

新疆伊犁全新规划生态农业园区 产业链环境评价研究^{*}

许玉荣¹,邵 帅^{1,2},张 芸¹,高秋凤¹,徐晓晨¹,靳文尧³

(1.大连理工大学环境学院工业生态与环境工程教育部重点实验室,辽宁 大连 116024;

2.大连理工大学能源与动力学院海洋能源利用与节能教育部重点实验室,辽宁 大连 116024;

3.大连大学环境与化学工程学院,辽宁 大连 116622)

摘要:发展生态农业园区有助于减少农业废弃物,实现农业可持续发展。目前,政府强调农业废弃物多层次利用,尽可能延链、补链、壮链、优链。然而,上述策略是否环境友好值得考虑。针对这一问题,本文利用生命周期评价法(Life cycle assessment,LCA),以新疆伊犁全新规划生态农业园区产业链为例,构建了8种情景,从环境角度探讨各情景环境负荷。结果表明:从资源消耗和物质消耗角度来看,产业链延伸能够提高资源和物质利用率;但是,从对大气和水资源的影响、毒性效应的角度来看,产业链延伸并未带来环境效益;此外,根据LCA贡献效应,不同指标下最优情景不同。本研究可以为生态农业园区从生命周期角度设计新的产业链提供借鉴与指导。

关键词:全新规划产业链;产业生态;生命周期评价;环境影响;产业链延伸

中图分类号:X24;X324;S181 **文献标志码:**A

作为农业大国,中国每年会在农业领域产生大量的植物型残余废物、动物型残余废物和加工型残余废物^[1]。这些农业废弃物不仅数量大、利用率低,而且还带来环境污染、资源枯竭、土地退化等问题,严重影响了生态环境^[2-3],阻碍中国农业可持续发展。

产业链是通过产业共生、循环网络提高资源利用率,减少对环境的影响,目前已被广泛应用于工业领域,形成了各种工业园区^[4],生态农业园区则仿照工业园区不断创新升级,其发展仍处于上升阶段。近二十年,中国逐渐将产业链引入农业发展领域,探索了生态农业园区的概念和发展原则^[5],形成了一系列农业园区产业链,如畜禽粪便循环产业链^[6]、种养加功能复合产业链^[7]、秸秆循环产业链^[8]等,这些现存的产业链大都存在产业链条短、产品附加值不高的情况。所以国家出台多项政策,明确提出“推进延链、补链、壮链、优链,从抓生产到抓链条、从抓产品到抓产业、从抓环节到抓体系转变”^[9],但在实际应用中,产业链长短与环境负荷之间的关系需要进一步研究。

生命周期评价法(Life Cycle Assessment,简称LCA)可以定量评估产品环境因素及其在整个产品生命周期中的潜在影响,该方法由目标与范围定义、清单分析、影响评估以及结果解释^[10-12]四个部分组成。目前已被广泛应用于工业、加工业等领域^[13-14],能够在农业领域迁移使用,定量评估环境影响。沈园等^[15]利用生命周期评价法对“草-羊-田”循环系统进行了评价;崔文超等^[16]基于碳足迹分析

^{*} 收稿日期:2023-01-28;修回日期:2023-03-14

基金项目:2019年辽宁省科技重大专项项目(2019020171-JH1/103-01)

作者简介:许玉荣(1998—),女,内蒙古乌兰察布人,2020级硕士研究生。E-mail:18204747480@163.com

通信作者:张 芸(1966—),女,辽宁鞍山人,教授,博士。主要从事产业生态学研究。E-mail:zhangyun@dlut.edu.cn

了传统青田稻鱼共生系统的环境负荷;Goglio等^[17]则利用生命周期评价法对核算土壤碳变化的相关研究做了汇总;Foteinis等^[18]对希腊生菜种植中有机农业和传统农业进行了全生命周期对比研究。由此可见,农业领域关于LCA的研究主要集中在现存产业链相关的分析对比上,但在评价生态农业园区产业链长短是否最优方面研究较少。

