

出國報告（出國類別：研習）

研習植物工廠與肥料效率提升技術

出國人員：行政院農業委員會農業試驗所 張瑞明 助理研究員
行政院農業委員會農業試驗所 邱相文 助理研究員
行政院農業委員會農業試驗所 蔡致榮 主任秘書

派赴國家：日本

出國期間：100年11月27日至12月3日

報告日期：101年2月29日

摘要

研習行程主要由經濟部台北駐日經濟文化代表處與日本海外農業開發協會聯繫安排，係為研習日本在植物工廠之環境控制技術與未來發展趨勢，以及肥料效率提升技術，做為我國發展相關技術之參考。

本研習報告內容包括：植物工廠參訪研習與肥料效率提升技術兩大部分。植物工廠部分包括參訪千葉大學植物工廠、未來公司植物工廠店鋪、日本秩父野菜工房股份有限公司、Granpa 農場與 Urban Farm Factory 株式會社；肥料效率提升技術包括研習豬舍污水中磷的除去回收技術、肥料效率提升技術、禽畜糞堆肥施用技術與地域資源活用型肥料。最後並提出研習心得與建議事項，以供我國農政及研究單位之參考。

出國報告

目次	頁次
壹、研修目的	1
貳、研修過程	2
參、研修內容	3
一、植物工廠參訪研習	4
(一)千葉大學植物工廠參訪研習	5
(二)未來公司植物工廠店鋪參訪(株式会社みらい) 研習	9
(三)秩父野菜工房股份有限公司參訪研習	11
(四)Granpa 農場參訪研習	13
(五)Urban Farm Factory 株式會社參訪研習	16
二、肥料效率提升技術與家畜糞堆肥施用技術參訪研習	19
(一)豬舍污水中磷的除去回收技術	20
(二)肥料效率提升技術	24
(三)禽畜糞堆肥施用技術	27
(四)地域資源活用型肥料參訪研習	30
肆、建議與感想	32

壹、 研修目的

日本在植物工廠產業的發展具有世界前端水準，建立植物工廠化的生產技術，是達到高產量與產值，提升農業競爭能力的重要方法；此外，糧食危機也可以透過植物工廠立體化栽培，倍增產量來因應。由於植物工廠化生產，可完全控制生產環境，運用在高價值的作物生產上，可強化農業競爭力，並提升農業產值；在設計上結合養液栽培零排放和能源利用之規範，係友善環境的生產體系。同時發展並推動植物工廠化生產，不僅可創造農業之新營運模式，為工業創造新產業平台，也可為我國社會創造新商業模式與就業機會，因此，植物工廠的發展與推動將可達成環境、社會與經濟三贏的農業生產目標。

施用被覆肥料可使肥料養分能供給作物整個生長期對養分的需求，減少肥料損失及環境污染問題，增加農業的經濟效益，同時減少人工施肥次數與肥料使用量，大幅減少農田人力管理成本，並提高農民對肥料的利用率，日本是世界上將被覆肥料施用在水稻田非常成功的國家，可作為我國在發展被覆肥料之參考；『地域資源活用型肥料』及『土壤蓄積肥料成分活用』技術，以地區禽畜糞有機資材混合化學肥料達到地區永續農業之發展目標，可作為解決環境衛生與土壤養分均衡問題；『局所施肥技術』、『低成分肥料』以及『有機質肥料利用』等低施肥技術普及化，可作為提升我國施肥技術之參考。

貳、 研修過程

經濟部 100 年度台日技術合作計畫研修項目「研習植物工廠與肥料效率提升技術」，自民國 100 年 11 月 27 日至 12 月 3 日，共 7 日，由行政院農業委員會農業試驗所蔡致榮研究員兼主任秘書、邱相文助理研究員與張瑞明助理研究員等 3 員參加。日方依據我方提出之研習需求訂定研修課程，課程安排係由台北駐日經濟文化代表處與日本財團法人海外農業開發協會協調辦理，參訪全程由日本財團法人海外農業開發協會渡邊哲課長與中日文翻譯李秀娥小姐陪同。

此次研修內容主要為研習日本植物工廠之現況與肥料效率提升技術。相關之行程摘要如下：

11 月 27 日（日）

自桃園國際機場搭乘中華航空班機前往日本東京，住宿地點亞細亞會館（Hotel Asia Center of Japan）。

11 月 28 日（一）

- 1、上午於亞細亞會館一樓會議室舉行說明會，由海外農業開發協會負責本次研習安排之渡邊課長及井佐局長說明舉辦本研習課程之行程及內容。
- 2、下午參訪（1）千葉大學柏之葉校區，由丸尾達教授接待並介紹日本植物工廠的發展現況；（2）參訪與千葉大學有技術合作的店鋪型植物工廠，並由該 MIRAI（未來）公司的總務部經理関庄八先生負責介紹解說與技術交流。

11 月 29 日（二）

- 1、上午參訪筑波市畜產草地研究所，由畜產環境研究領域上席研究員鈴木一好接待並介紹日本豬舍汗水中磷的除去回收技術。
- 2、下午參訪筑波市中央農業總合研究中心，由土壤肥料研究領域上席研究員加藤直接待並介紹。

11 月 30 日（三）

- 1、參訪秩父市野菜工房股份有限公司，由周藤一之社長接待並介紹（蔡致榮、邱相文）
- 2、上午參訪栃木縣家畜排泄物和垃圾等區域生物系廢棄物的一體堆肥製造所，由所長田野邊勉接待並介紹（張瑞明）。
- 3、下午參訪栃木縣堆肥化工廠，由廠長小久保行雄接待並介紹從有機資源到（張瑞明）。

12 月 1 日（四）

- 1、上午參訪秦野市圓頂行植物工廠，由古館勉廠長接待並介紹各種蔬菜的生產技術與社會需要動向。
- 2、下午參訪秦野市 CAINZ 賣場，實際了解緩效性肥料的用途與種類。

12 月 2 日（五）

- 1、上午參訪東京市涉谷區的 Urban Farm Factory 株式會社，進行『植物工廠事業的現狀與今後之展望』為題的專題研習課程。
- 3、下午於亞細亞會館一樓會議室與日本海外農業開發協會舉行評價會，就本次研習行程進行討論。

12 月 3 日（六）

搭乘中華航空班機，自日本東京成田機場返國。

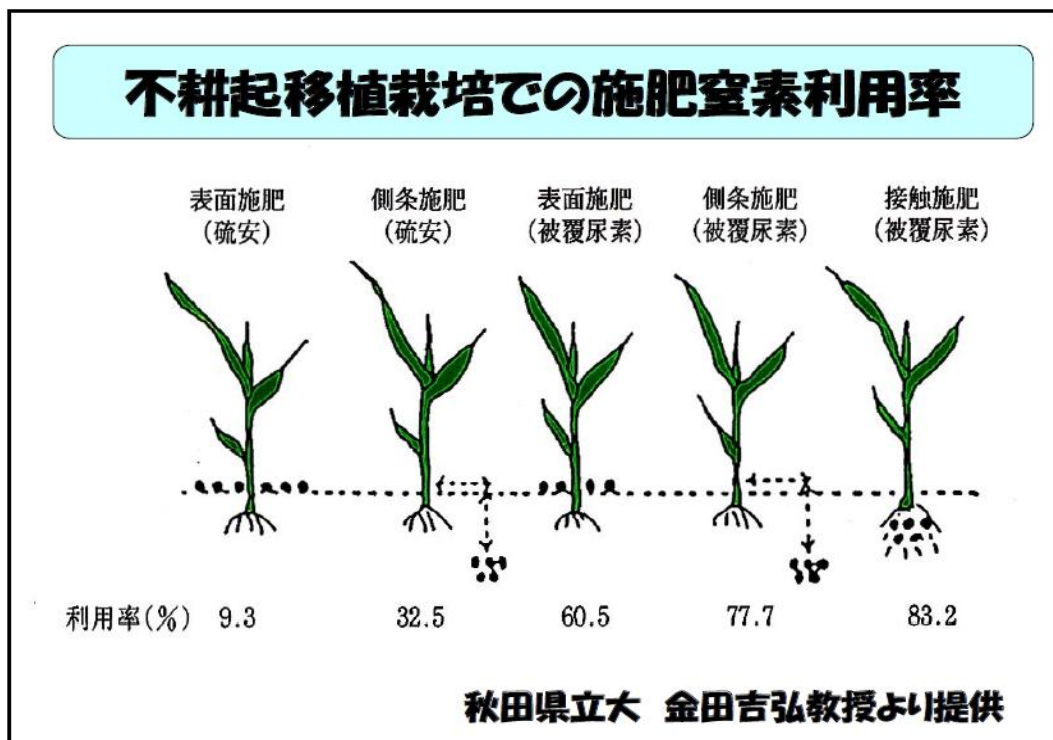
叁、研修内容

一、植物工廠参访研習



千葉大學植物工廠

二、肥料效率提升技術與家畜糞堆肥施用技術参访研習



施肥技術提升肥料利用率

一、植物工廠參訪研習



GRANPA 植物工廠



未來公司販售植物工廠生產之蔬菜

(一) 千葉大學植物工廠參訪研習



日本千葉大學柏之葉校區

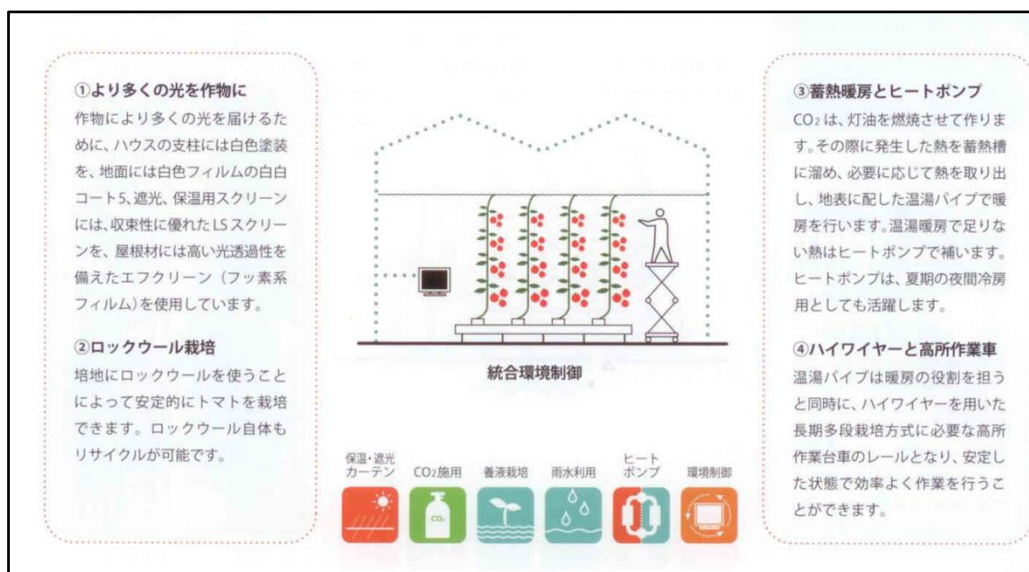
2011年11月28日由東京亞細亞會館出發前往千葉縣的千葉大學柏之葉校區參訪，並由丸尾達教授接待並介紹日本植物工廠的發展現況。千葉大學目前在植物工廠的技術研究開發中，已經達到商業化推廣之等級，並進行與日本各大企業進行植物工廠相關技術的產學合作，除進行開發相關的技術發展，並推廣供日本農民進行參訪及教育訓練。



日本千葉大學植物工廠位置圖

千葉大學教授丸尾達介紹在千葉大學的植物工廠類型有“太陽光利用型”、“太陽光與人工光源並用型”和“完全控制型”三種類型。目前的植物工廠有5棟太陽光利用型植物工廠進行番茄的栽種，有2棟完全人工光源型植物工廠進行萵苣的多層架式水耕栽培，利用多樣化環控與營養管理措施達成『高產能、低成本』的植物工廠化之生產目標。在千葉大學因與不同的公司財團進行合作開發而發展出幾種不同環控與栽培措施的太陽光利用型植物工廠：『統合環境控制以提昇產量型』、『番茄長段密植栽培(spray system house)』、『次世代型番

