



環境控制 在生物產業的應用

方煒

台灣大學生物機電工程學系

環境控制為工程界之重要領域，主要包括

- ❁ 加熱 (Heating)
- ❁ 通風 (Ventilating)
- ❁ 空氣調節 (Air Conditioning)

機械領域中HVAC應用範圍

- ❁ 中、大型建築物，住宅的空調
- ❁ 工業空調
 - ⌘ 現場(spot)加熱/冷卻，環境實驗室，
 - ⌘ 印刷業、紡織業：濕度控制
 - ⌘ 精密零件，無塵室：溫、濕度與粉塵控制
 - ⌘ 照相產品：溫、濕度控制
 - ⌘ 電腦室：溫、濕度控制
- ❁ 交通工具空調
- ❁ 食品儲藏、輸送與陳列
- ❁ 食品加工：乳品、飲料
- ❁ 化學與加工工業：液態氣體等

生物產業
領域
環境控制的
應用範圍

以
植物的
微氣候
為例

❁ 植物之上方、頂層葉冠部、底部區域

- ❁ 輻射環境：太陽或人工光照之能量、光譜分佈狀況以及光照時間等。
- ❁ 氣體環境：水蒸氣、氧氣、二氧化碳及其它如乙烯、二氧化硫等氣體。

❁ 根部區域

- ❁ 氣／液環境：水與氣體之比例、營養溶液之可利用分佈與施用時間。
- ❁ 養分環境：礦物質含量、鹽分及生長基質與營養液之pH值。
- ❁ 物理環境：根部基質物之物理性質包含陽離子交換能力、持水能力及密度等。
- ❁ 生化環境：有機廢棄物之清除及有益之微生物。

環境控制在生物產業 的應用範疇更為廣闊

需調控因子包括：

⌘ 環境：空氣，水，光，介質

⌘ 環境內：營養，雜質，病蟲害

🌸 工程生物學

🌸 機械與電子

🌸 感測與控制

🌸 資訊與系統

環控農業在新世紀成為顯學

- 因應**新常態**的生產型農業對策首選為投入環控農業的發展
 - 各國的環控農業（包括**溫室、植物工廠、養魚工廠等**）的產業規模快速增加
 - 各國陸續舉辦相關論壇、成立協會、成立研發中心
 - 相關產業在國際間快速擴散

環控農業

SOLUTIONS FOR WORLDWIDE CHALLENGES AHEAD

Controlled Environment Agriculture (CEA)

CEAg: **A**griculture 園藝、畜牧

CEAq: **A**quaculture 水產養殖

CEAp: **A**quap**o**nic**s** 複合養殖

Under COVER



環控農業工程學 – 1994 - 迄今

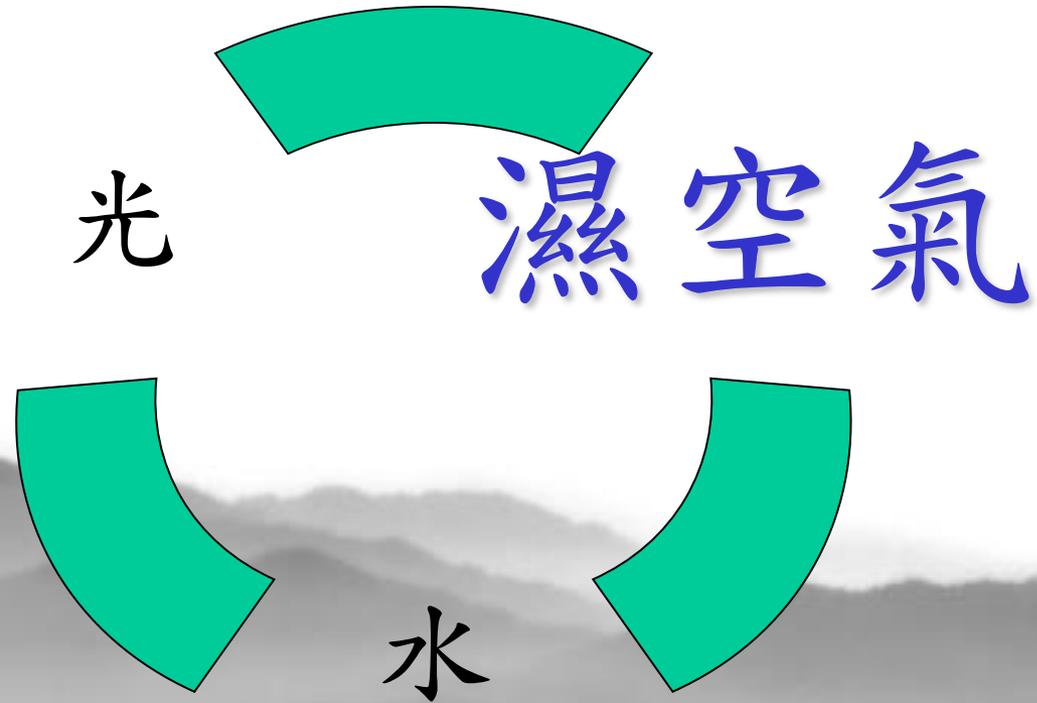


課程大綱:

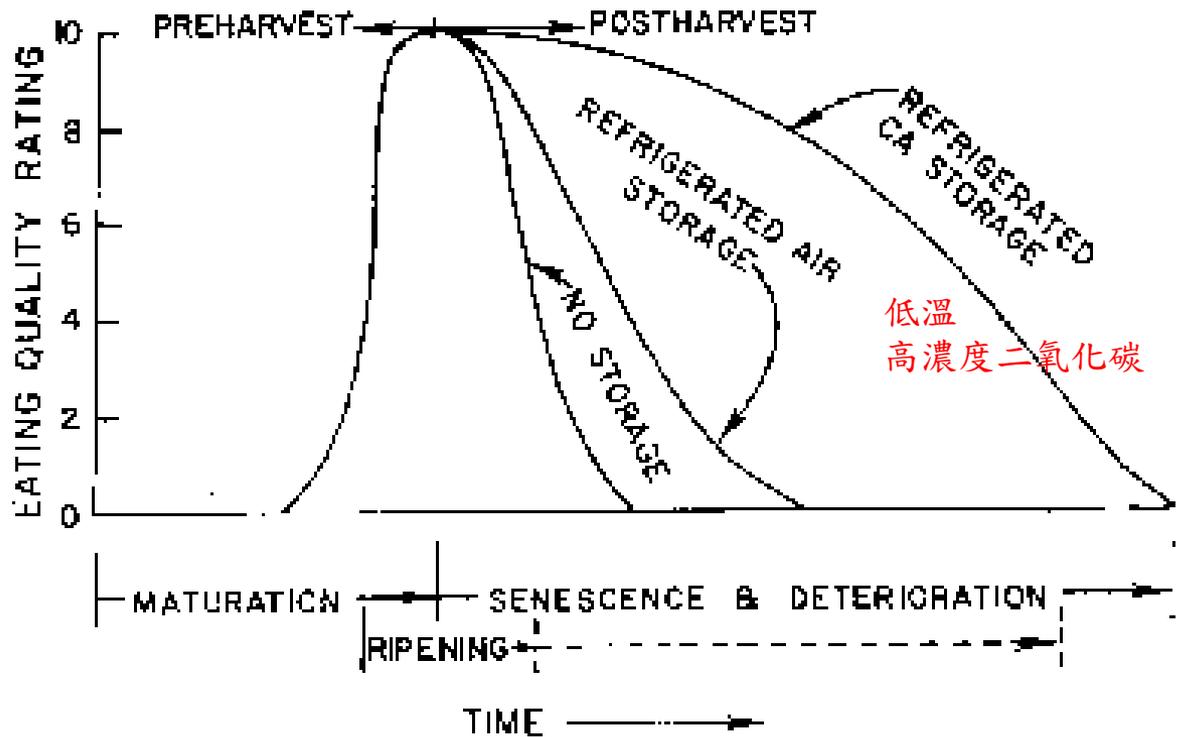
1. [環境控制在農業的應用](#) (Chap1) [[pdf \(Draft\)](#)] [[FinalCopy](#)] (網站導覽)
2. [Matlab簡介與討論區](#) [MATLAB Tutor](#) (pdf)
3. [濕空氣的熱力學性質](#) (Chap2 Eng) [工程基礎](#) [上課簡報](#) (相關軟體)
4. [熱傳學基本原理](#)(Chap3 Eng)(Appendix) (相關軟體)
5. [穩態熱傳分析](#)(Chap4 Eng)(Appendix) (相關軟體)
6. [穩態質量守恆與穩態能量守恆](#)(Chap5 Eng)(Appendix) (相關軟體)
 - a.透明被覆材料之光學性質 (Glazing)
7. [通風系統風量率的決定](#)(Chap6 Eng)(Appendix) (相關軟體)
8. [通風控制與降溫效果量化指標的建立](#)(Chap10 Eng) (Duty&Wea)
 - a.本省溫溼度及太陽輻射量與作物之需求 (WeaPlot)
9. [絕熱與防水材料的選擇與計算](#)(Chap7)(Appendix)
10. [自然通風](#)(Chap11)
10. [自然通風](#)(Chap11)
11. [環境因子對禽畜之影響](#)
 - a.禽畜舍降溫總論
 - b.畜舍環控技術(草食動物)
12. [溫室的故事](#)
 - a.首部曲-溫室簡介
 - b.二部曲-溫室聯合體

環境控制在生物產業的應用

水蒸氣+空氣的混合物
有別於氣體與氣體的混合物



收穫後處理: 儲藏、運輸、包裝



- 預冷，保鮮
- 低溫儲藏
- 低溫氣調CA儲藏
- 氣變MA儲藏

- 光補償點給光
(低溫弱光儲藏)

- 乙烯吸收

環境控制下的生態農業

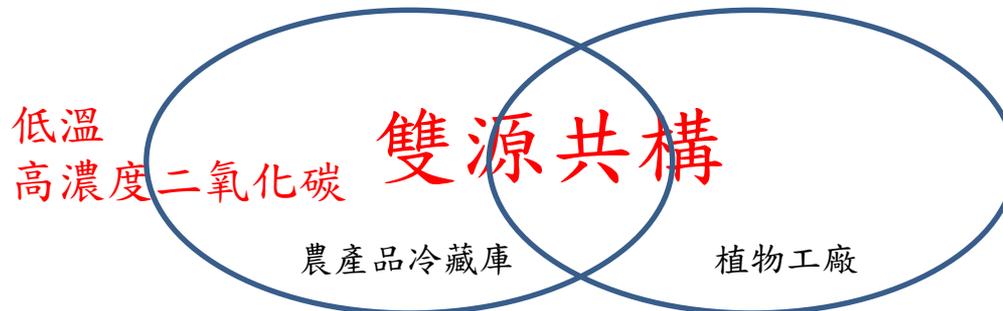
- 轉廢為寶

- 農產品冷藏庫定期排放的廢氣通常仍在 10 度C 以下

- 可做為植物工廠低溫來源 (能源)

- 農產品冷藏庫會產生 CO₂

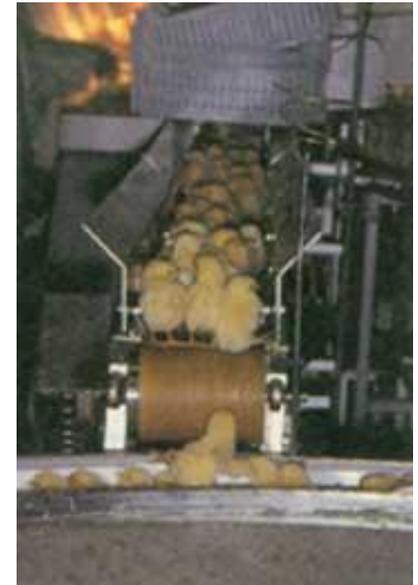
- 可做為植物光合作用的原料 (碳源)



菇舍



孵化室



養蟲室

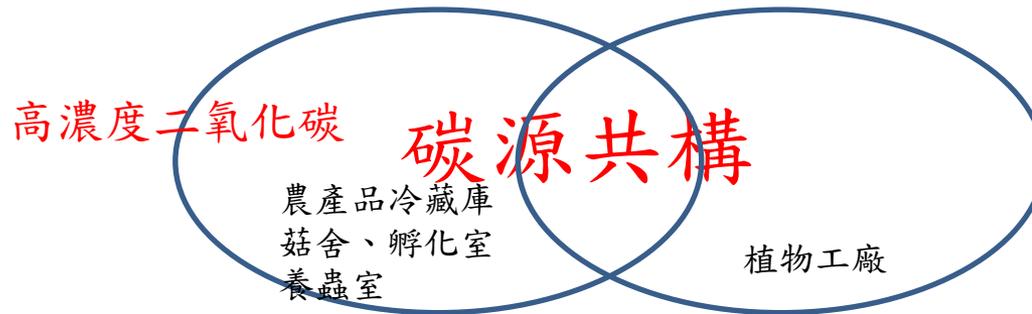


環境控制下的生態農業

- 轉廢為寶

- 農產品冷藏庫、菇舍、孵化室、養蟲室等均會產生 CO_2

- 可做為植物光合作用的原料（**碳源**）

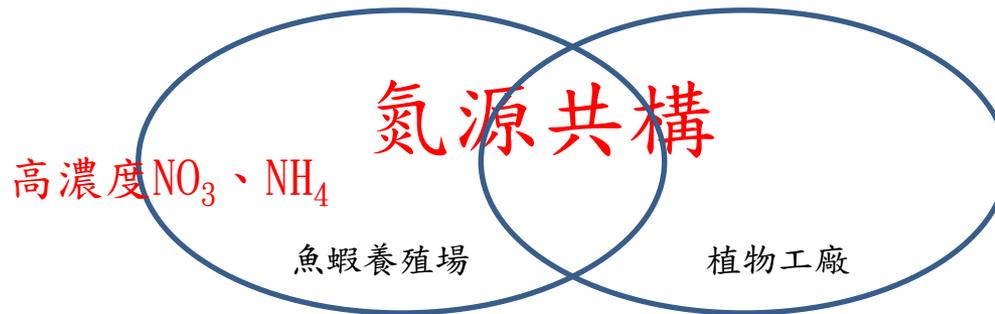


環境控制下的生態農業

- 轉廢為寶

- 養魚/蝦工廠的廢水含高濃度**銨氮廢棄物**

可做為植物營養來源 (**氮源**)



三源共構的環境控制下的生態農業

- 轉廢為寶

- 農產品冷藏庫定期排放的廢氣通常仍在 10 度C 以下
可做為植物工廠低溫來源 (能源)

- 農產品冷藏庫、菇舍、孵化室、養蟲室等均會產生 CO₂
可做為植物光合作用的原料 (碳源)

- 養魚工廠的廢水含高濃度銨氮成分
可做為植物營養來源 (氮源)

有沒有一種**動物性蛋白質生產系統**，
使用
最少的資源（土地、水、人力與能源等），
對環境的影響小，
而能夠
在最短的時間內
提供高品質的動物性蛋白質？



畜、禽、蟲舍

- 經濟動物

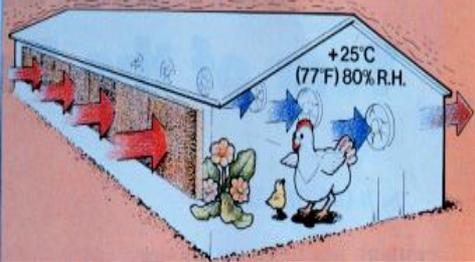
- 豬舍
- 雞舍
- 牛舍
- 羊舍
- 鹿舍
- 兔舍 等

- 實驗用/特用動物/昆蟲

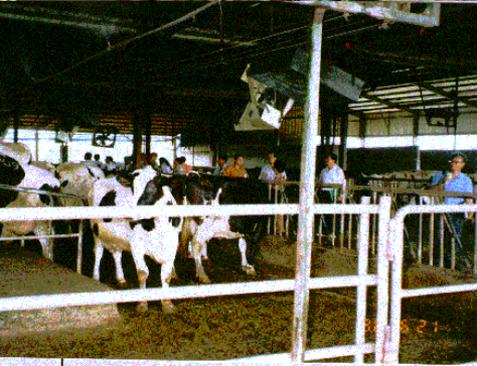
- 鼠
- 兔
- 蛙
- 蛇
- 蟲：蟋蟀、麵包蟲、大麥蟲、蠅蛆、
蚯蚓、黑水虻等
- 其他

黑水虻 (*Hermetia illucens* L.)，腐生性的水虻科昆虫，能够取食禽畜粪便和生活垃圾，生產高價值的動物性蛋白飼料，因其繁殖迅速，生物量大，食性廣泛、吸收轉化率高，容易管理、飼養成本低，動物適口性好等特點，被廣泛量產進行資源化利用。

+35°C (95°F) 30% R.H.



禽畜舍環境控制

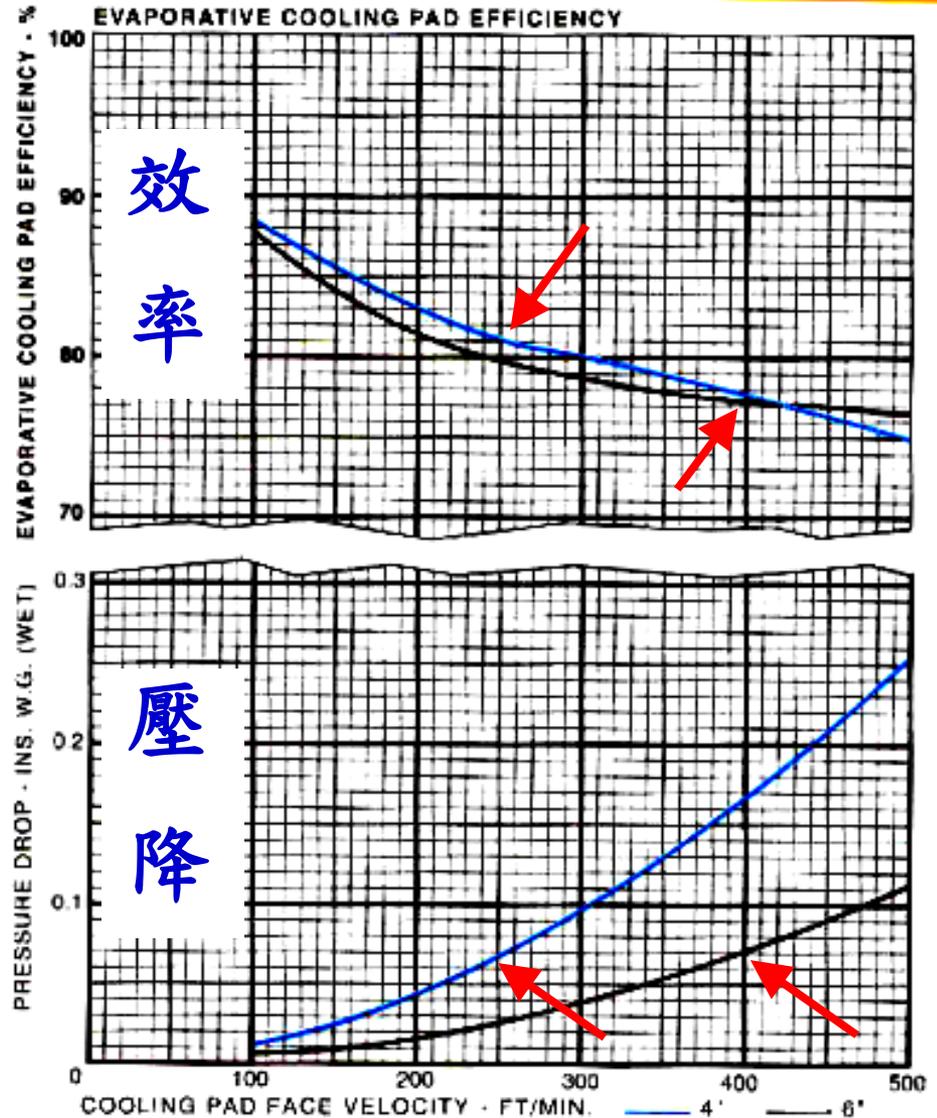


- ❁ 台灣三大禽畜產動物：雞、豬與牛
- ❁ 開放式雞舍 → 環控密閉式雞舍
(推廣成功)
- ❁ 開放式豬舍 → 環控密閉式水簾豬舍
(推廣有限)
- ❁ 開放式牛舍 → 環控密閉式水簾牛舍
(推廣失敗)

風機水簾降溫系統

■ 最適通風速率：

- 250 ft/min (1.27 m/s) for 4" (10 cm) pad
- 400 ft/min (2.0 m/s) for 6" (15 cm) pad
- 以上風速可得80%效率
0.08" 水柱(約20Pa)壓降
- 以上風速適合小動物，
植物；不適合大動物。



肉雞/蛋雞：2-4 kg，豬：200 kg，牛：400-600 kg

對大動物適合的風速

❁ 5 – 10 m/s

⌘ 水簾效率變得很低
($< 50\%$)