本论文以新疆伊犁全新规划生态农业园区产业链为研究对象,将关键种子系统设置为初始情景,逐渐延伸产业链,并利用生命周期评价法量化其环境负荷,探讨不同评价角度下最优生态农业园区产业链模式,并且回答“产业链越长、生态农业园区产业链是否越好”这一问题。

1 材料与方法

1.1 目的和范围的确定

选取新疆伊犁全新规划生态农业园区产业链为研究对象,该产业链包含子系统较多,在生态农业园区中相对完善先进,具有代表性。研究构建8种情景,借助Gabi 10.0软件构建全新规划生态农业园区产业链模型,定量评估8种情景的环境负荷并进行对比,以识别最优产业链模式,为生态农业园区从生命周期角度设计新的产业链提供借鉴与指导。

1.1.1 功能单位

苹果种植子系统产生三种苹果:商品率高直接输出售卖的苹果、商品率低进行深加工的苹果、进行厌氧发酵的烂果。由于苹果种植是关键种子系统,同时与其他子系统紧密相连,因此本研究采用生产1t商品率高苹果作为功能单位。

1.1.2 系统边界

本研究主要通过产业链的不断延伸来考察环境负荷,探索全新规划生态农业园区产业链的最优组合。为此,有必要从关键种出发,以苹果种植子系统为初始情景,逐步延伸产业链,8种情景模拟如表1所示,其中S8是全新规划生态农业园区产业链完整模式。根据研究目标确定系统边界,涉及苹果种植、厌氧发酵、食用菌种植、养猪业、饲料化、深加工、玉米种植和肥料化共8个子系统,包括各子系统物质资源的上游生产过程、废水废气固废的排放以及产品的输出过程。

表1 生态农业园区产业链的不同场景

Table 1 Different scenarios of the industrial chain of the newly planned eco-agricultural park

方案	情景模拟
S1	苹果种植
S2	苹果种植+厌氧发酵
S3	苹果种植+厌氧发酵+食用菌种植
S4	苹果种植+厌氧发酵+食用菌种植+养猪业
S5	苹果种植+厌氧发酵+食用菌种植+养猪业+饲料化
S6	苹果种植+厌氧发酵+食用菌种植+养猪业+饲料化+深加工
S7	苹果种植+厌氧发酵+食用菌种植+养猪业+饲料化+深加工+玉米种植
S8	苹果种植+厌氧发酵+食用菌种植+养猪业+饲料化+深加工+玉米种植+肥料化

1.2 清单分析

本研究中以苹果种植子系统中生产1t商品率高苹果为基础,其他子系统的投入产出按照功能单位按比例进行折算。其中,各子系统的原始数据是通过实地调研获得,电能、柴油、水能、蒸汽等上游追溯数据从Gabi 10.0软件数据库中直接获取。值得注意的是,effootprint在线建模系统与Ecoinvent 3.1数据库兼容,可以对Gabi软件自带数据库进行补充^[19]。S8数据清单见表2。

