

自然与信息工程出版社
Nature and Information Engineering Publishing Sdn Bhd

B-03A-15, One South Street Mall, Jalan OS, Taman Serdang Perdana,
43300 Seri Kembangan, Selangor Darul Ehsan.
+60 11-3978 7006
contact@zycentre.com



Journal of Agricultural Science and Technology

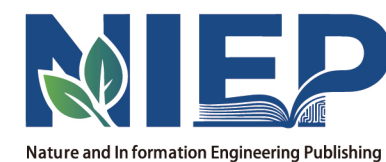
农业科学与技术杂志

eISSN: 3122-6809

Volume 2 Issue 3 March 2026
eISSN: 3122-6809

农业科学与技术杂志

Journal of Agricultural Science and Technology



中文刊名: 农业科学与技术杂志

ISSN: 3122-6809 (电子)

出版语言: 华文

期刊网址: <https://cn.niepublish.com/jast>

出版社名称: 自然与信息工程出版社

Serial Title: Journal of Agricultural Science and Technology

ISSN: 3122-6809 (Online)

Language: Chinese

URL: <https://cn.niepublish.com/jast>

Publisher: Nature and Information Engineering Publishing Sdn Bhd

Database Inclusion



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge
Infrastructure

版权声明 /Copyright

自然与信息工程出版社出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料, 除另作说明外, 作者有权依据 Creative Commons 国际署名 - 非商业使用 4.0 版权对于引用、评价及其他方面的要求, 对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时, 必须注明原文作者及出处, 并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归中宇国际教育中心所有。

All articles and any accompanying materials published by Nature and Information Engineering Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). Nature and Information Engineering Publishing Sdn Bhd reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

Nature and Information Engineering Publishing Sdn Bhd

电子邮箱 /E-mail: contact@zycentre.com

官方网址 /Official Website: <https://niepublish.com/index.php>

地址 /Address: B-03A-15, One South Street Mall, Jalan OS, Taman Serdang Perdana,
43300 Seri Kembangan, Selangor Darul Ehsan, Malaysia



Nature and Information Engineering Publishing

《农业科学与技术杂志》征稿函

期刊概况:

中文刊名: 农业科学与技术杂志

ISSN: 3122-6809 (Online)

出版语言: 华文

期刊网址: <https://cn.niepublish.com/jast>

出版社名称: 自然与信息工程出版社

出版格式要求:

- 稿件格式: Microsoft Word
- 稿件长度: 字符数 (计空格) 4500 以上; 图表核算 200 字符
- 测量单位: 国际单位
- 论文出版格式: Adobe PDF
- 参考文献: 温哥华体例

出刊及存档:

- 电子版出刊 (公司期刊网页上)
- 纸质版出刊
- 出版社进行期刊存档
- 中国知网 (CNKI)、谷歌学术 (Google Scholar) 等数据库收录
- 文章能够在数据库进行网上检索

作者权益:

- 期刊为 OA 期刊, 但作者拥有文章的版权;
- 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档;
- 以开放获取为指导方针, 期刊将成为极具影响力的国际期刊;
- 为作者提供即时审稿服务, 即在确保文字质量最优的前提下, 在最短时间内完成审稿流程。

评审过程:

编辑部和主编根据期刊的收录范围, 组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审, 并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登, 提供高效、快捷、专业的出版平台。

主 编

邱建生, 福建农林大学, 中国

副主编

Abhijit Khadatkhar, ICAR-Central Institute of Agricultural Engineering, India

王 飞, 郑州永丰生物肥业有限公司, 中国

段而军, 重庆隆湖工程设计咨询有限公司, 中国

李清宇, 根河市农牧水利科技局, 中国

编 委

Maurício Cristiano Rocha-Junior, University of São Paulo, Brazil

马文健, 山东省滨州畜牧兽医研究院, 中国

何 军, 新宁县回龙寺镇农业综合服务中心, 中国

王 昊, 信阳农林学院园艺学院, 中国

黄志伟, 驻马店市产品质量检验检测中心, 中国

张元珍, 齐河齐源绿季农业集团有限公司, 中国

陈玉霞, 广东海洋大学, 中国

申开洪, 河南省地质科学研究所, 中国

郑福山, 莱芜职业技术学院, 中国

茅 渊, 第八师畜牧水产发展服务中心, 中国

仲晓晴, 广州南沙现代农业产业集团有限公司, 中国

1	油菜素内酯的逆境作用机理及应用前景 / 王昊	38	濮阳市波尔山羊的发展现状调查与对策研究 / 张鸣涛 刘兆北 胡凤娇
4	乡村振兴背景下农产品质量安全法治化建设困境与突破 / 王丽琴	41	有机栽培下低 GI 水稻的养分吸收规律与 GI 值形成机制 / 童军
7	林业生态保护与修复技术集成应用研究——以秦岭生态屏障为例 / 毛文丽	44	小麦—玉米轮作体系下土壤肥力提升与资源高效利用研究 / 陈红建
10	畜禽无害化处理场消毒管理实践探讨 / 冯琰 陈淑静 胡凤娇	47	基于深度学习的农作物病害智能识别与诊断系统研究 / 陈海颜
14	规模化养殖场粪污处理工艺优化及环境影响研究 / 刘宇杰	50	基于安徽黄山森林生态系统定位观测研究站的固碳增汇机制与关键技术研究 / 蔡懿苒 黄士永 王晶晶 苏守香 宋学雨
17	无人机植保技术在农作物病虫害防治中的应用研究 / 王鹏	53	园林空间意境范式与传统听觉审美意象的通约性机理研究 / 王慧彤 辛匡禹 朱莹旭
20	不同立地条件下油松造林成活率影响因素及调控技术研究 / 王艳	56	气候适应性下牡丹露地栽培技术优化研究 / 刘家瑜 辛匡禹
23	小麦宽幅精播技术对群体结构及产量的调控机制研究 / 杜勇 韩福 李志远 相岩 刘浩	59	小五台山森林土壤碳库特征及影响因素 / 忻富宁
26	玉米密植高产栽培模式下水肥一体化技术的应用效果评价 / 韩福 杜勇 相岩 李志远 贺广明	62	基于耕地质量提升的肇州县玉米种植户水肥管理与病虫害防治行为的耦合协调度分析报告 / 郑若刚
29	乡村振兴战略下宅基地确权登记与产权制度完善研究 / 张涛 胡建超 赵化雨	66	小麦玉米轮作体系下氮肥高效利用与损失阻控机制研究 / 郭丽华 孙倩
32	区域协同视角下濮阳市病死畜禽高效处理模式应用研究 / 王太春 王乾 胡凤娇	69	油菜种植的田间管理与病虫害防治措施 / 益西尼玛
35	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		