⌘ 水簾壓降變得很大
($> 50\text{ Pa}$)

對大動物適合的 蒸發冷卻降溫系統



10 m/s 時

效率 92%

壓降 30 Pa

正壓式多層網式噴霧降溫法 (方, 2002)

負壓式多層網式噴霧降溫法 (方, 2002)



多吃蟲、救地球



- 可作為
 - 食物、飼料、餌料
- 高蛋白、高轉換、低排放
 - 黑水虻
 - 黃粉蟲(麵包蟲)
 - 蟋蟀
 - 蚯蚓

<http://www.cw.com.tw/article/article.action?id=5067593>

聯合國糧農組織估計，飼養同樣重量的情況下，黃粉蟲所產生的溫室氣體，只有豬的百分之一。

昆蟲救地球：未來農業

- 昆蟲的生產成本極低、資源投資報酬率高，對環境的衝擊比傳統畜牧業與養殖業都小很多
- 只需要餵食廚餘、農業廢棄物、甚至屠宰場的動物廢棄物。

有機廢棄物 →



食材、飼料、中藥

蚓糞土
(堆肥、土壤改良)

蚓糞水
(有機液態肥料)

農業循環經濟/生態農業 (魚菜共生/養耕整合)



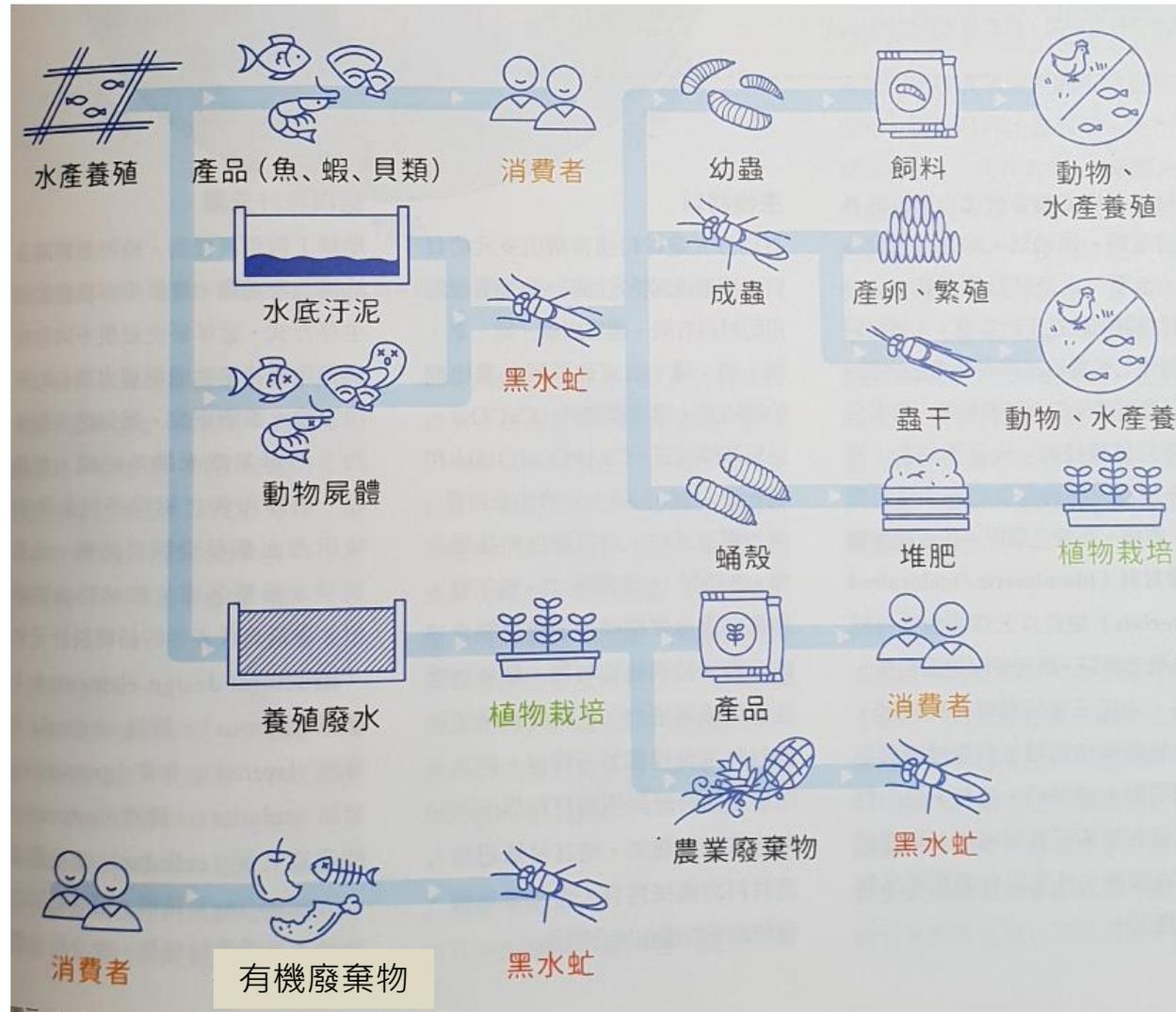
養殖水
養蟲
種菜

農業循環經濟（生態農業）

- 要全年穩態經營
- 環控為重點
- 室內養殖
- 室內養蟲
- 室內種菜

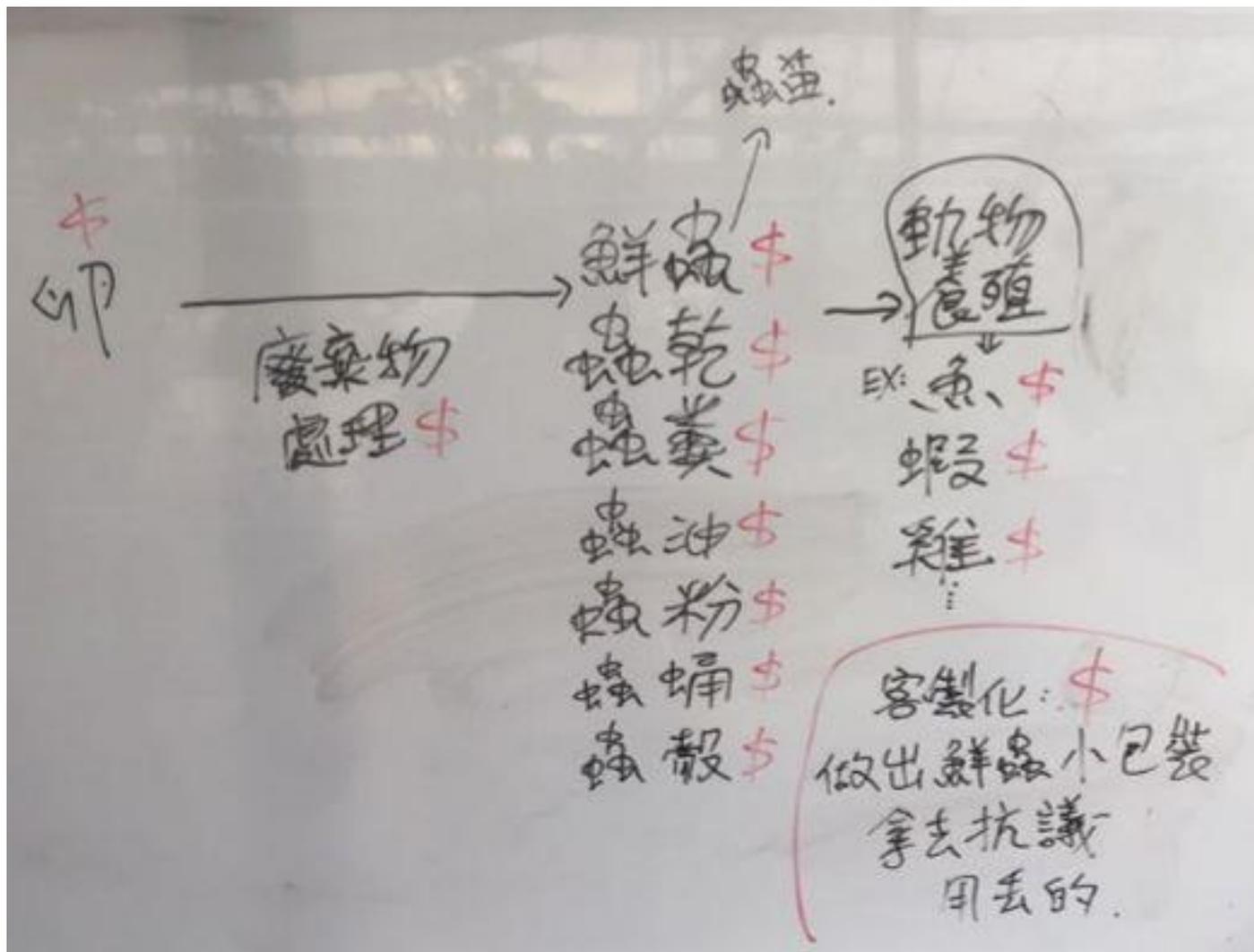
富

水田
蟲墅
菜田





業者認知的 的養蟲商機



有沒有一種**作物生產系統**，
使用
最少的資源（土地、水、人力與能源等），
對環境的影響小，
而能夠
在最短的時間內
栽培出高品質的農產品？



溫室的不同分類

- 量產溫室
- 觀賞溫室
- 實驗溫室

- 密閉溫室
- 半密閉溫室

- 簡易溫室
- 半精密溫室
- 精密溫室

- 塑膠布溫室
- 塑膠板溫室
- 玻璃溫室

- 組織培養室
- 育苗溫室
- 育成溫室
- 景觀溫室
- 溫室餐廳

- 自然通風溫室
- 強制通風溫室
- 補光溫室
- 精密環控溫室

環境調控

- 調節 *Modification* – of environmental variables, one factor or level at a time
- 模擬 *Experimental Simulation* – of natural environmental phenomena
- 調控 *Manipulation* – of one or more environmental variables, static or dynamic



溫室 環境 控制

- ❁ 自然通風/強制通風/防蟲網
- ❁ 負壓式蒸發冷卻降溫
- ❁ 正壓式蒸發冷卻單元機(側吹式、下吹式)
- ❁ 遮光法：內遮蔭、外遮蔭、外鋪蓋
- ❁ 遮光法：塗料
- ❁ 屋頂灑水法
- ❁ 內部空氣循環用之風扇
- ❁ 風機噴流法 (Fan-Jet)
- ❁ 冷熱水根溫調節系統
- ❁ 桌面型熱/冷水管加熱/降溫系統
- ❁ 無沙水泥地底部加熱/降溫系統
- ❁ 冷凍循環法：壓縮式、吸收式
- ❁ 乾燥除濕法：液體除濕、固體除濕
- ❁ 補光：高壓鈉燈、LED

The “Value added” of Environmental Containment & Control 環境調控的加值

Discovering the genetic limits of different plant species to respond to defined environments

- Production time of crops can be reduced**
- Yield per cycle can be enhanced**
- Yield increase x time reduction = enhanced annualized CE productivity**



Advantage of CEA vs. OFA

Ability to grow value-added crops...

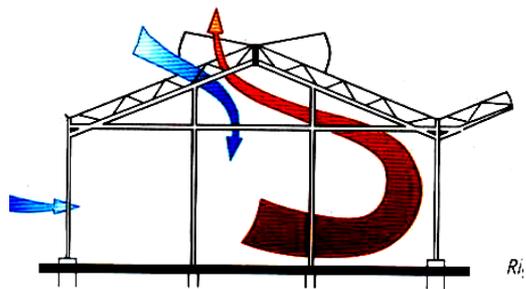
- anywhere
- anytime
- faster
- more productively
- reduced chemical inputs
- soilless culture
- containment
- less risk



Productivity of crops grown in Open-Field Agriculture (OFA) vs. Controlled-Environment Agriculture (CEA)

Crop	Cropping Time (days)		Cycles / year		Yield / cycle (g x m ⁻² x 10 ⁻³)		Fold-increase (CEA / OFA)
	OFA	CEA	OFA	CEA	OFA	CEA	
Soybean	130	80	1	4	0.59	1.57	10.6
Tomato	160	67	1	5	12.91	17.00	6.6
Lettuce	55	22	2	15	2.40	6.00	18.8
Sugar Beet	140	100	1	3	5.29	14.67	8.3
Peanut	125	90	1	4	0.28	0.80	11.4
Cabbage	110	90	2	4	2.69	9.00	6.7
Spinach	75	60	2	6	2.20	5.00	6.8
Potato	110	80	1	4	3.79	12.40	13.1
Wheat	120	65	1	5	0.40	1.00	12.5

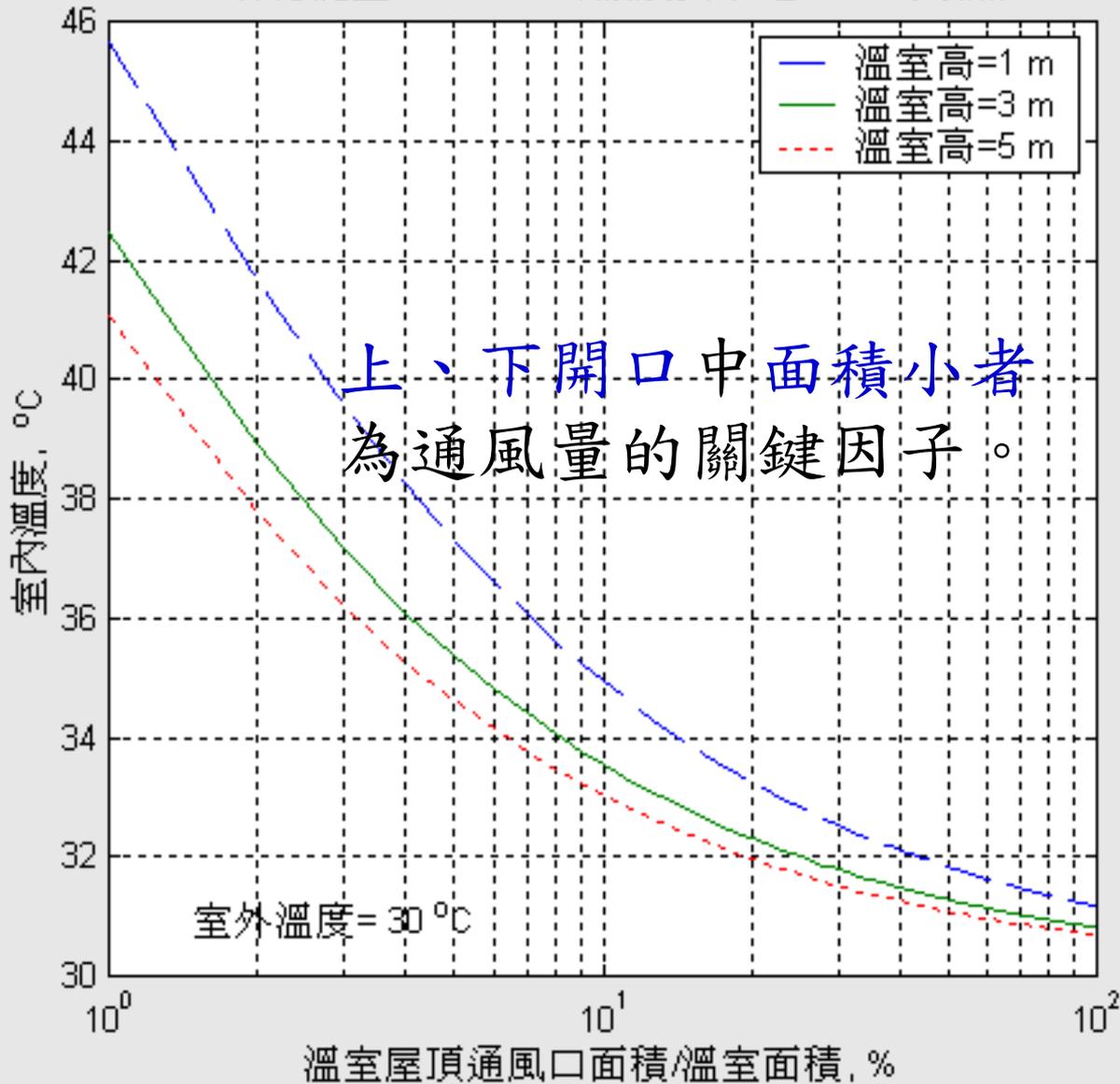




自然通風



入射總能量 = 500 W/m^2 , 假設其中之 35% 為顯熱



上、下開口中面積小者為通風量的關鍵因子。

室外溫度 = $30 \text{ }^\circ\text{C}$

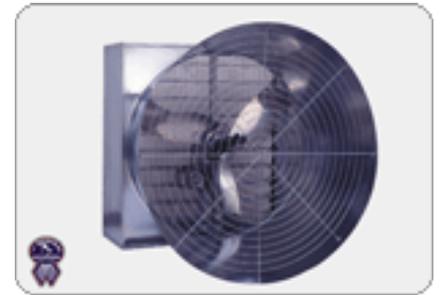
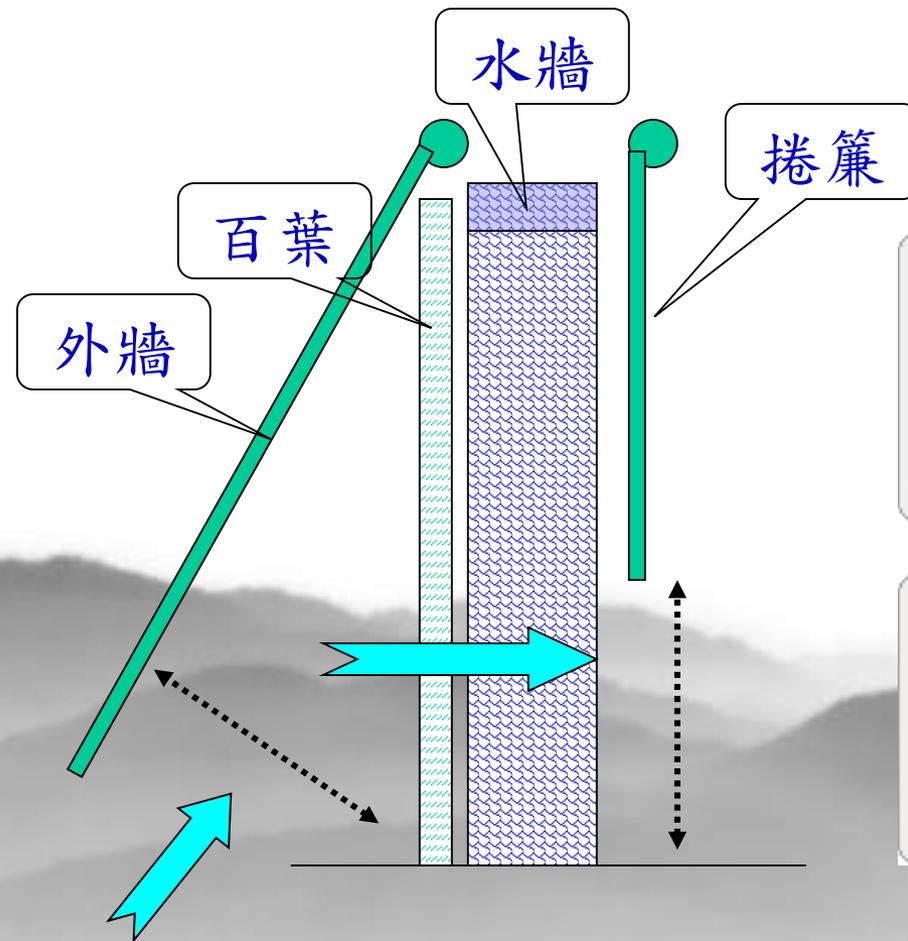
防蟲網

