

凡纳滨对虾生命周期环境影响模型分析评价研究*

The Evaluation of the Model of Life Cycle Assessment (LCA) in *Litopenaeus vannamei*

易湘茜¹,孙恢礼^{2**},潘剑宇²

YI Xiang-xi¹,SUN Hui-li²,PAN Jian-yu²

(1. 广西中医药大学药学院,广西南宁 530001;2. 中国科学院海洋生物资源可持续利用重点实验室,广东广州 510301)

(1. Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning, Guangxi, 530001, China; 2. Key Laboratory of Marine Bio-resources Sustainable Utilization, South China Sea Institute of Oceanology, CAS, Guangzhou, Guangdong, 510301, China)

摘要:【目的】以凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)为原料,针对凡纳滨对虾养成和综合利用(同时获得冷冻无头虾、调味基料、多功能饲料添加剂等3种产品)模式,评价整个过程的环境影响。【方法】引入生命周期环境影响评价(Life Cycle Assessment, LCA)概念和方法,构建了由确定目标和范围、清单分析、影响评价、结果解释等4个步骤组成的评价体系,并对其生产过程中的资源消耗、富营养化、温室效应、酸化、烟尘与粉尘、固体废弃物排放等进行了定量评价。【结果】在以养成及综合利用1000kg凡纳滨对虾为功能单元的评价体系中,总环境影响负荷为0.386,单类型环境影响负荷分别为温室效应(0.179)、酸化效应(0.112)、富营养化(0.055)、粉尘和烟尘(0.034)及工业固废(0.006)。【结论】各子系统对总环境影响负荷值的贡献大小依次为养殖阶段、加工阶段、繁殖阶段及废水处理阶段。

关键词:凡纳滨对虾 繁殖 养殖 综合利用 生命周期评价

中图分类号:S932 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2014)03-0306-07

Abstract:【Objective】According to the aim of “Zero-waste” and “High-value”, environmental impacts were estimated in *L. vannamei* breeding, cultivation and comprehensive utilization, which was developed to produce three kinds of products, headless frozen prawn, seasoning base material and feed additives. 【Methods】Based on *L. vannamei* processing and utilization model, the life cycle assessment (LCA) was divided into four parts, including goal and scope definition, inventory analysis, impact assessment and interpretation of results. Quantitative evaluations were made in the consumption of resources, solid wastes, eutrophication, global warming, smoke and dust, acidification and potential impacts. 【Results】The indexes of total environment load, global warming, acidification, eutrophication, smoke and dust, and solid wastes were 0.386, 0.179, 0.112, 0.055, 0.034, and 0.006, respectively. 【Conclusion】The most contributed stage in *L. vannamei* processing and utilization model is the cultivation stage.

Key words: *Litopenaeus vannamei*, breeding, cultivation, comprehensive utilization, life cycle assessment

收稿日期:2014-02-19

修回日期:2014-03-10

作者简介:易湘茜(1981-),女,讲师,博士,主要从事海洋生物高值化绿色利用研究。

*“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD33B10),广东省中国科学院全面战略合作项目(2011A090100008, 2011B090300057),广西高等学校特色专业及课程一体化项目(GXTSZY214),广西中医药大学教育教学研究项目一般课题(2013C13)资助。

**通讯作者:孙恢礼(1953-),男,研究员,博士生导师,主要从事海洋生物资源综合利用及评价方法研究。

【研究意义】随着地球环境恶化和能源紧缺问题的日益严重,选择合适的方法评价凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)利用模式的优劣,结果可以指导凡纳滨对虾的繁殖、养殖和综合加工等生产实践活动,能为政府职能部门制定相关法律法规和产业政策提供理论依据,从根本上提高凡纳滨对虾的资源绩效水平,也可以运用到整个海洋生物资源和农副产品甚至食品工业,促进传统的低值化利用模式向绿色

高值化利用模式转变。【前人研究进展】生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)起源于20世纪60年代,是对一种产品及其包装物、生产工艺、原材料、能源或其它某种人类活动行为的全过程,包括原材料的采集、加工、生产、包装、运输、消费和回收以及最终处理等,进行资源和环境影响的分析与评价方法^[1]。LCA已被纳入ISO14040环境管理体系,是一个重要的环境管理工具,已经形成了一种比较完善的评价方法体系。目前,国内外已有研究者在农产品和食品领域开展了生命周期评价研究^[2~5]。【本研究切入点】目前,尚未见有关凡纳滨对虾方面环境性能评价的报道。【拟解决的关键问题】引入生命周期评价方法,构建由确定目标和范围、清单分析、影响评价、结果解释等4个步骤组成的评价体系,对凡纳滨对虾养成及典型综合利用过程的环境性能进行评价,为凡纳滨对虾养成和综合利用模式选择提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 研究对象与功能单位

