

玉米-大豆间作经济与环境效应研究进展

雷雲翔¹, 应晓成², 沈新平^{1,2}, 刘 斌³, 蒋 敏^{1*}

(1.扬州大学 农学院, 江苏省作物遗传生理重点实验室/江苏省作物栽培生理重点实验室, 江苏 扬州 225009; 2.扬大(常熟)现代农业发展研究院有限公司, 江苏 苏州 215500; 3.常熟市董浜镇农村工作局, 江苏 苏州 215500)

摘 要: 基于文献综述的方法, 阐述了不同研究者所得出的玉米-大豆间作系统下的经济效应和环境效应方面的研究结果, 总结玉米-大豆间作系统优势。玉米-大豆间作在提高土地利用效率、提高作物产量、增加种植收入、增加农田生态系统稳定性、减少病害等方面具有优势。作为农业发展的重要方向, 在未来发展中加大玉米-大豆间作在不同行距、不同株距的影响研究, 要紧紧围绕粮食安全、资源节约、生态保护、提高效益的综合目标, 促进玉米与大豆间作健康可持续发展。

关 键 词: 玉米-大豆间作; 经济效应; 环境效应; 土壤水稳性团聚体

中图分类号: S352.5

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2023144

雷雲翔, 应晓成, 沈新平, 等. 玉米-大豆间作经济与环境效应研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(Supp.1): 56-60.

LEI Yunxiang, YING Xiaocheng, SHEN Xinping, et al. Research Progress on Economic and Environmental Effects of Corn-soybean Intercropping[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(Supp.1): 56-60.

0 引 言

间作在中国已有很长的历史, 近年来, 由于农业生产力的提高, 间作方式与技术得到了极大的改进。根据“第七次人口普查”统计, 中国有 14.13 亿的人口, 粮食需求量巨大。从 2010 年开始, 我国的大豆年进口量就在不断地增加, 目前其进口量已经接近 1 亿 t, 但国内的产量却只有 1 600 万 t, 进口量占 85%。近年来, 国际形式的动荡和新冠肺炎疫情的影响, 对我国大豆等粮食安全构成了巨大的威胁, 因此, 多渠道发展国产大豆就显得非常紧迫。蛋白质是构成生物最基础的物质, 其中大豆中含有 20%左右的油脂, 40%左右的蛋白质。目前, 有关间作技术的研究较多, 但其重点是对间作中的光能利用, 对作物的 CO₂ 量、以及间作中的重金属的固定和吸附等。在 2022 年中央 1 号文件中, 已经清楚地表明, 大豆、油等作物的种植规模将超过 2 200 万亩。《关于做好 2022 年大豆油料扩种工作的指导意见》(农发(2022)2 号)已发布, 其中, 以大豆-玉米间作主要技术措施, 计划在全国范围内扩大 1 500 万亩以上。本文从研究现

状、经济效应和环境效应 3 个角度, 对我国玉米-大豆间作技术的研究现状进行了总结, 以期为我国玉米-大豆间作技术的可持续发展提供借鉴。

1 玉米-大豆间作研究现状

间作是在同一生长季节的同一块田地内, 以行或条的方式交替种植 2 种或 2 种以上作物的方法^[1]。与单作比较, 间作所组成的作物复合群体可以更好地对日照进行截取和吸收, 还可以增加透光率^[2], 可以将群体的光照资源利用率提升 20%^[3], 这样就可以实现对光能的充分利用, 这使得植物栽培在时间和空间上都变得集约化^[4]。不同品种之间除了具有互补性外, 还存在对水分、土壤养分、光照和温度的强烈竞争^[5]。

