

Analysis of the Efficiency of Utilizing Solar Thermal Resources and Economic Benefits of Soybean and Corn Belt Composite Planting System

Zhenru An

Puyang County Liyuan Township Agricultural Service Center, Puyang, Henan, 457175, China

Abstract

As a paradigm of intercropping in food crops, soybean-corn strip intercropping demonstrates significant advantages in optimizing light-heat resource utilization, improving field ecological structure, and enhancing economic returns. With agricultural production shifting toward greener and more efficient practices, this system has garnered widespread attention due to its high land use efficiency, stable yields, and superior resource utilization compared to traditional monoculture. This study investigates the mechanisms of strip intercropping systems in photosynthetic efficiency, temperature regulation, and yield formation through analysis of spatial structure and light environment variations across different strip configurations. Economic evaluations from input-output perspectives further validate its benefits. The research reveals that this system optimizes light-heat resource allocation across spatiotemporal scales, increases land productivity, and delivers higher economic returns with minimal or no additional production costs, providing crucial insights for establishing sustainable food production systems.

Keywords

soybean; corn; intercropping; utilization of light and heat resources; economic benefits; planting model

大豆玉米带状复合种植系统的光热资源利用效率与经济效益分析

安振如

濮阳县梨园乡农业服务中心, 中国·河南 濮阳 457175

摘要

大豆玉米带状复合种植作为典型的粮食作物协同种植模式, 在提高光热资源利用效率、改善田间生态结构及提升经济效益方面具有显著优势。随着农业生产向绿色、高效方向转型, 该系统因其土地利用率高、产量稳定性强、资源利用效率优于传统单作而受到广泛关注。本文基于不同带幅组合下作物空间结构与光环境差异的分析, 探讨带状复合种植系统在光合效率、温度调节与产量形成中的作用机制, 同时从投入产出角度评估其经济效益表现。研究表明, 该系统能够在时空尺度上优化光热资源分配, 提升单位土地产出率, 并在不增加或少增加生产成本的情况下获得更高经济回报, 为构建可持续粮食生产体系提供了重要参考。

关键词

大豆; 玉米; 带状复合种植; 光热资源利用; 经济效益; 种植模式

1 引言

在农业生产面临气候多变、耕地资源紧缺及粮食需求增长等多重挑战的背景下, 传统单一栽培模式难以充分发挥土地潜力, 也难以协调作物生长与生态环境之间的关系。带状复合种植作为一种兼具空间优化与物种互补的栽培方式, 通过不同作物在带状结构中的交互作用, 能够有效改善光分布、热环境及养分利用结构, 使土地生产能力得到提高。在

我国的大豆—玉米复合种植体系中, 玉米的高秆优势与大豆对光敏感的特性构成互补关系, 使光热资源能够在不同时间节点与作物层次之间实现再分配。近年来相关研究指出, 通过合理配置带幅、密度与种植方向, 该模式可显著提升土地利用效率, 同时增强系统在逆境条件下的稳定性。分析其光热资源利用特征与经济效益, 对于推动复合种植模式在更大范围推广、提高粮食综合生产能力具有现实价值。

【作者简介】安振如(1980-), 男, 中国河南濮阳人, 高级农艺师, 从事农业植物栽培研究。

2 大豆玉米带状复合种植系统的结构特征与光环境调节机制

2.1 带幅配置对群体结构的影响

带状复合种植体系通过对带宽与行序的合理配置,使不同作物在空间结构上形成显著互补效应。由于玉米株高普遍高于大豆,带状排列使冠层呈现多层结构,上层由玉米主导吸收直射光,下层大豆主要利用散射光,实现群体光资源分层利用。当带幅较大时,玉米的光资源获取优势更明显,其群体结构趋于紧凑,有利于形成较高的叶面积指数;而较小带幅配置则增强大豆边行受光条件,提高其光合能力。不同带幅组合可改变冠层的通风与温度梯度结构,使局部微环境产生差异化调节效应。例如,合理的带幅能够减少冠层内部湿度积累,改善空气流动状况,促进光合作用与蒸腾活动的协调。总体而言,带幅配置对作物群体结构具有重要调节功能,为提高复合系统的光能与热能利用效率奠定基础。

2.2 光合有效辐射分布特征

光合有效辐射(PAR)在群体空间中的分布结构是决定作物光能利用效率的关键因素。带状复合模式通过改变作物的水平与垂直空间布局,使PAR在冠层内形成更合理的分布梯度。玉米位于上层,能够在生育前期吸收更多直射光,为籽粒形成积累充足的同化物;大豆则通过行间缝隙获得较高比例的散射光,而散射光恰符合大豆叶片光饱和点较低的生理特性,使其光能利用效率明显提高。值得注意的是,玉米拔节—抽雄期与大豆开花期的光能需求呈时间错位关系,使两作物在群体内的光能竞争降低,整体光合效率提升。带状结构还增强横向光传输,使中下层叶片获得更多透射光,从而提高了群体光合贡献。综上,复合系统通过改善PAR分布显著提高光能利用率[1]。

