

王光宇,朱丽君,张 扬. 安徽省沿江平原双季稻 3 种栽培体系碳足迹[J]. 江苏农业科学,2021,49(3):91-95.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.03.015

安徽省沿江平原双季稻 3 种栽培体系碳足迹

王光宇,朱丽君,张 扬

(安徽省农业科学院农业经济与信息研究所,安徽合肥 230031)

摘要:基于安徽省沿江平原粮食丰产科技工程示范区农户调研数据,运用农业碳足迹理论及方法,分析课题研究集成的 2 种双季稻栽培体系创新模式与当地传统对照模式的碳足迹。结果表明,创新模式 1 单位面积碳足迹(早+晚双机播)为 2 376.32 kg(CO₂-eq)/hm²,创新模式 2(早+晚双抛)为 2 505.58 kg(CO₂-eq)/hm²,对照模式(早直播+晚抛)为 3 398.29 kg(CO₂-eq)/hm²;3 种模式内晚稻单位面积碳足迹高于早稻,化肥和电力对总单位面积碳足迹贡献排前位,农药对单位面积碳足迹贡献最小;在单位面积产量碳足迹方面,2 种创新模式低于对照模式,创新模式 1(早+晚双机播)单位产量碳足迹为 201.26 × 10⁻³ kg(CO₂-eq)/kg,创新模式 2(早+晚双抛)单位产量碳足迹为 211.90 × 10⁻³ kg(CO₂-eq)/kg,对照模式(早直播+晚抛)单位产量碳足迹为 317.22 × 10⁻³ kg(CO₂-eq)/kg。

关键词:碳足迹;双季稻;温室气体;安徽省;沿江平原;栽培体系

中图分类号:F323.3;S511.04

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2021)03-0091-04

温室气体包括二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)等,它们的排放会引起气候变化。如何减少温室气体的排放是科学家研究的方向,也是政府关注的热点。农业生产是重要温室气体排放源之一^[1],生产过程的排放量、影响农业生产排放的因素,一直是农业科研者探究的方向,定量评价和测算各因素排放量,对减缓温室气体的排放具有非常重要的理论和现实意义。碳足迹(carbon footprint,简称 CF)是指某项活动或某产品的生命阶段直接和间接的温室气体排放总量^[2]。农业碳足迹能够系统地评价耕作、施肥和收获等农业生产活动中,由人为因素引起直接和间接的碳排放总量,定量测算农业生产活动对温室效应的影响^[3]。发展低碳农业,在农业领域推行温室气体减排成为现阶段应对气候变化的重要措施^[4]。定量研究作物生产碳足迹,可为发展低碳绿色农业提供参考^[5]。

安徽省沿江双季稻区是我国适宜双季稻种植的北缘地区,也是长江中下游双季稻主产区之一^[6]。近年来安徽省沿江双季稻面积有所下降,每

年至少有 10 万 hm² 播种面积,对安徽省粮食总产量发挥重要的作用。近 10 年来,沿江双季稻栽插基本摆脱过去人工栽插的方式,转为以机插、直播、抛栽方式为栽培主体方式,形成了多种组合的栽培体系,促使栽培体系逐步完善。2019 年 7、11 月,本研究团队 2 次深入沿江平原的庐江县和无为市(县级市),调查粮食丰产工程项目示范区约 900 hm²,重点围绕双季稻连作模式开展生产资料投入调查,运用国际通行的生命周期法(life cycle assessment,简称 LCA)定量测算作物生产对温室效应的影响,旨在为探讨低碳农业模式提供理论依据。

1 材料与方法

本研究以“十三五”国家重点研发计划“安徽粮食多元种植规模化丰产增效技术集成与示范”在沿江平原集成的创新模式为研究对象,对照传统模式,基于实地调研的农户生产数据,利用农业碳足迹理论及研究方法,参考前人相关研究的碳排放参数,分析模式碳足迹。

1.1 碳足迹界定

以早稻播种至晚稻收获的一个完整生命周期为研究时限,采用生命周期评价方法,分别计算早稻和晚稻各自生产过程的碳足迹,从而得到双季稻的碳足迹。理论上,生命周期法计算碳足迹应包括直接碳排放,即稻田生态系统直接排放的温室气