防蟲網
(32mesh,
網目開口
=0.6mm)
會增加不
少壓降

防蟲網面積
應 > 水簾
片面積

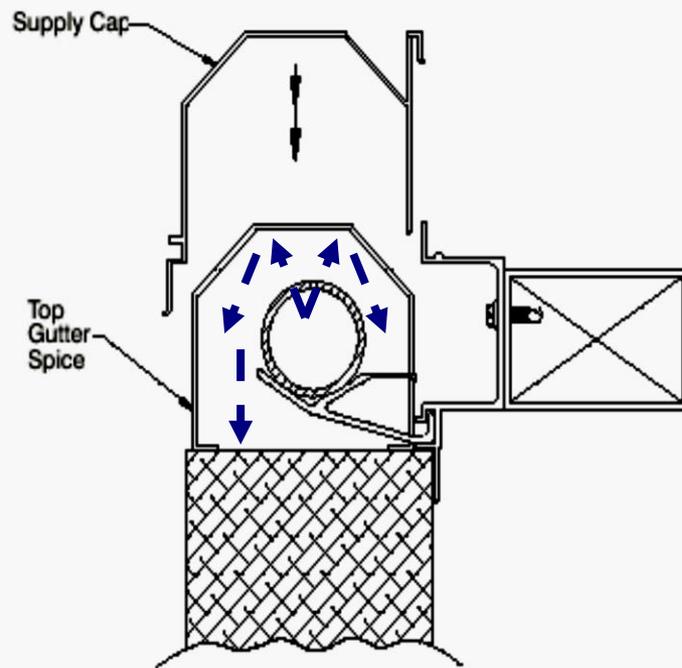
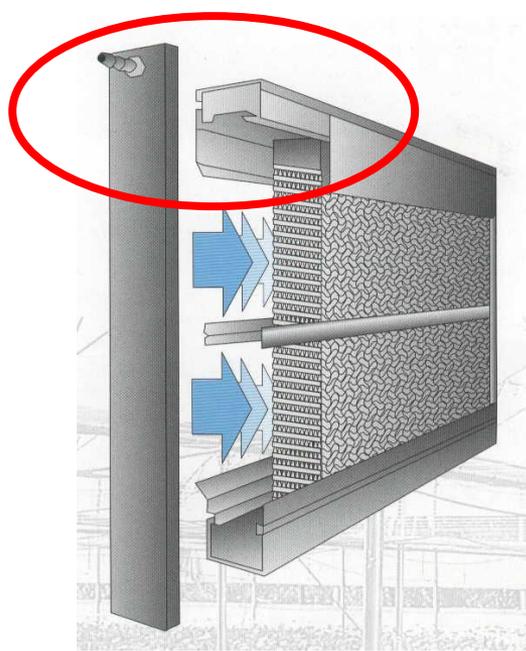


調整水簾開口之目的
在保持通過水簾時的
最佳風速





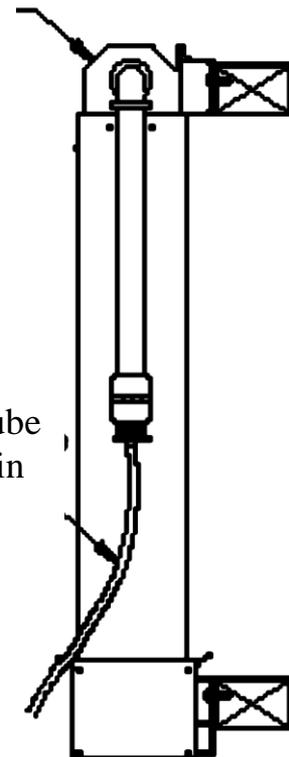
入出水口的 正確設計



Bleed off end

Bleed off tube
to floor drain
or outside

**NOTE: DO NOT Drain
Back Into Return Gutter.**



不同
水簾
材質



蝴蝶蘭
平地
催花
冷房



蝴蝶蘭催花冷房



75坪/20噸 冷氣

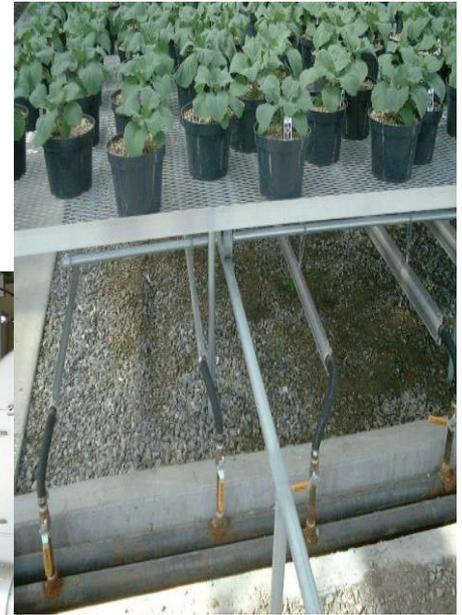
溫室加熱系統：熱風+風管



溫室 加熱 系統

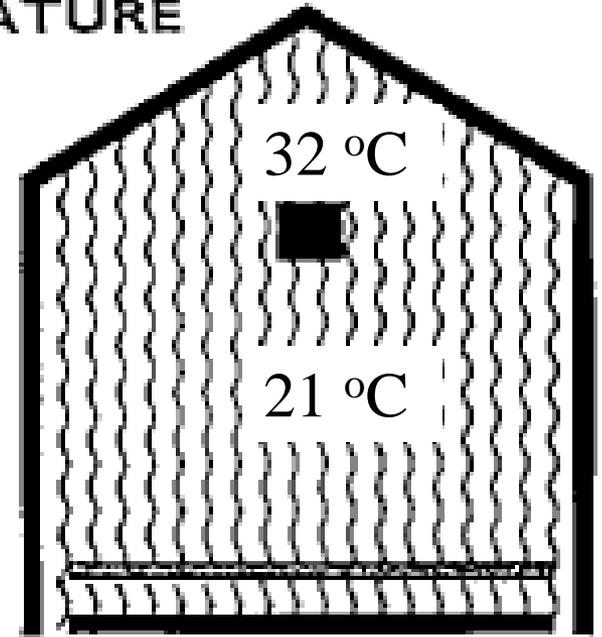
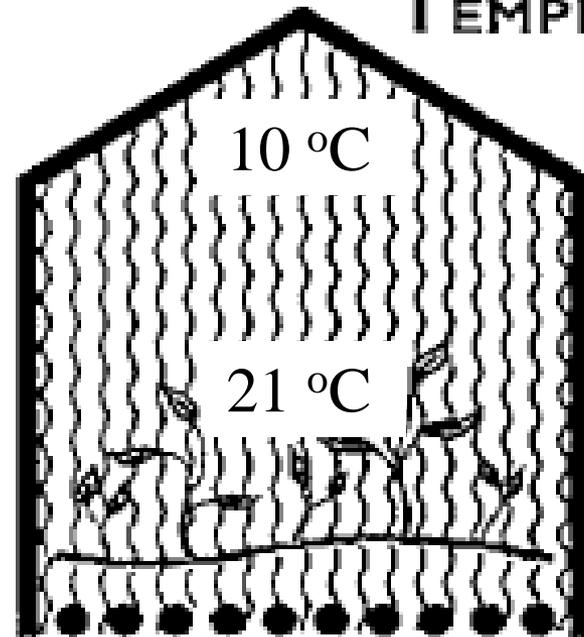
- ❁ 日本市場要求蝴蝶蘭『五葉一心』：夜溫不得低於18度C
- ❁ 秋、冬季與早春必須長時間加熱
- ❁ 考慮成本，鍋爐燃燒熱水的加溫方式，勢在必行。
- ❁ 補充二氧化碳，熱電共生為附帶可行。

溫室加熱系統：鍋爐+熱水管

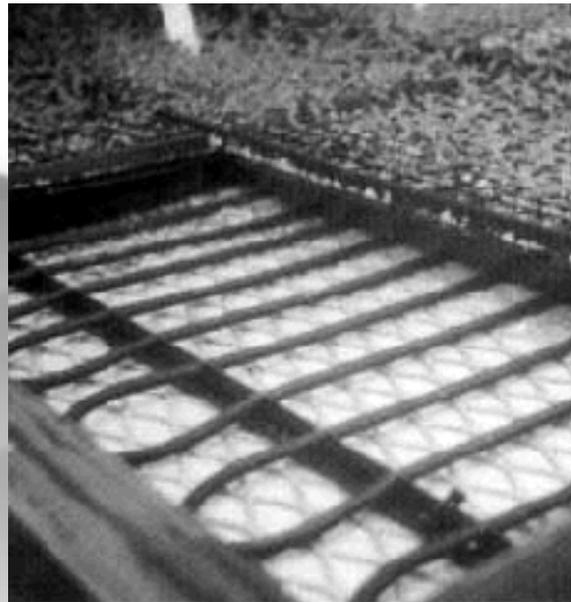
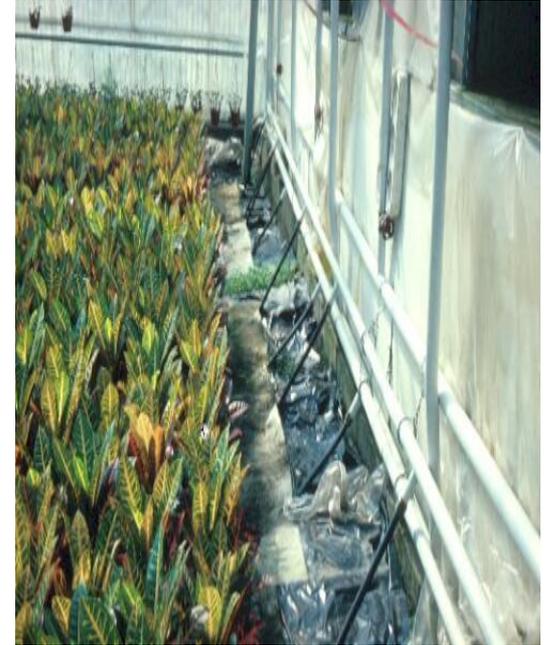


底部加熱 vs. 上方加熱

4.4 °C OUTSIDE
TEMPERATURE



溫室加熱系統：地底加熱

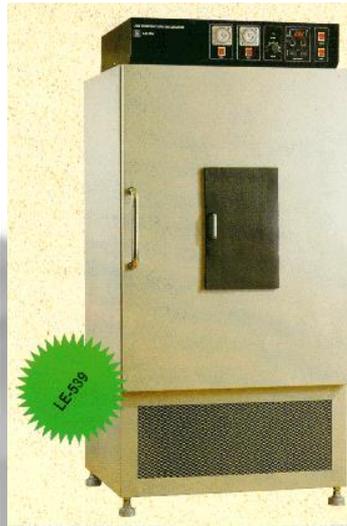
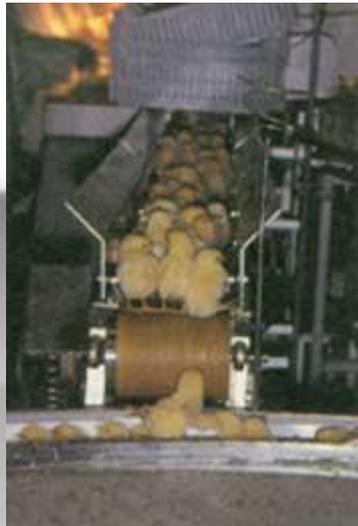
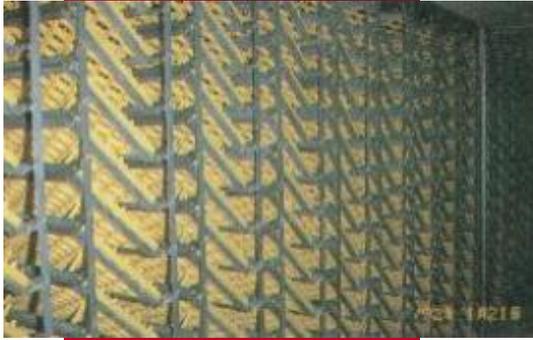


植床加熱

動、植物園的環境控制



特殊環控室：孵化室/生長箱/組培室/ 馴化箱/嫁接苗癒合養生室



組織培養瓶

❁ 物理

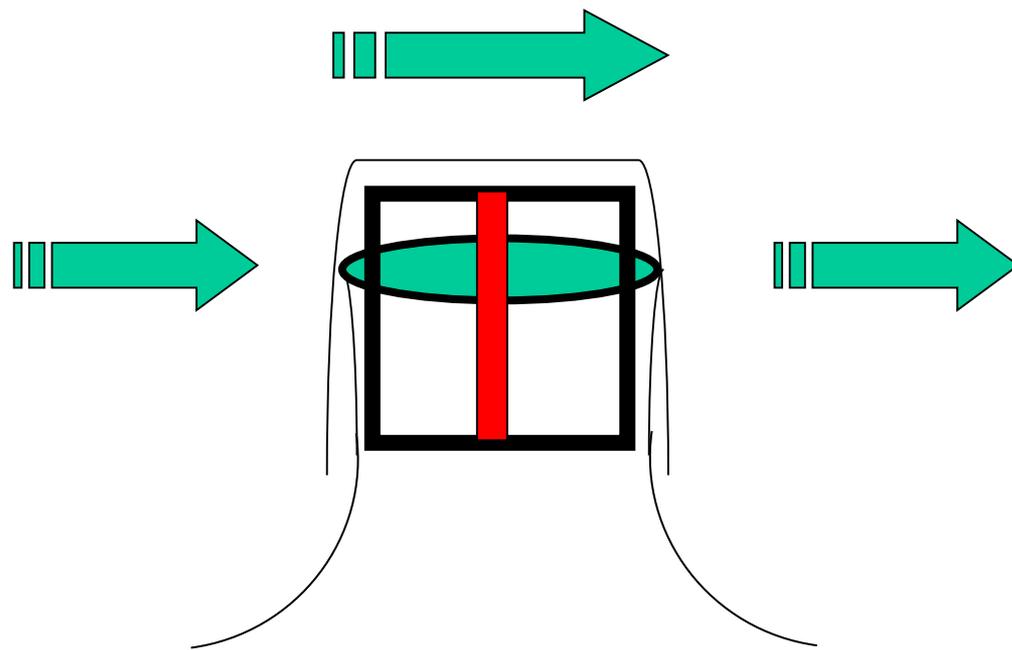
- ❁ 透氣率，
- ❁ 氣體濃度
- ❁ 光量，光質
- ❁ 光週期
- ❁ 溫度，溼度
- ❁ 滲透壓



❁ 化學

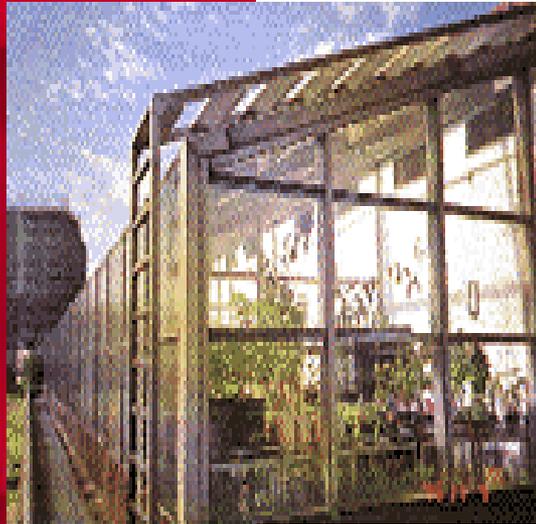
- ❁ 培養基配方

組培
室散熱
使用
Pad
&
Fan
系統



- ❁ 組培瓶塞加蓋配合持續吹風，可減少灰塵附著與降低感染。

人工氣候室 BIOTRON

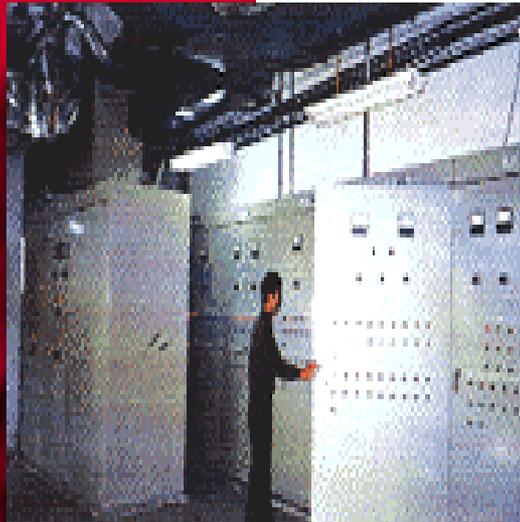


PhytoTron (植物)

ZooTron (動物)

InsecTron (昆蟲/微生物)

AquaTron (水產)



- 冷氣降溫
- 玻璃頂層流水
- 移動式清洗支架

植物 工廠

❁ 狹義

❁ 在完全人工環境下的全年無休的植物生產系統

❁ 廣義

❁ 在一定生產管理下的全年無休的植物生產系統

❁ 太陽光利用型

❁ 完全控制型

❁ 綜合型

精密溫室的再進階版本→全人工光型植物工廠

- 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

蝴蝶蘭小苗栽培植物工廠



植物量產工程的實現

2001 ISHS 國際園藝研討會 技術參觀景點

植物量產工程相關技術

基本技術

生長的定量化和生長促進**

共通技術

系統的設計**

水耕栽培技術

移動栽培技術**

密植栽培技術**

各式自動化技術**

保溫斷熱資材的選定與利用**

完全控制型

光源與照明設計**

最佳化空調設計**

太陽光利用型與綜合型

最佳化控制技術

熱線吸取、反射資材的開發

全人工光型植物工廠
PFAL

電能：市電、
再生能源(風力、太陽能、
燃料電池、生質能源)

絕熱材料：
屋頂、四壁



多層式
立體栽培床架

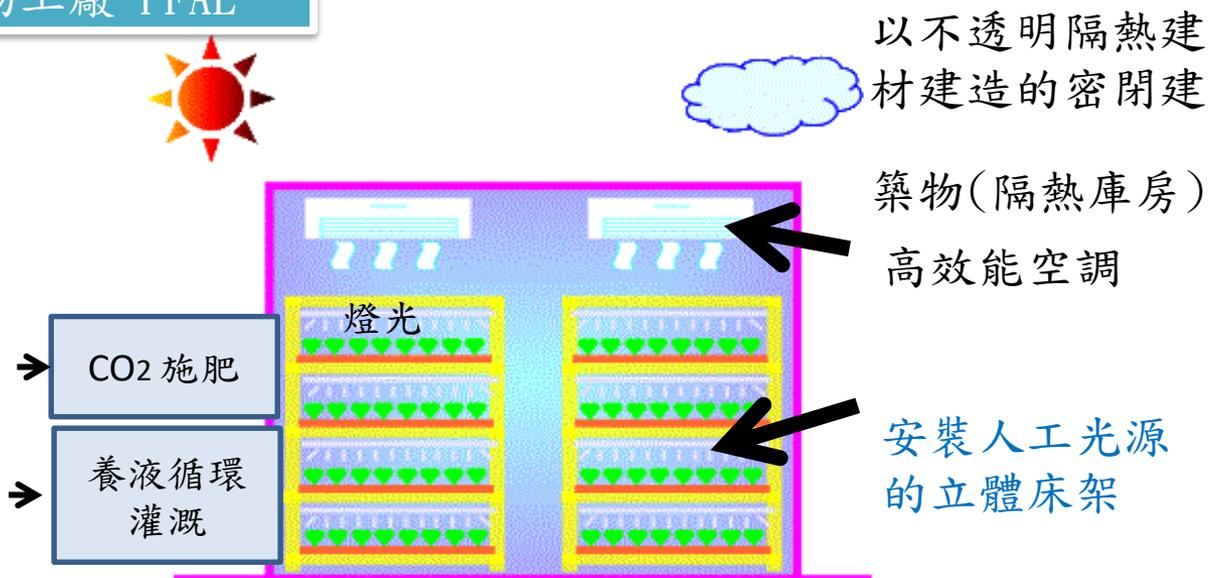
多種作物
多種栽培系統

人工光源

空氣調節
內循環

富

全人工光型 植物工廠 PFAL



整合環境控制：

- 氣體環境控制 (溫、濕度、光量、光週期、風速)
- 環境衛生控制 (空氣滅菌、水體滅菌)
- 養液控制 (濃度、酸鹼度、電導度)
- 光量、營養液濃度與CO₂ 耦合聯控

植物工廠 VS. 溫室

使用效率	植物工廠	溫室
WUE (water)	0.96	0.02 ~ 0.03
CUE (CO ₂)	0.88	0.4 ~ 0.6
LUE (Light energy)	0.027	0.017
EUE (Electricity)	0.007	--

Controlled Environment Agriculture (CEA)



Indoor Agriculture

Indoor Vertical Farming

Indoor Farming

Plant Factory (PF) 植物工廠
Vertical FARM (VF) 垂直農場



Protected Horticulture (PH)

Urban Agriculture (UA)

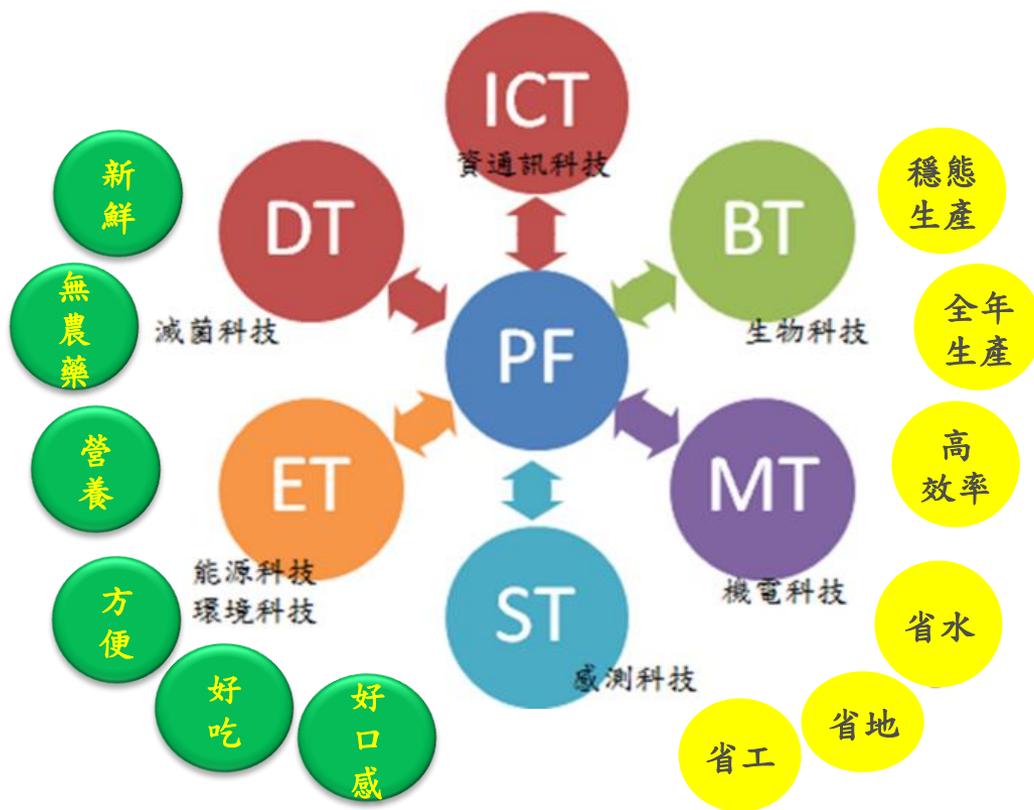
Controlled Environment Horticulture (CEH)



以技術面為核心支持消費面與生產面

消費面

生產面



Warehouse-Based
CEA

Year-round Crop
Production

Daily
Shipment
of Produce

Restricted-Radius
Shipment

OLD MACDONALD HAS A FACTORY

A revolutionary indoor farm takes electric light, seeds, and water and makes gourmet greens and herbs—day or night, rain or shine.

