

蔡淑芳,刘 现,王 涛,等. 鱼菜共生系统经济可行性研究进展[J]. 江苏农业科学,2019,47(5):5-8.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.05.002

鱼菜共生系统经济可行性研究进展

蔡淑芳,刘 现,王 涛,黄语燕,吴敬才,雷锦桂

(福建省农业科学院数字农业研究所,福建福州 350003)

摘要:鱼菜共生是水产养殖与无土栽培的互利结合,近年来在世界各地快速发展。鱼菜共生可实现水和有机排泄物的循环利用,是应对食品安全危机、资源危机和环境危机的有力措施,但目前关于鱼菜共生的经济可行性还不明确。为进一步明确鱼菜共生在经济上是否是可行的,笔者对相关文献进行了梳理。明确了鱼菜共生总体上是经济可行的;浮筏栽培和基质床栽培是主要的栽培模式;罗非鱼、罗勒是高效的鱼菜共生品种;温带地区具备盈利可能性;生产规模越大、产品类型越丰富,经济可行性越高;合适的市场渠道和消费意愿的提升,能促进盈利。阐述了鱼菜共生水培效益、养殖品种优化、外部效应内部化等需要加强的研究内容,为推进鱼菜共生产业发展奠定了理论基础。

关键词:鱼菜共生;水产养殖;无土栽培;经济;可行性

中图分类号: F323.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)05-0005-04

鱼菜共生是水产养殖与无土栽培的互利结合,作为重要且可持续的食品生产方法,越来越受人们的欢迎和关注^[1-5]。在鱼菜共生系统中,水生动物排泄废物,细菌把废物转化成营养,植物吸收营养,为水生动物改善水质^[6]。这使得动物蛋白和植物的集约化生产同时进行,降低种植、养殖独立系统的操作成本,减少污水排放,节约用水量^[7]。尽管鱼菜共生有很多优势,但其经济可行性问题是有争议的^[8]。答案的关键在于,鱼菜共生在生产、效率和可持续性方面的增长是否超过了其相对较高的资本和运营成本^[9]。通过梳理相关文献,力图对鱼菜共生经济可行性形成整体认知,把握鱼菜共生经济运行规律,为鱼菜共生理论研究和产业发展提供相关的知识基础。

1 鱼菜共生系统主要类型

在20世纪70年代和80年代,现代的鱼菜共生,即利用水培法并结合再循环水产养殖的方法开始在美国出现^[10]。在此期间,鱼菜共生研究主要由维尔京群岛大学(the University of the Virgin Islands,简称UVI)和北卡罗莱纳州立大学(the North Carolina State University,简称NCSU)开展,并发展成为2个主要分支。

Diver和他的同事开发了一种商业规模的鱼菜共生系统(the University of the Virgin Islands System,简称UVI系统),该系统已经连续运行了10多年^[7]。尼罗罗非鱼和红罗非鱼

在养殖水箱中饲养,养殖废水与浮筏水培相连。罗勒、莴苣、秋葵等作物均已成功种植,品质优良,产量可观。每年研究人员和生产商都会从世界各地前往参观UVI系统,并参加研讨会,学习鱼菜共生的操作流程。

Mark McMurtry开发了鱼菜共生系统(the North Carolina State University System,简称NCSU系统)。该系统在温室地面向下方养殖罗非鱼,养殖池排放水用于滴灌置于地面的沙培蔬菜栽培床。西红柿和黄瓜吸收灌溉水营养而生长,沙培栽培床和植物根部充当生物滤池。灌溉水经栽培床后,循环回鱼类养殖池。该系统能节约水资源和植物营养投入,可进行鱼类高密度生产,可减少鱼、菜独立种植、养殖系统的操作成本。目前,该系统已发展到可由普通种植者直接应用的程度^[7]。

