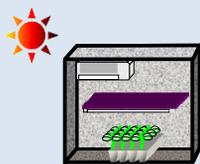
26



完全人工光源型植物工廠-使用冷氣是否很耗電？

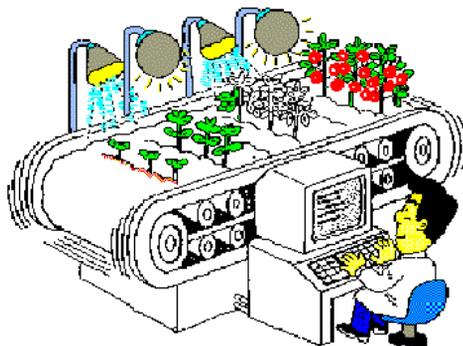
假設使用 COP = 4 的空調熱泵

$$\text{冷氣電費} = \frac{\text{燈管電費}}{\text{COP}} = \frac{\text{燈管電費}}{4}$$



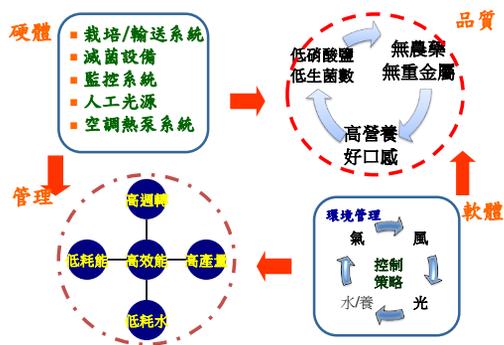
31

監控管理技術層次高



32

植物工廠的關鍵技術



植物工廠節能減碳面面觀

低碳農業第一原則：減量化

◆ 節能：節地、節水、節肥、節藥、節電、節油、節煤

◆ 減廢：CO₂、CH₄、N₂O、.....廢料

植物工廠 vs. 露天栽培

- 立體化栽培，10層等於只需1/10用地 (節地)
- 植物蒸散的水分可以回收使用，用水只有5% (節水)
- 不使用農藥 (節藥)
- 在地生產，在地銷售/店產店銷，運輸最小化 (節油)
- 免洗、立即可吃 (節水)
- 只有根部要去除，其餘均可吃 (減廢)
- 營養液重複使用、排放最少量 (減廢)
- 使用電力 (未來可與再生能源結合)

植物工廠 vs. 溫室栽培

- 前八項同左
- 不需加熱 (節油、節煤)
 - 不須天窗、側窗 (減廢)
 - 不須水簾、不須防蟲網 (減廢)
 - 不用遮光，免用遮陰網 (減廢)
 - 免用塑膠布/玻璃等透光資材 (減廢)

34

植物工廠與傳統栽培之比較

耗能比較 (以短期葉菜類為例)

	露地栽培	植物工廠栽培
整地	√	×
開溝作畦	√	×
灌溉用水	100%	<10%
噴藥	√	×
施肥	多	少
運輸(碳足跡)進口	√	在地生產
儲藏	√	短期、在地銷售
收穫後處理損失	廢棄物多	極少
溫控	×	√
光控	×	√
可控	差	可預期、自動化
最佳化	難	資源利用最大化
再生能源利用	難	太陽能、風能、生質能

市場、品質、社會、風險之比較

	露地栽培	植物工廠栽培
市場定位	一般、傳統	高品質、安全
品質：沒有農藥	×	√
沒有重金屬	×	√
低生菌數	×	√
低硝酸鹽	×	√
特定營養	不容易掌控	可調控
社會：價格穩定	×	√
工作環境佳	×	√
工作輕省	×	√
風險：天災影響	極大	小
病蟲害風險	高	低

植物工廠發展沿革

人工光源型植物工廠

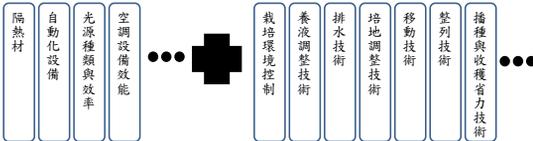
人工光源型植物工廠始於1957年丹麥的Kristensen農場，十字花科植物水芹 (cress, 荷蘭傳入) 的嫩芽生產。在美國，1970年代初期的General Electric公司，1980年代的General Foods公司、General Mills公司皆展開人工光源型植物工廠的運作，但此三家皆因收支不平衡而在1990年代停產。

自然光型植物工廠

自然光型植物工廠的運作始於1960年代初期奧地利Rusuna公司的立體式植物工廠，荷蘭的設施園藝大型化、自動化、資訊化則是自1970年代至今穩定發展，至1990年代之後，與「自然光型植物工廠」名稱相符的植物工廠生產系統開始大規模地運作。

植物工廠發展沿革

人工光源型植物工廠的發展重點



台灣發展精密溫室與植物工廠之可行性

台灣已具備全環控精密溫室的發展條件，頗值得推廣，以高經濟價值的作物為首選，譬如花卉作物，以蝴蝶蘭種苗與梗苗的栽培為代表；植物工廠則尚存在成本高與作物選擇性少(需符合單位空間與單位時間內的獲利達到某一程度以上)的限制。

方，1993

植物工廠類型

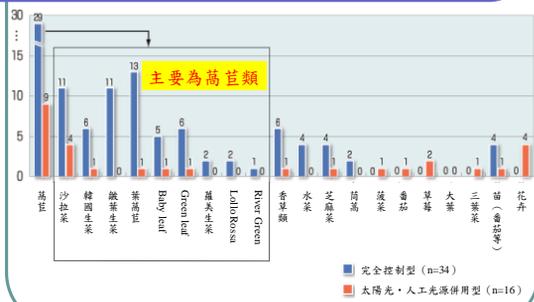
PF Type	太陽光	人工光	栽培層數
Closed type	NO	YES	> 1
Semi-closed type I	YES	YES	1
Semi-closed type2	YES	NO	1