BY ROGER FIELD

The white, windowless building surrounded by fallow cornfields along a rural road in DeKalb, Illinois, has the look of any auto-parts or fertilizer plant. But the 16 "assembly lines" inside churn out a product that could not be more different from that of the average factory: arugula and basil, Bibb lettuce and watercress. Fifteen thousand pounds of gourmet herbs and greens that have never seen the light of day roll off the automated production lines each week, bound for supermarkets and restaurants around the Midwest—and maybe someday soon, if factory designer Noel Davis has his way, around the world.

This \$7 million facility, called PhytoFarm, takes agriculture a giant step beyond the greenhouse and even beyond the relatively high-tech world of hydroponics, in which plants are cultivated in a nutrient solution instead of soil. PhytoFarm is a "controlled-environment," vegetable factory. Plants are grown from seed to edible product on a timetable as dependable as the electric current that powers the factory's million watts of electric lights—without a cloud of dirt in sight. No need to worry about droughts or cloudy days; the only thing that would shut this farm down is a blackout.

"Basically, we convert a lot of electricity, some seeds, a little water, and a few chemicals into food," says Davis. He developed the system in the mid-1970s for General Mills, then bought back the technology from that food giant in 1983 and went into business on his own.

General Mills had sought a quick return on its investment, but the high cost of developing the technology and the cost of electricity killed the company's interest in indoor agriculture. Since taking over, Davis has pared costs, boosted efficiency,

and started to turn a profit. As hungry mouths multiply and arable land shrinks, prospects for factory farms can only grow brighter, he believes. PhytoFarm's productivity makes the point: the 300-by-250-foot factory, covering an acre of land, turns out as much produce as could be grown in 10 acres of greenhouses or in 100 acres of farmland.

If what's going on in there is any indication of what's to come, farming has a dazzling future—literally. Breaking in the brilliant light of 1,024 thousand-watt electric bulbs, row after row of greens and herbs inch along a conveyor system like so many Twinkies or masters. In one corner a machine plants 50,000 seeds a day along a plastic strip containing an absorbent wick that draws in moisture. The seeds, not yet exposed to light, are placed in sealed cabinets that are kept at constant temperature and humidity to encourage germination, which occurs far faster than in conventional agriculture. With spinach, for example, germination time is cut from the standard eight days to just one.

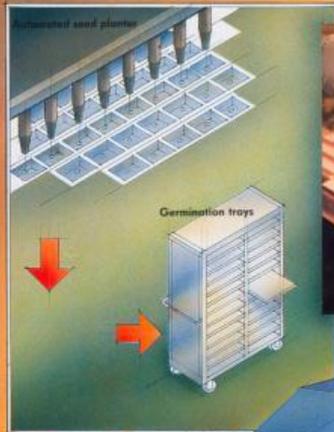
Seedlings then proceed to a "starting area," where they are first exposed to light. When they are large enough to be handled, the seedlings are transplanted to narrow troughs that are placed, one after the other, across the 16 conveyors—8 on each of the two floors—that are at the heart of the factory farm. The conveyors, 141 feet long and 18 feet wide, consist of parallel pairs of worm gears—each a long rotating rod encased with a spiral groove. A trough of plants sits across the rods, resting atop the grooves. As the rods below rotate, the troughs slide forward along the line.

In an ingenious—and patented—twist, Davis has designed the spiral worm gears so that the distance between adjacent grooves increases as one moves along the line. This way, as the troughs are propelled forward a little each day (all the motion takes place each morning, after workers have harvested the day's crop), they also spread farther and farther apart to prevent crowding as the plants grow. The



Even in the depths of winter this highly automated hydroponic farm in rural Illinois produces more than seven tons of vegetables a week.





troughs start out one inch apart; by the end of the line they are five inches apart. At each stage of growth, Davis says, the system maintains the maximum possible density of plants.

Rows of lamps are suspended a few feet above the plants, bathing them with substitute sunshine in an invariant cycle of 17 hours of light and 7 of darkness. Each lamp is housed in a transparent cylinder filled with flowing water, which carries heat away from the lamp and into the factory's heating system

Seeds are planted by a machine. Once sprouted, seedlings are moved to troughs (photo at right).

Carbon dioxide

Loading dock



The self-contained factory has two floors of conveyors. Seedlings are moved to the growing area. They are fully grown by the time they reach the end of the conveyors. Next stop: the table.

Seedling starting area

Packaging area

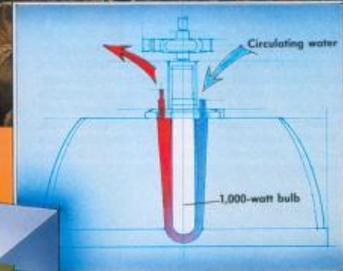
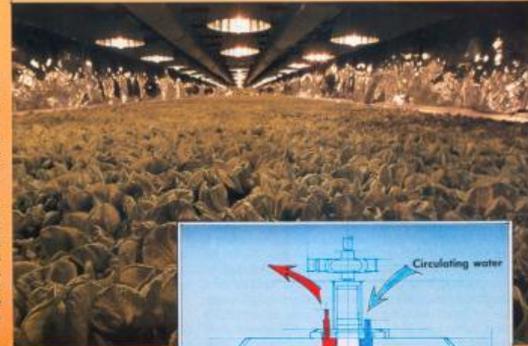
Troughs

Conveyors

Harvesting area

(one of several key components of the system that Davis has patented) Metallic foil sheets hang along both sides of each production line, reflecting stray light back toward the plants and shielding the eyes of the plant's 55 workers.

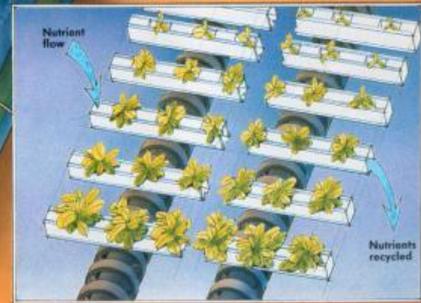
A precisely blended solution of nutrients—nitrogen, phosphorus, potassium, and a host of trace elements such as iron and calcium—flows into the end of each trough and past the plants' roots. At the far end of each trough the solution is drained and re-



Each of the 1,024 light bulbs is encased in a glass jacket that contains circulating cooling water. The bulbs are hung close to the crop (photo above).

A precisely monitored nutrient solution flows into each trough of plants. When it drains from the far end, it is replenished and recycled.

Worm gears





Phytofarms of America
Dekalb, Illinois





Marengo, Indiana









HID Lamps Cooled with 52° F Mine Air



Bt Corn Grown Under HID Lamps in Mine



High-Bay Standardized Growth Room





BT corn from chamber



Dwarf lines in chamber





Corn Growing Under Different HID Lamp Combinations



Dwarf line -
Ear forming in chamber



Dwarf line -
Ear in growth room



植物量產工程

細胞 種苗 成株

- 可以不受季節、病蟲害等之影響。

溫室

- 可以有穩定品質與產能。

- 可以生產無病毒植株。

- 可以透過提供不同stress (T, pH change, Nutrient limitation, Osmotic shock, etc)促使產生二次代謝物。

- 可以透過提供不同前驅基質 (precursors) 生產新的成分物質。

組織培養室

環控室

生物
反應器

靈芝

冬蟲夏草

金線連

蝴蝶蘭

其他....

生物 反應器

- ❁ 提供最適反應環境，使反應能有最大產能
- ❁ 反應器型態：攪拌式，氣泡管柱，氣舉式等
- ❁ 操作型態：連續式，批式，饋料式
- ❁ 生物觸媒：微生物細胞，動物細胞，植物細胞與酵素
- ❁ 成長型態：固定式，懸浮式
- ❁ 產物：細胞，種苗，微生物，二次代謝物，氫氣

二次代謝物

- ❁ 1986 三井石油化學公司成功以工業化量產方式成功培養紫根素(shikonin)與黃蓮(berberine)
- ❁ 1991日東電工公司以植物細胞培養生產人蔘精之工業化
- ❁ 紅豆杉培養細胞提煉紫杉醇治療子宮癌，胰臟癌

生物反應器 生產微生物 產氫

- ❁ 微生物經代謝氧化釋放的電子經放氫媒的催化，與氫離子結合產生氫氣。
- ❁ 控制微生物的生長，即控制產氫量。

生物反應器 生產微生物

- ❁ 基因重組的大腸桿菌與酵母菌：好氧下培養，用來表現真核細胞的蛋白質
- ❁ 基因重組的乳酸菌：厭氧下培養
- ❁ 饋料批式高密度發酵培養：配備**營養源饋料裝置**的一般攪拌式生物反應器
- ❁ 饋料方式：
 - ❁ Pre-determined: Constant feeding, increased feeding, exponential feeding
 - ❁ Feedback: 量測基本參數

Feedback type 生物反應器 環控項目

直接量測

1. 基質濃度控制：直接線上量測碳源（葡萄糖）濃度，並控制。

間接量測

1. 溶氧控制：耗氧性細胞代謝基質時會耗氧。溶氧上升，表示基質耗盡。
2. 酸鹼控制：調整碳源與氮源的供應，控制pH於適當範圍
3. 二氧化碳產生速率： CO_2 下降代表碳源匱乏
4. 細胞濃度控制：透過濁度計或光感測器

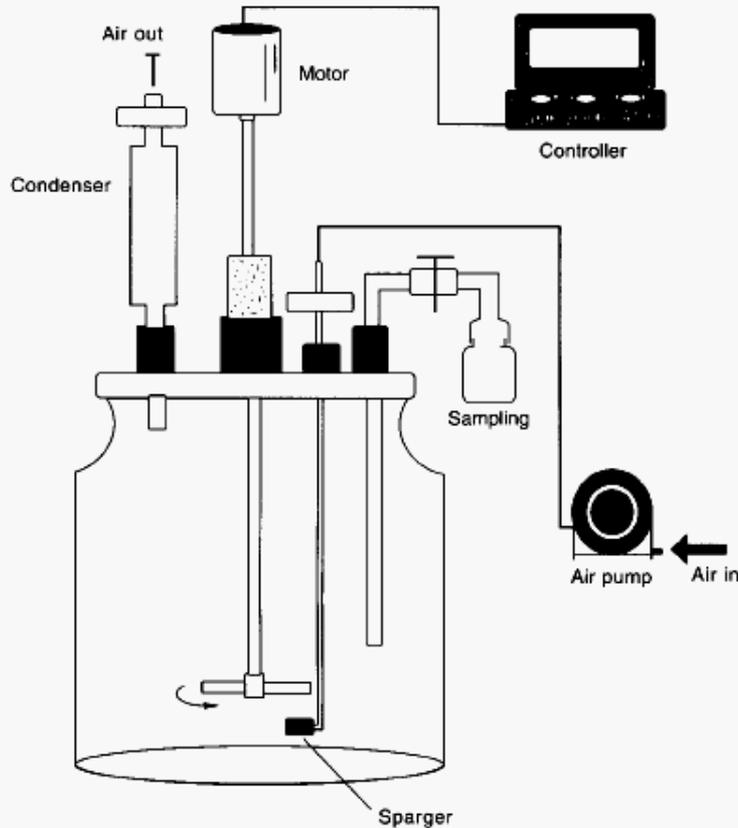
最佳操作條件之探討： 也是環控

❁ 最適通氣量：攪拌翼設計，攪拌速率，最低剪應力。

❁ 最佳溶氧濃度，最佳混合效果。

❁ 最佳氣相組成

(O_2 , CO_2 , C_2H_4 等)



環境控制在生物產業的應用



- 水耕栽培
- 水產養殖
- 複合養殖

- 水族館
- 氨氮去除
- 機能水

廣義的環控農業 CEA

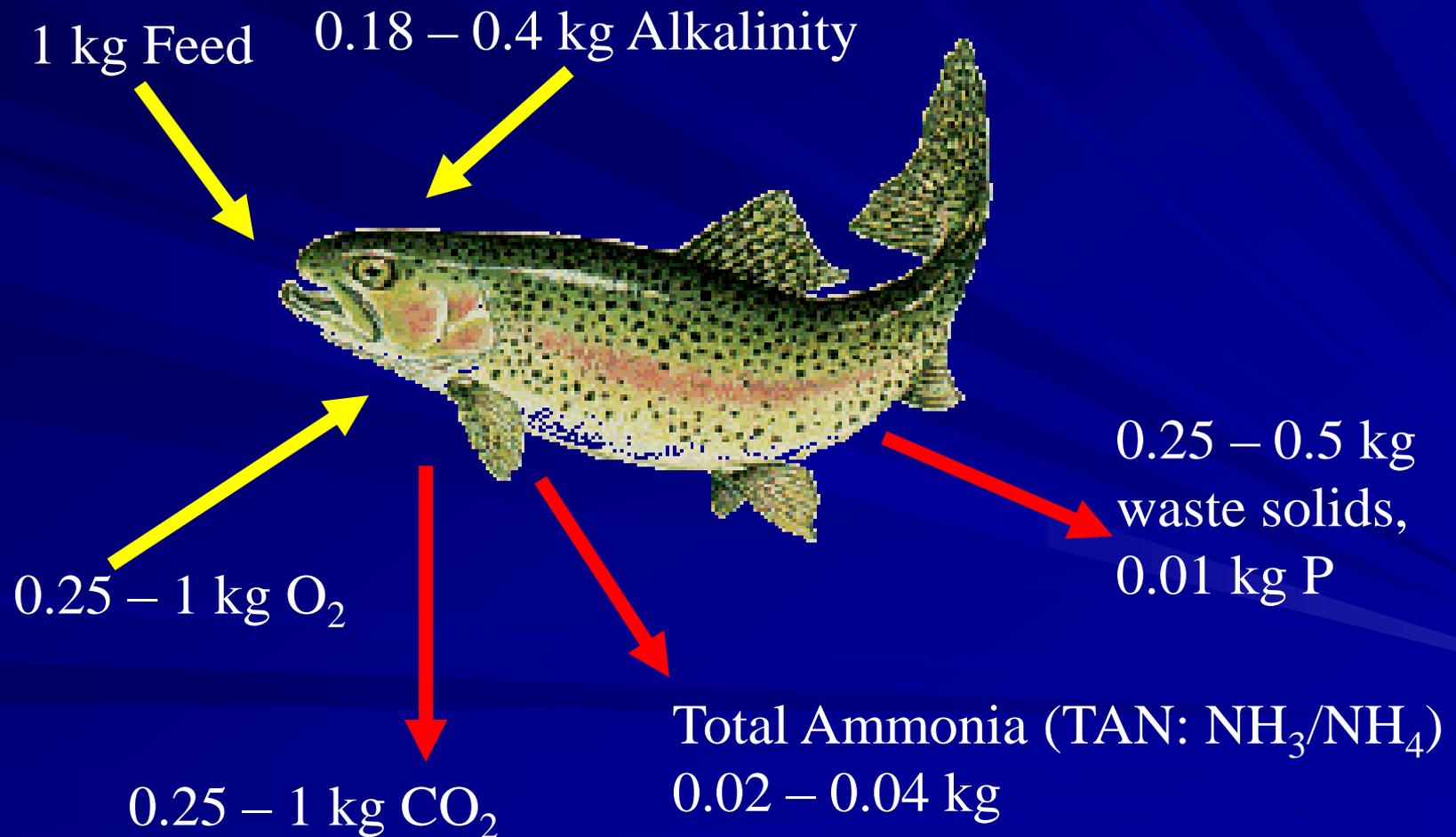
- CEAg: 狹義的環控農牧業
- CEAg: 環控水產養殖 (CE Aquaculture)
- CEAp: 環控複合養殖 (CE Aquaponics) =
水產養殖 (Aquaculture) + 水耕栽培 (Hydroponics)

C.E.Aq

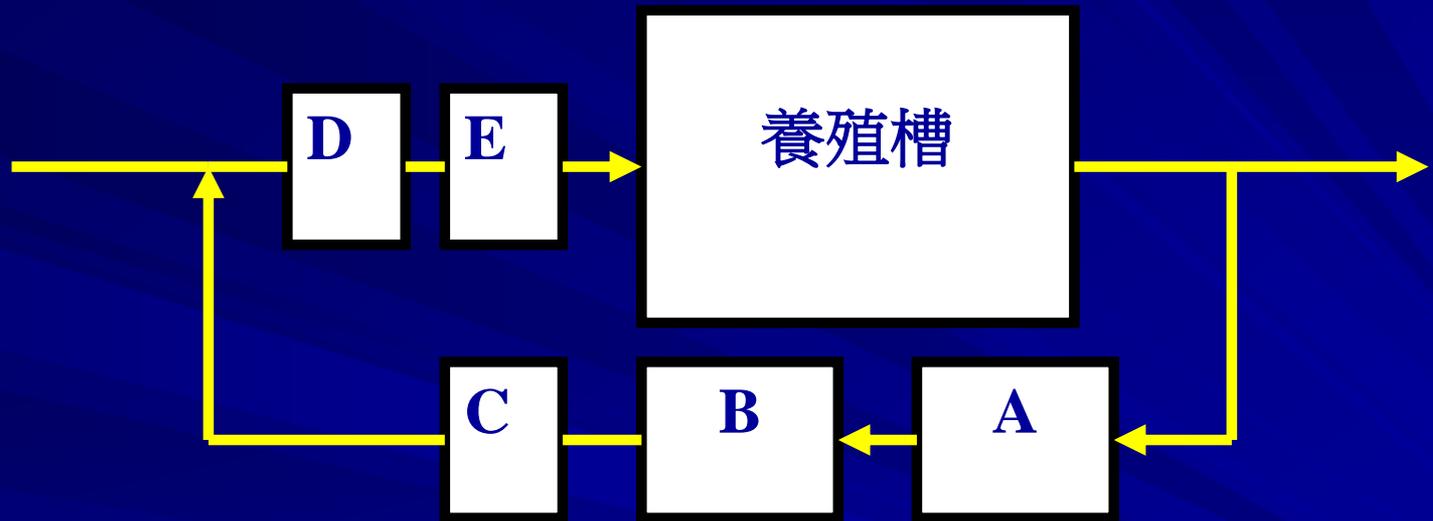
養殖環境可控制化的優點

- 降低大規模損失的風險
- 降低養殖物受到環境不良的影響
- 降低廢棄物對環境的影響
- 降低生產成本
- 提高產品品質
- 節約資源

飼料對水質之影響



循環水養殖：系統設計



Supplemental
components

A: 沉澱，粗過濾

B: 生物濾床

C: 除氣

D: 殺菌

E: 加氧

水中氨氮的生成與氮的循環



三種離子化的氨態氮

硝化作用

Nitrosomonas (NS)



Nitrobacter (NB)