2 栽培模式、鱼菜品种与经济可行性

2.1 栽培模式

无土植物栽培有多种方式,包括浮筏栽培、营养液膜技术、基质床、毛细床、垂直塔等^[11]。2015年,1项国际调查发现,鱼菜共生从业人员最常使用的作物种植方式从高到低排序为浮筏栽培为77%、基质床为76%、营养液膜技术为29%、垂直塔为29%、毛细床为6%^[12]。被调查者最常用的作物生产方法与常规水培方法是不同的^[13]。Rakocy等建议,使用基质床在水培中进行生物过滤,以节约额外的生物过滤器的成本^[14]。

2004年,UVI系统使用浮筏方式进行罗非鱼-罗勒/秋葵共生^[15],并采用分批生产(整个系统同时种植/收获)和交叉生产(1次只种植/收获系统的一部分)的方式进行栽培。通过分批生产,214 m²的栽培面积,1年罗勒收益可达117 700美元(交叉生产为110 210美元)。与交叉生产相比,罗勒的分批生产存在营养缺陷。鱼菜共生的秋葵生产快速,但没有罗勒的利润来得丰厚。基于这些结果,研究人员建议在鱼菜共生系统中采用交错生产技术进行植物生产。

同年,Lennard等以沙砾为基质的鱼菜共生系统为对象,研究了连续灌溉(保持恒定流量的灌溉水流动)和往复灌溉

收稿日期:2018-11-12

基金项目:福建省自然科学基金(编号:2017J01045);福建省农业科学院青年基金项目(编号:YC2017-12, YC2018-9);福建省农业科学院智慧农业创新团队(编号:STHT2017-2-12);福建省农业科学院数字农业科技服务团队(编号:kjfw22);福建省农业科学院院管A类项目(编号:A2017-34, A2017-36, A2018-4);福建省公益类科研院所专项(编号:2016R1015-2)。

作者简介:蔡淑芳(1985—),女,福建霞浦人,硕士,助理研究员,主要从事设施农业研究。E-mail:195443125@qq.com。

通信作者:雷锦桂,硕士,副研究员,主要从事设施农业研究。E-mail:leican11@163.com。

(周期性的灌溉水流动)2种方式的差异^[2]。研究发现,莴苣产量在持续流动系统比往复流动系统中来得高。表明一个连续的而不是往复的系统,更有可能产生正的现金流预测。

2008年,Holliman等描述了一种集成系统,将棉杜松子堆肥作为基质,生产罗非鱼、斑点叉尾鲶和番茄^[16]。该系统建在室内集成鱼菜共生系统中,规模达40 000 m²。年产罗非鱼12 500 kg,斑点叉尾鲶20 000 kg,番茄15 000 kg。成本效益依赖于收获品种的市场价格。当罗非鱼市场价格为4.0美元/kg,西红柿市场价格为3.3美元/kg,每年的收益为4 222美元。研究发现,因为需要购买昂贵的生物过滤器,进行斑点叉尾鲶的单独水产养殖将产生亏损,而如果将水产养殖与番茄水培结合起来,将产生盈利。

2009年,Graber等比较了轻膨胀黏土集料作为栽培基质的LECATM鱼菜共生系统、独立施肥的水培系统和用鱼缸水灌溉的土壤栽培系统^[4]。研究发现,在LECATM系统中,尼罗罗非鱼和欧亚鲈的鱼类生长和传统的水产养殖生产是一样的。因为钾的缺少,鱼菜共生的西红柿果实品质较差。鱼菜共生的西红柿产量与传统土壤栽培类似,但显著少于无土栽培。考虑到营养循环,鱼菜共生系统在植物生产上仍然可盈利。显然水产养殖与传统农业相结合在降低生产风险的同时也增加了收入。

