

淺談綜合水產養殖模式與養殖水耕系統

劉富光

水產試驗所

前言

為了減少水產養殖對環境的衝擊，綜合水產養殖 (integrated aquaculture) 是當前養殖發展的策略方向。綜合水產養殖係泛指同一水體不同養殖生物的混養或不同水體不同養殖生物的串聯養殖，乃至於與其他農、畜產業間的生產結合方式，它具有資源利用率高、與環境和諧、產品多樣化、節能省水及生產穩定等優點，可以說是一種永續性的水產養殖模式。

綜合養殖的生態平衡原理

一、營養代謝的資源利用

這種養殖方式是把不同營養生態位階的生物混養在一起，使得同一養殖體系的營養物質或能量，得以充分重複被利用。例 1：稻田養殖：草魚食田中雜草 (減少草與稻瓜分肥分)，魚的糞又可肥田。例 2：草鰱魚混養：草魚吃草、草魚排糞含綠肥，可以繁生藻類，作為鰱魚的食物。

二、養殖技術的生態平衡

利用技術互補以產生生態平衡的養殖方法，例如：投餌養鱖，化肥養鰱。一般投餌與施用有機肥，易產生分解作用

(decomposition) 導致 CO_2 上升而 O_2 、pH 及 eH (氧化還原電位) 下降。至於養魚施用化肥的作用則相反，易產生光合作用 (photosynthesis) 導致 O_2 、pH 及 eH 之上升而 CO_2 下降之現象。因此，如能綜合投餌及施化肥的技術，則可發揮生態平衡而有效控制水質，提高生產力。如果僅投餌 (或用有機肥) 養殖，則因分解作用較強而易引發缺氧造成的泛池。反之，只用化肥養殖，也會因光合作用較強，而易引起溶氧過高所造成的氣泡病。

三、能量代謝的互補效應

有學者將養殖生物概分為投餌型種類 (fed species) 及萃取型種類 (extraction species，如：濾食性生物與大型藻)。另有學者依據生物能量的代謝型，將養殖生物分為自營性 (autotrophic) 與異營性 (heterotrophic) 二種。前者以陽光輻射 (solar radiation) 提供能量，並能生產 O_2 、吸取 (uptake) CO_2 及吸收 (absorb) 營養鹽，海帶、龍鬚菜便屬此型。後者主要靠飼料 (pellet feed) 提供能源，但卻消耗 (consume) O_2 、排放 (exhale) O_2 及釋放 (excrete) 營養鹽，大多數魚蝦都是這一類型。這二型在能量代謝上其有互補性，因此，二者之混養，便可穩定水質、提高生產量。

濾食性貝類在生產管理上屬於萃取性養殖種類，但生態上則屬異營性養殖種類。因為貝類可自水中吸取氮、磷等。但其糞便、擬糞的沉積作用會從水中吸收 O_2 ，排出 CO_2 與氨。若將之與大型藻混養，則可利用藻類吸收貝類排出之 CO_2 及氨，產生 O_2 供貝類利用。這種互補作用，便可達到能量代謝平衡，提高生產效率。

四、水體資源的有效利用

養殖水體資源，涵蓋範疇包括：水體的空間與天然餌料以及使用的時間。水體空間的利用，意指在同一水體放養不同水層的養殖物種，使垂直水體空間充分被利用，以提高池塘容載量 (carrying capacity)。鯉科魚類的混養 (polyculture of Chinese carps) 便為經典範例。白鯰與黑鯰在池塘上層生活，草魚在中、下層，而鯖、鯉、鯽、鰱則在底層。生活水層不同，便可增加單位面積放養量且互不干擾。此外，水體有不同天然餌料可讓不同食性的魚類選擇攝食，例如：鯉科魚類的白鯰濾食植物性浮游生物，黑鯰攝食動物性浮游生物，草魚咬食大型植物、草類，鯉、鯽魚撿吃底層碎屑或底棲生物，青魚吃螺類等，便可充分利用天然餌料資源，各取所需互不搶食而提高水體的天然生產力 (productivity)。另在時間的合理調配使用方面，“輪養”便是其中一環。例如：夏季高水溫期養白蝦，而在冬季低水溫期養桂花鱸。

綜合水產養殖的類型

依據前述原理，可將綜合水產養殖分為下述類型：

一、技術綜合型 (Technical integration)

兩種具有技術互補作用而達成生態平衡效應的綜合養殖。例如：箱網養鯉與箱外化肥養鯰的結合方式。

二、混養綜合型 (Integrated polyculture)

