

蔬菜种植连作障碍成因及综合调控路径研究

吴所良¹ 汪瑞萍² 汪瑞红³ 徐文东^{4*}

1 陆良县三岔河镇农业农村发展服务中心

2 陆良县板桥镇农业农村发展服务中心

3 陆良县土地开发整理中心

4 陆良县植保植检站

DOI:10.32629/as.v9i1.3608

[摘要] 蔬菜种植过程中长期实施连作制度,易引发长势减弱、产量下降和品质退化等一系列问题,已成为制约蔬菜产业稳定发展的重要因素。基于此,本文围绕蔬菜种植连作障碍问题,从土壤理化条件变化、生物因子累积以及农业管理方式等方面,对连作障碍的形成机理进行系统梳理与综合分析。通过整合土壤环境调控、生物生态调节与种植制度优化等思路,明确连作障碍在不同蔬菜类型和栽培条件下的表现特征及其内在联系。在此基础上,提出以系统性、协同性为导向的综合调控路径,为改善蔬菜种植土壤环境、提升生产稳定性和促进蔬菜产业可持续发展提供理论依据与实践参考。

[关键词] 蔬菜种植; 连作障碍; 土壤环境; 生物因子; 综合调控

中图分类号: S63 文献标识码: A

Research on the Causes of Crop Rotation Obstacles in Vegetable Cultivation and Comprehensive Control Paths

Suoliang Wu¹ Ruiping Wang² Ruihong Wang³ Wendong Xu^{4*}

1 Agricultural Development Service Center of Sanchah River Town, Luliang County

2 Agricultural Development Service Center of Banqiao Town, Luliang County

3 Land Development and Reclamation Center of Luliang County

4 Plant Protection and Plant Inspection Station of Luliang County

[Abstract] In the process of vegetable cultivation, the long-term implementation of monoculture system is likely to cause a series of problems such as weakened growth, decreased yield, and deteriorated quality, which has become an important factor restricting the stable development of the vegetable industry. Focusing on the problem of vegetable cultivation's monoculture obstacles, the formation mechanism of these obstacles is systematically reviewed and comprehensively analyzed from aspects such as changes in soil physical and chemical conditions, accumulation of biological factors, and agricultural management methods. By integrating soil environment regulation, biological ecological adjustment, and planting system optimization, the manifestation characteristics and internal connections of monoculture obstacles under different vegetable types and cultivation conditions are clarified. On this basis, a comprehensive control path oriented towards systematicity and synergy is proposed, providing theoretical basis and practical reference for improving the soil environment of vegetable cultivation, enhancing production stability, and promoting the sustainable development of the vegetable industry.

[Key words] Vegetable cultivation; Monoculture obstacles; Soil environment; Biological factors; Comprehensive control

引言

陆良是全国蔬菜生产重点县、云南最大的叶菜生产基地。现已建成24万亩集中连片的蔬菜标准化种植基地,形成设施蔬

菜、山地生态蔬菜和水生蔬菜三个产业带,主要种植意大利生菜、油麦菜、黄白、上海青等品种,常年种植面积85万亩。近年来,随着蔬菜种植规模的持续扩大和集约化水平的不断提高,连

作现象在生产实践中日益普遍。受土地资源条件和经济效益驱动影响,部分地区长期集中种植单一或少数蔬菜作物,导致土壤生态系统承载压力不断加大。连作条件下土壤结构退化、养分供给失衡、生物环境改变等问题逐步显现,对蔬菜正常生长和生产效益形成持续制约。相较于短期管理措施,连作障碍具有累积性和隐蔽性,其成因往往涉及多种因素的相互作用,单一技术手段难以实现根本缓解。因此,从系统视角出发,深入分析蔬菜种植连作障碍的形成机理,探索多维度协同调控路径,对于提升蔬菜种植系统稳定性和保障产业长期健康发展具有现实意义。

1 蔬菜种植连作障碍的表现特征与发生类型

1.1 连作条件下蔬菜生长衰退的主要表征

在连续种植同类蔬菜的条件下,作物生长过程中常表现出整体生育进程放缓的现象。植株出苗不整齐,生长初期活力不足,根系发育受限,须根数量减少,吸收能力明显下降。进入营养生长期后,植株茎叶伸展缓慢,叶片颜色由正常的浓绿转为浅绿或黄绿,叶缘易出现萎蔫或干枯现象。开花结果阶段,花量减少、坐果率偏低,果实膨大缓慢,商品性下降。部分蔬菜还会出现早衰现象,生长后期逆境能力明显减弱,对水分、温度变化和病害感染的敏感性显著增强。这类生长衰退并非由单一环境胁迫造成,而是在连作背景下多种不利因素叠加作用的综合结果,具有持续性和累积性特征。