研究对象为凡纳滨对虾,实证对象为广东省湛江的A企业,选择其中的对虾虾苗繁育基地、虾苗养殖基地、综合加工利用工厂,数据采集为2011年年均数据。功能单位为加工1000kg凡纳滨对虾。养殖过程中凡纳滨对虾的成活率按70%计算,成品虾规格按70头/kg,则养殖阶段的功能单位为养殖10万尾凡纳滨对虾虾苗。繁殖阶段按照20%的成活率计算,则功能单位为繁殖50万尾无节幼体。

1.2 确定目标和范围

根据凡纳滨对虾养成和综合利用的实际情况,考虑与研究目的和功能单位直接相关的过程,不考虑工厂以外产生环境负荷的各个阶段,根据目前的企业实

Table 1 Material inventory of *L. vannamei* fertility, cultivation and processing

原材料 Raw materials	消耗量 Consumption	原材料 Raw materials	消耗量 Consumption
元节幼体对虾 <i>L. vannamei</i>	50 万尾	水质改良剂 Water quality improver	25kg
HCl	150g	活性微生物生态剂 Active microecological agent	8kg
福尔马林 Formalin	2500g	Quicklime	266kg
KMnO ₄	600g	氮肥 Nitrogenous manure	5kg
含氯消毒剂 Chlorinated disinfectant	16.64kg	长效水体消毒剂 Water disinfectant	200g
EDTA-2Na	15g	尿素 Carbamide	3kg
人工配合饵料 Artificial cooperate with bait	1500g	虾苗养殖饵料 Shrimp seedling breeding bait	1200kg
卤虫 Artemia	2500g	过磷酸钙 Superphosphate	0.5kg
酶 Enzyme	1050g	活力菌 Antibacterial activity	300g
包装塑料袋 Packaging plastic bags	20 个	包装箱 Box shooks	100 只

际生产布局,采用的系统边界如图1所示。

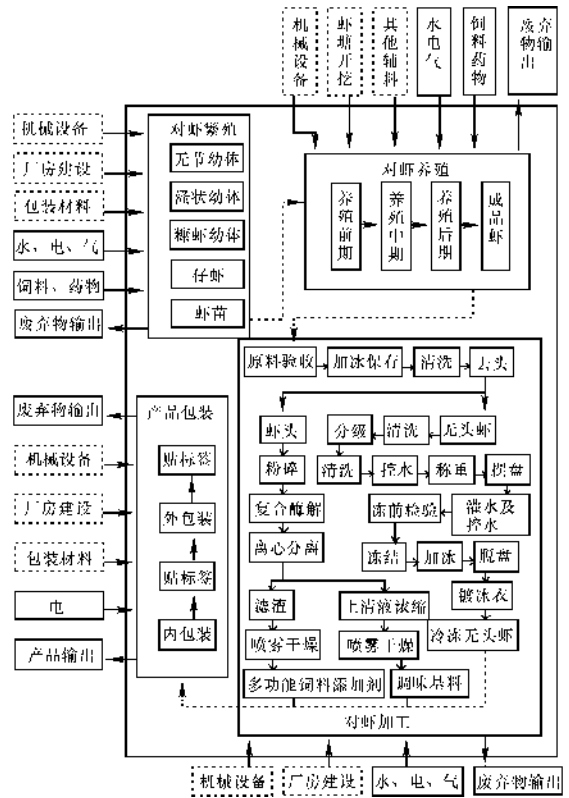


图1 凡纳滨对虾养成及综合利用系统范围与边界
Fig. 1 Schematic presentation of the system for *L. vannamei* fertility, cultivation and production investigated