2012年,马来西亚沙巴大学(University Malaysia Sabah)在鱼菜共生系统中应用类似于垂直塔的堆叠式栽培单元(Stacked Planting Unit,简称SPU)进行生产^[17]。研究发现,采用SPU模式,虽然每行植物生物量减少了33%,但较之传统平行栽培单元,在一定面积的土地上,SPU可多容纳108%的植物;最终总生物量增长达到传统方式的1.39倍。加入SPU模式的循环水养殖系统(Recirculating Aquaculture System,简称RAS)将扭亏为盈,获得一定的利润。

2.2 鱼菜品种

成功的鱼菜共生生产必须同时考虑鱼类和植物物种的最佳选择以及最适宜的种养技术^[18]。几乎所有的淡水鱼都可以使用鱼菜共生培养。一位水产学专家断言:“除了需要高水平的氧气和超级纯冷水的鱼类如鲑鱼,几乎可以在鱼菜共生系统中养殖任何鱼”^[10]。类似的,许多种类的植物可以在鱼菜共生系统中生长,只要它们没有像甜菜或大头菜那样的大尺寸的可能会腐烂的根^[10]。

调查显示^[12],在鱼菜共生系统中,最常见的水生动物是罗非鱼为69%、观赏鱼为43%、鲑鱼为25%、鲈鱼为16%、蓝鳃鱼为15%、鱒鱼为10%。最常种植的植物包括罗勒为81%、沙拉绿叶蔬菜为76%、非罗勒草本植物为73%、西红柿为68%、莴苣为68%、甘蓝为56%、甜菜为55%、白菜为51%、辣椒为48%、黄瓜为45%。另一项调查结果也表明,受访者主要生产罗非鱼、鲑鱼和香草、莴苣^[19]。

20世纪90年代以来,罗非鱼和斑点叉尾鲶一直是美洲新兴的水产经济作物^[20]。罗非鱼售价大约为斑点叉尾鲶的2.5倍^[16]。且罗非鱼对pH值、温度、氧气和溶解固体的较高的耐受性,是最容易培养的鱼之一^[7]。这些促成了罗非鱼成为最普遍的鱼菜共生养殖鱼类。在植物选择方面,相较瓜类与茄果类蔬菜,绿叶蔬菜普遍获得较高的产量^[21];莴苣、香草和特殊的绿色蔬菜(菠菜、韭菜、罗勒、豆瓣菜)等对营养有较

低和中等需求的植物是最好的^[7]。种植最多的罗勒对营养需求较低,且拥有较好的市场销售前景。在罗非鱼-罗勒/秋葵生产中,虽然秋葵生产快速,但因罗勒拥有较高的市场价格,从罗勒中获得的毛收入可达秋葵的18~19倍^[15]。在UVI系统的初步经济分析中,罗勒的利润率几乎超过莴苣25%^[21]。

鱼菜共生可获得鱼和植物2种经济产品,但无土栽培组件较之水产养殖组件具有更高的盈利能力,鱼菜共生中以植物生产为重点有经济和生物基础^[12]。(1)植物如草药和沙拉蔬菜,比罗非鱼等鱼类有更高的市场价格。(2)植物相较鱼类可以更早达到可收获的规格,同时在同一年内可重复种植。(3)植物的生物量转化率比鱼类更好;1 kg鱼饲料产生的鱼类可以种植多达9 kg的莴苣,而鱼类的饲料转化率仅接近于1:1。

从2015年国际调查结果来看,257名受访者在过去1年共收获86 000 kg的鱼,明显低于452 000 kg的植物产量^[12]。Bailey等发现,在罗非鱼-莴苣共生系统中,虽然罗非鱼组件的收益为负值,但从莴苣中获得的回报足以支付鱼菜共生系统的所有可变和固定成本^[22]。阿肯色州使用UVI的CA2(University of the Virgin Islands' Commercial Aquaponics 2)系统进行的罗非鱼-莴苣/罗勒生产发现^[8],罗勒、莴苣、罗非鱼的利润率分别为83%、49%、-98%,较高的植物生产价值可抵消系统成本,形成鱼菜共生的净利润。研究结果表明,对水培生产的更多关注,可能会带来比完全整合的鱼菜共生系统更高的利润。