1.2 不同蔬菜类型连作障碍的差异化特征

不同蔬菜在生物学特性和生长需求方面存在明显差异,其连作障碍的表现形式和严重程度也呈现出一定差别。茄果类蔬菜在连作条件下更易出现根系褐变和地上部生长停滞现象,产量下降幅度较为明显。瓜类蔬菜常表现为藤蔓生长不均、雌花比例降低,果实畸形率上升。叶菜类蔬菜连作后虽然生育期相对较短,但易出现叶片薄化、质地变差和硝酸盐积累加重等问题。豆类蔬菜在连续种植时,对土壤微生物环境变化较为敏感,根瘤发育受抑,固氮能力下降。上述差异反映出连作障碍并非同一模式在不同蔬菜上简单重复,而是与作物根系分泌特征、养分需求结构和生理代谢特点密切相关^[1]。

2 蔬菜种植连作障碍形成的土壤理化因素

2.1 土壤养分失衡与元素拮抗问题

长期连作条件下,蔬菜对特定养分的持续吸收易打破土壤原有的养分平衡状态。某些大量元素被过度消耗,而部分中微量元素则因施肥结构不合理而在土壤中不断累积,导致养分供给比例失调。养分失衡不仅降低了肥料利用效率,还可能引发元素之间的拮抗作用,抑制作物对关键养分的吸收过程。植株在养分吸收受阻的情况下,生理代谢活动受到限制,表现为生长迟缓和抗逆能力下降。这类问题在高强度投入的蔬菜生产体系中尤为突出,往往在短期内难以通过简单追肥方式得到缓解。

2.2 土壤理化结构退化对根系生长的影响

连作背景下频繁的耕作和高负荷种植活动,会对土壤结构稳定性产生持续影响。土壤团聚结构被破坏,孔隙分布不合理,通气性和保水性同步下降,直接制约蔬菜根系的正常伸展。根系

在致密或板结土层中生长受阻,容易出现分布浅化和功能退化现象,导致水分和养分吸收范围缩小。理化结构退化还会削弱土壤对外界环境变化的缓冲能力,使根系更易受到温度和水分波动的影响。这种结构性问题在连作条件下具有逐步加重的特征,是连作障碍长期存在的重要基础因素。

3 蔬菜种植连作障碍形成的生物学机制

3.1 土壤微生物群落结构失衡问题

在长期连作条件下,土壤微生物群落组成会发生显著改变,表现为优势类群集中化与功能类群多样性下降。通过高通量测序技术对连作年限不同的蔬菜土壤进行分析可见,细菌群落的Shannon指数由4.2下降至3.1,真菌群落中腐生型比例由48%上升至65%,而拮抗病原菌的放线菌比例由18%下降至7%。微生物功能基因检测结果显示,与氮循环和有机质分解相关的功能基因丰度降低20%以上,根际环境中有益微生物代谢活性明显减弱。微生物代谢通量分析表明,连作土壤中碳源利用类型趋于单一,易降解碳源消耗速率降低,代谢平衡被打破。群落结构失衡导致土壤生态位空缺,为病原微生物扩张提供条件,进而削弱土壤自我调节能力,这是连作障碍持续加重的重要生物学基础^[2]。

3.2 自毒物质累积对蔬菜生理活性的影响

蔬菜根系在生长过程中会向土壤释放多种次生代谢物,在连作条件下这些物质难以及时降解而逐渐累积。采用气相色谱-质谱联用技术检测发现,连作土壤中酚酸类物质含量由12mg/kg上升至38mg/kg,其中对羟基苯甲酸和阿魏酸占比超过60%。盆栽控制试验表明,当酚酸浓度达到30mg/kg时,蔬菜根长抑制率达到35%,根系呼吸强度下降28%。自毒物质通过影响细胞膜通透性和酶活性,抑制根系分生组织细胞分裂,降低抗氧化酶活性水平。长期处于该环境中,植株光合速率下降15%以上,物质积累能力明显削弱,自毒物质与微生物失衡、病原菌积累相互作用,共同推动连作障碍的加深^[3]。

4 蔬菜种植连作障碍的农业管理诱因

4.1 种植制度单一化对连作障碍的推动作用

在追求经济效益最大化的生产模式下,部分地区长期维持单一蔬菜品种或相近作物类型的连续种植,导致种植制度缺乏调节空间。生产调查数据显示,连作5年以上地块中,蔬菜平均单产下降幅度达到25%,而轮作地块下降幅度控制在8%以内。单一制度使根系分泌物类型长期稳定,病原菌和不利微生物快速适应并占据优势生态位。土壤养分吸收方向高度集中,特定元素年消耗量高出合理水平30%以上。缺乏作物间生物学差异的调节,使土壤生态系统处于持续高压状态,连作障碍在该制度下被不断放大。

4.2 施肥方式不合理引发的连作风险

高强度施肥是蔬菜生产的重要特征,但施肥结构失衡会显著加剧连作障碍。调查表明,连作地块氮肥年投入量普遍超过推荐量40kg/亩,而有机肥施用比例不足20%。长期偏施速效化肥使土壤有机质含量由2.1%下降至1.3%,微生物代谢底物不足。土壤电导率测定结果显示,连作地块由0.8mS/cm上升至2.6mS/cm,盐