- 1 Mechanism of Abiotic Stress Response and Application Prospects of Brassinolide
/ Hao Wang
- 4 The Dilemma and Breakthrough of the Construction of Agricultural Product Quality and Safety Rule of Law in the Context of Rural Revitalization
/ Liqin Wang
- 7 Research on Integrated Application of Forestry Ecological Protection and Restoration Technologies: A Case Study of the Qinling Ecological Barrier
/ Wenli Mao
- 10 Exploration into the Practice of Disinfection Management in Livestock and Poultry Harmless Treatment Plants
/ Yan Feng Shujing Chen Fengjiao Hu
- 14 Research on Optimization of Manure Treatment Processes and Environmental Impact in Large-Scale Livestock Farms
/ Yujie Liu
- 17 Application of UAV Plant Protection Technology in Crop Pest Control
/ Peng Wang
- 20 Study on Influencing Factors and Control Techniques of Survival Rate of *Pinus tabulaeformis* Afforestation under Different Site Conditions
/ Yan Wang
- 23 Research on the Regulatory Mechanisms of Wheat Broad-Spreading Precision Sowing Technology on Population Structure and Yield by
/ Yong Du Fu Han Zhiyuan Li Yan Xiang Hao Liu
- 26 Application Effect Evaluation of Integrated Water and Fertilizer Technology under High-yield Cultivation Mode of Dense Corn Planting
/ Fu Han Yong Du Yan Xiang Zhiyuan Li Guangming He
- 29 Research on Homestead Ownership Registration and Property Rights System Improvement under the Rural Revitalization Strategy
/ Tao Zhang Jianchao Hu Huayu Zhao
- 32 Application Research on Efficient Treatment Models for Dead and Diseased Livestock in Puyang City from a Regional Coordination Perspective
/ Taichun Wang Qian Wang Fengjiao Hu
- 35 Analysis of the Efficiency of Utilizing Solar Thermal Resources and Economic Benefits of Soybean and Corn Belt Composite Planting System
/ Zhenru An
- 38 Investigation and Countermeasure Study on the Development Status of Boer Goat in Puyang City
/ Mingtao Zhang Zhaobei Liu Fengjiao Hu
- 41 The Nutrient Absorption Patterns and GI Value Formation Mechanism of Low-GI Rice Cultivated Organically
/ Jun Tong
- 44 Study on Soil Fertility Improvement and Resource Efficient Utilization under Wheat-Maize Rotation System
/ Hongjian Chen
- 47 Research on Intelligent Recognition and Diagnosis System of Crop Diseases Based on Deep Learning
/ Haiyan Chen
- 50 Research on Carbon Sequestration Mechanism and Key Technologies Based on Huangshan Forest Ecosystem Positioning Observation and Research Station in Anhui Province
/ Yiran Cai Shiyong Huang Jingjing Wang Shouxiang Su Xueyu Song
- 53 Research on the Compatibility Mechanism between the Paradigm of Garden Space Artistic Conception and the Traditional Auditory Aesthetic Image
/ Yitong Wang Kuangyu Xin Yingxu Zhu
- 56 Optimization of Peony Cultivation Technology in Open Field under Climate Adaptability
/ Jiayu Liu Kuangyu Xin
- 59 The Characteristics of Forest Soil Carbon Pools and Influencing Factors in Xiaowutai Mountain
/ Funing Xin
- 62 Analysis Report on the Coupling and Coordination Degree of Water and Fertilizer Management and Pest Control Behavior of Corn Farmers in Zhaozhou County Based on Farmland Quality Improvement
/ Ruogang Zheng
- 66 Study on the Mechanism of Efficient Utilization and Loss Control of Nitrogen Fertilizer in the Rotation System of Wheat and Maize
/ Lihua Guo Qian Sun
- 69 Field Management and Pest Control Measures for Rape-seed Cultivation
/ Yixinima

Mechanism of Abiotic Stress Response and Application Prospects of Brassinolide

Hao Wang

School of Horticulture, Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang, Henan, 464000, China

Abstract

Brassinosteroids are a kind of growth hormone found late in the discovery of endogenous hormones in plants, and their molecular structure belongs to the steroids. Their physiological activity far exceeds that of the other five plant hormones, and they are called the sixth class of plant hormones. A variety of steroid derivatives have been synthesized by chemical methods, which have high physiological activity and promote growth on metabolism, belonging to a new type of broad-plant growth regulator. Simple to use, low dosage, increase yield effect was remarkably, and obvious improvement in quality. It has broad application prospects in agricultural production. In order to speed up the popularization and utilization of brassinolide to play its role in increasing yield and obtaining production benefits, this paper makes a brief of the mechanism and application prospects of brassinolide under adversity, which is for reference.

Keywords

brassinolides; mechanism of stress actions; effect on increase production; review

油菜素内酯的逆境作用机理及应用前景

王昊

信阳农林学院园艺学院, 中国 · 河南 信阳 464000

摘 要

油菜素内酯类化合物是植物内源激素中发现较晚的一种生长激素, 分子结构属甾体类物质, 其生理活性大大超过其它五种植物激素, 被人们称为第六类植物激素。目前已化学合成多种甾体类衍生物, 具有较高的生理活性和促进生长代谢作用, 属新型广谱植物生长调节剂, 使用方法简单, 用量少, 增产效果显著, 提升品质明显, 在农业生产中应用前景广阔, 为了加快推广利用以便发挥它的增产作用和获得生产效益, 本文对油菜素内酯的逆境作用和应用前景进行浅析, 以供参考。

关键词

油菜素内酯; 逆境作用机理; 增产效果; 综述

1 引言

油菜素内酯又称芸苔素内酯, 它广泛存在于植物的花粉、种子、茎、叶等器官中, 是植物内源激素中发现较晚的一种生长激素, 它的生理活性远远超过其它几种激素如生长素 (Auxins)、赤霉素 (GAs)、脱落酸 (ABA)、细胞分裂素 (CTK)、乙烯 (ETH) 以及独脚金内脂 (SLs) 等, 生理作用效果非常显著, 有效作用浓度远比其它几种激素要低好几个数量级别, 受到国内外普遍重视, 对其研究的深度、广度、成果愈来愈加丰盛。据报道目前在植物界已发现的有 60 多种, 统称油菜素内酯类化合物 (BRs), 基本结构是甾体类衍生物。我国合成生产与应用的油菜素内酯调节剂主要有

24 混表 - 芸苔素内酯 (BRs)、24 表 - 芸苔素内酯 (EBR)、28 表高 - 芸苔素内酯 (HBR)、28 高 - 芸苔素内酯和丙酰芸苔素内酯。其中前四种归属于普通芸苔素内酯, 最后一种属于长效芸苔素内酯^[1]。油菜素内酯已在农业生产上得到普遍的应用, 取得了较好的经济效益和生态效益。

2 油菜素内酯逆境作用机理

油菜素内酯属甾体类激素, 具有高效、广谱、无毒的特点, 其作用机理独特, 生理效应特强, 生物活性极高, 用量极微^[2]。植物吸收后, 能调节生理机能, 激发代谢过程中酶的活性, 协调植物体内多种内源激素的相对水平, 促进新陈代谢, 加速根系生长, 增强吸水吸肥能力, 提高种子活力, 加快种子萌发和幼苗生长, 促进细胞发育、伸长和分裂, 提高光合效率、抑制蒸腾作用, 增强植物的抗逆性能, 油菜素内酯适合各种作物施用如粮、棉、油、豆、瓜果蔬菜、烟草、中药材、食用菌、茶、桑、果树林木等。合理使用后不仅能

【作者简介】王昊 (1984-), 男, 中国河南新乡人, 博士, 助教, 从事园艺作物品种分子育种与改良, 园艺产品贮藏加工技术, 工厂化育苗技术, 园艺植物生物技术等研究。

高效调控植物光形态建成、热形态建成、高效协调作物营养生长与生殖生长以及种子发育,促进作物健壮生长,实现增产幅度大,产品质量好,因而油菜素内酯又有“逆境植物激素”之称。

