

水肥一体化灌溉技术对作物产量及品质的影响

史园园 湛玉梅

新疆新源县农业农村局 新疆 伊犁 835800

摘要: 水肥一体化灌溉技术通过构建水肥耦合供应体系,实现养分迁移与水分运移的动态匹配。本文详细阐述了该技术对作物营养吸收、生长发育及群体结构的优化作用,揭示了在促进作物产量提升中的多路径机制;同时从营养成分积累、风味物质形成及外观形态改善等方面,分析了技术对作物品质的改善路径。进一步探讨了水肥配比方式、灌溉施用时期及作物品种特性等关键因素对技术效果的影响,为水肥一体化技术的精准应用与推广提供理论支撑。

关键词: 水肥一体化;作物产量;作物品质;养分吸收;群体结构

引言: 传统灌溉与施肥方式存在养分利用率低、环境污染风险高及作物生长调控粗放等问题,难以满足现代农业对资源高效利用与作物品质提升的需求。水肥一体化灌溉技术通过将肥料溶解于灌溉水中,实现水肥同步精准供应,成为破解上述难题的关键技术路径。该技术不仅能通过优化养分迁移路径减少资源浪费,还可通过调控作物生长微环境促进生理代谢平衡,进而实现产量与品质的协同提升。然而,技术效果的发挥受水肥配比、灌溉时期及作物品种等多因素制约,系统解析其作用机制与影响因素,对推动技术精准落地具有重要意义。

1 水肥一体化灌溉技术的核心作用机制

1.1 水肥协同供给的内在逻辑

水肥一体化灌溉技术通过构建水肥耦合供应体系,实现养分迁移与水分运移的动态匹配。传统灌溉方式下,肥料溶解后随水分自由扩散,易导致养分在土壤表层或深层非目标区域积累,造成资源浪费与环境污染^[1]。而水肥一体化技术利用滴灌或微喷系统,将肥料精准注入灌溉水流,形成均匀的水肥溶液。这一过程通过精细地控制水流速度与肥料注入量,使养分随水分以稳定浓度梯度向根系分布区迁移,既避免了养分在土壤中的固定化损失,又减少了因水分蒸发导致的养分浓度骤变。研究表明,该技术可使氮素利用率提升,主要得益于水肥溶液在土壤中的均匀分布减少了硝态氮的淋失风险,同时维持了根际土壤溶液的适宜浓度,促进了作物对养分的持续吸收,为作物的高产优质奠定了坚实的物质基础。

1.2 对作物生长环境的调控作用

水肥一体化技术通过精准调控土壤水热状况,为作物生长创造适宜的微环境。在水分调控方面,该技术采用局部湿润灌溉方式,仅在根系活动层形成湿润区,既满足了作物需水要求,又降低了土壤表层湿度,从而抑制了病原菌孢子萌发与病虫害发生。此外,局部湿润灌

溉减少了土壤水分蒸发面积,降低了田间空气湿度,有助于改善冠层通风条件,减少高温高湿引发的生理性病害。在养分调控方面,技术通过分阶段调整肥料配比与供应量,维持了土壤溶液中养分浓度的动态平衡。例如,在作物营养生长阶段增加氮素供应,促进茎叶发育;在生殖生长阶段提高磷钾比例,增强光合产物向籽粒的转运能力。这种精准的环境调控方式,不仅优化了作物生长条件,还通过减少化肥使用量降低了土壤盐渍化风险,保障了土壤生态系统的健康稳定。

1.3 对作物生理代谢的调节路径

水肥一体化技术通过影响作物体内激素平衡与酶活性,调控关键生理代谢过程。在水分供应方面,适度干旱胁迫可诱导作物合成脱落酸,促进气孔关闭以减少水分散失,同时增强根系对水分的吸收能力。当水分与养分协同供应时,脱落酸与细胞分裂素的平衡被打破,细胞分裂素合成增加,促进细胞分裂与伸长,从而优化作物冠层结构。在养分吸收方面,水肥一体化技术通过维持根际适宜的氧化还原电位,增强了硝酸还原酶与谷氨酰胺合成酶的活性,加速了氮素同化过程。此外,技术通过提高土壤溶液中钙镁离子的有效性,稳定了细胞膜结构,增强了作物对逆境的抵抗能力。这些生理代谢的调节最终表现为作物光合效率提升、干物质积累增加以及产量构成因素优化,为作物的高产优质提供了内在的生理保障。

2 水肥一体化灌溉技术对作物产量的影响路径

2.1 对作物营养吸收的影响

水肥一体化灌溉技术通过优化养分供应方式,显著提升了作物对矿质元素的吸收效率。传统施肥方式下,肥料在土壤中易发生固定或淋失,导致养分浓度时空分布不均,作物根系难以高效摄取^[2]。而水肥一体化技术将肥料溶解于灌溉水中,以溶液形式精准输送至根系活

