



漁農共生系統之開發與應用
水產試驗所特刊 第 29 號：1-8, 2020

漁農共生系統技術建立的現況與展望

魏良佑
財團法人農業科技研究院

摘要

漁農共生是一種農業生產方式，結合水產動物養殖和農業植物種植，本研究採文獻回顧法彙整歐盟、美、日及中國等國家發展漁農共生的背景、歷程、科研和經濟可行性評估等資料，且參考我國發展漁農共生相關技術資訊，進行資料的比較分析。結果顯示目前漁農共生分為有機生產的魚芋共生、魚菱共生等生態友善型，亦包含可量產的魚菜共生型，並發展出各項技術，包含營養鹽應用、材料應用、過濾系統、導入物聯網監控系統、應用微藻進行增值或能源應用等科研，然而商業模式需要穩定的生產和供應，為此建議採用循環經濟的循環利用、零廢設計、模組化應用、租賃模式及穩定生產等方式，作為漁農共生系統建置之參考。

關鍵詞：漁農共生、循環經濟、模組化、量產

前言

臺灣農業每年約產出 500 萬公噸的農業剩餘資材 (圖 1)，其中分別以畜產剩餘資材和農產剩餘資材為大宗。這些農業剩餘資

材富含大量的營養物質如磷、氮，但因農民習慣就地翻耕掩埋、堆積或排放，造成約有 30% 的可再利用資源流失、浪費及污染。目前有許多剩餘資材處理的方式，若採用循環農業的概念，不只可妥善處理剩餘資材，

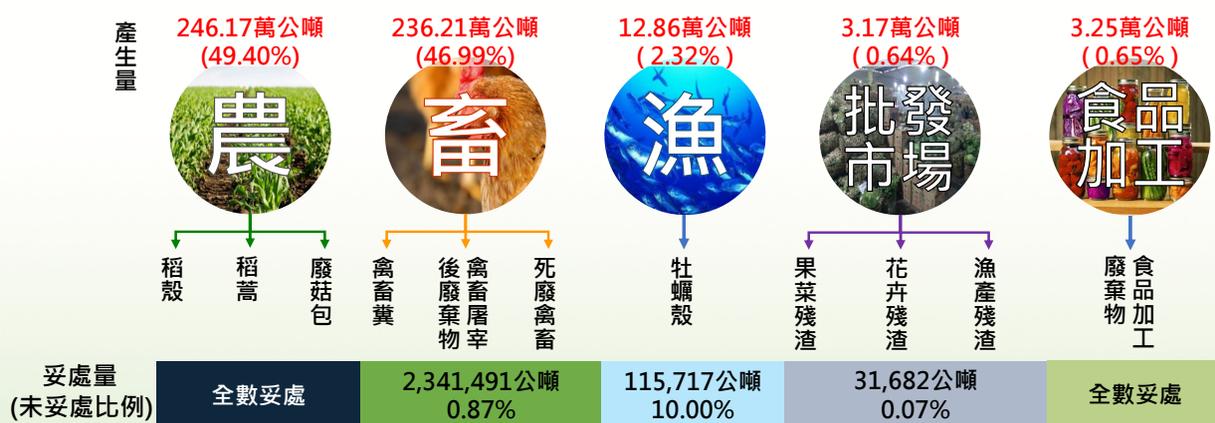


圖 1 2018 年農業廢棄物統計量
資料來源：行政院主計總處 (2020) 107 年綠色國民所得帳-農業廢棄物排放帳



還可以產生新的價值。如將禽畜剩餘資材收集後，利用發酵池進行厭氧消化，產生的沼液，可做為植物肥料施加在農地上，減少化學肥料使用成本。其他產物如沼氣，則能透過能量轉換成可供應農舍或機具設備電力或燃料需求。如此套入循環農業的概念，不僅有助於處理大量的禽畜糞便，更使原本看似無用的排泄物重新回到價值鏈的源頭，為其他經濟活動產生效益。