3 气候类型、规模产品与经济可行性

3.1 气候类型

在美国维尔京群岛和夏威夷进行的研究显示,在热带气候下,鱼菜共生在经济上是可行的^[8]。热带地区季节性温暖的天气使农民可以全年在户外种植水培作物,而且不需要额外的燃料和取暖设备。而在温带条件下,由于温室、辅助照明、加热器和冷却器等环境控制装备增加了额外费用,使得鱼菜共生系统生产成本提高,较之热带地区其经济效益会降低。调查显示,在冬季温度较温和的地区(平均每年极端最低气温 $\geq 0^{\circ}\text{F}$)开展鱼菜共生,其利润是其他寒冷地区的4倍^[12];较高的供暖费用和较短的生长季节是造成寒冷地区效益低下的原因。

为了确定在温室条件下,鱼菜共生是否能在经济上可行,加拿大艾伯特省布鲁克斯鱼菜共生工厂的研究人员基于UVI系统设计建造了一个鱼菜共生系统,作为艾伯特省鱼菜共生系统商业化的原型^[23]。研究发现,鱼菜共生可加速矿物成分的消耗和营养液的吸收,形成更好的植物成长绩效。罗勒和其他烹任用草本植物在亚伯达也显示出高产量和市场潜力。同时,鱼类生物量的产量可与传统水产养殖相媲美。2005年,Savidov评估了艾伯特省鱼菜共生食品生产的利润潜力^[24]。结果显示,在不提供任何额外投资的情况下,鱼菜共生罗勒种植者的总收入有望在2年内翻一番。

2011年,美国亚利桑那州立大学研究人员对温带气候下生长罗非鱼、鲈鱼和莴苣的鱼菜共生系统进行了现金流分析^[10]。研究认为,当以小规模和独立盈利的方式运营时,单纯依靠罗非鱼-蔬菜或者黄色鲈鱼-蔬菜的销售不足以抵消常规成本。然而,当规模增大时,用黄色鲈鱼-莴苣系统来实现规模经济和盈利是可能的。此外,研究建议通过完善商业

模式、价值增加、收入来源多样化等途径来缩小收入和支出之间的差距。

2015年,美国阿肯色州大学研究人员分析了在一个环境控制的温室里,利用UVI CA2系统生产罗非鱼、莴苣和罗勒的经济可行性^[8]。研究发现,罗非鱼-罗勒系统的投资回收期为1.27年,对投资者来说风险最低;其次是罗非鱼-莴苣-罗勒系统,投资回收期为2.17年;罗非鱼-莴苣系统的投资回收期大于5年,是最不具吸引力的投资选择。研究认为,在温室条件下利用UVI CA2系统进行食品生产是经济可行的,前提是适当地选择作物,同时存在着可行的市场。

3.2 规模产品

多项研究表明,鱼菜共生是可盈利的,其经济性与生产规模、产品类型相关。拥有更大生产规模、更丰富产品类型的鱼菜共生系统的盈利能力更高。

在规模经济方面,Bailey等对UVI商业鱼菜共生系统的早期版本进行经济分析发现^[22],罗非鱼-莴苣共生产生了正效益,且拥有12个或24个生产单元(每个生产单元由4个养鱼池和2个水培池组成)的大型农场,较之只有6个生产单元的农场,实现了更高、更可接受的回报。1项在温带气候条件下鱼菜共生系统的经济分析表明^[10],当系统规模为2 839 L时,生产罗非鱼-莴苣或者黄鲈-莴苣,是不盈利的。当系统规模扩大到5倍即14 195 L时,生产罗非鱼-莴苣,在10年后依然不盈利;生产黄鲈与莴苣,在10年后可获得净收益106 404美元。黄鲈较之罗非鱼可盈利,其原因为:(1)黄鲈销售价格是35美元/kg,罗非鱼13美元/kg;(2)黄鲈可以在更冷的水温条件下生存,减少了加热水体的能源费用。