动层,使养分随水分迁移形成稳定浓度梯度。这种供应模式减少了养分在土壤颗粒表面的吸附固定,尤其降低了硝态氮因灌溉或降雨导致的深层淋失风险。同时,技术通过分阶段调控肥料配比,维持了根际土壤溶液中氮、磷、钾等元素的动态平衡。例如,在作物营养生长阶段增加氮素供应,可促进根系对氮的主动吸收;在生殖生长阶段提高磷钾比例,则能增强光合产物向籽粒的转运能力。研究表明,该技术可使作物对氮、磷的吸收量提升,养分利用效率的改善直接转化为干物质积累量的增加,为作物产量的形成提供了充足的物质储备,是提高作物产量的关键环节。

2.2 对作物生长发育的影响

水肥一体化技术通过精准调控水肥供应,优化了作物生长发育进程。在水分管理方面,技术采用局部湿润灌溉,仅在根系分布区形成适宜的湿润环境,避免了传统大水漫灌导致的土壤过湿或干旱交替现象。这种水分供应模式减少了根系因缺氧或脱水造成的损伤,维持了根系活力与吸收功能,进而保障了地上部茎叶的正常生长。在养分调控方面,技术通过持续供应低浓度水肥溶液,避免了传统施肥后土壤溶液浓度骤升对根系的伤害,同时防止了因养分供应中断导致的生长停滞。例如,在作物苗期,适度控制水分供应可诱导根系向下生长,扩大吸收范围;在开花坐果期,增加磷钾供应能促进花芽分化与果实膨大。这种分阶段、差异化的水肥调控,使作物营养生长与生殖生长协调推进,延长了有效生长周期,为作物产量的提升创造了时间条件,是提高作物产量的重要保障。

2.3 对作物群体结构的影响

水肥一体化技术通过改善个体生长状况,优化了作物群体结构,进而提高了群体光能利用效率。传统灌溉方式下,土壤水分分布不均易导致植株生长差异显著,群体内通风透光条件恶化,引发徒长或早衰现象。而水肥一体化技术通过均匀供应水肥,使群体内个体生长趋于一致,茎叶分布更加合理。例如,在玉米种植中,该技术可促进植株均匀拔节,增加株高与穗位高的整齐度,优化冠层结构;在果树栽培中,技术能维持树体中庸生长,避免枝叶过密导致的光竞争。此外,技术通过降低田间湿度,减少了病虫害发生,进一步保障了群体健康生长。群体结构的优化使光能截获率提升,光合产物分配更趋合理,最终表现为单位面积穗数、粒数或果数的增加,直接推动了作物产量水平的提高,是实现作物高产的重要途径。

3 水肥一体化灌溉技术对作物品质的影响路径

3.1 对作物营养成分积累的影响

水肥一体化灌溉技术通过精准调控养分供应形态与比例,显著优化了作物体内营养成分的积累过程^[3]。传统施肥方式下,养分释放速率与作物需求难以匹配,易导致氮素过量积累而磷钾供应不足,影响蛋白质、淀粉等大分子物质的合成。而水肥一体化技术可根据作物生长阶段动态调整肥料配比,例如在营养生长阶段增加氮素供应以促进氨基酸合成,在生殖生长阶段提高磷钾比例以增强光合产物向籽粒的转运能力。这种分阶段调控使作物对养分的吸收更趋高效,氮素利用效率的提升直接促进了蛋白质含量的增加,而磷钾的充足供应则优化了淀粉分支酶活性,改变了直链与支链淀粉的比例结构。此外,技术通过维持根际适宜的氧化还原环境,增强了作物对钙、镁、铁等微量元素的吸收,这些元素作为酶活性中心或结构组分,参与了维生素、糖分等次生代谢产物的合成过程,进一步丰富了作物的营养组成。

3.2 对作物风味物质形成的影响

水肥一体化技术通过调控水分与养分的协同供应,为作物风味物质的形成创造了适宜的代谢环境。风味物质的合成往往与作物体内的碳氮代谢平衡密切相关,而水肥一体化技术通过精准控制灌溉量与肥料浓度,避免了传统灌溉导致的土壤湿度剧烈波动对代谢途径的干扰。例如,适度水分胁迫可诱导作物合成脯氨酸、可溶性糖等渗透调节物质,这些物质不仅是重要的风味前体,还能通过参与美拉德反应增强果实或籽粒的香气复杂度。在养分供应方面,技术通过增加钾肥施用量,促进了糖分向果实或籽粒的转运与积累,而钾离子作为多种酶的激活剂,还参与了芳香物质合成相关酶的活性调节。此外,技术通过降低田间湿度,减少了病原菌侵染风险,避免了因病害导致的风味物质降解,保障了风味成分的稳定性与丰富度。