Closed Type



日本植物工廠現況－栽培項目



日本植物工廠生產常見的蔬菜



冰花 Ice plant

新食糧の高級野菜！ 塩味とプチプチ食感

- ★ 筑波大学農学部 野菜栽培科が商品化。
- ★ 多肉植物、南アフリカ産のザクロノコ一年草。
- ★ 種から塩化ナトリウムを吸収し、茎や葉にある球状の透明な細胞(フワッター)に蓄積させる。乾燥に耐えるとともに、耐塩性が強い生産植物の一つである。
- ★ 水耕栽培で、ミネラル(ナトリウムなど)管理し、生育させると安定したミネラルが含まれる。
- ★ 土耕栽培では、土の中の重金属が含まれると吸収、蓄積する可能性が高く、不向きとされる。
- ★ CG-CAM中間植物。乾燥や塩ストレスを与えない一般的な光合成経路であるC3光合成を行い、乾燥/塩ストレスを与えるとCAM型光合成へ移行することができる植物。
- ★ アイスプラントには、「イノシトール」(ピノール)というメタボ予防に有効な成分が含まれている。イノシトールには中性脂肪を抑える効果、ピノールには血糖値を下げる効果があるとされている。
- ★ 暑さ、寒さに強く、23-25℃で成長に向き、植物工場栽培向き。




フワッター (塩味)

とう (食味部)

大葉 (加工部)

栽培100-120日程度で、ピンクの小さな花が咲く

43



putina

【静岡産】アイスプラント産菜(シオナ) 50g

アイスプラントとは (学名: アイスプラント)

アイスプラントは、乾燥や塩ストレスを与えない一般的な光合成経路であるC3光合成を行い、乾燥/塩ストレスを与えるとCAM型光合成へ移行することができる植物。

アイスプラントには、「イノシトール」(ピノール)というメタボ予防に有効な成分が含まれている。イノシトールには中性脂肪を抑える効果、ピノールには血糖値を下げる効果があるとされている。

Why is Plant Factory (PF) important ?

- 氣候變遷時代-各種不利之因素齊聚下，農業生產何去何從？
- 世界又熱又平又擠-資源所剩不多，人口卻增長迅速
- 糧食安全-臺灣傳統農業所造成之環境負擔與不確定性不可忽視
- 要解決全球性的環境/能源/食物/飼料/醫療等問題，對植物的需求與日俱增
- 碳足跡、食物里程議題的受到重視

氣候變遷時代-各種不利之因素齊聚下，農業生產何去何從？



空氣污染

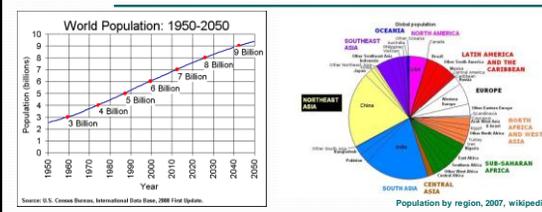
土地沙漠化

農地轉型都市用地

海平面上升

農地轉型工業及能源用地

世界又熱、又平、又擠-資源所剩不多，人口卻增長迅速



World Population: 1950-2050

Population (billions)

Year

3 Billion, 4 Billion, 5 Billion, 6 Billion, 7 Billion, 8 Billion

Population by region, 2007, wikipedia

- 全球人口目前已達68億，估計未來40年有可能增加到92億，以目前仍有10億飢餓人口進行估算，40年內糧食產能需要提升將近58%，實為極大挑戰。
- 目前世界上仍有一半人口居住於低收入(low-income)、糧食不足(food-deficit)之區域內，無法生產足夠且穩定之食物供應。
 - 農耕土地惡化(soil degradation)、水資源長期儲存(chronic water shortages), 不適當農業政策(inappropriate agricultural policies)、人口快速成長是其主要因

世界糧食組織FAO, 2010

糧食安全-臺灣傳統農業所造成之環境負擔與不確定性不可忽視

年別	單位農藥使用量 (公斤/公頃)
1995	48.03
1996	49.89
1997	49.68
1998	45.71
1999	40.98
2000	43.27
2001	46.65
2002	49.71
2003	47.28
2004	44.65
2005	43.93

- 以2005年為例，臺灣農藥使用量為43.93公斤，依照全球植物保護聯盟統計，**排名全世界第三。**
- 臺灣農業用水佔總用水量71%，而農業用水自1991年起，總可用水量逐年減少，其中以灌溉用水減少最主要原因是因乾旱缺水，推行休耕以及移用支援。
- 農業用水之中，較穩定可靠之水源如水庫或池塘等登記水權量為僅佔10.7%，河川自然引水佔70.8%，動力抽取地下水為10%，抽取地下水佔8.5%。**全國農業水權之80.8%來源不穩定，農民只能靠天吃飯。**
- 2008年，臺灣農業用水量計13,514百萬立方公尺，**其中灌溉用水仍佔大宗**，達11,766百萬立方公尺(87.0%)。

台灣地區民國97年農業用水量統計報告，經濟部水利署，民國98年12月

台灣灌溉用水調查評估及規劃(三)、農業灌溉用水轉移使用對社會、經濟及生態環境之衝擊評估，臺灣各地區農田水利會、台大農業工程研究中心、農委會補助研究計畫，民國94年12月

台灣地區民國99年農藥使用量統計報告，經濟部水利署，民國98年12月

台灣地區1995-2005年歷年平均耕地面積的農藥使用變動，全球變遷通訊(2006年6月)，第五十期，P21

要解決環境/食物/飼料/能源/醫療等問題
需要數以億計的植物

Food & Feed
農糧與飼料

Industrial products,
Bio-fuel & Biomass
工業製品與生質燃料

Reforestation, Desert Rehabilitation &
Urban Green Spaces
造林、減緩沙漠化與都市綠化

Medicinal & Horticultural Plants for
Mental & Physical Health/Care
醫藥植物用於心理及
生理之保健治療

