

玉米-大豆带状复合种植中带宽与行比配置对群体产量及光能利用率的影响

耿雅楠

江苏省南通市通州区作物栽培技术指导站, 江苏南通, 中国

【摘要】分析玉米-大豆带状复合种植中带宽与行比配置对群体产量及光能利用率的影响机制。解析带宽配置对根系互作和冠层光分布的调控效应, 以及行比变化对光资源分配和边际效应的影响, 揭示了两种作物在资源竞争与互补中的动态平衡规律。适度的带宽扩展可优化土壤养分空间利用效率, 而行比调整能改善冠层光能截获特性, 二者的协同配置通过生态位分化显著提升系统生产力。基于生态位理论构建的整合模型表明, 当带宽与行比参数组合使玉米和大豆的时空资源利用互补性最大化时, 群体光能转化效率和产量达到最优。

【关键词】玉米-大豆带状复合种植; 带宽配置; 行比优化; 群体产量; 光能利用率

1. 引言

玉米-大豆带状复合种植作为一种高效的间作模式, 通过优化资源利用和生态互补性, 显著提升了农田生产潜力。带宽与行比配置是该模式的核心技术参数, 直接影响作物群体的空间竞争关系、光能截获效率及最终产量形成。现有研究多聚焦单一作物或简化配置, 对复合群体中带宽与行比的协同调控机制缺乏系统性探讨。解析不同配置对群体产量及光能利用率的调控路径, 为复合种植模式的精准设计提供理论依据。

2. 带宽配置对作物群体生产力的影响机制

2.1 带宽对资源竞争与互补关系的空间调控

在玉米-大豆带状复合种植系统中, 带宽配置作为关键的结构参数, 直接影响两种作物的空间分布格局, 进而调控其资源竞争与互补关系。带宽较窄时, 玉米和大豆的根系与冠层空间重叠程度较高, 导致光、水、养分的竞争加剧, 尤其在大豆的生殖生长期, 玉米的遮荫效应可能显著抑制其光合效率。然而, 适度的带宽扩展能够优化作物的生态位分离, 使玉米的强光竞争特性与大豆的耐阴特性形成互补, 从而降低种间竞争强度, 提高资源利用效率。此外, 带宽的变化还会影响土壤微环境的异质性, 如水分和养分的空间分布, 进一步调节根系的空间拓展策略。较宽的带宽可能促进大豆根系的侧向生长, 增强其对深层养分的吸收能力, 而玉米则能维持其垂直根系的竞争优势, 减少与大豆的直接资源竞争。因此, 合理的带宽设计需综合考虑两种作物的生长特性, 在竞争抑制与资源

互补之间寻求平衡, 以最大化群体的整体生产力^[1]。

2.2 不同带宽下冠层结构与光分布特征的动态响应

在玉米-大豆带状复合种植系统中, 带宽配置通过调节两种作物的空间分布, 直接影响冠层结构的形成与光能分配模式。当带宽较窄时, 玉米的高秆特性导致其对大豆形成明显的遮荫效应, 使得大豆冠层处于弱光环境, 光合有效辐射的空间分布呈现显著的非均匀性。玉米冠层上部截获大部分直射光, 而大豆冠层则主要依赖散射光, 这种光竞争关系可能抑制大豆的光合作用效率, 特别是在生殖生长期, 直接影响其结荚数与籽粒充实度。随着带宽的增加, 冠层间的空间隔离程度提高, 玉米的遮荫范围减小, 大豆冠层能够获取更多的直射光, 光分布趋于均匀化, 有利于提高群体整体的光能利用率。此外, 带宽的变化还会影响冠层的垂直结构, 较宽的带宽可能促进大豆的侧向生长, 形成更为开放的冠层结构, 减少叶片重叠, 降低光抑制效应。同时, 玉米冠层在较宽带宽下仍能维持较高的光截获率, 但光能利用效率可能因边际效应而略有下降。因此, 合理的带宽设计需要在玉米的高光效需求与大豆的耐阴适应性之间寻求平衡, 以优化群体冠层结构, 实现光能资源的高效分配与利用^[2]。

2.3 带宽与根系互作的养分利用效率关联性分析

在玉米-大豆带状复合种植系统中, 带宽配置通过调节两种作物根系的分布格局, 深

刻影响着土壤养分的动态利用效率。玉米作为深根系作物，其主根垂直下扎能力较强，在较窄带宽条件下会与大豆的浅层须根系形成明显的养分竞争，特别是在氮、磷等移动性较差的元素上表现尤为突出。这种竞争关系会导致大豆根系被迫向更浅层土壤拓展，降低其对深层养分的获取能力。随着带宽的增加，两种作物的根系生态位分离度提高，玉米根系主要占据深层土壤空间吸收矿质养分，而大豆根系则在中上层土壤中通过根瘤固氮作用补充氮源，形成养分互补效应。大豆根系的分泌物还能促进土壤微生物活性，改善玉米根际微环境，提高磷等难溶性养分的生物有效性。这种基于带宽调控的根系互作机制，不仅优化了不同土层养分的空间利用效率，还通过种间互惠关系减少了施肥需求。因此，科学设计带宽参数需要综合考虑两种作物根系的形态可塑性、养分吸收策略以及根际生物过程的协同作用，才能最大化复合系统的养分利用效^[3]。