茄生產系統』、『減農藥多收型高密度栽培一段移動式』與『D型槽盤低密度栽培型』等。



『統合環境控制以提昇產量型』的植物工廠栽培措施
(丸尾 達 “千葉大學植物工場” 講義)

以『統合環境控制以提昇產量型』為例，該植物工廠以統合環控系統與機械作業的措施，可以達成高效率的能源利用，維持作物的最適合的生長發育條件，並發揮作物本身最極限的產能為目標的，番茄從 8 月份開始種植到隔年 7 月都可以維持一整年長期的收穫，收穫量可以達到 50t /10a，其生產效率可提升 30%。



設置有雨水收集系統之太陽光利用型植物工廠

其中主要的目的在於利用各種的環控策略與農業資材進行番茄的水耕栽培，例如運用保溫遮光材料進行光照與溫度的控制，並施用二氧化碳以促進作物的光合作用，另外設施外面建構的雨水回收利用系統更可以增加水資源的利用，雙效熱泵系統的應用更可以達到節能的功效。栽培體系以養液栽培為主，配合研究不同的介質與養液供應方式，例如利用薄膜水流(NFT)、滴灌與噴霧灌溉等方式，並進行養液的回收與再利用措施，可達成節水、養份充分利用吸收與零排放的目的，並且可達到提高產能與降低成本的效益。另外，在千葉大學所展示的陽光利用型的植物工廠中，更利用在栽培高度與密度的調整，達成 1 分地可種植 4000 株的高密度栽培。

完全人工光源密閉型植物工廠以立體化多層架水耕栽培方式，並利用 T5 螢光燈為人工光源進行萵苣的植物工廠化生產。為提高單位面積之產能而達到降低生產成本的目的，目前立體栽培層架於人工進行作業的情況下可達成 10 層的高效率栽培生產。空間規劃利用可同時進行播種、移植與採收作業，在 406 平方公尺的設施面積上，一天可以達成收穫 2000 棵萵苣之生產量並且可穩定的進行周年計畫性生產。在栽培環境中人員的作業均以無塵室的作業規範進行服裝與口罩、手套等衛生方面的要求，因此，所生產的萵苣不用清洗即可以安心的進行生食。

為了節省電費與增加人工光源的效率，千葉大學利用曲面反射板來增加光能的利用效率以進行結球萵苣的栽培，其用電只需為原來的四分之一。目前之生產成本已經可以與露天栽培之結球萵苣作價格上之競爭。



利用曲面光反射板來增加光的利用效率

使用人工光源完全密閉型植物工廠所生產作物以葉菜為主，包括萵苣、菠菜與藥草。因此，千葉大學完全密閉型植物工廠之特點為：一、不受天候影響，可以達到定時、定量與品質穩定之要求。二、不受地域限制。三、單位面積生產效率高。四、水份、肥份之施用精準，無農藥使用。五、作業環境舒適，可適合身障人士就業。六、可栽培多樣性作物。

在節能方面的應用方面，丸尾達教授同時提到東京燃氣曾探討將氫氣站回收的二氧化碳供應給植物工廠使用的成本與效益，千葉大學也進行評估向植物施予回收二氧化碳的效果，同時還調查包括工廠內冷氣及換氣在內的最佳二氧化碳供給方法，考慮向設施園藝領域廣泛應用，並探索將來與氫氣站相鄰建設植物工廠的可行性。

對所參訪日本植物工廠中的完全密閉型植物工廠而言，內部環境控制反而成爲一種簡易、低門檻的技術。只要付出昂貴的成本，以大筆資金購買機械設備，建構絕緣良好的空間即可進行生產。在此密閉絕緣的空間，有效地切斷了外界熱量與質量的傳遞性，因此空間內的溫度、相對濕度、二氧化碳濃度、光量與光質都是恆定狀態。對於作物之根部環境而言，養液控制設備早已是成熟的引入技術，此外，水量、肥料濃度與溫度也容易維持在恆定狀態。栽培的作物採用生長週期短的葉菜，在生長條件不受限制之下，作物的栽培工作也是十分單純。換言之，在安定的生長環境，配合生長週期短暫的葉菜，這種全密閉型的植物工廠反而不需要高級技術。只要願意投資，並準備大筆資金。全密閉型的植物工廠成爲可複製、可移轉的一種生長箱型植物設施。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。



完全人工光源 10 層立體化栽培萵苣

由千葉大學發展植物工廠的經驗可以得知日本植物工廠發展方向的趨勢，以農業生產面而論，陽光利用型的植物工廠可視為溫室栽培設施的升級，其改善了傳統設施的氣密性，因此可以進行較為精密的環境控制，如二氧化碳的施用與溫濕度的調控，在加上人工光源的補充與立體栽培的空間的充份利用，可以增加作物的密度而達到極限的單位面積產能。因此，在充份利用陽光與遮蔽、阻隔過濾材料的充份配合應用下，可以達到低耗能與低投資成本的植物工廠化之周年計畫性生產規模，這樣的成功發展經驗值得台灣發展太陽光利用型的植物工廠來借鏡與參考，使台灣的溫室設施可以提昇成為植物工廠的等級。在完全人工光源型全密閉式的植物工廠方面，雖然其初期投資成本較大，而且營運與生產成本較高，但是，透過單位面積產能的提昇與人工光源利用效率的增加，亦可以大量的降低生產成本。而在其所強調的產品安全衛生與產品的全年無休的穩定性供應上的優勢，也成為其與一般露天栽培與傳統式設施栽培的競爭優勢。此外，由發展完全人工光源型植物工廠所帶動的相關設備與光電資訊產業發展，如 LED 人工光源與監控電子設備等產業也提供另外一個發展機會。

(二) 未來公司植物工廠店鋪參訪(株式会社みらい) 研習

2011 年 11 月 28 日前往千葉縣松戶市五香西 2-20-12 參訪與千葉大學有技術合作的店鋪型植物工廠進行研習，並由該 MIRAI（未來）公司的總務部經理關庄八先生負責介紹解說與技術交流。該公司植物工廠創立於 2004 年九月，所經營的業務為進行密閉型植物工廠水耕栽培系統的研究開發設計與設備的販售施工，以及水耕蔬菜的販賣。該公司的營業植物工廠店鋪位於千葉縣松戶市五香，是一間展示密閉式完全人工光源型植物工廠的店鋪，並且有櫥窗展售其植物工廠所生產的蔬菜。店鋪內之植物工廠面積約有 20 坪，因為該植物工廠為日本最早設立的，當時的建造成本一坪約 100 萬日元，投資金額約達 2000 萬日元。該店鋪以 20 坪的單位面積進行 7 層的立體化水耕栽培，生產量每天可以採收 300 棵萵苣類蔬菜，若是栽種香草類蔬菜每天約可採收 600 棵，目前的經營規模已經有營業利潤，並有接受其他公司的委託進行植物工廠的規劃設計與施工業務。



MIRAI 植物工廠五香店之外觀與其店內之立體水耕栽培植物工廠

因為其生產的產品以安全衛生的方法進行生產，在密閉的全環控條件下沒有病蟲害的污染，並沒有施用任何農藥，因此產品不用清洗便可以安心的生吃食用，其客戶對象大部份為高級餐廳與超市。該公司強調可替人委託設計 1~500 坪的植物工廠，並且提供未來的栽培技術和顧問諮詢，因此不具農業專業的人也可以很簡單的在其所建設的植物工廠內栽種蔬菜，擁有土地或建築物的人可以活化利用其未善加利用的空間以植物工廠來進行清潔衛生蔬菜的栽培，無論是自產自用或是開創新事業都可利用植物工廠來達成。

從 MIRAI 的發展經驗中我們可以發現完全人工光源型的植物工廠其初期投資的成本非常高，而且營運的電費成本很高，尤其在人工光源上的用電更佔約 50% 的用電量。因此，為了要能符合經濟效益，所選擇種植的作物以較高經濟性與短生長週期性的葉菜類或香料類作物為主。在台灣許多超市與餐廳已經有利用完全人工光源型的植物工廠進行香料作物與生菜類萵苣菜的生產，但規模都還太小僅以展示櫥窗為主，若能比照 MIRAI 公司的模式進行約 20 坪面積的多層次式立體栽培，相信亦可以達到合乎經濟效益規模的植物工廠化生產，以自產自銷的方式供應給消費者安全沒有農藥施用的生食蔬菜。



MIRAI 植物工廠店鋪櫥窗所展示的蔬菜與免洗即可生食之葉萵苣菜

(三) 秩父野菜工房股份有限公司參訪研習



野菜工房位於東京西北方的埼玉縣秩父市的工業區內，原先為一間電子工廠，目前由野菜工房株式會社承租下來，進行植物工廠的葉菜類蔬菜的栽培生產與販賣。參訪研習由該公司之周藤一之社長進行”植物工廠的事業化與成本戰略”為題之簡報開始，以該公司成功地在日本進行植物工廠的營運與發展之經驗與例證，進行植物工廠發展方向與原則之分析探討。該廠係利用租用已停工之電子工廠廠房進行植物工廠的建置與銷售營運。為減低植物工廠初期投資成本，周藤一之社長建議可活用已經沒有利用的工業廠房，可以大量削減建築本體的設備成本。野菜工房植物工廠之栽培面積為 430 平方公尺，為完全人工光源型多層架立體化水耕栽培之模式，使用光源為白色螢光燈，數量有 1800 支燈管，照度約為 15,000Lux，日照時間設定在 16~18 小時，環境溫度以 4 台 10 馬力冷氣配合布袋風管(SOXDUCT)進行空調，栽培室溫度管理在 20~24℃ 之間。環控條件方面濕度設定管理在 60±10%、二氧化碳濃度為 1000ppm。以 3 層之立體化承架栽培，每層可定植 7 列，日產約可達到 1000 棵之高苣產量。養液供應方式以對作物根部進行噴霧式水耕栽培，並利用微酸性電水進行廠房與栽培承盤的殺菌消毒作業。噴霧式水耕栽培的特點有：使根部更加健康的成長、降低細菌的滋生、水與肥料的使用量較少，但所需的噴霧栽培槽會比較大。相對的，蓄液式水耕的蓄液槽較小，可進行種植的層數可以比噴霧式多且設備簡單，同時其水與肥料的使用量也相對會較少。野菜工房強調他們的農法是”栽培與自然站在同一邊，完全無農藥、水的使用量為露地栽培的 5 分之 1、肥料的使用量為露地栽培的 7 分之 1”。周藤一之社長補充說根據東京大學沖繩研究室的資料，一般野地栽培種植一株生菜(65 g 換算)要使用 11 公升的水，野菜工房只使用 2.3 公升，茨城縣的施肥基準栽培一株生菜(65 g 換算)所使用的肥料(氮基礎)為 0.54g，野菜工房只使用 0.08g。

以野菜工房本身所經歷的建廠經驗而言，周藤一之指出植物工廠的建設方面需求包括栽培系統與環境系統等二方面的硬體設備的建設，栽培系統設備是指植物工廠內包括栽培養液控制、栽培植床與栽培植床承架、二氧化碳供給控制、人工光源之調控與供水排水等方面的基礎設備，而在環境系統方面的建造設備則為栽培室的牆壁、天花板與地板等，當然還會有其他的附加設備如電源設備、冷藏倉庫與包裝室等。而主結構建築物則以選定原來已經有的廠房設備為主要，並以租用為原則，在建設成本上的分配比例應該以栽培設備：建物為 60：40 為原則，若租用閒置不用的建築物的話，初期的投資金額便可削減掉 40%。因此，野菜工房整理出建造密閉型植物工廠的原則有以下幾點：一、大幅削減初期的投資：活化利用停工