國際環境管理標準與碳足跡

由全球各大投資法人合作發起的「碳揭露專案」...
包括美林證券公司 (Merrill Lynch)、安盛集團 (AXA)、渣打銀行 (ANZ)、巴西銀行 (Banco do Brasil)、三菱UFJ (Mitsubishi UFJ)、友邦投顧 (AIG Investments)、巴克萊銀行 (Barclays)、蘇格蘭皇家銀行集團 (RBS Group) 和匯豐銀行 (HSBC)

CDP Water Disclosure is pleased to announce the launch of its first Climate Disclosure Project

原料 + 製造 + 運輸 + 使用 + 回收

碳足跡 = Σ (活動數據 * 排放係數)

Global Issue

Global + national + local

全球

- 全球性問題之紓解

國

- 選地於田園山林

家

- 醫食農同源

51

Ubiquitous PF in East Asia

- Facility for Research 研究型
- Facility for Demo and Education 示範與教育型
- Street side/Restaurant/Supermarket 店舖型
- Commercial scale for mass production 量產型
- Facility in Cargo container style 貨櫃型
- Facility in Home appliance style 家電型
- Facility in Furniture style 家具型



Boston Lettuce grown in NTU Lab



店產店銷

由於植物工廠的蔬菜生產不受場地限制，所以外食產業可以在店內栽培自家店舖需要的蔬菜，如此「店產店銷」的方式不但可將生產的蔬菜直接提供給消費者，也可對減少食物里程做出貢獻。







Plant Factory at home and in the community

身 Health 健康

心 Eco 生态

灵 Lohas 乐活

- 植物工厂设备 -
EQUIPMENT

How 构成要件

Family Farm 家庭农场

Home Growth Light 家庭菜园

Eco Wall 植生墙

- 植物工厂设备 -
EQUIPMENT

Home Growth Light 环控型植物生长系统

How 构成要件

MR16 卤钨投射照明灯

NBL 无极性双头灯 Festoon (LED Festoon Lamps)

- 1st layer for seedling production (70 plts)
- 2nd layer (15 plts)
- Shelf style (18 plts/layer x 3 layer = 54 plts)

Plant Factory at home
and in the community

Home farm (Stages 1~3, 2~3, 3)
Community farm (Stages 1, 1~2, 1~3)

1st stage 播種期 7 days
2nd stage 育苗期 14 days
3rd stage 育成期 14 days

2011 植物工廠開始進入家庭 1/4

2011 植物工廠開始進入家庭 2/4

2011 植物工廠開始進入家庭 3/4

2011 植物工廠開始進入家庭 4/4

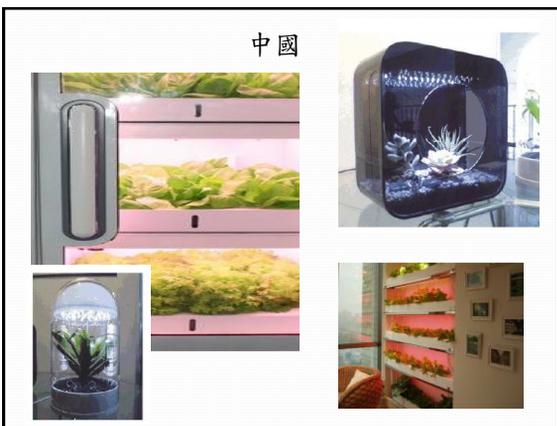
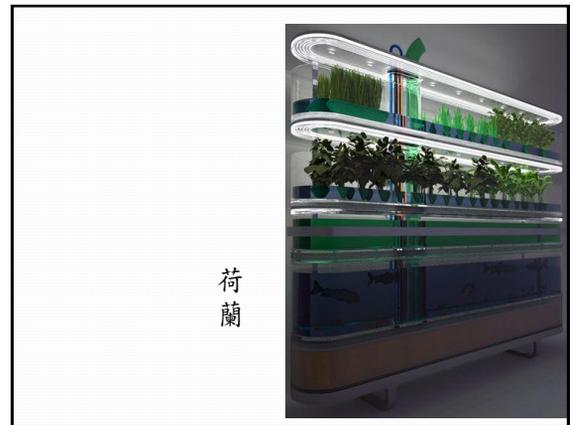
植物工廠
家庭化/社區化 之推動

- 播種 7 天
- 育苗 14 天
- 育成 14 天
- 家庭農場 (育苗+育成, 育成)
- 社區農場 (播種+育苗, 育成)

家庭農場 / 社區農場

- 趣味、品味、教育
- 生產、生活、生態、生命
- 環保：碳足跡、食物里程
- 健康：生鮮、無農藥/無重金屬汙染
- 潔淨：室內空氣清淨、供氧

- 社區育苗中心集中育苗
- 供應住戶自行育成蔬菜
- 供應住戶植生牆植株更換
- 植生牆植株：蔬果、花卉、中草藥與觀葉植物等)





台灣

- 上層育苗 (70株)
- 下層育成 (15株)
- 櫥櫃型設備 (18株x 3層)



台灣

植物生長牆

- 室內空氣清淨
 - 供氧+吸收CO₂
 - 吸收環境荷爾蒙
- 室內綠化景觀+夜燈
- 可栽培 88 株植物 (8 x 11)
- 耗電45 W
- 允許小面積造景 (文字、圖案)
- 苗株必須無農藥
- 介質使用製酒廢渣發酵製成
- 介質內含緩效性養分
- 只需補充用水, 可定時循環
- 設備可串接



傳統的植生綠牆
加上人工光源
加上自動灌溉
加上創新介質
加上美觀設計
.....
創意
創異
創藝
創益



植物工廠由 3C 進展到 5C

- Clean
- Clear
- COOL
- Cheerful 愉悅
- Convenient 方便 (最短的食物里程、最少的碳足跡)

