

吉林省中部黑土区不同轮作和秸秆还田方式的产量和经济效益研究

焦云飞, 李萍*, 杨琇涵, 李强, 彭畅, 高纪超, 朱平, 高洪军*

(吉林省农业科学院, 长春 130033)

摘要:为在东北黑土区推广适宜的轮作模式及秸秆还田方式提供理论依据,并使轮作和玉米连作的经济效益达到平衡。本研究设计了包括玉米和大豆两个主栽作物的3种秸秆还田方式和2种轮作模式田间试验,研究不同秸秆还田方式、轮作模式的产量和经济效益差异。结果表明:(1)在秸秆翻埋还田条件下,不同轮作模式对产量和经济效益影响显著,玉米-大豆轮作(T_3)相较于玉米连作(T_2)和玉米-玉米-大豆轮作(T_4)的玉米、大豆和轮作周期平均产量更高,玉米-大豆轮作和玉米连作两种种植模式使玉米和大豆可获得的经济效益更好,而玉米连作轮作的周期经济效益更好;(2)相同种植模式下,秸秆翻埋还田(T_4)方式可显著提高玉米和轮作周期的产量和经济效益;(3)本试验条件下,在吉林省中部黑土区,建议种植模式为玉米-大豆轮作和玉米-玉米-大豆轮作时种植大豆政策补贴不低于3 347元/年·公顷和6 242元/年·公顷。

关键词:黑土区;轮作;玉米;大豆;经济效益

中图分类号:S513;S565.1

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2021)06-0046-05

Research on Yield and Economic Benefit of Different Rotation and Straw Returning Methods in Black Soil Region of Central Jilin Province

JIAO Yunfei, LI Ping*, YANG Xiuhan, LI Qiang, PENG Chang, GAO Jichao, ZHU Ping, GAO Hongjun*

(Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: The result provides theoretical basis for popularizing suitable crop rotation mode and straw returning method in the black soil region of Northeast China, and balances the economic benefits of crop rotation and corn continuous cropping. In this study, three straw returning methods and two crop rotation modes were designed, including maize and soybean, and the differences in yield and economic benefits between different straw returning methods and crop rotation modes were studied. The results showed that: (1) Under the condition of straw burying and returning to the field, different rotation modes have a significant impact on the yield and economic benefit. The average yield of maize-soybean and rotation cycle planting (T_3) is higher than that of maize continuous cultivate (T_2) and maize-maize-soybean rotation cultivate (T_4). The two planting modes of maize-soybean rotation and maize continuous cropping make the economic benefit of maize and soybean better, while the cycle economic benefit of maize continuous cropping is better. (2) Under the same planting mode, the way of straw burying and returning to field (T_4) can significantly improve the yield and economic benefit of maize and rotation cycle. (3) Under the experimental conditions, it is suggested that the policy subsidies for planting soybeans should be no less than 3 347 yuan/year·ha and 6 242 yuan/year·ha respectively when the planting patterns are maize-soybean rotation and maize-maize-soybean rotation in the black soil area of central Jilin Province.

Key words: Black soil area; Rotation; Maize; Soybean; Economic benefits

收稿日期:2020-11-03

基金项目:吉林省重点研发项目(20200402103NC);吉林省重大科技专项(20200503004SF);吉林省农业科技创新工程杰出青年项目(CXGC2017JQ008)