閒置不用的廠房--不論是工廠還是倉庫，建物只要能擋風遮雨即可，若考慮到多層式立體化栽培的話，天花板最好高一點。要是沒有電源設備(Cubicle)更好，另外引進電源設備要花上一筆資金。設置地點不一定得在市場附近，善加利用住宅區便可擁有可以發送到各店面的競爭力。二、重視與蔬菜的對話：不引進不必要的高科技，以觀察蔬菜的狀況來生產。只在必要的時候給予必要的養分，不需要營養過剩的蔬菜。三、生產出健康的蔬菜：維持根系的健壯，便會從茂盛葉面生長表現出來。另外需進行細菌滋生的管控，以期能有低細菌數的安全健康蔬菜。以每日能生產 2500 棵蔬菜為例進行植物工廠的建造成本費用進行估算的話，栽培系統應在 100~150 百萬日圓；環境系統的牆壁、天花板與地板維持在 12~20 百萬日圓，空調則在 15~25 百萬日圓之間。其他附加設備包括--電源設備：8~10 百萬，冷藏庫、包裝室：2~3 百萬，其他雜項設備：10~15 百萬，合計應管控在 147~223 百萬日圓之間。設置植物工廠的合適規模應要與販售能力相呼應的生產量為主要原則，並要設定終極的最大產能目標，分階段目標進行建設，例如：第一階段達到 1000 棵/日；第二階段達成 3500 棵/日；第三階段達最大產能的 6000 棵/日。

所以，野菜工房用 3A 來描述其用完全人工光源型植物工廠所生產的產品品質，即以日文開頭發音的「免洗」、「美味」及「安心」作為標榜，並強調低細菌、低硝酸鹽與無農藥。用很衛生的方式進行栽培，因此不用清洗便可以馬上生食，用水清洗反而會把水溶性的維他命 C 給流失掉一部分。也因為在完全密閉的植物工廠內栽培，不會有害蟲的侵入為害，所以完全不用施用農藥。養液栽培只在蔬菜需要時才給予必要的營養成份，所以可以達到 2000ppm 以下的低硝酸鹽含量之蔬菜(對照露地栽培的 4000~5000ppm)



野菜工房之三層式立體噴霧水耕栽培系統與人工光源系統

日本完全人工光源型的植物工廠發展有許多成功的案例，但同時也有許多失敗的案例。在成功的案例中可以發現在建築設施方面大部份都利用既有的建築設備或公司廠房的閒置空間利用或是活化再利用，這樣可以節省大量的投資成本與快速的進行蔬菜的栽培生產，不用再經過一段很長的主體結構的建設與內部管路與電源配製等施工期間的無產期間的成本資金耗損，換言之，初期投資在建築結構上成本應該越少越好。另外，投資完全人工光源型植物工廠業者本身也一定要有傳統設施栽培的經驗與其既有的銷售對象與客戶，否則貿然的投入將很容易導致失敗。

(四) Granpa 農場參訪研習

Granpa 農場位於東京西南方神奈川縣的秦野市，面積約有一公頃，蔬菜的栽種設施是應用太陽光利用型的設施型植物工廠來進行萵苣類蔬菜的水耕無土栽培生產與販售。該農場比較特別的是採用圓頂型的氣泡式塑膠布溫室來進行萵苣的植物工廠化生產。該設施為一如體育館樣子的正圓形罩幕，利用空氣往內輸送所形成的正壓力撐起整個塑膠布結構，最大內部壓力為 150Pa，換氣效率最大為 917m³/min。結構之外徑為 29 公尺，內部可利用空間直徑為 27 公尺，圓頂中心最大高度為 5 公尺。栽培系統利用可自動旋轉的放射型滑軌，滑軌槽溝上裝置有可以定植蔬菜的塑膠滑塊，每個滑塊即是一個栽培單元。當由圓心往外延伸之滑軌轉動時，滑軌槽內的栽培單元會受到一由圓心往外迴旋的螺旋狀導軌的牽制而呈螺旋狀往外輸送，形成了一個圓形的栽培面。該圓形栽培水槽的直徑為 20 公尺，栽培池面積為 302 平方公尺，可以同時栽種 125,000 棵萵苣菜，最少每天可以採收 195 棵，並可以達成周年生產。因為該結構體系利用正壓空氣撐起而沒有使用柱子，因此不會遮到陽光產生陰影，其他一般的溫室會有 18% 的面積受到影子的影響，因此會減少產量。此種圓頂型的栽培設施特點為有效利用平面地板的面積，果菜類蔬菜需要往上利用空間，而葉菜類蔬菜便要能將平面空間充分有效利用。傳統栽植方法因作物由小到大成長要預留生長的空間間隔，因此會造成幼苗時期的空間浪費，但是若種植的太密集又會彼此遮到光線與妨礙生長。圓形種植則可以利用自動化設計從內圈密植幼苗，然後隨著滑軌槽的迴轉如蚊香的形狀逐漸外圈旋轉並同時加大空間，等栽植單元轉到最外圈時便可以進行採收。

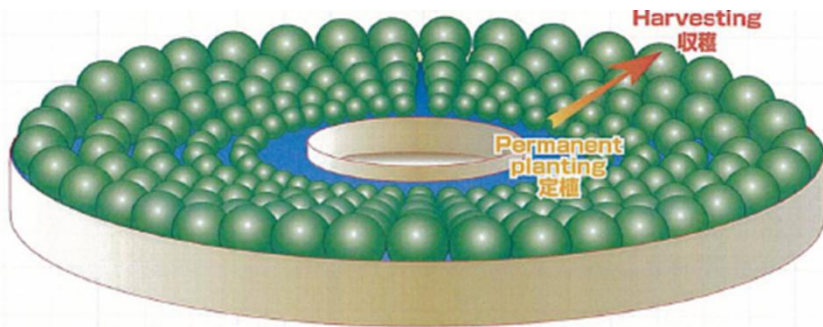
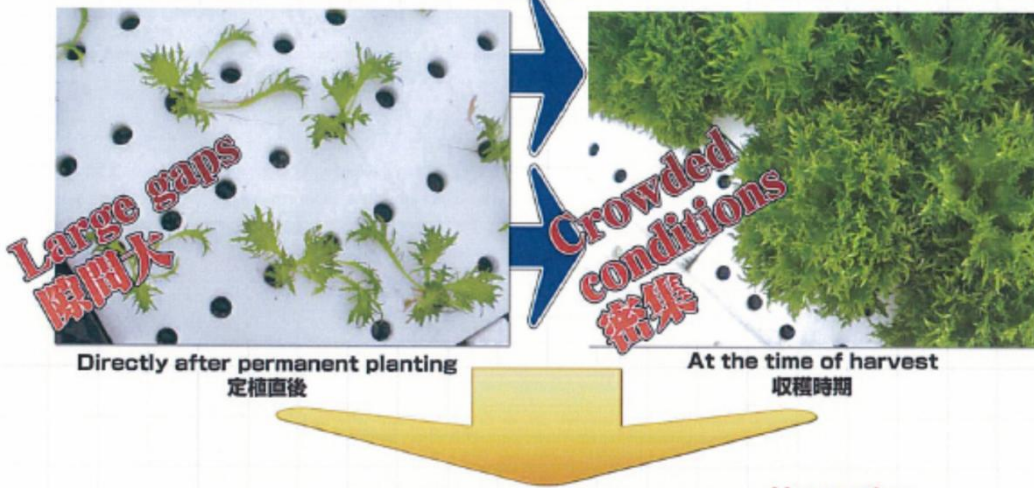


圓頂型太陽光利用型植物工廠外觀與其架設方式

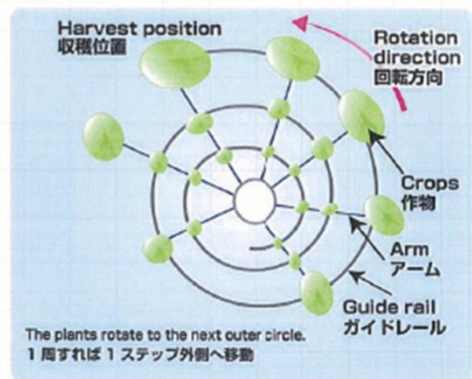
Spacing System

The problem of useless space in conventional facilities has been solved.

従来型施設の問題であったムダスペースを解決しました



A productivity of at least twice of that of conventional facilities
従来施設の
2倍以上の生産性

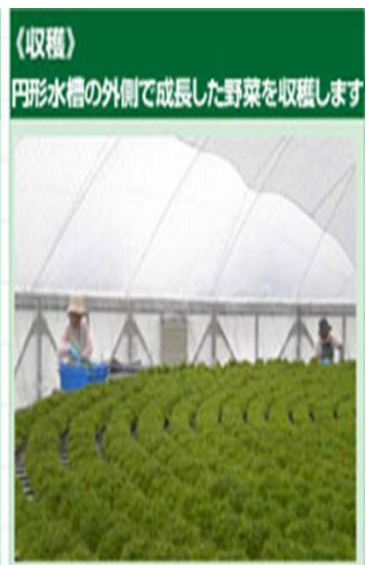
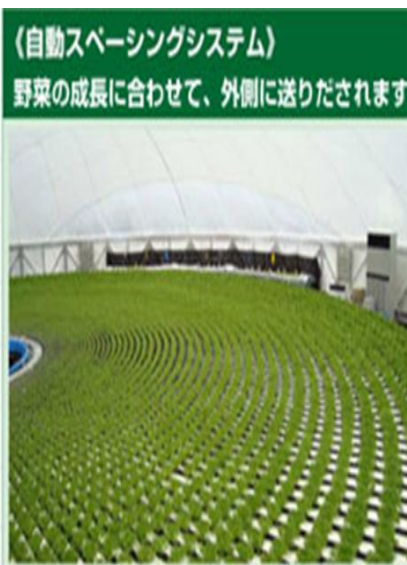
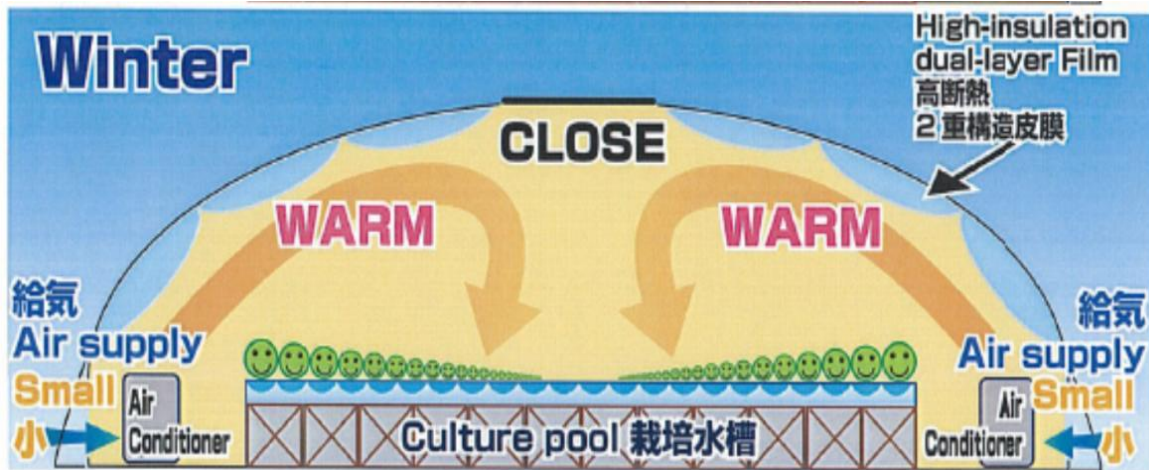


特許出願中 特願 2010-141159

圓頂型植物工廠的結構與運作模式示意圖
(グランパ(株))

The facility composed of circular water pool and an air dome realizes high productivity and energy savings

円形水槽とエアドームによって構成された施設は
高い生産性と省エネルギーを実現します



在最内圏定植→螺旋状往外自動移動→在最外圏採收
(グランパ(株))