3. 行比配置对光能利用效率的调控路径

3.1 行比对冠层光截获率及光合有效辐射分配的影响

在玉米-大豆带状复合种植系统中，行比配置作为调控光资源分配的关键因素，通过改变两种作物的空间排列方式直接影响冠层的光截获特性与光合有效辐射的时空分布。玉米作为高秆作物，其冠层对光线的拦截具有显著优势，而行比的调整将决定这种优势对大豆冠层的遮蔽程度。当玉米行数比例较高时，密集的玉米植株形成连续的光屏障，导致大豆冠层长期处于弱光环境，光截获率显著降低，尤其在太阳高度角较大的正午时段，PAR的垂直梯度分布更为陡峭。相反，适当增加大豆行数比例可改善冠层结构的通透性，使散射光更均匀地分布在大豆群体中，缓解玉米遮荫的负面影响。行比变化还会影响光质的空间异质性，玉米冠层对蓝紫光的优先吸收可能改变透射至大豆冠层的光谱组成，进而调节其光形态建成与光合适应策略。最优行比配置应使玉米维持较高的光能截获效率，同时确保大豆获得足够的PAR以满足其生殖生长的需求，从而实现两种作物光能利用的时空互补，最大化群体的整体光能转化效率。这种基于行比的光资源调控机制，为构建高产高效的复合种植模式提供了重要的理论依据^[4]。

3.2 行比变化引发的边际效应与群体微环境

互作

在玉米-大豆带状复合种植系统中，行比配置的调整会显著影响作物群体的边际效应，进而重塑田间微环境的空间格局。当玉米行数比例增加时，其边际植株因获得更充足的光照和通风条件，往往表现出显著的光合优势，形成所谓的“边际增产效应”。这种效应在密集种植条件下会被削弱，导致群体内部光竞争加剧，特别是大豆植株因玉米的遮荫而处于不利的光环境。行比变化还会改变田间小气候的垂直与水平分布。较高比例的玉米行会增强冠层的郁闭度，降低群体内部的空气流通速率，使近地层湿度升高，温度日较差减小，这可能抑制大豆的蒸腾作用，影响其碳同化效率。另一方面，适当增加大豆行数比例可改善群体下部的通风透光条件，减少病虫害发生的风险，并促进CO₂在冠层中的扩散与再分配。值得注意的是，行比配置还会通过改变土壤-植物-大气连续体的能量平衡来影响水分利用效率。玉米边际植株的旺盛生长可能加剧其对土壤水分的竞争，而合理配置的大豆行则可利用其固氮特性改善土壤微环境，形成养分互补。因此，优化行比设计需要综合考虑边际效应的空间分布规律及其对群体微环境的反馈机制，在光、温、湿、气等生态因子的协同调控中寻找平衡点，以实现资源的高效利用与产量的协同提升^[5]。

3.3 最优行比阈值与光能转化效率的量化关系

在玉米-大豆带状复合种植系统中，确定最优行比阈值是实现光能资源高效转化的核心科学问题。这一阈值的本质在于平衡两种作物对光能的竞争与互补关系，使群体光能转化效率达到最大化。当玉米行数占比过高时，虽然其单株光能截获率提升，但大豆群体因长期处于遮荫环境，光合活性受到显著抑制，导致系统整体的光能利用率呈现“此消彼长”的非线性特征；反之，若大豆行数过多，虽能改善其受光条件，但玉米群体的边际增产效应和光能截获优势将被削弱，同样不利于总生产力的提升。理论研究表明，最优行比应使玉米维持较高光合效率的同时，确保大豆获得足够的光合有效辐射以满足其生殖生长需求，此时两种作物的光能利用呈现时空互补效应。这种互补性体现在：玉米在生长前期快速形成冠层截获光能，而大豆则在玉米遮荫较小的生育关键期充分利用透射光

和散射光。最优行比阈值还受品种特性、种植密度和气候条件等因素的调制，例如耐阴性强的大豆品种可适应更高比例的玉米行数。通过建立光能分配模型与产量响应函数，可以量化不同行比配置下光能转化效率的动态变化规律，为田间配置优化提供理论依据。这一研究不仅对提高复合种植系统生产力具有重要意义，也为理解作物间生态位分化与资源利用的协同机制提供了新的视角^[6]。

4. 带宽与行比的协同效应对群体产量的贡献

4.1 复合配置下资源分配与竞争平衡的优化机制

在玉米-大豆带状复合种植系统中，带宽与行比的协同配置通过多维度的生态位分化，构建了资源分配与种间竞争的全新平衡机制。这一机制的核心在于时空两个维度上对光、水、养分等关键资源的再分配：在垂直空间上，带宽的合理设置使玉米的深根系与大豆的浅根系形成土壤养分利用的互补格局，而行比的优化则调控了高秆玉米与矮秆大豆在冠层光资源获取上的分层利用。这种三维立体的资源配置模式有效降低了种间竞争强度，同时放大了两种作物的生态位互补效应。不同生育期的资源需求动态变化进一步强化了协同配置的价值——玉米在生长前期对光能的优先截获与其快速生长的特性相匹配，而大豆在玉米冠层形成后则转向利用系统内产生的散射光与透射光，这种时序上的资源利用差异显著提升了群体的整体光能利用率。此外，合理的带宽行比组合还能激发边际效应的正向作用，通过优化田间微环境，为两种作物创造更适宜的生长条件。从系统论视角看，这种协同配置实质上是构建了一个“竞争-互补”动态平衡的农业生态系统，其优化程度直接决定了群体产量形成的效率上限，为高产高效种植模式的创新设计提供了重要的理论依据和实践指导^[7]。