2.1 增强抗旱、耐旱能力

植物生长期常常遇到干旱现象,干旱环境通常导致植物组织含水量降低,气孔关闭,生长受到抑制,光合作用减弱,生理代谢紊乱,轻者植株萎焉,严重时导致植株死亡^[3]。大量研究资料表明油菜素内酯类化合物能提高植物的抗旱能力,外源施用微量 BRs 后,可有效提高植株叶片的水势,降低叶片蒸腾能力,增强植株根系与叶片吸水能力,维持植物体内各种生理代谢活动的正常进行,使植株能更好地适应干旱环境;从植物生理学角度验证了 BRs 能提高植株体内抗氧化酶系统酶活性,如过氧化氢酶 (CAT), 过氧化物酶 (POD), 超氧化物歧化酶 (SOD), 抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 等,同时还能增加一些非酶类抗体物质。BRs 还能与其它植物激素协同作用来促进植株根系的生长,提高根系的吸水功能,从而增强植物抗旱耐旱能力。还有研究认为油菜素内酯具有调节植物的渗透压、提高活性氧 (ROS) 的积累、抑制体内 NADH 酶的活性等从而显著提高植物抗旱耐旱能力。

2.2 增强温度逆境忍耐能力

作物生长期间的环境温度变化较大,尤其灾害性气候,导致作物三基点温度中的最高温度、最低温度超过耐受值范围。当作物遭受温度逆境胁迫时最先受到伤害的是生物膜系统, BRs 具有保护细胞生物膜系统的稳定性,能有效缓解温度逆境带来的生理伤害^[4]。在超过上限高温环境的胁迫下,作物生长与代谢必然会受到抑制,细胞膜系统、代谢中的相关酶类和蛋白质的稳定性都会受到影响甚至体内循环代谢遭到破坏,严重威胁到作物正常生长与产量,作物抗热能力下降。该结论已在蔬菜番茄、甜瓜、茄子、黄瓜等作物上得到证实^[5~6]。在低温逆境胁迫下,影响生理代谢活动和养分运输,影响光合系统,破坏水分平衡与碳循环、诱发膜脂的过氧化伤害,会造成作物的冷害、冻害现象。使用 BR 处理后,能提高幼苗对冷激、热激的忍耐性,维持较高的 SOD 和 CAT 活性,促进植株体内脯氨酸的积累^[7],从而提高了抗寒、耐寒能力。

2.3 增强抵抗低氧胁迫能力

在低氧胁迫下,易导致植物无氧呼吸增强,无法满足正常代谢所需能量,体内有毒物质积累,抑制作物生长发育和组织器官分化,光合速率受到严重影响。外源施用 BRs 处理后能从多方面增强对低氧胁迫的适应与抵抗能力,自律调节植物体内多种物质的含量如提高植物体内蔗糖、果糖、异柠檬酸氢酶 (IDH)、苹果酸脱氢酶 (MDH)、苹果酸酶 (ME) 等主要糖代谢酶活性,提高抗氧化保护酶如超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 等的

活性,快速有效降低活性氧、丙二醛 (MDA) 等有害物质的含量,增强根系活力,减轻植物低氧胁迫下受伤害的程度。

2.4 降低农药毒害和残留

油菜素内酯可有效降低农药毒害和残留,大量研究表明用油菜素内酯处理后,植株体内油菜素内酯的含量提高,促使许多参与农药降解的基因表达和代谢酶活性都得到提高,植株抗、耐农药毒害的能力增强。反之,当油菜素内酯的含量降低,植株抗、耐农药毒害的能力降低。有人以黄瓜为实验材料,用 4 种有代表性的杀虫剂和杀菌剂,在喷洒农药之前先喷洒一次油菜素内酯,结果农药残留降低了 30% ~ 70%^[8]。殷燕玲等人^[9]试验结果,24-EB R 能加快大蒜中百菌清、毒死蜱的代谢速率,明显降低这些农药在大蒜叶片中的残留量,缓解药害所产生的不良影响。

2.5 增强对盐碱胁迫的忍耐能力

随着土壤盐碱含量增加,导致土壤水溶液浓度增大、土壤水势降低。当超过作物忍耐阈值时,导致根系吸水难度加大,甚至引起细胞脱水,影响作物正常生理代谢和生长发育,植株长势与健壮程度减弱,适应性及抗逆能力变差,最终引起植株矮小、产量降低、品质变差。施用外源 BRs 处理后能显著促进盐碱胁迫下的种子萌发、提高根系活力和根毛细胞的吸水能力,改善植株生理代谢,植株长势增强、叶面积增大、叶绿素含量升高、叶色变绿变深,植株体内抗氧化防御系统活性增强,对盐碱胁迫的忍受能力和对盐碱性提高,从而减轻土壤盐碱胁迫所造成的危害。

2.6 增强抗病虫害草害能力

众所周知,有效防治和减少病虫害草害在作物生产中有着重大作用,由于外源施用 BRs 能有效促进植株生长,提高植株健壮及生长势,直接、间接不同程度的提高了作物抗病耐病、抗虫害草害能力,从而缓解作物受害症状、受害程度,降低感病率、病情指数。通过调节田间小气候,增强对病虫害等不利环境的影响,改善或营造良好的生态环境,促进植物代谢功能的正常运转如植株健壮、枝繁叶茂,其地面杂草发生率及草害虫害病害就会显著减少或降低。

2.7 具有植物保鲜剂、膨大剂作用

BRs 的生理功能之一是协调植物体内各种激素,促进细胞的生长和再分化、提高愈伤组织活力,故可提高插花的保鲜、切离植物体的水果、蔬菜保鲜,促进插条发根,促进花卉插枝生根和保鲜,延长花卉、苗木售卖时间,亦适用于在组织培养中提高成活率。谷瑞银^[7]等人报道植物用 BRs 喷施或浸种后,在发根和发芽过程中无腐败坏死现象,而不处理的对照则有种子腐败现象。通过促进细胞膜质子泵对 H⁺ 的泵出,使自由空间酸化,有利于细胞扩张,提升营养体的收获量,提高果树的坐果率和促进幼果膨大,增加果蔬市场售价。

3 使用方式及注意事项

常见的使用方法有拌种、浸种、灌根、叶面喷施,移

栽前种苗根部喷洒、沾根、浸渍等,以叶面喷施、浸种、沾根的用法较普遍。植物体内油菜素内酯含量的微小变化都将对其生长发育产生巨大的影响,因此一定要掌握好使用数量、使用浓度、使用适期与使用方式,确保使用后增产效果最大、经济效益最佳、投资成本最小。

叶面喷施,一般在作物苗期、初花期、结果期、结球期是喷施的较佳时期。喷施浓度一般在0.001~0.1ppm之间,因作物种类、生长状态、土壤肥力、喷施时期、喷施次数等不同而差异较大,应坚持根据使用说明书、先小面积试验示范后再大面积推广的技术程序,争取获得较高的经济效益。

浸种,凡用种子繁殖的植物都可使用浸种、拌种法处理,一般浓度0.01mg/kg~0.5mg/kg,具体浸种浓度、浸种时间可视种子大小、种皮(果核)厚薄而灵活确定。

沾根、浸渍,主要方法一般是在插扦枝条或移栽小苗之前,用一定浓度的BRs溶液浸渍枝条、沾根、浸泡等,浓度在0.001~0.1ppm之间。

随着研究的深入发展,油菜素内酯必将会有更加科学合理地使用技术问世,一定要在最适合的生育期、采取正确的施用技术方法、严格控制使用浓度。注意不能与碱性农药混用,购买时要谨防假冒伪劣产品,科学选择各种作物的专用剂型,切忌盲目性。

4 应用前景展望

目前油菜素内酯已在粮食作物、瓜蔬菜果、中草药、食用菌、果树苗木、烟草等多种作物生产上普遍得到应用,对大幅度提高作物产量、改善品质、提高效益发挥出重大作用,减少多种逆境胁迫对作物的影响,尤其是干旱胁迫、高温与低温胁迫、低氧胁迫、盐碱胁迫、病虫害胁迫、重金属胁迫等不利环境因子影响,从而更有效的进行调控和高效生产。