作者简介:焦云飞(1990-),女,硕士,主要从事农业面源污染与土壤方面的研究。

通讯作者:李萍,女,副研究员,E-mail: liping_0813@163.com

高洪军,男,博士,研究员,E-mail: ghj-1975@163.com

东北黑土区是我国重要的粮食生产基地,也是世界四大“黑土带”之一,是我国宝贵的不可再生资源,在我国粮食安全保障体系和农业生产中占有极其重要的地位^[1-3]。近年来,随着生活水平的提高和工业的快速发展使耕地面积逐年减少,大豆由于产量低、效益差^[4],种植面积大幅下降,而人们对大豆的需求迅速提升^[5-6],目前我国大豆供给85%依赖于进口,已严重威胁到国家食用油供给安全^[7]。多年传统种植模式是东北地区土壤严重退化的原因之一^[8]。有研究表明,豆科作物与禾本科作物轮作,可减少农业生产对化学氮肥与农药的依赖、保护农田生物多样性、提高资源利用效率,是可持续农业的重要种植技术^[9-10]。玉米连作和玉米-大豆轮作是东北旱作区的主要种植模式,推广合理的轮作模式可有效增加大豆种植面积,维持地力和作物稳产高产^[11],对东北黑土地地区农业和生态可持续发展具有重要的现实意义。

我国是秸秆资源非常丰富的国家,玉米秸秆含有丰富的微量营养元素,是一笔宝贵的资源^[12-14]。秸秆直接还田被认为是一项经济、环保和高效的秸秆处理方式^[15-17]。将其还田有助于补充土壤养分,进而提升土壤肥力^[13-14, 18],对稳产也有一定的作用^[19-21],且可提高小麦^[22-23]、油菜作物产量^[24];秸秆还田在农业领域的应用可以避免焚烧所造成的温室气体排放^[25],减少化肥施用量,提高经济效益和生态效益^[26]。

近年来,许多学者对轮作的研究主要集中在轮作体系的土壤理化性质、水分特性^[27-28]、养分运移^[29-31]、肥料效应^[11]及对作物产量和经济效益的影响^[32],对秸秆相关研究主要集中在秸秆还田对土壤水分、有机碳、团聚体和产量等的影响,而关于不同秸秆还田方式和玉米大豆轮作效应结合的研究鲜有报道,本研究设立玉米-大豆轮作和玉米-玉米-大豆轮作两种轮作模式及翻埋、旋耕和覆盖三种秸秆还田方式,和玉米连作模式(秸秆不还田、翻埋还田)进行对比试验,通过评价其产量和经济效益,以筛选出适合本区域的轮作模式和秸秆还田方式,为提高资源利用率、经济效益、生态效益和农业绿色可持续发展提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

该试验地位于吉林省公主岭市朝阳坡镇东兴村,土壤类型为中层典型黑土,成土母质为第四

纪黄土状沉积物。气候属于温带大陆性季风气候,年降水量450~650 mm,年均气温5.6℃,无霜期125~140 d,有效积温2 600~3 000℃·d,年蒸发量1 200~1 600 mm,年日照时间2 500~2 700 h。试验开始前0~20 cm土层土壤基本理化性质:有机质20.9 g/kg、全氮1.196 g/kg、全磷0.429 g/kg、全钾22.06 g/kg、碱解氮113.8 mg/kg、速效磷23.4 mg/kg、速效钾185.5 mg/kg、pH值6.4。

1.2 试验材料

供试的玉米品种为富民985,种植密度为6.2万株/公顷;大豆品种为吉育99,种植密度为22万株/公顷,每年均于4月下旬播种,10月上旬收获,玉米秸秆秋季还田,大豆秸秆不还田。

1.3 试验设计

试验始于2016年10月,采用随机区组设计,包括玉米连作、玉米-大豆轮作、玉米-玉米-大豆轮作、秸秆翻埋还田、旋耕还田和覆盖还田2种轮作模式和3种秸秆还田方式共6个处理,大豆均为免耕种植(表1),3次重复,小区面积为157 m²。

表1 不同处理种植模式及秸秆还田方式

处理名称	种植模式	秸秆还田方式
T ₁	玉米连作	不还田
T ₂	玉米连作	翻埋还田
T ₃	玉米-大豆轮作	翻埋还田
T ₄	玉米-玉米-大豆轮作	翻埋还田
T ₅	玉米-玉米-大豆轮作	旋耕还田
T ₆	玉米-玉米-大豆轮作	覆盖还田

翻埋还田:玉米收获后,先用秸秆粉碎机将秸秆粉碎(长度<10 cm),然后用翻转犁将秸秆深翻至20~30 cm土层,耙平达到播种状态,第二年春季采用免耕机播种,播后及时镇压。

