

基于 LCA 的稻蟹共作模式碳足迹评价

李丽丽 李莉

(新疆农业大学公共管理学院 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要:为探明稻蟹共作模式碳足迹大小及其构成特征,利用生命周期评价法计算分析了盘锦市稻蟹共作模式与传统水稻单作模式碳足迹。结果表明,稻蟹共作模式单位面积碳足迹为 11 397.92 kg CO₂-eq/hm²、单位产量碳足迹为 3.84 kgCO₂-eq/kg、单位产值碳足迹为 0.92 kgCO₂-eq/元;水稻单作模式单位面积碳足迹为 13 378.02 kgCO₂-eq/hm²、单位产量碳足迹为 8.61 kgCO₂-eq/kg、单位产值碳足迹为 12.30 kgCO₂-eq/元。对于稻蟹共作和水稻单作模式来说,直接碳排放中的 CH₄ 排放是碳足迹的主要贡献因素,间接碳排放中化肥和饲料的投入影响较大。因此,通过采取减少农资物品投入、缩短淹田时间、加强技术培训等方式可减少碳足迹,促进稻蟹共作模式低碳、绿色发展。

关键词:碳足迹;稻蟹共作模式;温室气体排放;生命周期评价

由温室气体排放引起的全球变暖已成为当今全球性的环境问题。农业生产是人类活动中重要的温室气体排放源,其温室气体排放占人为排放的 12%。联合国粮食与农业组织(FAO)指出,过去 30 年全球农业和粮食生产产生的温室气体排放量增加了 17%。因此,发展以减缓温室气体排放为目标的低碳农业是适应气候变化、实现农业可持续发展的必然选择^[1]。

稻田综合种养是一种利用稻田的水环境进行虾、鱼、鸭等多种综合养殖的良性循环模式,可大幅度提高稻田综合利用率。目前对稻田综合种养的研究主要集中在稻鸭、稻鱼及稻虾等共生系统,研究区域主要以南方地区为主,研究层面多从宏观、中观角度进行思考。王毅勇等对三江平原地区水稻生产的碳足迹进行了评价^[2]。季国军等基于省级尺度,分析了江苏不同水稻种植方式碳足迹^[3]。部分学者对稻田养鱼、稻麦轮作、稻虾共作等系统碳足迹也进行了研究^[4-8]。稻蟹共作模式占比达到我国稻田综合种养面积的 5.94%,针对该模式的研究目前主要集中在种养技术方面,地区多以南方为主,有关北方地区稻蟹共作模式对温室气体排放的影响研究相比较少^[9]。因此,本文作者以我国北方稻蟹综合种养基地盘锦市作为研究区域,采用生命周期评价法,对稻蟹共作与

水稻单作模式碳足迹大小及构成差异进行对比分析,以为促进盘锦市稻蟹共作模式低碳、可持续发展提供科学依据与理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

盘锦市位于辽宁省西南部,总面积 4 084 km²,境内河流众多,湿地、鱼、虾、蟹等资源丰富。自 1991 年开始探索稻蟹共作模式,2022 年稻蟹共作规模达到 61 333.33 hm²,已发展成为全国最大的稻蟹综合种养基地。

1.2 数据来源

本研究数据来源于 2023 年 3 月对盘锦市农户的调研所得。调查对象为采取稻蟹共作模式和水稻单作模式的农户,共回收有效问卷 117 份,其中稻蟹共作 76 份,水稻单作 41 份。调研内容主要包括稻蟹共作和水稻单作种(养)面积、物料投入、产品收益。其中,物料投入分为 4 大类:农药(除草剂、灭菌剂、杀虫剂)、化肥(复合肥、尿素)、燃料(柴油)、饲料(商品饲料、玉米),产品收益包括产量、价格等。具体单位面积物料投入见表 1。

1.3 研究边界

本研究边界为 2 种植模式从播种到收获整个

作者简介:李丽丽(1999-),女,在读硕士,从事农村资源与环境管理方面工作。E-mail:867832650@qq.com

通讯作者:李莉(1973-),女,博士,副教授,从事资源经济与管理、环境公共政策研究。

表 1 不同种植模式单位面积物料投入(单位:kg/hm²)

项目	投入品	稻蟹共作	水稻单作
化肥	复合肥	738.89±93.16	1 080.04±1 289.04
	尿素	28.01±48.62	104.01±64.91
农药	除草剂	0.10±0.06	0.14±0.02
	灭菌剂	0.05±0.04	0.04±0.05
	杀虫剂	0.10±0.08	0.15±0.21
饲料	商品饲料	361.00±490.01	-
	玉米	152.35±143.2	-
燃料	柴油	126.01±6.65	125.94±0.01