表 2 S8 生命周期清单
Table 2 S8 life cycle inventory

序号	输入			输出		
	类别	单位	数值	类别	单位	数值
1	杀虫剂	kg	1.39E+00	苹果	t	1.00E+00
2	杀菌剂	kg	4.51E+00	苹果醋	kg	5.32E+02
3	除草剂	kg	5.79E-01	苹果醋饮料	kg	6.39E+02
4	地膜	kg	8.58E-01	食用菌	kg	1.10E+01
5	纸袋	kg	1.61E+01	猪	头	1.00E+00
6	苹果汁	kg	3.19E+01	病死猪	kg	2.40E-01
7	氢氧化钠	kg	2.13E-01	胎盘及分泌物	kg	2.10E-01
8	食盐	kg	2.77E+00	废脱硫剂	kg	3.71E-01
9	食用酒精	kg	2.34E+01	产电	kW·h	4.77E-01
10	白糖	kg	6.81E+00	有机肥	kg	3.79E+02
11	塑料瓶	kg	3.69E-02	液体肥	kg	4.67E+03
12	纸箱	kg	2.77E-01	HC	kg	7.87E-04
13	玻璃瓶	kg	1.11E+02	CO	kg	1.17E-01
14	木屑	kg	1.64E+01	PM ₁₀	kg	2.68E-01
15	甘蔗渣	kg	9.21E+00	NO _x	kg	1.49E+00
16	玉米粉	kg	1.58E+00	SO _x	kg	3.08E-01
17	豆粕	kg	1.16E+02	CO ₂	kg	1.03E+02
18	麦皮	kg	5.92E+00	N ₂ O	kg	2.10E+00
19	石灰粉	kg	2.96E-01	NH ₃	kg	3.56E+00
20	碳酸钙	kg	2.96E-01	NO ₃ -N	kg	8.52E+00
21	土壤	kg	6.41E+00	SO ₂	kg	1.36E-01
22	防疫物资	kg	9.09E-02	H ₂ S	kg	5.84E-03
23	兽药	kg	1.96E-04	CH ₄	kg	4.96E-02
24	消毒剂	kg	4.55E-02	PO ₄ ³⁻	kg	8.85E-01
25	除臭剂	kg	3.64E-02	COD	kg	3.83E+00
26	大豆	kg	6.54E+01	BOD	kg	1.76E+00
27	大豆油	kg	5.03E+00	NH ₃ -N	kg	3.50E-01
28	氯化钠	kg	1.68E+00	SS	kg	9.21E-02
29	磷酸氢钙	kg	1.68E+00	TP	kg	6.05E-02
30	蒸汽	MJ	5.03E-03	TN	kg	5.15E-01
31	种子	kg	8.03E+00	Hg	kg	7.19E-06
32	农膜	kg	6.92E+00	As	kg	2.08E-04
33	脱硫剂	kg	5.11E-01	Pb	kg	2.88E-04
34	外部供电	kW·h	1.22E+01	Cr	kg	1.90E-03
35	有机肥辅料	kg	2.56E+03	Cd	kg	9.58E-06

表 2(续)

序号	输入			输出		
	类别	单位	数值	类别	单位	数值
36	生物菌种	kg	6.86E-02	烟尘	kg	1.92E-03
37	生活垃圾	kg	2.07E+00	粉尘	kg	7.65E-03
38	聚氯乙烯	kg	2.38E+02			
39	EM 制剂	kg	4.55E+00			
40	水	kg	1.43E+05			
41	柴油	kg	1.58E+01			
42	天然气	kg	2.86E+00			

研究作如下假设：(1)如果 Gabi 软件内置数据库中有原辅料、能源和废物数据，优先检索中国本地数据。(2)如果目标材料在数据库中无法获得，则对 effootprint 在线建模系统中 Ecoinvent 3.1 数据库进行筛选，作为本地数据的替代。(3)不考虑养猪业子系统中胎盘、分泌物等固废的后续处理过程。(4)遵循截点规则：忽略了质量小于总材料投入 1% 或环境影响小于 1% 材料的上游生产数据^[20]，例如我们忽略了养猪业子系统中兽药的环境负荷。

1.3 影响评价

本研究利用 Gabi 10.0 软件构建新疆伊犁全新规划生态农业园区产业链 LCA 环境影响模型，并利用软件内置的 CML 2001 评价方法对模型进行特征化和归一化处理，基准值采用 Jan.2016，World，year 2000 中的值。其中，考虑非生物资源消耗潜值元素(ADP element)、非生物资源消耗潜值化石(ADP fossil)、酸化潜值(AP)、富营养化潜值(EP)、淡水水生生态毒性(FAETP inf.)、温室效应潜值(GWP 100 years)、人体毒性潜值(HTP)七个环境影响类型。