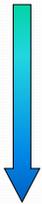
植物工廠人工光源的演進

低效率的人工光源 代表

- 低光量
- 更多廢熱
- 加大燈具與植物的距離
- 更多空調能量消耗以移走額外熱能

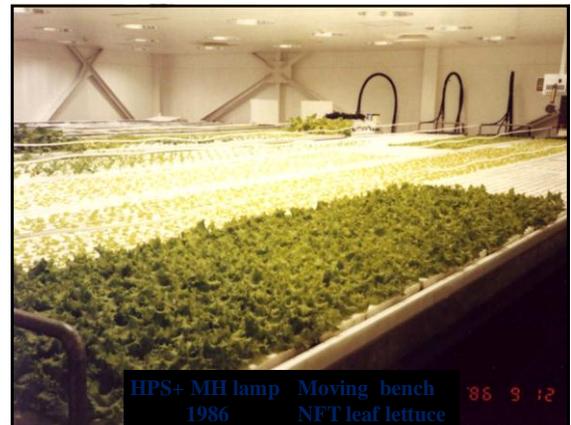
98

植物工廠使用的光源



1. 金屬燈 MH
2. 高壓鈉燈 HPS
3. 螢光燈管 FL (仍是主流)
4. 冷陰極管 CCFL
5. 發光二極體 LED

99



HPS lamp 1991 Layered bench (3 layer): 1 layer = 1 m
NFT leaf lettuce





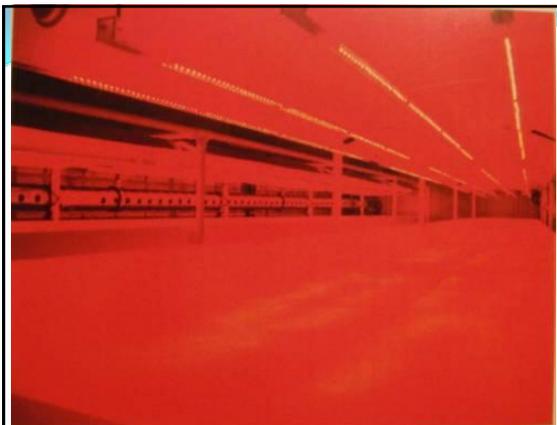
Lamp jackets to remove heat from HPS lamp

TS 型式的植物工廠

使用高壓鈉燈，耗電且熱，能源成本極高



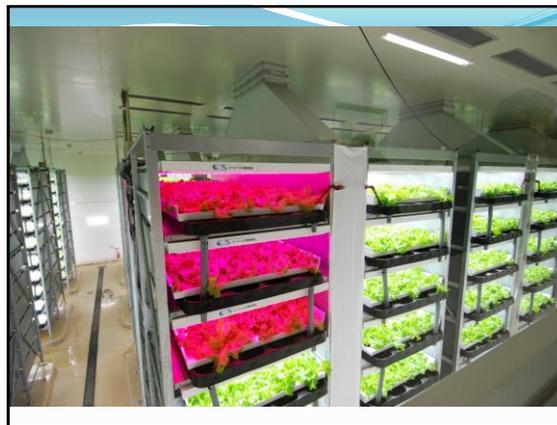
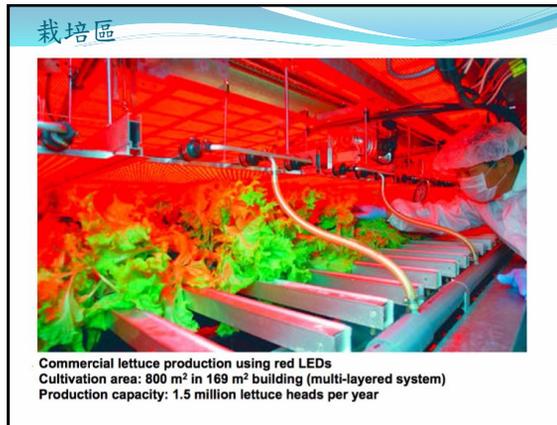
Fluorescent lamp Multi-layer (10)
2004 NFT leaf lettuce



LED 蔬菜工廠

- 植物栽培用光源為改良型水冷式紅色LED (660 nm)。
- 以薄膜水耕法(NFT)栽培生菜、芹菜等葉菜
- 產能：5900株/日，150萬株/年。







台灣發展植物工廠產業化之SWOT分析

發展優勢-替代性光源產品生產費用大幅降低，我國供應鏈堅實

早期之完全人工光源型植物工廠—使用高壓鈉燈耗電且熱，能源成本極高
傳統LED：單價偏高且光量弱，只適用於植物組織培養苗，用以栽培葉菜或果菜等作物仍屬不足。

近來替代性光源相關產品包括了螢光燈管、冷陰極管(CCFL)、發光二極體(LED)，已大幅降低其生產費用，且國內擁有堅實供應鏈作為設施建構所需。

- 台灣LED出貨量為全球第一，市佔率達16%，產值則為第二名，僅次於日本。

國家政策研究基金會、兩岸共創LED產業新局, 科經(研)098-022號, 2009年

- 作為大規模植物栽培之LED人工光源而言，因其所需之光量及光質並不複雜。
- 組合變動小也無須特有技術標準，亦無裝置微小化之需求，產品線單一需求生產量卻為鉅大。
- 正符合我國現今LED產業以**代工為基礎**之產業生態。

發展優勢-滿足現代人對於安全蔬菜之保證生產之需求

- 密閉建築的栽培系統可完全不需使用殺蟲或殺菌的農藥，對於肥料供應的控制亦可做到精緻細微，可**大幅降低致病的硝基鹽的含量**。
- 依照銷售需求制訂生產計畫進行穩態量產。而若欲以低成本維持密閉設施之完善運作，則**關鍵在於依賴遠端網路環境控制**，透過集中管理與分散風險之系統自動化方式來降低人事費用。