此類型包含同一水體不同水層，或不同食性的混合養殖，可充分利用水體空間與水中天然飼料，不但運用水中天然生產力也可增加池塘容載量，以增加收成。前面提及的鯉科魚類混養，便為此型的典範。

三、輪捕輪放型 (Rotary stocking and harvesting)

此係指池中混養之魚種，在不同時間採捕。例如：夏、秋季先捕鯰、鱖、鮫，年底再捕鯉、鯽魚。

四、輪養型 (Temporal integration)

在同一水體，不同時段，養殖不同的種類，前述白蝦與桂花鱸養殖就是屬於此類型。

五、分池串聯型 (Partitioned aquaculture integration)

將兩個以上之不同種類養殖池串聯一起，池水封閉循環使用，以達生態自淨的功能，例如：魚→藻養殖，即為一例。傳統的養殖廢水處理方法，往往因養殖廢水含大量的懸浮固體物 (suspended solid) 而致效率低且又耗費成本，因而，一種節約成本又有效的海藻養殖，便成為一項替代方案。因為海藻被認為可以從養殖環境中，去除或減少養殖生物所產生的氮與磷等。海藻可利用養殖生物代謝廢棄物 (metabolic wastes) 當作肥料，吸收 CO_2 並釋放 O_2 。其他如：魚→蝦→貝→藻養殖，則更是典型例子。

六、多營養層級綜合型 (Integrated multitrophic aquaculture, IMTA)

本項養殖型式是在同一水體混養或間養不同營養層級的生物，且生物間存在一定的營養關係，例如：魚-貝-藻養殖，被認為能增加魚池生產力且養殖廢物又可再利用 (reuse fish waste)，不但能淨化水質，又可節約水資源。由於此系統是將不同營養生態位階的生物組合起來，使養殖體系內的營養物質可以重複被利用，意即系統內的能量得以提高其利用率。簡而言之，就是一種養殖生物的排廢物可成為另一種養殖生物的食物。因此，此類型的綜合養殖被很多專家學者肯定與推介。

七、魚與農、牧綜合養殖型 (Integration of aquaculture, agriculture and livestock breeding)

魚、農、牧綜合養殖依產業別可分為：

(一) 魚-稻共生型 (Aquaculture-rice co-culture)

此型是在同一水體內同時養魚與種稻，魚與稻存在著互利或偏利 (對一方有利，對他方無害) 的關係，稻田養殖便為一例。

(二) 魚-菜共生型 (Aquaculture-vegetable co-culture)

此方式是在同一水體，水面種菜，水中養魚的綜合方式。菜會吸收養魚水體的營養鹽，例如：魚藕混養。

(三) 魚-農綜合型 (Integration of aquaculture and agriculture)

此類型又可分為二類，第一類型與魚-菜共生型相同，是在同一水體，水面種植物 (plants)，例如：花、草等植栽，而在水中養魚 (圖 1)。

另一類型是在池塘養魚，而池邊種牧草、水草等。池中淤泥是周邊植物很好的肥料，池水也是植物的營養水源。例如：臺灣北部桃、竹、苗地區，有很多由水庫引水貯存之大型池埤，平時放養鯉科魚類或吳郭魚，在稻田需水時，則適時排水灌溉。此外，在乾旱地區的非洲或中東地區，例如：埃及，也是將尼羅河水引入大型蓄水池養魚，再排放灌溉農田。此類綜合養殖，可發揮水資源多重利用之功效。

(四) 魚-禽綜合型 (Integration of aquaculture and poultry culture)

此種型態係在同一水體進行魚類與鴨、鵝的養殖，鴨、鵝糞可被攝食，也可作為有機肥以增加池塘生產力。池塘則可提供家禽良好、衛生的生活棲息所。

(五) 魚-牧綜合型 (Integration of aquaculture and livestock breeding)

此種方式是在養殖池邊圈養家畜，如：豬、雞等。池塘提供家畜 (禽) 水源，家畜糞便可肥水。吳郭魚及鯉科魚類與豬的養殖模式是最常見的例子。但，養豬廢水之利用，應先經發酵處理，以維護養殖產品的衛生安全。

(六) 養殖水耕系統 (Aquaponic system)

養殖水耕是結合循環水養殖 (recirculating aquaculture) 與水耕 (hydroponics) 的一種生物性綜合糧食生產系統 (biointegrated food production system) 也是一種生產性 (productive) 與生態和諧性 (ecologically sound) 的生產系統，因為養魚排廢物提供硝化菌營養 (nutrient source for nitrifying bacteria)，將魚的有毒代謝廢物

