

花卉产业中生命周期评价方法应用进展

刘景安

(北京市花木有限公司, 北京 100044)

摘要:在生态环境效益评价方法中,生命周期评价方法(LCA)是一种普遍接受的方法。利用生命周期方法评价花卉产业的生态环境效益,国外已有较多研究,而中国则非常缺乏。文章总结了国外花卉产业中切花和盆栽花卉生命周期评价应用研究进展,分析中国花卉产业生命周期评价研究现状,并对中国花卉产业开展生命周期评价提出建议。当前中国生命周期评价应用研究处于起步阶段,急需在花卉产业中主要花卉上开展相关研究。

关键词:花卉产业;生命周期评价(LCA);研究进展

中图分类号:S629;F326.13 文献标识码:A 文章编号:1672-450X(2023)03-0062-06

Progress of Life Cycle Assessment (LCA) Application in Floral Industry

LIU Jingan

Beijing Florascape Co.,Ltd. Beijing 100044, China

Abstract: Life cycle assessment (LCA) was a method that had been widely accepted in the evaluation of ecological and environmental benefits. A lot of research on evaluating the ecological and environmental benefits of the flower industry using life cycle methods had been studied abroad, while was very lacking for China. The research progress on the application of life cycle assessment of cut and potted flowers in the foreign flower industry was summarized firstly and then the current research status of life cycle assessment of China's flower industry was analyzed. Suggestions for carrying out life cycle assessment in China's flower industry were suggested finally. Compared with foreign countries, the current research on the application of life cycle assessment in China was in infancy through comprehensive analysis, it is urgent to carry out relevant research on the main flowers in the flower industry.

Key words: flower industry; life cycle assessment (LCA); research progress

随着中国提出将于2030年实现碳达峰和2060年实现碳中和的目标,碳排放问题已是各行业发展中必须面对的问题。花卉产业是生态友好型产业,但在生产、包装、运输和交易产业链中也存在碳排放问题。中国是世界花卉栽培面积第一大国^[1],也是世界第二大切花和盆栽植物销售国^[2],如何综合评价花卉产业的生态环境效益,是未来实现花卉产业可持续发展需要克服的一个关键问题。

生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)方法是当前普遍接受的可持续发展评价方式^[3],国外花卉产业生命周期评价方法应用研究开展较

早。在21世纪初,Russo和De Lucia Zeller^[4]已利用LCA评价方法对玫瑰和仙客来2种花卉进行了环境影响评估。当前国外花卉产业生命周期评价研究虽然已不少,研究也相对系统,但总体上仍处于方兴未艾的阶段。

与世界花卉强国相比,中国在花卉产业生命周期评价方面的研究非常少,这与我国为世界花卉生产大国的地位不符,同时也不利于未来花卉产业的生态效益评价和可持续发展。本文针对当前国内外花卉产业生命周期评价方面的研究进展进行综述,旨在为中国花卉产业可持续发展研究及产业发展提供参考。

收稿日期:2023-03-15

作者简介:刘景安(1981-),男,工程师,博士,研究方向为花卉技术开发与管理。E-mail:ljagoodluck@126.com

1 生命周期评价概述

生命周期评价方法是当前由国际标准界定、被国际科学界广泛接受,可以应用到包括农业在内的诸多领域的一种评价环境负担的方法^[5-6]。利用该方法可用于评价一个产品,或产品生产过程,或者产品从原材料、生产、加工、运输及最终处置等整个过程对环境的影响^[7-8]。

生命周期评价理论的应用可追溯到20世纪60年代,初始阶段主要用作资源和环境的分析。20世纪90年代前,生命周期评价研究和应用发展比较缓慢,之后随着对该方法进一步认知,其应用研究开始明显增多。进入21世纪后,生命周期评价方法在各行业得到广泛应用,相关研究报道快速增加^[9-12],开始应用到观赏园艺植物上^[13-14]。

利用生命周期评价方法可以评价与环境有关的一系列影响因素:地球变暖潜能(global warming potential, GWP)^[15]、非生物损耗(abiotic depletion, 简称AD)^[16]、空气酸化(air acidification, AA)^[17]、富营养化(eutrophication, EU)^[18]、光化学氧化(photochemical oxidation, PO)^[19]、臭氧损耗(ozone depletion, OD)^[20]、人体毒性(human toxicity, HT)、淡水水生生物毒性(freshwater aquatic ecotoxicity, FA)^[21]、海洋生态毒性(marine ecotoxicity, MAET)^[22]、陆地生态毒性(terrestrial ecotoxicity, TE)^[22]、碳足迹(CO₂ footprint)^[23]和水足迹(water footprint)^[23]等。在观赏植物生产过程中,生命周期评价可以用来评价观赏植物生产中每个阶段投入(能量和材料的投入)和输出(如对大气、土壤和水等影响)对环境的影响。