發展劣勢-整合為可持續穩態量產多採作物之系統仍有其限制

監控管理
 氣 風
 農業 栽培
 水 光

作物生產之生產條件、環境控制、肥培管理與病害預防各有不同

發展劣勢-現階段產品以葉菜類為主，難以單純由價格優勢取勝

- 由於需平衡初期設施建設與運作成本，目前在日本以種植生長期短、經濟價值高之短期葉菜類為主。
- 而葉菜類在臺灣之供應市場數據顯示97年國內生產2329.6公噸蔬菜，進口382.8公噸蔬菜。每人供給量為124.4公斤。
- 葉菜類國內生產佔859.1公噸，進口則為38.4公噸。每人供給量為43.63公斤。
- 97年糧食平衡表, 民國97年農糧供需年報, 農糧署農政與農情報導, 民國97年
- 目前臺灣本土水耕萵筴菜批發價格為550元/公斤，進口萵筴菜批發價格為535元/公斤，本土葉菜類價格已經相當低廉，然而進口之萵筴菜更具有價格優勢。
- 台北農產運銷公司批發交易價格, 2010年7月7日即時資料

以成本為最主要考量之消費族群而言，以**葉菜類作為植物工廠主力產品之銷售效益為極大劣勢**。

發展劣勢-對耗費資源甚多之主要糧食作物水稻與小麥尚無研究

張尊園, 水足跡概念介紹暨臺灣水足跡分析, 98年農業工程研討會

- 我國與印尼之農田自然環境條件與作物品系之需水量差異不大, 但灌溉用水量與產量卻遠遜於印尼, 顯示灌溉用水之調度與效率有其缺陷。
- 而全球小麥生產之平均水足跡約為1,350 m³/公噸, 民國96年臺灣共進口1,233千公噸, 國內生產僅有0.3千公噸。小麥作為純糧食供給之用途為821千公噸, 比率達73.5%。

臺灣糧食平衡表-歷年小麥, 臺灣糧食統計要覽(97年), 農糧署, 民國97年。

此一數據顯示我國人民對於食用小麥依賴日甚, 卻絕大部分由進口供應。

Sourcing wheat price and the risk of another food crisis, <http://www.fstree.com/technical/market-view/weekly-commodity-20080208-08091001>

發展劣勢-對耗費資源甚多之主要糧食作物水稻與小麥尚無研究

- 水稻及小麥等作物由於植株生長高度差異變化大, 以植物工廠最主要之立體栽培方式有其設計與運作上之困難。
- 未來雖可利用研發基因轉殖之短梗作物品種因應之, 但目前尚未引起生命科學相關人士興趣。

FAISONA GROUP
アーバンファーム
について

<http://www.faisonagroup.com/>

發展劣勢-需建立新產銷通路、產品訴求與市場定位等商業模式

- 以日本生產規模最大之Fairy Angel Inc.為例, 其揚棄傳統中央調節產能, 依據各地需求分配至中盤商與零售商之產銷方式, 改採網路直銷、百貨公司賣場及地區超市販賣、附屬餐廳之方式, 在全日本建立銷售據點, 由工廠直接交貨至消費者。
- 日本亦有採用以社會福祉為目的所設立之植物工廠, 產品供應學校餐廳、醫療院所、安養機構、生鮮運販, 使其免於中央市場削價競爭之商業模式。

目前植物工廠葉菜類產品需要攤提設施建設、營運與折舊成本而言, 若以目前之傳統蔬菜進行價格競爭勢必無法順利開拓市場。

發展劣勢-需建立新產銷通路、產品訴求與市場定位等商業模式

- 以有機蔬菜之銷售通路為例, 其主要之商業模式則是透過超市之有機專櫃、網路直銷配送與農場現地販賣三種方式。
- 有機專櫃之形式可於現場檢視蔬菜外觀挑選之消費者而言, 最受歡迎。
- 而網路直銷之方式, 雖然消費者可預見對於產品品質較有信心, 但蔬菜不比書籍或家具, 運送過程不可受到擠壓, 反而提高了輸送之成本。

以目前商業模式尚未建立之今日, 未來植物工廠能否於臺灣本土複製日本成功商業模式, 實仍在未定之數。

發展機會-本土傳統蔬菜來源難以確保、價格變異較大

Table 5. The estimated losses of vegetables by systematic diseases occurred in Taiwan during the period of 2000 to 2005.

Year	Percentage (%)	Area damaged (ha)	Quantity (MT)	Estimated loss (US\$)	Vegetable items/all crop
2000	38	2,821	47,207	764,337	7.7
2001	13	3,289	54,539	1,000,730	20.0
2002	20	49	969	33,285	1.2
2003	40	274	3,335	54,839	1.4
2004	30	3,187	58,360	1,133,352	8.5
2005	29	3,187	58,360	1,133,352	8.5

歷次重大農業災害發生後, 批發市場交易價格在災後第1週平均漲幅約在10%至40%之間, 進入第2週交易價格持續上揚, 災後第3星期交易價格達到最高點, 漲幅達三成以上; 第4星期以後, 價格上漲幅度逐漸趨緩。

97年國內生產2329.6千公噸蔬菜, 進口382.8千公噸蔬菜。每人供給量為124.4公斤。
其中葉菜類國內生產佔859.1千公噸, 進口則為38.4千公噸。每人供給量為43.63公斤。

97年糧食平衡表, 民國97年糧食統計要覽, 農糧署, 民國97年。

發展機會-不受極端氣候事件影響之糧食安全確保策略

- 2低2無1高: 無農藥、無重金屬、低生菌數、低硝磺酸鹽、高營養價值
- 4定: 定期、定量、定品質、定價, 不受氣候影響, 抵換初期建設成本
 - 定期可以依銷售計畫做彈性設計, 可以是每天、每兩天或是每週收穫。
 - 當產品的生產週期為30天, 使用30套栽培系統, 每天採收一套系統, 即可做到每天收穫; 每兩天採收一套系統的話, 只需15套栽培系統。當產品的生產週期為30天, 也代表一年可以收穫12次。日本Fairy Angel植物工場, 可日產8,000株蔬菜。