收稿日期:2020-06-15

基金项目:国家重点研发计划(编号:2018YFD0300907);安徽省农业科学院科研团队项目(编号:2020YL090)。

作者简介:王光宇(1965—),男,安徽庐江人,硕士,研究员,从事农业技术经济与农业可持续发展研究。E-mail:1196405766@qq.com。

体,主要为 CH₄、N₂O、CO₂;农资投入及耗能引起的间接碳排放,即水稻生产投入的化肥、种子、农药、电力、农膜在生产、加工及运输过程造成碳的排放,以及生产中各环节农事操作造成的能源消耗(耕作、植保、收获、灌溉消耗柴油)造成的碳排放。但有实证研究报道,水稻生长过程中光合作用所固定的 CO₂ 要大于呼吸作用产生的 CO₂,在水稻生育期内 CO₂ 净排放通量为负值,因此 CO₂ 一般不列入稻田温室气体排放清单中予以计算^[7]。另据《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》,稻田产生的 CH₄ 排放影响条件有土壤类型、复种作物、水稻品种、灌水方式。考虑本研究只比较创新模式与对照模式碳足迹,模式间产生 CH₄ 条件基本一致,所以 CH₄ 排放也不列入本研究中。至于 N₂O,考虑受监测精度和可靠数据获取限制,本论文也不作研究。综上,大田温室气体(CH₄、N₂O、和 CO₂)直接排放本研究不作计算。所以,本研究只考虑间接排放,即农田生产投入(如化肥、农药、灌溉、用电等)碳足迹。

1.2 数据来源

除参数参照相关文献外,其他数据来源于实际农户生产调查,调查内容包括生产资料或耗能。生产资料中氮肥、磷肥、钾肥折成纯氮、五氧化二磷、氧化钾,农药折成有效成分,但杀虫剂、杀菌剂、除草剂调查户无法区分,经与植保专家座谈,认为当年除草剂占农药的 20%,杀虫剂、杀菌剂各占 40%;耗能(电力)调查时只得到投入金额(人民币数量),笔者将人民币的投入数按当年的《物价年鉴》灌溉用电 0.5 元/(kW·h)转化为电力的投入量(kW·h)。

1.3 碳足迹计算方法及参数设定

间接碳排放主要指农田生产投入(如化肥、农药、灌溉用电等)和农机耗能导致的碳排放,并将其转化为 CO₂ 当量(CO₂ - eq)。其单位面积计算公式为

$$CF = \sum_i^n Cost_i \times EF_i。$$

式中:*i* 指某一种作物在生产过程中投入的化肥、种子、农药、电力、柴油等农资产品;*Cost_i* 指某种农资产品的投入量(kg/hm² 或 kW·h/hm²);*EF_i* 指某种农资产品排放因子。本研究排放因子间接从中国本土化生命周期数据库(chinese life cycle database,简称 CLCD)中获取(表 1)。CLCD 是国内目前唯一可公开获得的中国本土生命周期评价基础数据库,其数据代表我国生产技术及市场平均水平^[8]。

表 1 碳足迹计算中农资投入品的排放因子

农资投入品	排放因子
化肥	氮肥(N):1.53 kg(CO ₂ - eq)/kg;磷肥(P ₂ O ₅):1.63 kg(CO ₂ - eq)/kg;钾肥(K ₂ O):0.66 kg(CO ₂ - eq)/kg
种子	0.58 kg(CO ₂ - eq)/kg
农药	杀虫剂:16.60 kg(CO ₂ - eq)/kg、杀菌剂:10.60 kg(CO ₂ - eq)/kg;除草剂:10.20 kg(CO ₂ - eq)/kg
电力	1.23 kg(CO ₂ - eq)/(kW·h)
柴油	0.89 kg(CO ₂ - eq)/kg
农膜	22.70 kg(CO ₂ - eq)/kg