旋耕还田:在玉米收获后,先用秸秆粉碎机将秸秆粉碎(长度<6 cm),然后利用旋耕机将秸秆与土壤充分均匀混合(深度约16 cm)后镇压,第二年春季采用免耕机播种。

覆盖免耕还田:玉米收获后,将秸秆粉碎平铺于地表,第二年春季播前用归行机清理出40 cm宽苗带,然后用免耕机一次性完成播种、施肥及镇压作业,并且隔年进行深松作业(单柱振动式深松机),深度约为30 cm。

各处理玉米季及大豆季化肥施用情况见表2,试验区整地、播种、施肥与除草等所有管理环节均采用机械化作业。

表2 玉米和大豆化肥施用情况

作物名称	化肥施用量(kg/hm ²)			备注
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
玉米	220	102	102	一次性施用玉米复合肥 (26-12-12)850 kg/hm ² ,不追肥
大豆	60	60	60	一次性施用大豆复合肥 (15-15-15)400 kg/hm ² ,不追肥

1.4 测定项目和方法

产量测定:分别于玉米、大豆成熟期按标准水分计算玉米和大豆经济产量,并折算为公顷产量。轮作周期内产量的计算方法参考文献[10]的方法,玉米-大豆轮作模式(T₃)轮作周期内平均经济产量=(玉米产量+大豆产量)/2;玉米-玉米-大豆轮作模式(T₄、T₅、T₆)轮作周期内平均经济产量=(第一年玉米产量+第二年玉米产量+第三年大豆产量)/3。

经济效益:经济效益=总产值-投入成本,其中总产值即作物籽粒销售后的收益,投入成本包括种子、化肥、农药、播种、收获、秸秆处理、整地和其他投入。各项投入、收益和种植大豆补贴均按当地当年水平计算。

各模式产值、成本及经济效益计算方法与以上产量方法相同。

1.5 数据处理与分析

试验数据采用Excel 2013与Origin 9.0进行整理分析。

2 结果与分析

2.1 不同轮作、秸秆还田方式对作物产量的影响

产量分析结果表明,在秸秆翻埋还田方式中,不同种植模式T₃玉米产量较T₂和T₄显著增产6%和8%,T₂和T₄玉米产量差异不显著,大豆产量T₃显著高于T₄处理(P<0.05),不同种植模式对轮作周期产量具有显著影响,轮作周期平均产量为:T₂>T₃>T₄。与玉米-玉米-大豆轮作(T₄)和玉米连作(T₂)模式相比较,玉米-大豆轮作模式(T₃)可显著提高玉米季、大豆季平均产量。

由图1可知,不同秸秆还田方式对玉米季、大豆季及轮作周期平均产量也有一定影响。玉米连作模式中秸秆翻埋还田方式玉米产量较秸秆不还田增加9%,且差异达到显著水平。三年轮作模式中秸秆翻埋还田方式(T₄)玉米产量显著高于秸秆旋耕(T₅)和秸秆覆盖(T₆)还田方式,并分别增产13.1%和13.2%;轮作周期内秸秆翻埋还田方式经