因此, 间作时要按照不同高度、不同生育阶段的品种, 进行合理的组合种植, 从而达到互补的效果。

以玉米为主要粮食作物, 与大豆间作是一种适应能力强的配置模式, 已经在华北地区乃至世界各地得到了推广, 并形成了一种传统的农艺措施。玉米是一种茎秆较高的作物^[6], 其光效高、温度高, 可与牧草、马铃薯、魔芋、辣椒等矮秆、耐荫作物间作, 也可与绿豆、大豆、豌豆、芹菜等水肥高耗型作物间作。玉米与上述作物间作, 将原来的平面光转化为立体光^[2], 有利于玉米及其矮化或耐荫植物, 也可增加光合作用时间^[5]。不仅提高了产量, 还可以有效提高边际效应^[7]。关于玉米套作模式研究较多^[8], 并获得了很好研究结果, 这说明玉米与其他作物在生长发育、生理等方面

收稿日期: 2023-04-03 修回日期: 2023-11-20

基金项目: 江苏现代农业产业技术体系建设专项(JATS[2021]126; JATS(2022)131); 江苏省高校自然科学基金(21KJA210001)

作者简介: 雷雲翔(1996-), 男, 河南郑州人。硕士研究生, 主要研究方向为农业生态、农业管理。E-mail: mz120211333@stu.yzu.edu.cn

通信作者: 蒋敏(1978-), 男, 江苏宜兴人。副教授, 主要从事农业生态学的教学与科研工作。E-mail: jiangmin@yzu.edu.cn

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

存在着一定的互补关系^[9]。李少明等^[10]研究表明,在玉米-大豆间作中,玉米能够从大豆根部吸收部分氮肥,从而增强大豆的固氮性能,促进作物生长。

周贤玉等^[11]在甜玉米和大豆间作研究中发现,在300 kg/hm²施氮量下,甜玉米和菜用大豆 2:3 和 2:4 间作模式中甜玉米氮素累积量比甜玉米单作增加 27.64%和 13.49%^[11],说明与大豆间作提高了甜玉米氮素累积量。但是,在禾本科和豆科间作模式中,其作物的氮素累积量降低^[12-13],这可能是由于间作玉米与单作保持相同的密度,玉米生长环境中既有种间竞争^[14],也有种内竞争,但间作模式下系统氮积累明显优于单作模式^[15]。作物的氮素利用效率也明显高于单作模式^[16]。杨升辉等^[17]研究发现,种植方式对氮素的利用率也有显著影响。

目前,有关玉米-大豆间作的研究多关注于玉米-大豆间作的产量^[18]、生理^[19]和品质^[20]等方面,而对不同行距^[21]和株距^[22]的玉米-大豆间作的影响则鲜见报道。我国玉米和大豆间作在不同生态区的种植模式也存在较大差异^[23]。以华北平原为例^[24],玉米大豆间作的行数比例为 1:2、2:2、2:4、2:6;在选择品种的时候,由于玉米与大豆的株型高低不一,因此,玉米更适宜于选择紧凑型品种,大豆应选择一些早熟品种,应考虑耐阴性、耐寒性等^[25]。至于种植方式,要因种而异,对玉米、大豆、玉米等自身的行距、株距进行适当的调整。

2 玉米-大豆间作的经济效应

2.1 玉米-大豆间作对作物产量的影响

马骥等^[26]研究表明,利用不同作物株型及生理生态特征,进行不同时期、空间及水肥互补,能够有效地加强体系的抗旱性,并明显地提升了体系的化肥利用率,实现了高产^[27]、稳产^[28]、高效^[29]的目标。在玉米-大豆间作条件下,可显著地提高玉米的产量^[30]和品质^[31]。Dolijanovic 等^[32]研究发现,玉米-大豆间作系统的总产量平均比玉米、大豆单作总产量高 45%~49%。然而,马骥等^[26]研究表明,在特定的种植群体中,随着玉米群体增多,大豆的产量也随之降低;且间作玉米具有显著的增产优势,但对大豆的增产效果却不显著。但李超等^[33]在玉米-大豆间作体系中,通过加大大豆行株距,扩大了大豆植株的生长空间,增强了植株对光、热等资源的吸收,促进了植株生长发育,提高了产量。土壤营养元素的吸收状况对作物产量的改变有很大的影响,且土壤营养元素的转化过程也不同。

