

### 世界又熱、又平、又擠-資源所剩不多，人口卻增長迅速

Source: U.S. Census Bureau, International Year Book, 2008 First Edition.

- 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在**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。
  - 農耕土地退化(soil degradation)、水資源長期短缺(chronic water shortages),不適當農業政策(inappropriate agricultural policies)、人口快速成長是其主因

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多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抽取地面水為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(87.07%)。

台灣灌溉用水調查評估及調配利用-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、臺大農業工程研究中心、農委會補助研究計畫、民國92年12月  
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  
台灣地區1995-2005年歷年平均耕地面積的農藥使用變動，全球環境通訊(2006年6月)，第五十期，P21

### 十大致病食物之首

美國 FDA

The Riskiest Foods Regulated by the U.S. Food and Drug Administration - The FDA Top Ten in detail

**LEAFY GREENS** contain high concentrations of pesticides. The most toxic pesticides are also the highest concentrations with glyphosate. Glyphosate is identified as the most toxic pesticide in the body of the studies. Many of the pesticides in leafy greens are also found in other food items such as leafy greens, including lettuce, spinach, and other food items containing leafy greens. Leafy greens are also found in other food items such as leafy greens, including lettuce, spinach, and other food items containing leafy greens. Leafy greens are also found in other food items such as leafy greens, including lettuce, spinach, and other food items containing leafy greens.

**SMELL EGGS** are also high in pesticides. The most toxic pesticides are also the highest concentrations with glyphosate. Glyphosate is identified as the most toxic pesticide in the body of the studies. Many of the pesticides in leafy greens are also found in other food items such as leafy greens, including lettuce, spinach, and other food items containing leafy greens.

### 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 (AZZ)、巴西銀行 (Banco do Brasil)、三菱UFJ (財團銀行 UFI)、友邦保險 (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)

**CARBON DISCLOSURE PROJECT**

原料加工製造 + 運輸 + 使用 + 回收

碳足跡 = Σ(活動數據 × 排放係數)

### 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

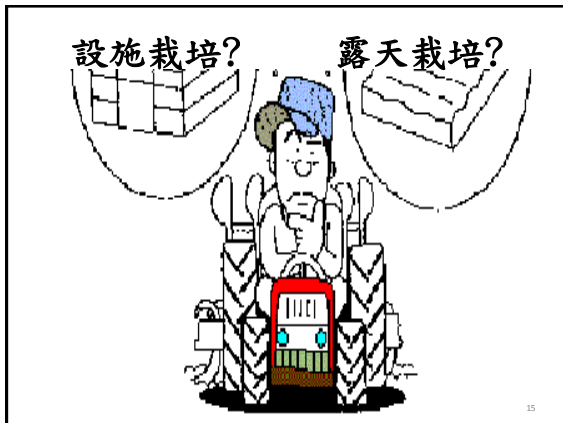
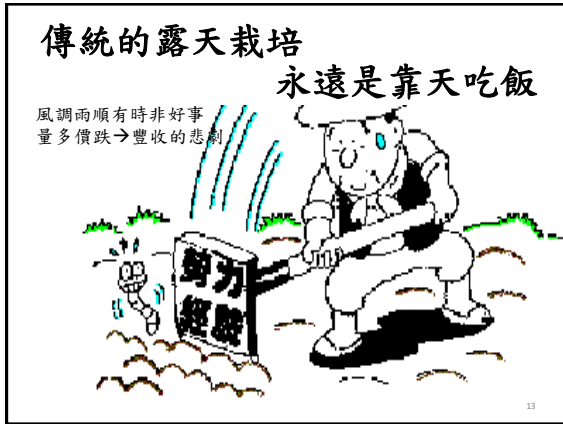
Medicinal & Horticultural Plants for Mental & Physical Health/Care 醫藥植物用於心理及生理之保健治療

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

### 植物工廠的蓬勃發展具時代意義

類別	社會情勢
與食物相關	消費者對於蔬果安心、安全、無農藥之要求，市場對於穩定提供食品之要求，LCA (Life Cycle Assessment/Analysis)，產地直銷、食物里程 (Food mileage)，GAP (Good Agricultural Practice)
與環境相關	溫室效應、減少二氧化碳排放量、氣象異常、環境保護等地球課題
與資源相關	石油價格上漲、節省能源、水資源匱乏

2012/2/29



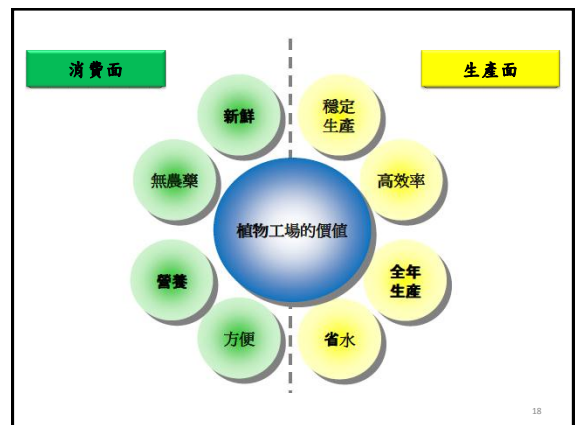
### 植物工廠與傳統栽培之比較

能耗比較 (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	×	√
可控度	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、生質能等

### 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	極小
病蟲害風險	高	低



**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：CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、.....廢料

**植物工廠 vs. 露天栽培**

1. 立體化栽培，10層等於只需1/10用地(節地)
2. 植物蒸散的水分可以回收使用，用水小於5%(節水)
3. 不使用農藥(節藥)
4. 在地生產，在地銷售/店產店銷，運輸最小化(節油)
5. 免洗、立即可吃(節水)
6. 只有根部要去除，其餘均可吃(減廢)
7. 營養液重複使用、排放最少量(減廢)
8. 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
9. 不需加熱(節油、節煤)
  10. 不須天窗、側窗(減廢)
  11. 不須水簾、不須防蟲網(減廢)
  12. 不用遮光、免用遮陰網(減廢)
  13. 免用塑膠布/玻璃等透光資材(減廢)