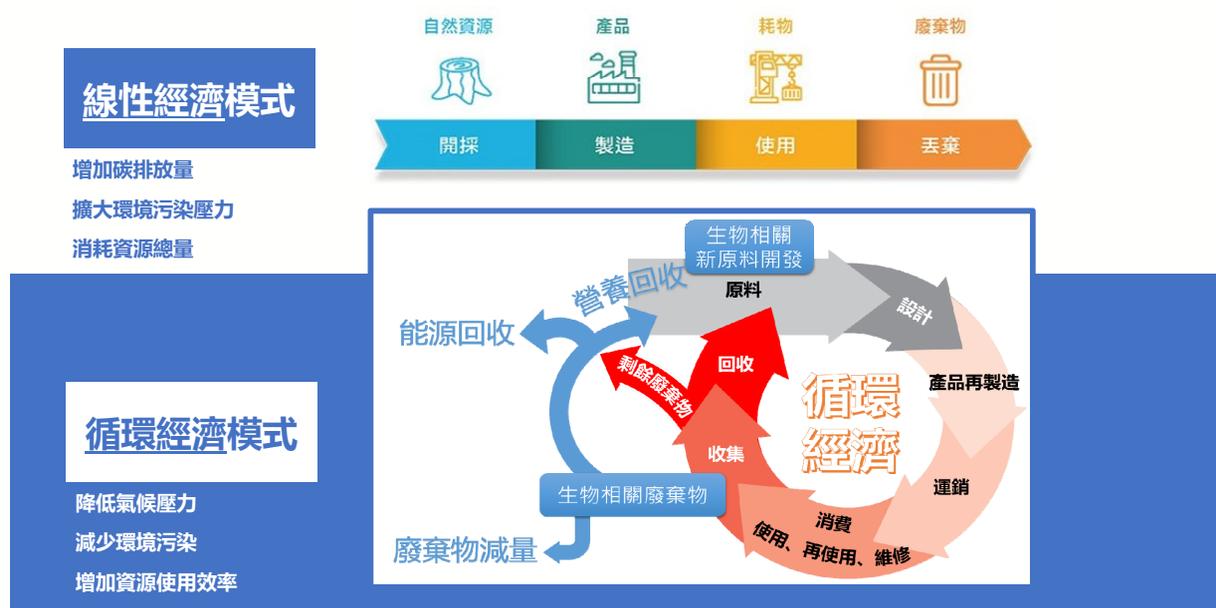
循環經濟是一種新商業模式（圖 2），相對於線性經濟中的產品最後會走向丟棄的盡頭，循環經濟是資源可恢復且可再生的經濟和產業系統，且循環經濟使用再生能源、拒絕使用無法再利用的有毒化學物質，藉由重新設計材料、產品、製程及商業模式，消除廢棄物。循環經濟重視資源使用效率（resource efficiency），設法以更少的資源來創造更多的價值，確保地球有限的資源能以

循環再生、永續方式被使用。

農業循環經濟是指在農業的生產、銷售、消費過程中，產生或使用的生物質（biomass）、設施、資材等部分，進行供應、使用、回收再利用的循環經濟（圖 3）。且全球農業循環經濟主要著重於四大區塊，包括營養回收、能源回收、再利用之新原料開發和廢棄物減量，為此，農、林、漁業及畜產等四大領域，可進行跨域整合和技術媒合，如農業和漁業整合型的漁農共生系統，可提供新型態生態永續和經濟規模生產契機。