2 结果与讨论

2.1 不同情景下主要排放的 LCA 结果

由于数据清单中输出部分显示排放到空气中的类别较多，数量较大，因此单独分析不同情景下主要排放到空气中的 LCA 结果。本研究利用 GaBi 10.0 软件，采用 LCA 方法计算了 8 种不同情景下排放到大气中的主要污染物，包括大气重金属排放、大气无机物排放、大气有机物排放、大气颗粒排放和大气农药排放共 5 类，主要排放的 LCA 结果见表 3。

由于该结果没有可比性，所以不能仅从表 3 中不同类别的数量来判断环境影响。然而，单从数量角度观察，仅考虑不同类别对空气的排放量时，农业产业链并非越长越好。其中，除了大气重金属排放中铜、锌指标，其余指标均是 S 2 的排放值最低。这是由于生态农业园区产业链的延伸过程会投入更多的材料和能源，而这些材料的生产过程以及能源使用过程必然会带来更多的环境排放，这些材料与能源的消耗是不能通过提高循环利用率来抵消的。因此，仅从环境排放的角度来看，农业产业链并不是越长越好。

但这并不意味着不应该发展生态农业园区，或者不考虑将产业链延伸的对策。表 3 中除了总量指标，其余指标 S 2 的排放值均低于 S 1，S 3 的某些指标值如 CO₂、N₂O、SO₂、PM₁₀、PM_{2.5} 等也低于 S 1。因此，产业链延伸到一定程度时，存在通过减少原材料投入而减少的环境排放，可以抵消通过增加原材料投入而增加的环境排放。

因此，如果仅从铜和锌两个指标来看，情景 S3 最优；如果从多数指标来看，存在一个向空气排放的最优情景 S 2。综合考虑，情景 S 2 对环境的影响最小。

表 3 不同情景下主要排放大气污染物的 LCA 结果

Table 3 LCA results of major emitted air pollutants under different scenarios

类别	污染物	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
重金属	总量	2.95E-03	3.22E-04	3.38E-04	4.99E-04	4.99E-04	5.29E-04	6.64E-04	1.04E-03
	铜	4.60E-05	5.11E-06	5.06E-06	7.57E-06	7.57E-06	8.42E-06	1.11E-05	2.77E-05
	铁	1.50E-05	1.19E-05	1.19E-05	1.25E-05	1.25E-05	1.57E-05	2.55E-05	2.62E-05
	铅	2.09E-04	2.36E-05	3.57E-05	4.71E-05	4.71E-05	5.09E-05	6.31E-05	7.76E-05
	锰	1.19E-03	1.16E-04	1.16E-04	1.82E-04	1.82E-04	1.84E-04	2.16E-04	2.19E-04
	镍	1.54E-04	1.71E-05	1.74E-05	2.57E-05	2.58E-05	2.86E-05	3.79E-05	1.76E-04
	锌	2.64E-04	3.17E-05	3.16E-05	4.59E-05	4.59E-05	4.99E-05	6.79E-05	8.95E-05
无机物	总量	1.01E+03	4.21E+02	1.51E+03	1.57E+03	1.58E+03	2.15E+03	2.84E+03	3.96E+03
	CO ₂	1.23E+02	8.07E+01	1.00E+02	1.24E+02	1.24E+02	2.31E+02	2.87E+02	7.37E+02
	氟化物	5.45E-06	1.79E-06	2.13E-06	2.39E-06	2.40E-06	1.16E-05	1.54E-05	1.55E-05
	NO ₂	6.45E-05	5.13E-05	1.51E-04	1.54E-04	1.54E-04	2.42E-02	2.42E-02	2.42E-02
	N ₂ O	5.99E-01	5.98E-01	5.99E-01	5.99E-01	5.99E-01	6.00E-01	2.10E+00	2.11E+00
	SO ₂	1.97E-01	5.75E-02	5.81E-02	6.73E-02	6.74E-02	2.64E-01	3.33E-01	8.76E-01
	有机物	3.16E-01	1.62E-01	1.69E-01	2.16E-01	2.17E-01	4.16E-01	5.92E-01	1.78E+00
颗粒物	总量	1.76E-01	1.79E-01	1.86E-01	2.79E-01	2.79E-01	3.10E-01	3.47E-01	4.95E-01
	PM ₁₀	1.12E-04	8.76E-05	8.77E-05	9.21E-05	2.70E-04	3.70E-04	4.80E-04	7.95E-03
	PM _{2.5}	3.97E-02	6.06E-03	1.34E-02	1.55E-02	1.56E-02	2.13E-02	2.62E-02	4.64E-02
农药	总量	8.62E-08	8.32E-08	8.55E-08	8.76E-08	8.80E-08	4.18E-07	6.76E-07	6.79E-07