**植物工廠分兩型：1. 太陽光併用型**

太陽光併用型的植物工廠，會以太陽光為主要栽培農作物，並用人造光源彌補光線上的不足。

**玻璃溫室為主 膠膜溫室為輔**

溫室內感測器會監控室內的溫度、濕度等資訊，將資訊送到控制系統，室內的系統則能自動進行適合作物的環境。

太陽光為主 人工光為輔

**特徵**

- ◎ 生產品種多元  
除了各類葉菜類，也可以生產茄果類蔬菜、玫瑰等珍貴品種。配合全溫室內的植物工廠設計，可以光譜的種類和產量。
- ◎ 與完全密閉型相比成本較低  
主要使用太陽光，所以人工照明的成本較低。
- × 栽培面積的有效性較低  
由於必須設置遮光設備，因此有效栽培面積會因此減少。
- × 要完全控制環境較困難  
由於完全密閉型工廠，室內溫度與濕度可以完全控制，因此對環境控制的要求較高。在夏天進行高產量栽培會有困難。

**植物工廠分兩型：2. 人工光型**

為了完全隔離外界的光與熱，外牆得由隔熱性較好的材料組成，來維持室內的無菌狀態

**環境控制**

- ◎ 穩定供給  
在溫室中不論是否栽培，可以不受季節、氣溫的影響，用一定的量、形狀、味道、營養素、品質、擁有價格來進行提供。
- ◎ 高安全性  
室內環境完全無人進入，因此不需要防蟲設備，用無菌狀態，培養完全安全，所以產量數量也少。
- ◎ 快速生產  
室內環境穩定，可以製造出最適合植物生長的環境，快速植物的成長。
- ◎ 活用土地面積  
依植物大小設計栽培層，可以用最大面積的密度來進行栽培，另外可以設置種植層，增加收穫面積，更進一步提高土地效率。
- × 建設、營運成本較高  
垂直式工廠，必須有高度的空間投資，生產所需的照明費用也不低。

**兩型植物工廠之比較**

自然光型成本較低，栽培種類較為多元。另一方面，人造光型的栽培技術重現度、面積效率較好。

	自然光 (包含併用型)	人造光
可栽培的種類	◎：葉類蔬菜加上蕃茄與小黃瓜等，可以栽培的種類相當多元	○：只限於一般葉類蔬菜，部分企業有辦法栽培結球蔬菜與根莖蔬菜。
初期成本	◎：比人造光低廉	△：照明設備的成本、建造溫室的成本普遍性昂貴
運作成本	◎：比人造光低3~4成	△：電費、照明器的維持、修補費用較為昂貴
運作上的穩定性	○：會受到太陽光與室外氣溫影響	◎：完全密閉型不會受到外部環境的影響
面積效率	△：不適合立體式多層栽培	◎：可進行超過10層的立體式多層栽培
衛生面	○：半密閉環境，無法完全隔離外部環境的影響	◎：許多設備自備有灑水器，可用完全密閉的環境進行栽培
製造商的企业持久力	○：以農業經營者為母體的製造商較多	○：多為名牌製造商與機械廠商

**植物工廠發展沿革**

**人工光源型植物工廠**

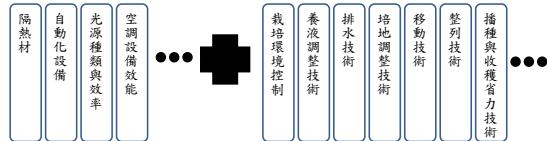
人工光源型植物工廠始於1957年丹麥的Kristensen農場，十字花科植物水芹 (cress, 荷蘭傳入)的嫩芽生產。在美國，1970年代初期的General Electric公司，1980年代的General Foods公司、General Mills公司皆展開人工光源型植物工廠的運作，但此三家皆因收支不平衡而在1990年代停產。

**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。

## 農業的演進

傳統農業 → 設施農業 → 植物工廠

露天 → 隧道 → 簡易溫室 → 鋼骨溫室 →

太陽光利用型植物工廠    完全人工光源植物工廠

**植物工廠的特徵與前景**

- 計畫性生產：穩定供給與收入
- 壓倒性的生產力：實現高產量
- 營養、色彩、味道的控制：高品質、低細菌、低(無)農藥、高耐貯性
- 不受地理位置限制：系統使用之地/銷售地
- 多樣的人才：創造就業機會

成本高了，風險低了，產能高了，對環境的影響小了  
產品品質高了，資源使用效能也高了

25

## 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

26

少受天候干擾

不須廣大土地

資源使用節約

27

酷寒/酷熱地

不毛地

畸零地

28

無病蟲害

無重金屬

無農藥

低生菌數

低硝酸鹽

低耗損

低排放

29

### 為何鮮食蔬菜類會是十大致病食物之首？

生菌數

- 傳統土耕蔬菜的生菌數為  $10^6$  個/g
- 鮮食蔬菜的生菌數需小於  $10^3$  個/g

30

### 什麼是**安全(高品質)**的蔬菜？

#### 熟食蔬菜

- 無農藥殘留
- 無重金屬污染
- 低硝酸鹽

**AAA 兩無一低**

#### 鮮食蔬菜

- 左側三項
- +
- 低生菌數

**AAAA兩無兩低**

### 什麼是**安全方便**的蔬菜？

#### 熟食蔬菜

**AAA 兩無一低**

#### 鮮食蔬菜

**AAAA兩無兩低**

加上**免洗**

- 傳統土耕蔬菜的生菌數為  $10^6$  個/g
- 鮮食蔬菜的生菌數需小於  $10^3$  個/g
- 植物工廠栽培可控制在小於  $10^3$  個/g，只有土耕的 **1/1000**

生菌數

### 什麼是**安全方便健康**的蔬菜？

#### 熟食蔬菜

**AAA 兩無一低**

#### 鮮食蔬菜

**AAAA兩無兩低**

加上**免洗**

再加上**超新鮮、高營養**

### 現代人健康之道—多蔬少肉

- 人體攝入的硝酸鹽，在體內細菌的作用下，會被還原成亞硝酸鹽，並可進一步形成強力的致癌物質亞硝胺。
- 農業上開始大量施用合成的氮肥之後，1960年代相繼發生許多重要症的病例...
- 許多牧場以剛施過氮肥的牧草餵食牲畜，引致許多牛羊群體暴斃的案例...
- 飲用水遭硝酸鹽污染地區的居民罹癌率高...