材料與方法

漁農共生是一種農業生產方式，兼顧農業種植和漁業養殖特性，對空氣、水、土壤、營養鹽等環境分析，加上生物成長、排泄、空間密度等生物參數，以達到生態永續和循



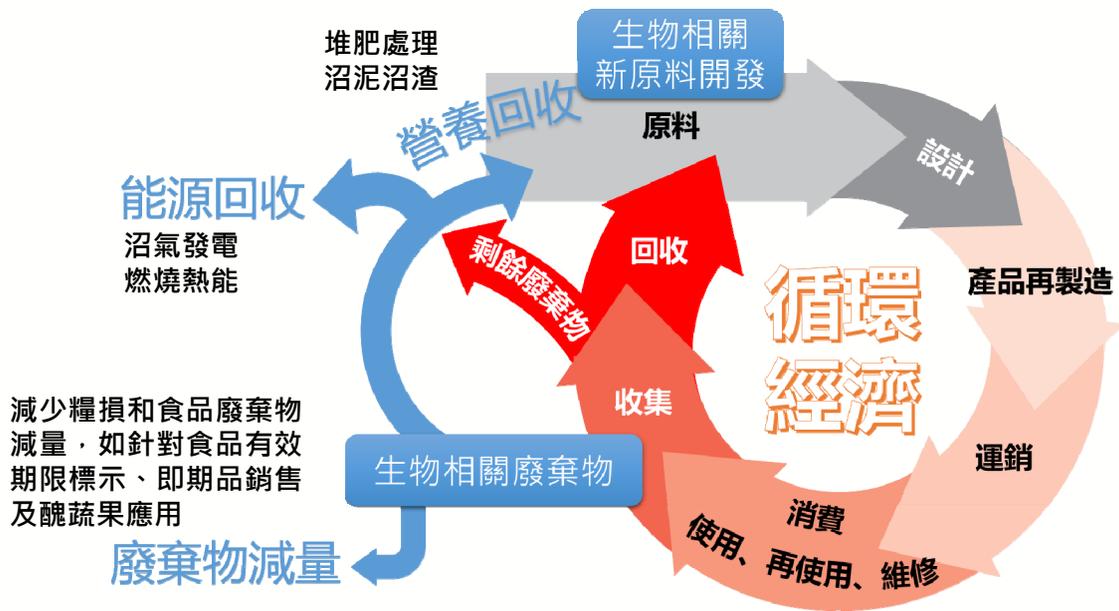


圖 3 農業循環經濟模式

環利用的目的。在此初探性研究中，為瞭解漁農共生相關技術發展，本文採文獻回顧法進行彙整，首先收集歐盟、美、日及中國等國家發展漁農共生的背景、歷程、科研和經濟可行性評估等資料，且參考我國發展漁農共生相關技術資訊，進行資料的比較分析，且針對漁農共生各項技術研發、製程、物種、管理和發展，提出相關建議。

結果與討論

一、漁農共生的發展

漁農共生的發展由來已久，早期即有稻米、魚類和家禽養殖等共生方式 (FAO, 2001)，且多以生態環境之共生概念為主，並確保有效的營養循環。在該系統中，魚類的排泄物被微生物分解，產生的副產物進入到植物系統中供給生長需求 (Bosma et al.,

2017)。當植物利用這些代謝產物時，它會淨化水質，進而將水重新用於水產養殖系統中以生產魚類 (Chaves et al., 1999)。因此可以在不使用化學肥料的情況下，實現作物的可持續生長以及水資源消耗量低的養殖系統。漁農共生系統可推廣於土地和水資源有限的地區，其產量是一般生產系統的 3–6 倍 (Resh, 2004)，且所需的水量比一般水產養殖系統為低 (Liang and Chien, 2015)。因此，在許多發展中國家，該系統被認為是可解決魚類和農作物產量不足以及失業和貿易逆差的解決方案 (Bosma et al., 2017)。

目前國內漁農共生大概分為兩個類型，一是有土壤的生產方式，且多以生態永續和休閒遊憩為主，建構生態系統亦注重景觀園藝，考量視覺豐富度和族群多樣性，且種植環境引入改善土壤等相關技術，如結合芋頭和魚類的魚芋共生，以及結合茭白筍和



魚類的魚菜共生；另一則是以水耕植物為主，常使用於平面植栽床的魚菜共生，其養殖水產區塊多為獨立，並以過濾系統等方式串聯。該技術可分為養殖區、沉澱過濾區、生物濾床、水耕植栽床等四個區塊，且植栽床依據培育方式，又分為深水式栽培、介質式栽培及薄膜式栽培三種（黃等，2017）。

魚菜共生 (aquaponics) 是結合水產養殖 (aquaculture) 及水耕栽培 (hydroponics) 兩者生產方式，藉由該環境的水、氧、碳、氮、磷、鉀等物質流循環的循環農業。其結合水生動物中的排泄物與水中的有機質，分解過濾成植物可吸收的無機鹽後供應給飼養箱上的蔬菜，同時蔬菜的根系把系統內的水淨化供給水生動物使用（陳等，2017）。該技術具有很高的用水效率，不使用農藥，降低肥料的使用，是一種可持續性生產的綠色農法。

此外，由於該技術是跨域利用水產和植耕等相關生產技術，往往需兼具兩者專業知識，且須注重多項技術操作，過程相當繁瑣，人力成本相對提高，且相關設施尚無採用高密度生產和技術，另亦納入相關外部成本，因此相關的成本效益尚無法達到經濟規模（李，2016；吳，2016；鍾，2016；楊與鄭，2016；黃等，2017）。