2 结果与讨论

2.1 清单分析

2.1.1 原辅材料消耗

“凡纳滨对虾养成及综合利用”主要原料为无节幼体对虾,辅助原料主要有饲料、饵料、酶、消毒剂、抗生素、包装材料等^[6,7],具体见表1。

2.1.2 水资源消耗

“凡纳滨对虾养成及综合利用”系统各单元均需消耗一定的水,主要为生产用水、清洗用水、制冷系统冷却用水和生产热蒸汽用水。用水方式均为自行取水,部分单元过程所用水需进行一定处理(如除菌或过滤处理),具体见表2。

表2 凡纳滨对虾养成及综合利用水资源消耗清单

Table 2 Water consumption inventory of *L. vannamei* fertility, cultivation and processing

阶段、单元过程 Unit process	水 Water(m ³)
繁殖阶段 Fertility stage	16.12
养殖阶段 Cultivation stage	2431.00
综合利用阶段 Processing stage	58.12
废水处理阶段 Wastewater treatment	15.00
总计 Total	2512.12

2.1.3 能源消耗

通过对凡纳滨对虾加工系统中原材料获取、产品加工、能量消耗及废弃物排放进行定量调查,得出电量、汽油等消耗结果见表3。

表3 凡纳滨对虾养成及综合利用系统中各阶段、单元能源消耗

Table 3 Energy consumption in sections or sub-units of *L. vannamei* fertility cultivation and processing

阶段、单元过程 Unit process	电能 Electric energy (kW·h·kL ⁻¹)	燃油 Oil (L)	燃料 Fule (Coal·kg ⁻¹)
繁殖阶段 Fertility stage	151	2.72	95
养殖阶段 Cultivation stage	450	58	0
综合利用阶段 Processing stage	250	20	200
废水处理阶段 Wastewater treatment	40	0	0
总计 Total	891	80.72	295

表4 凡纳滨对虾养成及综合利用系统各单元环境排放清单

Table 4 Environmental emissions from *L. vannamei* fertility, cultivation and processing

阶段、单元过程 Unit process	繁殖过程 Fertility stage	养殖过程 Cultivation stage	加工过程 Processing stage	废水处理阶段 Wastewater treatment
相关污染物 Related pollutant	排放量 Discharge(kg)			
固废 Solid wastes	4.50E-01	1.58E+00	0.00E+00	3.00E-01
COD	3.50E-02	1.39E+01	1.50E-01	4.00E-02
P	2.70E-04	3.51E-02	0.00E+00	3.00E-04
氨、氮 Ammonia&-Nitrogen	7.00E-04	9.10E-02	0.00E+00	7.00E-03
粉尘 Dust	2.50E-01	2.58E-01	4.86E-01	2.29E-02
CO ₂	3.85E+02	3.92E+02	7.44E+02	3.47E+01
CO	6.89E-03	6.89E-02	6.89E-03	0.00E+00
SO ₂	1.32E+00	3.31E+00	2.28E+00	2.94E-01
NO _x	1.46E+00	1.53E+00	2.84E+00	1.34E-01
HC	6.35E-04	6.35E-03	6.35E-04	0.00E+00

标准煤排放清单参考 EPA Air pollution emission factors AP42-1996,每燃烧 1kg 的标准煤排放的主要污染物为 3300g CO₂, 8.72g NO_x, 1.85g SO₂, 0.598g CO。根据我国电力生产的结构,按实际权重进行分配,根据吨标准煤排放量基础数据,可以测算出平均每度电的清单分析^[8],汽油发动机排放污染物主要有 CO₂, HC, NO_x, CO, PM 等。CO₂ 排放因子采用国内推荐量来计算,即 3.18kg CO₂/kg 汽油, 3.16kg CO₂/kg 柴油。根据欧洲 III 号排放标准,综合考虑运输的距离和每次运输产品的重量,研究选用中型车 (7 t < 载重量 ≤ 14 t, 对应欧洲标准中的 1305kg < RM ≤ 1760kg) 作为运输过程的主要车型,结合中型车使用燃油比重,可以得出具体污染物排放情况为: CO₂ (g/km) 为 734.4, HC (g/km) 为 0.0635, NO_x (g/km) 为 0.3185, CO (g/km) 为 0.689, PM (g/km) 为 0.038。

2.1.4 环境排放

将凡纳滨对虾养成及综合利用系统中各单元消耗的各种能量、产生的废水废气等代入到生命周期分析公式中,得出环境排放结果见表4。

2.2 影响评价

根据 ISO14042 国际标准^[9] 和我国标准 GB24042-2002 的规范和建议^[10], 将凡纳滨对虾养成及综合利用系统的影响评价分为分类、特征化、量化 3 个步骤进行。