### 環保救地球之道—多蔬少肉

- 但是
  - 氮/磷肥與農藥施用過度
  - 汙染土地、汙染河川、汙染海洋、汙染地下水
  - 水池、水庫、湖泊優養化，海洋藻華現象



花蓮無毒蔬菜			
台大楊利廷調查			
花蓮無毒農業蔬菜產品硝酸鹽檢測(依均值法)			
蔬菜種類	硝酸鹽含量 (ppm)	蔬菜種類	硝酸鹽含量 (ppm)
納油白菜	5000	莧菜(A菜)	3600
山芹菜	4867	綠花菜	3175
小白菜	4760	梅山菜	2350
山梗菜	4357	龍鬚菜	1650
日本茼蒿	4033	紅鳳菜	1583
香花菜	3800	綠球莖菜	800

硝酸鹽 NO<sub>3</sub> 須控制在 2,000 ppm 以下  
方，2009年發表

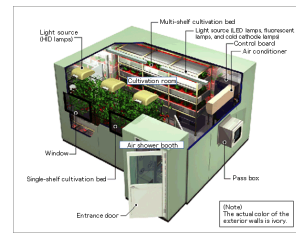
市售有機蔬菜	
有機蔬菜品種	硝酸鹽濃度 (ppm)
統一有機甜菜	4535
聯勝有機茼蒿	7000
聯勝有機水高菜(A菜)	3867
妙慶有機字仔白菜	5835
統一有機茼蒿	1650

硝酸鹽 NO<sub>3</sub> 須控制在 2,000 ppm 以下  
方，2011年發表

### **安全健康方便**的(鮮食)蔬菜哪裡找？

- 無農藥殘留
- 無重金屬污染
- 低生菌數
- 低硝酸鹽
- 免洗
- 超新鮮
- 高營養

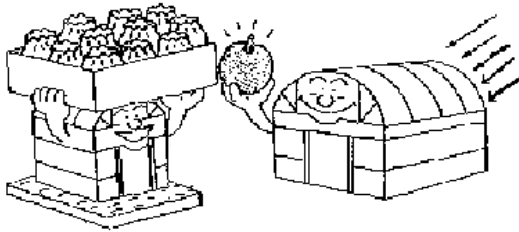
只有**植物工廠**能提供



## 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

37



高產能
超新鮮  
好口感
高品質

38



單位面積  
生產力高

十畝田不如一畝園

39

完全人工光控制型  
植物工廠

電能：市電、  
再生能源(風力、太陽能、  
燃料電池、生質能源)


## 富

人工光源  
空氣調節  
內循環

絕熱材料：  
屋頂、四壁、  
地板

多層式  
立體栽培床架

多種作物  
多種栽培系統



40

知識經濟時代  
體驗經濟時代



學得快、學得徹底、錯得少

41

## 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

- ◎ Kitanaï , 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

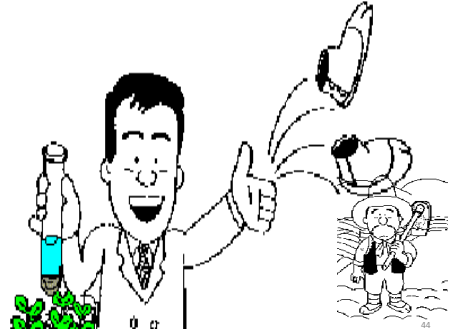
42

### 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

43

### 工作環境舒適化



### 植物工廠帶來**六種變化**

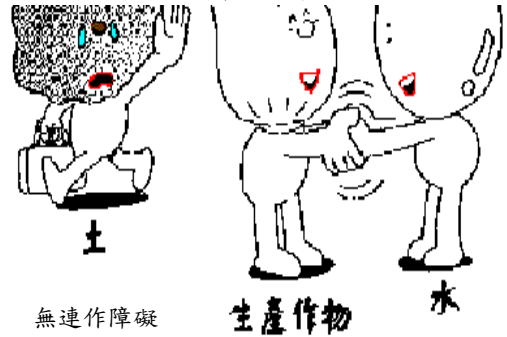
傳統農業

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

45

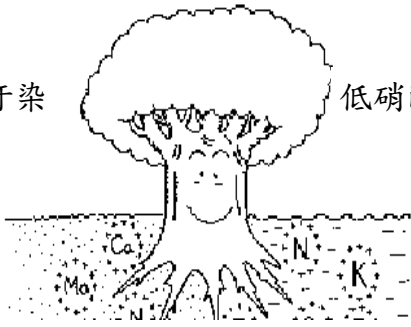
### 與水耕技術結合



46

低汙染

低硝酸鹽



營養液循環使用  
 可隨時監測與調整

47

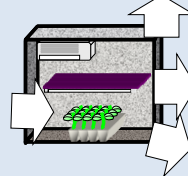
完全人工光源型植物工廠-從水資源角度是否合算?

用水效率計算 Water utilization efficiency

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

Dehumidified by heat pumps for re-use: 2000 kg

Irrigated:  
2100 kg

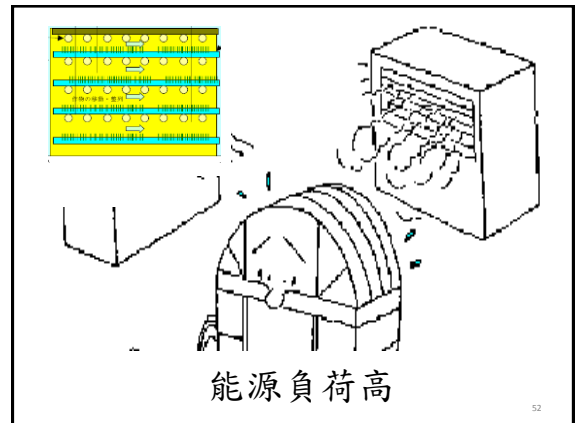
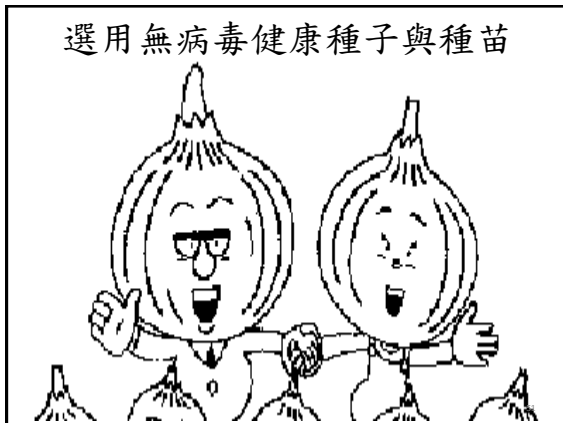
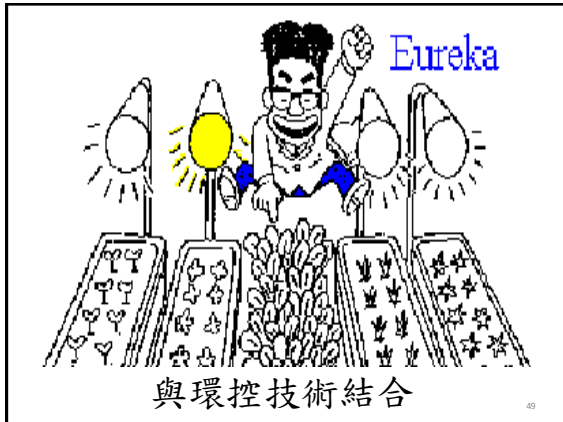