玉米-大豆间作的潜在优点是通过提高土地当量比从而提高了总产量^[34](表 1),降低了对化肥的需要,并提高了水资源和其他可获得的营养物质的利用率。土地当量比是指同一农田中 2 种或 2 种以上作物间混作时的收益与各作物单作时的收益之比率。范元芳等^[35]发现,与单作大豆相比,间作的大豆在开花期、结荚期以及鼓粒期株高分别增加了 22.47%、47.33%、32.72%^[35]。吴限等^[36]研究表明,间作下,玉米株高、茎粗等均大于单作,但大豆株高、茎粗均低于单作。

表 1 玉米大豆间作经济效益和种植产量

Table 1 Economic benefits and planting yield of maize-soybean intercropping

处理	经济产量/(kg hm ⁻²)	土地当量比	经济效益/(元 hm ⁻²)	参考文献
玉米	11 003±172	-	16 994.94b	[35]
大豆	3 091±63	-	10 079.00c	
玉米-大豆间作	9 142±75	1.27	19 049.56a	[35]
	1 345±55			

注 同列不同小写字母表示各处理在 $P<0.05$ 水平差异显著。

2.2 玉米-大豆间作对作物品质的影响

蛋白质、脂肪、可溶性糖和淀粉是作物品质的重要指标。间作大豆的蛋白质量与单作大豆无显著差异^[37],但品质明显高于单作大豆^[38]。辛大伟等^[39]研究表明,间作大豆的氨基酸量高于单作。吴兰^[40]研究发现,在玉米-大豆间作系统中,由于玉米对氮素的竞争,大豆体内的碳氮代谢低于单作,因此脂肪量降低,但并未降低大豆蛋白质量,部分处理大豆蛋白质量甚至增加;间作处理下,玉米的淀粉量较单作降低但并不显著。

刘天学等^[41]在玉米-大豆间作体系中发现,与单

作相比,间作玉米的经济产量和生物产量显著提高,粗蛋白量也显著提高。Thompson 等^[42]研究发现,玉米与大豆间作后,间作玉米秸秆粗纤维量降低,但粗蛋白量增加,间作玉米秸秆营养价值高于单作玉米。吴兰^[40]研究发现,玉米-大豆间作系统中影响最大的因素是玉米种植密度,其次是种植日期和区域配置指数,发现蛋白质量、淀粉量等比玉米单作栽培高。

3 玉米-大豆间作的环境效应

3.1 玉米-大豆间作对土壤的影响

玉米-大豆间作能提高土壤团聚体^[43]稳定性。土

壤团聚体作为土壤最基本的结构单位,对土壤的稳定性具有非常重要的影响。土壤团聚体可以降低土壤的养分损失,保护植物的生长和土壤微生物的活动,还可以提高土壤碳固持能力^[43]。在土壤团聚的过程中,土粒团聚体会变成大量的小团聚体,然后又会有一些小的团聚体变成大的团聚体,这个过程的团聚力会受到物理、化学、生物等因素影响^[43]。王婷等^[44]研究表明,间作可提高玉米、大豆的根际碳水化合物分泌量;并且间作可明显提高土壤团聚体的水分稳定性^[45]。杨培岭等^[46]研究表明,间作作物根系分泌的糖类,既能够充当土壤颗粒间的粘结剂,将其凝聚在一起,形成团聚体^[46],又能够为根际土壤微生物提供碳源和能量物质,进而使得土壤微生物数量得到明显提高,这样可以提高植物种类的多样性^[47],并促进土壤团聚体的形成及提高其稳定性^[48]。

玉豆间作能提高土壤酶活性,提高土壤中有有机物质量。土壤酶作为最活跃的生物活性物质,在某种程度可以反映土壤营养状况^[49]。张智晖^[50]研究表明,玉米-大豆间作可以明显增加土壤脱硝化酶活力,以及显著提高土壤速效钾量,但土壤中有机质量明显减少;与单作比较,玉米-大豆间作对5种土壤酶活力有显著影响,其中,反硝化酶活性较玉米、大豆单作处理分别提高62.4%、62.2%;玉米-大豆间作土壤速效钾量较单作玉米和大豆分别增加20.8%和31.0%^[50];但与单作玉米、大豆比较,玉米-大豆间作土壤有机质量下降7.4%、3.3%^[50]。故玉米-大豆间作可以提高土壤中的营养物质和酶活性。