2 国外花卉产业中生命周期评价(LCA)应用研究进展

在国外花卉产业生命周期评价应用研究中,根据花卉的最终利用形式可分为切花花卉、观赏盆栽花卉及观赏植物的应用研究(树木类)^[24]。本文仅涉及切花和观赏盆栽花卉2类。

2.1 切花花卉中的应用

根据已有报道,整个切花生产过程对环境的影响包含以下4个方面^[24]:第一,温室建筑材料、

化学材料、肥料、堆肥、水培基质和繁殖材料在生产过程中消耗的能量和产生的碳排放;第二,处理和包装过程中材料和能源的消耗造成的环境影响,如花卉冷藏和包装过程中水、材料和能量的消耗;第三,运输过程产生的环境影响,指的是花卉运输到大型市场或者花店、园艺中心、超市等零售目的地或最终消费端过程中的能量消耗对环境的影响;第四,切花生产中所用的燃料、水、电、肥料、杀虫剂等对环境的影响。

在切花生产和管理过程中,产生的环境碳排放主要与非生物损耗(AD)、空气酸化(AA)、富营养化(EU)、全球变暖(GW)和光化学氧化(PO)有关。切花生产和运输中消耗的材料(建设材料、基质、穴盘、育苗材料等)及栽培过程中消耗的材料(燃料、电、水、肥等)均与上面5个因素相关,而切花采后储藏控制和运输过程中造成的环境碳排放主要与AD、GW、AA、PO等因素有关。根据已有报道,切花生产中是否加热、冷藏时间长短等生产条件显著影响环境碳排放。Abeliotis等研究得出,希腊切花康乃馨在不加温温室生产中的碳排放量非常低,碳排放主要是由冷藏和运输中电能消耗造成(非生物损耗);其生产过程中冷藏和运输过程碳排放占整个生产储运阶段碳排放的60.8%~82.2%,而荷兰切花康乃馨生产过程中肥料使用是造成的碳排放高的主要原因,最高可占全过程的83.3%^[25]。与上述康乃馨上的研究结果相比,在荷兰,温室玫瑰生产过程对环境的影响呈现完全不一样的结果。同样对于AD、AA、EU、GW和PO等5个因素,气候控制系统成为玫瑰生产碳排放的主要贡献因子,占整个过程的93.9%~98.6%^[26]。Sahle和Potting^[27]研究了埃塞俄比亚21个农场玫瑰生产过程对环境的影响,结果表明玫瑰生长阶段对AD、AA、EU、GW、OD、HT、FAET、MAET、TE和PO贡献多达75%~90%,采后的冷藏和运输对环境影响较小,仅占1%~30%。在玫瑰生长阶段各因素中,肥料对环境的影响最大[25%(ET)~79%(MAET)],其次是杀虫剂。与Torrellase等^[26]在荷兰玫瑰种植上的研究结果相比,Sahle和Potting的研究表明,在埃塞俄比亚玫瑰种植中生产投入、

地区和种植方式等差异均会产生不同的环境碳排放。Franze 和 Giroth^[28]利用 LCA 方法分析了荷兰和厄瓜多尔玫瑰种植过程对碳排放的影响。结果表明,除了 OD 外,荷兰玫瑰生产过程对其他环境碳排放影响因素的贡献值均高于厄瓜多尔。在荷兰,玫瑰种植生产中温室能量消耗对 GWP 影响因子的贡献率为 98.9%,是造成环境负面影响的主要因子,而在厄瓜多尔则为 35%,为非主要环境影响因子。在其他环境影响因素方面,荷兰玫瑰种植生产过程对 AD、FAET、MAET 和 TE 等的贡献均超过了 90%,远高于厄瓜多尔。