(五) Urban Farm Factory 株式會社參訪研習

2011年12月2日至東京涉谷區的Urban Farm Factory 株式會社進行『植物工廠事業的現狀與今後之展望』為題的專題研習課程，該公司為一家以住在都會區的人為對象，提出可以在都會區從事農業活動的諮詢顧問公司。因此，植物工廠是很適合在都會區發展的農業設施。松尾康宏社長就日本植物工廠的發展提出他的看法，目前在日本有50家植物工廠在營運，其中34家是完全人工光源型，16家為太陽光利用型與太陽光及人工光源併用型，而其中60%都是虧本的，30%能達到收支平衡，只有10%是有營業利潤的。由於日本植物工廠的發展背景可以使工商業者之廠商有投入的機會，再加上政府對投入植物工廠的建造有短期間的進行補助，因此吸引了一些廠商的爭相投入去尋找商機。但是由於大部份的廠商沒有農業技術與栽種經驗，更重要的是沒有產品的銷售通路，因此大部份的植物工廠都沒有很成功。在日本發展成功的植物工廠有以下的特點：一、經營較久的業者，要有10年以上經驗的業者，因為其設備的投資成本已回收，因此可以開始有營收利潤。二、在投入植物工廠營運之前已經有自己銷售通路的業者，如一家經營定食連鎖式餐廳的『大戶屋』(MIRAI公司的技術支援)，以完全人工光源型的植物工廠進行產品的自產自用，該公司同時也在台灣、新加坡和香港開設連鎖店並設置植物工廠進行蔬菜的自用生產。此外，大戶屋於四月開始使用位於山梨縣自設植物工廠的三種蔬菜，作為無農藥沙拉用，該植物工廠每日約可生產30公斤蔬菜，大戶屋計畫提高即將於明年啓用的第二家植物工廠產能為三倍，且將照明用的螢光燈管改為LED燈管以降低本。另外有一家SG Green House的公司，引進其他植物工廠公司(JFE)的整廠設備與技術，建置太陽光與人工光源併用型的植物工廠生產烤肉店用的萵苣菜，在其建設完成後即刻可以投入生產，因此該公司2年以後就有營業利潤。目前的產能能達到每天生產12,000棵的萵苣供應其廣大的銷售通路網，其產品每包約85~95公克，售價為198日元。SG Green House公司因為本身已經有其蔬菜的銷售通路，再加上該公司引進其他植物工廠公司的整廠設備與技術，因此可以在短時間內就達到成功的經營模式並獲得利潤。



Urban Farm Factory 株式會社研習情形

日本很早之前就已經有二波的植物工廠發展熱潮，目前的熱潮為第三波的熱潮，因為 2009 年日本的農地法修訂後使很多民間企業可以投入農業的生產，再加上政府有 150 億元的補助預算去發展福利型的農業生產，即發展植物工廠的水耕承架式栽培法，使得坐輪椅的身障人士也可以在植物工廠工作。目前 AEON 永旺集團的 300 個超市，因考量植物工廠所生產的蔬菜不受天候影響，具生產量及價格平穩等優點，今年三月已開始販售購自外部工廠所生產的三種萵苣，袋上明確標示「未使用農藥」，但價格較其他同種萵苣高約 2 至 3 成，乃工廠設備及電氣成本昂貴所致。



植物工廠化的作業模式可提供身障人士從事農業生產

2010 年開始也增加許多店舖併用型的植物工廠種植蔬菜用於店產店銷，另外應用於栽植中草藥的植物工廠也增加很多如甘草等。日本綜合建築公司「鹿島」在 2010 年，開發出日本國內首發成功根類植物的人工栽培方式，並導入植物工廠栽培系統。目前為止，植物工廠栽培系統僅限於生菜與番茄的生產。而本次的技術將追加馬鈴薯與蘿蔔等，將能成為新的銷售源。綜合建築業界因為公共投資的縮小與民間設備投資的減少而持續陷入苦戰，成長幅度大的植物工廠用等相關設備的訂單，將會造成業界的活性化。鹿島所開發的是漢方藥原料的藥用植物「甘草」的人工栽培系統，由千葉大學與醫藥基盤研究所共同開發。目前百分之百的甘草皆由中國等地輸入，而人工栽培的成功也代表「國產化」的成功。一般而言，甘草由栽培至收穫大約需耗時 4 年，而水耕栽培能將收穫期間減短一年至一年半。鹿島將在往後的 1~2 年內確定栽培系統，並把目標放在企業化栽培。

甘草の水耕栽培(鹿島建設)



鹿島建設公司應用植物工廠水耕栽培甘草

二、肥料效率提升技術與家畜糞堆肥施用技術參訪研習



櫛木縣高根尺町地域生物系堆肥製造所



鳥糞石結晶法從豬糞尿中回收磷

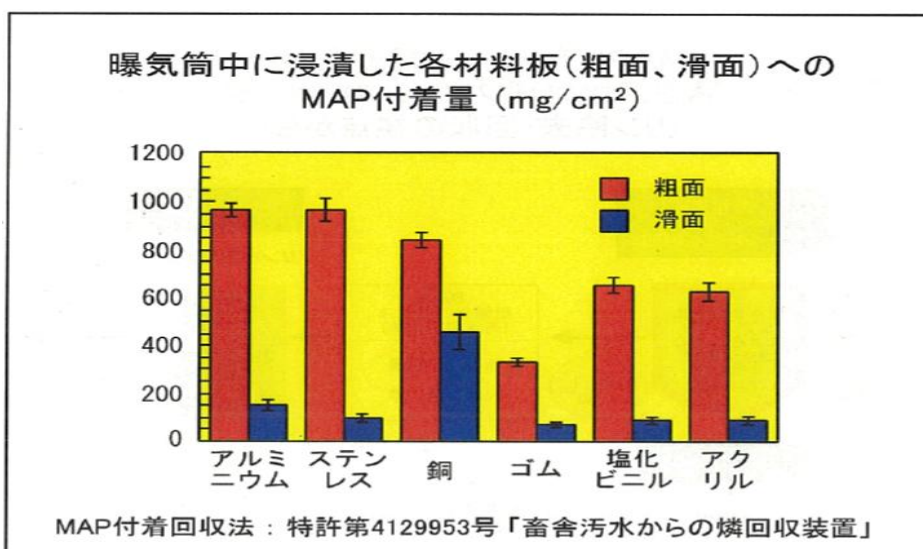
(一) 豬舍污水中磷的除去回收技術

開採磷礦來製造肥料，等於以地質循環補充速度的三倍來消耗這種礦物，在數十年內，美國會消耗掉所有本土可開採的磷礦資源，這些礦藏也可能在一世紀內被開採完畢。磷肥的原料來自磷礦石，而磷礦石在自然界中的資源有限，並且集中在中國、美國、摩洛哥和蘇聯 4 個國家，其他磷礦豐富的國家並不多，根據 2008 年統計資料顯示，這 4 個國家磷礦石的生產量約占世界產量的 72%，其中中國與摩洛哥的產量約占世界產量的 68%。況且磷肥施用在土壤中，僅在中性條件下與鈣離子 (Ca^{2+}) 和鎂離子 (Mg^{2+}) 形成易溶化合物，磷在酸性條件下與鐵離子 (Fe^{3+}) 和鋁離子 (Al^{3+}) 形成難溶化合物，在鹼性條件下則與鈣離子 (Ca^{2+}) 形成難溶化合物而被土壤固定，以致於養分的利用率很低。

日本的磷礦資源必須仰賴其他國家進口，同時在法律中訂有豬糞尿污水的磷排放標準，而豬糞尿污水中含有高濃度的磷，因此，爲了保護自然環境以及有效的資源再利用，必須建立一套從豬糞尿污水中回收磷的技術。

從豬糞尿污水中回收磷的鳥糞石結晶反應器技術，主要項目：

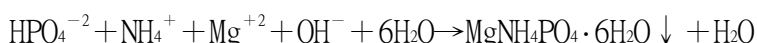
- (1) 以不同材質配合不同網目粗細，設計污水處理槽濾網，求得每單位面積回收最大量鳥糞石，試驗結果顯示以不鏽鋼材質配合較大網目可以獲得最佳效果。

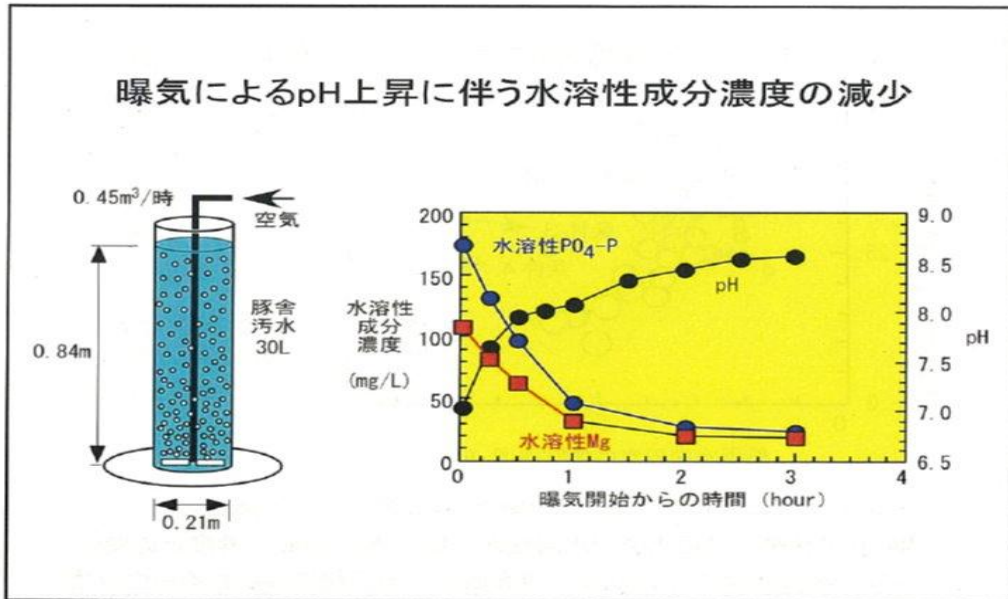


豬糞污水中不同濾網設計與回收鳥糞石關係
(鈴木一好“豬舍污水中磷的除去回收技術”講義)

- (2) 控制通氣入豬糞尿污水的時間與量將豬糞尿污水的酸鹼值提升至 8 到 9 之間，並且調整鎂 (Mg^{+2}) 的濃度，讓豬糞尿污水中的銨 (NH_4^+)、磷酸 (PO_4^{-3}) 和鎂 (Mg^{+2}) 反應，生成鳥糞石 (磷酸銨鎂， $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 沉澱。

鳥糞石結晶 (struvite crystallization reaction) 之反應式如下：





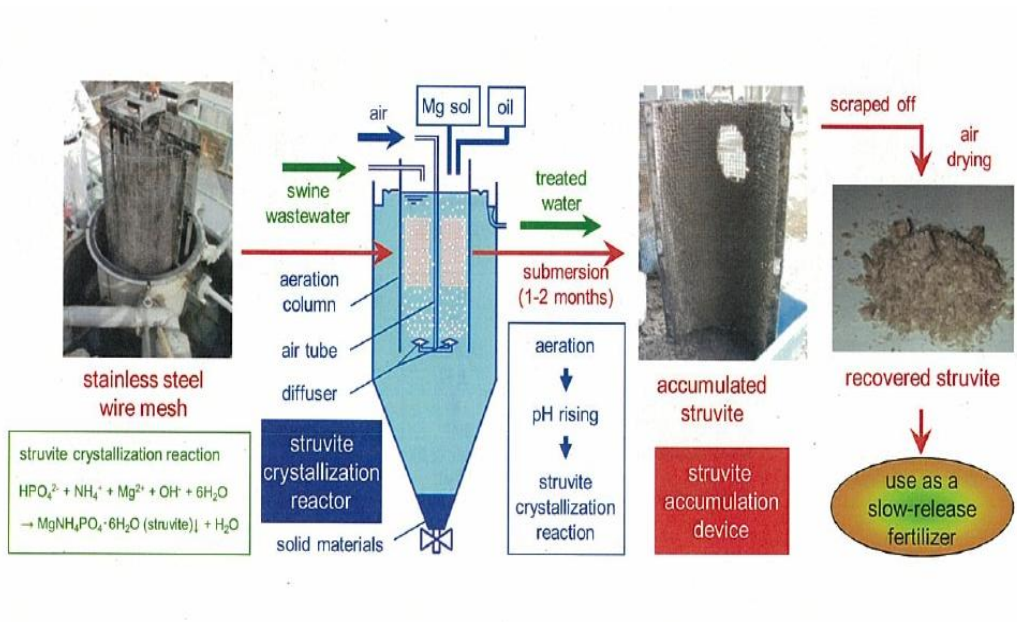
豬糞汗水中酸鹼度與水溶性磷酸、水溶性鎂關係
(鈴木一好“豬舍汗水中磷的除去回收技術”講義)