2.2.1 分类

根据食品 LCA 研究目标及凡纳滨对虾养成及综合利用系统所产生的资源消耗及环境排放,对系统清单结果进行归类。具体归类见表5和表6。

表 5 凡纳滨对虾养成及加工系统的环境影响分类

Table 5 Sorts of environment impacts of *L. vannamei* fertility, cultivation and processing

环境影响分类 Category of environment impacts	相关资源或污染物 Consumption of resources or engenderer pollutant
资源耗竭 Resource exhaustion	水、煤、汽油、酶、对虾、化学试剂 Water, coal, gasoline, enzyme, <i>L. vannamei</i> , chemical reagent
温室效应 Greenhouse effect	CO ₂ , CO, CH, NO _x
富营养化 Eutrophication	COD, SS, 含 N 或 P 的化合物 COD, SS, The compounds containing element N or P
酸化效应 Acidification	SO ₂ , NO _x , NH ₃
烟尘与粉尘 Smoke, dust	烟尘、粉尘 Smoke, dust
工业固废 Industrial solid wastes	生产及包装废弃物、煤渣、炉渣等 Solid wastes, coal cinder and cinder
潜在健康影响 Human toxicity	高温、噪声、异味、粉尘等 High temperature, noise, off-flavor, PM and so on

表 6 凡纳滨对虾养成及综合利用系统各单元环境影响归类

Table 6 Sorts of environment impacts of sub-units of *L. vannamei* fertility, cultivation and processing

单元 Unit process	影响类型 Impact type											
	资源消耗 Resource exhaustion			生态环境影响 Ecological environment impacts					职业健康影响 Occupational health impacts			
	燃油 Fuel	水 Water	煤 Coal	全球变暖 Global warming	富营养化 Eutrophication	酸化 Acidification	烟尘粉尘 Smoke & dust	工业固废 Industrial solid wastes	噪声 Noise	高温 High temperature	车间异味 Off-flavor	粉尘 Dust
繁殖阶段 Fertility stage	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	—	—	—	—	—
养殖阶段 Cultivation stage	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓	—	—	—
综合利用 Processing stage	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
废水处理 Waste water treatment	—	✓	—	✓	✓	—	—	—	—	—	✓	—

2.2.2 特征化

由于缺乏相对成熟和合理的评价模型,尤其是缺乏相应具体的实测数据,暂不对职业健康影响进行评价,只对环境影响和资源耗竭进行评价。环境影响潜值(EP)指整个生产系统中所有环境排放影响的总和,可表示为:

$$EP(j) = \sum EP(j)_i = \sum [Q(j)_i \times EF(j)_i]$$

式中,EP(j)—产品系统对第j种潜在环境影响的贡献;EP(j)_i—第i种排放物质对第j种潜在环境影响的贡献;Q_i—第i种物质排放量;EF(j)_i—第i种物质对第j种潜在环境影响的当量因子。

采用英国ICI公司开发的当量因子法^[11],将不同的负荷或排放因子在各形态环境问题中的潜在影响加以分析,并量化成相同的形态或是同单位的大小,分析结果见表7。

2.2.3 量化

量化是确定不同环境影响类型相对贡献的大小或权重,以期得到总的环境影响水平的过程。本文权重的确定采用“目标距离”法,即某种环境效应的严重性用该效应当前水平与目标水平(标准或容量)之间的距离来表征^[12],结果见表8。

表 7 凡纳滨对虾养成及加工过程特征化分析结果

Table 7 The characterization results of *L. vannamei* fertility, cultivation and processing

阶段、单元过程 Unit process	繁殖阶段 Fertility stage	养殖阶段 Cultivation stage	加工阶段 Processing stage	废水处理 Wastewater treatment
环境类型 Environment Category	总计 Total			
温室效应 Greenhouse effect (kgCO ₂ eq)	422.82	431.1	817.11	38.15
富营养化 Eutrophication(kgPO ₄ eq)	0.0017	0.4220	0.0031	0.0081
酸化效应 Acidification(kgSO ₂ eq)	2.676	0.215	2.670	0.571
工业固废 Industrial solid wastes(kg eq)	0.450	1.580	0.000	0.300
烟尘与粉尘 Smoke and dust(kg eq)	0.250	0.258	0.486	0.029