在产品经济方面,鱼菜共生从业者提供的产品可以分为3种类型^[12,25]:(1)只销售鱼菜共生的鱼或植物;(2)只销售鱼菜共生相关的材料和服务;(3)同时销售鱼菜共生的鱼或植物以及相关的材料和服务。调查显示,只销售材料和服务的鱼菜共生从业者的盈利能力,是只销售植物和鱼的从业者的2倍。研究认为,在销售植物和鱼类以外,还销售咨询和课程的从业者更有可能实现盈利。阿肯色州和美国亚利桑那州的研究也肯定了上述结论^[8,10],认为拥有多元化收入来源的商业生产者可以给农场带来额外价值增加,包括提供鱼菜共生相关的农业旅游、农场参观、研讨会、培训等增值服务。

4 市场销售与经济可行性

鱼菜共生具备绿色农业、生态农业特征,主要产出作物和水生动物2种产品。不同的直接和间接市场选择,不同的市场销售方式,不同的消费者支付意愿、支付价格、关注点等,将对鱼菜共生经济性产生影响。

从卖方市场来看,鱼菜共生从业者可通过各种直接和间接市场销售植物和鱼类。直接市场包括农贸市场、农场、社区支持农业等;间接市场包括杂货店、餐馆、批发商等。调查显示,多元化的鱼菜共生从业者,使用了更多的销售渠道来销售他们的产品;经营规模更大的鱼菜共生从业者,更经常通过间接市场销售作物。Alcorta认为^[26],通过农贸市场和社区支持农业进行直接营销可能会导致更高的成本,但也可能带来更高的单位销售价格,因为中间商被排除在这一过程之外。加州大学的研究人员认为^[12],直接营销的巨大劳动力和运输成

本足以抵消通过更高定价获得的收入增长^[12]。Hardesty发现,通过批发营销渠道,每美元收入的营销成本最低;通过社区支持农业的销售比通过农贸市场销售的营销成本更低,整体风险更小^[27]。为了正确地抓住市场需求和最大限度地提高农业利润,可能需要将直接和间接方法结合起来^[8]。Galloway发现,通过天然食品和Whole Foods等有机零售商销售“活植物”具有巨大的市场潜力^[28]。罗勒也正是通过出售整株活植物而显示出很高的销售潜力。

从买方市场来看,消费者对是否是鱼菜共生产品并不敏感,他们更关心的是可能存在的食品安全问题^[23]。但1项鱼菜共生的食品安全回顾显示,与鱼菜共生产品有关的食源性与人畜共患疾病很罕见;与传统的田间种植方法相比,鱼菜共生产品致病菌污染的可能性更小^[29]。2017年,在欧洲市场的调查显示,超过50%的受访者从未听说过鱼菜共生^[30]。显示消费者普遍缺乏鱼菜共生知识,因此开展相关知识教育和营销传播是重要的。同时,消费者对新鲜产品更有兴趣,生产者要研究每种蔬菜的最佳收获时点,从而将最优质量蔬菜推向市场^[24]。在支付溢价方面,调查显示,消费者愿意支付当地种植、不含杀虫剂、使用环保技术种植西红柿的价格与散养鸡鸡蛋和有机蔬菜价格非常相似,平均愿意支付37%的无土栽培产品溢价^[31]。城市中心附近的大市场被认为是推出鱼菜共生产品最理想的市场,因为城市中心的消费者更愿意为“无化学”产品支付更高的溢价^[24]。