我國於 2017 年起，推動「農業資源循環產業創新」計畫，以循環永續為前提，進行農業資源的增值利用與產業創新，於漁農共生科研部分，已盤點出水產養殖業未利用之氮約有 1.57 萬公噸/年，而作物系統可將飼料中氮元素吸收利用 15–20%（楊，

2017），淨化水質，並以附著型藻菌提供螺類相關營養物，並減少有機物的堆積，依據場地條件設計漁農共生系統架構。

二、漁農共生的優勢

漁農共生有許多優點，目前發展分為二個區塊，首先是改善土壤環境，運用矽酸鈣、蚵殼粉進行土壤改良，並運用微生物製劑於養殖循環系統，符合生態有機的環境要求，將來可進行有機認證。另一則是以水產養殖和水耕系統為主軸，搭配水循環系統及營養循環系統的整合，因此發展出多方研究，例如養殖和種植系統中有關營養鹽應用、材料應用研究，針對水質和營養鹽的過濾系統，且導入物聯網監控系統，應用微藻進行增值或能源應用，發展高鹽度種植和養殖系統等，並對其物質流生命週期進行估算，導入商業模式，調整並規劃相關法規政策。

漁農共生的養殖和栽種首重營養鹽的管理，如以腐植酸提高植耕系統中生物鐵的吸收 (da Silva Cerozi, 2020)、不同魚類和植物品種進行共生之氮循環與養分回收率關係 (Paudel, 2020)、磷與共生有氧消化過程的硝化作用關係 (Khiari et al., 2020)、循環養殖系統之二甲酸鉀和氯化鉀的評估 (Siqwepu et al., 2020) 及漁農共生之養殖廢水中氨和正磷酸鹽的去除 (Effendi et al., 2020)。

由於漁農共生為生態循環的良好範例，採用農業循環資材也是目前發展的方向，例如採用生物炭去除植耕系統和養殖水系統中的有毒氨 (Su et al., 2020)，或是在養殖系統中採用生物炭製成的過濾材料，降低濁度並過濾有害物質 (Khiari et al.,





2020)，應用陶粒添加木質纖維素材料於曝氣生物濾池並回收營養鹽 (Zhang et al., 2020)。此外，為因應水質淨化、餌料和循環需求，採用了微藻和相關的研究，如在漁農共生模組中養殖水體的微藻培養，獲得蛋白質餌料並提供水質淨化功能 (Tejido-Núñez et al., 2020)，而微藻曾是生質能的熱門選項，但其生產成本居高不下 (Quinn et al., 2014)，因此採用多系統和經濟規模生產的循環利用方能獲利，並為產業提供解方。

三、漁農共生商業規模應用

漁農共生目前大多為政府支持的科研，如以永續為理念的生態循環 (Klerkx and Rose, 2020)，提供永續性的生產系統，並導入企業社會責任 (Weindl et al., 2020; Tuomi and Tussyadiah, 2020)；在生產方面，以植物工廠為基礎的發展 (Kozai et al., 2020)，且經過效率改善，經濟規模生產，能夠提供足夠的糧食 (Abusin and Mandikiana, 2020)，許多城市已開始進行相關測試，除了提供生產外，亦能提供景觀、休閒，融入城市的都市規劃中 (Mohan et al., 2020; Li et al., 2020)。而中國的養殖漁業，也進行相關投資，至東南亞、印度、非洲等國發展相關產業，倚賴漁農共生省水、經濟價值高的優點 (Ni et al., 2020)。

為了達到空間坪效和經濟規模生產，導入水、營養鹽和環境監控系統、養殖過程中魚的代謝和活動監控 (Lee and Wang, 2020)、養殖恆定加熱系統的自動控制和監控系統 (Le et al., 2020)、自動化省工和環境監控的應用 (Yanes et al., 2020)；此外，

針對系統和環境，整合了土地、設備、結構體、感測、物聯網技術，而有模場化的設計 (Ferrara et al., 2020; Kozai et al., 2020)。