Increase in plants and substrate: 42 kg

Ventilated: 58 kg

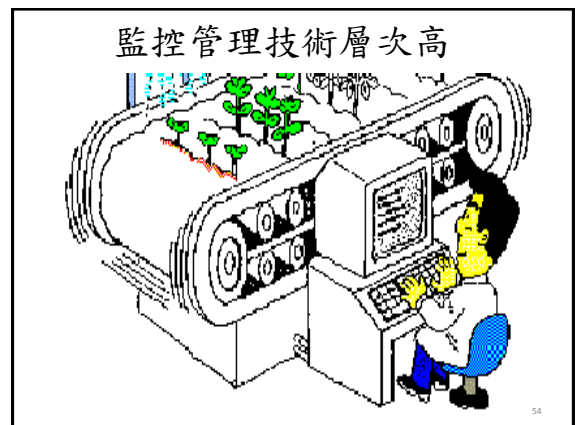
48





完全人工光源型植物工廠-使用冷氣是否很耗電？

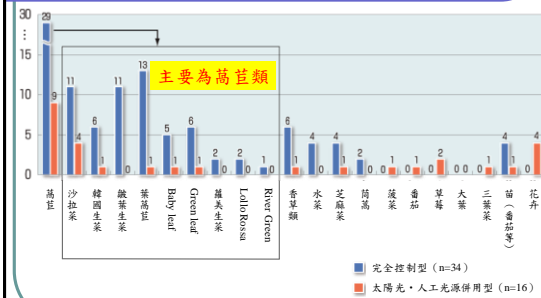
假設使用 COP = 4 的空調熱泵

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


# 植物工廠

確保產品安全、安心、健康  
 兼顧對環境友善、  
 土地及水資源使用節約，  
 具有高產能、低風險  
 允許全年穩態量產、地產地消、  
 產品里程短、碳足跡最少等優點。

## 日本植物工廠栽培品目



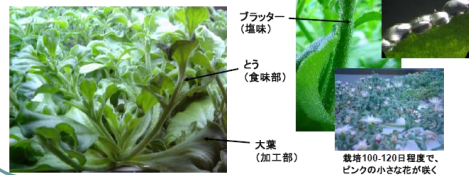
## 日本植物工廠生產常見的蔬菜



## 冰花 Ice plant

新食感の高級野菜！ 風味とプチ食感

- 左賀大学農学部 野菜教授らが商品化。
- 多肉植物。南アフリカ産のザクロソウ科一年草。
- 根から塩化ナトリウムを吸収し、葉や葉にある液状の透明な細胞(プラッター)に蓄積される。
- 乾燥に耐えるとともに、甜度が強い遠征野菜の一つである。
- 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。
- C3-C4中間型植物。乾燥や塩ストレスを与えないと一般的に光合成経路であるC3光合成を行い、乾燥/塩ストレスを与えるとC4光合成へ移行することができる植物。
- アスパラントには、「イノシトール」「ビニール」という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、ビニ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、20-25℃が成長に向き、植物工場栽培向き。



## 大綱

- 簡介
  - 世界趨勢不利農業發展
  - 發展植物工廠具時代意義
- 發展中的無所不在的植物工廠
- 植物工廠使用人工光源的演進
- 植物工廠的產業化
- 台灣大學進行中研究
- 世界上 Vertical farming 的一些構想與進展

## 發展中的 無所不在的植物工廠 Developing Ubiquitous Plant Factory (UPF)

- Facility for Research 研究型
- Facility for Demo and Education 示範與教育型
- Street side/Restaurant/Supermarket 店鋪型
- 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

## 植物工廠的五多

植物工廠允許

- 以**多樣的形式**
- 在**多樣的地區**
  - 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
- 由**多樣的人力**
  - 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**
- 做**多種植物**的產量（葉菜、種苗、小型觀賞作物、蔬果）或趣味栽培或觀賞等

62



## Boston Lettuce grown in NTU Lab



## 2010~2011台北花博未來館

未來庭園



未來客廳



未來廚房



65

## 2010台北花博未來館之未來廚房

植物工廠家電化



## 2010台北花博未來館之未來客廳

植物工廠家具化



## 2010台北花博爭艷館 植物工廠展區

2010/12/25~2011/01/23



## 2010台北花博爭艷館



## 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鋪需要的蔬菜，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

Home Growth Light 家庭菜园      Family Farm 家庭农场      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 卤钨投影照明灯      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 播种期 7 days      2nd stage 育苗期 14 days      3rd stage 育成期 14 days