3.3 对作物外观形态的影响

水肥一体化技术通过优化水肥供应的时空分布,显著改善了作物的外观形态特征。传统灌溉方式下,土壤水分不均易导致植株生长差异显著,引发果实大小不一、着色不均等问题,而水肥一体化技术通过均匀供应水肥,使群体内个体生长趋于一致,果实或籽粒的发育周期更趋同步。例如,在果实膨大期,技术通过持续供应低浓度水肥溶液,避免了因水分骤变导致的细胞破裂或萎缩,保障了果实的饱满度与均匀性。在着色阶段,技术通过控制灌溉量降低田间湿度,促进了花青素等色素物质的合成与积累,同时减少了因湿度过高引发的果面病菌侵染,使果实着色更加鲜艳均匀。此外,技术通过增强植株抗逆性,减少了因干旱或渍涝导致的生理性病害,如

裂果、日灼等,进一步提升了作物的商品外观价值^[4]。良好的外观形态不仅提高了作物的商品性,还增加了消费者的购买欲望,对提高作物的经济效益具有重要意义。

4 影响水肥一体化技术作用发挥的关键因素

4.1 水肥配比方式

水肥配比方式是决定技术效果的核心环节,直接影响养分供应效率与作物吸收效果。传统施肥中,养分释放速率与作物需求常存在错位,而水肥一体化技术需根据作物生长阶段与土壤肥力状况动态调整肥料配比。例如,在营养生长阶段,作物对氮素需求较高,此时应适当提高氮肥比例以促进茎叶发育,但需避免过量导致徒长;在生殖生长阶段,磷钾需求上升,需增加磷钾肥比例以支持花芽分化与果实膨大。此外,微量元素配比同样关键,钙、镁、铁等元素虽需求量低,却参与酶活性调节与细胞结构稳定,缺失会导致生理病害。配比方式还需考虑土壤类型,黏土保肥性强,可适当减少施肥频率;砂土保肥性差,需采用少量多次策略。精准的配比设计能维持根际养分浓度稳定,减少固定与淋失,提升养分利用效率,是充分发挥水肥一体化技术作用的关键因素之一。

4.2 灌溉施用时期

灌溉施用时期的精准把控是技术发挥效能的重要保障,需与作物需水需肥规律紧密结合。作物不同生长阶段对水分与养分的敏感度存在差异,苗期根系发育不完善,需控制灌溉量以避免低温高湿引发的病害,同时少量多次供应养分以促进根系下扎;开花坐果期对水分与养分需求达到峰值,需增加灌溉频次与肥料供应量,但需防止水分过量导致落花落果;成熟期则应减少灌溉量,降低田间湿度以促进糖分积累与果实着色,同时停止氮肥供应以避免贪青晚熟。灌溉时期还需考虑环境因素,高温季节宜在早晚进行灌溉,减少水分蒸发损失;低温季节则选择中午灌溉,避免地温骤降影响根系活性。施用时期的科学安排能确保水肥供应与作物需求同步,避免资源浪费与环境风险,是提高水肥一体化技术应用效果的重要措施。

4.3 作物品种特性

作物品种特性是影响技术适配性的内在因素,不同品种对水肥的响应机制存在显著差异。耐密型品种群体密度高,需通过水肥一体化技术优化群体结构,避免个体间竞争导致养分分配不均;早熟品种生长周期短,需缩短水肥供应周期,集中满足关键期需求;晚熟品种则需延长供应时间,维持后期养分供应以防止早衰^[5]。品种的根系特性同样关键,深根系品种可扩大灌溉范围以引导根系下扎,浅根系品种则需控制灌溉深度以避免养分淋失。此外,品种的抗逆性差异影响技术策略,抗旱品种可适当减少灌溉量以激发自身调节能力,而感病品种则需通过精准水肥管理增强抗性。对品种特性的深入理解能实现技术参数的个性化调整,最大化发挥水肥一体化技术的增产提质潜力,是提高技术应用针对性和有效性的重要前提。

结束语

水肥一体化灌溉技术通过水肥协同供给、生长环境调控及生理代谢调节等多维度作用,显著提升了作物产量并优化了品质特性。其核心优势在于实现了养分迁移与作物需求的动态匹配,减少了资源浪费与环境污染风险。技术效果的充分发挥需以科学的水肥配比、精准的灌溉时期选择及适配的作物品种管理为支撑。未来研究应进一步聚焦于技术参数的智能化调控与区域适应性优化,以推动水肥一体化技术在不同生态区的规模化应用。

参考文献

- [1]刘志远,周晨莉,李福强,等.茄果类蔬菜作物水肥一体化研究进展综述[J].水利规划与设计,2025(3):114-118.
- [2]葛承喧,郭世乾,贾蕊鸿,等.浅埋滴灌水肥一体化技术对小麦产量的影响[J].农业科技与信息,2024(1):1-6.
- [3]张峰,赵东.基于精准灌溉系统的黄瓜栽培水肥一体化技术研究[J].世界热带农业信息,2025(5):54-56.
- [4]陈在明.宿州夏玉米浅埋滴灌水肥一体化技术应用[J].农业工程技术,2025,45(8):35-36,68.
- [5]杜晓利.基于精准灌溉系统的黄瓜栽培水肥一体化技术研究[J].中国农机装备,2025(1):86-89.