(toxic waste metabolites)，經硝化作用 (nitrification) 轉化成植物的有用營養 (useful nutrient)。因之，植物與硝化菌便成為天然的過濾器，用來去除魚的排廢物，可純化並確保養殖水質，使養殖用水可循環再使用 (water reuse)。因此，此系統具有下述各項優點：

1. 水可循環利用以節約水資源。
2. 養殖排廢物 (fish wastes) 可當作植物營養源，植物可不必再施肥，以節省成本。
3. 不須再安裝生物過濾器材，可節省能源與成本。
4. 本系統可共同分擔操作及雜項設施成本。
5. 較單獨生產魚與農作物使用的水量少。
6. 可同時生產魚與農作物，以增加收益。
7. 不使用抗生素、農藥、殺蟲劑，是屬於有機農業 (organic agriculture)。
8. 可避免養殖排放水污染環境水域。

一般養殖水耕的對象魚種為：吳郭魚、鱒、鯰、鱸，而蔬果為：蕃茄、萵苣 (lettuce)、甘藍菜 (cabbage)、豆科、九層塔 (basil)、青椒類 (peppers) 及瓜類 (cucumbers) 等。養殖水耕，首先要確定養魚魚種及飼料投餵量 (feed input) 與種植種類及面積的適當比例，以提供植物所需的營養。通常養殖水耕的組成為：養魚池，沉澱池 (懸浮固體物去除裝置)，生物濾池 (biofilter)，水耕床及集水池 (sump) 等 (圖 2—4)。每週測 2 次水質，測定項目為：TAN (total ammonia nitrogen)、 $\text{NO}_2\text{-N}$ (nitrite)、 $\text{NO}_3\text{-N}$ (nitrate)。另，水溫、pH、DO、TSS (total suspended solid)、TDS (total dissolved solid)，free CO_2 ，

磷 (phosphorus)、鉀 (potassium) 等則每週測 1 次。

魚與農作物可在中、低鹽度成長，魚類因低鹽度調整滲透壓的耗能低，而使成長更快。例如：一些蕃茄在中鹽度下，可與歐洲鱸、鯛類綜合養殖。有些作物因滲透壓的不同會減少水分吸收而產生營養價值 (nutritional value) 與口感 (taste) 較佳的正面效應。此外，一些藥用植物也因鹽度關係，可提升活化分子 (active molecules) 之濃度，增加藥效。

在乾旱或沿海鹽分地區種植農作，是增加糧食生產而不破壞森林的可行方案，而與水產養殖之結合，利用養殖用水當做農作物營養，便成為達成糧食與能源生產目標的主要方法。此外，庭院養殖 (back-yard aquaculture) 愈來愈引起人們的興趣，而養殖水耕便是其中最佳的選項。

由於不斷的供應來自池魚的有機礦物質 (minerals) 以及有益植物的微生物 (plant beneficial microorganisms)，因此，試驗證明養殖水耕與一般水耕的產品品質並無差異。一般而言，流水系統 (flow through system) 的生產力不及封閉系統 (closed system)，因為在封閉循環系統 (recirculating system) 中，池魚可不斷補充被植物吸取的營養源，而在流水系統則少有營養可被補充。

此型式與前面所提在同一水體進行魚-菜共生的方式有所不同，既不受限於水體種植面積，也不需隔離防止養殖生物吃食植根。另與前已提及的魚-農綜合型的養殖用水，直接作為農作灌溉並不循環使用的方式也截然不同。

結語

回顧過去的水產養殖，早期是粗放式養殖 (extensive culture system)，屬於低排碳但卻是低效率的養殖方式，後來發展到集約式養殖 (intensive culture system)，雖然具有高效率，但同時也是高排碳的養殖模式。由於有限的淡水資源及高排碳引起的極端氣候，所以，研發高效低碳的養殖策略，乃當前養殖發展的潮流趨勢。因此，今後的養殖發展，

除經濟主體外，必需兼顧生態環境及社會層面。綜合水產養殖便是以養殖收益為前提，生態平衡為原則，以及社會需求為考量的高效低碳養殖生產模式。其中，多營養層級綜合養殖與養殖水耕系統更是最有效且具開發潛力的養殖型式，值得儘早建立技術平臺，以利養殖產業的永續經營。

註：本文主要取材自 Dong Shuanglin (2011) 等參考文獻。



圖 1 在水庫(潭)的魚-農綜合型式



圖 2 養殖水耕系統中之養殖槽



圖 3 養殖水耕系統中之水耕床



圖 4 養殖水耕床種植的萵苣