生育期内 CH₄ 和 N₂O 直接温室气体,以及化肥、农药、饲料等农资物料投入的间接温室气体排放。农资物料投入产品的温室气体排放量主要参考了中国生命周期数据库 CLCD v0.8、Ecoinvent 2.2 数据库和相关学者的研究成果,具体排放因子选取见表 2。

表 2 农资物料投入产品碳排放系数(单位:kgCO₂-eq/kg)

项目	投入品	碳排放系数	数据来源
化肥	复合肥	0.958	CLCD v0.8
	尿素	3.27	CLCD v0.8
农药	除草剂	10.15	Ecoinvent 2.2
	灭菌剂	10.57	Ecoinvent 2.2
	杀虫剂	10.57	Ecoinvent 2.2
饲料	商品饲料	0.864	Ecoinvent 2.2
	玉米	0.21	余玮等 ^[10]
燃料	柴油	0.37	CLCD v0.8
CH ₄ 排放量	CH ₄	28	IPCC
N ₂ O 排放量	N ₂ O	265	IPCC

1.4 碳足迹计算

(1)间接温室气体排放计算公式:

$$CF = \sum_{i=1}^n Q_i \times m_i$$

式中, n 表示化肥、农药、饲料等农资用品, Q_i 表示投入量(kg/hm²), m_i 表示温室气体排放因子(kg-CO₂-eq/kg)。

(2)直接温室气体排放计算公式:

$$CF_m = CF_{N_2O} \times 265 + CF_{CH_4} \times 28$$

式中, CF_{N_2O} 表示稻田 N₂O 的二氧化碳排放当量(kgCO₂-eq/hm²), CF_{CH_4} 表示稻田 CH₄ 的二氧化碳排放当量(kgCO₂-eq/hm²)。28 和 265 为 100 年尺度 CH₄ 和 N₂O 的全球增温潜势(以 CO₂-eq 计)。本研究

中的 CH₄ 排放量参考张怡彬等在辽宁省盘锦市大洼区开展的微区试验,取值分别为 359.36 kg/hm² 和 415.31 kg/hm²。

本研究仅考虑了由于施肥造成的 N₂O 排放。N₂O 排放量的计算公式:

$$CF_{N_2O} = N \times a \times (44/28) \times 265$$

式中, N 表示施用化肥中氮肥折纯量(kgN/hm²), a 为氮肥折纯量引起的 N₂O 排放因子,取值为 0.003 kg N₂O-N/kgN^[11]。

(3)碳足迹计算公式:

$$CFA = CF + CF_m$$

式中, CF 为间接温室气体排放量(kgCO₂-eq/hm²), CF_m 为直接温室气体排放量(kgCO₂-eq/hm²)。

单位产量碳足迹计算公式:

$$CFB = \frac{CFA}{S}$$

单位产值碳足迹计算公式:

$$CFC = \frac{CFA}{P}$$

式中, S 表示单位面积产量(kg/hm²), P 表示单位面积产值(元/hm²)。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式单位面积碳足迹分析

根据计算,稻蟹共作模式碳足迹显著低于水稻单作模式。稻蟹共作和水稻单作两种模式单位面积碳足迹分别为 11 397.92 kgCO₂-eq/hm² 和 13 378.02 kgCO₂-eq/hm²。其中,稻蟹共作模式间接碳排放量为 1 192.6 kgCO₂-eq/hm²,占总排放量的 10%,直接碳排放量为 10 205.32 kgCO₂-eq/hm²。水稻单作模式间接碳排放量为 1 424.82 kgCO₂-eq/hm²,占总排放量的 11%,直接碳排放量为 11 953.2 kgCO₂-eq/hm²。单位面积碳足迹见表 3。

2.2 不同种植模式单位面积产量及产值碳足迹分析

2022 年盘锦市稻谷市场价格为 0.7 元/kg,稻田蟹价格为 35 元/kg,经计算,稻蟹共作和水稻单作模式的单位产量碳足迹分别为 3.84 kgCO₂-eq/kg 和 8.61 kgCO₂-eq/kg,前者比后者显著降低 45%。稻蟹共作和水稻单作模式的单位产值碳足迹分别为 0.92 kgCO₂-eq/元和 12.300.92 kgCO₂-eq/元,前者比后者显著降低 75%。不同种植模式单位产量及产值碳足迹见表 4。

2.3 主要环节碳排放量对碳足迹的贡献

从 2 种模式的单位面积碳足迹构成来看,稻蟹

表 3 不同种植模式单位面积碳足迹(单位:kgCO₂-eq/hm²)