3.2 玉米-大豆间作对农田病虫害的影响

随着连作年限的增加,农田资源日益紧张,作物病虫害问题日益突出,已成为影响大豆产量与品质的重要因素^[51]。当前,我国大豆病虫害防治以化学防治为主,但农药的滥用不仅导致了大豆品质下降,还导致了生产成本的增加、天敌的丧失、害虫的抗药性等问题^[52],给我国大豆的生态环境带来了很大的威胁。如何通过合理的种植模式,实现对大豆虫害的绿色、高效和可持续的控制,是当前亟待解决的问题。

间作能充分发挥多种资源优势,并能形成生态位互补的植物群落,是一种基于最优化空间配置的新型害虫防治方法^[53],是未来农作物害虫防治的发展趋势^[54]。玉米-大豆间作能够抑制病原细菌对宿主植物的侵染,减少其对宿主植物的危害^[55]。与单作相比,间作可有效地降低玉米病虫害^[56],降低玉米螺^[57]受害株率,增加病虫的天敌,提高系统产量。在不同间作方式下,玉米角斑病、枯萎病的发生及发病程度明显降低^[58]。合理的间作、套作能够增加作物的抗逆、抗病虫害、抗倒伏^[59]和抗旱能力^[60]。

3.3 玉米-大豆间作对作物光合特性的影响

植物生长发育的物质和能量主要来源于光合作用,玉米大豆产量与叶绿素量^[61]密切相关。合理的间作能够增加叶绿素量,增加叶片的光合速率,使光合物质不断地合成和积累^[61]。在一个漫长的生长周期中,维持高水平的叶绿素是维持高光合作用的前提,也是保证光合产物丰度和产量的关键。

李隆^[61]研究表明,间作具有重要的生态学机理上的优点,即“生态位分离”。在玉米-大豆间作中,由于玉米-大豆生态位的隔离,地上的光热等资源与地下的养分等资源在空间和时空上互补,从而实现了作物的充分利用,提高了资源利用率。间作能通过生态位互补,优化群体结构,改善群体通气和透光,提高资源利用效率,维持生长后期的高光合速率。高叶绿素量、高光合作用,既能实现玉米的高产稳产^[62],又能改善其营养品质^[63]。

4 结论

玉豆间作不仅能改善种植群体结构,还能提高种植资源的利用率。因植株种类及生理生态的不同,适宜的栽培模式可实现水、肥、气、光、热的有效互补,在产量及经济效益上均高于单一作物。其次,间作有利于降低虫害、除草,提高群体抗性;同时,合理的间作还能促进土壤有机、无机营养元素的积累,进而改善土壤结构,提高土壤覆盖度,增强土壤抗侵蚀能力。在今后的发展过程中,要加强行距、株距对玉米和大豆的影响的研究,要将粮食安全、资源节约、生态保护、效益提高的综合目标结合起来,推动玉米大豆间作的健康可持续发展。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

参考文献:

- [1] 黄涛,冯远娇,王建武.禾本科豆科间作对土壤微生物影响的研究进展[J].生态科学,2022,41(3):229-236.
- [2] 常换换,苏友波,范茂攀,等.红壤坡耕地玉米大豆间作的根际生态效应[J].山西农业大学学报(自然科学版),2022,42(2):21-28.
- [3] 卢成达,郭志利,李阳,等.旱地玉米间作马铃薯模式不同行比配置生理生态及经济效应研究[J].中国农学通报,2015,31(33):67-73.
- [4] 段鹏飞,赵地.不同基因型玉米间作抗病稳产生态效应研究[J].玉米科学,2017,25(6):107-112.
- [5] 向午燕,孙占祥,冯良山,等.玉米花生间作作物光合生理响应机制[J].辽宁农业科学,2017(5):44-47.
- [6] 罗华,王杰,宋勇,等.玉米-大豆间套作模式研究现状及其展望[J].作物研究,2020,34(5):502-506.
- [7] 毕长海,赵吉春.推广玉米大豆间作技术可行性分析[J].中国农业信息,2015(23):27.
- [8] 雍太文,刘小明,刘文钰,等.减量施氮对玉米-大豆套作体系中作物产量及养分吸收利用的影响[J].应用生态学报,2014,25(2):474-482.
- [9] 李淑敏,李隆,张福锁.蚕豆/玉米间作接种AM真菌与根瘤菌对其