表 8 部分环境影响权重值

Table 8 The weights of partial environmental impacts

影响类型 Impacts Category	温室效应 Greenhouse effect	富营养化 Eutrophication	酸化 Acidification	烟尘和粉尘 Smoke and dust	工业固废 Industrial solid wastes
权重值 Weighted value	0.83	0.73	0.73	0.61	0.62

2.3 结果解释

2.3.1 环境影响负荷评价结果解释

环境影响负荷 (Environmental Load Index, EIL) 反映了所研究产品或生产系统在其整个生命周期中对环境系统的压力大小, 其单位为标准人当量, 是一个简单易用的指标, 其意义在于为具有同样功能的产品或系统的环境影响大小比较提供了一个量化指标^[13]。用公式表示为

$$EIL = \sum WP(j) = \sum \frac{ER(j)_{90}}{ER(j)_{T2000}} \times \frac{ER(j)}{ER(j)_{90}} = \sum \left[\frac{\sum Q(j)_i \times EF(k)_i}{ER(j)_{T2000}} \right]$$

式中, $WP(j)$ — 加权后的环境影响潜值; $Q(j)_i$ — 属于 j 类环境影响的第 i 种物质的排放量; $ER(j)_{T2000}$ — 2000 年的环境影响潜值基准。

针对凡纳滨对虾繁殖和养殖及综合加工系统生命周期全过程, $j = \{\text{温室效应、富营养化、酸化、烟尘和粉尘、工业固废}\}$ 。体系的环境负荷评价结果, 见表 9 及图 2~4。

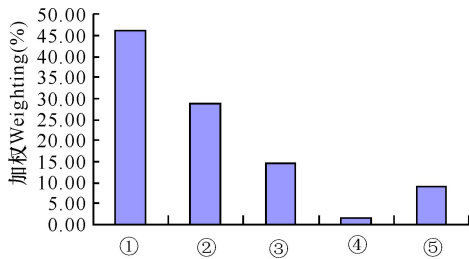


图 2 系统中各环境影响类型分析

Fig. 2 Environment impact assessments in *L. vannamei* system

① 温室效应, ② 酸化, ③ 富营养化环境影响类型, ④ 工业固废, ⑤ 粉尘和烟尘

① Greenhouse effect, ② Acidification, ③ Eutrophication environment impacts category, ④ Industrial solid wastes, ⑤ Smoke and dust

由表 9 看出, 凡纳滨对虾养成及综合利用系统总环境影响负荷为 0.386, 其中对环境贡献最大的影响因子依次为: 温室效应 (0.179)、酸化效应

表 9 凡纳滨对虾养成及综合利用系统加权后的环境负荷评价结果

Table 9 The results of weighted environment load assessment of *L. vannamei* fertility, cultivation and processing

影响类型 Environment Category	系统单元 Unit process				权重 Weighted value	加权后的影响潜值 Effect potential after weighting
	繁殖 Fertility	养殖 Cultivation	加工 Processing	废水处理 Wastewater treatment		
温室效应 Greenhouse effect	0.053	0.054	0.103	0.005	0.83	0.179
酸化效应 Acidification	0.029	0.067	0.051	0.006	0.73	0.112
富营养化 Eutrophication	0.0003	0.0740	0.0010	0.0010	0.73	0.055
工业固废 Industrial solid wastes	0.0018	0.0063	0.0000	0.0012	0.62	0.006
粉尘和烟尘 Smoke and dust	0.014	0.014	0.027	0.001	0.61	0.034
总计(加权后) Total(after weighting)	0.074	0.157	0.139	0.010		0.386

(0.112)、富营养化(0.055)、粉尘和烟尘(0.034)及工业固废(0.006)。

由图 2 可知, 凡纳滨对虾养成及综合利用系统中, 温室效应(46.37%)及酸化(29.02%)是最主要的环境影响类型, 其次为富营养化、粉尘和烟尘。本研究系统中, 不仅对传统的虾身部分进行了产品加工, 对虾头及下脚料部分也进行了高值化利用, 故产生的工业固废很少, 基本实现“零废弃”的目标。