### 2011 植物工厂开始进入家庭 1/4

## 2011 植物工廠開始進入家庭 2/4



91

## 2011 植物工廠開始進入家庭 3/4



92

## 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

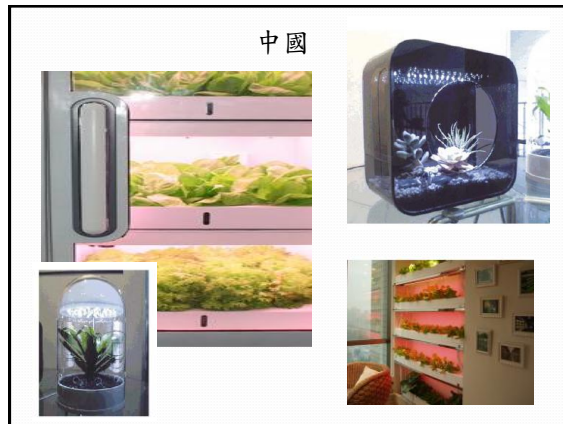
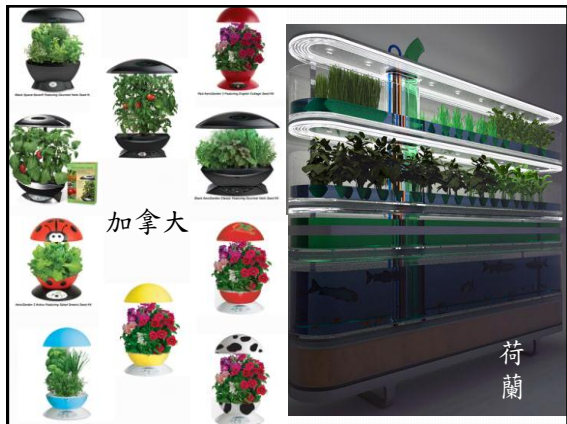
- 趣味、品味、教育
- 生產、生活、生態、生命
- 環保：碳足跡、食物里程
- 健康：生鮮、無農藥/無重金屬污染
- 潔淨：室內空氣清淨、供氧

- 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)

### 植物工廠由 3C 進展到 5C

- Clean：潔淨生產機制 CDM
- Clear：產程透明、可追溯
- COOL: Certification Of Origin Labeling 產地認證
  
- Cheerful 愉悅
- Convenient 方便 (最短的食物里程、最少的碳足跡)





### 植物生長綠牆

- 室內空氣清淨
  - 供氧+吸收CO<sub>2</sub>
  - 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



### 大綱

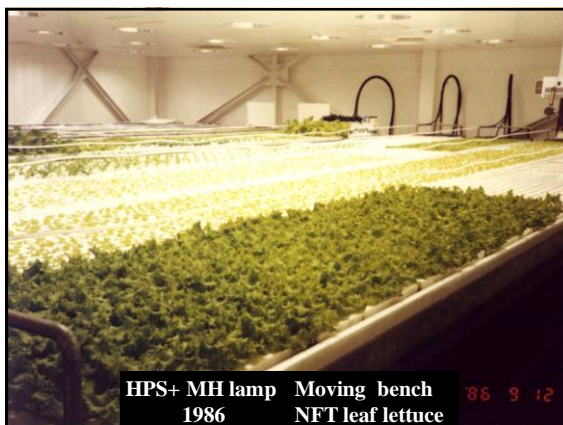
- 簡介
  - 世界趨勢不利農業發展
  - 發展植物工廠具時代意義
- 發展中的無所不在的植物工廠
- **植物工廠使用人工光源的演進**
- 植物工廠的產業化
- 台灣大學進行中研究
- 世界上 Vertical farming 的一些構想與進展

### 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

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





### TS 型式的植物工廠

使用高壓鈉燈，耗電且熱，能源成本極高

T：三角板，S：灑水

### 網路上批評植物工廠的文章 (1/2)

- 以技術層次而言，半密閉型植物工廠由於成本低，因此相對利潤高，其代價是需要高層次的科技技術。
- 全密閉型植物工廠，生產成本高昂，技術層次需求反而低，不容易得到生產利潤。因此**只是一些有錢國家的奢侈品。**

[http://amebse.nchu.edu.tw/new\\_page\\_393.htm](http://amebse.nchu.edu.tw/new_page_393.htm)

### 網路上批評植物工廠的文章 (2/2)

- 在成本比較方面，則顯示此為植物工廠的致命傷。以日本農林水產省的調查數據為例，在2005年，**1公頃**的植物工廠其成本與養液栽培用溫室之比較如下：

	植物工廠(A)	溫室栽培(B)	A/B
設置成本	3.1億日圓	1800萬日圓	17倍
能源成本	1860萬日圓	40萬日圓	47倍

[http://amebse.nchu.edu.tw/new\\_page\\_393.htm](http://amebse.nchu.edu.tw/new_page_393.htm)

### 原文

表6 植物工場と施設生産のコスト比較 (10a当たり)

植物工場の新設費、維持費は従来の施設に比べてはるかに高額です。

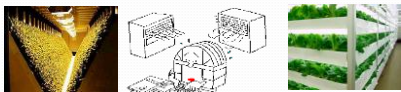
	植物工場1) (A)	施設生産2) (B)	A/B
設置コスト	3.1億円	1,800万円	17
ランニングコスト(光熱費)	1,860万円	40万円	47

1) 植物工場は、本社TSファームタイプ (720㎡) の完全密閉型施設の値に基づく  
2) 施設生産は、ビニールハウスでネウレンソウ等の養液栽培を行うM農園 (858㎡) の値に基づく

日本農林水産研究報告編號14 號 (2005)

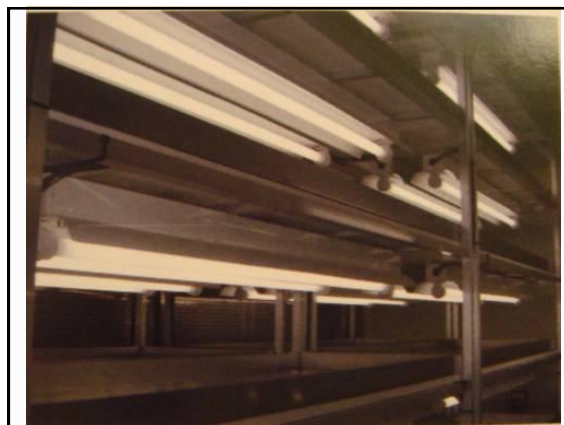
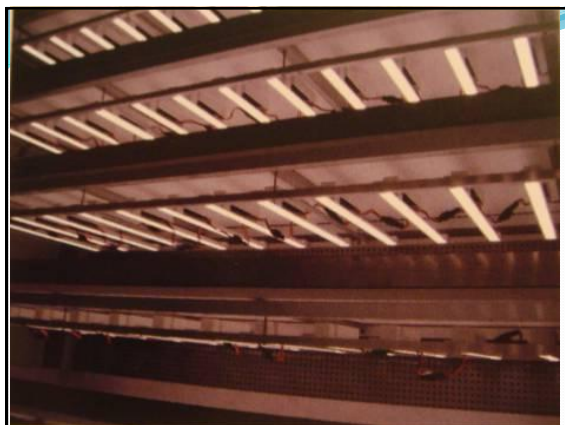
## 錯誤與盲點指正