2.2 不同情景下环境效应的 LCA 归一化结果

在上述计算基础上,本文计算了 8 种情景下的 7 种环境影响类型,具体结果如图 1 所示。

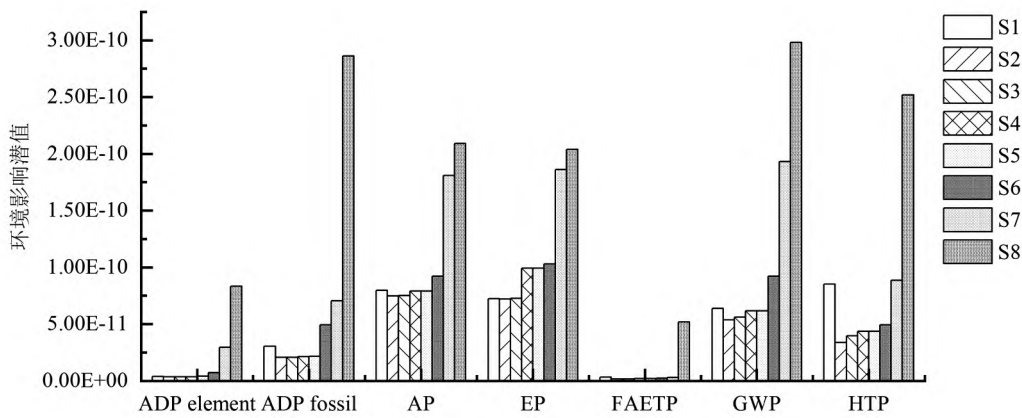


图 1 7 种环境影响类型的环境影响潜值

Fig.1 Environmental impact potential of seven environmental impact types

从资源消耗和物质消耗来看,对于 ADP element 指标,S2—S8 环境影响潜值较 S1 分别变化了 -2.37%、-2.11%、-1.58%、11.35%、94.99%、678.36% 和 2100.53%;对于 ADP fossil 指标,

S2—S8环境影响潜值较 S1 分别变化了 -32.24%、-32.24%、-29.61%、-29.28%、62.50%、131.58%和 840.79%。与 S1 相比,S2 中 ADP element 和 ADP fossil 的指标有所下降,这是因为苹果种植子系统废枝、废叶和烂果直接作为原材料投入到厌氧发酵子系统中;另一方面,经厌氧发酵子系统沼气发电过程抵消了苹果种植子系统部分能源投入,导致这两个指标的值与 S1 相比有所降低。此外,S7—S8 各项指标对于 S1 的变化程度比 S5 和 S6 更为显著,主要原因是随着生态农业园区产业链的延伸,原材料的使用量逐渐增加。但考虑到子系统产生的废物可作为另一个子系统生产的原材料,并且厌氧发酵子系统会进行沼气发电,能抵消一部分能源投入。综合考虑,生态农业园区产业链越长,资源和物质的利用率越高。