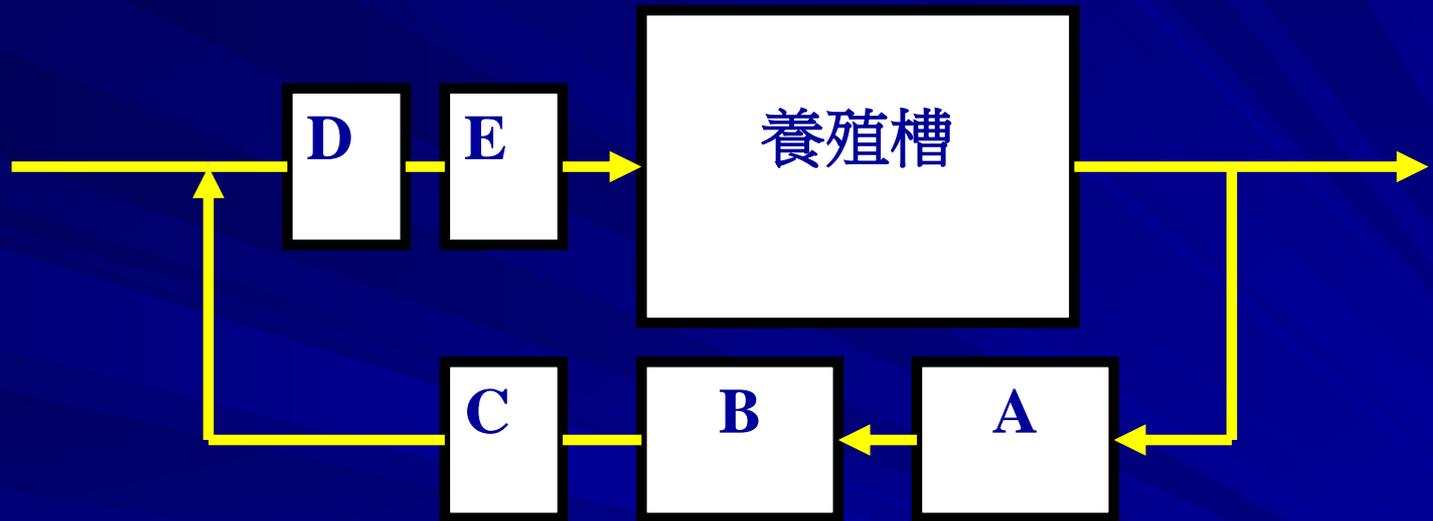
- 一種兩階段的自營 autotrophic 過程—需要無機氮源.
- 需要氧氣 (4.3 mg-O₂/mg-N)，消耗鹼度
- (亞)硝化菌(NS)的生長速率頗低，且與水溫為正相關

室內(循環水)養殖：養魚工廠



- 動物性蛋白質來源
- 轉化率高於家禽與家畜等經濟動物
- 超集約
- 節水
- 低風險

循環水養殖：系統設計



Supplemental
components

A: 沉澱，粗過濾

B: 生物濾床

C: 除氣

D: 殺菌

E: 加氧

水耕栽培+水產養殖 = 複合養殖

- 水溫，水位監控
- 水質(溶氧/氮/ CO_2 ，酸鹼，導電度，氨氮，濁度，營養鹽等)監控
- 高密度循環水養殖系統 (節約用水/用地)
 - 瀑氣(除氮與 CO_2)
 - 加氧
 - 氨氮去除
 - pH中和
 - 紫外線/臭氧殺菌

魚菜共生



魚菜共生系統

用久會發臭的魚菜共生系統

陶珠



解決之道：加入蚯蚓



去除氨氮的方法

■ 機械處理法：機械式過濾

■ 生物處理

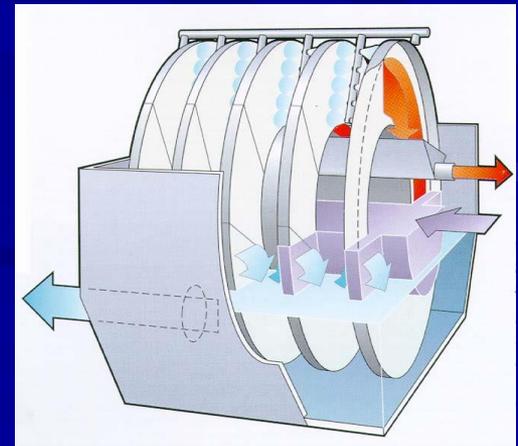
- 硝化 Nitrification (好氧菌)

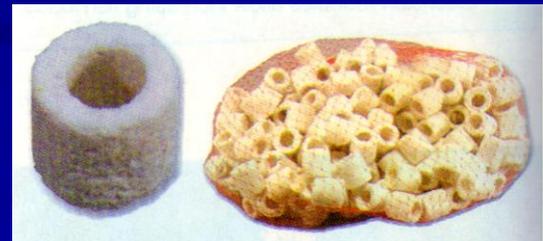
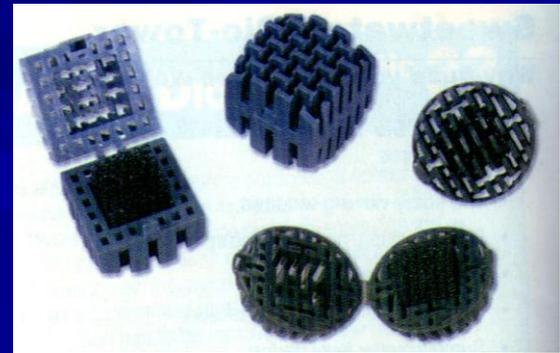
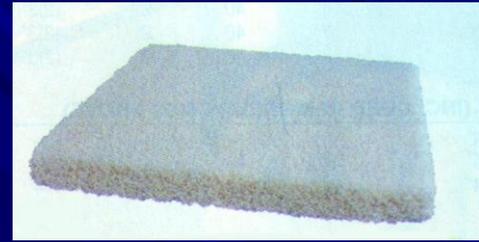
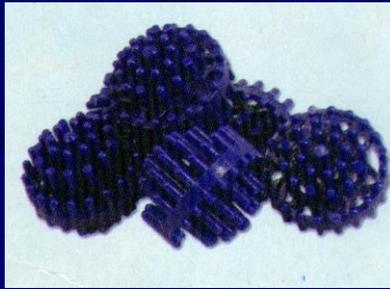
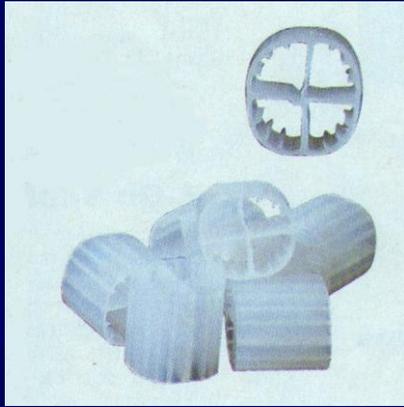
- 脫硝 De-nitrification (厭氧菌)



養殖使用的生物濾床

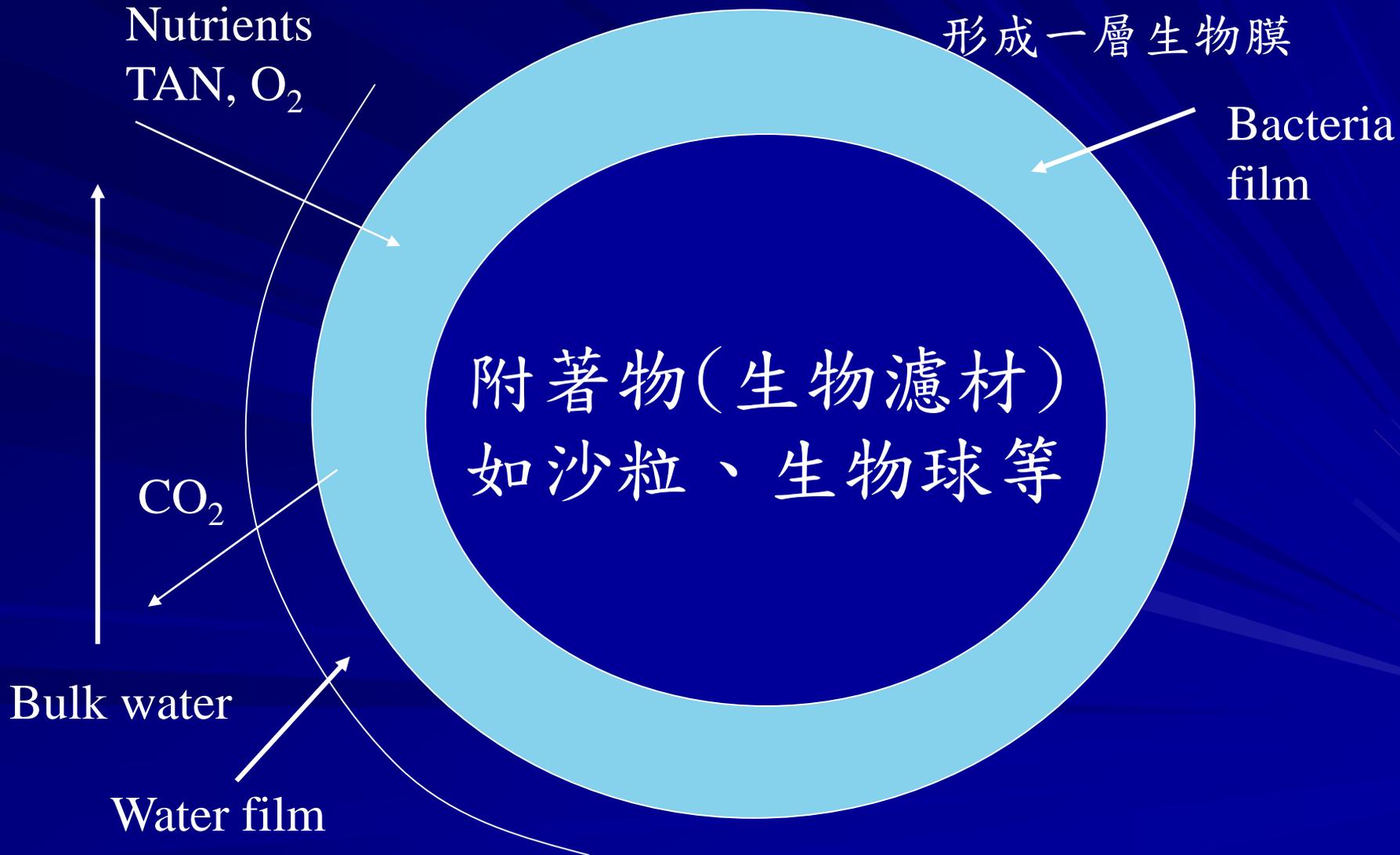
- Fluidized bed BF 流體化床
- Up flow Plastic beads BF 塑膠粒生物濾床
- Up/down flow Sand BF 沙濾床
- Hydrocyclones BF
- 旋流式生物濾床
- 滴濾式生物濾床
- 沉浸式生物濾床
- 旋轉式生物濾床





固定的生物膜 bacterial biofilm

硝化菌生長於附著物上，
形成一層生物膜



生物濾床硝化速率的決定因子

- 氨氮濃度，溶氧濃度
- 水溫
- 有機碳的存在與受異營菌的競爭
- 生物膜表層的水力狀態

- 控制微生物產生量並維持**穩態**
即控制硝化速率

其他生物處理方法

培養藻類/植物，吸收氨氮， 降低生物濾床負擔。

■ 藻類： 龍鬚菜，石花菜

■ 植物栽培 Plant uptake：布袋蓮，番茄，萵苣

- 石花菜為一種多細胞紅藻類，盛產於台灣東北角，每年5-7月為盛產期。
- 石花菜對於三種氮鹽均呈吸收現象，其中對 NO_2^- 的吸收最為徹底，對於 NO_3^- 及 NH_4^+ 之吸收在實驗後幾日則逐漸趨於平穩，這三種氮鹽彼此之間皆無抑制情形發生。

鹽度對正龍鬚菜與石花菜生長之影響及該兩種紅藻對無機氮鹽選擇吸收性之研究(黃，1980)

藻類培養：二級生產

- 石花菜之methanol-可溶性萃取物對小老鼠肝癌細胞(Hepa1)及小老鼠纖維母細胞(NIH3T3)之生長及增殖有抑制的作用；
- 石花菜之DMSO-可溶性萃取物可抑制Hepa1, N1H3T3與人類血癌細胞(HL60)等3種細胞株之生長及增殖的作用。
- 總言之，石花菜之methanol- 及DMSO-可溶性萃取物具有抑制細胞生長的結果，但是此作用並不具有選擇性。

省產石花菜萃取物對細胞生長抑制的探討(林，2000)

複合養殖：魚/蝦→藻類→貝



藻類培養：初級生產

■ 餌料生物

– 微藻 → 輪蟲 → 豐年蝦 → 魚苗

去除氨氮的其他方法

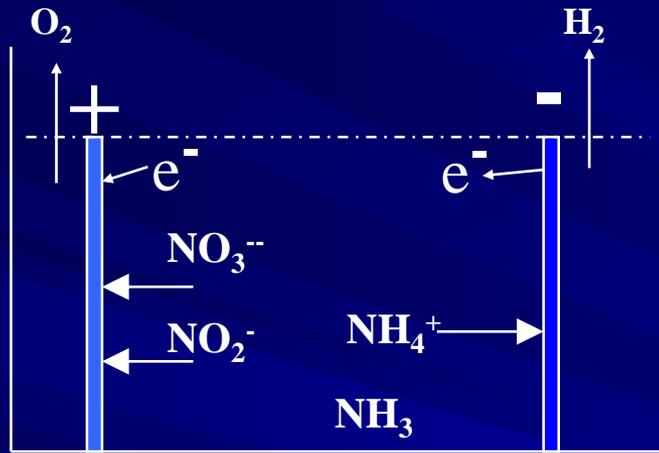
■ 物理處理

- 離子交換法

■ 電化學處理

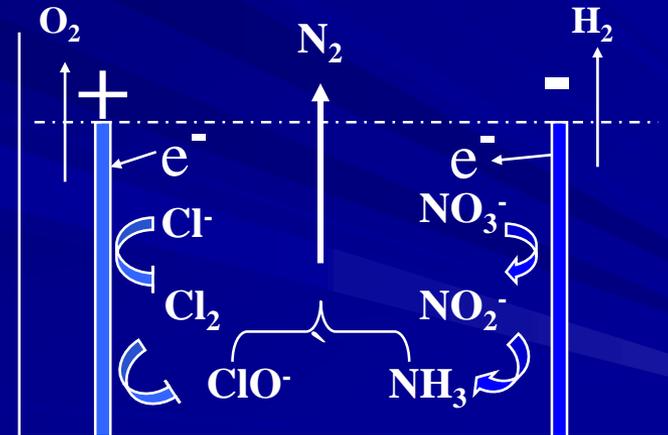
- 電解吸附
- 電聚浮除
- 電凝
- 電透析

電解去除氨氮：吸附與脫硝



無隔膜電解槽

陽極持續加氯(KCl, NaCl)的無隔膜電解槽



部分去除氨氮的技術

可適用於去除水中其他雜質

— 污水處理

— 海水淡化

電解在水簾降溫系統的應用1



- 水中溶解的礦物鹽可透過電極吸附方式去除。
- 少了營養鹽，藻類也難以繁殖。



電解在水簾降溫系統的應用2



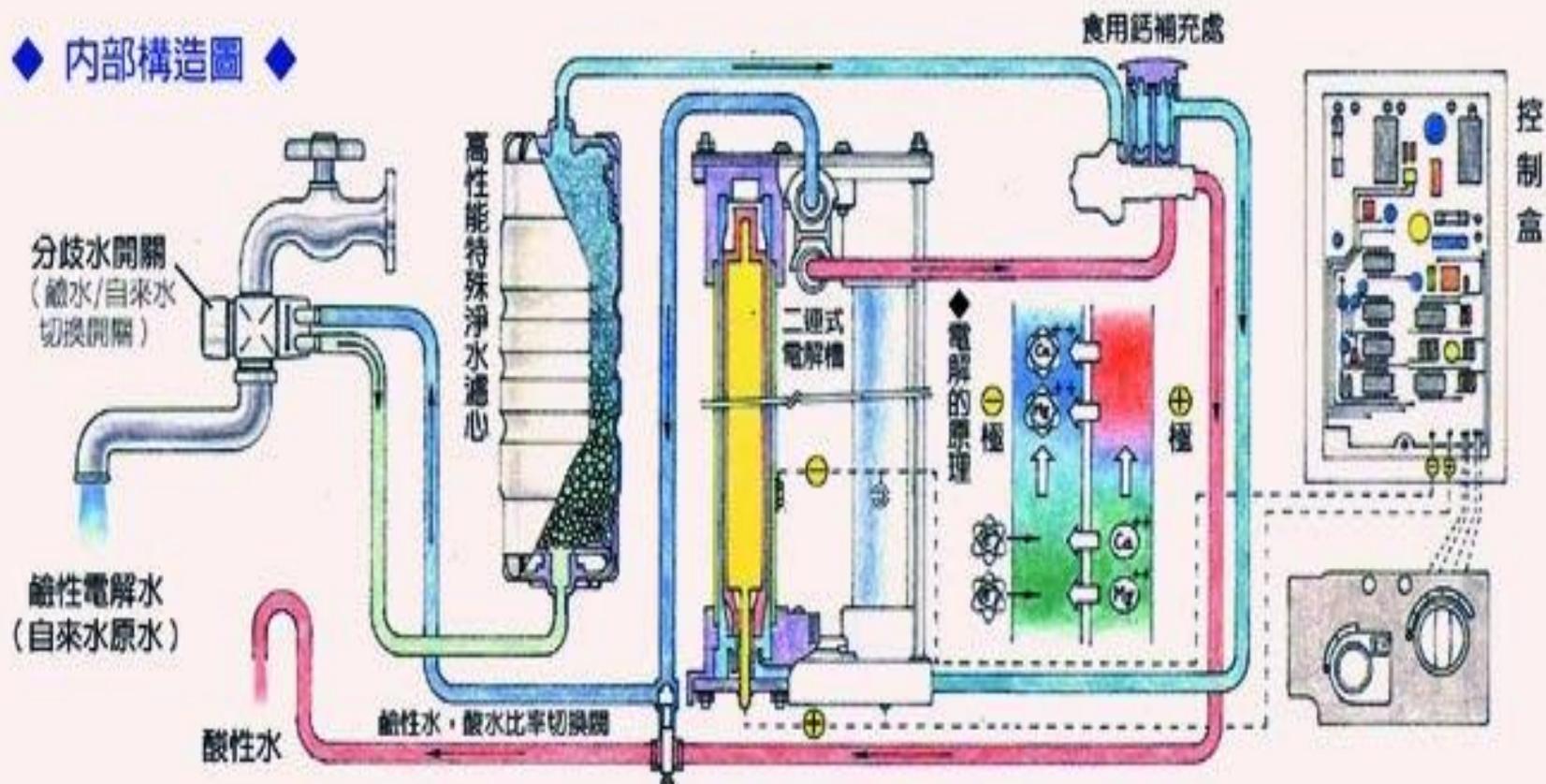
電解水是機能水

- 水中加入能量即為機能水 (Functional Water)
- 超音波水，遠紅外線，麥飯石，備長炭，磁化處理水…etc.
- 電解水應用：
 - 陰極離子水/鹼性離子水
 - 陽極離子水/陽極酸性水，陽極超酸水
 - 超微軟電解水
 - 富氧水

處理方式	水的性質變化	應 用
<p>(1)外部水質控制技術</p> <p>電解水</p> <p>電場、磁場之負荷</p> <p>超音波照射</p> <p>遠紅外線照射</p> <p>熱的負荷</p> <p>超臨界狀態之維持 (374°C, 22Mpa)</p>	<p>改變pH值、ORP值產生微量混雜物。</p> <p>改變水分子及溶存物質之極性。</p> <p>使水分子及溶存物質轉動。</p> <p>影響水分子及溶存物質轉動、回轉。</p> <p>汽化(蒸汽)。</p> <p>極性、密度、擴散能力、對物質溶解度有極顯著之變化。</p>	<p>鹼性：飲用、醫療、食物清洗浸泡、灌溉、晶圓清洗。</p> <p>酸性：消毒、美容、烹調、器皿清潔、晶圓清洗。</p> <p>防止腐蝕、結垢、長藻等之發生。</p> <p>防止或分散污穢物質之混合。</p> <p>菌體等之分解。</p> <p>渦輪機等之動作媒體。</p> <p>溶存物質之分離，促進溶解，廢水、廢棄物處理。</p>
<p>(2)水質過濾技術</p> <p>陶瓷過濾水、麥飯石水、磁鐵 礦浸泡水、α水、β水、π水等</p>	<p>微量改變原水特性，微量添加物。</p>	<p>1.美味好喝的水。</p> <p>2.具保健、療效的水。</p>
<p>(3)水質加工技術</p> <p>加入氫氣、臭氧等</p> <p>不純物的去除</p> <p>添加營養鹽</p> <p>與重水混合</p> <p>蒸汽之特殊冷凝</p>	<p>改變溶解、氧化還原特性。</p> <p>純水溶解特性改變。</p> <p>微生物、細胞培養能力增加。</p> <p>生物等之特性改變。</p> <p>水分子團 (cluster)之大小均勻。</p>	<p>工業、電子業清洗。</p> <p>LSI等之洗淨用水，促進溶解。</p> <p>生化工業用水。</p> <p>生化工業用水。</p> <p>美味好喝的水。</p>