- 錯誤：兩者的面積換算成 1000 m<sup>2</sup>，不是 1 公頃。
- 盲點：
  - 此為2005年舊資料，拿來批評新技術，有失公允。
  - 該型植物工廠為 TS type，使用高壓鈉燈，不僅照明成本高，產生熱能多，空調負荷也大。
  - 面積相同，產能差別不大，利基不能凸顯。
  - 以栽培嫩葉苗菜為主，能維持獲利，主因是可以每14 天採收。
  - 有些公司迄今已營運十多年，仍能存活，可見不是完全不可行。
  - 新技術：耗能少了許多，產能大了許多。



2012/2/29

115





### 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。



124





## 大綱

- 簡介
  - 世界趨勢不利農業發展
  - 發展植物工廠具時代意義
- 發展中的無所不在的植物工廠
- 植物工廠使用人工光源的演進
- **植物工廠的產業化**
  - 台灣大學進行中研究
  - 世界上 Vertical farming 的一些構想與進展

### 超越了工農業的新產業

- 人工光利用型植物工廠採用了製造業生產的光源、空調、測量控制、節電、隔熱及資訊等相關技術。從這一意義上來說，植物工廠具有“**工業性**”。
- 而植物培育本身又是一種生命現象，需要採用農業和農學相關的栽培技術及經驗，所以又具有“**農業性**”。
- 不僅二者缺一不可，而且可以說是一種超越了工農業的新產業領域。

129

### 更具寬廣的格局

- 植物工廠涉及**製造業**、**服務業**以及包含**福利及保健**在內的**健康產業**
- 植物工廠是可滿足多樣性需求的產業
- 植物工廠是可以同時綜合解決環保問題、糧食問題、能源資源問題、高齡化及貧富差距問題的基礎技術之一

130

## 植物工廠

士農工商融合的最佳示範平台

研究：士  
栽培：農  
設備：工  
行銷：商

} 新興產業

131

### 技術面



132

### 植物工廠是把生產行為複雜化了嗎?

不是的  
 是單純化了  
 透過科技的投入 (資金的投入)  
 把風險降低了  
 把無法掌控的因素去除了  
 於是  
 農產品可以像工業產品在工廠一樣的被量產  
 可以固定品質/產期/產量/成本  
 這是被稱為植物工廠的緣由

133

### 植物工廠是工廠嗎?

不是的!  
 所以不需要受經濟部工業局工廠管制條例與  
 管理辦法的約束與限制

134

### 植物工廠生產的蔬菜是有機蔬菜嗎?

不是的!  
 在台灣,  
 有機蔬菜必須種在土裡  
 必須接受到陽光的照射  
 必須不能使用化學肥料

有點落伍?  
 是的!

135

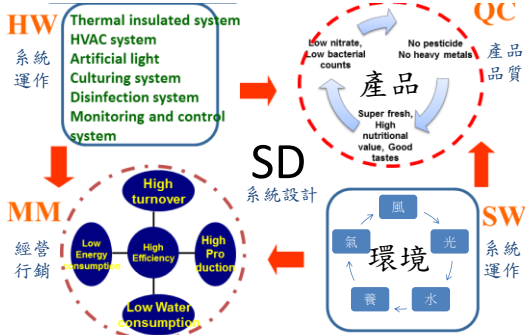
### 植物工廠要如何成功營運

- 系統運作 (HW, SW) 正常
  - 產品品質 (QC) 特優/極優/優
  - 高效經營 (Managing)
  - 市場行銷 (Marketing) 多元、高調、品牌
- 先要有高品質才能談品牌
- 系統設計 (System Design) 最關鍵 (慎始)



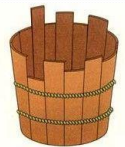
136

### 處處是關鍵/陷阱/機會/商機



137

### 植物工廠 -- 農工商融合的新產業



138

## 農工商融合\_農業區塊

- 軟體系統的整合
- 各類作物的標準化栽培法
  - 播種、育苗、育成
- 新產品的開發
  - 葉菜、香料
  - 中草藥、小型果菜、小型觀賞作物
  - 芽菜、苗菜、嫩葉
  - 特色作物
    - 富營養：高鈣（小松菜）、高Vit. A, Vit. C（嫩葉）、（冰花）
    - 防癌養生：（青花椰菜苗、紫高麗菜苗）
    - 特殊風味：芝麻菜
- 新應用市場的開發：以苗菜作為飼料
- 相關資材的開發



139

## 農工商融合\_工業區塊

- 硬體系統的整合
  - 多層式栽培床架
    - 浮板
    - 循環灌溉系統
  - 室內滅菌系統
    - 空氣環境
    - 水體環境
  - 氣體環境監控系統
  - 水體環境監控系統
  - 人工光源
  - 隔熱庫板資材
  - 資通訊技術的結合
  - 自動化技術的整合
    - 播種機、收穫機
    - 水平輸送裝置
    - 上下層輸送裝置
- 家電型
- 貨櫃型
- 家具型
- 研究型
- 量產型
- 環境監控單元
- 影像監控單元
- 電力系統
- 變電系統
- 穩壓系統
- 再生能源電力轉換



140

## 農工商融合\_商業區塊

- 硬體的行銷與授權使用
- 相關資材的銷售
- 軟體的行銷與授權使用
- 蔬果產品行銷通路的擴建
- 異業結盟商機的擴展
  - 餐廳/超市/店鋪：示範、小規模量產
  - 建築：家庭農場、社區農場
  - 加工、生技醫療、飼料產業等



141

## 投資 -- 工程經濟分析

142

### 植物工廠A與溫室B用於育苗的比較

	完全控制型 植物工廠 (A)	溫室 (B)	比 (A/B)
地板面積	15 m <sup>2</sup>	210 m <sup>2</sup>	<b>0.071</b>
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 <sup>2</sup>	4.3 (=64/15)	1.1 (=230/210)	3.9
每年苗生產總數	589,824株 (=32x288x64)	596,160株 (=18x144x230)	<b>0.99</b>
每年單位面積苗 生產數	39,321株 / m <sup>2</sup> (=589,824/15)	2,839株 / m <sup>2</sup> (=596,160/210)	<b>13.4</b>