油菜素内酯在耕作上的应用,主要是在轮作、间作、倒茬、沤制有机肥料等,利用油菜素内酯含量高的作物如十字花科油菜、羽衣甘蓝、西兰花、卷心菜、花椰菜、芽甘蓝、豆科扁豆、大豆、紫云英、苕子、苜蓿、草木犀、蚕豆、田青、紫穗槐、三叶草等,在生产上用作首选绿肥种植材料。在果园、林下、苗木生产上间作套种适期翻压,不但增加土壤有机质和氮素培肥地力,还增加土壤油菜素内酯含量,为作物高产、优质奠定坚实基础。

油菜素内酯在生物育种方面的应用,由于植物体内油菜素内酯含量多少与生物生长发育、对逆境的抗逆力、生物

产量、品质、代谢等密切相关,尤其在分子育种、基因工程、组织培养方面,可利用分子标记、气相、液相色谱等测定技术,在早期就进行测定分析植株体内油菜素内酯含量,及早优选含量高的单株或组合、淘汰低含量单株或组合,能提高育种效率和选育目标的准确性。

综上所述,油菜素内酯在植株体内具有特殊效果与作用特点,其综合功能远大于其它几种激素,是迄今为止国际上公认的活性最高、最广谱的植物激素,经极低浓度处理后,便发挥明显的生理效应。在提高作物产量、品质、抗逆性、抗病性、减少农药毒害与残留,在促进种子萌发,促进细胞生长与分裂等方面研究特别是从分子学水平上、植物体内基因水平上、生理生化机理研究的不断深入,许多抗逆性机理和增产及品质改善作用机理会被不断补充丰富,应用前景更加广阔。

参考文献

- [1] 楚娟娟,李玉成,李志江,等. 0.01%芸苔素内酯乳油(威敌408)在蔬菜上的应用[J]. 湖北植保, 2011.03.15: 12-14.
- [2] 潘加亮,谭微,李攻科,等. 油菜素甾醇激素分析的研究进展[J]. 色谱, 2011.02.28: 105-110.
- [3] 王红红,李凯荣,侯华伟. 油菜素内酯提高植物抗逆性的研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(3): 213-219.
- [4] 郑洁,王磊.油菜素内酯在植物生长发育中的作用机制研究进展[J].中国农业科技导报, 2014, 16(1): 52-58.
- [5] 康云艳,杨暹,郭世荣,等. 24-表油菜素内酯对低氧胁迫下黄瓜幼苗碳水化合物代谢的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(12): 2495-2503.
- [6] 吴雪霞,查丁石,朱宗文,等. 外源 24-表油菜素内酯对高温胁迫下茄子幼苗生长和抗氧化系统的影响[J]. 植物生理学报, 2013, 49(9): 929-934.
- [7] 谷端银,王秀峰,张慎好,等. 油菜素内酯在瓜类作物上的研究及应用进展[J]. 中国瓜菜, 2006.03.05(第2期): 24-26.
- [8] 王易. 浙大农学院教授发现一植物成分可降解农残[J]. 农村实用技术, 2009,11: 25.
- [9] 殷燕玲,夏晓剑,喻景权,等.24-表油菜素内酯对大蒜叶片中农药残留的降解效果[J].浙江农业科学, 2016, 57(4): 526-529.
- [10] 油菜素甾醇调控植物生长发育及非生物胁迫的研究进展[J]. 李根,张然,王雨藤,等.分子植物育种, 2025, (23) 16: 5417-5433.

The Dilemma and Breakthrough of the Construction of Agricultural Product Quality and Safety Rule of Law in the Context of Rural Revitalization

Liqin Wang

Gaotai County Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Zhangye, Gansu, 734300, China

Abstract

As China advances its rural revitalization strategy, ensuring agricultural product quality and safety has become pivotal for safeguarding public health, enhancing the agricultural value chain, and promoting sustainable rural economic development. However, the legal framework for agricultural product quality and safety still faces challenges such as an incomplete legal system, inadequate regulatory enforcement capabilities, and uneven grassroots governance levels, which hinder the realization of rural revitalization goals. This paper examines the current legal and practical status of agricultural product quality and safety, identifies key challenges, and proposes breakthrough strategies for legal system development, including improving legislation, strengthening enforcement supervision, fostering grassroots governance innovation, and promoting social co-governance. The study demonstrates that institutional improvements, technical support, enhanced enforcement, and multi-stakeholder participation can effectively elevate the governance level of agricultural product quality and safety, thereby providing legal safeguards and social support for rural revitalization.

Keywords

rural revitalization; agricultural product quality and safety; rule of law construction; regulatory system; social co-governance

乡村振兴背景下农产品质量安全法治化建设困境与突破

王丽琴

高台县农业农村局, 中国 · 甘肃 张掖 734300

摘 要

乡村振兴战略推进过程中, 农产品质量安全成为保障人民群众健康、提升农业价值链和推进农村经济可持续发展的关键因素。当前, 农产品质量安全法治化建设仍面临法律体系不完善、监管执法能力不足、基层治理水平参差等问题, 制约乡村振兴目标的实现。本文在梳理农产品质量安全法律制度与实践现状的基础上, 分析存在的主要困境, 提出法治化建设突破路径, 包括完善法律法规体系、强化执法监督能力、推动基层治理创新和促进社会共治。研究表明, 通过制度完善、技术支持、执法强化及多元参与, 能够有效提升农产品质量安全治理水平, 为乡村振兴提供法律保障和社会支持。

关键词

乡村振兴; 农产品质量安全; 法治建设; 监管体系; 社会共治

1 引言

乡村振兴战略的实施对农业发展、农村社会治理和农民生活质量提出了更高要求, 农产品质量安全作为关键环节直接关系到民生保障和农村经济发展。近年来, 随着农业规模化、市场化进程加快, 农产品生产、流通和消费链条复杂化, 使农产品质量安全面临多重风险。现有法律法规体系在实践中仍存在覆盖不全、执法难度大和责任落实不到位的问题, 导致安全事件时有发生, 影响公众信任。本文以乡村振兴背景下的农产品质量安全法治建设为研究对象, 分析其制

度困境及实施障碍, 探讨制度完善、执法监管和社会参与等方面的突破路径, 为推动法治化治理提供理论依据和实践参考。

2 农产品质量安全法治建设现状

2.1 法律制度体系概况

我国农产品质量安全法律制度以《食品安全法》《农产品质量安全法》及相关行政法规为核心, 逐步形成覆盖生产、加工、流通和消费等多个环节的法律体系。这一制度体系通过明确生产者、经营者及监管部门的权责关系, 建立了农产品质量安全标准、检测制度和违法责任追究机制, 为保障农产品安全提供了基本制度框架。同时, 相关法律还规定了质量追溯、风险监测及信息公开等管理措施, 为农产品安

【作者简介】王丽琴(1977-), 女, 中国甘肃张掖人, 本科, 高级兽医师, 从事动物科学研究。

全监管提供了制度依据。然而,在具体实施过程中,部分配套实施细则仍不够完善,一些安全标准缺乏统一规范,跨部门协同监管机制尚未完全形成,导致部分法律条款在基层落实过程中存在困难,从而在一定程度上影响了农产品质量安全法治化治理的实际效果。