電解水生成機 內部構造圖

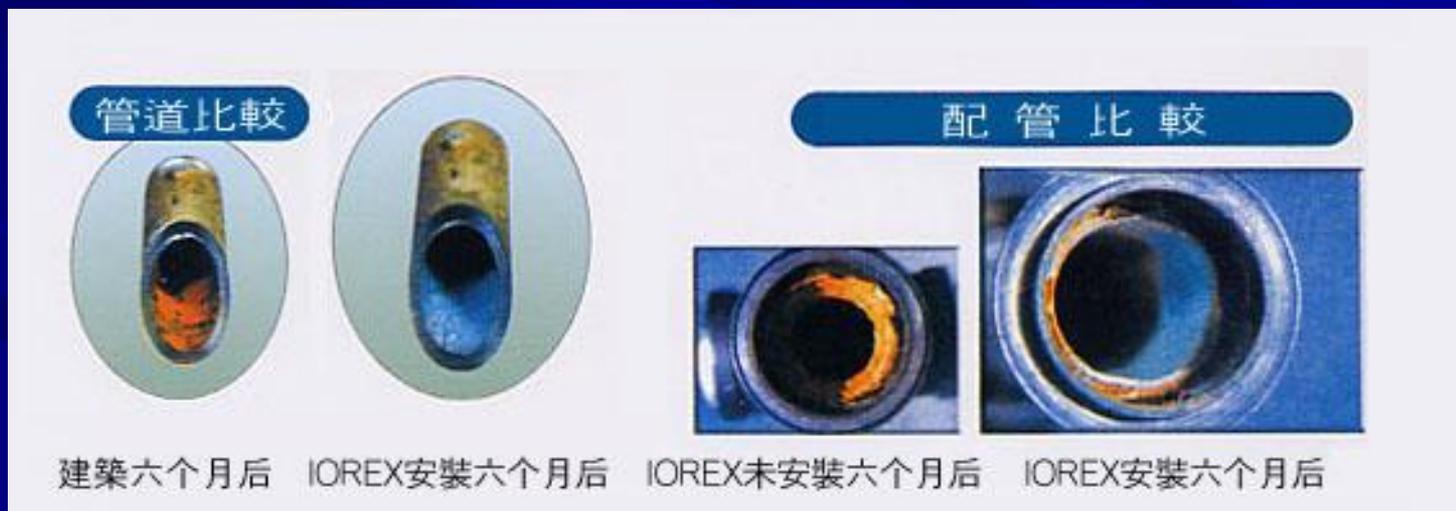
◆ 內部構造圖 ◆



機能水

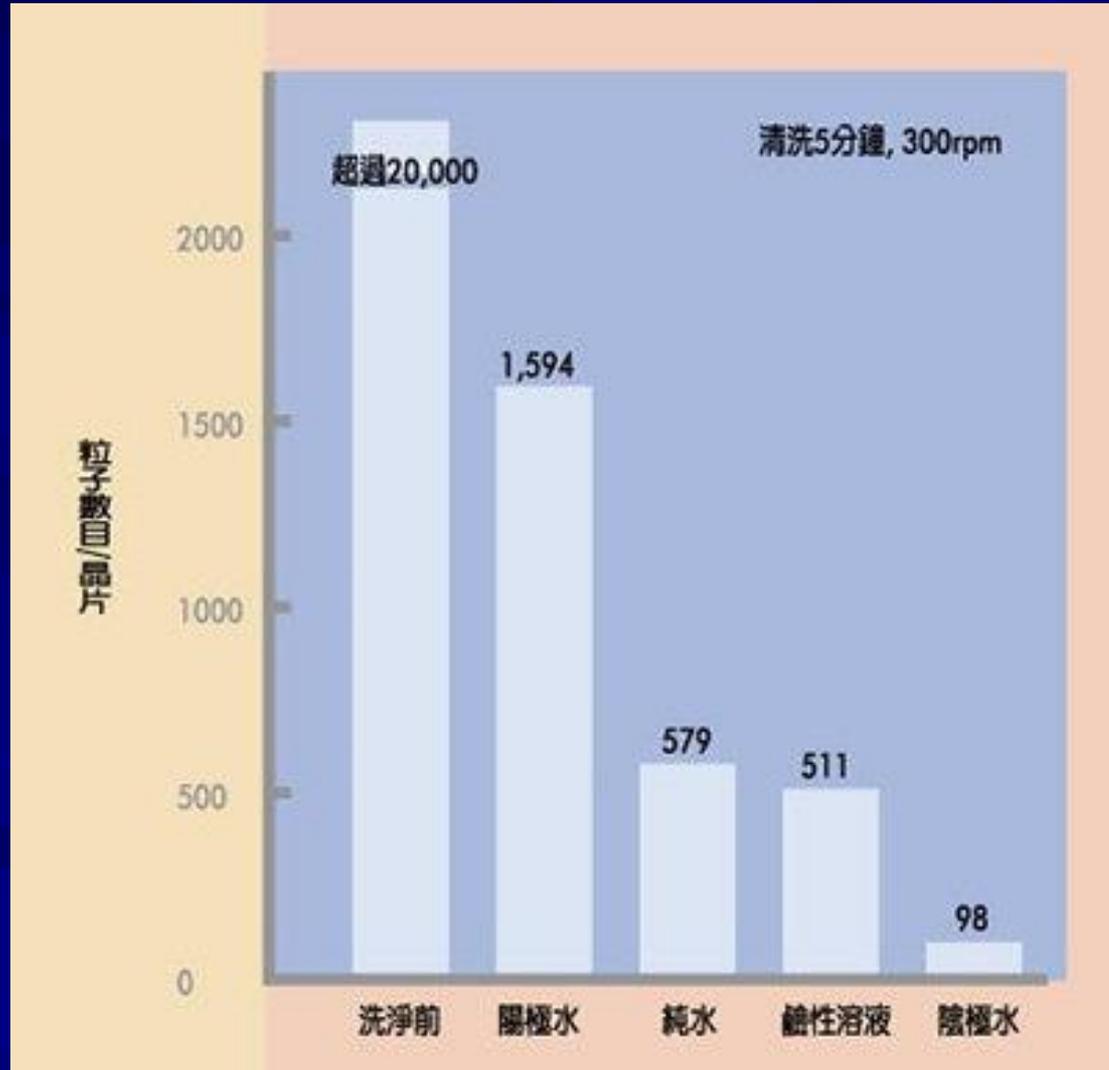
在植物栽培之應用

在工業之應用：
水垢清除



晶圓清洗

CMP後塵粒去除效果比較



氧化療法

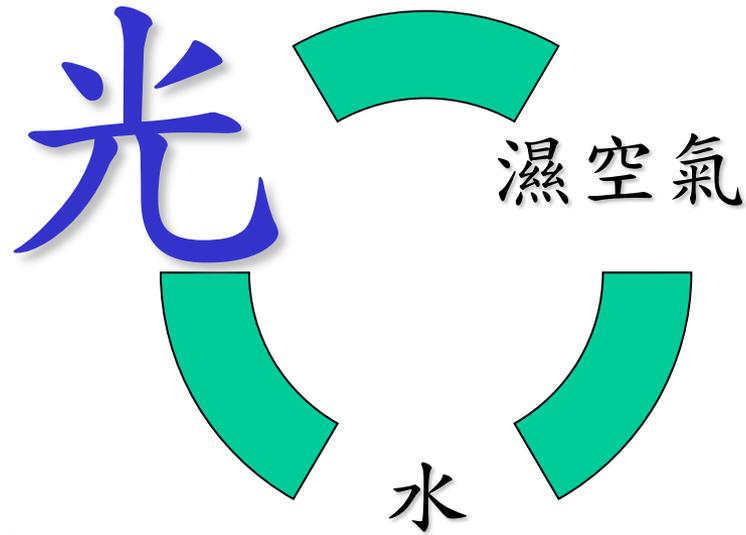
做法：在250至500 ml葡萄糖溶液中加入少量的過氧化氫(H_2O_2)，以點滴方式注入手臂上的主靜脈。

目的：補充體內氧氣（療效多爭議）

■富氧/氫水：

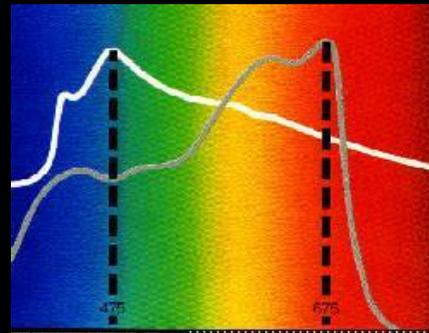
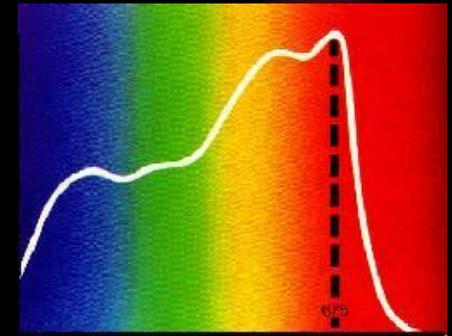
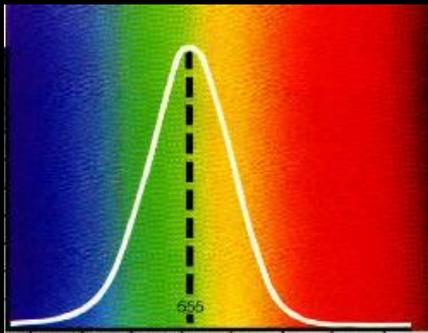
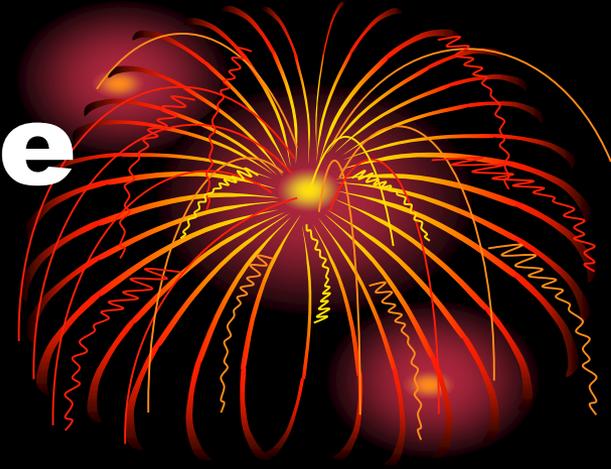
- ✓用喝的：栽培，養殖，醫療
- ✓用洗的：美容，醫療

環境控制在生物產業的應用



- 人工光源在植物栽培之應用
- 各色光在生物醫療之應用

Different Response curves

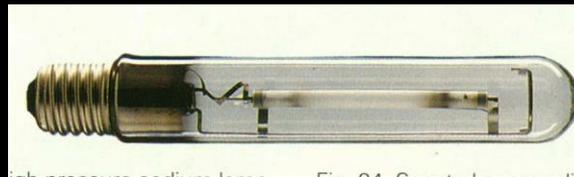
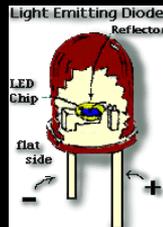
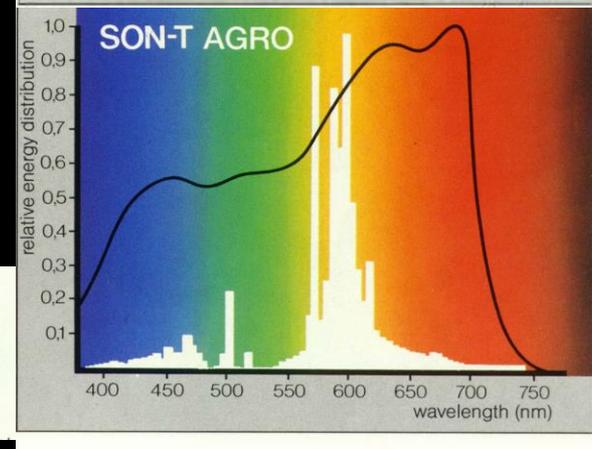
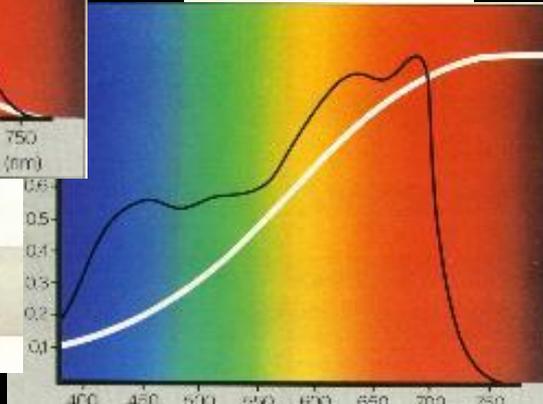
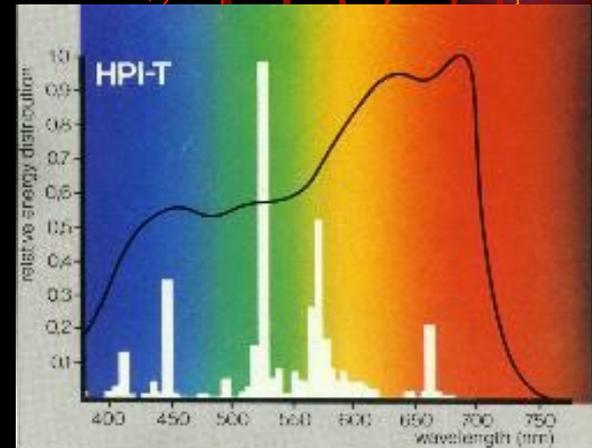
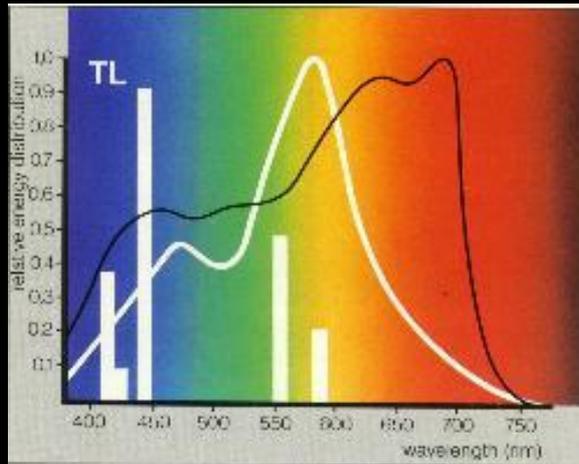


Lux

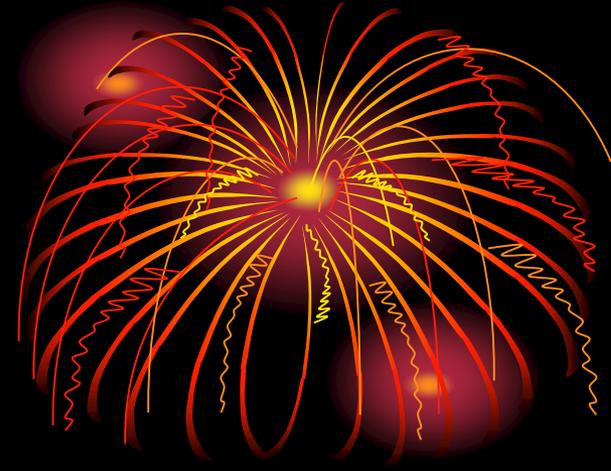
W/m²

μmol/m²/s

太陽之外的光源



光的不同應用



光週期調控

光合作用補光

光質影響

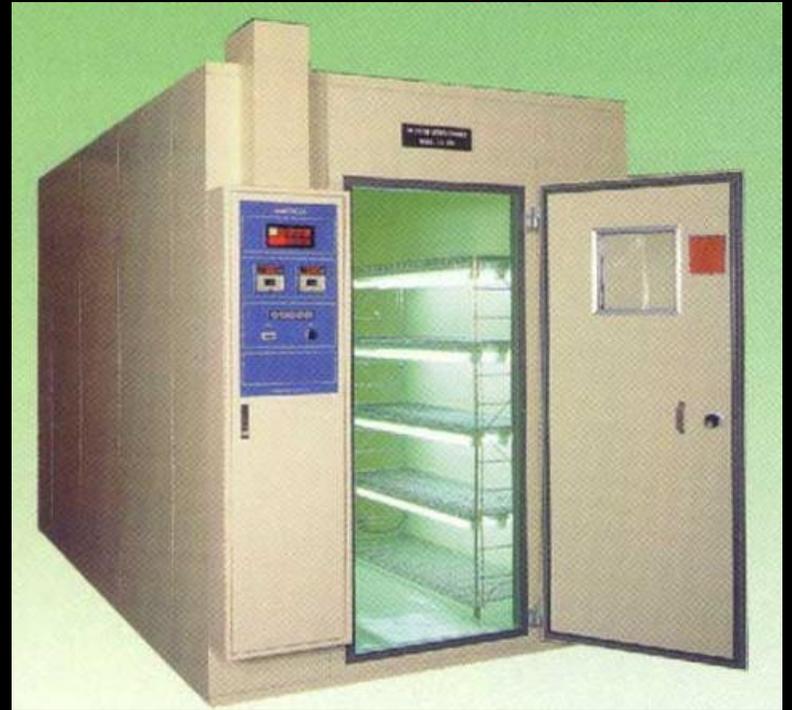


photoperiodism

photosynthesis

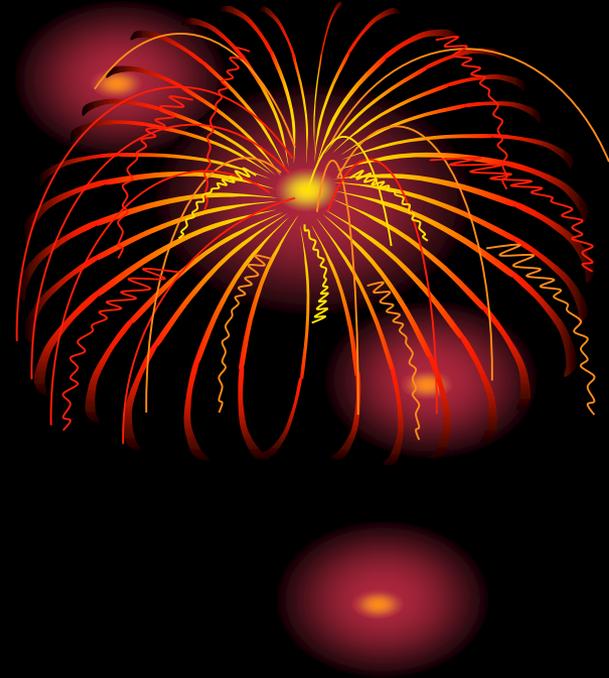
photomorphogenesis

組織培養室/植物生長箱



使用燈管，以冷氣散熱

應用上主要考量



- 光量與光質
- 耗電成本：光源，散熱成本

研發方向1 { 節約用電－擺動式光罩
節省燈具－自走式燈具

研發方向2 { 高發光效率
低發熱量

LD
LED

LED漸見優勢



- 早期只用於太空農業研究 (**Bula, 1991; Barta, 1992**)，單價高且當時尚無藍光 LED
- 近來，
 - 單價大幅下降， (**8 US\$ in 1996 → 0.8 US\$ in 1999 for blue LED**)
 - 亮度大幅提升

台灣的組織培養苗栽培植物工廠



台灣的蝴蝶蘭小苗栽培植物工廠



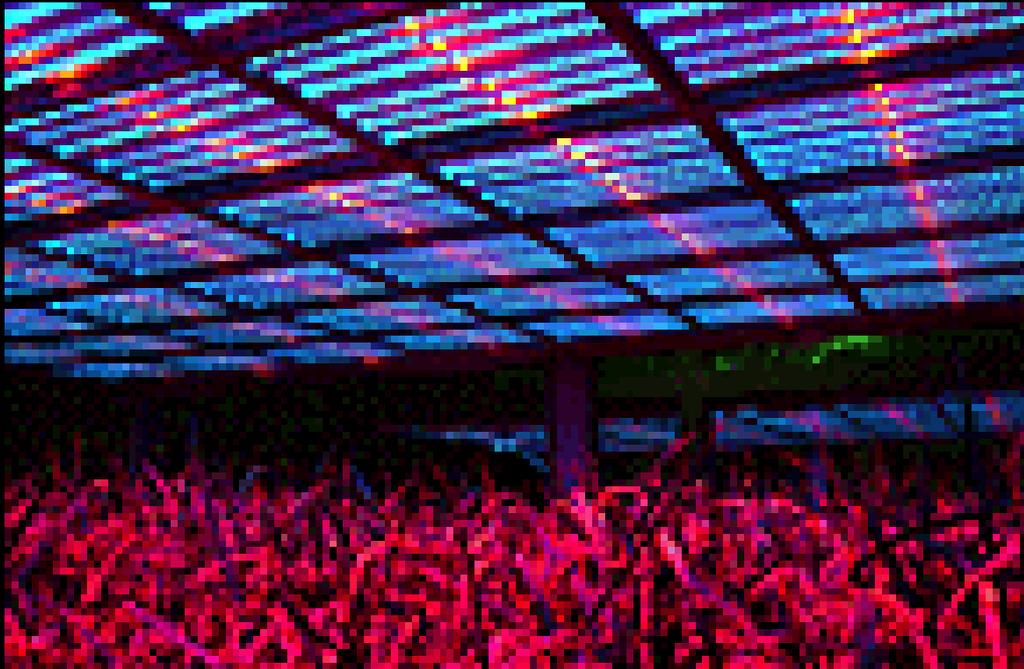
Marshall Space Flight Center

美國NASA

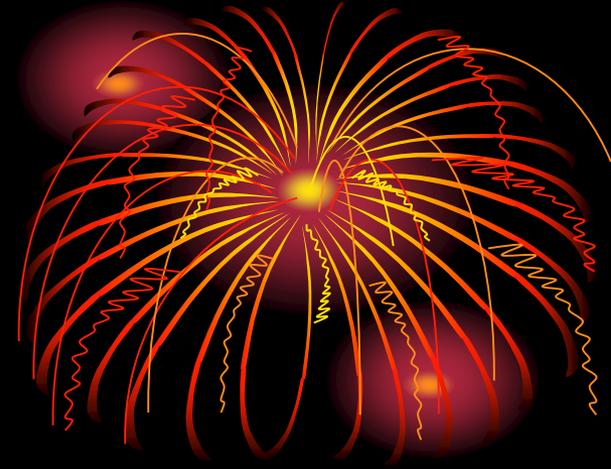


雷射/激光(LD)栽培水稻

日本東海大學的高辻正基教授和大阪大學的中山正宣教授早在1994年就提倡使用雷射作為植物工廠的照明光源，用波長為660 nm的紅色LD加上5%的藍色LED的組合光源來生產生菜和水稻。