未來展望

漁農共生最大的挑戰是走向商業應用，也就是將傳統的農業生產導向精確化，意即導入智慧農業，因此需要採用感測器、智能設備和物聯網系統進行監控和自動化 (李等，2019)。最近，自動化系統有了跳躍式的發展和應用，尤其是整合相關的設施、設備和結構的模場化是良好的解決方案。此外，農業著重於穩定生產和供應，為此設計和規劃相關的生產排程，顯得相當重要，以植物工廠為例，如果目前的水耕大約數週即可採收，而魚類的養殖 1 年大約有 3 次，為此必須設定不同的輪作區、動線、採收規劃，採取循環經濟的概念進行設計。

循環經濟著重於流程設計，其材料和製程須符合回收再利用的原則，稱為搖籃到搖籃的產業 (cradle to cradle)，也稱為 C2C、cradle 2 cradle，是產品及系統設計上，將人類的產業視為一種自然界的程序，將每個材料當作循環代謝中的一個元素。這個詞相對的意義是從搖籃到墳墓 (cradle to grave)，也就是我們熟悉的線性經濟，產品從生產、售出、使用到丟棄的過程，代表著現今全球化商品的普遍模式。

在這個框架下，漁農共生擁有生態系統優勢，扮演著環境永續和循環生產的特點，而設計上可以採用以下方式：



一、循環利用

植物工廠和水產養殖的營養循環並採用太陽能發電模組，設計能源管理，應用儲能系統和熱交換系統。

二、零廢設計

建築結構採用綠建築建材、生產設備採用省工機具和使用物聯網進行監控管理。漁農共生除了是跨域技術結合外，另外對於營養鹽的物質流也是重要的循環利用，因為原本的系統皆需要給予飼料、營養鹽的補充，加上水、碳、氮、磷、鉀等控管，除了原本區域的循環利用外，亦可妥處外部來自畜牧場的禽畜糞尿，禽畜糞尿富含磷、鉀等植物成長所需之元素（陳等，2018），若能將畜產的沼液及沼渣運用於漁農共生系統，可使植栽多樣化，達到循環利用的目的並提升整體產值。

三、模組化應用

漁農共生可依植物工廠、養殖生產、過濾設備、循環設備等制定標準和模組化（圖

4），以面積、容積等規劃，不受到環境的條件限制，以一單位容積，納入植物工廠和養殖模場的基本模組，以水、營養鹽等循環利用，搭配流程化、系統化監控與管理，加上省工設備與綠建築規劃，搭配太陽能模組，並配合量產規模以並聯方式增加應用。

四、租賃模式

採用以租代買概念，結合模組化設計，相關產品（包含建築結構、設備、管理系統等）計價方式為服務時數和週期，廠商為利於管理、維修、保養以及節省人力，會置入相關監控和管理單元，並設計耐用度高的產品。此外投資者會考量獲利、設備折舊和服務維修等，此服務模式是促成循環農業的重要關鍵。