4.2 带宽-行比交互作用对产量构成要素的差异化影响

玉米-大豆带状复合种植系统中，带宽与行比的交互作用通过调控资源分配格局，对两种作物的产量构成要素产生显著的差异化影响。这种影响主要体现在三个方面：首先，在玉米产量形成方面，较窄带宽配合高玉米行比会增强边际效应，促进穗位叶的光合能力，提高单株穗粒数和百粒重，但可能导致群体密度过大而抑制整体产量潜力；反之，适度扩宽带宽可优化群体结构，通过改善通

风透光条件来稳定穗部发育。其次，大豆产量对配置参数的变化更为敏感，带宽增加可缓解玉米遮荫，使主茎结荚数和单株粒数显著提升，而行比优化则能确保大豆在生殖生长期获得充足的光合有效辐射。带宽-行比组合会通过改变两种作物的竞争强度来调节其资源分配策略——窄带宽高玉米行比促使大豆将更多同化物分配给茎秆伸长以竞争光照，而宽带宽平衡行比则有利于大豆将光合产物向籽粒转移。这种交互作用还体现在时间维度上：早期生长的玉米在窄带宽条件下会形成对大豆的强烈竞争压制，而后期带宽效应则通过影响大豆结荚期的光环境来决定最终产量。因此，最优配置需根据不同生育期两种作物产量要素形成的敏感阶段进行动态调整，以实现群体产量的最大化^[8]。

4.3 基于生态位理论的配置参数整合模型构建

在玉米-大豆带状复合种植系统中，基于生态位理论构建的配置参数整合模型为优化群体生产力提供了系统的理论框架。该模型的核心在于量化两种作物在时间、空间和功能维度上的生态位分化与重叠程度，从而解析带宽与行比配置对资源利用效率的协同影响机制。从空间维度看，模型通过引入根系分布函数和冠层光截获算法，刻画不同带宽下土壤养分与光资源的垂直分层利用特征——玉米凭借深根系和高冠层占据上层生态位，而大豆则利用浅根系和耐阴性适应下层生态位，二者的生态位互补性随带宽增加而增强。时间维度上，模型整合了两种作物的生育期差异，重点分析玉米快速生长期与大豆生殖生长关键期的资源竞争动态，揭示出行比配置通过调节光热资源的时间分配来影响产量形成的路径。功能维度方面，模型纳入大豆固氮效应与玉米高光效特性的互惠关系，量化生物学过程对资源配置的反馈调节。通过耦合这三维度的生态位参数，模型最终输出带宽-行比的优化组合区间，该区间能够使两种作物在资源竞争最小化的前提下实现生态位互补最大化，为不同生态区的种植模式设计提供普适性理论工具。

5. 结论

玉米-大豆带状复合种植中，带宽与行比配置通过重塑作物空间布局与资源分配格局，显著影响群体产量与光能利用率。研究表明，适度的带宽扩展可缓解种间竞争并促进生态位互补，而行比优化则能有效协调光能截获

与转化效率。未来需进一步量化配置参数与环境因子的耦合效应，为区域化种植模式的精准设计提供更全面的理论支撑。

参考文献

- [1]赵营,马英,刘晓彤,等.玉米大豆带状复合种植下玉米适宜栽培密度研究[J].现代农业科技,2025,(08):23-26.
- [2]唐利忠,吴岳庭,蒋艺,等.玉米大豆带状复合种植下不同复种模式比较[J].耕作与栽培,2025,45(03):86-88.
- [3]李相花,范彩英,徐芹,等.不同玉米大豆种植模式对作物产量、经济效益与土壤养分的影响[J].中国农学通报,2025,41(06):22-28.
- [4]张夏秋.玉米大豆带状复合种植的产量影响及效益分析[J].粮油与饲料科技,2024,(11):50-52.
- [5]林青樵,程萌,郝玉波,等.玉米大豆间作种植密度对玉米光合特性及产量的影响[J].黑龙江农业科学,2024,(11):1-6.
- [6]张玉梅,张鑫红,郑茹梅,等.玉米大豆带状复合种植模式下不同大豆品种的农艺性状和产量性状比较[J].天津农林科技,2024,(04):19-22.
- [7]夏加胜,贾世平,陆英燕,等.玉米大豆带状复合种植模式密度配置优化研究[J].耕作与栽培,2024,44(03):100-102+104.
- [8]刘兵.玉米大豆带状复合种植的产量与效益分析[J].农村实用技术,2024,(05):92-94.