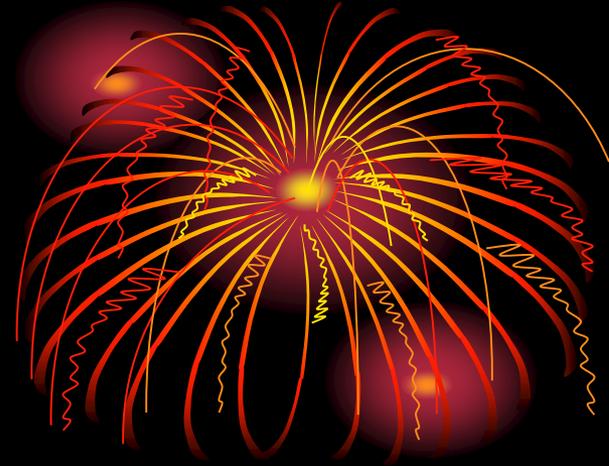
日本的**LED**蔬菜工廠



- 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)生產生菜、芹菜等葉菜，生產能力為5900株/日，150萬株/年。



台灣的LED組培室



Related Research Using LEDs



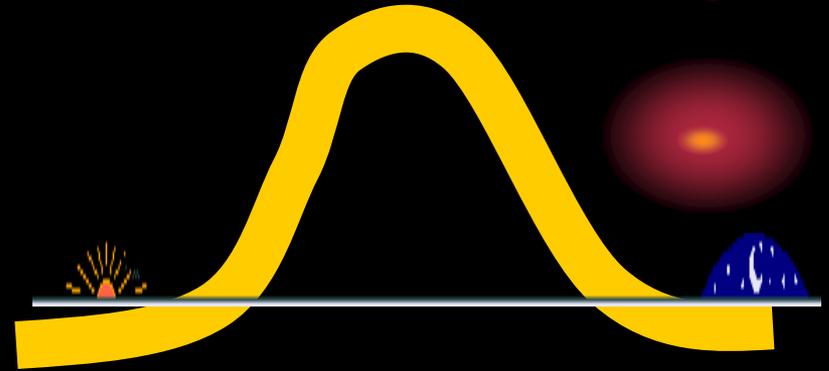
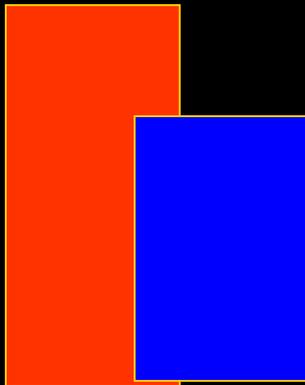
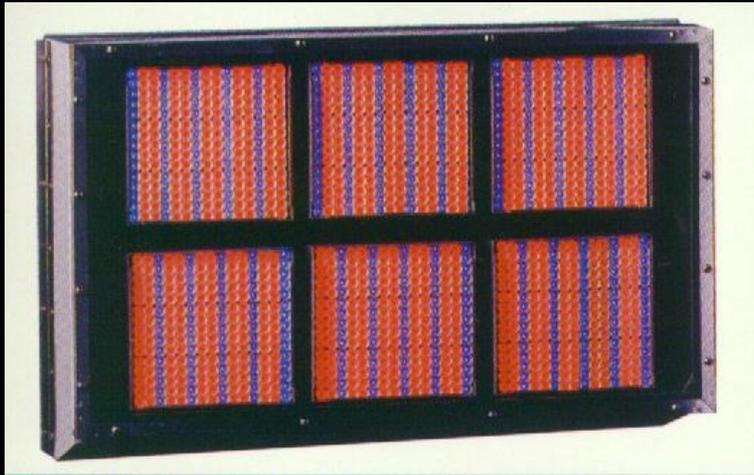
- Space-based plant culture system : (Bula et al., 1991; Barata et al., 1992)
- Chlorophyll synthesis : (Tripathy and Brown, 1995)
- Photosynthesis : (Tennessen et al., 1994; Jao and Fang, 1999,2001,2002)
- Algal photo-bioreactor : (Lee and Palsson, 1994)
- Photomorphogenesis : (Hoenecke et al., 1992)
- Energy Savings : (Jao and Fang, 2002)
- ... etc.

Plant Culture Using LEDs



- Lettuce (Bula et al., 1991; Hoenecke et al., 1992; Yanagi et al., 1996)
- Pepper (Brown and Schuerger, 1993)
- Cucumber (Schuerger and Brown, 1994)
- Wheat (Tripathy and Brown, 1995)
- Spinach (Yanagi and Okamoto, 1994)
- *Cymbidium* (Tanaka et al., 1998)
- Strawberry (Nhut et al., 2000)
- Potato (Iwanami et al., 1992; Miyashita et al., 1995; Jao and Fang, 1998)
- *Phalaenopsis* (Jao and Fang, 2002)
- *Cala Lily* (Jao and Fang, 2002)

Advantages of LEDs— Adjustable



Adjustable **Quantity**

Adjustable **Quality**

R/B, R/FR, R/PPF

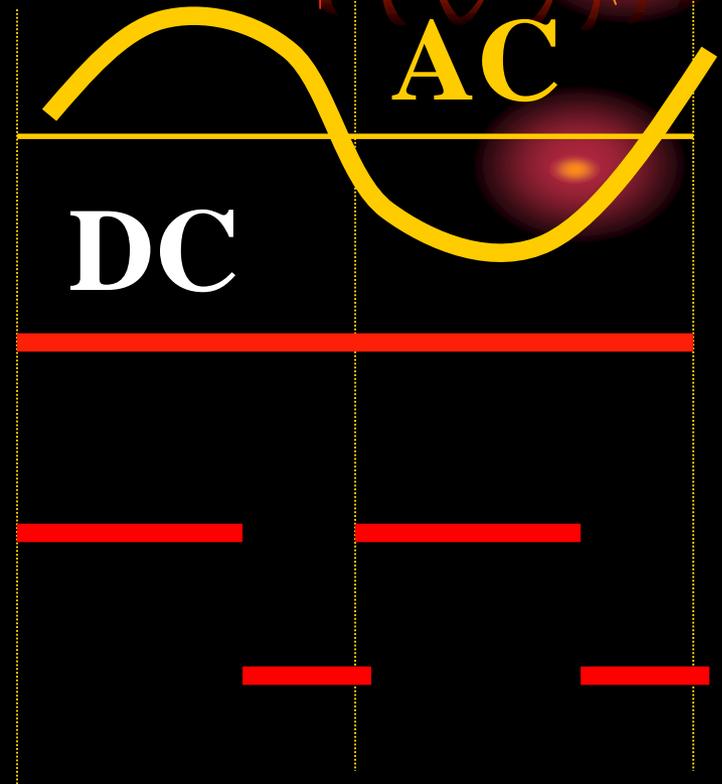
Advantages— Energy cost reduced



Direct current

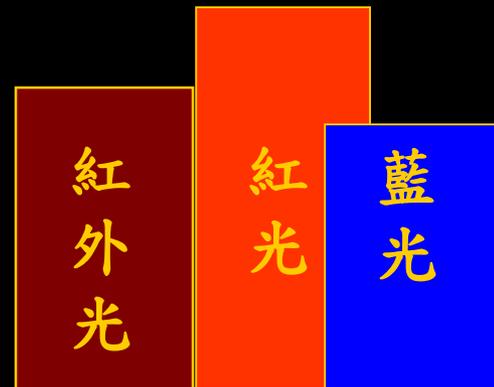
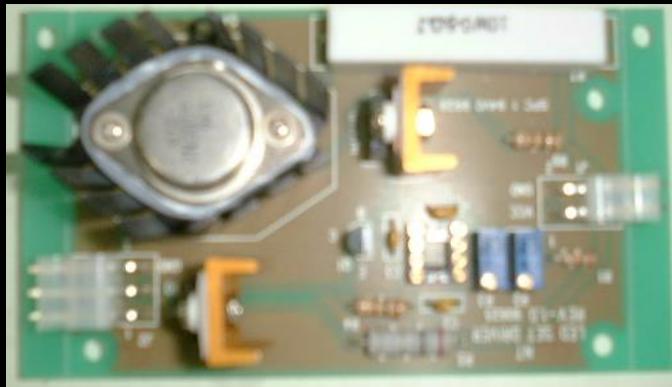
**Frequency
adjustable**

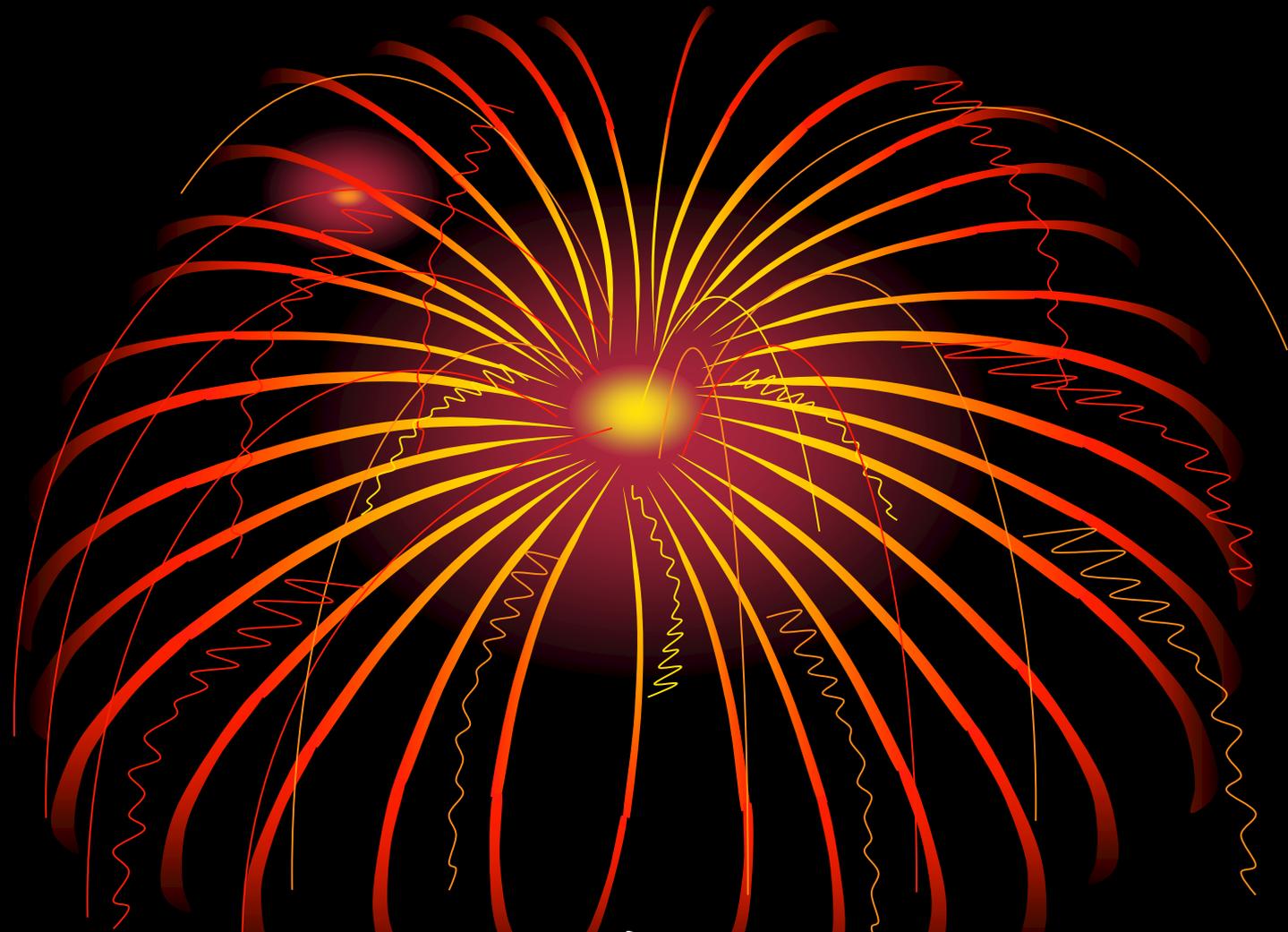
**Duty cycle
adjustable**



LEDSet: 使用高亮度發光二極體

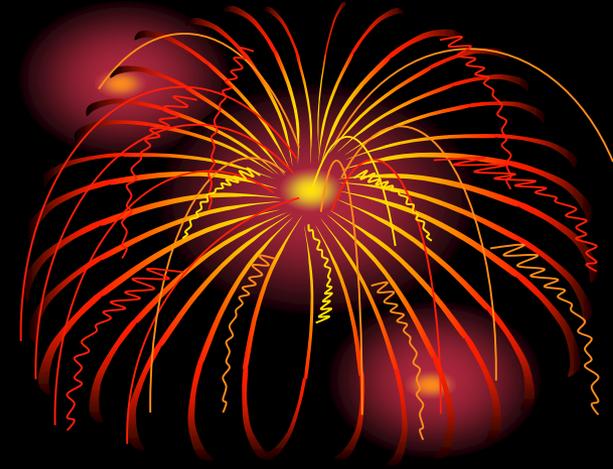
光量，光質，給光頻率與工作比為可調





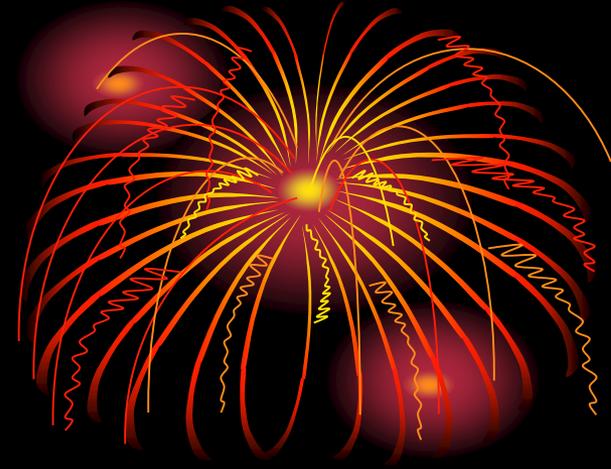
藍光、紅光、紅外光、白光
與 生物醫療

光線與自律神經系統



- 克拉可夫(Krakov, 1951)
 - 檢驗**色彩視覺**與自律神經系統的關聯
 - **紅色**刺激交感神經系統，代表增加興奮和緊張。
 - **藍色**刺激副交感神經系統，代表放鬆、減輕焦慮和減輕敵意。
- Robert Gerard (1958)證實上列說法。

光線與生理時鐘



- 光線進入眼睛提供了視覺與非視覺功能，前者到視網膜，後者到腦中的下視丘，腦下垂體與**松果腺體**。後者與**生理時鐘**直接相關。

松果腺體



- 學名：epiphysis cerebri，字義為腦的頂端，位於兩個腦半球中心深處，在腦垂體的後上方，大小如豌豆。
- 松果腺體針對透過眼睛進入的光資訊，協調整個人體運作以及和外界的一致變化。它藉由運用來自下視丘的生理時鐘相關訊息，以決定何時釋出功能強大的荷爾蒙 **Melatonin** 褪黑激素。
- 松果腺體對人體每一部份都有著重要的影響，它就像「規律調節器」。除了對生殖能力、成長、體溫、血壓、運動神經的活動，睡眠、腫瘤的生長、心情及免疫系統已證實的效用外，似乎也與長壽有關。

在老鼠的夜間飲水增加褪黑激素荷爾蒙，可延長20%的壽命。
(walter·PerBorley與George·Macetony，瑞士)

開燈睡覺大不宜

- 深夜開燈將抑制人體分泌褪黑激素，會降低人體免疫功能，因此，挑燈夜戰後極易受病毒的威脅。研究顯示常值夜班的小姐，乳癌的發生率將大幅成長二倍。
- 松果腺體於夜間睡眠時會分泌大量褪黑激素，這個激素在夜間11時，至隔日2時分泌最旺盛，到凌晨停止分泌。
- 褪黑激素的分泌，可以抑制人體交感神經的興奮性，使得血壓下降、心跳速率減慢，心臟得以喘息，具有加強免疫功能、毒殺癌細胞的效果，可是一旦眼球見到光，褪黑激素就會被抑制住，因此深夜開燈睡覺者，免疫功能會下降、也就比較容易罹患癌症。



老年人 過早睡、過早醒 生理時鐘調整

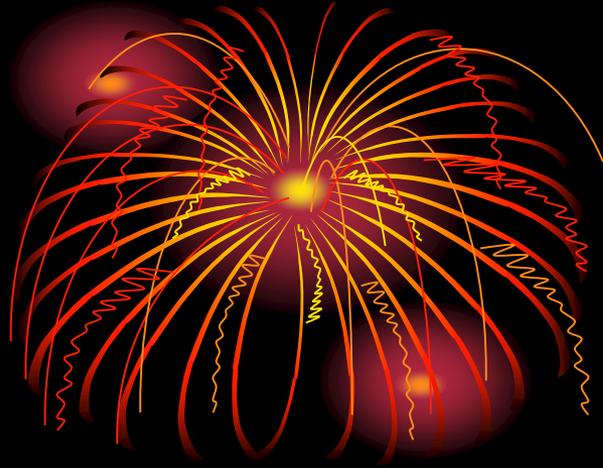


藍、綠光預防時差



- 澳洲專家成功研制一種“**時差眼鏡**”，有助乘長途機的旅客、輪班工作者及睡眠失調人士，調整時差及睡眠時間。到國外比賽的運動員佩戴它，能立即克服時差，有更好的表現。若証實有效，2004年到雅典參加奧運會的運動員，可能會佩戴這種眼鏡。
- 時差眼鏡上配置了五毫米、發出顏色光的二極管，它因應外界的光度，發出**藍光或綠光**刺激使用者腦部，達到調整生理時鐘的功效。發明人之一的費林德斯大學睡眠專家萊克說：“亮光是調整生理時鐘的工具。”使用者在搭乘長途機前最少兩天，每天要戴上三小時，在旅程途中再佩戴三小時。他們到達目的地時，便不會出現時差問題。

季節性憂鬱症

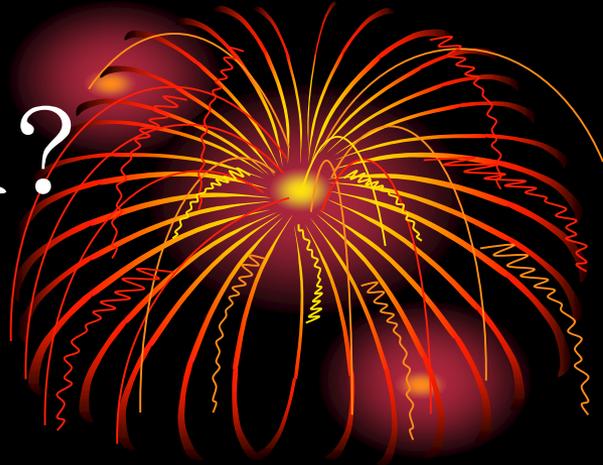


Seasonal Affective Disorder (SAD)

- According to the National Institute for Mental Health, approximately 10% of Americans currently suffer from SAD and related disorders.
- SAD is a disorder characterized by drastic mood swings and depression that occur during the fall/winter months and diminish in the spring.
- SAD sufferers have the following symptoms :
Depression, Feeling "out of sorts", Irritability, Increased appetite, Weight gain, Excessive sleeping, Decreased energy & interest, Inability to concentrate

如何治療季節性憂鬱症？

SAD



- 白光可抑制 melatonin 的分泌，
紓解季節性憂鬱 (1980, Alfred Lewy)
- Light therapy : 10,000 lux, 每日
起床後照射30分鐘。

全光譜白光 治療時差與季節性憂鬱症



BRIGHT LIGHT BOX

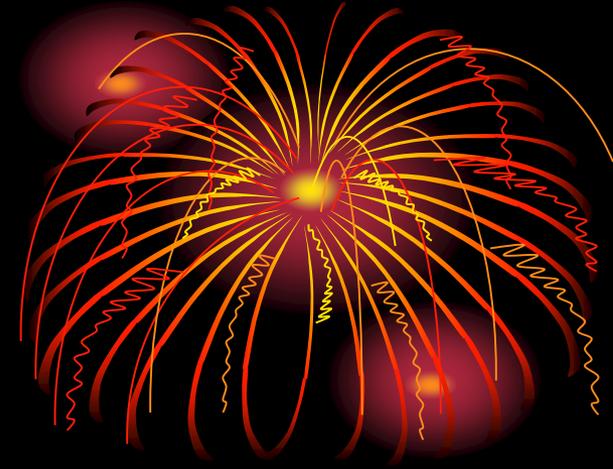


NEW!
33% Brighter
and with
Built-In Timer

SUNSHINE SIMULATOR[®]

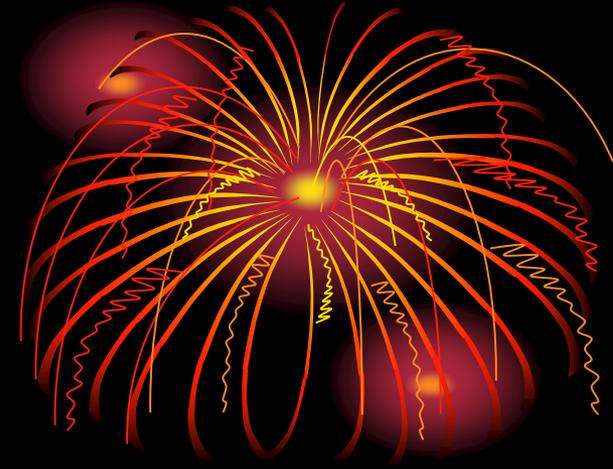
Although our lives, health and well-being are dependent upon the sun, most of us do not get enough sunshine everyday. Bright light is used for alleviating symptoms associated with seasonal affective disorder (SAD), jet lag, shift work fatigue, seasonal change and insomnia. Get your daily "dose" of sunshine and boost your body's sense of well-being, alertness and energy with the HappyLite Plus Sunshine Simulator.