2 结果与分析

2.1 单位面积碳足迹

2.1.1 模式间碳足迹 本研究调查的模式有 3 种,2 种为国家重点研发计划项目“安徽粮食多元种植规模化丰产增效技术集成与示范”在示范区集成的创新模式,1 种为当地常年的对照模式。3 种模式的技术要点本研究不作叙述。“早稻机插 + 晚稻机插”双季稻周年绿色丰产增效技术集成模式[以下简称创新模式 1(早 + 晚双机播)],调查主体为规模经营户,包括农业企业、种植合作社、家庭农场,总共经营主体 30 户,最小种植规模为 5.44 hm²,最大为 66.67 hm²,总种植面积为 533.73 hm²。创新模式 2 为“早稻抛栽 + 晚稻抛栽”双季稻周年绿色丰产增效技术集成模式[以下简称创新模式 2(早 + 晚双抛)],调查了 20 户,调查面积为 56 hm²。对照模式为“早稻直播 + 晚稻抛栽”周年轻简化栽培技术集成模式[以下简称对照模式(早直播 + 晚抛)],总调查 30 户,总面积为 290 hm²。调查内容有生产资料投入,包括种子、农药、化肥、灌溉用水耗电、不同生产阶段机械耗油、单位面积产量,按碳足迹计算公式分别计算早稻和晚稻各因素的碳足迹,由此得出不同模式下的单位面积碳足迹。由表 2 可知,2 种创新模式单位面积总碳足迹基本相近,明显低于对照模式。创新模式 1 低于对照模式 30.07%,创新模式 2 低于对照模式 26.27%。尤其是化肥、农药、电力,创新模式 1 和创新模式 2 分别低于对照模式 14.70%、13.07%、52.54% 和 9.61%、25.50%、40.68%。创新模式 1 电耗对碳足迹“贡献”低于创新模式 2 的 20%,但能耗(柴油)对碳足迹“贡献”高于 50.28%,说明农业现代化指标的柴油、电力十分关联,在实现农业现代化过程中非此即彼。

表 2 沿江双季稻不同栽培模式单位面积碳足迹清单

模式	要素	投入量(kg/hm ² 或 kW·h/hm ² 、L/hm ²)			碳足迹[kg(CO ₂ - eq)/hm ²]		
		早稻	晚稻	双季稻	早稻	晚稻	双季稻
创新模式 1(早 + 晚双机播)	种子	61.50	72.00	133.50	113.16	132.48	245.64
	化肥				400.68	516.98	917.66
	N	147.00	184.50	331.50	224.91	282.285	507.20
	P ₂ O ₅	72.00	96.00	168.00	117.36	156.48	273.84
	K ₂ O	88.50	118.50	207.00	58.41	78.21	136.62
	农药	1.32	1.83	3.15	17.05	23.64	40.70
	除草剂	0.26	0.37	0.63	2.69	3.73	6.43
	杀虫剂	0.53	0.73	1.26	8.77	12.15	20.92
	杀菌剂	0.53	0.73	1.26	5.60	7.76	13.36
	电力	282.00	390.00	672.00	346.86	479.70	826.56
	柴油	193.50	195.00	388.50	172.22	173.55	345.77
	单位面积碳足迹合计				1 049.96	1 326.35	2 376.32
创新模式 2(早 + 晚双抛)	种子	76.50	89.10	165.00	140.76	163.94	303.60
	化肥				446.40	525.85	972.36
	N	174.60	202.50	376.50	267.14	309.83	576.05
	P ₂ O ₅	70.50	86.55	157.50	114.92	141.08	256.73
	K ₂ O	97.50	113.55	211.50	64.35	74.94	139.59
	农药	1.17	1.53	2.70	15.12	19.77	34.88
	除草剂	0.23	0.31	0.54	2.39	3.12	5.51
	杀虫剂	0.47	0.61	1.08	7.77	10.16	17.93
	杀菌剂	0.47	0.61	1.08	4.96	6.49	11.45
	电力	300.00	540.00	840.00	369.00	664.20	1033.20
	柴油	87.60	94.20	181.50	77.96	83.84	161.54
	单位面积碳足迹合计				1 049.24	1 457.59	2 505.58
对照模式(早直播 + 晚抛)	种子	110.55	90.15	201.00	203.41	165.88	369.84
	化肥				488.22	588.02	1075.74
	N	185.70	222.30	408.00	284.12	340.12	624.24
	P ₂ O ₅	88.80	106.35	195.00	144.74	173.35	317.85
	K ₂ O	89.93	112.95	202.50	59.35	74.55	133.65
	农药	1.67	1.96	3.62	21.55	25.27	46.82
	除草剂	0.33	0.39	0.73	3.40	3.99	7.39
	杀虫剂	0.67	0.78	1.45	11.08	12.99	24.06
	杀菌剂	0.67	0.78	1.45	7.07	8.29	15.37
	电力	516.00	900.00	1416.00	634.68	1107.00	1741.68
	柴油	91.50	92.25	184.50	81.44	82.10	164.21
	单位面积碳足迹合计				1 429.29	1 968.27	3 398.29