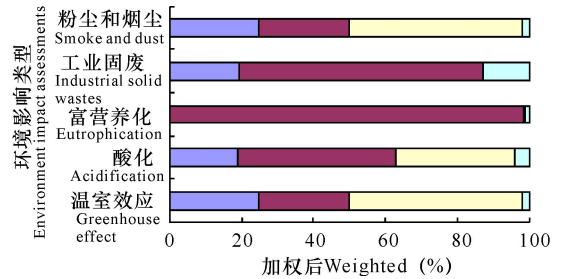


图 3 系统中各阶段加权后环境影响负荷分析

Fig. 3 Weighted environment impact assessments in *L. vannamei* system

■ 繁殖阶段, ■ 养殖阶段, ■ 加工阶段, ■ 废水处理
■: Fertility, ■: Cultivation, ■: Processing, ■: Wastewater treatment

由图 3 可知, 对富营养化及工业固废的贡献最大的阶段主要为养殖阶段, 主要是养殖周期较长, 期间使用大量的饵料、肥料及虾苗排泄物; 温室效应和酸化的影响主要是由于热蒸汽生产单元中燃煤产生的废气排放及对虾加工过程中制冷环节造成。

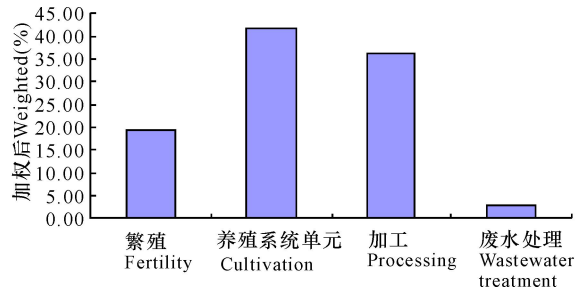


图 4 系统各阶段对环境负荷贡献分析

Fig. 4 Environment impact assessments of sub-units in *L. vannamei* system

由图4可知,各阶段、单元过程对各种类型环境负荷总的贡献值大小依次为:养殖阶段、加工阶段、繁殖阶段及废水处理阶段,加权后环境负荷贡献率分别为47.8%,32.6%,17.2%和2.4%。

综上所述,凡纳滨对虾养成及综合利用系统中环境影响主要是各阶段加热及制冷过程中产生的温室效应、养殖阶段造成的富营养化和加工阶段产生的酸化,因此必须加强对这几个环节的环境管理和技术改进。

2.3.2 资源耗竭评价结果及解释

资源耗竭系数(RDI)反映了产品系统资源消耗占整个自然资源的份额,同时也反映了资源的稀缺性,可以为企业在工艺设计、原材料选择、能源利用方面提供简单、统一的标准。

$$RDI = \sum WR(j) = \sum [WF(j) \times NEP(j)] = \sum \left[\frac{\sum RC(j)}{RES(PE)_{90}} \right]$$

式中,RDI—加权后的资源耗竭系数;RC(j)—产品系统的资源消耗量;RES(PE)₉₀—1990年人均拥有量。

标准化后的资源耗竭系数及各阶段、单元过程资源耗竭比例见图5。

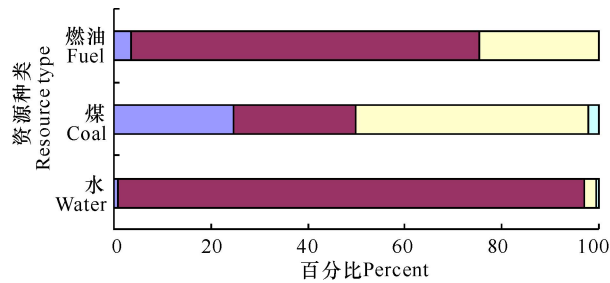


图5 系统各阶段资源耗竭比例

Fig. 5 Environment impact assessments of sub-units in *L. vannamei* system

■繁殖阶段, ■养殖阶段, ■加工阶段, ■废水处理
 ■: Fertility, ■: Cultivation, ■: Processing, ■: Wastewater treatment

结果表明,凡纳滨对虾养成及综合利用系统中资源标准化后的耗竭系数分别为:水5.34、标准煤1.03、燃油0.12。由图5可知,水资源消耗主要贡献阶段是养殖阶段,主要原因是养殖周期长、养殖密度有要求等,可通过使用经过处理达到养殖要求的海水,或通过对养殖排放水进行沙滤、过滤及杀菌等处理手段循环利用,减少水资源的利用量。燃煤资源消耗(即耗能)最多的是加工阶段的制冷单元及养成阶段的水体保温环节,可采取相应节能措施来降低能耗。