从对大气和水资源的影响来看,图 1 中,除了 S2—S5 的 GWP 指标外,其他指标与 S1 相比都有所提高。说明除 S2—S5,其他情景的气体排放都远高于单一苹果种植的排放。其中,S2—S5 与 S1 相比,GWP 均有所减少,其原因是经厌氧发酵中沼气发电会用于其他子系统能源的投入,剩余电力产生的效益足以抵消厌氧发酵子系统中自身所需的外部供电造成的温室效应。除此之外,考虑不同情景下的资源和物质消耗时,虽然情景 S6—S8 可以提高资源利用率,但无法减少温室气体排放。这是因为,随着生态农业园区产业链的延伸,相应投入会增加;同时,增加子系统会消耗更多的电力,产生的效益更少,抵消量也相应减少。因此,单纯考虑对大气和水资源的影响,生态农业园区产业链越长越不好,情景 S2 最优。

从毒性效应的角度来看,FAETP 和 HTP 在所有情境中 S2 均为最小值,分别为 $1.81\text{E}-12$ 和 $3.40\text{E}-11$,这说明无论是考虑淡水水生生态毒性还是人体毒性潜值,S2 的毒性作用最小。此外,从图 1 中可以看到,S2—S6 的相关指标值远低于 S7 和 S8,这说明如果只考虑生态农业园区产业链带来的毒性效应,产业链越长越不好,情景 S2 最优。

2.3 LCA 贡献效应

为了进一步解释结果并检验不同情景的贡献,本文对 8 种情景中 7 个指标的相对贡献进行了分析,结果如图 2 所示。从图 2 中的 S1—S8 可以看出,情景 S2 在所有环境影响类型中占比最小,这也再次证明了 S2 在对大气和水资源的影响以及毒性效应角度都是最优的。另外,从图 2 可以看出,不同的判断标准,评价结果也不尽相同。以 S3 为例,在 ADP element、ADP fossil、AP、EP、FAETP、GWP 这 6 个指标中和 S2 占比相同,但比 S2 包含子系统更多;与 S1 相比,S3 相对贡献占比更小且产业链更长,所以从这几个指标考虑情景 S3 更占有优势。

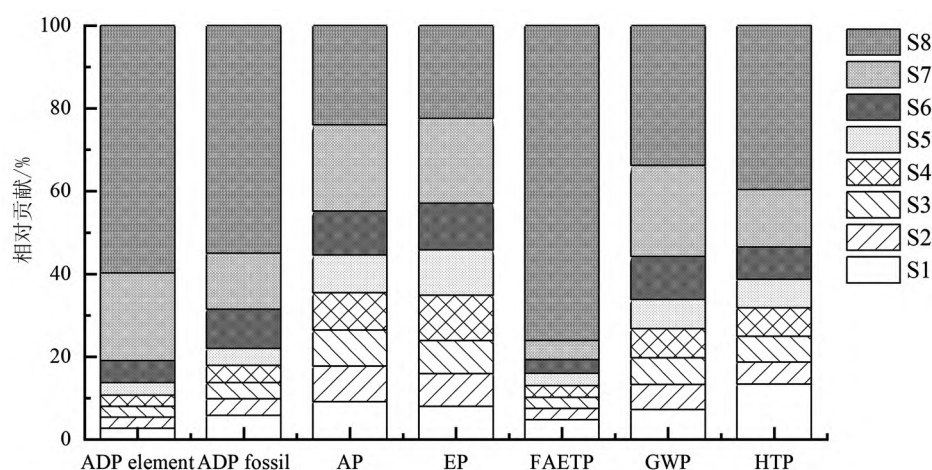


图2 不同情景下7种环境影响类型的LCA贡献效应

Fig.2 LCA contribution effects of seven environmental impact types under different scenarios