- 吸磷量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 136-139.
- [10] 李少明, 赵平, 范茂攀, 等. 玉米大豆间作条件下氮素养分吸收利用研究[J]. 云南农业大学学报, 2004, 19(5): 572-574.
- [11] 周贤玉, 唐艺玲, 王志国, 等. 减量施氮与间作模式对甜玉米 AMF 侵染和大豆结瘤及作物氮磷吸收的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(8): 1 139-1 146.
- [12] 张晓娜, 陈平, 庞婷, 等. 玉米/豆科间作种植模式对作物干物质积累、分配及产量的影响[J]. 四川农业大学学报, 2017, 35(4): 484-490.
- [13] YANG W T, LI Z X, WANG J W, et al. Crop yield, nitrogen acquisition and sugarcane quality as affected by interspecific competition and nitrogen application[J]. *Field Crops Research*, 2013, 146: 44-50.
- [14] WANG R N, SUN Z X, ZHANG L Z, et al. Border-row proportion determines strength of interspecific interactions and crop yields in maize/peanut strip intercropping[J]. *Field Crops Research*, 2020, 253: 107 819.
- [15] LITHOURGIDIS A S, VLACHOSTERGIOS D N, DORDAS C A, et al. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems[J]. *European Journal of Agronomy*, 2011, 34(4): 287-294.
- [16] XIAO J X, YIN X H, REN J B, et al. Complementation drives higher growth rate and yield of wheat and saves nitrogen fertilizer in wheat and faba bean intercropping[J]. *Field Crops Research*, 2018, 221: 119-129.
- [17] 杨升辉, 邱家训, 徐长帅, 等. 间作种植模式对玉米大豆干物质积累与转运的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(21): 8 947-8 949, 8 964.
- [18] 蔡倩, 孙占祥, 郑家明, 等. 辽西半干旱区玉米大豆间作模式对作物干物质积累分配、产量及土地生产力的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 54(5): 909-920.
- [19] 高阳, 段爱旺, 刘祖贵, 等. 单作和间作对玉米和大豆群体辐射利用率及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(1): 7-12.
- [20] 杨楠, 郑毅, 汤利. 不同生育期玉米大豆间作土壤水势变化特征[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2011, 26(5): 689-693.
- [21] 刘朝茂, 李成云. 玉米与大豆间作对玉米叶片衰老的影响[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(2): 322-326.
- [22] 唐艺玲, 管奥湄, 周贤玉, 等. 减量施氮与间作大豆对华南地区甜玉米连作农田 N_2O 排放的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(12): 1 529-1 535.
- [23] 陈磊, 张朝春, 张信吉, 等. 施磷对不同间作体系间作优势与磷肥利用的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(6): 137-141.
- [24] 张雷昌, 汤利, 董艳, 等. 根系互作对间作玉米大豆氮和磷吸收利用的影响[J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(4): 611-618.
- [25] 胡铁刚, 张文明, 张冬冬, 等. 我国玉米主要间作技术研究进展[J]. 农家致富顾问, 2019(4): 84, 86.
- [26] 马骥, 马淑云, 程寅生, 等. 玉米大豆间作效应分析[J]. 西北农业大学学报, 1994, 22(4): 80-84.
- [27] 贺娟芬, 黄国勤, 廖萍, 等. 红壤旱地玉米、大豆间作生态系统的农田减灾效应[J]. 气象与减灾研究, 2006, 29(4): 31-35.
- [28] IBEAWUCHI I I. Intercropping-A food production strategy for the resource poor farmers[J]. *Nature and Science*, 2007, 5(1): 46-59.
- [29] 王玉正, 岳跃海. 大豆玉米间作和同穴混播对大豆病虫害发生的综合效应研究[J]. 植物保护, 1998, 24(1): 13-15.
- [30] LESOING G W, FRANCIS C A. Strip intercropping effects on yield and yield components of corn, grain sorghum, and soybean[J]. *Agronomy Journal*, 1999, 91(5): 807-813.
- [31] ADDO-QUAYE A A, DARKWA A A, OCLOO G K. Yield and productivity of component crops in a maize soybean intercropping system as affected by time of planting and spatial arrangement[J]. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 2011, 6(9): 50-57.
- [32] DOLJANOVIC Z, KOVACEVIC D, OLIJACA S, et al. Types of interactions in intercropping of maize and soya bean[J]. *Journal of Agricultural Sciences, Belgrade*, 2009, 54(3): 179-187.
- [33] 李超, 韩赞平, 张伟强. 华北平原玉米主要间作技术研究[J]. 中国种业, 2015(1): 13-14.