五、穩定生產

按生產週期，選擇快速成長品種，且模組化後的漁農共生可以排程生產，按市場需求調節並穩定供應。

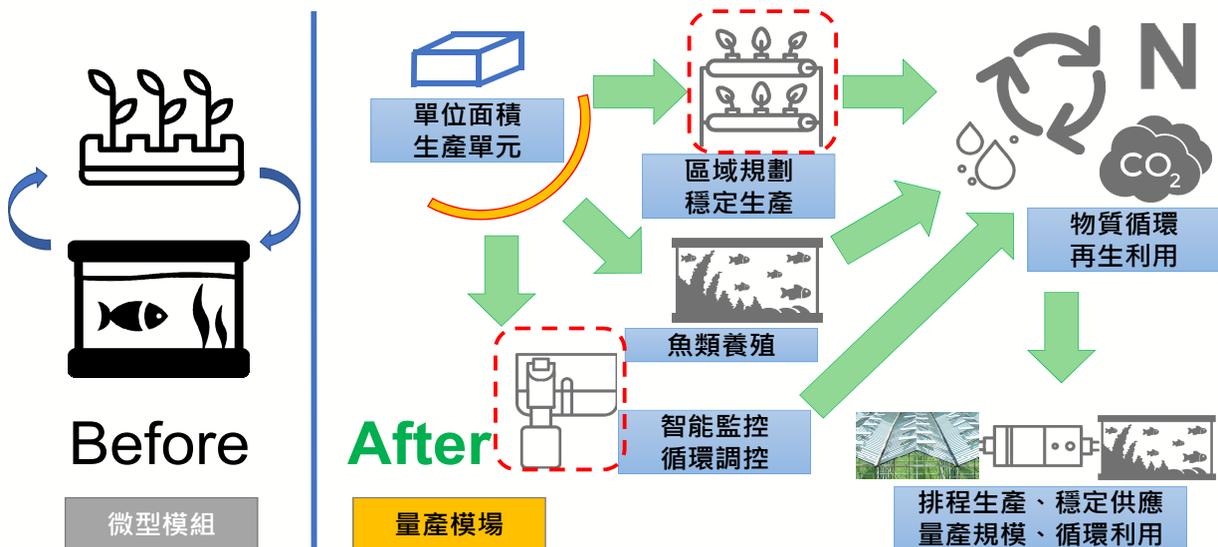


圖 4 漁農共生量產模場





參考文獻

- 吳瑞樞 (2016) 魚菜共生自學指南。積木文化, 152 pp。
- 李欣倩 (2016) 魚菜共生在臺灣的現況與展望。大仁科技大學環境管理研究所碩士論文, 80 pp。
- 李健、楊清富、王志璋 (2019) 魚菜共生魚活動次數及水質物聯網監測系統之開發。臺南區農業改良場研究彙報, 73: 50-62。
- 陳琦玲、林旻頡、廖崇億 (2018) 畜牧廢水農地施肥要領。農業試驗所特刊, 第 206 號, 76 pp。
- 陳登陽、林琨堯、黃祖立 (2017) 魚菜共生：打造零污染的永續農法及居家菜園。晨星出版社, 272 pp。
- 黃德威、薛守志、劉于溶、楊順德 (2017) 養殖水耕—魚菜共生。水產試驗所技術手冊 11, 56 pp。
- 楊清富 (2017) 魚菜共生系統之原理與應用方法。臺中區農業改良場特刊, 第 133 號, 63-80。
- 楊清富、鄭安秀 (2016) 魚菜共生系統原理與方法。臺南區農業改良場技術專刊, 第 165 號, 24 pp。
- 鍾欣華 (2016) 臺灣魚菜共生農場成本效益分析之個案研究。國立臺北大學自然資源與環境管理研究所碩士論文, 52 pp。
- Abusin, S. A. and B. W. Mandikiana (2020) Towards sustainable food production systems in Qatar: assessment of the viability of aquaponics. *Global Food Security*, 20: 100349.
- Bosma, R. H., L. Lacambra, Y. Landstra, C. Perini, J. Poulie, M. J. Schwaner and Y. Yin (2017) The financial feasibility of producing fish and vegetables through aquaponics. *Aquacult. Eng.* 78: 146-154.
- Chaves, P. A., R. M. Sutherland and L. M. Laird (1999) An economic and technical evaluation of integrating hydroponics in a recirculation fish production system. *Aquac. Econ. Manag.* 3(1): 83-91.
- da Silva Cerozi, Brunno (2020) Fulvic acid increases iron bioavailability in aquaponic systems: theoretical designs and practical considerations to prevent iron deficiency in plants. *Aquacult. Eng.*, 90: 102091.
- Effendi, H., B. A. Utomo and N. T. Pratiwi (2020) Ammonia and orthophosphate removal of tilapia cultivation wastewater with *Vetiveria zizanioides*. *J. King Saud Univ. Sci.*, 32(1): 207-212.
- FAO (2001) Integrated Agriculture-aquaculture: A Primer. Issue 407. ISBN 9251045992.
- Ferrara, M., C. Lisciandrello, A. Messina, M. Berta, Y. Zhang and E. Fabrizio (2020) Optimizing the transition between design and operation of ZEBs: lessons learnt from the Solar Decathlon China 2018 SCUTxPoliTo prototype. *Energ. Buildings*, 213: 109824.
- Khiari, Z., K. Alka, S. Kelloway, B. Mason and N. Savidov (2020) Integration of biochar filtration into aquaponics: effects on particle size distribution and turbidity removal. *Agr. Water Manage.*, 229: 105874.
- Khiari, Z., S. Kaluthota and N. Savidov (2020) Phosphorus delays the onset of nitrification during aerobic digestion of aquaculture/aquaponic solid waste. *Biochem. Eng. J.*, 155: 107493.
- Klerkx, L. and D. Rose (2020) Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: how do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? *Global Food Security*, 24: 100347.
- Kozai, T., G. Niu and M. Takagaki (2020) Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production (second edition).
- Le, A. T., Y. Wang, L. Wang and D. Li (2020) Numerical investigation on a low energy-consumption heating method for recirculating aquaponic systems. *Comput. Electron. Agr.*, 169: 105210.
- Lee, C. and Y. J. Wang (2020) Development of a cloud-based IoT monitoring system for Fish metabolism and activity in aquaponics. *Aquacult.*