2.2 监管执法能力现状

当前农产品质量安全监管体系主要由农业农村部门、市场监管部门以及地方政府相关机构共同构成,在保障农产品安全方面发挥着重要作用。但从整体情况来看,不同地区在监管能力方面仍存在一定差异。一些基层监管部门在执法力量、专业技术和检测设备方面相对不足,影响了对农产品质量问题的及时发现与处理。同时,部分地区的信息化监管平台建设仍处于发展阶段,数据整合和信息共享机制尚未完全建立,使风险预警和综合分析能力受到一定限制。在监管实践中,由于技术手段和人员能力不足,部分生产和流通环节难以实现全面、持续的监控,从而影响了监管工作的效率和精准性。因此,加强执法能力建设与技术支撑已成为提升农产品质量安全监管水平的重要任务。

2.3 基层治理水平及实践问题

在实际治理过程中,乡镇和农村地区承担着大量监管任务,但在资源配置、执法能力和制度执行方面仍面临一定挑战。一方面,部分农民对相关法律法规了解不足,质量安全意识相对薄弱,容易在生产过程中忽视规范操作。另一方面,一些农民合作社在管理制度和内部监督方面尚不完善,导致标准化生产难以有效落实。此外,信息不对称以及经济利益驱动也可能促使个别生产者忽视安全规范。由于基层监管力量有限,一些违法违规行为难以及时发现和纠正,从而影响农产品质量安全治理的整体效果。因此,提高基层治理能力、强化法律宣传与监管支持,是推动农产品质量安全法治化建设的重要方向。

3 农产品质量安全法治建设的主要困境

3.1 法律法规执行难度大

在农产品质量安全治理过程中,法律法规在实际执行环节面临一定困难。农产品生产具有地域分散、经营主体多样的特点,涉及农户、合作社、农业企业及相关监管部门等多个主体,使监管范围广且复杂。由于基层执法资源相对有限,监管力量难以覆盖全部生产环节,部分地区仍存在监管盲区。同时,一些法律条款在具体实施中操作性不足,缺乏明确的执行细则,使执法人员在实践中难以准确把握标准。此外,农业生产技术和市场需求变化较快,而相关法律法规及标准体系更新相对滞后,部分规定与实际生产情况不完全匹配,进一步增加了法律执行难度。这些因素共同影响了农产品质量安全法律制度的实施效果 [1]。

3.2 监管体系协调性不足

农产品质量安全监管涉及农业农村、市场监管、卫生

健康等多个部门,其职能范围存在一定交叉。在实际监管过程中,由于部门之间信息共享和协同机制不够完善,容易出现职责界定不清或沟通不畅的情况,从而影响监管效率。一方面,部分监管事项在不同部门之间存在重复检查现象,增加了管理成本;另一方面,在一些关键环节又可能出现监管空档,导致风险难以及时发现。此外,多部门联合执法、风险预警及产品追溯体系建设仍存在协调难度,信息平台之间缺乏统一标准,使数据整合与共享受到限制。当出现质量安全事件时,信息传递和处置流程可能相对缓慢,难以形成统一高效的治理体系,从而影响农产品质量安全监管的整体效果。

3.3 社会参与和公众监督有限

农产品质量安全治理不仅依赖政府监管,还需要社会力量的广泛参与。然而在实际情况中,社会参与和公众监督的作用仍有待进一步加强。在部分农村地区,农民和消费者对相关法律法规的了解程度较低,质量安全意识相对不足,参与监督的积极性也较为有限。同时,信息反馈渠道不够畅通,使消费者在发现问题时难以及时进行投诉或反映,削弱了社会监督的作用。行业协会和社会组织在农产品质量安全治理中的参与程度也相对有限,其自律和协调功能尚未得到充分发挥 [2]。

4 法治化建设的突破路径

4.1 完善法律法规与标准体系

在推进农产品质量安全法治化建设过程中,完善法律法规与标准体系是基础性工作。当前部分地区在法规执行过程中仍存在标准不统一、操作细则不明确等问题,影响了法律制度的实施效果。因此,有必要在现有法律框架基础上进一步细化农产品质量安全相关制度,对生产、加工、流通及销售等各个环节的责任主体进行明确界定,并通过制定具有可操作性的实施细则,提高法律条款在实践中的执行效率。同时,应建立统一且动态更新的农产品质量安全标准体系,使相关标准能够及时适应农业技术进步和市场需求变化。例如,通过定期修订农药残留标准、生产操作规范和产品检测标准,可以确保监管体系与农业生产发展保持同步。在制度实施过程中,还需要强化跨部门协同机制,明确农业农村、市场监管及相关执法部门之间的职责分工,形成责任清晰、衔接顺畅的法规执行体系,从而提升农产品质量安全治理的整体法治化水平。

4.2 强化监管能力与技术支持

提升监管能力和技术支撑水平,是保障农产品质量安全法治化管理的重要条件。首先,应加强基层监管机构建设,通过完善人员配置、强化专业培训等方式提升执法人员的专业素质,使其具备较强的风险识别和执法能力。同时,应为监管部门配备先进的检测设备和实验设施,以提高对农产品质量安全问题的检测效率和准确性。其次,应积极推动

信息化监管体系建设,通过建立统一的信息管理平台,实现农产品生产、流通和销售环节的数据采集与动态监控。在信息化系统支持下,监管部门可以对风险信息进行实时分析和预警,从而及时发现潜在问题并采取相应措施。此外,通过推动跨部门数据共享与信息联通,可以有效提高监管效率,优化风险分析和应急处置流程[3]。

4.3 推进社会参与与共治机制

农产品质量安全治理不仅依赖政府监管,还需要社会力量的广泛参与。通过构建政府、企业和社会共同参与的治理模式,可以形成多层次、多主体协同管理的格局。在实践中,应积极拓展农民、合作社、消费者以及行业协会等主体的参与渠道。例如,通过开展法律法规宣传和技术培训,提高农民在生产过程中的质量安全意识 and 规范操作能力,使其在生产环节主动遵循相关标准。同时,可以建立消费者投诉和信息反馈平台,使公众能够对农产品质量问题进行监督和反映,从而增强社会监督作用。

5 典型案例与实践经验

5.1 地方政府试点经验

在乡村振兴战略推进过程中,一些地方政府积极开展农产品质量安全法治化监管试点,通过制度创新与技术手段结合,探索形成较为完善的治理模式。试点地区普遍建立了农产品质量安全信息化监管平台,对农产品生产、加工、流通及销售等环节进行全过程记录与动态监控。同时,通过明确农业农村、市场监管及相关执法部门的职责分工,强化联合执法与信息共享机制,使监管体系更加高效有序。在具体实施过程中,监管部门依托信息系统对生产主体进行动态管理,对重点环节开展定期检查与风险评估,从而及时发现并处理质量安全隐患。实践结果表明,制度完善、技术支撑和执法协同相结合的治理模式能够有效提升监管效率,降低农产品质量安全风险,并提高公众对农产品安全管理的信任度,为相关制度在更大范围内推广提供了重要实践经验[4]。

5.2 农户与合作社规范管理经验

在农产品质量安全治理实践中,农民合作社在规范生产管理方面发挥了重要作用。一些地区通过推动农户加入合作社组织,形成统一生产与管理模式,实现农产品生产环节的标准化和规范化。合作社通过制定统一的生产技术规范,对种植、施肥、农药使用以及采收过程进行统一管理,并建立集中检测机制,对农产品质量进行定期检测。同时,通过签订农产品质量安全责任书,明确农户在生产过程中的责任