2.1.2 模式内碳足迹 3 种模式内晚稻的碳足迹高于早稻,但模式内各要素碳足迹贡献序稍有不同,创新模式 1 单位面积碳足迹贡献序由高到低为化肥>电力>柴油>种子>农药,且早、晚稻碳足迹贡献序也为这一序列;创新模式 2 与对照模式单位面积碳足迹贡献序一致,均为电力>化肥>种子>柴油>农药,且早、晚稻碳足迹贡献序基本上也为这一序列,除创新模式 2 中早稻贡献序稍有差别,为化肥>电力>种子>柴油>农药。创新模式 1 化

肥、电力、柴油、种子、农药对总单位面积碳足迹贡献分别占 38.62%、34.78%、14.55%、10.34%、1.71%。创新模式 2 电力、化肥、种子、柴油、农药对单位面积碳足迹贡献占比分别为 41.24%、38.81%、12.12%、6.44%、1.39%;对照模式电力、化肥、种子、柴油、农药对单位面积碳足迹贡献占比分别为 51.25%、31.66%、10.88%、4.83%、1.38%。

2.2 单位产量碳足迹
单位产量碳足迹别称碳成本,即每生产 1 单位

产品产生的碳排放量。有专家提出,随着农业现代化与集约化的进展,碳耗总量增加是必然的。农业提倡“低碳”不等于减少碳耗总量的所谓“低碳农

业”,而是要努力追求单位产品以较低的耗碳率换取较高的固碳率^[10]。为此,笔者计算出单位产量的碳足迹(表 3)。

表 3 3 种模式单位产量碳足迹比较

模式	单位面积产量(kg/hm ²)			单位面积碳足迹[×10 ⁻³ kg(CO ₂ -eq)/kg]		
	早稻	晚稻	双季稻	早稻	晚稻	双季稻
创新模式 1(早+晚双机播)	8 781.00	7 789.50	16 569.00	167.15	239.68	201.26
创新模式 2(早+晚双抛)	8 622.00	7 950.00	16 578.00	175.22	251.98	211.90
对照模式(早直播+晚抛)	6 739.80	7 512.30	14 251.50	287.70	343.64	317.22

单位产量碳足迹[kg(CO₂ - eq)/kg] 计算公式:

$$CF_Y = CF_A / Y。$$

式中:Y 为作物单位面积产量(kg/hm²);CF_Y 为基于产量水平的碳足迹;CF_A 为单位面积碳足迹[kg(CO₂ - eq)/hm²]。

由表 3 可知,就模式间单位产量碳足迹相比而言,与单位面积碳足迹相似,2 种创新模式单位产量碳足迹相近,低于对照模式。即采用创新模式 1 方式生产,每生产 1 kg 稻谷,产生的 CO₂ 排放低于传统模式 36. 56%; 创新模式 2 低于传统模式 33. 20%。就模式内而言,3 种模式内晚稻单位产量碳足迹大于早稻,即生产 1 kg 晚稻造成的碳排放大于生产 1 kg 早稻产生的碳排放。创新模式 1 晚稻单位面积碳排放高于早稻 43. 39%, 创新模式 2 和对照模式晚稻分别高于早稻 43. 80%、19. 44%。