除此之外,从图 2 的每一个环境影响类型分别进行分析,由于添加子系统并未造成更多的环境影响,所以认为在贡献效应占比一致的情况下,生态农业园区产业链越长越优。因此,对于 ADP ele-

ment 指标, S1—S5 占比均为 3%, S5 最优; 对于 ADP fossil 指标, S2—S5 占比均为 4%, S5 最优; 对于 AP 指标, S1—S5 占比均为 9%, S5 最优; 对于 EP 指标, S1—S3 占比均为 8%, S3 最优; 对于 FAETP 指标, S2—S6 占比均为 3%, S6 最优; 对于 GWP 指标, S2—S3 占比均为 6%, S3 最优; 对于 HTP 指标, S2 占比最低, 为 5%, S2 最优。综合来看, 并非产业链越长, 环境影响就越大, 分析各种情景在不同指标中的贡献, 可以得出不同的结论。

3 结论

本论文根据新疆伊犁全新规划生态农业园区产业链构建了 8 种情景, 并利用生命周期评价法对环境影响进行量化和对比, 不同角度下最优情景是不同的, 具体结论如下: (1) 不同情境下主要污染物排放 LCA 结果表明, 从对空气主要排放的角度综合考虑, 情景 S2 的环境负荷最小。(2) 归一化结果表明, 从资源消耗和物质消耗来看, 由于子系统的废弃物可作为原材料投入到其他子系统中, 并且经厌氧发酵子系统沼气发电过程能抵消子系统一部分能源投入, 所以认为生态农业园区产业链越长, 资源和物质的利用率越高。(3) 从对大气和水资源的影响来看, S2—S5 与 S1 相比 GWP 均有所减少, 原因是经厌氧发酵子系统中沼气发电会用于其他子系统能源的投入, 剩余电力产生的效益足以抵消厌氧发酵子系统中自身所需的外部供电造成的温室效应。此外, 在情景 S8 中, 电力产生的效益十分少, 抵消量相应减少, 甚至不足以抵消。所以如果单纯考虑对大气和水资源的影响, 生态农业园区产业链越长越不好, 情景 S2 最优。(4) 从毒性效应的角度来看, FAETP 和 HTP 在所有情景中 S2 均为最小值, 毒性作用最小。此外, S2—S6 的相关指标远低于 S7 和 S8, 这说明如果只考虑毒性效应, 生态农业园区产业链越长越不好, 情景 S2 最优。(5) 根据 LCA 贡献效应, S2 在所有环境影响类型中所占比例最小, 是最优的情景。若对每一种环境影响类型单独分析, ADP element、ADP fossil 和 AP 中 S5 最优, EP 和 GWP 中 S3 最优, FAETP 中 S6 最优, HTP 中 S2 最优。因此, 对于不同指标, 最优情景是不同的。

参考文献:

- [1] 孙永明, 李国学, 张夫道, 等. 中国农业废弃物资源化现状与发展战略[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 169-173.
- [2] 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 中华人民共和国农业部. 全国农村沼气发展“十三五”规划[EB/OL]. (2017-01-25)[2022-11-30], http://www.gov.cn/xinwen/2017-02/10/content_5167076.htm.
- [3] 管冬兴, 邱诚. 农村生活垃圾问题现状及对策探讨[J]. 中国资源综合利用, 2008, 26(8): 29-31.
- [4] 汪芳久. 城镇化背景下的转型社区治理研究: 以苏州工业园区为例[D]. 苏州: 苏州大学, 2021.
- [5] THEROND O, DURU M, ROGER-ESTRADE J, et al. A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities. A review[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2017, 37(3): 21.
- [6] 孔令聪, 胡永年, 王光宇, 等. 安徽省循环农业模式研究[J]. 中国农业资源与区划, 2008, 29(4): 65-69.
- [7] 于康震. 于康震: “种养加一体化”是现代畜牧业的发展方向[J]. 中国乳业, 2015(7): 75.
- [8] 高雪松, 邓良基, 张世熔, 等. 成都平原典型秸秆循环利用模式的生命周期评价[J]. 土壤, 2016, 48(2): 395-400.
- [9] 中华人民共和国国务院. 国务院关于促进乡村产业振兴的指导意见[EB/OL]. (2019-06-17)[2022-11-30], http://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5407659.htm.
- [10] ISO. *Environmental management-life cycle assessment-principles and framework*; ISO 14040:2006 (E)[S]. Geneva, Switzerland: ISO, 2006.
- [11] CHERUBINI F, BARGIGLI S, ULGIATI S. Life cycle assessment of urban waste management: Energy performances and environmental impacts. The case of Rome, Italy[J]. *Waste Management*, 2008, 28(12): 2552-2564.
- [12] VERONES F, MORAN D, STADLER K, et al. Resource footprints and their ecosystem consequences[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 40743.
- [13] YACOUT D M M, SOLIMAN N F, YACOUT M M. Comparative life cycle assessment (LCA) of Tilapia in two production systems: semi-intensive and intensive[J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2016, 21(6): 806-819.