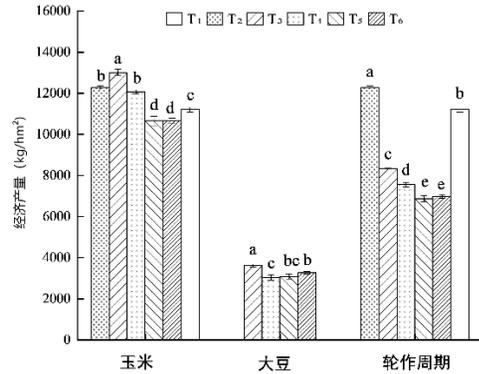


图1 2017~2019年不同轮作和秸秆还田方式下作物的经济产量

济产量最高。表明相同轮作模式中,秸秆翻埋还田方式较秸秆不还田、秸秆旋耕和秸秆覆盖还田方式可以显著增加玉米季和轮作周期平均产量。

2.2 成本和经济效益分析

2.2.1 成本投入

轮作中生产成本包括种子、化肥、农药、播种(包括种肥施用)、收获、秸秆处理(包括秸秆清除、归行和粉碎)、整地(包括翻耕、旋耕、耙地、压辊、压松)等成本投入。2017~2019年不同处理玉米季、大豆季及轮作周期投入成本表明,秸秆翻埋还田条件下,不同轮作模式轮作周期平均成本为:T₂>T₄>T₃,T₂较T₄和T₃成本分别增加23%和39%,主要因为玉米季种子和化肥投入成本是大豆季成本的1.3倍,且种子和化肥占投入总成本的48%~49%,使三季玉米连作模式成本显著高于两季和一季玉米轮作模式。

由表3可知,玉米连作中T₂较T₁播种、秸秆处理和整地成本有所增加,使玉米连作秸秆翻埋还田处理(T₂)成本较秸秆不还田处理(T₁)增加10%,并达到差异显著水平;三年轮作模式中,T₄较T₅和T₆处理的整地成本明显增加,使秸秆翻埋处理T₄玉米成本较秸秆旋耕(T₅)和秸秆覆盖处理(T₆)高5%和20%,轮作周期平均成本增加4%和16%,且差异达到显著水平。总之,相同轮作模式中秸秆翻埋还田在玉米季和轮作周期内平均成本均较高。

2.2.2 经济效益分析

玉米和大豆价格均按当地的市场价格,2017年、2018年和2019年玉米价格分别为1.60元/kg、1.65元/kg和1.74元/kg,大豆价格分别为3.6元/kg、3.6元/kg和4元/kg。2017~2019年玉米和大豆销售价格均呈上升趋势,与2017年相比,2019年玉米和大豆价格分别上升了9%和11%。

表3 2017~2019年不同处理作物生产成本

元/hm²

种植季	处理	种子	化肥	农药	播种	收获	秸秆处理	整地	成本
玉米季	T ₁	780	2 340	350	350	1 000	200	750	5 770
	T ₂	780	2 340	350	500	1 000	300	1 100	6 370
	T ₃	780	2 340	350	500	1 000	300	1 100	6 370
	T ₄	780	2 340	350	500	1 000	300	1 100	6 370
	T ₅	780	2 340	350	500	1 000	300	800	6 070
	T ₆	780	2 340	350	500	1 000	200	150	5 320
大豆季	-	400	950	350	500	600	0	0	2 800
	T ₁	780	2 340	350	350	1 000	200	750	5 770
轮作周期(2017~2019)	T ₂	780	2 340	350	500	1 000	300	1 100	6 370
	T ₃	590	1 645	350	500	800	150	550	4 585
	T ₄	653	1 877	350	500	867	200	733	5 180
	T ₅	653	1 877	350	500	867	200	533	4 980
	T ₆	653	1 877	350	500	867	133	100	4 480

由图2可知,秸秆翻埋还田方式下,玉米季T₂和T₃经济效益基本持平且显著高于T₄,分别较T₄高6%和9%;大豆季T₃经济效益较T₄高10%;就轮作周期而言,T₂经济效益较T₃和T₄分别增加14%和17%,并达到差异显著水平,T₃和T₄差异不显著。表明玉米连作经济效益显著高于玉米-玉米-大豆轮作,玉米-大豆轮作经济效益高于玉米-玉米-大豆轮作,但未达到差异显著水平。