- (3) 從汗水處理槽濾網上面刮下結晶的鳥糞石。
- (4) 風乾後製成緩釋肥料與陶瓷器釉藥。目前技術可以從每 1 立方公尺豬糞尿汗水中回收 32 到 171 克的鳥糞石，純度達 95%，並且已運用在北海道的養豬場中。

附着回収された結晶(純度約95%)の分析値

画分	成分	附着回収結晶			MAP (理論値)	
		mg/kg	mg/kg	モル比率	mg/kg	モル比率
1N HCl-非溶解性 (主に有機物)		47.900				
1N HCl-溶解性 (MAP)		952.100				
	PO ₄		366.058	1.000	388.000	1.000
	NH ₄		73.800	1.064	73.000	1.000
	Mg		96.870	1.047	98.000	1.000
	Ca		167	0.001	0	0.000
	K		1.880	0.013	0	0.000
	Cu		37	0.000	0	0.000
	Zn		69	0.000	0	0.000
	other (H ₂ O)		413.219		441.000	

鳥糞石之成分分析
(鈴木一好“豬舍汗水中磷的除去回收技術”講義)

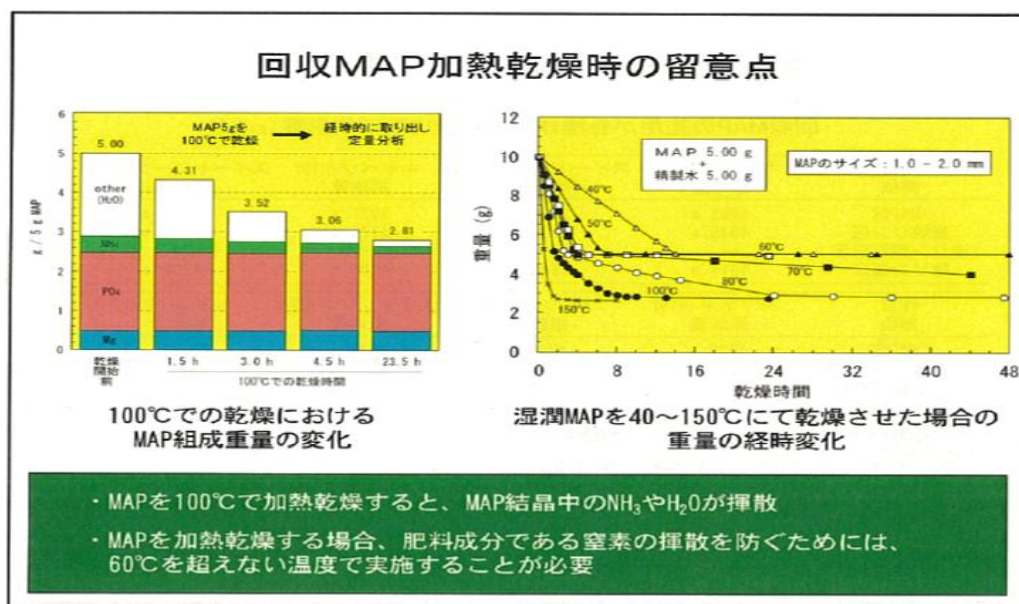


豬糞尿汗水中磷回收流程圖

(鈴木一好“豬舍汗水中磷的除去回收技術”講義)

爲了讓此技術普及應用於豬糞尿汗水中回收磷，農研機構畜產草地研究所等研究機關，繼續朝著技術簡易化、操作低成本以及豬糞尿汗水中鳥糞石的回收技術與應用之研究努力。在豬糞尿汗水中鳥糞石的回收技術與應用之研究方面分成 3 個方向進行：

(1) 控制乾燥鳥糞石之溫度與時間，減少氨氣體之揮散，增加鳥糞石之回收量。



鳥糞石之回收量與乾燥溫度、時間之關係

(鈴木一好“豬舍汗水中磷的除去回收技術”講義)

(2) 製成緩效性肥料應用於高麗菜等園藝作物之研究。

(3) 應用於製作陶瓷器釉藥，增進陶瓷顏色之研究。

回収MAPの陶磁器用原料としての利用可能性検討

発色剤としてFe₂O₃を使用したときの発色変化例
 →MAP添加量、Fe₂O₃添加量の違いで発色が変化



- ・ MAPの配合にて特に鉄を発色剤とした茶系の釉で新たな色調を表現できること
- ・ MAP添加釉では黒い斑点模様の気泡が釉表面に残った柚子肌を表現できることなどを明確化

鳥糞石應用於陶磁器釉薬之研究
 (鈴木一好“猪舎污水中磷的除去回收技術”講義)

豚舎污水中リン除去回収利用技術を通じた社会への貢献



- (1) 水質汚濁物質であるリンの養豚経営外への排水中排出量削減が可能となる
- (2) 枯渇有限資源であるリンの養豚経営からの供給が可能となる

社会の
 危急的要求の解決
 に貢献

成果
 の
 評価

2008年12月17日 農林水産省
 2008年農林水産研究成果10大トピックス
 第4位に選定

2009年6月12日 社団法人 畜産技術協会
 第6回畜産技術協会賞受賞

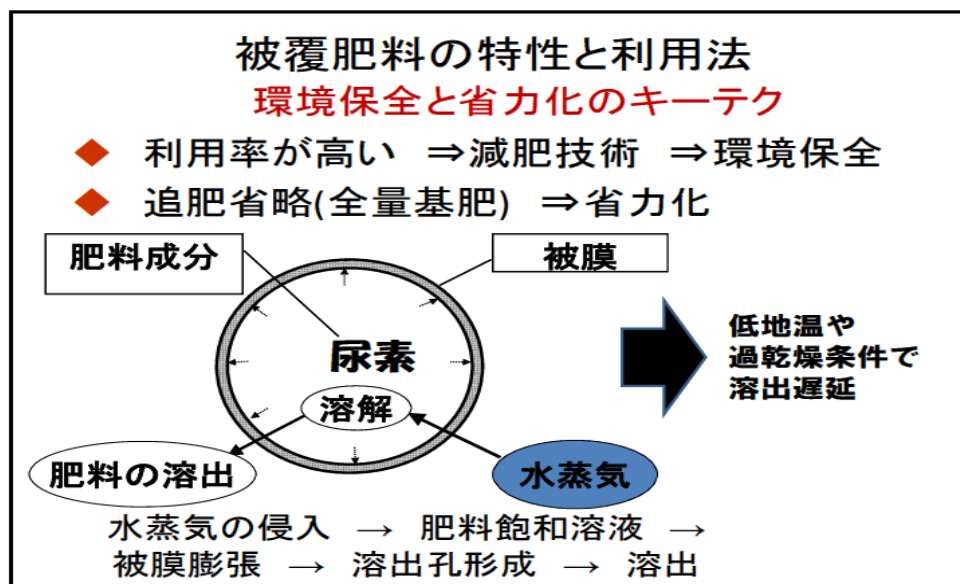
猪糞污水中回収磷之技術應用對社會的貢獻
 (鈴木一好“猪舎污水中磷的除去回收技術”講義)

(二) 肥料效率提升技術

肥料是提高農作物產量的主要資材之一，也是增加農作物產量最快速與直接的資材，試驗資料顯示增加作物的產量約有 50% 是來自於施用化學肥料的貢獻。隨著人們對農作物產量的需求越來越大，化學肥料的用量也越來越大，但是施用於農田的化學肥料無法全部被作物吸收，未被作物吸收利用的化學肥料，一部分被沖蝕流入水體，對環境的衝擊包括汙染地下水或者造成水體優養化，一部分則揮發至空氣中產生氧化亞氮 (N_2O) 溫室氣體，農田土壤是全球 N_2O 的重要排放源，是近幾十年來大氣中 N_2O 濃度持續上升的重要原因，而大量殘留在農田的化學肥料亦對土壤環境造成了負面影響。肥料利用率低不僅造成資源與能源浪費，降低農業生產的經濟效益，同時也帶來嚴重的環境問題，對人類的生存環境也產生嚴重影響；而且，一味的增加肥料施用量，不僅不能增加作物產量，反而會降低農作物的產量與品質，進而降低農民收益。在技術上可由 3 個方向來改善 (1) 施用肥效調控型肥料 (2) 改善施肥位置 (3) 在正確時期施用正確的施肥量。

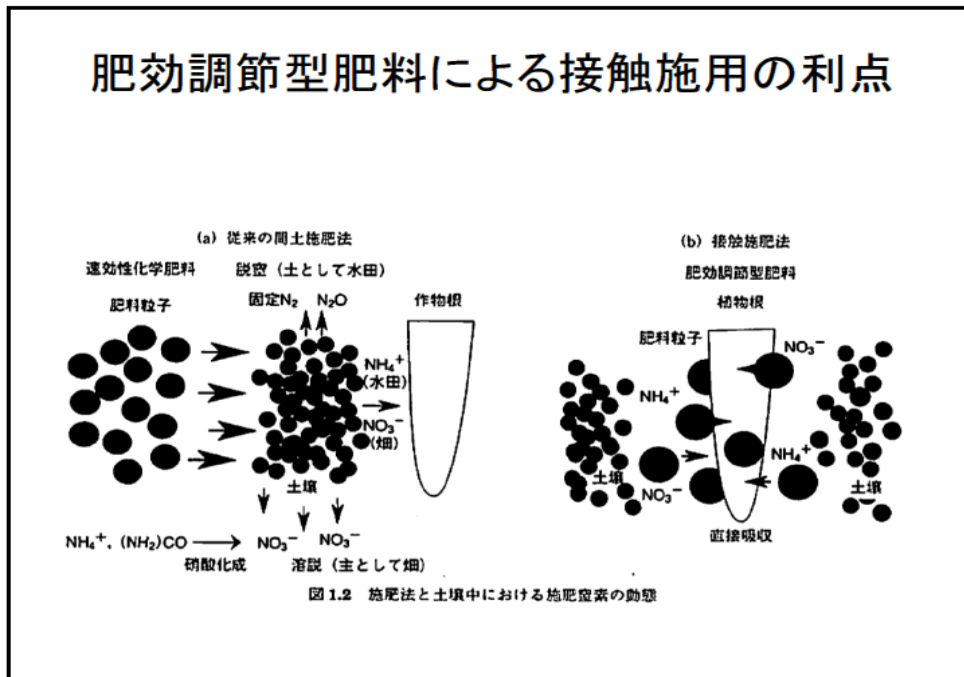
肥效調控型肥料可分為被覆肥料、化學合成的緩效性肥料和硝化抑制劑肥料等 3 種，其中被覆肥料是目前很多先進國家積極發展的技術。日本的在被覆材料的發展上，主要以熱塑性樹脂和熱固性樹脂為主，其養分溶出速度受到土壤溫度的影響。被覆肥料具有 (1) 養分釋放模式與作物生長階段對養分需求一致的特性，肥料養分的利用率高，對作物不會造成鹽害問題，對環境不會造成負荷；因其養分具有緩慢釋放的特性。(2) 作物生長期間僅需一次施肥，可以節省農民肥培管理的勞力。

被覆肥料具有緩慢釋出養分的特性，在施用技術上可以儘量靠近作物根部，減少養分揮發以及溶淋的損失，增加養分的吸收效率。



被覆肥料の養分釋放模式及其養分釋放機制
(加藤直人“化學肥料と家畜ふん堆肥の施用技術”講義)