与义务,强化自我约束和内部监督。通过这种组织化管理方式,不仅提高了农产品生产的规范程度,也增强了信息透明度,使监管部门能够更便捷地获取生产信息并开展监督检查。实践表明,合作社规范管理能够有效促进农户遵循质量安全标准,实现基层治理与法治化监管的有机结合,从而提升农产品整体质量水平[5]。

5.3 社会监督与公众参与案例

在农产品质量安全治理体系中,社会监督和公众参与同样具有重要作用。近年来,一些地区通过建立消费者投诉平台和农产品质量追溯系统,使公众能够更加便捷地获取农产品来源信息并反馈质量问题,从而增强社会监督力度。同时,行业协会通过制定行业规范和自律公约,对生产经营主体进行引导和约束,推动企业和农户在生产过程中主动遵守质量安全标准。社会力量的参与使农产品质量安全监管不再局限于政府部门,而是形成政府、企业和公众共同参与的治理格局。当消费者能够通过信息平台追溯产品来源并提出意见时,生产者也会更加重视质量管理与品牌信誉。由此可见,社会监督机制的完善能够提升农产品质量安全治理的透明度和有效性,为法治化监管体系的持续完善提供重要支持。

6 结语

乡村振兴背景下,农产品质量安全法治化建设面临法律体系不完善、监管执法能力不足和基层治理水平有限等困境。突破路径包括完善法律法规和标准体系、强化监管能力与技术支持以及推进社会参与和共治机制建设。实践表明,通过制度完善、信息化支撑、执法强化及多元社会参与,可以有效提升农产品质量安全治理水平,为乡村振兴提供法治保障和社会支持。未来,应持续优化制度设计、提升执法能力、推动社会共治,实现农产品质量安全治理的可持续、法治化发展,确保农业发展与人民健康利益协调统一。

参考文献

- [1] 张可思,马旭东,龙圣锦.乡村振兴战略背景下绿色农产品质量标准的法治化进路[J].甘肃农业,2024,(09):73-79.
- [2] 刘美洁.乡村振兴背景下“直播带货”的农产品质量法律监管研究[J].农业开发与装备,2025,(10):211-213.
- [3] 熊新奇.乡村振兴战略背景下农产品安全监管体系探索[J].世界热带农业信息,2025,(09):92-95.
- [4] 马兴惠,陈龙飞.乡村振兴背景下农产品质量安全保障体系建设初探[J].当代农机,2025,(01):61-62.
- [5] 邹燕.论乡村振兴背景下农产品质量标准实施的法律监管[D].昆明理工大学,2024.

Research on Integrated Application of Forestry Ecological Protection and Restoration Technologies: A Case Study of the Qinling Ecological Barrier

Wenli Mao

Shaanxi Changqing National Nature Reserve Administration, Hanzhong, Shaanxi, 723000, China

Abstract

Forestry ecological protection and restoration serve as critical pillars for safeguarding national ecological security. This study focuses on the Qinling Ecological Barrier to systematically review advancements in integrated forestry conservation technologies. Through three analytical dimensions—macro-system level, meso-management level, and micro/frontier research level—the paper presents key achievements in integrated conservation frameworks, precision forest management techniques, and long-term ecological monitoring systems. Findings demonstrate that forestry restoration practices are evolving from single-technology applications to multi-disciplinary integration, transitioning from empirical management to intelligent decision-making, and shifting from short-term interventions to long-term impact assessment, thereby establishing a comprehensive “diagnosis-monitoring-management-evaluation” technical chain. The study proposes future research directions including enhanced technological integration, strengthened long-term monitoring, and accelerated technology transfer, aiming to provide theoretical foundations and practical references for Qinling National Park development and ecological security assurance of the “Central Water Tower” ecosystem.

Keywords

forestry ecological protection; ecological restoration; technology integration; qinling mountains; integrated restoration

林业生态保护与修复技术集成应用研究——以秦岭生态屏障为例

毛文丽

陕西长青国家级自然保护区管理局，中国·陕西 汉中 723000

摘 要

林业生态保护与修复是维护国家生态安全的重要支撑。本文以秦岭生态屏障为研究对象，系统梳理了林业生态保护与修复技术集成应用的研究进展。从宏观系统层、中观经营层、微观与前沿层三个维度，阐述了一体化保护修复技术体系、森林精准经营与修复技术、长期生态效应与智能监测技术的研究成果。研究表明，林业生态修复正从单一技术应用向多技术集成、从经验管理向智能决策、从短期治理向长期效应评估转变，形成了“诊断-监测-经营-评估”的完整技术链条。本文最后提出了深化技术集成、强化长期监测、促进成果转化等未来研究方向，以期为秦岭国家公园建设和“中央水塔”生态安全保障提供理论支撑与实践参考。

关键词

林业生态保护；生态修复；技术集成；秦岭；一体化修复

1 引言

林业生态保护与修复是生态文明建设的重要内容。秦岭作为我国重要生态屏障和“中央水塔”，其森林生态系统承载着水源涵养、水土保持、气候调节等关键生态功能，对长江、黄河两大流域的生态安全具有全局性影响。受自然与人为因素双重影响，秦岭部分区域森林生态系统面临退化风

险，修复任务紧迫。

传统单一技术措施难以应对复杂生态问题，技术集成应用成为研究热点。技术集成基于生态系统整体性原理，通过多种技术的有机融合实现修复效果最大化。当前，秦岭地区在林业生态修复领域已积累大量成果，亟需系统梳理。本文从宏观系统层、中观经营层、微观与前沿层三个维度，系统综述技术集成的研究进展，探讨其特征与发展趋势。

2 宏观系统层：一体化保护修复技术体系

宏观系统层的技术集成着眼于秦岭生态系统整体性，构建涵盖生态诊断、全域监测、智能决策的一体化保护修复

【作者简介】毛文丽（1988-），女，中国陕西汉中，本科，工程师，从事林业，动植物保护研究。

技术体系。

2.1 山水林田湖草沙一体化修复的理论基础与技术框架

秦岭地质构造复杂,生态系统多样。传统“头痛医头”式修复难以解决深层问题。长安大学研究团队在秦岭北麓实践中,提出“生态地质环境系统”理论诊断框架,揭示了“生态损害-水土灾害-地质灾害”的递进演化与互馈关系,为修复提供了科学依据。

在此理论指导下,团队构建了覆盖“天-空-地”的全要素监测体系,深度融合航天遥感、航空遥感与地面传感技术,实现对九大要素的实时监测。通过数据湖技术,建立了生态地质环境信息智能化管理与分析平台,为秦岭生态环境治理提供决策支持,标志着修复从分散治理走向系统治理、从经验判断走向数据驱动。

2.2 国家公园背景下的淡水生态系统修复策略

秦岭作为“中央水塔”,淡水生态系统保护具有特殊重要性。亚洲开发银行技术援助项目“秦岭国家公园淡水生态系统保护与修复的机制与策略研究”提出了系统性方案。

研究指出,小型水坝过度建设、鱼类栖息地破碎化、湿地连通性下降是主要退化因素。项目提出了小型水坝退役、鱼类栖息地修复、湿地系统连接等近20项政策建议,并将公园内村庄划分为三类,结合水体距离提出三类空间调控策略,形成了《人居环境行动指南》等技术规范,推动了秦岭国家公园建设从“方案设计”走向“制度生根”。

2.3 生态安全格局构建与功能提升

宏观系统层技术集成的核心目标是构建稳定的生态安全格局。在秦岭北麓主体山水林田湖草沙一体化保护和修复工程中,研究者将生态安全格局构建作为关键环节,通过生态廊道建设、关键节点修复、生态网络优化等技术组合,恢复区域生态系统整体功能。