藍光的醫療應用 I



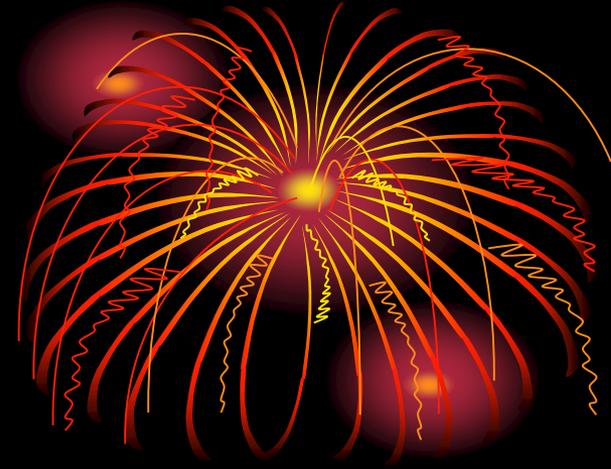
- 藍光(450 nm)治療小兒黃膽。
- 60%新生兒有一種稱為膽紅素的黃色色素累積在皮膚與身體組織，終致皮膚泛黃。
- 1950用光治療受到矚目，1968佛蒙特州立大學Dr. Jerold Lucey 臨床證實將患黃膽的新生兒暴露於全譜光或藍光八天後，其膽紅素可降至安全範圍。

藍光的醫療應用II



- 藍光治療關節炎
- 1982 Dr. Sharon McDonald，加州聖地牙哥州立大學，認為關節疼痛的減輕與藍光及接觸時間有直接關聯。接觸時間愈長，疼痛減輕程度愈大。

紅光的醫療應用



- **紅光抑制偏頭痛**
 - Dr. John Anderson，以不同速度間隔閃爍紅光，開始治療後1小時，72%患者表示嚴重的偏頭痛已停止，其餘的28%中，93%認為感覺好多了。大多數患者認為快速的閃爍及高強度的光是最舒服的。
- Texas 州立大學研究發現紅光**提昇**13.7%的力量及**增加臂肌**5.8%的活動力。

紅、藍光併用的醫療應用



- 藍光 (415nm) 與紅光 (660nm) 併用可治療輕微至中度嚴重的青春痘，療程三個月。(British Journal of Dermatology 皮膚學, 2000:142:973-978)。
 - 藍光LED光譜範圍內包括了9 %在紫外光範圍，具殺菌效果，且不會殺傷皮膚。照射量： 4.23 mW/cm^2 ，每天15分鐘，累計 320 J/cm^2 。
 - 紅光具抗發炎效果，照射量： 2.67 mW/cm^2 ，每天15分鐘，累計 202 J/cm^2 。

後續報導



- **戰痘藍波光 (405-420nm的藍光)：**發炎性青春痘的病人，接受一週兩次的藍光照射治療，只要八次的治療，也就是一個月的時間，就可以達到一般藥物治療三個月才可以達到的治療效果，約七成的病灶消失，七成的病人達到滿意的程度。(美國紐約州立大學醫學院，美國皮膚科醫學會，**2001**)
- **照光療法 (台大**2003**年**1**月進行試驗)**

二十一世紀去痘新科技

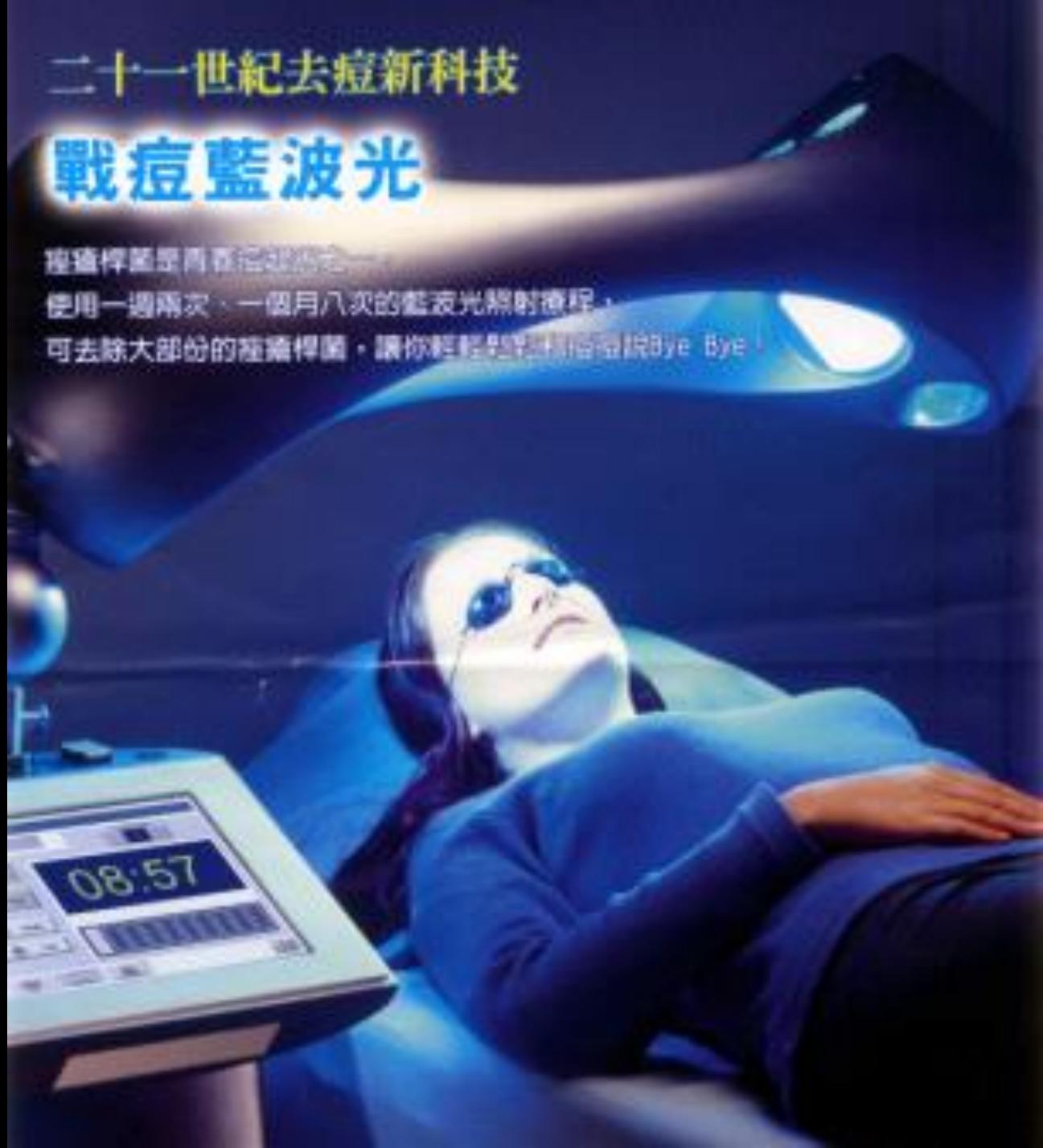
戰痘藍波光

痤瘡桿菌是青春痘成因之一

使用一週兩次、一個月八次的藍波光照射療程，

可去除大部份的痤瘡桿菌，讓你輕輕鬆鬆跟痘痘說Bye Bye！

醫院引進
藍光設施



治療青春痘的設備



- **Red Light (660 nm wavelength) has anti-inflammatory effect on inflamed skin pores**
- **Blue Light (415 nm wavelength) wipes out bacteria that causes acne.**



紅外光的醫療應用



- 815 nm近紅外線**促進傷口癒合**：使用近紅外線雷射二極體可誘導具長效的72-kDa heat shock protein的產生 (HSP 70) (British Journal of Dermatology 皮膚學2001:144:260-266)
- 72-kDa 為多種 HSP中的一種。
- HSP是溫血動物(含人類)遭逢體溫升高達5度C時，體內所增生的一種蛋白質，允許身體細胞、組織與器官對抗昇溫逆境。後續發現此蛋白質亦能提高身體對抗低氧症(hypoxia), 貧血(ischemia), 發炎(inflammation), 與暴露在重金屬污染與菌體內毒素(endotoxin)污染等逆境的能力。

雷射與美容醫療



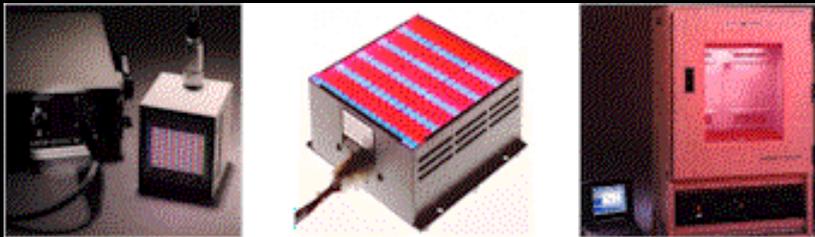
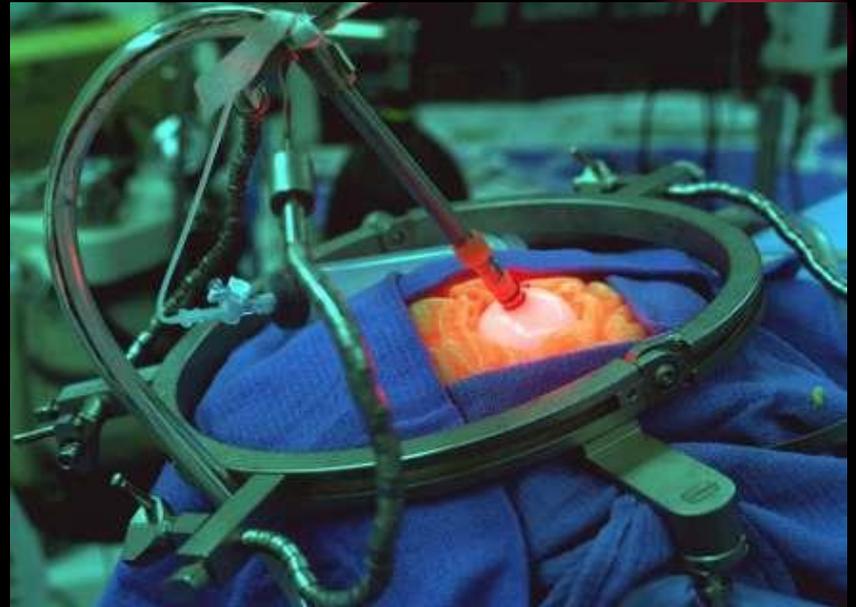
- 脈衝光(560-1200nm)：除疤、除毛、除斑、除痔、除血管病變、除皺。
 - 染料雷射：595nm, 紅寶石雷射：694nm,
 - 紫翠玉雷射：755nm,
 - 二極體雷射：900nm 鈷雅克雷射：1064nm
- 冷觸雷射(1320nm)：去斑、去皺。
- 波長長者對皮膚穿透較佳，可達真皮層，刺激真皮膠原蛋白的新生，產生除皺去疤的效果。皮膚表面恢復較快。

LED應用

由太空農業走向生物醫療



Astroculture plant growth unit (ASC-GC)



Led products of quantum device company

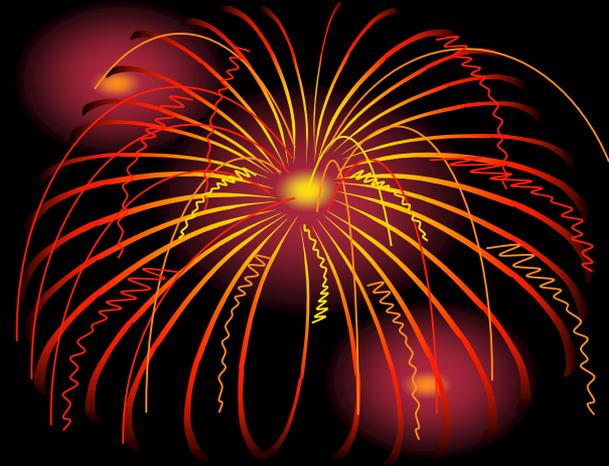
Photodynamic Therapy

光動力療法

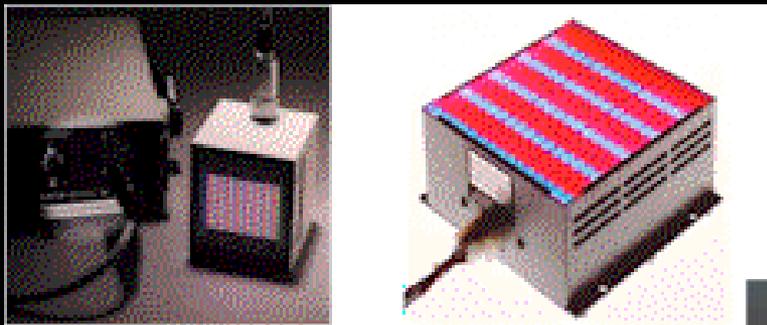


- 使用紅光LED取代Laser 用於 Photodynamic Therapy 光動力療法
- 給癌症病患服用 Photofrin，該藥物可附著於癌症細胞上。
- 受紅光照射可啟動該藥物的功能，殺死癌症細胞。LED的紅光比雷射光溫和，不致傷害其他健康的細胞。不會產生不良副作用。

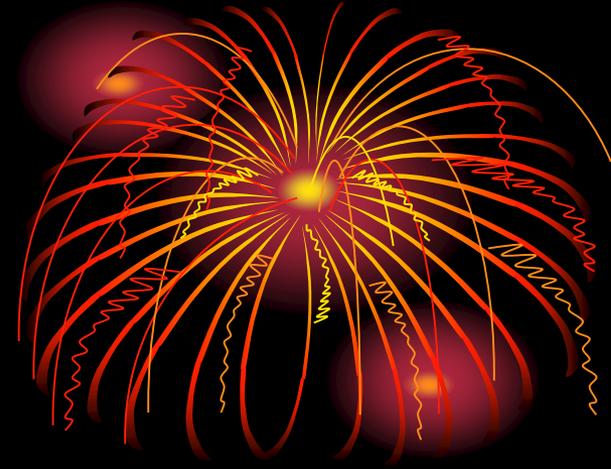
紅光LED促進傷口癒合



- 口腔黏膜破損快速恢復



結論



- 植物是唯一能夠把能量轉換為質量的組織，植物光生理學非常值得深入探討。
- LED做為量產規模的組織培養廠人工光源具高度發展潛力。
- LED做為醫療儀器光源具發展潛力。
- 人體光生理學值得深入了解。

結語

環境控制技術

- 在傳統農牧業已有好的成果
- 在生物產業領域的應用才剛開始
- 不需侷限於生物產業

結語

- 跨領域研究/合作，跨科技/科際整合
- 系統性思考，觸類旁通，求新，求變，同中求異，以增其廣，異中求同，以求其通
- 求廣，求精也求應用
- 創造價值
- 創意、創異、創藝、創益、創億
- 錢途、前途

如何做系統性思考， 如何保持創意？

- 結合生命科學，向大自然取經
- 向生命，向演化學學習
- 運用ACESys 策略

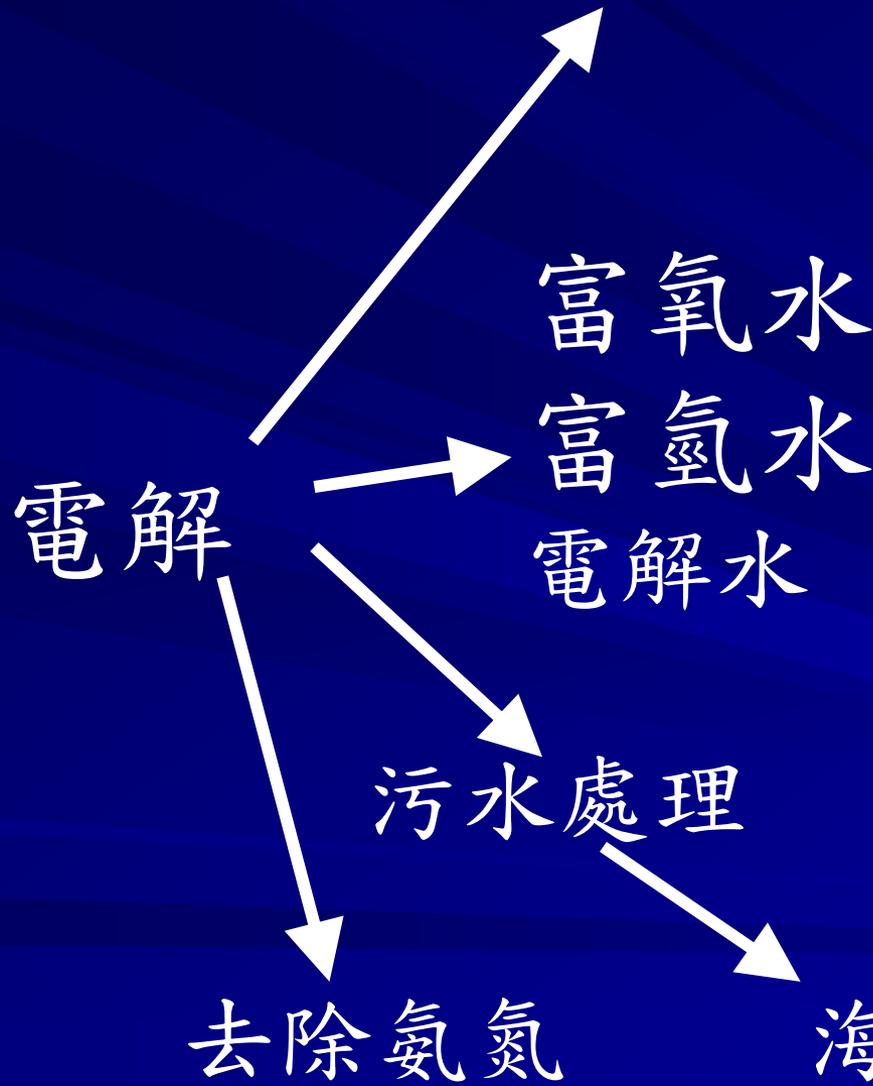
Automation

Culture

Environment

System

微生物 → 氫 → 燃料電池



結合生命科學，向大自然取經

成功的養殖系統是一個 生態平衡的系統



- 體內血液輸送，由心臟至全身，一分鐘內來回，輸送總距離超過7萬 miles.
 - 複雜的交通幹道系統設計的學習對象
- 體內免疫系統的分工與反應機制
 - SARS、COVID-19 整合防制
- Gene
 - Genetic Algorithm