3 讨论

3.1 探寻双季稻种植新模式,减少模式的间接碳排放

本研究数据来源于调研所得,碳排放系数借鉴前人的研究结果,只计算双季稻碳足迹中的间接碳排放,因此所得模式的碳足迹与真实值可能存在一定差异,低于一些学者研究的结论^[9]。但研究结果表明,模式间种植体系、技术接点不同,引起模式间无论是单位面积碳足迹还是单位产量碳足迹均有所不同,创新模式低于对照模式,即说明模式有减排空间。因此,从全生命周期的角度,减少稻田温室气体的排放,迫切需要探讨新的种植模式。

3.2 强化政策扶持,增加早稻面积

在本研究中,无论是单位面积碳足迹还是单位产量碳足迹,也无论是创新模式还是对照模式,模式内早稻的碳足迹低于晚稻。因此,应从减少碳排放的角度,鼓励农户扩大早稻种植面积。但相比中晚稻,早稻品质一般,不太好卖,效益不高,政府应该出台具体的务实激励政策来扶持农户,保证早稻

面积的扩大。

3.3 减少农业化学品使用,降低农业生产碳排放

减少农业化学品施用、提高农业投入品利用率是实现低碳农业和降低农业温室气体排放、缓解气候变化的一条重要的农业措施。这就要求一方面要加大农业科研经费投入,扎实做好基础及应用基础研究,为低碳型化肥、农药、农膜、农业机械的研发提供条件;另一方面创新农业科技成果转化激励机制,完善农业科技成果推广体系,使清洁型农业技术得到示范、推广和应用^[10]。

4 结论

4.1 模式间碳足迹有差别

早+晚双机播技术集成模式单位面积碳足迹为 2 376. 32 kg(CO₂ - eq)/hm², 其中早稻为 1 049. 96 kg(CO₂ - eq)/hm², 晚稻为 1 326. 35 kg(CO₂ - eq)/hm²;早+晚双抛技术集成模式单位面积碳足迹为 2 505. 58 kg(CO₂ - eq)/hm², 其中早稻为 1 049. 24 kg(CO₂ - eq)/hm², 晚稻为 1 457. 59 kg(CO₂ - eq)/hm²;早直播+晚抛轻简化模式单位面积碳足迹为 3 398. 29 kg(CO₂ - eq)/hm², 其中早稻为 1 429. 29 kg(CO₂ - eq)/hm², 晚稻为 1 968. 27 kg(CO₂ - eq)/hm²。前 2 种模式为项目研究集成的创新模式,后者为当地常规对照模式。总体上,创新模式单位面积碳足迹低于常规模式,即模式的创新有利于温室气体的减排。

4.2 模式内早、晚稻碳足迹有差别

3 种模式内晚稻单位面积碳足迹高于早稻,化肥和电力对总单位面积碳足迹贡献排前位,农药对单位面积碳足迹贡献最小。

4.3 2 种碳足迹(单位面积碳足迹、单位产量碳足迹)趋势无差别

单位产量碳足迹与单位面积碳足迹趋势一致,2 种创新模式单位产量碳足迹相近,低于常规模式。

练冬梅,赖正锋,姚运法,等. 不同地区黄秋葵根结线虫的 SCAR 鉴定及其防治[J]. 江苏农业科学,2021,49(3):95-98.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.03.016

不同地区黄秋葵根结线虫的 SCAR 鉴定及其防治

练冬梅,赖正锋,姚运法,林碧珍,洪建基

(福建省农业科学院亚热带农业研究所,福建漳州 363005)

摘要:根结线虫病是黄秋葵生产中的重要地下病害,危害黄秋葵植株的生长,降低其产量。采用序列特异性扩增区聚合酶链反应(SCAR-PCR)技术鉴定不同地区黄秋葵上根结线虫的种类,并通过4种不同措施防治黄秋葵根结线虫。结果表明,在福建省漳州市龙文区、福建省三明市永安市和福建省莆田市秀屿区,黄秋葵根结线虫的种类为南方根结线虫,10.2%阿维噻唑膦颗粒剂的防治效果最好,为今后黄秋葵根结线虫病的防治研究提供了理论参考。