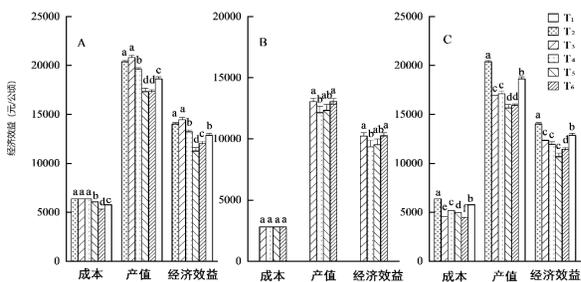


图2 不同轮作和秸秆还田方式的作物(玉米A、大豆B、轮作周期C)的生产成本、产量和经济效益

T₂经济效益较T₁增加9%,且差异达到显著水平。三年轮作模式下,玉米季T₄经济效益较T₆和T₅分别显著增加18%和10%($P<0.05$);大豆季T₆经济效益较T₄和T₅分别增加10%和8%,轮作周期内平均经济效益为:T₄>T₆>T₅,且差异达到显著水平($P<0.05$)。表明无论在玉米连作还是玉米大豆轮作模式下,秸秆翻埋还田经济效益均高于秸秆不还田、秸秆旋耕和覆盖还田。

以上经济效益的计算未加入种植大豆享受的国家补贴(2017~2019年种植大豆补贴为7 000元/年·公顷),为评价现有补贴是否满足轮作与连作模式经济效益持平的需求,在经济效益的计

算中加入大豆补贴,假设两种轮作模式分别与玉米连作经济效益相等,可以得出,玉米-大豆轮作模式和玉米-玉米-大豆轮作模式种植大豆所需补贴分别为3 347元/年·公顷和6 242元/年·公顷,可以看出,在本试验条件下现有大豆补贴能够满足轮作与连作模式经济效益持平的需求。

3 讨论与结论

本研究结果表明,各秸秆还田方式中秸秆翻埋还田可显著提高产量和经济效益,其中对玉米季产量和经济效益影响显著,这与前人研究结果一致^[33],原因可能是实施秸秆翻埋还田可提高氮、磷、钾肥料效率、补充土壤养分、改善土壤结构和调节土壤酸碱度^[18],除此之外,秸秆还田通过增加土壤含水量还能提高小麦产量^[23];也有研究发现50%^[34]和75%^[35]的秸秆还田量对作物增产最为显著,秸秆还田还应控制施肥量以达到最佳增产效果^[35-36];秸秆还田过程中,还应注意因地制宜,根据具体的气候、土壤性质、耕作制度、成本投入、环境影响等条件确定具体的实施方式,并加强秸秆还田技术的实用性,对于秸秆还田的研究仍需进一步深入。

本研究发现,不同轮作方式对作物产量和经济效益均有显著影响,玉米-大豆轮作模式可显著提高玉米季、大豆季及轮作周期内平均产量,而玉米连作比轮作模式对经济效益的提高影响更显著,玉米-大豆轮作经济效益略高于玉米-玉米-大豆轮作,但未达到差异显著水平。与周桂玉等^[37-40]研究结果一致,认为玉米-大豆轮作比玉米-玉米-大豆轮作有产量优势,原因可能是豆类

作物比谷物残留的氮更多^[41],使种过大豆的土壤氮含量增加是导致玉米产量增加的一个因素^[42],轮作影响了大多数土壤的化学和生物属性^[43],从而很可能对作物的产量有一定的影响。本研究与丁素荣等^[10]的研究结果不一致,认为玉米-大豆轮作模式不会显著提高大豆季的产量,但与玉米-玉米-大豆轮作相比有增加大豆产量的趋势,对经济效益的研究认为玉米-玉米-大豆轮作经济效益显著高于玉米-大豆轮作。这是由于本研究中玉米-大豆轮作、玉米-玉米-大豆轮作大豆季分别是2018年和2019年,2019年由于干旱等原因使大豆产量急剧下降(较2018年减产16%),导致其轮作周期平均减产9%,因此表现为玉米-大豆轮作对大豆季增产影响显著;同时,由于2017~2019年各年玉米、大豆市场价格不同,即使玉米-大豆轮作产量显著高于玉米-玉米-大豆轮作,但是二者间产值未达到显著水平($T_3 < T_4$),表现为二者间经济效益无显著差异。