消費者吃的安全、安心 (生產履歷透明制度導入)
 糧食體制安全確保 (不再受氣候與地理限制)
 完整密閉環境生產 (無需農藥栽培)
 可計畫之穩態產量 (精緻農業走向)
 提高土地利用率

植物工廠的特徵

- 生產工程管理模式
- 高生產密度
- 高獲利確保品質
- 自動省力化農業
- 高附加價值生產 (消費、物產之循環利用)
- 勞動力轉型 (少子化、高齡化人口社會)

LED利用型植物工廠栽培模組: 四層栽培、六台層架, 栽培面積12.96m², 可月產960株

http://www.rcnubio.jp/monthly/2008_07/index.html

發展機會-突破低價競爭之限制，推出確保安全品質之蔬菜

美國FDA 公布十大致病食物之首: Leafy Greens 鮮食葉菜類



美國FDA：生菌數與硝酸鹽殘留問題為致病主因
衛生署「生食用食品類衛生標準」對生食用蔬菜類之生菌數、大腸桿菌及性狀均訂有標準。
每公克生菌數 10^5 CFU/g以下，Coliform: 10^6 MPN/g以下，E.Coli: 10^2 MPN/g以下
EC Regulation No. 563/2002

農作物	最大限量 (mg/NO ₃ /kg)
新鮮葉菜	收成11月1日-3月31日, 3,000
保藏、超低溫冷凍或冷凍葉菜	收成4月1日-10月31日, 2,500
	收成10月1日-3月31日, 2,000
新鮮蒞筴 (設施內的及戶外栽種的蒞筴)	種蒞在設施下的蒞筴, 4,500 種蒞在戶外的蒞筴, 4,000
	收成4月1日-9月31日, 3,500
	種蒞在設施下的蒞筴, 3,500 種蒞在戶外的蒞筴, 2,500

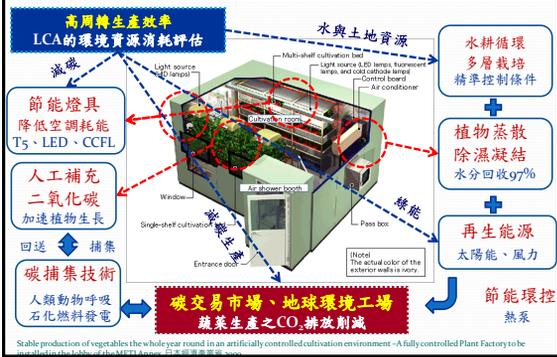
發展機會-糧食生產能否符合清淨發展機制(CDM)需求



- 農糧生產之產量與存續，依賴於農民能否順利取得種子、灌溉用水、營養肥料、害蟲管理與耕作土地。
- 全世界之現有可耕地已經使用了80%，加上人口增加所帶來之使用需求，開發新可耕地之成本高昂且取得不易。
- 作物栽培過程之化學肥料累積、水資源流失、廢棄物管理，以及長程運輸之溫室氣體排放，都使得農業產生之環境負擔不可忽視。

M.W. Rosegrant et al., Science, vol.302, 2003, H.C. Godfray et al., Science, vol.327, 2010

發展機會-以生命週期(LCA)觀點評估植物工廠之永續節能空間



Stable production of vegetables the whole year round in an artificially controlled cultivation environment - A fully controlled Plant Factory to be commercialized in the future of the METI, Japan. 日本經濟產業省(2009)

發展威脅-有機迷思：食品安全有保障，但糧食安全呢？



- 有機農業是一種較不污染環境、不破壞生態，並能提供消費者健康與安全農產品的生產方式，有機農業之定義因各國法律之規定而不同。
- 臺灣相關法規之有機農產品定義：
 - 有機農產品：指在國內生產、加工及分裝等過程，符合中央主管機關訂定之有機規範，並經依法規定驗證或進口經審查合格之農產品。
 - 有機農產品、農產加工品不得使用化學農藥、化學肥料、動物用藥品或其他化學品。
- 有機農法之成本遠低於慣行農法，但在產量上低於慣行農法。導致市售價格較高。
- 即使在德國，以平均售價而言，相同種類但通過有機驗證的農產品，其平均價格仍舊較慣行農產品為高。

發展威脅-有機迷思：食品安全有保障，但糧食安全呢？

- 依照農委會認證民間驗證團體彙整統計，民國95年臺灣有機栽培蔬菜種植面積為378.65公頃(219農戶)，水果種植面積為206.78公頃(110戶)。
- 有機農田之穀物收成量僅約傳統農法栽培田地之50%
 - 若全世界的農地均有有機農法耕作，生產糧食之土地面積則需增加為兩倍才可以供應全球人口。
- 維持良好有機系統需要大量牲畜來提供農田施肥所需之氮肥，導致大面積飼料作物種植可能排擠農作物耕種面積，造成糧食作物耕種面積減少，降低穀物總收成量。
- 環境負擔與資源消耗從未詳細計算展現於消費者眼前，使得目前國人對於有機食品卻有其迷思。認為植物工廠即使未施用農藥，卻仍為工業製品，重量增加僅為虛胖，非自然生產之蔬菜極不健康。

發展威脅-國內現階段再生能源之發展與前景均有限制

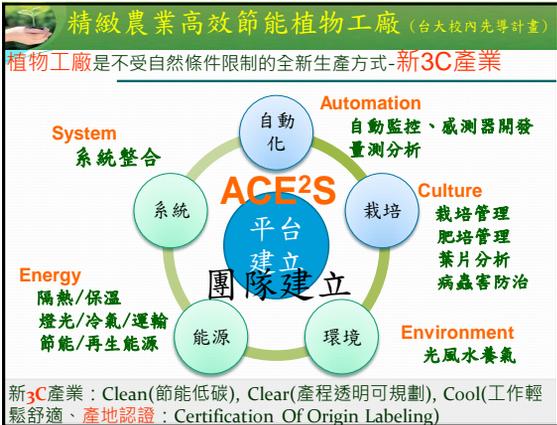
- 植物工廠欲符合節能減碳與清淨發展之目標，能源利用勢必取自綠能。
- 但以能源局再生能源推廣目標預估推算，臺灣發展至民國114年之再生能源發電裝置容量目標值為845萬瓩，只佔總發電裝置容量之15.1%。植物工廠除於廠址建立自主再生能源供應系統，否則欲使用公有電力來源供應再生能源以達成減排目標頗有困難。