关键词:黄秋葵;根结线虫;SCAR;防治

中图分类号: S436.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)03-0095-04

黄秋葵(*Abelmoschus esculentus* L.)属锦葵科(Malvaceae)秋葵属(*Abelmoschus*)^[1],别称秋葵(okra)、补肾草、咖啡葵等,为一年或多年生草本植物,原产于非洲,20世纪20年代初从印度引入我国,现在国内各地均有栽培。黄秋葵作为一种特色的保健型蔬菜,在广东、福建、山东等地区均有大规模种植^[2],在福建省不同地区,每年的黄秋葵种植

面积累计达到2 000 hm²,在福建建宁、泰宁和将乐等地区,黄秋葵品种洋辣、痴椒的种植历史已有百年之久^[3]。由于黄秋葵生产的规模化、设施化和连作化且绝大部分黄秋葵易受根结线虫侵染^[4],根结线虫病已经成为世界上黄秋葵分布最广、危害最大的植物寄生线虫之一,严重影响了黄秋葵的生长和产量^[5]。因此,黄秋葵根结线虫病防控技术的研究受到越来越多的关注,研究内容包括黄秋葵嫁接玫瑰茄砧木^[6]、筛选抗病品种^[4-5,7-8]等手段。本研究采用序列特异性扩增区聚合酶链反应(SCAR-PCR)快速检测技术鉴定黄秋葵根结线虫种类,并研究不同技术措施对黄秋葵根结线虫的防治效果,以期今后黄秋葵根结线虫病的防治研究提供理论参考。

收稿日期:2020-04-27

基金项目:福建省农业科学院对外合作项目(编号:DEC201902)。

作者简介:练冬梅(1987—),女,福建永安市,硕士,助理研究员,主要从事特色作物育种及综合利用研究。E-mail: woshildm1987@163.com。

通信作者:洪建基,研究员,主要从事特色作物育种及综合利用研究。E-mail: 76227508@qq.com。

早+晚双机播技术集成模式单位产量碳足迹为 $201.26 \times 10^{-3} \text{ kg}(\text{CO}_2 - \text{eq})/\text{kg}$;早+晚双抛技术集成模式单位产量碳足迹为 $211.90 \times 10^{-3} \text{ kg}(\text{CO}_2 - \text{eq})/\text{kg}$;早直播+晚抛轻简化模式单位产量碳足迹为 $317.22 \times 10^{-3} \text{ kg}(\text{CO}_2 - \text{eq})/\text{kg}$ 。

参考文献:

- [1] 薛建福,李慧,高志强,等. 基于生命周期法评价山西省2004—2013年小麦碳足迹动态及其构成解析[J]. 中国农业大学学报,2017,22(10):15-25.
- [2] Wiedmann T, Minx J. A definition of 'Carbon Footprint' [J]. Journal of the Royal Society of Medicine, 2009, 92(4): 193-195.
- [3] 陈儒,姜志德. 中国低碳农业发展绩效与政策评价[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2017, 16(5): 28-40.

- [4] 邹晓霞,张巧,张晓军,等. 玉米花生宽幅间作碳足迹初探[J]. 花生学报, 2017, 46(2): 11-17.
- [5] 曹黎明,李茂柏,王新其,等. 基于生命周期评价的上海市水稻生产的碳足迹[J]. 生态学报, 2014, 34(2): 491-499.
- [6] 岳伟,阮新民,陈金华,等. 近50年安徽省双季稻安全生产期变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(9): 2230-2238.
- [7] 陈中督,徐春春,纪龙,等. 2004—2014年南方稻区双季稻生产碳足迹动态及其构成[J]. 应用生态学报, 2018, 29(11): 3669-3676.
- [8] 黄晓敏,陈长青,陈铭洲,等. 2004—2013年东北三省主要粮食作物生产碳足迹[J]. 应用生态学报, 2016, 27(10): 3307-3315.
- [9] 姜振辉,杨旭,刘益珍,等. 春玉米—晚稻与早稻—晚稻种植模式碳足迹比较[J]. 生态学报, 2019, 39(21): 8091-8099.
- [10] 张林,冉光和,蓝震森. 碳排放约束与农业全要素生产率增长及分解[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2015, 14(3): 22-32.