项目	投入品	稻蟹共作	水稻单作
间接碳排放	复合肥	707.86	1 034.68
	尿素	91.59	340.11
	除草剂	1.02	1.42
	灭菌剂	0.53	0.42
	杀虫剂	1.06	1.59
	商品饲料	311.9	-
	玉米	32.00	-
	柴油	46.62	46.60
	小计	1 192.6	1 424.82
	直接碳排放	CH ₄	10 062.08
N ₂ O		143.24	324.52
小计		10 205.32	11 953.2
单位面积碳足迹		11 397.92	13 378.02

表 4 不同种植模式单位产量及产值碳足迹

项目	稻蟹共作	水稻单作
水稻(kg/hm ²)	2 674.76	1 553.39
螃蟹(kg/hm ²)	300.32	-
单位产量(kg/hm ²)	2 975.08	1 553.39
单位产值(元/hm ²)	12 383.53	10 87.373
单位产量碳足迹(kgCO ₂ -eq/kg)	3.84	8.61
单位产值碳足迹(kgCO ₂ -eq/元)	0.92	12.30

共作模式田间直接碳排放的影响较大,占总碳足迹贡献的88%,其中CH₄为最大排放源。间接碳排放中,饲料和复合肥的贡献比较显著,分别为3%和8%。水稻单作模式也体现出相似的规律,其中直接碳排放占主导地位,CH₄的贡献为87%。间接碳排放过程中,尿素和复合肥影响比较显著,其他农资投入(如杀虫剂、柴油等)贡献相对较小,不同种植模式碳足迹构成比例见图1。

3 讨论与结论

3.1 讨论

本文作者使用生命周期评价法对盘锦市稻蟹共作和水稻单作模式的碳足迹进行评估,其单位面积碳足迹分别为11 397.92 kgCO₂-eq/hm²和13 378.02 kgCO₂-eq/hm²;单位产量碳足迹分别为3.84 kgCO₂-eq/kg和8.61 kgCO₂-eq/kg;单位产值碳足迹分别为0.92 kgCO₂-eq/元和12.30 kgCO₂-eq/元。

相对于水稻单作模式,稻蟹共作模式具有更高

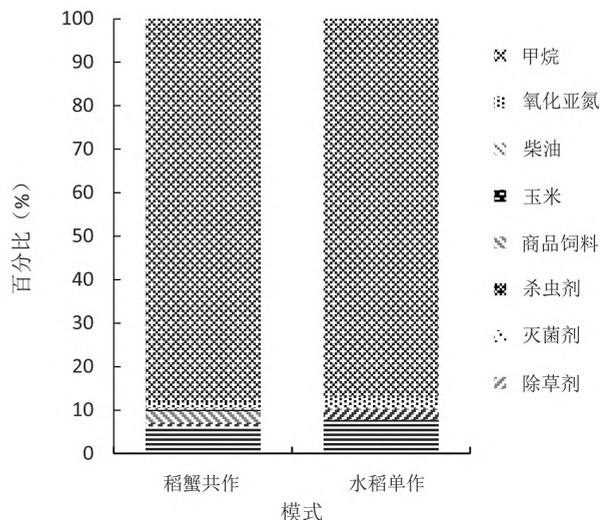


图 1 不同种植模式碳足迹构成比例

的经济、生态和社会效益,但仍存在化肥和饲料投入量较大、土地规模化程度较低、种植方式滞后、政策扶持力度小等问题。因此,建议盘锦市应加大力度推动规模化经营、加强技术培训、完善土地流转政策、减少农资物品投入量等,从而促进盘锦市稻蟹共作模式低碳绿色发展。

3.2 结论

不同生产模式由于土地利用方式和物料投入差异必然会影响碳足迹大小。前人对不同稻田共作模式研究表明,稻田CH₄排放量的差异直接影响碳足迹大小。稻鱼共作单位面积碳足迹较低,主要原因为CH₄排放量较低。稻虾共作单位面积碳足迹的差异范围较大,其原因为稻田灌溉方式的不同导致CH₄排放量存在差异。本研究的稻蟹共作灌溉方式以淹田为主,因此碳足迹评价结果与稻虾共作相近。不同水稻共作模式碳足迹结果对比见表5。

表 5 不同水稻共作模式碳足迹结果对比

地区	模式	碳足迹	文献
江苏省、湖北省	稻虾共作	7 859 kgCO ₂ -eq/hm ²	[6]
长江中下游	稻麦共作	7 728.8 kgCO ₂ -eq/hm ²	[7]
浙江青田县	稻鱼共作	6 266.7 kgCO ₂ -eq/hm ²	[8]
江苏省	稻虾共作	13 140.0 kgCO ₂ -eq/hm ²	[9]