我國再生能源之開發條件與限制因素	
能源種類	現階段開發條件與限制因素
太陽能	<ul style="list-style-type: none"> 需要光能充足穩定，周遭無建物或障礙，日照時間長(台中以南為佳)之土地，可興建之土地面積有限 收購價格過低，尚無合理投資報酬
風力發電	<ul style="list-style-type: none"> 風場特性需要風速大、風向穩定、風期長與風力平衡，以北起桃園南至嘉義沿海區域最適宜，然而公有場址已趨飽和，私有土地取得之成本昂貴 發電機組多來自於國外，維修門檻高且易受國際競爭而價格上漲 收購價格過低，民間投資不符合經濟效益
水力發電	<ul style="list-style-type: none"> 僅川流式小水力被認定為再生能源，其他微型水力依法未被認定為再生能源 依據當地自然條件之差異，僅有少數市場，難以進行大規模開發

台灣大學 進行中植物工廠 相關研究

台大團隊執行中研究計畫

經費來源	計畫名稱	執行單位
校長	精緻農業高效節能植物工廠	台大生農學院 22位教授
農委會 農糧署	整合節能與精準栽培技術於植物工廠生產體系之研發	台大生機系 4位教授 台大園藝系 3位教授
經濟部 能源局	優化利用太陽能與傳統能源以發展先進植物工廠生產系統	台大生機系 4位教授
教育部	精緻農業、植物工廠課程	台大生農學院



- 人才培訓與推廣
- 課程：教育部補助經費
 - 精緻農業學分班：一學年、含業界教師、產業參觀
 - 植物工廠概論學分班：一學年、含業界教師、產業參觀
 - 譯書：太陽光型植物工廠 (2010/11 出版)
 - 譯書：完全控制型植物工廠 (2011/11 出版)
 - 試驗研究平台：台大植物工廠 (2011/01 啟用)
 - 研討會：農委會補助經費
 - 台灣推動植物工廠之展望研討會 (2010/7/21)
 - 植物工廠與綠色能源研討會 (2010/7/28)
 - 研討會：台大補助經費
 - 全球植物工廠研發與產業化發展近況 (2011/3/31)
 - 邀請中、日、韓、美、歐等國相關學者與會





For Research

- Separate layers
 - Light intensity
 - Light quality

For research

Layer based separated controlled on environmental factors:

Automatically

- T, RH, CO₂,
- Light intensity,
- Photoperiod,

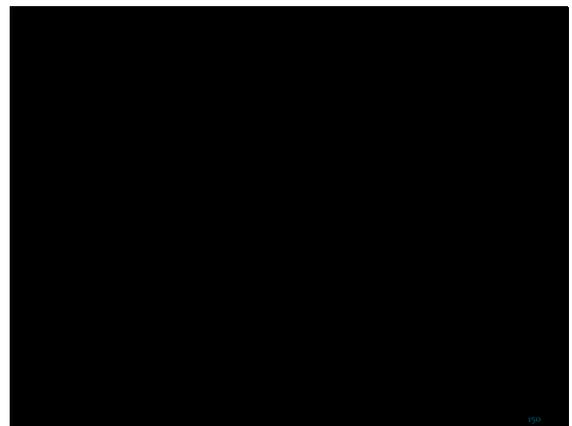
Manually

- Prescription and concentration of Nutrient solution
- Light quality

For research

Bench based controlled on

- Light intensity
- Prescription of NS
- Concentration of NS
- frequency





進行中研究與推動項目

1. 建置植物工廠所需基礎材料與設備的成本降低
2. 植物工廠產品與系統的價值創造
3. 植物工廠相關技術與前瞻智慧生活應用的結合與產品開發
4. 植物工廠節能節水減碳的研究與綠色能源應用
5. 植物工廠發展策略規劃與產業佈局
 - 將植物工廠發展成出口產業
 - Ubiquitous 植物工廠的推動

1. 建置植物工廠所需基礎材料與設備的成本降低

- 低成本、可重複使用、可再生
 - 隔熱保溫資材
 - 養液配方
 - 水耕適用種子與肥料
 - 人工介質
 - 可重複使用資材
 - 其他
- 低成本、高效能
 - 人工光源
 - 空調熱泵
 - 空氣滅菌
 - 水體滅菌
 - 環控自動化系統
 - 水質與養液肥培管理系統
 - 自動播種系統
 - 自動收穫系統 等

2. 植物工廠產品與系統的價值創造

降低成本，有限
創造價值，無限

創意創異創藝創益創億
注重細節
異業結盟

3. 植物工廠相關技術與前瞻智慧生活 應用的結合與產品開發

- 風光水養氣與影像之無線感測調控
- 空氣滅菌技術
- 水體滅菌技術
- 生物防治技術
- 立體化水耕床架
- 其他

應用於
植物工廠

應用於 居家生活

4. 植物工廠節能節水減碳研究與綠色能源應用

- 節能技術導入
- 綠色能源使用
- 節能效益評估
- 節水效益評估
- 固碳效益評估
- 碳足跡評估
- LCA



5. 產業發展策略規劃與產業佈局

5.1 將植物工廠發展成出口產業

- 台灣的工業優勢
 - 空調、無塵室、隔熱資材、節能燈具、控制系統、機電設備廠商眾多
 - 工研院產業化經驗豐富
- 台灣的人才優勢
 - 高學歷人才豐富
 - 台大生農學院組成跨領域團隊