- [34] AGRONOMY. Studies from Sichuan Agricultural University update current data on agronomy (analysis of grain yield differences among soybean cultivars under maize-soybean intercropping)[J]. *Food & Farm Week*, 2020, 34(5): 267-284.
- [35] 范元芳, 刘沁林, 王锐, 等. 玉米-大豆带状间作对大豆生长、光合荧光特性及产量的影响[J]. 核农学报, 2017, 31(5): 972-978.
- [36] 吴限, 魏永霞. 玉米-大豆间作对作物生长动态及产量的影响[J]. 黑龙江水利, 2015, 1(6): 19-24, 28.
- [37] 张向前, 黄国勤, 卞新民, 等. 间作对玉米品质、产量及土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(22): 7 082-7 090.
- [38] AYISI K K, PUTNAM D H, VANCE C P, et al. Strip intercropping and nitrogen effects on seed, oil, and protein yields of canola and soybean[J]. *Agronomy Journal*, 1997, 89(1): 23-29.
- [39] 辛大伟, 陈庆山, 单继勋, 等. 不同大豆品种品质性状的动态积累[J]. 东北农业大学学报, 2006, 37(5): 592-595.
- [40] 吴兰. 密度、带型与播差期对玉米间作大豆产量及品质的影响研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2007.
- [41] 刘天学, 王振河, 董朋飞, 等. 玉米间作系统的生理生态效应研究进展[J]. 玉米科学, 2007, 15(5): 114-116, 124.
- [42] THOMPSON D J, STOUT D G, MIR Z, et al. Yield and quality of forage from intercrops of barley and annual ryegrass[J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 1992, 72(1): 163-172.
- [43] BLANKINSHIP J C, FONTE S J, SIX J, et al. Plant versus microbial controls on soil aggregate stability in a seasonally dry ecosystem[J]. *Geoderma*, 2016, 272: 39-50.
- [44] 王婷, 王强学, 李永梅, 等. 玉米大豆间作对作物根系及土壤团聚体稳定性的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2021, 36(3): 507-515.
- [45] SHI S J, RICHARDSON A E, O'CALLAGHAN M, et al. Effects of selected root exudate components on soil bacterial communities[J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2011, 77(3): 600-610.
- [46] 杨培岭, 罗远培, 石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报, 1993, 38(20): 1 896-1 899.
- [47] ERKTAN A, CÉCILLON L, GRAF F, et al. Increase in soil aggregate stability along a Mediterranean successional gradient in severely eroded gully bed ecosystems: Combined effects of soil, root traits and plant community characteristics[J]. *Plant and Soil*, 2016, 398(1): 121-137.
- [48] PÉRÈS G, CLUZEAU D, MENASSERI S, et al. Mechanisms linking plant community properties to soil aggregate stability in an experimental grassland plant diversity gradient[J]. *Plant and Soil*, 2013, 373(1): 285-299.
- [49] 章铁, 刘秀清, 孙晓莉. 栗茶间作模式对土壤酶活性和土壤养分的影 响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(4): 265-268.
- [50] 张智晖. 玉米/大豆间作模式对土壤酶活性及土壤养分的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(16): 9 706-9 707.
- [51] 李沐慧, 王媛媛, 陈井生, 等. 2015 年东北地区大豆田病害种类与危害程度调查研究[J]. 大豆科学, 2016, 35(4): 643-648, 671.
- [52] ALTIERI M, NICHOLLS C. Biodiversity and pest management in agroecosystems, second edition[M]. Abingdon: CRC LLC, 2004.
- [53] 任领, 张黎黎, 丁国辉, 等. 2BF-5 型玉米-大豆带状间作精量播种机设计与试验[J]. 河南农业大学学报, 2019, 53(2): 207-212, 226.
- [54] 高翔, 吴满, 潘汝谦, 等. 大豆/玉米间作模式及施肥水平对大豆霜霉病及大豆与玉米生长的影响[J]. 大豆科学, 2011, 30(6): 964-967.
- [55] Willey R W. Intercropping-its importance and research needs. Part I: Competition and yield advantages[J]. *Field Crop Abstracts*, 1979, 32(1): 1-10.
- [56] 刘朝茂, 李成云. 玉米与大豆、马铃薯间作对玉米叶片衰老、产量及病害控制的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(6): 75-78.
- [57] 张贺, 何依依, 吴家庆, 等. 玉米根系分泌物中关键抑菌物质对大豆疫霉的抑菌活性[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 124-130.