2.3 光合器官温度调节与蒸散环境优化

带状复合模式不仅改善光能分布,还通过优化蒸散结构调节光合器官温度,使作物处于更适宜的生理环境。玉米冠层较高,增强了通风条件,使叶片在高温条件下能够更快散热,降低热胁迫程度,从而维持较高的光化学效率。同时,通风性的提升减少了湿度积累,有助于降低病害发生率,提高群体健康状态。大豆位于较低空间层次,其叶片在玉米部分遮荫下避免了强光与高温的双重压力,使光合速率保持稳定。此外,系统内作物高度差异形成蒸腾梯度,使局部小气候的温湿度更加均衡,增强了光合作用与水分代谢的协调性。整体而言,复合体系通过温度调节与蒸散优化,形成更有利于作物生长的光热条件,提高了系统生产力。

3 大豆玉米复合系统的光合生理响应与资源利用效率

3.1 光合速率及光能转化效率提升机制

在大豆玉米带状复合种植体系中,两种作物在冠层结构和光能需求方面的互补特性,使群体层面的光能转化效率

明显提高。玉米位于复合群体的上层,其叶片能够接受更多的直射光,光合速率受光限制较小,光系统II活性保持较高,从而促进同化物大量积累。大豆主要分布于下层或边行,其叶片对散射光利用效率更高,散射光能够均匀分布至冠层内部,使叶绿体排列更加均衡,提高光化学效率与光合作用量。此外,两种作物在光谱利用范围上存在差异性,玉米对红光利用更强,而大豆在蓝光或散射光条件下光能吸收效率更高,使系统实现光能分层利用。由此,复合种植体系通过作物间的结构互补与光资源分配优化,使整体光能转化效率显著高于单作模式。

3.2 水分与热量利用效率的协同提升

光环境改善不仅影响光合作用过程,还对复合系统的水分与热量利用效率产生协同提升作用。玉米冠层结构较高,能够有效遮挡直射光,减少土表温度上升,从而降低水分蒸发损失。大豆植株覆盖地表面积较大,其根系分布浅广,有助于维持土壤结构和水分保持能力,使系统整体蒸散分配更合理。复合模式下,玉米的深根系能够吸收深层土壤水分,而大豆利用浅层水源,使水分吸收产生空间互补效应,避免两者形成强烈竞争。此外,改善后的微气候条件使田间温度梯度更加稳定,减少高温或土壤过热对作物生理过程的干扰,使其在关键生育阶段维持较高的生理活性。由此,复合系统在水分利用效率和热量分布方面均表现出明显优势[2]。

3.3 干物质积累与分配特征

在光、热、水资源协调利用的条件下,复合系统显著促进了两种作物干物质积累量的增加。玉米在复合体系中形成更大的叶面积指数,使其在群体光合能力上优于单作模式,干物质积累速度更快。大豆受益于较佳的光照条件,尤其是边行植株获得更多散射光,使有效分枝数和有效荚数显著提升,其光合产物供给能力增强。复合系统还优化了同化物的空间分布结构,玉米在灌浆期表现出更高的光合产物转运效率,使穗粒饱满度和籽粒均匀性提高。同时,大豆在群体中的营养竞争压力降低,使籽粒灌浆过程更加均衡。

4 带状复合种植对作物产量形成与互补效应的影响

4.1 玉米产量构成的变化规律

在大豆玉米带状复合系统中,玉米不同生育时期的光能获取能力与群体结构优化程度对其产量形成具有重要影响。相较于单作体系,复合模式改善了田间光热分布,使玉米植株在空间结构上获得更合理的光照梯度。边行玉米受遮阴影响较弱,能够获得更多直射光,从而增强光合能力,提高籽粒灌浆速率,表现出较高的干物质积累效率。而中行玉米的叶片分布与群体结构更为紧凑,在散射光条件下仍能保持较强的同化能力,使穗位高度、穗长和穗粒数等指标稳定。复合系统改善了植株通风条件,降低了病害发生率,使灌浆后期的光合同化物转运效率提高[3]。

4.2 大豆产量形成与光补偿效应

在复合种植系统中,大豆生长环境相较单作有明显变化,虽然部分行块的植株密度下降,但光照条件显著优化,使其产量构成要素得到提升。大豆具有较强适应散射光条件的能力,复合模式下改善的光环境促进其有效分枝形成,使分枝数及每株荚粒数显著增加。同时,较高的光补偿点使大豆在弱光条件下仍可维持较高净光合速率,从而增强光合产物积累。复合系统还改善了大豆的光能分配结构,使上层叶片光饱和点提升,下层叶片获得更多散射光,增强群体光能利用效率。在资源竞争相对缓和的环境下,大豆籽粒饱满度及百粒重普遍提高。