- [14] PICCINNO F, HISCHIER R, SEEGER S, et al. From laboratory to industrial scale: A scale-up framework for chemical processes in life cycle assessment studies[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, **135**:1085-1097.
- [15] 沈园, 王海候, 陶玥玥, 等. 基于生命周期评价的现代“草-羊-田”农牧循环系统调控[J]. *农业工程学报*, 2021, **37**(24):266-274.
- [16] 崔文超, 焦雯璐, 闵庆文, 等. 基于碳足迹的传统农业系统环境影响评价: 以青田稻鱼共生系统为例[J]. *生态学报*, 2020, **40**(13):4362-4370.
- [17] GOGGIO P, SMITH W N, GRANT B B, et al. Accounting for soil carbon changes in agricultural life cycle assessment (LCA): A review[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015, **104**:23-39.
- [18] FOTEINIS S, CHATZISYMEON E. Life cycle assessment of organic versus conventional agriculture: A case study of lettuce cultivation in Greece[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, **112**:2462-2471.
- [19] WERNET G, BAUER C, STEUBING B, et al. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology[J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2016, **21**(9):1218-1230.
- [20] ISO. *Environmental management-life cycle assessment-requirements and guidelines*: ISO 14044:2006 (E)[S]. Geneva, Switzerland: ISO, 2006.

(责任编辑 于瑞宏)

Study on Life Cycle Assessment of the Industrial Chain of the Newly Planned Eco-agricultural Park in Ili, Xinjiang

XU Yurong¹, SHAO Shuai^{1,2}, ZHANG Yun¹,
GAO Qiufeng¹, XU Xiaochen¹, JIN Wenyao³

(1. *Key Laboratory of Industrial Ecology and Environmental Engineering (MOE), School of Environmental Science and Technology, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China*;
2. *Key Laboratory of Ocean Energy Utilization and Energy Conservation of Ministry of Education, School of Energy and Power Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China*;
3. *College of Environmental and Chemical Engineering, Dalian University, Dalian 116622, China*)

Abstract: Developing ecological agricultural parks is helpful to reduce agricultural waste and realize sustainable agricultural development. At present, the government emphasizes multi-level utilization of agricultural waste to extend, reinforce, strengthen and optimize the chain as far as possible. However, it is worth considering whether these strategies are environmentally friendly. To solve the above problem, the industrial chain of the newly planned eco-agricultural park in Ili, Xinjiang is taken as an example to construct eight scenarios and discuss the environmental load of each scenario from the perspective of environment using the life cycle assessment (LCA) method. The results show that the extension of industrial chain can improve the utilization rate of resources and materials from the perspective of resource consumption and material consumption. However, the extension of the industrial chain has not brought environmental benefits when considering its impact on the atmosphere and water resources and toxic effects. In addition, according to the contribution effect of LCA, the optimal scenario is different under different indexes. This study can provide reference and guidance for eco-agricultural parks to design new industrial chain from the perspective of life cycle.

Key words: newly planned industrial chain; industrial ecology; life cycle assessment; environmental impact; extension of industry chain