- [58] 叶方, 黄国勤. 红壤旱地不同农田生态系统结构对玉米病虫害的影响[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(1): 50-51.
- [59] 张明荣, 吴海英, 何泽民, 等. 四川套作大豆主要病虫害发生及危害情况与防控对策[J]. 大豆科技, 2013(4): 72-74.
- [60] VALLADARES F, NIINEMETS Ü. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences[J]. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2008, 39: 237-257.
- [61] 李隆. 间作物种间促进与竞争使用研究[D]. 北京: 中国农业大学, 1999.
- [62] 邵云, 张杰, 李春喜, 等. 限氮条件下玉米、大豆、花生光能截获和干物质积累分析[J]. 大豆科学, 2021, 40(3): 370-378.
- [63] 谭婷婷, 范元芳, 李盛蓝, 等. 套作模式下玉米荫蔽对大豆叶片叶绿体结构及光合特性的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(10): 2 360-2 367.

Research Progress on Economic and Environmental Effects of Corn-soybean Intercropping

LEI Yunxiang¹, YING Xiaocheng², SHEN Xinping^{1,2}, LIU Bin³, JIANG Min^{1*}

- (1. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology/Jiangsu Provincial Key Laboratory of Crop Cultivation Physiology, College of Agronomy, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;
2. Yangda (Changshu) Modern Agricultural Development Research Institute Co., Ltd., Suzhou 215500, China;
3. Rural Work Bureau of Dongbang Town, Changshu City, Suzhou 215500, China)

Abstract: This review synthesizes the economic and environmental impacts of maize-soybean intercropping systems relative to monoculture, serving as a scientific reference for advancing this practice in domestic agriculture. Through a systematic literature review, we collated and discussed various research findings on the economic and environmental ramifications of maize-soybean intercropping. The analysis revealed that maize-soybean intercropping enhanced land use efficiency, increased crop yields, improved agricultural income, reinforced the stability of agro-ecosystems, and reduced disease incidence. Maize-soybean intercropping stands as a vital agricultural technique with significant implications for sustainable development. Future studies should delve into the influence of varying row and plant spacings on intercropping efficiency, with a concerted focus on achieving comprehensive objectives such as food security, resource efficiency, ecological preservation, and economic improvement. The promotion of corn-soybean intercropping should be integrated with the overarching aim of fostering a robust and sustainable agricultural model.

Key words: corn-soybean intercropping; economic effects; environmental effects; soil water stability aggregate

责任编辑: 白芳芳