结合区域自然条件和生产实际情况,从长远经济效益、生态效益及国家粮食安全的战略需求来看,在东北黑土区推广秸秆还田的轮作模式具有重要意义。本研究发现,如果加入现有大豆补贴后,玉米-大豆轮作经济效益可与玉米连作持平,而玉米-玉米-大豆轮作经济效益明显低于玉米连作,因此,建议在吉林省中部黑土区及本试验条件下,种植模式为玉米-大豆轮作和玉米-玉米-大豆轮作时种植大豆政策补贴不低于3 347元/年·公顷和6 242元/年·公顷。同时,由于轮作体系和秸秆还田方式优越性的研究是一个长期的工作,仍需持续全面深入研究,从而实现生态友好、粮食产量和经济效益显著提高等多目标要求。

参考文献:

- [1] 张之一. 关于世界黑土分布的探讨[J]. 黑龙江农业科学, 2010(4): 59-60.
- [2] 高洪军, 朱平, 彭畅, 等. 不同施肥方式对东北春玉米农田土壤水热特征的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(4): 195-200.
- [3] 李奇峰, 陈阜, 李玉义, 等. 东北地区粮食生产动态变化及影响因素研究[J]. 农业现代化研究, 2005(5): 340-343.
- [4] 王连静. 大豆研究50年[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010: 35-36.
- [5] 刘后平, 王雪梅, 邓浩月. 供给侧结构性改革下的国产大豆供给问题研究[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(17): 318-323.
- [6] 曾学明. 我国大豆产业发展战略规划研究[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(9): 89-97.
- [7] 林平, 庞成民, 海涛, 等. 黄淮地区玉米与大豆不同间作模式的产量和效益比较[J]. 河北农业科学, 2020, 24(4): 14-18.
- [8] Liu X B, Zhang X Y, Wang Y X, et al. Soil degradation: a problem threatening the sustainable development of agriculture in Northeast China[J]. Plant, Soil and Environment, 2010, 56(2): 87-97.
- [9] 曾昭海. 豆科作物与禾本科作物轮作研究进展及前景[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(1): 57-61.
- [10] 丁素荣, 周学超, 刘迎春, 等. 内蒙古东南部地区玉米大豆轮作效应研究[J]. 大豆科学, 2021, 40(1): 39-44.
- [11] 郝旺林, 梁银丽, 朱艳丽, 等. 农田粮-菜轮作体系的生产效益与土壤养分特征[J]. 水土保持通报, 2011, 31(2): 46-51.
- [12] Liqun Ji. An assessment of agricultural residue resources for liquid biofuel production in China[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 44: 561-575.
- [13] 汪可欣, 付强, 张中昊, 等. 秸秆覆盖与表土耕作对东北黑土根区土壤环境的影响[J]. 农业机械学报, 2016, 47(3): 131-137.
- [14] Sandeep Kumar, Atsuqobyy Kaden, Rattan Lal, et al. Long-Term No-Till Impacts on Organic Carbon and Properties of Two Contrasting Soils and Corn Yields in Ohio[J]. Soil Science Society of America Journal, 2012, 76(5): 1798-1809.
- [15] 李新华, 朱振林, 董红云, 等. 秸秆不同还田模式对玉米田温室气体排放和碳固定的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(11): 2228-2235.
- [16] 李继福, 任涛, 鲁剑巍, 等. 水稻秸秆钾与化肥钾释放与分布特征模拟研究[J]. 土壤, 2013, 45(6): 1017-1022.
- [17] 梁卫, 袁静超, 张洪喜, 等. 东北地区玉米秸秆还田培肥机理及相关技术研究进展[J]. 东北农业科学, 2016, 41(2): 44-49.
- [18] 蔡红光, 梁尧, 刘慧涛, 等. 东北地区玉米秸秆全量深翻还田耕种技术研究[J]. 玉米科学, 2019, 27(5): 123-129.
- [19] 王美佳, 王洋, 苏思慧, 等. 秸秆还田对土壤水稳性团聚体及其碳分布的影响[J]. 干旱区研究, 2019, 36(2): 331-338.
- [20] 崔正果, 李秋祝, 张玉斌, 等. 玉米秸秆全量粉碎耕翻还田条件下播种深度与镇压强度对玉米出苗率的影响[J]. 东北农业科学, 2018, 43(6): 16-19.
- [21] 栾天浩, 刘云强, 高阳, 等. 不同秸秆还田方式对玉米产量及土壤理化性质的影响[J]. 东北农业科学, 2020, 45(6): 64-67, 77.
- [22] R C Dalal, D E Allen, W J Wang, et al. Organic carbon and total nitrogen stocks in a Vertisol following 40 years of no-tillage, crop residue retention and nitrogen fertilisation[J]. Soil & Tillage Research, 2010, 112(2): 133-139.
- [23] 张忠学, 温金祥, 吴文良. 华北平原冬小麦不同培肥措施的节水增产效应研究[J]. 灌溉排水, 2000(1): 9-11.
- [24] 刘秋霞, 任涛, 张萌, 等. 秸秆还田与氮磷钾化肥配施对直播冬油菜产量及其构成因子的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(6): 68-73.
- [25] Xia L L, Wang S W, Yan X Y, et al. Effects of long-term straw incorporation on the net global warming potential and the net economic benefit in a rice-wheat cropping system in China[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2014, 197: 118-127.
- [26] 龚静静, 胡宏祥, 朱昌雄, 等. 秸秆还田对农田生态环境的影响综述[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(23): 36-40.