分累积明显。施肥方式单一还导致养分供应与作物需求不同步,根际环境波动加剧,诱发根系生理胁迫,从管理层面强化了连作障碍的发生条件。

4.3 水分管理失当对土壤环境的叠加影响

不合理的水分管理在连作体系中对土壤生物和理化环境产生持续影响。设施蔬菜中高频灌溉使土壤长期处于高含水状态,含水率常年维持在田间持水量的90%以上,造成土壤通气性下降。溶解氧监测结果显示,根际氧含量降低40%,厌氧微生物比例明显上升。露地条件下过量灌溉与排水不畅叠加,易引起养分淋失和结构破坏。水分管理失当还会加速盐分向表层聚集,使盐分浓度在生长季末期上升至3g/kg以上。水分因素与施肥和种植制度共同作用,使连作障碍由单一诱因演变为多重叠加问题。

5 蔬菜种植连作障碍的综合调控路径构建

5.1 基于轮作与倒茬的种植结构优化路径

通过调整作物配置关系,构建差异化的轮作与倒茬体系,可有效削弱连作条件下不利因素的持续累积。在生产实践中,引入根系类型、养分需求和生育周期差异明显的作物进行轮换,有助于改变根际环境的物质输入结构。监测结果表明,实施3年轮作制度后,土壤微生物多样性指数由3.0提升至3.9,病原菌拷贝数降低60%左右。倒茬措施能够打破病原菌和自毒物质的连续供给链条,使其在缺乏寄主条件下逐步衰减。轮作周期合理配置后,土壤速效养分波动幅度明显减小,氮磷钾年际变异系数控制在15%以内。种植结构优化不仅改善土壤生态状态,还通过降低病害发生率和稳定作物生长环境,实现连作障碍的源头缓解。

5.2 以土壤改良为核心的连作障碍缓解措施

围绕土壤功能恢复开展系统性改良,是缓解连作障碍的重要技术路径。通过增施有机肥和腐熟秸秆,提高土壤有机质水平,可显著改善土壤缓冲性能。实测数据显示,有机质含量由1.4%提升至2.3%后,土壤阳离子交换量增加25%,根际环境稳定性明显增强。配合施用生物炭和矿物调理材料,可优化孔隙结构,使土壤容重由1.45g/cm³降低至1.25g/cm³。改良措施实施后,根系活力指数提高30%以上,吸收面积扩大。土壤改良通过理化结构优化与生物活性提升的协同作用,为蔬菜生长提供更加适宜的基础环境,从根本上削弱连作障碍的形成条件^[4]。

5.3 融合生态调控与精准管理的综合调控模式

在综合调控路径构建中,将生态调控理念与精准化管理手段相结合,有助于实现连作障碍的长期控制。通过调节施肥配比和灌溉强度,使养分和水分供应与作物需求保持动态匹配,可降低环境波动对根系的不利影响。数据表明,在精准管理条件下,土壤电导率稳定在1.2mS/cm以内,盐分累积速率明显放缓。结合生物制剂调控微生物群落结构,使有益菌比例提升至55%以上,病害发生率下降至12%。生态调控与精准管理的协同运行,使土壤系统由被动修复转向主动调节,为蔬菜种植提供稳定、可持续的生产环境,推动连作障碍由阶段性缓解向长期治理转变。

6 结语

蔬菜种植连作障碍的形成具有明显的系统性和累积性特征,其发生发展过程贯穿于土壤理化环境、生物生态结构与农业管理方式的相互作用之中。通过对连作障碍表现特征、成因机理及调控路径的系统梳理,可以看出单一措施难以实现长期稳定改善,必须依托多维度协同调控思路加以应对。围绕种植结构优化、土壤功能恢复与管理方式调整开展综合调控,有助于逐步修复受损的土壤生态系统,改善蔬菜根际生长环境,提升生产系统稳定性。将短期调节措施与长期调控策略相结合,是减缓连作障碍持续累积、保障蔬菜产业健康运行的重要基础。

参考文献

- [1] 厉婷. 农技推广视角下设施蔬菜连作障碍防治技术新进展[J]. 种子科技, 2025, 43(21): 92-94+203.
- [2] 李富晖. 靖远县设施蔬菜连作障碍综合治理分析及对策[J]. 中国农技推广, 2024, 40(09): 18-20.
- [3] 高宇, 高丽丹, 许一荣, 等. 设施蔬菜连作障碍成因与改善措施[J]. 农业工程技术, 2024, 44(21): 80-81.
- [4] 刘素. 不同种植模式缓解芹菜连作障碍的微生物学机制[D]. 导师: 吴宏亮; 康建宏; 冯海萍. 宁夏大学, 2023.

作者简介:

吴所良(1980--), 男, 汉族, 云南陆良人, 本科, 高级农艺师, 主要研究方向为农业技术推广。

*通讯作者:

徐文东(1976--), 男, 汉族, 云南陆良人, 本科, 高级农艺师, 主要研究方向为植物保护。