直接與生產設備相關的產業包括：

- 無塵室、滅菌設備、光源設備
- 冷凍空調、冷藏庫板、機電控制
- 種苗、資材、農機、園藝
- 連鎖販賣商店、生機飲食店
- 其他

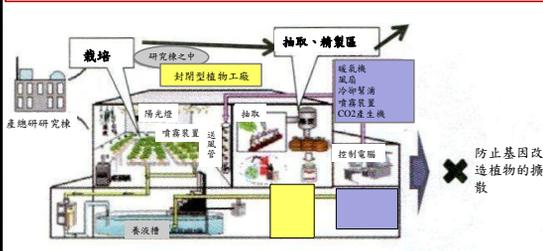
5. 產業發展策略規劃與產業佈局

5.2 Ubiquitous 植物工廠的推動

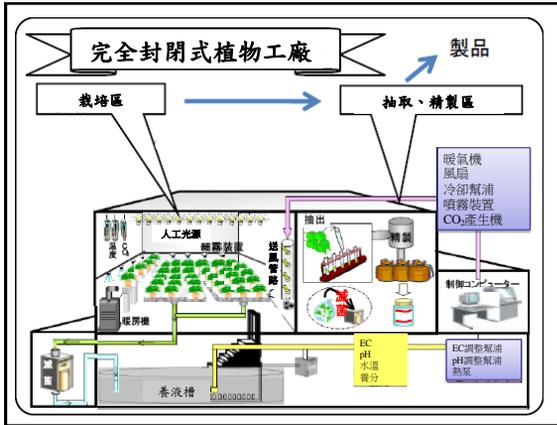
- 量產型、研究型
- 貨櫃型、展示型
- 嗜好型
- 辦公室型：桌上
- 家用型：家電、家具、廚具、櫥櫃

用以栽培西藥或中藥用植物

北海道札幌市產業技術綜合研究所活用植物工廠建構封閉型人工環境的基因改造植物栽培系統。封閉環境下的植物栽培可穩定生產疫苗用的藥用成分或藥用植物等。



防止基因改造植物的擴散



周邊產業的新技術開發

植物工廠所使用到的技術種類繁多，包括養液栽培裝置、人工光源、空調與控制裝置等，民間水準的周邊技術研究目前正急遽發展中，上述技術的實用化將實現降低成本、提升品質與提高生產力等目標。

LED等人工光源的使用

使用土壤的栽培

海外輸出

由於植物工廠中的水可循環再利用，不需選擇設置場所等理由，在水資源稀少的中東諸國、沙漠地帶或極地等處也可設置植物工廠。（也可將整套植物工廠設備輸出至海外。）

三菱化學股份有限公司開發匯集蔬菜工廠系統的「貨櫃型蔬菜工廠」並加以販售。第1號產品將販賣至卡達，2010年4月出貨。



Container style

Prototype system for the mass production of Boston Lettuce and Leaf lettuce



以貨櫃栽培為例

貨櫃長	12.192	使用地板面積	26.8		
寬	2.2	栽培面積	53.64		
使用率	0.5				
層數	4	密度	0.0225	淨利率	淨利·萬
栽培期	21	栽培總株數	2384	0.1	39.7
株距	15	日總株數	114	0.2	79.5
年栽培日數	350	年總株數	39737	0.3	119.2
平均單株重	100	年總重	3973.7 kg	0.4	158.9
單價 NTS/g	1	粗收益	397 萬	0.5	198.7

170

249/142 =
1.75 NT\$/g

台北的超市

199/142 =
1.40 NT\$/g



T5 螢光燈管

LED 燈管

燈管單價	550
燈管長	110
安裝間隔	13.3
燈管數	366
燈管成本	20.12 萬

燈管單價	1000
燈管長	110
安裝間隔	13.3
燈管數	366
燈管成本	36.58 萬

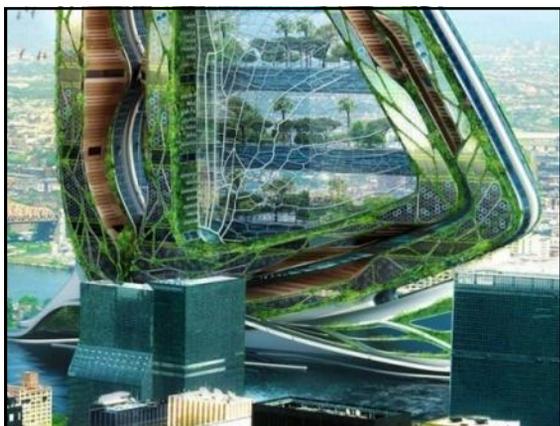
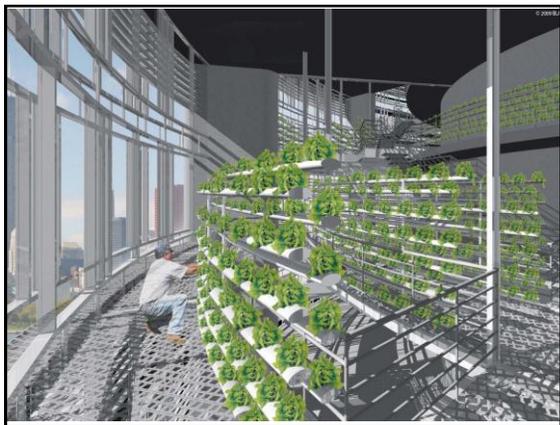
	NTS	折舊年數	單年折舊	單株單年折舊
廠房設備	600000	10	60000	1.5
燈光	201168	1.5	134112	3.4

	NTS	折舊年數	單年折舊	單株單年折舊
廠房設備	600000	10	60000	1.5
燈光	365760	3.5	104503	2.6

172

網路上
有關 Vertical Farming
的一些構想







謝謝聆聽，敬請指教