研究表明,一体化保护修复技术体系的核心在于“系统诊断—全域监测—智能决策—精准实施—动态评估”的闭环管理,突破了传统项目“重工程、轻监测”的局限,实现了生态效益与经济效益的统一。

3 中观经营层：森林精准经营与修复技术

中观经营层的技术集成聚焦具体森林经营措施,通过对比实验和长期观测,形成可复制、可推广的技术规范。

3.1 人工林近自然经营技术

秦岭地区分布着大面积人工林,部分因密度过大、树种单一而出现生态功能下降。近自然经营理念为其修复提供了新思路。

西北农林科技大学研究团队在火地塘林区开展了不同经营措施对落叶松林影响的对比研究,设置抚育间伐(强度20%)、林窗和对照三种处理。7年连续观测表明,两种方式均能促进生长,但抚育间伐效果更显著——不仅提升林分平均胸径和单株材积,还显著增加林下物种多样性。研究证

实了“近自然经营”在秦岭人工林修复中的有效性,为优化经营技术提供了依据。

3.2 森林病虫害靶向治理技术

森林病虫害严重威胁秦岭生态安全。历史上,沔峪林场华山松大小蠹侵袭率高达97.43%,致死率近30%。在秦岭北麓一体化修复工程中,项目采用了“打孔注药+诱捕消杀”的靶向治理组合方案,使虫口减退率降至90%以上,有虫株率控制在8%以内。

项目创新建立了“一木一牌”的精细化树木档案管理制度,为每株树木悬挂三色号码牌,实现全流程精准管控。此外,修复防火通道44.26公里,强调“柔性植物措施为主”的理念,减少过度人工干预对生态系统的扰动。

3.3 林分结构优化与多功能经营

林分结构优化是森林多功能经营的基础。在秦岭地区,研究者通过引入乡土树种、调整树种比例、优化垂直结构等措施,将纯林逐步改造为混交林,提升生态系统稳定性和多功能性。同时,结合水资源承载力优化林分密度,使森林修复从单纯的“种树”走向全面的“营林”。

4 微观与前沿层：长期生态效应与智能监测技术

微观与前沿层的技术集成关注长期效应评估及新兴技术应用,为生态修复提供科学依据和技术支撑。

4.1 长期修复效应与树种选择机理

清华大学、中国农业大学等研究团队在秦岭开展了长达20年的树种恢复效应研究,系统对比云杉和日本落叶松的修复效果。结果显示,日本落叶松在植被 α 多样性、生物量及土壤细菌群落组成与多样性方面均优于云杉。其速生能力和相对疏朗的冠层结构有利于林下光环境改善和植被发育,形成“地上-地下”正反馈循环。

这一研究提示,树种选择应综合考虑生态适应性、生长特性及对生态系统整体的影响,而非简单以“乡土”或“外来”作为唯一标准。

4.2 天空地一体化智能监测技术

西安电子科技大学全英汇团队构建了雷达和光学多源融合探测体系,对陕西省2000年至2024年土地覆盖变化进行长时间序列监测,重点分析秦岭森林变化特征。通过雷达与光学数据的协同应用,克服了云雨天气对光学影像的影响,实现全天候、高频度森林监测。

团队还开展了水生态产品价值实现研究,利用多源遥感立体协同算法实现智能反演,并将遥感技术应用于秦岭自然灾害预警,拓展了遥感技术在林业生态保护中的应用场景。

4.3 生态修复成效定量评估方法

科学评估是技术集成的闭环环节。秦岭生态修复实践中,研究者探索了多种定量评估方法:在宏观层面通过遥感反演评估生态系统服务功能影响;在样地尺度通过固定样地

连续观测分析植被、土壤、生物多样性变化；在个体层面通过树木档案追踪单株健康动态。

这些方法的集成应用，使修复成效从定性描述走向定量分析。在沣峪林场病虫害治理和落叶松经营措施对比研究中，基于数据的评估方式为技术优化和推广提供了科学依据。

5 技术集成特征与未来展望

5.1 技术集成的层次结构与基本特征

综合上述研究，可以将秦岭林业生态保护与修复的技术集成归纳为三个层次：

宏观系统层以山水林田湖草沙一体化修复为核心，强调生态系统的整体性，通过系统诊断、全域监测、智能决策，构建生态安全格局，解决区域尺度上的生态问题。这一层次的技术集成体现了“系统思维”和“整体治理”的理念，是生态修复的顶层设计。

中观经营层以森林精准经营为核心，通过抚育间伐、病虫害防治、林分结构调整等措施，优化森林结构和功能，解决林分尺度上的生态问题。这一层次的技术集成体现了“精细管理”和“近自然经营”的理念，是生态修复的主体工程。

微观与前沿层以长期效应评估和智能监测为核心，通过长期定位观测和多源数据融合，揭示生态修复的内在机理，解决时间尺度和技术手段上的科学问题。这一层次的技术集成体现了“机理认知”和“技术引领”的理念，是生态修复的科技支撑。

这三个层次相互关联、相互支撑，共同构成了“诊断-监测-经营-评估”的完整技术链条。在这一链条中，宏观层为微观层提供目标导向，微观层为宏观层提供机理支撑，中观层则连接宏观目标与微观机理，实现技术与实践的有机融合。

5.2 当前研究的主要局限

尽管秦岭林业生态修复技术集成研究取得显著进展，但仍存在一些值得关注的问题。一是技术集成还处于探索阶段，部分技术的适用性和可推广性有待进一步验证；二是长期监测体系尚不完善，特别是对修复后生态系统演替过程的跟踪研究相对薄弱；三是技术标准体系尚未建立，不同研究之间的可比性有待提高；四是科技成果转化机制不够健全，产学研用协同创新有待加强。

5.3 未来研究方向

针对上述问题，未来研究可从以下方向深化：

第一，深化技术集成机理研究。加强多技术组合的协同机制研究，揭示不同技术之间的相互作用规律，为技术优化组合提供理论依据。同时，开展技术集成的生态效应评估，明确技术集成的适用范围和限制条件。

第二，构建长期生态监测网络。依托现有定位观测站和新建监测站点，构建覆盖秦岭主要生态系统的长期监测网络，开展气象、土壤、水文、生物等多要素协同观测，为修复效果评估和模型验证提供基础数据。

第三，完善技术标准体系。在现有研究成果基础上，加快制定林业生态修复技术规程、评价标准、验收规范等，推动技术应用的标准化和规范化。同时，探索建立修复成效认证制度，提高修复工程的质量和效益。

第四，创新科技成果转化机制。建立产学研用协同创新平台，促进科研院所、高校、企业、保护区管理机构的深度合作。探索政府购买服务、生态补偿等多元化投入机制，为技术推广提供资金保障。同时，加强技术培训和科普宣传，提高基层技术人员和公众的生态保护意识。

6 结语

林业生态保护与修复技术集成应用是生态文明建设的重要内容。本文以秦岭生态屏障为例，从宏观系统层、中观经营层、微观与前沿层三个维度，系统梳理了当前的研究成果与技术进展。研究表明，林业生态修复正从单一技术应用向多技术集成、从经验管理向智能决策、从短期治理向长期效应评估的方向发展，形成了“诊断-监测-经营-评估”的完整技术链条。这一转变体现了生态修复理念的深刻变革，标志着林业生态保护与修复进入以系统思维、精准管理和智能技术为特征的新阶段。

秦岭作为我国重要的生态屏障，其生态保护与修复实践不仅关乎区域生态安全，也为全国其他生态功能区提供了有益借鉴。未来，应进一步加强技术集成创新，完善长期监测体系，健全技术标准规范，促进科技成果转化，以科技支撑秦岭国家公园建设和“中央水塔”生态安全保障，为建设美丽中国贡献秦岭力量。

参考文献

- [1] 黄栋才；郭鑫；王得祥；王韵淑；张欣；霍雪莹.不同经营方法对秦岭华北落叶松林分生长和林下植被的影响[J]. 林业科学, 2024(8).
- [2] 洪增林；付垒.自然资源遥感监测体系在秦岭自然资源监测中的应用.卫星应用. 2024(1).
- [3] 周妍；王金满；陈妍；应凌霄；周旭；冯宇；景明.基于自然的山水林田湖草沙一体化保护和修复技术路径探索.中国土地科学.2024(6).