肥効調節型肥料による接触施用の利点



被覆肥料可施用於作物根部附近，提升養分吸收效率
(加藤直人“化学肥料と家畜ふん堆肥の施用技術”講義)

然而，不同的土壤溫度會影響被覆肥料的養分釋放特性，溫度高時養分釋放速度快，溫度低時養分釋放速度慢，在施用上必須配合環境條件，才能發揮其效果。

被覆肥料の溶出パターンと温度依存性

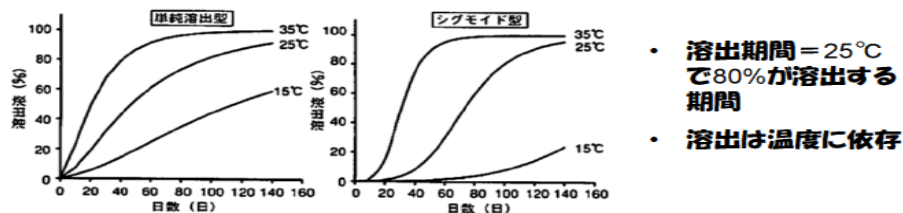


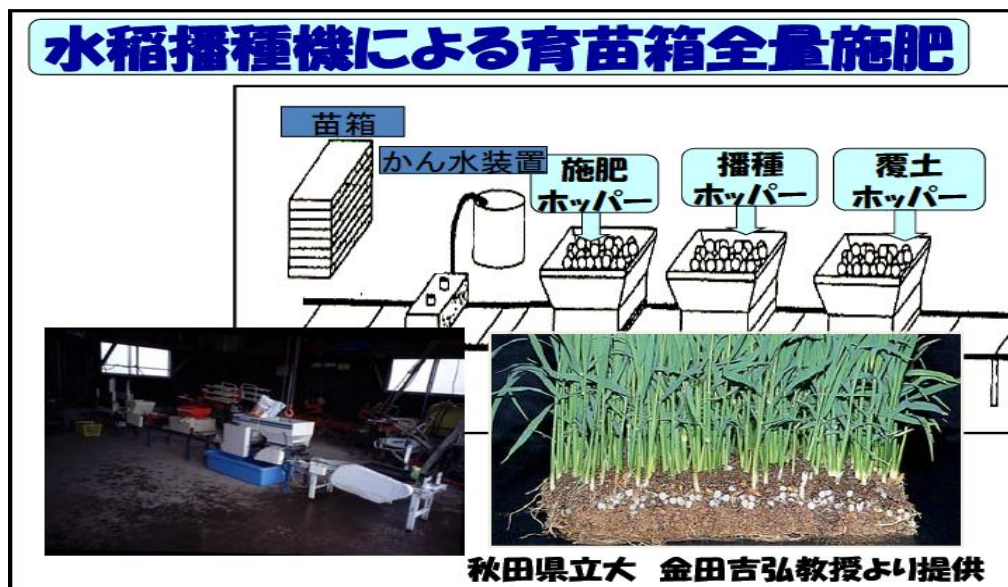
図 4.59 被覆肥料の溶出パターンの例 肥料の事典より転記

- 尿素を被覆
リニア = 30~270日
シグモイド = 30~200日
- リン硝酸カリを被覆
リニア = 40~360日
シグモイド = 70~220日

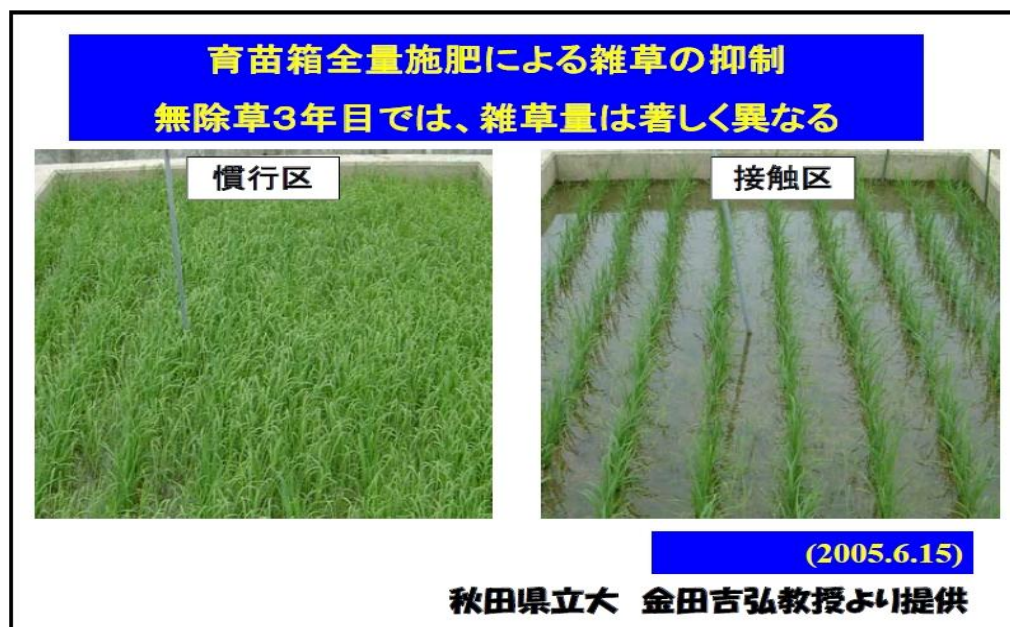
被覆肥料の養分溶出特性與土壤溫度關係
(加藤直人“化学肥料と家畜ふん堆肥の施用技術”講義)

被覆肥料須添加被覆材料並須對化學肥料進行二次加工，而且控釋型肥料的生產技術較傳統化學肥料複雜，對相關製造設備之研究較少，以及對包覆的材料與包覆的技術，均需投入人力開發，使得被覆型肥料之製造成本和售價都遠遠高於傳統化學肥料，一般被覆肥料均受限僅運用於高經濟作物上，難以在農田上推廣應用。日本將被覆肥料施用在育苗箱中，隨

同播種機一起播入水田中，是將被覆肥料配合施肥技術運用在水稻栽培上非常成功的國家。比較水稻田施用硫酸銨、被覆肥料與被覆肥料配合育苗箱全量施肥時氮素的利用率分別為 23～33%、61～67%與 72～82%，顯示在水稻田中不管施用被覆肥料或者被覆肥料配合育苗箱全量施肥，均可提升氮素的利用率。同時由於大部分的肥料養分均被水稻吸收利用，沒有多餘的養份供雜草吸收，間接地抑制了雜草的生長，同時也節省了除草劑與除草的勞工成本。



被覆肥料施用水稻育苗箱之全量施肥技術



被覆肥料配合育苗箱全量施肥間接抑制了雜草生長

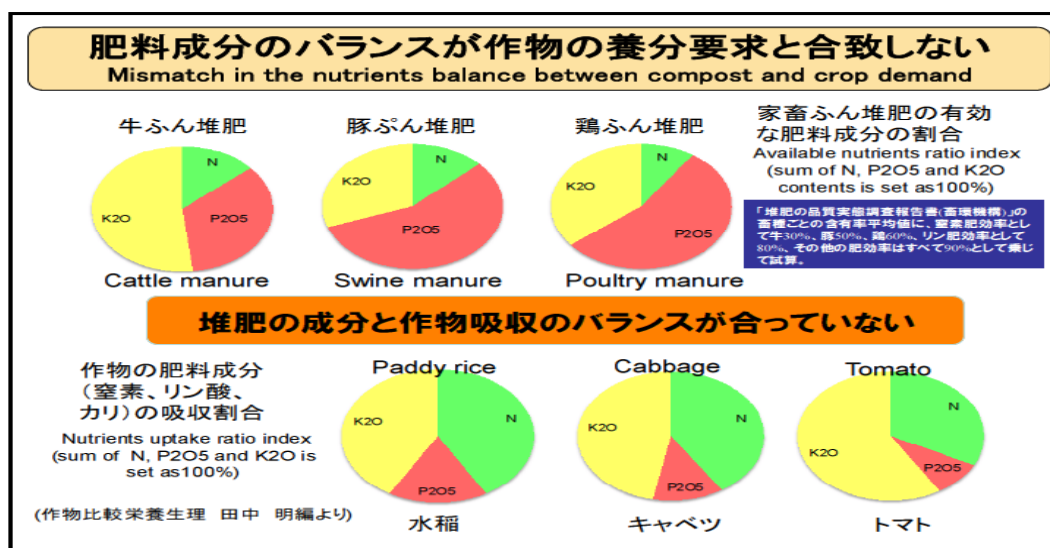
(三) 禽畜糞堆肥施用技術

將飼養禽畜的廢棄物任意拋棄，將對空氣和水源造成衝擊，並且衍生環境衛生問題，若棄置於垃圾掩埋場，將縮短掩埋場壽命。然而，禽畜飼料中所含之氮、磷、鉀分別約有 70~80%、60~85%、80~90% 隨著糞便排出體外，因此，禽畜廢棄物中富含作物生長所必須之養分及有機質，若能有效管理以及正確的施用於農地，除了可以達到資源回收再利用外，亦可增進土壤理化性質，同時可以促進作物生長，減輕對環境的衝擊。

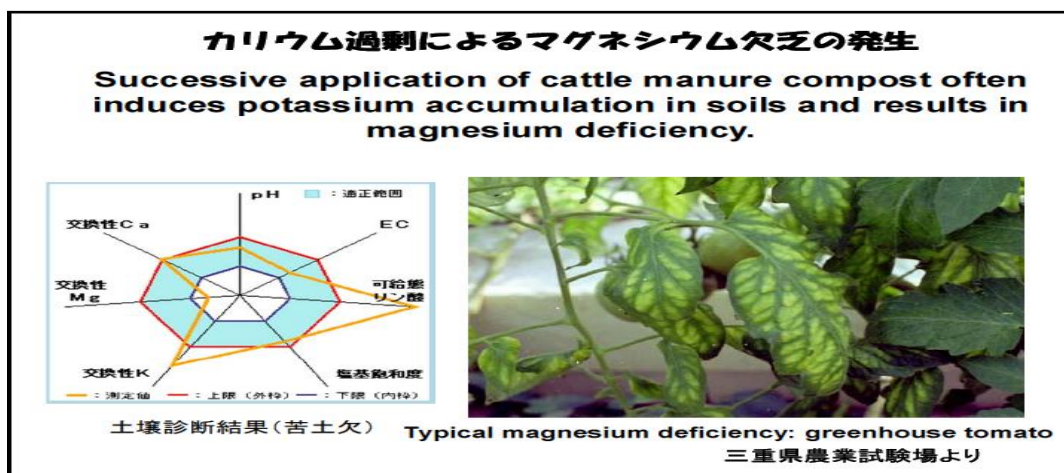
日本每年約需要化學肥料氮 (N) 與磷 (P₂O₅) 47 萬噸，鉀 (K₂O) 35 萬噸，而將禽畜廢棄物製成之堆肥，能供應之氮 (N)、磷 (P₂O₅) 與鉀 (K₂O) 分別占年化學肥料需要量的 26%、37% 與 67%，所佔比例非常大，是一個非常重要的作物養份資源。

但是，不同禽畜廢棄物的養分、有機質以及水分含量不一樣，再加上配合的堆肥資材與配方不一樣，所以製成堆肥之氮、磷、鉀養分差異很大，例如常見之牛糞堆肥、豬糞堆肥與雞糞堆肥。將禽畜堆肥施用於農地，一般會有如下問題：

- (1) 堆肥之氮、磷、鉀養分含量與比例不適合作物生長所需，直接施用時，作物生長將因養分不均衡而造成生長不良。



不同堆肥之養分比例不同而且不適合作物生長所需
(加藤直人“化学肥料と家畜ふん堆肥の施用技術”講義)



作物易因連續施用牛糞堆肥而發生的鉀過量及鎂缺乏徵狀
(加藤直人“化学肥料と家畜ふん堆肥の施用技術”講義)