对于稻蟹共作模式来讲,稻田CH₄排放为最大排放源,未来可通过采取减少淹田时间、使用CH₄抑制剂等方式减少排放量。此外,化肥、农药、饲料等农资产品投入量也应引起重视,未来应采取加强施肥技术培训、优化饲养工艺、减少投入量等方式促进稻蟹共作模式低碳绿色发展。(下转88页)

表4 不同马铃薯品种的产量结果

品种	取样株数(株)	取样面积(m ²)	大薯(个)	总数(个)	商品率(%)	亩产量(kg)	位次
宁薯19号	118	24	530	812	90	2 335	9
青薯9号	118	24	402	603	80	1 527	16
云薯108	119	24	268	448	80	1 277	18
临薯18号	118	24	533	840	82	3 154	1
冀张薯12号	116	24	534	784	80	2 110	12
希森6号	119	24	409	652	79	1 083	20
陇薯17号	116	24	348	398	74	1 194	19
天薯11号	113	24	388	760	68	1 860	13
陇薯10号	109	24	430	557	96	2 533	8
陇薯16号	103	24	302	390	97	2 256	10
天薯13号	120	24	528	1 240	68	1 833	14
陇薯12号	120	24	950	1 162	96	3 084	2
定薯4号	118	24	482	758	93	2 981	4
陇薯14号	118	24	764	1 170	90	2 783	7
中薯28号	120	24	560	671	91	2 952	5
中薯24号	118	24	682	972	92	3 021	3
中薯19号	113	24	431	581	83	2 216	11
中薯5号	108	24	260	393	81	1 081	21
陇薯15号	113	24	422	811	81	1 477	17
陇薯7号	120	24	780	1 051	94	2 928	6
定薯3号	120	24	681	951	90	1 767	15

[3]李志芹,李周,凌成琼,等.昭通市马铃薯新品种(系)比较试验[J].云南农业科技,2019(5):54-56.

[4]高青青,方玉川,汪奎,等.陕西榆林市马铃薯优良品种引进比较试验[J].安徽农业科学,2019,47(17):52-54.

[5]骆华涛,楼珍彦.义乌市马铃薯品种比较试验[J].现代农业科技,2019(16):87.

[6]陈志.马铃薯新品种对比试验初报[J].江西农业学报,2010(6):35-36.

(上接 83 页)

参考文献

[1]赵俊杰,刘家铮,夏冰,等.低碳农业途径及实践探究[J].生态经济,2014,30(8):69-74.

[2]王毅勇,于冰,田有,等.三江平原水稻生产的碳足迹评价[J].土壤与作物,2023,12(1):10-17.

[3]季国军,纪洪亭,程琨,等.江苏水稻种植方式碳足迹和经济效益综合评价[J/OL].(2023-4-24).https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=7P_nOixU6lX-CHHMkZ25xZtflu2KPz_-e9DUFCR49oLKInhKYP4FyVm70lMcFZyiPQsX2J0b00wUAPZDfSW85gbB6O_dvRNxn5buj_FjYOin5lBitQSbQUqJeZlScUEFSK an9y72NLQ=&uniplatform=NZKPT&language=CHS.

[4]陈慧娜,王忍,黄璜,等.不同稻田生态种养模式对双季稻产量和CH₄排放规律的影响[J].江苏农业科学,2023,51(2):242-246.

[5]刘金根,杨通,冯金飞.稻—虾(克氏原螯虾)综合种养模式的碳足迹分析[J].生态与农村环境学报,2021,37(8):1041-1049.

[6]陈中督,徐春春,纪龙,等.长江中游地区稻麦生产系统碳足迹及氮足迹综合评价[J].植物营养与肥料学报,2019,25(7):1125-1133.

[7]崔文超,焦雯珺,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.

[8]蒋榕,徐强,李京咏,等.稻虾共作模式碳足迹评价的敏感性和不确定性分析[J].中国生态农业学报(中英文),2022,30(10):1577-1587.

[9]张怡彬,徐洋,王洪媛,等.稻蟹共生系统温室气体排放特征及其影响因素[J].农业资源与环境学报,2022,39(5):931-939.

[10]余玮,黄璜,官春云,等.我国主要农作物生产碳汇结构现状与优化途径[J].中国工程科学,2016,18(1):114-122.

[11]崔文超,焦雯珺,闵庆文,等.土地流转背景下不同经营规模青田稻鱼共生系统的环境影响差异——基于碳足迹的实证研究[J].应用生态学报,2020,31(12):4125-4133.