3 结论

凡纳滨对虾养成及典型综合利用系统中总环境

影响负荷为0.386,其中各影响因子对环境影响贡献值大小依次为:温室效应(0.179)、酸化效应(0.112)、富营养化(0.055)、粉尘和烟尘(0.034)及工业固废(0.006);各阶段、单元过程对各种类型环境负荷总的贡献值大小依次为:养殖阶段、加工阶段、繁殖阶段及废水处理阶段;水资源消耗最多的是养殖阶段及加工中清洗对虾用水,煤资源消耗(即耗能)最多的是养成过程中加热单元和加工中的制冷单元。结果显示,该利用模式属于较清洁生产模式,产生的固体废弃物很少、富营养化程度低。该利用模式的评价结果可以有效掌握凡纳滨对虾利用的整个过程的环境行为,确定其中优化资源、节省能源和减少污染的关键步骤,为优化利用模式提供基础数据支持。

参考文献:

- [1] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 24040—2008《环境管理生命周期评价 原则与框架》[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 24040—2008 "Environmental management-Life cycle assessment-Principles and frameworks" [S]. Beijing:Standards Press of China,2008.
- [2] Boer D I J M. Environmental impact assessment of conventional and organic milk production [J]. Livestock Production Science,2002,80:69-70.
- [3] Poritosh R,Daisuke N,Takahiro O. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products[J]. Journal of Food Engineering,2009,90:1-10.
- [4] 李君,孙恢礼,吴园涛,等. 海洋贝类利用模式生命周期评价方法研究[J]. 热带海洋学报,2007,26(4):70-75.
Li J,Sun H L,Wu Y T,et al. A study on life cycle assessment method of marine shellfish utilization model [J]. Journal of Tropical Oceanography,2007,26(4):70-75.
- [5] 易湘茜,孙恢礼,陈华. 一种虾头综合利用模式的生命周期评价[J]. 食品工业科技,2010,31(12):69-71.
Yi X X,Sun H L,Chen H. Research of life cycle assessment (LCA) in shrimp head comprehensive utilization process model [J]. Science and Technology of Food Industry,2010,31(12):69-71.
- [6] 廖思明,陈剑锋,阎冰,等. 广西北海凡纳滨对虾养殖池塘叶绿素 a 和微藻的变化研究[J]. 广西科学,2012,19(2):160-164.
Liao S M,Chen J F,Yan B,et al. Variation of chlorophyll a concentration and microalgae composition in *Litopenaeus vannamei* culture ponds in Beihai,Guangxi [J]. Guangxi Sciences,2012,19(2):160-164.
- [7] 程光平,桑明远,黄国强,等. 不同低温持续胁迫对凡纳

- 滨对虾存活的影响[J]. 南方农业学报, 2013, 44(2): 333-337.
- Cheng G P, Sang M Y, Huang G Q, et al. Effects of different low temperature continuous stress on *Litopenaeus vannamei* survival [J]. Journal of Southern Agriculture, 2013, 44(2): 333-337.
- [8] 谭斌. 应用生命周期分析的酒精企业清洁生产研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.
- Tan B. Study on cleaner production for alcohol distillery with the tool of LCA[D]. Shanghai: Tongji University, 2007.
- [9] 杨建新, 徐成, 王如松. 产品生命周期评价方法[M]. 北京: 气象出版社, 2002: 35-69.
- Yang J X, Xu C, Wang R S. Life cycle assessment of products[M]. Beijing: Meteorological Press, 2002: 35-69.
- [10] 邓南圣, 王小兵. 生命周期评价[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 129-228.
- Deng N S, Wang X B. Life cycle assessment[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003: 129-228.
- [11] Karen A B, Janzen H H, Shannan M L, et al. Life cycle assessment of green house gas emissions from beef production in western Canada; a case study[J]. Agricultural Systems, 2010, 103(6): 371-379.
- [12] Xiang X Y, Hua C, Jian Y P, et al. The application of life cycle assessment in a typical *Litopenaeus Vannamei* comprehensive utilization process model [J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 10: 1583-1588.
- [13] 任辉, 杨印生, 曹利江. 啤酒生产生命周期评价研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(2): 80-84.
- Ren H, Yang Y S, Cao L J. Life cycle assessment of beer production in China [J]. Journal of agricultural machinery, 2006, 37(2): 80-84.

(责任编辑: 尹 闯)