5 结论

鱼菜共生是一个动态且快速增长的产业,参与者积极试验和采用新技术,形成了蓬勃发展态势^[32]。鱼菜共生发展表明,以植物为基础的去营养物成为水产养殖系统额外收入的潜在来源,它抵消了传统水产养殖设施去除养分的成本^[33]。鱼类和植物综合生产,因为系统的整合性,降低了单独种植、养殖的营运成本^[34]。由于鱼菜共生经济效益受到多因素的影响,对鱼菜共生进行准确的经济评价是困难的;目前还不存在一个普遍适用的优化系统,因为需要根据气候、市场等环境条件进行优化^[35]。相关文献显示,在条件许可的前提下,鱼菜共生在经济上是可行的。研究表明,浮筏栽培和基质床栽培是最主要的栽培模式;罗非鱼、罗勒是具有较高生存能力和较好市场潜力的鱼菜共生品种;即使是在需要增加加热设备、光照设施等温室地区,也能实现盈利;生产规模越大、产品类型越丰富,经济可行性越高;合适的市场渠道选择和消费者消费意愿的提升,能有效扩大市场。

在所有情况下,水培生产都显示出了利润潜力,因此,只关注系统的水培方面可能具有更大的经济性^[8]。研究同时表明,鱼菜共生对罗非鱼的狭隘关注,意味着许多其他水生动物生产方法还没有得到优化^[25]。鱼菜共生系统具有明显的生态环境价值,有必要采取措施促进外部效应内部化以提高鱼菜共生商业价值^[36]。因此,需要进行更多的研究和开发,进一步评估和传播鱼菜共生领域的最佳实践。

参考文献:

- [1] Rakocy J. Hydroponic lettuce production in a recirculating fish culture system[J]. Island Perspectives, 1989(3): 5-10.