- Eng., 90: 102067.
- Li, L., X. Li, C. Chong, C. H. Wang and X. Wang (2020) A decision support framework for the design and operation of sustainable urban farming systems. *J. Clean. Prod.*, 268: 121928.
- Liang, J. Y. and Y. H. Chien (2015) Effects of photosynthetic photon flux density and photoperiod on water quality and crop production in a loach (*Misgurnus anguillicandatus*) - nest fern (*Asplenium nidus*) raft aquaponics system. *Int. Biodeter. Biodegr.*, 102: 214-222.
- Mohan, S. V., K. Amulya and J. A. Modestra (2020) Urban biocycles-closing metabolic loops for resilient and regenerative ecosystem: a perspective. *Bioresource Technol.*, 306: 123098.
- Ni, M., J. Yuan, J. Hua, Q. Lian, A. Guo, M. Liu, J. Xin, H. Wang and Z. Gu (2020) Shrimp-vegetable rotational farming system: an innovation of shrimp aquaculture in the tidal flat ponds of Hangzhou Bay, China. *Aquaculture*, 518: 734864.
- Paudel, S. R. (2020) Nitrogen transformation in engineered aquaponics with water celery (*Oenanthe javanica*) and koi carp (*Cyprinus carpio*): effects of plant to fish biomass ratio. *Aquaculture*, 520: 734971.
- Quinn, J. C., A. Hanif, S. Sharvelle and T. H. Bradley (2014) Microalgae to biofuels: life cycle impacts of methane production of anaerobically digested lipid extracted algae. *Bioresource Technol.*, 171: 37-43.
- Resh, H. M. (2004) *Hydroponic food production: a definitive guide for the advanced home gardener and commercial hydroponic grower*. New Concept Press, Inc., Mahwah, New Jersey, USA.
- Siqwepu, O., K. Salie and N. Goosen (2020) Evaluation of potassium diformate and potassium chloride in the diet of the African catfish, *Clarias gariepinus* in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture*, 526: 735414.
- Su, M. H., E. Azwar, Y. Yang, C. Sonne, P. N. Y. Yek, R. K. Liew, C. K. Cheng, P. L. Show and S. S. Lam (2020) Simultaneous removal of toxic ammonia and lettuce cultivation in aquaponic system using microwave pyrolysis biochar. *J. Hazard. Mater.*, 396: 122610.
- Tejido-Nuñez, Y., E. Aymerich, L. Sancho and D. Refardt (2020) Co-cultivation of microalgae in aquaculture water: interactions, growth and nutrient removal efficiency at laboratory-and pilot-scale. *Algal Res.*, 49: 101940.
- Tuomi, A. and I. P. Tussyadiah (2020) Building the sociomateriality of food service. *Int. J. Hosp. Manag.*, 89: 102553.
- Weindl, I., M. Ost, P. Wiedmer, M. Schreiner, S. Neugart, R. Klopsch, H. Kühnhold, W. Kloas, I. M. Henkel, O. Schlüter, S. Bußler, S. D. Bellingrath-Kimura, H. Ma, T. Grune, S. Rolinski and S. Klaus (2020) Sustainable food protein supply reconciling human and ecosystem health: a Leibniz position. *Global Food Security*, 25: 100367.
- Yanes, A. R., P. Martinez and R. Ahmad (2020) Towards automated aquaponics: a review on monitoring, IoT, and smart systems. *J. Clean. Prod.*, 263: 121571.
- Zhang, H., Y. Gao, H. Shi, C. T. Lee, H. Hashim, Z. Zhang, W. Wu and C. Li (2020) Recovery of nutrients from fish sludge in an aquaponic system using biological aerated filters with ceramsite plus lignocellulosic material media. *J. Clean. Prod.*, 258: 120886.