时期和防治方法也应做相应调整,因此释放赤眼蜂防治水稻二化螟应该明确二化螟发生规律,根据当地二化螟发生特点,确定合理的田间应用技术和调查方法。

参考文献:

- [1] 许周源. 吉林郊区水稻二化螟的发生规律及药剂防治研究[J]. 吉林农业科学, 1979(3): 64-68.
- [2] 周淑香, 鲁新, 李丽娟, 等. 诱捕器类型和悬挂高度对二化螟诱集效果的影响[J]. 东北农业科学, 2020, 45(2): 32-35.
- [3] 王晓丽, 张晓波, 孔祥梅, 等. 水稻二化螟发生规律及防治的初步研究[J]. 吉林农业科学, 1996(4): 43-45.
- [4] 冯建国, 周延林, 张广信, 等. 赤眼蜂防治玉米螟的应用研究[J]. 昆虫学报, 1977, 20(3): 253-257.
- [5] 董本春, 王常湘, 高德语, 等. 螟黄赤眼蜂防治水稻二化螟的研究[J]. 植物保护, 2001, 27(4): 45-46.
- [6] 蒲哲龙, 刘志诚. 赤眼蜂大量繁殖及其对于甘蔗螟虫的大田防治效果[J]. 昆虫学报, 1962, 11(4): 409-413.
- [7] 冯建国, 陶训, 张安盛, 等. 用人造卵繁殖的螟黄赤眼蜂防治棉铃虫研究[J]. 中国生物防治, 1997, 13(1): 6-9.
- [8] 李丽娟, 鲁新, 张国红, 等. 不同品系赤眼蜂对玉米螟卵的寄生效果[J]. 吉林农业科学, 2015, 40(4): 48-50.
- [9] 陈日盟, 郑洪兵, 石钟锋, 等. 载菌赤眼蜂携菌量及其对二化螟防治效果的研究[J]. 吉林农业科学, 2007, 32(6): 39-40.
- [10] 李丽娟, 鲁新, 张国红, 等. 米蛾卵繁殖稻螟赤眼蜂的蜂卵比和接蜂时间研究[J]. 东北农业科学, 2019, 44(5): 34-37.
- [11] 李丽娟, 周淑香, 常雪, 等. 高效寄生水稻二化螟卵的赤眼蜂品系筛选[J]. 东北农业科学, 2019, 44(2): 19-22.
- [12] 张强, 孙崑, 周佳春, 等. 吉林省中部地区越冬后二化螟发育进度研究[J]. 吉林农业科学, 2013, 38(5): 48-50.
- [13] 郭震. 水稻二化螟卵寄生蜂的采集、鉴定及田间种群动态监测[D]. 长春: 吉林农业大学, 2011.
- [14] 盛承发, 焦晓国, 宣维健, 等. 吉林省水稻二化螟无公害防治技术体系探讨[J]. 农业系统科学与研究, 2002, 18(4): 312-315.
- [15] 陈日盟, 李秀岩, 刘梅, 等. 长春地区二化螟发生世代及性诱技术的初步研究[J]. 吉林农业科学, 2007, 32(5): 37-39.
- [16] 周淑香, 陈立玲, 李丽娟, 等. 吉林省水稻二化螟发生动态研究[J]. 中国植保导刊, 2021, 41(2): 36-43, 53.
- [17] 焦晓国, 宣维健, 盛承发. Logistic模型预测东北越冬代水稻二化螟发生期[J]. 昆虫知识, 2006, 43(2): 177-180.
- (责任编辑: 刘洪霞)
- 肥料学报, 2016, 22(4): 877-885.
- [37] T D West, D R Griffith, G C Steinhardt, et al. Effect of Tillage and Rotation on Agronomic Performance of Corn and Soybean: Twenty-Year Study on Dark Silty Clay Loam Soil[J]. Journal of Production Agriculture, 1996, 9(2): 241-248.
- [38] Wilhelm W W, Wortmann C S. Tillage and rotation interactions for corn and soybean grain yield as affected by precipitation and air temperature[J]. Agronomy Journal, 2004, 96(2): 425-432.
- [39] Luis R Salado Navarro, Thomas R Sinclair. Crop rotations in Argentina: Analysis of water balance and yield using crop models[J]. Agricultural Systems, 2009, 102(1): 11-16.
- [40] 周桂玉, 张晓平, 范如芹, 等. 黑土实施免耕对玉米和大豆产量及经济效益的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2015, 37(3): 260-267.
- [41] Y K Soon, G W Clayton. Eight years of crop rotation and tillage effects on crop production and N fertilizer use[J]. NRC Research Press Ottawa, Canada, 2002, 82(2): 165-172.
- [42] L E Gentry, F E Below, M B David, et al. Source of the soybean N credit in maize production[J]. Plant and Soil, 2001, 236(2): 175-184.
- [43] C A Campbell, V O Biederbeck, G Wen, et al. Seasonal trends in selected soil biochemical attributes: Effects of crop rotation in the semiarid prairie[J]. NRC Research Press Ottawa, Canada, 1999, 79(1): 73-84.
- (责任编辑: 刘洪霞)