同种类花卉在不同加热条件、运输条件以及其他条件下,通过 LCA 方法分析得出对环境碳排放的贡献率(AD、AA、EU、GW、PO、OD、HT、FAET、MAET、TE 等影响因素)差异显著^[28-31]。在切花玫瑰的种植过程中,荷兰切花玫瑰种植能量消耗(燃料和电)造成的碳排放占整个生命周期碳排放的 95%以上,而在肯尼亚仅占 2%^[30]。在荷兰与厄瓜多尔切花玫瑰种植过程中碳排放的对比研究中得到了类似的结果,荷兰切花玫瑰种植过程对 GW 因素的贡献占据整个生命周期的 80%,而厄瓜多尔仅有 20%^[28]。不同地区切花玫瑰种植过程的总能量需求差异显著,在哥伦比亚,每支玫瑰在加热和不加热温室条件下平均每年的总能量消耗分别是 14.51 MJ 和 14.38 MJ,而在肯尼亚和荷兰则分别是 2.4 MJ 和 20.2 MJ^[31]。Bojacá 和 Schrevens 的研究分析认为花卉运输条件和加热条件造成了以上结果的差异。每支切花玫瑰从哥伦比亚运输到英国的年均消耗能量为 12.25 MJ,而从肯尼亚到英国仅为 0.3 MJ;温室加热方面,每支玫瑰在荷兰年均能耗高达 19.9 MJ,而在哥伦比亚仅为 0.51 MJ^[31]。

通过生命周期评价方法分析得出,观赏花卉在不同生长阶段的温室气体总排放量同样差异显著。Wandl 和 Haberl^[32]通过对 18 个观赏植物(切花和盆栽植物)不同阶段碳排放的研究发现,加热能耗是马蹄莲、风信子、鸢尾和石蒜等花卉在种植过程中碳排放的最大影响因子,占据总排放量的 87%。菊花和夏季切花产品种植过程加热能耗对碳排放的影响较小。在二氧化碳总排放

量方面,夏季和春季种植的花卉数值最低,随后依次是菊花、小苍兰和毛茛。该研究还得出,18 个观赏植物的总 GWP 范围在 1.3 ~ 2.6 kg CO₂ eq^[32]。

2.2 观赏盆栽植物中的应用

根据已有研究可知^[24],观赏盆栽植物生产过程对环境碳排放的影响包含以下方面:第一,花卉生产所需原材料如温室建设材料、化学材料、肥料、堆肥、繁殖材料(种子,穴盘,生根苗和种球等)、草炭、蛭石、珍珠岩等生产和运输中所产生的碳排放;第二,花卉种植过程中的加热能耗、用电能耗,灌溉、喷雾系统等水的消耗,杀虫剂和肥料的使用产生的环境碳排放;第三,观赏植物的包装如套袋等产生的环境碳排放,特别是对于蝴蝶兰、红掌、一品红等热带物种来说;第四,运输过程产生的环境碳排放,包括运输到大型市场或者花店、园艺中心、超市等零售目的地或最终消费端过程中的能量消耗对环境的影响。

地球变暖潜能(global warming potential, GWP)指标是观赏盆栽植物生命周期评价中一个重要指标。Ingram 等^[33]通过对温室中生产的秋海棠研究得出,种植过程总 GWP 与基质、穴盘等材料和使用机械有关,其测量值为 0.1396 kg CO₂ eq。秋海棠生产过程中容器的使用和电能的消耗对 GWP 参数的贡献分别为 30.8%和 12.3%。在盆栽菊花生产的研究获得了类似结果,盆栽菊花生产过程中总的 GWP 数值为 0.5552 kg CO₂ eq^[33],其中,44.8%为基质所贡献(基质为 60/40 的草炭/木纤维),26.4%的来自容器。在盆栽仙客来上,Russo 等^[31]研究了 2 个意大利温室中仙客来种植过程对 GWP 的贡献情况,得出仙客来的幼苗期阶段(繁殖和育苗)对 GWP 的贡献最大,原因是该过程需要加热;其次是农场的电能消耗。但是该研究还认为,与环境有关的能源消耗比如电,能被可再生能源如风能和太阳能所替代,因而类似电的能源消耗有改进的潜力。类似的结果也被 Bonaguro 等^[34]在天竺葵生产上的研究所证实,因为需要加热生产的天竺葵,加热对总 GWP 贡献占 91.3%。