(3) 不同堆肥之有效性氮不一樣而且很難去預測。

(4) 施用堆肥較需費勞力且有臭味等問題。

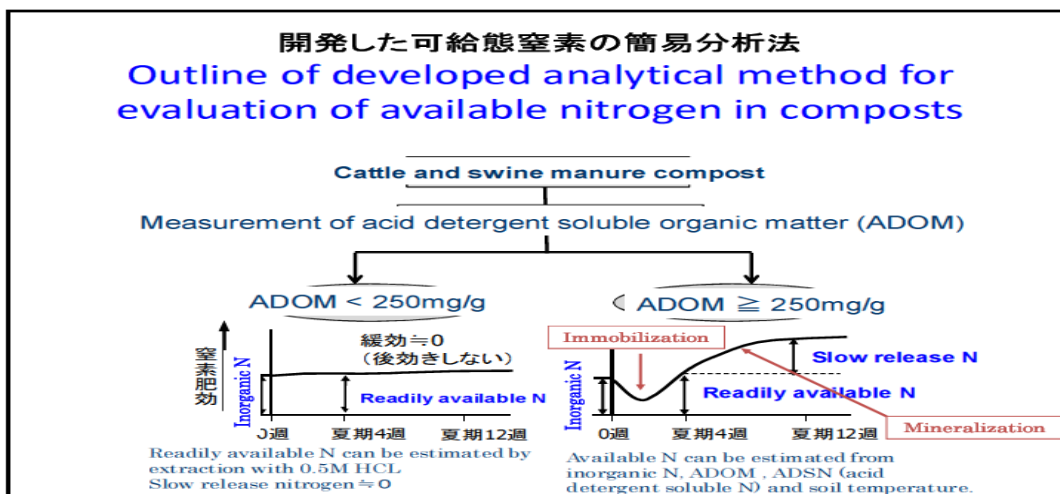
因此，必須了解堆肥中有效氮、磷、鉀的養分含量及比例，根據氮、磷、鉀在堆肥中的礦化速率，將堆肥的肥效分成速效性、緩效性以及遲效性 3 個部分。速效性部分的肥效等同化學肥料，施用後約在一個月內為作物吸收利用；緩效性部分的肥效等同緩釋肥料，施用後約在一個月至 3 個月內為作物吸收利用；至於遲效性部分的肥效則被認為無法為當季作物所吸收利用。



根據堆肥養分的礦化速率將堆肥中養分分為 3 類

(加藤直人“化学肥料と家畜ふん堆肥の施用技術”講義)

但是傳統的礦化速率試驗以及實驗室化學分析方法，非常繁複而且常需耗費時日，無法立即為農民提供適當的堆肥施肥方法，因此，日本中央農業總合研究中心開發一套簡單快速的檢驗方法；利用 0.5M 鹽酸分解可溶性有機質 (acid detergent soluble organic matter, ADOM) 的量來做判斷，每公克堆肥的 ADOM 小於 250 毫克，則屬於遲效性部分，每公克堆肥的 ADOM 大於 250 毫克，則屬於速效性及緩效性的部分。



酸分解可溶性有機質判斷堆肥氮素養分的釋放速率

(加藤直人“化学肥料と家畜ふん堆肥の施用技術”講義)

日本中央農業總合研究中心開發一套堆肥施用推薦量公式，置於網路上，供農民施用堆肥時參考，在有施堆肥的農田上必須從化學肥料的需要量上扣掉堆肥中有效養分的部分，減施化學肥料，方能達到提升肥料利用率與環境安全的目的。



堆肥を施用した場合の化学肥料の適正な施用量を自動計算
堆肥カルテシステム
Computing system for making adequate fertilizer recommendation

■ システムの概要 ■

本カルテシステムは、農林水産省の委託を受け実施された先端技術を活用した農林水産研究高度化事業の中で得られた成果を活用して作成した、日本国内で生産されている「家畜ふん堆肥」のカルテ（堆肥の特徴や栄養肥効など）をインターネットを通じて閲覧できます。

■ システムの目的 ■

このシステムは、次の2点を目的としています。

1. 作物生産性の向上と持続的な土づくりの推進
2. 家畜ふん尿の適正な処理と良質な堆肥生産かつ持続的な利用の推進



家 畜ふん堆肥を探す

全国地図より地区を選択すると、各地区の家畜ふん堆肥が確認でき、栽培品目ごとにシミュレーションすることもできます。

土 壌診断を実施

「土壌化学性」の「測定値」が自由に入力でき、概ねの土壌診断結果をテストシステムで閲覧することができます。

配 信ファイル再生ダウンロード

土壌化学性の測定方法などを動画で紹介しています。

<http://taihi.dc.affrc.go.jp/carte/>

日本中央農業總合研究中心開發之堆肥施用推薦量網頁

(四) 地域資源活用型肥料參訪研習

傳統處理落葉、稻稈、禽畜糞尿與豆渣等農業有機廢棄物的方式，是將其堆置成堆肥後再回歸到農田中，作為供給作物生長所需之養分，作物收穫後或為動物之食物，或為其他利用，然後再產生有機廢棄物，形成一個自然的循環。基於此，日本著眼於：「與自然共生」、「與地域共生」，也可以說以「對人類而言最適切的環境創造」為目標。在飼養家畜時，便同時開始進行有機畜牧複合農業系統，換言之，重視生態的系統：平時即不仰賴輸入的飼料，將農作收穫物的一部份，轉作為家畜飼料，活用排泄物做飼料，並將其還諸大地，以此方法獲取自然恩澤的農作物。在很多鄉下社區設立地域資源活用型肥料廠，使得農場、作物栽種者、農場管理者、農產品販賣店及有機堆肥出口商均能獲利。當然，要完成這個理想，必須（1）利用區域性有機廢棄物，製造高品質的堆肥以增進土壤的肥力。（2）製作堆肥的有機廢棄物原料，是由社區居民以付費的方式送進堆肥場，堆肥場可以供應廉價的有機堆肥給需要者，因此，透過會議的方式教育施用有機堆肥增進土壤肥力的技術，來營造一個永續的農業環境顯得特別重要。（3）回收有機廢棄物製成堆肥的計畫，在造鎮時居民就必須參與一起規劃，以活化區域經濟。



栃木縣地域資源活用型肥料廠



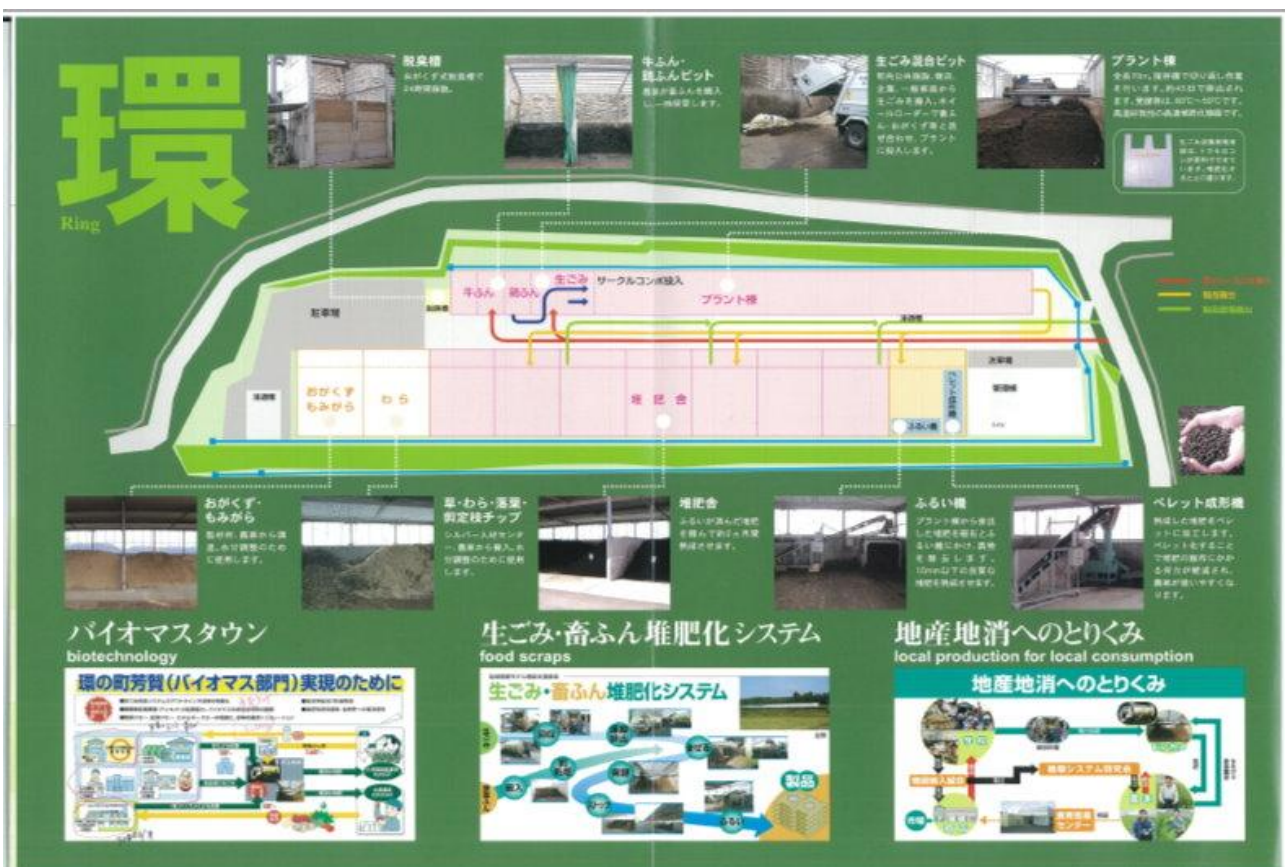
〈事業及び施設概要〉
 施設名称: ドンカメ 堆肥センター
 所在地: 栃木県芳賀郡芳賀町大字稲荷3000-3
 敷地面積: 4,500㎡
 構造: 堆肥プラント 1棟 飼料用干草製造ユニット
 堆肥倉庫 1棟 飼料用干草製造ユニット
 総棟数: 3
 稼働年度: 平成15年度 資源リサイクル推進推進事業(産廃系産業)
 平成17年度 資源循環型産業をモデル事業として推進事業
 (3) 農業産物系環境

〈許可の概要〉
 『一般廃棄物処分 中間処理(調製) 総容量第1号許可施設』
 一般廃棄物処理業(収集運搬) 許可容量第1号17.25㎥
 一般廃棄物処分(中間処理) 許可容量第1号17.25㎥
 農業産物処理業 許可容量第1号0002120155
 農業産物処分(中間処理) 許可容量第1号0002120175

〈会社概要〉
 1983年 栃木県芳賀郡稲荷3000-3の地産物産物系、
 農業系法人「ドンカメ」設立。
 1987年 生ごみ堆肥化プラント稼働。事業開始。
 2004年 農業システム研究所を設立。
 2011年 資源リサイクル推進事業(産廃系産業)による
 資源リサイクル推進事業(産廃系産業)の開始。
 2012年 資源リサイクル推進事業(産廃系産業)による
 資源リサイクル推進事業(産廃系産業)の開始。
 2015年 堆肥プラント、生ごみ堆肥センター稼働。



地域資源活用型肥料之循環圖 (ドンカメ有限会社)



製造地域資源活用型肥料之流程图 (ドンカメ有限会社)