(上接第50页)

- [27] 兰全美, 张锡洲, 李廷轩. 水旱轮作条件下免耕土壤主要理化特性研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(1): 145-149.
- [28] 陈义, 吴春艳, 唐旭, 等. 稻-麦轮作体系中有有机氮与无机氮的去向研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(4): 744-752.
- [29] 杨蓓蓓, 刘敏, 张丽佳, 等. 稻麦轮作农田系统中磷素流失研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2009(6): 56-63.
- [30] 陆敏, 茅国芳, 向圣兰, 等. 稻麦轮作过程氮氮径流特征和数值模拟研究[J]. 上海农业学报, 2009, 25(1): 43-47.
- [31] 孙克刚, 和爱玲, 李丙奇, 等. 小麦-玉米周年轮作制下的控释肥及控释BB肥肥效试验研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(12): 150-154.
- [32] 周怀平, 解文艳, 关春林, 等. 长期秸秆还田对旱地玉米产量、效益及水分利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 321-330.
- [33] 韩新忠, 朱利群, 杨敏芳, 等. 不同小麦秸秆还田量对水稻生长、土壤微生物生物量及酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(11): 2192-2199.
- [34] 徐蒋来, 胡乃娟, 朱利群. 周年秸秆还田量对麦田土壤养分及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(2): 215-222.
- [35] 朱冰莹, 马娜娜, 余德贵. 稻麦两熟系统产量对秸秆还田的响应: 基于Meta分析[J]. 南京农业大学学报, 2017, 40(3): 376-385.
- [36] 张刚, 王德建, 俞元春, 等. 秸秆全量还田与氮肥用量对水稻产量、氮肥利用率及氮素损失的影响[J]. 植物营养与