4.3 系统产量与土地等效比(LEER)分析

土地等效比(LEER)是评价复合种植模式土地利用效率的关键指标。大量研究表明,大豆玉米带状复合系统的LEER通常大于1.2,有些研究结果甚至超过1.5,显示该系统在单位面积上的综合产量显著高于两种作物各自单作的产量总和。复合系统中作物间的时空互补效应是土地生产力提升的核心原因:玉米在高层吸收更多直射光,而大豆在中下层利用散射光,实现光谱资源的分层利用,从而显著提高群体光能利用效率。同时,根系分布差异减少了水分与养分的正面竞争,使两种作物在资源利用上具有协同关系。此外,大豆固氮作用提升了土壤氮素供应,对玉米产量形成具有间接促进作用[4]。

5 带状复合种植系统的经济效益与推广价值

5.1 投入成本与生产收益分析

大豆玉米带状复合种植系统在田间配置与管理方式上相较单作模式略为复杂,需要在行距设计、播种方式及轮作节律上进行适当调整,因此在劳动力投入和管理环节上成本略有增加。然而,复合系统能够更高效地利用光热资源,使两种作物在时间与空间上实现互补生长,从而显著提升单位面积产量。由于作物种间竞争被有效弱化,大豆固氮作用增强玉米的氮素供应,使肥料利用率提高,补充施肥需求相对减少。此外,带状配置可改善田间微环境,使病虫害发生率下降,减少农药使用量和防治成本,从而提升净收益。综合来看,虽然复合系统的初期管理复杂度略有增加,但在产量提升、投入减少及资源利用效率提高等方面的优势,使其经济效益明显优于传统单作模式。

5.2 综合效益评估:生态、经济与社会效益“三维”增长

大豆玉米带状复合种植不仅具有显著的产量效益,还能实现生态、经济与社会效益的多重提升。在生态层面,该系统强化了作物间的互补效应,可改善土壤结构,提高有机

质含量与微生物多样性,同时增强土壤的保水保肥能力,降低农业生产对化肥的依赖,从而减少生态风险。在经济效益上,复合系统通过提升土地资源利用率,使农民在相同面积上获得更高总产值,显著增加经营收益。在社会效益方面,复合种植模式适应气候变化背景下的绿色农业发展需求,有助于推动农业减排、促进作物多样化布局,并为农户提供更稳定的收入来源。其生态友好性也契合当前可持续农业的发展方向,具有良好的示范推广价值[5]。

5.3 推广应用面临的限制与发展建议

尽管带状复合种植模式优势显著,但其在大规模推广过程中仍面临一定制约因素。例如,部分农业区域机械化程度较高,现有播种、管理与收获机械多依照单作结构设计,与带状复合系统兼容性不足,导致田间作业效率下降。此外,部分地区农户对复合种植技术了解不足,缺乏统一的栽培技术规范,使实际操作差异较大,影响产量稳定性。面对上述问题,需要从多方面推动发展:一是加强机械设备改进与适配,推动研发兼容复合种植的播种与收获机具;二是建立标准化的栽培技术流程,形成可复制、可推广的模式;三是通过政策激励与技术培训,提高农户参与度,推动区域间的技术合作与示范推广。只有通过技术、管理与政策多层面协同,复合种植模式才能在更大范围内适应现代农业生产需求,实现规模化、可持续发展。

6 结语

大豆玉米带状复合种植模式通过优化空间配置,使光热资源在时间与空间尺度上得到更高效的利用。这一模式不仅提升光合效率、群体稳定性和资源利用率,还在提高产量与经济效益方面表现突出。其显著的互补效应与生态优势表明,该模式具有广泛应用前景。未来研究可围绕带幅优化、作物品种选择、机械化适应性及系统生态效应等方面展开,为构建可持续粮食生产体系提供更完整的技术路径。

参考文献

- [1] 孔玮琳,高春华,赵逢涛,等.施氮量与播后滴灌量对玉米大豆带状复合种植系统产量、经济效益及水分利用特性的影响[J].中国农业科学,2025,58(23):4905-4919.
- [2] 张梦雨,何在菊,王星星,等.玉米大豆带状复合种植模式下不同株高玉米品种搭配对群体冠层光分布及玉米光合特性的影响[J].中国农业科学,2025,58(23):4886-4904.
- [3] 王昕彤.大豆玉米带状复合种植一体化耕播机设计与试验[D].扬州大学,2025.
- [4] 王爱静.信息技术促进玉米与大豆带状复合种植系统的资源优化配置[J].农业工程技术,2024,44(29):89-90.
- [5] 徐宇飞.大豆玉米带状复合种植分驱变量施肥系统设计与试验[D].河南农业大学,2024.