使用可替代能源能降低花卉生产中的碳排

放。Soode 等对一品红的生命周期进行评价,发现生长阶段利用的电能是 GHG 排放中最大贡献者,这一情况可以通过利用可再生能源比如木材废弃物进行改善。研究结果得出,与利用不可再生能源比如化石能源相比,当利用木材废弃物作为加热资源生产一品红时,生产过程对 GWP 输出贡献会降低 80%^[35]。例如利用常规能源种植一品红产生的 GWP 多达 21 kg CO₂ eq^[30],但是当利用木材废弃物加热时 GWP 只有 0.5921 kg CO₂ eq^[35]。

在荷兰,到目前为止,蝴蝶兰是消耗能源最多的盆栽观赏植物,几乎所有的碳排放量(96.4%)与种植阶段的能源投入有关^[30],这一研究结果得到 Wandl 和 Heberl^[32]的验证。除了盆栽仙客来外,Wandl 和 Heberl 还测定了其他 8 种盆栽花卉,得出碳排放从多到少依次为石蒜、杜鹃花、一品红、风信子、天竺葵、报春花、铺垫植物和莖菜。仙客来产生了 5.5 kg CO₂ eq,该数值在该研究中高于平均值 1.8 kg CO₂ eq^[32]。

3 生命周期评价在国内花卉应用中的研究进展

虽然近年来我国在大田作物玉米^[36],水稻^[37],小麦^[38]及园艺作物上^[39-41]已有不少生命周期评价方法相关研究报道,但国内农业 LCA 评价研究整体上相对薄弱。杨印生等首次较为全面地介绍了农业方面的生命周期评价方法,对其定义、阶段步骤及相关技术体系进行了全面的阐述,该报道针对我国农业生产实际进一步分析了 LCA 评价方法应用的必要性和可能存在的问题,最后讨论了开展生命周期评价研究对我国农业的意义,并提出相应的对策建议^[42]。

我国花卉产业蓬勃发展,但在国内花卉的科研、生产及产业中,有关生命周期评价的研究鲜有报道。通过文献检索,国内有关花卉生命周期评价的研究是曹淑雯基于生命周期理论研究了鲜切花供应链碳足迹^[43]。该研究利用 LCA 评价法,首先界定了鲜切花供应链的边界,其次对供应链各个环节的碳排放值进行了定量计算和比较分析,最后针对性地给出节能减排和环境保护的方向性建议。在该研究中,鲜切花生命周期被

界定为以下 4 个阶段:第一阶段是鲜花种植及采收预冷;第二阶段是鲜花运输;第三阶段是鲜切花包装销售;第四个阶段是消耗与腐损废弃。作者利用相关农资和能源的碳排放系数计算了鲜切花生命周期各阶段的碳足迹,研究结果表明,鲜切花冷链碳足迹为 1 120.015 kg,其中储运运输过程中的碳足迹 707.0749 kg,占整体碳足迹的 63.13%,比例最高,其次是包装阶段(21.32%),而生产阶段的碳排放占比最低,仅有 1.65%。根据以上结果分析,作者建议在低温仓储技术开发、研发节能型冷藏车、科学规划运输路线、水肥一体化、无土栽培、绿色包装、供应链数字化升级等方面采用新技术、科学管理模式,加强信息化管理。

通过曹淑雯研究可以得出,中国花卉产业碳排放与其他国家和地区均有所差异,这种情况与国情、生产方式、区域差异等等均可能有关。因而为了更全面的反映我国花卉产业碳排放的全貌,包括不同区域、不同生产方式、不同运输储藏方式、不同消费方式的碳排放情况,需要有更多类似的研究来支撑。同时,也需要开展花卉生产对环境净碳排放的研究,原因是当前仍然不清楚国内花卉产业整体的环境效益是正或负。

4 未来我国花卉产业开展生命周期评价研究的必要性和建议

花卉产业是实现“绿水青山就是金山银山”环境发展理念的重要支撑,目前国内缺乏花卉产业对环境影响的评价研究,不利于环境友好型花卉产业的全面发展。加强利用生命周期评价方法开展环境影响评价有利于实现我国由花卉大国向花卉强国的转变及实现花卉产业的可持续发展。

为此,建议梳理我国花卉产业全产业链的发展现状,摸清国内花卉产业生命周期评价需要重点关注的环节。其次,选定花卉产业中主要花卉开展生命周期评价研究。第三,加强国内外、跨学科间的合作,利用生命周期评价方法因地制宜地开展国内花卉产业可持续评价研究。第四,积极争取政府政策和资金支持。

参考文献:

- [1] ANUMALA N, KUMAR R. Floriculture sector in India: current status and export potential [J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2021, 96(5): 59-63.
- [2] Eurostat. Horticultural products, flowers and ornamental plants, statistics 2017[EB]. [2023-01-15].
- [3] CURRAN M. Life cycle assessment: a review of the methodology and its application to sustainability [J]. Current Opinion in Chemical Engineering, 2013, 2(3): 273-277.
- [4] RUSSO G, DE LUCIA ZELLER B. Environmental evaluation by means of LCA regarding the ornamental nursery production in rose and sowbread greenhouse cultivation [J]. Acta Horticulturae, 2008(801): 1597-1604.
- [5] Martínez-Blanco J, Lazcano C, Christensen TH, et al. Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment. A review [J]. Agronomy for Sustainable Development, 2013, 33(4): 721-732.
- [6] Ingram D, Hall C, Knight J. Understanding carbon footprint in production and use of landscape plants [J]. HortTechnology, 2019(29): 6-10.
- [7] ROY P, NEI D, ORIKASA T, et al. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 90(1): 1-10.
- [8] 郑秀彬, 胡彬. 我国生命周期评价文献综述及国外最新研究进展 [J]. 科技进步与对策, 2013, 30(6): 155-160
- [9] Guinée J, Heijungs R, Huppes G, et al. Life cycle assessment: past, present, and future [J]. Environmental Science and Technology, 2011, 45(1): 90-96.
- [10] MCCLELLAND S, AMDT C, GORDON D, et al. Type and number of environmental impact categories used in livestock life cycle assessment: A systematic review [J]. Livestock Science, 2018(209): 39-45.
- [11] WANG X, LEDGARD S, LUO J, et al. Environmental impacts and resource use of milk production on the North China Plain, based on life cycle assessment [J]. Science of The Total Environment, 2018(625): 486-495.
- [12] 王路路, 刘欣超, 吴汝群, 等. LCA 研究方法及其在农业中的应用潜力分析 [J]. 中国农业信息, 2021(3): 13-23
- [13] INGRAM D, FERNANDEZ T. Life cycle assessment: a tool for determining the environmental impact of horticultural crop production [J]. HortTechnology, 2012, 22(3): 275-279.
- [14] DENNIS H, LOPEZ G, BEHE K, et al. Sustainable production practices adopted by greenhouse and nursery plant growers [J]. HortScience, 2010, 45(8): 1232-1237
- [15] HARVEY L. A guide to global warming potentials (GWPs) [J]. Energy Policy, 1993, 21(1): 24-34.
- [16] VAN OERS L, GUIÉE G. The abiotic depletion potential: background, updates, and future [J]. Resources, 2016, 5(16): 2-12.
- [17] PERGOLA M, PERSIANI A, PASTORE V, et al. Sustainability assessment of the green compost production chain from agricultural waste: a case study in southern Italy [J]. Agronomy, 2020, 10(2): 230.
- [18] CHISLOCK M, DOSTER E, ZITOMER R, et al. Eutrophication: causes, consequences, and controls in aquatic ecosystems [J]. Nature Education Knowledge, 2013, 4(4): 10.
- [19] PATHAK N, CALEB O, GEYER M, et al. Photocatalytic and photochemical oxidation of ethylene: potential for storage of fresh produce—a review [J]. Food and Bioprocess Technology, 2017(10): 982-1001.
- [20] ANDRADY A, AUCAMP P, AUSTIN A, et al. Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: Progress report, 2016 [J]. 2017, 16(2): 107-145.
- [21] BERTHOUD A, MAUPU P, HUET C, et al. Assessing freshwater ecotoxicity of agricultural products in life cycle assessment (LCA): a case study of wheat using French agricultural practices databases and USEtox model [J]. The International Journal of Life Cycle Assessment volume, 2011(16): 841.
- [22] Falcone G, Strano A, Stillitano T, et al. Integrated sustainability appraisal of wine-growing management systems through LCA and LCC methodologies [J]. Chemical Engineering Transactions, 2015(44): 223-228.
- [23] Platis D, Anagnostopoulos C, Tsaboula A, et al. Energy analysis, and carbon and water footprint for environmentally friendly farming practices in agroecosystems and agroforestry [J]. Sustainability, 2019, 11(6): 1664.
- [24] Darras A. Implementation of sustainable practices to ornamental plant cultivation worldwide: a critical review [J]. Agronomy, 2020(10), 1570.
- [25] ABELIOTIS K, BATLA S, DETSIS V, et al. Life cycle assessment of carnation production in Greece [J]. Journal of Cleaner Production, 2016(112): 32-38.
- [26] TORRELLAS M, ANTÓN A, RUIJS M, et al. Environmental and economic assessment of protected crops in four