143

### 植物工廠A與溫室C用於育苗的比較

	完全控制型 植工 A	溫室 C	比例 A/C
床面積	91 m <sup>2</sup> (四層)	1250 m <sup>2</sup>	<b>0.073</b>
週轉次數 / 年	<b>19</b>	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 <sup>2</sup>	2.8	0.4	7
全年生產數量	350208 株	144000 株	2.43
單位面積生產數量	3848 株 / m <sup>2</sup>	115 株 / m <sup>2</sup>	<b>33.5</b>

144



用於育苗，投資植物工廠較划算

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

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

145

用於短期葉菜栽培

基於

人工光源、空調

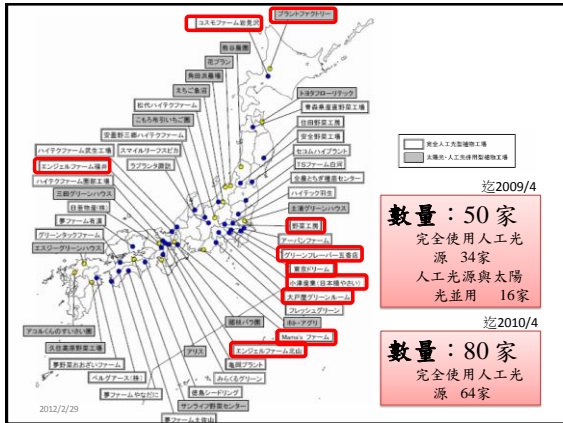
隔熱資材

感測與控制

滅菌

等軟硬體技術的高速發展

植物工廠用於短期葉菜栽培已不僅僅是經濟上可行，通路無礙的話，可以是高獲利。



局部資料彙整

廠名	地板面積 (栽培面積) m <sup>2</sup>	層數	產能 株/日	單位面積年產能 kg/m <sup>2</sup> /yr	造價 千	造價 萬/千株	造價 萬/m <sup>2</sup>
Green Flavor	(66)	7	300	(166)	2178萬	7.26	33
OoToya	(160)	7	350	(80)	5280萬	15	33
Urban Farm	546 (400)	9	1200	67 (91)	1.2億	10	(30)
Ozu	(500)	7	1500	(110)	1.65億	11	33
Mirai	(1000)	10	4000	146	3.3億	8.25	33
Fairy Angle	2870	10	8000	102	15億	18.7	51.9
Mirai	(3000)	10	10000	122	9.9億	9.9	33

\* 假設每株 100g，全年 365 天連續產

148

售價：0.3 NTS/g

人工智慧經濟分析

日產量 株/日	年產量 萬株/年	年營業額 萬	年淨利 萬	設廠成本 1.4 萬NTS/株	投資金額 萬	投資報酬 IRR
300	10.5	12.6	378	168	420	-14%
400	14	16.8	504	224	560	-14%
500	17.5	21	630	280	700	-14%
600	21	25.2	756	336	840	-14%
700	24.5	29.4	882	392	980	-14%
800	28	33.6	1008	448	1120	-14%
900	31.5	37.8	1134	504	1260	-14%
1000	35	42	1260	560	1400	-14%
1500	52.5	63	1890	840	2100	-14%
2000	70	84	2520	1120	2800	-14%

日本的設廠投資為 7-18 萬日圓/株，約 2.8-7.2 萬台幣/株

149

每株成本 20 年收穫天數 350 售價：0.3 NTS/g 每株售價 36 單株均重 120g

設廠成本 1 萬NTS/株	設廠成本 1.4 萬NTS/株	設廠成本 1.8 萬NTS/株
投資金額 萬	投資金額 萬	投資金額 萬
投資報酬 IRR	投資報酬 IRR	投資報酬 IRR
2年 3年 4年 5年	2年 3年 4年 5年	2年 3年 4年 5年
300 8% 31% 42% 48%	230 1% 25% 36% 42%	360 -4% 19% 31% 37%
400 8% 31% 42% 48%	440 1% 25% 36% 42%	480 -4% 19% 31% 37%
500 8% 31% 42% 48%	550 1% 25% 36% 42%	600 -4% 19% 31% 37%
600 8% 31% 42% 48%	660 1% 25% 36% 42%	720 -4% 19% 31% 37%
700 8% 31% 42% 48%	770 1% 25% 36% 42%	840 -4% 19% 31% 37%
800 8% 31% 42% 48%	880 1% 25% 36% 42%	960 -4% 19% 31% 37%
900 8% 31% 42% 48%	990 1% 25% 36% 42%	1080 -4% 19% 31% 37%
1000 8% 31% 42% 48%	1100 1% 25% 36% 42%	1200 -4% 19% 31% 37%
1500 8% 31% 42% 48%	1650 1% 25% 36% 42%	1800 -4% 19% 31% 37%
2000 8% 31% 42% 48%	2200 1% 25% 36% 42%	2400 -4% 19% 31% 37%

150

**售價：0.5 NTS/g**

PF 工程經濟分析									
每株成本		年收穫天數		單株均重		設廠成本		2 萬NTS/株	
每株	售價	20	350	120g	2	投資金額	投資報酬 IRR	2年	3年
日產量	年產量	年營業額	年淨利	投資金額	投資報酬 IRR	2年	3年	4年	5年
株/日	kg/日	萬株/年	噸/年	萬	%				
300	36	10.5	12.6	630	420	600	26%	49%	59%
400	48	14	16.8	840	560	800	26%	49%	59%
500	60	17.5	21	1050	700	1000	26%	49%	59%
600	72	21	25.2	1260	840	1200	26%	49%	59%
700	84	24.5	29.4	1470	980	1400	26%	49%	59%
800	96	28	33.6	1680	1120	1600	26%	49%	59%
900	108	31.5	37.8	1890	1260	1800	26%	49%	59%
1000	120	35	42	2100	1400	2000	26%	49%	59%
1500	180	52.5	63	3150	2100	3000	26%	49%	59%
2000	240	70	84	4200	2800	4000	26%	49%	59%