肆、建議與感想



筑波中央農業總合研究中心



Asia 會館附近環境

- (1) 台灣與日本在傳統的農業環境上都面臨著相同的問題，那就是農地的狹小，每一農戶的平均耕地面積在台灣少於 1 公頃，在日本則約為 1 公頃強。農業對土地的依存性甚至高於工業，所以土地狹小的國家，其農業比較趨於劣勢是理所當然的事，比如一樣是高投資的機械卻不能作長時間大規模的利用，生產力比美國、歐洲諸國較低，是可理解的。日本的農業生產力只有美國的十分之一或歐洲共同組織的四分之一至二分之一，台灣則是更低於此比率。多年來以農業扶持工業的政策導向再加上工業的確實爭氣，農工之間的差距日益加大。
- (2) 爲了加強農業的競爭力，先進國家由於農地規模廣大，技術革新的收益也大，所以應使農地的規模擴大，其作法如減少農業人口並增加借地農（即肯把田地出借的農戶），使得每一農戶的平均耕地面積能加大，目前政府推行小地主大佃農的政策即是以此理論來增進台灣農業的競爭力。但此理論或許適用於他地，但在台灣與日本在推行上仍面臨許多的限制，因台灣不但面積狹小，且地形起伏不平，很難有較廣大的耕作面積。所以再怎樣地做品種改良，投入化學肥料和農藥，努力機械化，卻因受土地限制而有著生產力的上限。就算擴大農業規模，現實上也有種種困難。假設有農戶肯出借農地，在小片土地分散在各地的狀態下，根本無法提昇生產力，須在相接連的某一地區上有多數農戶肯決心離開農業，不然根本無法實行大規模化。問題是由於地價暴騰，農家自是不肯輕易拋棄土地。代耕中心的出現，充其量僅是提高農機的使用率，在產量與生產力的提高上效益不彰。
- (3) 爲解決生產力不足的問題而言，現代的農業技術似乎都不太管用，但人類仍需不斷提升農業生產力以餵飽全球人口，因此須考慮的是要如何技術革新，使得單位面積的產量能大幅提高且對地力之損耗及環境之污染達最小，以確保農業之永續發展。在新的農業革命進展的同時，還要能夠導入自由經濟市場的機制，以留下較強勢的農戶。究竟有無如前所述的農業呢？其實這不外乎就是選擇「植物工廠」。
- (4) 提昇農業生產力可協助解決糧食問題，而植物工廠在土地狹窄、地力貧瘠或氣候條件較差的地區來說具有特殊的意義。對台灣的農業亦然，因爲我們很難像美國那樣在廣大地面用機械化來提高勞動生產力。在狹小的土地上，用高度環境控制技術來提高單位面積產量及勞動生產力是最好的選擇。從水耕栽培到植物工廠，然後再跟生物技術結合的方式就是邁向 21 世紀現代化農業的發展策略。組織培養苗以立體栽培架在環控室內生產，單位面積產量大，產值高是大家熟知的。日昇公司在 1998 年建立的蝴蝶蘭小苗栽培植物工廠每平方米栽培 1900 株小苗的高產能是一般溫室的 17 倍以上，其關鍵就在立體化栽培。
- (5) 加拿大、蘇聯、北歐等寒冷地或寒冷期，中、近東及非洲的沙漠地帶，如用一般的栽培方法是不可能或很難的。寒冷地的溫室栽培須費很大的能源(燃油)成本，沙漠地則受自然環境的限制就是有充分的水也難栽培。但如電力成本便宜的話，完全控制型植物工廠便能發揮效用。尤其要解決森林被濫伐、土壤沙漠化，且時常在旱魃爲虐，而政府卻束手無策的非洲窮國的飢餓問題，也許只能靠植物工廠，也才有希望做寒冷地、不毛地、地下、海底與太空中的農業，進一步協助解決糧食問題。
- (6) 在最適當環境下栽培植物(菜蔬)，植株體內一般的維他命或微量元素的含量會增加，可提高營養價值。但是環境條件、作物生長階段與營養價值的關係，目前對大多數作物尚無法完全加以定量化，是今後的研究課題。可定量定期生產高品質作物之後才可

進行生產規劃，才可做到農業生產工業化與農業經營企業化。作業環境良好、有省力化的可能，可吸引年輕人回歸農業。農業本是冒著寒冷酷暑的重勞動，跟一般上班族在有冷暖氣機空調的大廈中快適地工作，兩般情況大相逕庭。可是農業從事者也有主張在舒適環境中作業的權利，因工作環境惡劣導致不少年輕人不願留在農村或拒絕嫁到農村是毋庸置疑的事實，又在社會趨向高齡化的今日，良好的作業環境且兼顧省力化是很重要的。

- (7) 在完全控制型植物工廠裡，由於與外界隔絕，使用的培養液也經紫外線殺菌，所以植物比較不會受病蟲害感染，其對病蟲害的抵抗力也增強，是以可做完全無農藥的生產，當然完全沒有農藥殘留的可能，鑑於農藥大量使用的現狀，無農藥栽培的作物有很大的經濟價值，是對環境無污染的永續農業。又如在市郊生產的話，更具有可供應最新鮮的蔬果給消費者的優點。土壤栽培的最大問題之一是連作障礙。植物工廠因採用水耕栽培，所以在同一場所把同一作物連種幾回也可以，亦不會因天然災害而中斷生產。此優點或許就是可以把農業從根本上改革的主因。
- (8) 植物工廠負有「農業工業化」的任務，可將農作物在「工廠」內（不管是用陽光或人工光線照射）像製造工業產品那樣的生產出來。這是可以節省土地的技術革新，這在像美國那樣大規模化的農業地帶施行，不如在像台灣耕地面積小、人口又過密的地域實施來得較為有效，因已用大規模機械化達成高生產力的地方，對植物工廠的必要性沒有那麼迫切。再說植物工廠有可能給開發中國家的農業帶來光明的希望，尤其是最貧窮，常鬧饑荒的國家。因為他們可能是為了工業化或軍事化榨取農業，加上因農業基盤整備的延誤或缺乏資源，導致生產力非常低，偏偏農業是受土地的自然環境影響最大的，所以比工業更難於行技術轉移。把在先進國家中開發的優良品種直接移入開發中國家還是不行的，當初「綠色革命」所以歸於失敗就是因為這個原因。另一方面，似工業技術般容易被制式化的植物工廠，在開發中國家的人也容易學習。植物工廠是在設施(工廠)內，不受自然環境左右、定期定量生產的系統，所以技術完成之後容易移轉給開發中國家應用。又開發中國家往往其能源較為價廉，對高耗能的植物工廠更為有利。
- (9) 目前發展植物工廠有兩大瓶頸就是初始成本高與能源負荷大，硬體建設的成本雖較高，但使用壽命長，風險低的優勢，如果能採立體化栽培，當栽培層數達到某一規模，單位面積的產量大增之後，硬體建設的年折舊成本與單位產品的能源負荷就不再是高不可攀了。監控管理技術層次高，強調系統整合等是優點也是缺點，這些因素使得現階段植物工廠的發展需要技術性人員的參與，而非傳統農民所能單獨從事，因此，植物工廠的成功也可吸引具技術背景的年轻人回歸農業生產。
- (10) 植物工廠的最大問題只有一個，就是成本。初始成本與操作成本均高，但也可以是高獲利。大略地說，在完全控制型植物工廠生產蔬菜，一般以葉菜類較合算。因為葉菜類的生產周轉率較快，且價錢較高，除了根以外都可吃這點也較有利。果菜類一般地光飽和點較高，又須丟棄莖葉，所以較浪費，依現狀來說，果菜類應以太陽光利用型植物工廠來生產。完全控制型植物工廠生產花卉則應以小、中苗階段或特殊目的為宜，譬如嫁接苗的癒合養生與花期調節等。在生產成本中，電費的比率確實很大，通常占操作成本的 50%~60%，用電量中照明與空調的比例約為 2:1。若能有廉價電源與效率高、光質佳的人工燈光，且配合選擇成長較快、具高經濟價值的植物，植物工廠將

更爲吸引人。

- (11) 選擇適合在完全控制型植物工廠栽培的作物應具有體積小、單價高、栽培期短、省工、可採水耕栽培等特質。由於完全控制型植物工廠內的天候可與外界不同，可栽培非當令蔬菜，採逆勢操作方式，可全年生產，可定時定量供貨等操作模式，提供管理者在計畫生產與銷售上很大的彈性，譬如掌握物以稀爲貴的基本原則，當可掌握獲利的契機。植物工廠是繼露地栽培、設施園藝、水耕栽培等依序發展之後的終極技術，也可依此稱之爲「第四農業」。其不僅技術上可行，更可以有經濟上的實質利益，所以值得去追求這第四農業。
- (12) 植物工廠的最終目標是想要生產某種蔬果，只要按下某指定按鈕，該工廠便能完全自動地實施適當的環境控制，並定時定量的生產高品質的該指定蔬果。也許離這樣的時日尚遠，也許根本是天方夜譚，可是植物工廠確實值得作爲 21 世紀的最佳選擇。
- (13) 日本的植物工廠以其可調控、高產出、高品質等特點，這個項目也得到了日本經濟產業省和農林水產省的政策支持，其中包括對“植物工廠”建設、相關技術開發、人才培養和市場推廣等進行財政補貼和支持。根據日本經濟產業省的資料顯示，在 2009 年春時，全日本僅利用螢光燈等人工照明設備且密閉度高的植物工廠共有 34 間，而如同溫室般利用太陽光的植物工廠則有 16 間。但三菱總合研究所主任研究員伊藤保推估，僅使用太陽光的植物工廠應另有約 20 至 30 間。到 2011 年，日本全國有 50 個這樣的“植物工廠”。預計 3 年後，植物工廠的生產成本有望降到目前的三分之一，工廠數目則有望增加 3 倍。其削減生產成本的具體做法有：一、品種改良、增加產量，二、降低光熱費，三、促進植物工廠設備等相關產業業者投入市場等。隨著技術的不斷進步，植物工廠將爲人類提供越來越多的食物，這一技術將來也許能有助於緩解全球糧食短缺危機。
- (14) 研製被覆肥料使肥料養分能供給農作物整個生長週期對養分的需求，提高作物生長對肥料養分的利用率，減少人工施肥次數與肥料使用量，減少農民田間肥培管理成本，提升肥料的利用率以及農業的經濟效益，同時減少能源損失以及因不當施肥所造成之環境污染問題，是當前各國農業科學家努力的方向之一。但因被覆肥料價格約爲化學肥料的 2 倍到 10 倍之間，由於遠高於化學肥料，使得被覆肥料僅能受限制運用於高經濟作物上，而日本是世界上唯一將被覆肥料成功運用於農田稻作的國家，其施用技術值得我國學習，然其發展之被覆材料採用熱塑性樹脂與熱固性樹脂，在自然界中有殘存不易分解的問題，我國發展被覆肥料時應注意被覆材料之選擇。
- (15) 日本『地域資源活用型肥料』及『土壤蓄積肥料成分活用』技術，以地區禽畜糞有機資材混合化學肥料達到地區永續農業之發展目標，作爲解決環境衛生與土壤養分均衡問題，同時運用『局所施肥技術』、『有機質肥料利用』等低施肥技術普及化，提升肥料的利用率，可作爲提升我國施肥技術之參考。
- (16) 根據農委會統計資料國內肉雞與蛋雞之總雞數大約爲 1 億隻，每日所產雞排泄物共爲 13,580 公噸。而隻雞每日排泄之三要素量 N-P₂O₅-K₂O 爲 2.0-3.5-2.1 g/head/day，若以 1 億隻雞計算每日排泄量，台灣地區每日三要素總排泄量爲 200-350-210 公噸/day。這些廢棄物爲含肥分之有機廢棄物，若能妥善處理回歸農地再利用，則可取代一部分化學肥料，不僅資源再利用、減輕環境負荷，亦是節能減碳之一環。台灣農業試驗所及各農業改良場目前亦有提供堆肥施用推薦服務，然常需耗費一些時日，因此，亟需

建立一套快速推薦方法供農民使用。

- (17) 日本在很多鄉下社區設立地域資源活用型肥料廠，將社區之有機廢棄物回收製成有機肥料，再回歸施用於農田，栽培出健康安全的農產品，形成一個安全健康的永續農業體系，值得我國農政單位參考。



與台北駐日經濟文化代表處及日本海外農業開發協會人員合影
(前排：左起井佐彰洋局長、蔡志榮主任秘書、謝偉馨先生，後排：左起渡邊哲課長、張瑞明助理研究員、邱相文助理研究員、李秀娥小姐)