- [2] Lennard W A, Leonard B V. A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system[J]. *Aquaculture International*, 2004, 12(6):539–553.
- [3] Savidov N A. Comparative study of aquaponically and hydroponically grown plants in model system[R]// Evaluation and development of aquaponics production and product market capabilities in Alberta. Crop Diversification Center South, Brooks, Alberta, 2005:21–31.
- [4] Graber A, Junge R. Aquaponic systems; nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production[J]. *Desalination*, 2009, 246(1/2/3):147–156.
- [5] Knaus U. Aquaponics – synergy between aquatic organisms and plants [J]. *Fischerei & Fischmarkt*, 2012, 5:36–43.
- [6] Buzby K M, Lin L S. Scaling aquaponic systems; balancing plant uptake with fish output [J]. *Aquacultural Engineering*, 2014, 63:39–44.
- [7] Diver S. Aquaponics – integration of hydroponics with aquaculture [R]. ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service, 2006.
- [8] English L. Economic feasibility of aquaponics in Arkansas [D]. Arkansas; University of Arkansas, 2015.
- [9] Barros L C, Almeida F H, Henriques M B, et al. Economic evaluation of the commercial production between Brazilian samphire and whiteleg shrimp in an aquaponics system [J]. *Aquaculture International*, 2018, 26(5):1187–1206.
- [10] Goodman E R. Aquaponics; community and economic development [D]. Arizona; Arizona State University, 2011.
- [11] Palm H W, Nievel M, Knaus U. Significant factors affecting the economic sustainability of closed aquaponic systems [J]. *International Journal of the Bioflux Society*, 2015, 8(1):89–106.
- [12] Love D C, Fry J P, Li X M, et al. Commercial aquaponics production and profitability findings from an international survey [J]. *Aquaculture*, 2015, 435:67–74.
- [13] Jones J B. Hydroponics; a practical guide for the soilless grower [M]. Boca Raton; CRC Press, 2005.
- [14] Rakocy J, Masser M, Losordo T. Recirculating aquaculture tank production systems; aquaponics – integrating fish and plant culture [R]. Southern Regional Aquaculture Center, 2006.
- [15] Rakocy J E, Bailey D S, Shultz R C, et al. 2004 Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system [C]. Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Manila, Philippines, 2004:676–690.
- [16] Holliman J B, Adrian J, Chappell J A. Integration of hydroponic tomato and indoor recirculating aquacultural production systems; an economic analysis [J]. *Academic Emergency Medicine Official Journal of the Society for Academic Emergency Medicine*, 2008, 22(2):229–236.
- [17] Lee N S. Productivity and economic feasibility of stacked aquaponics [D]. Malaysia; University Malaysia Sabah, 2012.
- [18] Palm H W, Bissa K, Knaus U. Significant factors affecting the economic sustainability of closed aquaponic systems. Part II: Fish and plant growth [J]. *International Journal of the Bioflux Society*, 2014, 7(3):162–175.
- [19] Villarreal M, Junge R, Komives T, et al. Survey of aquaponics in Europe [J]. *Water*, 2016, 8(10):468.
- [20] Helfrich L A, Libey G. Fish farming in recirculating aquaculture systems [R/OL]. <http://fisheries.tamu.edu/files/2013/09/Fish-Farming-in-Recirculating-Aquaculture-Systems-RAS.pdf>.
- [21] Rakocy J E. Aquaponics – integrating fish and plant culture [M]// Aquaculture production systems. Oxford; Wiley – Blackwell, 2012.
- [22] Bailey S D, Rakocy J E, Cole W M, et al. Economic analysis of a commercial – scale system for the production of tilapia and lettuce [C]// Tilapia Aquaculture; Proceedings from the Fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, New York, 1997:603–612.
- [23] Savidov N A. Evaluation and development of aquaponics production and product market capabilities in Alberta [R]. Crop Diversification Center South, Brooks, Alberta, 2004.
- [24] Savidov N A. Evaluation and development of aquaponics production and product market capabilities in Alberta phase 2 [R]. Crop Diversification Center South, Brooks, Alberta, 2005.
- [25] Love D C, Fry J P, Genello L, et al. An international survey of aquaponics practitioners [J]. *Public Library of Science*, 2014, 9(7):e102662.
- [26] Alcorta M, Dufour R, Hinman T. Tips for selling to wholesale buyers at terminal markets, attra [R/OL]. <https://attra.ncat.org/attra-pub/summaries/summary.php?pub=405>.
- [27] Hardesty S D, Leff P. Determining marketing costs and returns in alternative marketing channels [J]. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 2010, 25(1):24–34.
- [28] Galloway, Communication R T. September [Z/OL]. <http://www.waterveg.com>.
- [29] Chalmers G A. Aquaponics and food safety. Appendix H [R]. Evaluation and development of aquaponics production and product market capabilities in Alberta. Crop Diversification Centre South. Brooks, Alberta. 2004.
- [30] Milicic V, Thorarinsdottir R, Santos M D, et al. Commercial aquaponics approaching the European market; to consumers' perceptions of aquaponics products in Europe [J]. *Water*, 2017, 9(80):1–22.
- [31] Thai L, McDonald S, Dooley M, et al. Marketing aquaponics produce. Appendix F [R]. Evaluation and development of aquaponics production and product market capabilities in Alberta. Crop Diversification Centre South. Brooks, Alberta. 2004.
- [32] Blidariu F, Grozea A. Increasing the economical efficiency and sustainability of indoor fish farming by means of aquaponics – review [J]. *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies*, 2011, 44(2):1–8.
- [33] Adler P R, Harper J K, Wade E M, et al. Economic analysis of an aquaponic system for the integrated production of rainbow trout and plants [J]. *International Journal of Recirculating Aquaculture*, 2000, 1(1):15–34.
- [34] Lennard W. Aquaponics; the integration of recirculating aquaculture and hydroponics [J]. *World Aquaculture*, 2009, 40(1):23–24.
- [35] Goddek S, Delaide B, Mankasingh U, et al. Challenges of sustainable and commercial aquaponics [J]. *Sustainability*, 2015, 7:4199–4224.
- [36] Greenfeld A, Becker N, McIlwain J, et al. Economically viable aquaponics? Identifying the gap between potential and current uncertainties [J]. *Reviews in Aquaculture*, 2018:1–15.