**售價：0.5 NTS/g**

PF 工程經濟分析									
每株成本		年收穫天數		單株均重		設廠成本		1 萬NTS/株	
每株	售價	20	350	120g	1	投資金額	投資報酬 IRR	2年	3年
投資金額	投資報酬 IRR	2年	3年	4年	5年	投資金額	投資報酬 IRR	2年	3年
300	107%	128%	135%	138%	450	54%	76%	85%	90%
400	107%	128%	135%	138%	600	54%	76%	85%	90%
500	107%	128%	135%	138%	750	54%	76%	85%	90%
600	107%	128%	135%	138%	900	54%	76%	85%	90%
700	107%	128%	135%	138%	1050	54%	76%	85%	90%
800	107%	128%	135%	138%	1200	54%	76%	85%	90%
900	107%	128%	135%	138%	1350	54%	76%	85%	90%
1000	107%	128%	135%	138%	1500	54%	76%	85%	90%
1500	107%	128%	135%	138%	2250	54%	76%	85%	90%
2000	107%	128%	135%	138%	3000	54%	76%	85%	90%

**台(美國進口)日韓(植物工廠量產)生鮮萵苣產品超市售價**

199~249 NT\$/ for 142 g (1.4~1.75 NT\$/g)  
 ¥360 for 120 g (1.2 NT\$/g)      70 NT\$/ for 50 g (1.4 NT\$/g)  
 ¥198 for 60 g (1.32 NT\$/g)

**台灣(泰國進口)植物工廠量產生鮮沙拉/香料產品超市售價**

109 NT\$/ for 60 g (1.81 NT\$/g)  
 65 NT\$/ for 30 g (2.16 NT\$/g)      199~209 NT\$/ for 142 g (1.4~1.47 NT\$/g)

**成本：20 元/株      LED vs. T5**

20呎貨櫃式植物工廠					
栽培天數	天	LED單價	700	NTS	
每禮拜收穫	120	NT	333	NTS	
電費	3	NT	18000	NTS/每	
硬體	50000	NTS/每	6993	NTS/每	
LED一箱	27	支(20W)	77.76	NTS/day	4.51
T5一箱	21	支(28W)	95.26	NTS/day	5.56
總架層數	3	層			
人力	2150	NT\$/月	工人月薪3萬，每次移植花費工人2hs (1/4 天)，每週收成兩次每月收成		

**LED 燈管**

**T5 燈管**

**成本：20 元/株      LED vs. T5**

LED燈管		T5燈管	
燈管	4.54 NTS/head	電費	6.12
冷氣(COP4)	1.13 NTS/head	冷氣(COP4)	1.39 NTS/head
風扇	0.41 NTS/head	風扇	0.41 NTS/head
氣泵	0.01 NTS/head	養液	1.314
水泵	0.03 NTS/head	折舊	9.80
二氧化碳	0.48 NTS/head	人力	4.18
種子	1 NTS/head	種子	1 NTS/head
海绵	0.2 NTS/head	海绵	0.2 NTS/head
養液	1.31 NTS/head	養液	1.31 NTS/head
水	0.004 NTS/head	水	0.004 NTS/head
硬體折舊(10年)	7.99 NTS/head	硬體折舊(10年)	7.99 NTS/head
LED折舊(5年)	1.81 NTS/head	TS折舊(2年)	1.68 NTS/head
人力	4.18 NTS/head	人力	4.18 NTS/head
總和	23.10 NTS/head	總和	24.24 NTS/head
收成重量	148.3 g/head	收成重量	72.8 g/head
每100g成本	15.58 NTS	每100g成本	33.29 NTS

## 大綱

- 簡介
  - 世界趨勢不利農業發展
  - 發展植物工廠具時代意義
- 發展中的無所不在的植物工廠
- 植物工廠使用人工光源的演進
- 植物工廠的產業化
- 台灣大學進行中研究**
- 世界上 Vertical farming 的一些構想與進展

## 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

### 精緻農業高效節能植物工廠 (台大校內先導計畫)



### 精緻農業高效節能植物工廠 (台大校內先導計畫)

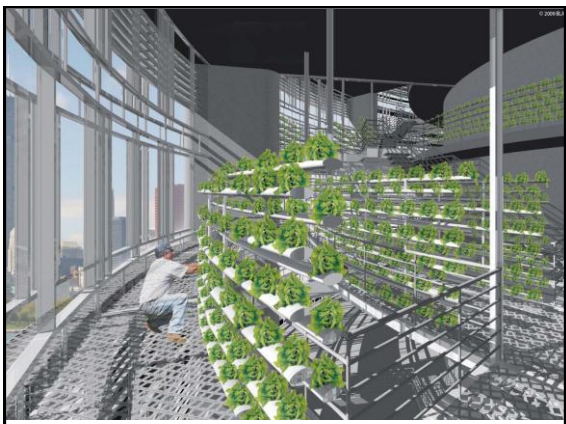


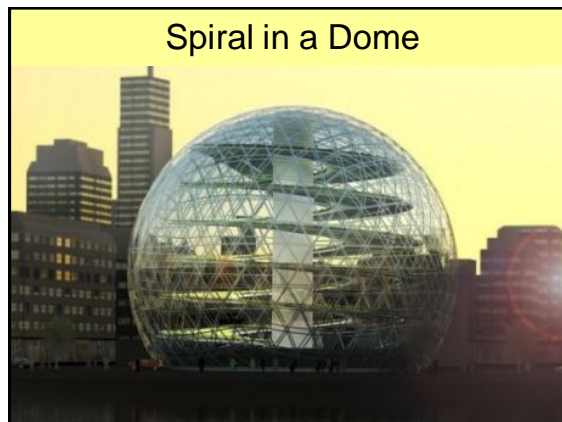
## 人才培訓與推廣

- 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

## 進行中研究與推動項目

- 建置植物工廠所需基礎材料與設備的成本降低
- 植物工廠產品與系統的價值創造
- 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
- 植物工廠節能節水減碳的研究與綠色能源應用
- 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





此些 Vertical Farming 的構想  
目前都是經濟上不可行，  
也多停在構想階段。  
建築師非常需要園藝工程人員  
的加入以確保成功運作。

By 方堯 · 2012

目前在東亞各國積極推動的  
Plant Factory  
比 在歐美推動的  
Vertical Farming  
更務實，更可行，更有獲利性。

By 方堯 · 2012