- European scenarios [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2012(28):45-55.
- [27] SAHLE A, POTTING J. Environmental life cycle assessment of Ethiopian rose cultivation [J]. *Science of the Total Environment*, 2013(443):163-172.
- [28] FRANZE J, CIROTH A. A comparison of cut roses from Ecuador and the Netherlands [J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2011(16):366-379.
- [29] RUSSO G, BUTTOL P, TARANTINI M. LCA (Life Cycle Assessment) of roses and cyclamens in greenhouse cultivation [J]. *Acta Horticulturae*, 2008(801):359-366.
- [30] BLONK H, KOOL A, LUSKE B, et al. Methodology for assessing carbon footprints of horticultural products [M]. *Blonk Milieu Advies*; Gouda, The Netherlands, 2010.
- [31] PATTADO C, BOJACÁ C, SCHREVEENS E. Exploring more sustainable technological alternatives for the greenhouse cut flowers industry in Colombia [J]. *Acta Horticulturae*, 2011(893):1125-1132.
- [32] WANDL M, HABERL H. Greenhouse gas emissions of small scale ornamental plant production in Austria-A case study [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017(141):1123-1133.
- [33] INGRAM D, HALL C, KNIGHT J. Global warming potential, variable costs, and water use of a model greenhouse production system for 11.4-cm annual plants using life cycle assessment [J]. *HortScience*, 2018(53):441-444.
- [34] BONAGURO J, COLETTI L, SAMBO P, et al. Environmental analysis of sustainable production practices applied to cyclamen and zonal geranium [J]. *Horticulturae*, 2021,7(1):8.
- [35] SOODE E, WEBER- BLASCHKE G, RICHTER K. Comparison of product carbon footprint standards with a case study on poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*) [J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2013, 18:1280-1290.
- [36] LI C, LI S. Energy budget and carbon footprint in a wheat and maize system under ridge furrow strategy in dry semi humid areas [J]. *Scientific Reports*, 2021, 11, 9367.
- [37] HE X, QIAO Y, LIANG L et al. Environmental life cycle assessment of long-term organic rice production in subtropical China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 176:880-888.
- [38] CHENG G, ZHAO Y, PAN S et al. A comparative life cycle analysis of wheat straw utilization modes in China [J]. *Energy*, 2020(194):116914.
- [39] LI L, WU W, GILLER P. Life cycle assessment of a highly diverse vegetable multi-cropping system in Fengqiu county, China [J]. *Sustainability*, 2018, 10(4):983.
- [40] ZHU Z, JIA Z, PENG L et al. Life cycle assessment of conventional and organic apple production systems in China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018 (201) : 156-168.
- [41] CHEN L, WU W, LI G, et al. Potentials of energy saving for cucumber crop production in different types of greenhouse in China [J]. *Acta Horticulturae*, 2017 (1182):39-46.
- [42] 杨印生, 盛国辉, 吕广宏. 我国开展农业 LCA 研究的对策 [J]. *中国软科学*, 2003(5):7-11.
- (上接第 41 页)
- [9] 余正武. 德宏红魔芋性状和高产立体栽培 [J]. *云南农业科技*, 2005(1):1-3.
- [10] 张风洁, 刘海利, 张洁, 等. 珠芽魔芋资源研究进展 [J]. *南方农业*, 2013, 7(8):64-67.
- [11] 张东华, 汪庆平, 段志柏, 等. 东南亚珠芽魔芋多苗接力生长及应用前景 [J]. *资源开发与市场*, 2009, 25(8):682-684.
- [12] 董坤. 魔芋地膜高产栽培技术 [J]. *安徽农学报*, 2007 (14):128-132.
- [13] 吴旭, 杨敏, 刘佳妮, 等. 珠芽魔芋对细菌性软腐病的抗性鉴定研究 [J]. *亚热带植物科学*, 2018, 47(2):176-180.
- [14] 张东华, 汪庆平. 珠芽魔芋热区(橡胶)林下套种模式展望 [J]. *热带农业工程*, 2016, 40(3):21-27.