Exploration into the Practice of Disinfection Management in Livestock and Poultry Harmless Treatment Plants

Yan Feng Shujing Chen Fengjiao Hu

Puyang Agricultural Comprehensive Administrative Law Enforcement Detachment, Puyang, Henan, 457000, China

Abstract

Harmless treatment of livestock and poultry is the key to blocking diseases, preventing and controlling public health risks, and protecting the ecological environment. Disinfection management is the core prevention and control method throughout the entire process, which directly determines the treatment effect and biological safety level. This article combines relevant standards to elaborate on their significance, sorts out the core content and technical requirements of disinfection, analyzes prominent issues such as systems, technology, and personnel literacy, and proposes optimization strategies to provide reference guidance for owners to standardize disinfection, strengthen prevention and control, and promote high-quality industrial development.

Keywords

harmless treatment farm for livestock and poultry; disinfection management; bio-safety; disease prevention and control; standard operation

畜禽无害化处理场消毒管理实践探讨

冯琰 陈淑静 胡凤娇

濮阳市农业综合行政执法支队, 中国·河南 濮阳 457000

摘要

畜禽无害化处理是阻断疫病、防控公共卫生风险、保护生态环境的关键, 消毒管理是其全流程核心防控手段, 直接决定处理效果与生物安全水平。本文结合相关标准, 阐述其重要意义, 梳理消毒核心内容与技术要求, 分析制度、技术、人员素养等突出问题, 并提出优化对策, 为业主规范消毒、强化防控、推动产业高质量发展提供参考指引。

关键词

畜禽无害化处理场; 消毒管理; 生物安全; 疫病防控; 规范操作

1 引言

我国作为全球最大畜禽养殖国, 每年产生超 4000 万 t 病死畜禽, 约占全国肉类年总产量的 15%[2]。畜禽无害化处理场是集中处置病死畜禽的核心场所, 承担着灭除病原、防范疫病扩散的重要职责, 是畜牧业生物安全防控的关键节点。消毒管理贯穿处理全流程, 是阻断重大动物疫病传播、落实“三化”原则的核心保障[2]。

当前, 畜禽养殖规模化提升使病死畜禽产生量集中, 无害化处理场生物安全压力加大, 部分场点存在消毒不规范等问题, 易引发疫病扩散风险。因此, 规范消毒管理、优化技术方案, 对提升无害化处理水平、防范生物安全风险具有

重要现实意义, 本文结合标准与实践对此进行探讨。

2 畜禽无害化处理场消毒管理的核心内容与技术要求

畜禽无害化处理场的消毒管理需遵循“及时处理、封闭运行、彻底灭源、风险可控”的原则, 构建覆盖全流程、全方位、全要素的消毒体系, 明确消毒范围、方法、频次及技术参数, 确保消毒效果达标[3]。结合《病死动物无害化处理技术规范》《畜牧病死动物无害化处理全过程生物安全防控技术规范》等相关标准, 其核心内容与技术要求主要包括以下几个方面。

2.1 消毒范围全覆盖

消毒范围需覆盖无害化处理场所有可能被病原微生物污染的区域、设备、物品及人员、车辆, 重点包括以下 4 类区域和对象:

2.1.1 接收与暂存区域

包括病死畜禽接收台、称量设备、暂存冷库(或暂存间)、

【作者简介】冯琰(1987-), 女, 本科, 兽医师, 从事畜牧、渔政行政执法研究。

【通讯作者】陈淑静(1984-), 女, 本科, 兽医师, 从事畜牧、农资行政执法研究。

装卸场地等。该区域是病原微生物进入处理场的首要环节,需严格落实每日消毒与终末消毒制度,暂存冷库温度应控制在4℃以下,清空后需立即进行彻底消毒[3]。

2.1.2 处理作业区域

包括焚烧车间、化制车间、发酵车间、破碎车间等核心作业区域,以及处理设备(焚烧炉、化制罐、发酵罐、破碎机等)。该区域病原微生物浓度高、污染风险大,需根据处理工艺特点,落实作业前、作业中、作业后的常态化消毒,重点清理设备内壁、作业台面的残留物,避免病原微生物残留[1]。

2.1.3 辅助区域

包括污水处理区、废弃物存放区、消毒通道、更衣室、休息室、办公区等。污水处理区需对污水、污泥进行消毒处理,确保达标排放;废弃物存放区需对暂存的焚烧飞灰、处理残渣等进行消毒覆盖;消毒通道需实现人员、车辆的强制消毒[3]。

2.1.4 人员与车辆

包括进场作业人员、管理人员、运输车辆(病死畜禽运输车辆、产物运输车辆)、场内作业车辆等。人员需经过消毒通道进行全身消毒,车辆需对车身、车厢、车轮等进行全方位消毒,严防交叉污染[4]。

2.2 消毒方法与技术规范

结合畜禽无害化处理场的污染特点,消毒方法主要分为物理消毒、化学消毒和生物消毒三类,需根据消毒对象、污染程度及处理工艺,科学选择适配的消毒方法,明确技术参数,确保消毒效果。

2.2.1 物理消毒

物理消毒主要用于设备、场地、物品的表面消毒,核心方法包括高温灭菌、紫外线照射、高压冲洗等。高温灭菌适用于化制设备、工具等,如化制工艺中控制处理物中心温度 $\geq 135^{\circ}\text{C}$ 、压力 $\geq 0.3\text{MPa}$ (绝对压力)、处理时间 $\geq 30\text{min}$,可实现病原微生物彻底灭活[1];紫外线照射适用于更衣室、休息室、办公区等密闭空间,照射时间不少于30min,需定期清理紫外线灯管,确保照射强度达标;高压冲洗适用于场地、设备表面的残留物清理,配合消毒剂使用可提升消毒效果,冲洗压力不低于0.8MPa,确保无死角、无残留[3]。地方洗消规范对高压冲洗、紫外线照射等物理消毒的操作细节进一步细化,可作为场地消毒的重要参考[10]。

2.2.2 化学消毒

化学消毒无害化处理场应用最广泛的消毒方式,适用于场地、设备、车辆、人员等各类对象,核心是选择高效、低毒、低残留、环保的消毒剂,严格按照配比浓度使用。常用消毒剂包括过氧乙酸、二氧化氯、次氯酸钠等,其中过氧乙酸浓度为0.3%~0.5%,适用于场地、设备消毒;二氧化氯浓度为500mg/L~1000mg/L,适用于污水、污泥消毒;次氯酸钠浓度为1%~2%,适用于车辆、人员手部消毒[3]。消毒方式包括喷洒、擦拭、浸泡等,喷洒需确保均匀覆盖,无遗

漏,作用时间不少于30min;浸泡适用于工具、衣物等,浸泡时间不少于60min。需注意不同消毒剂不可随意混合使用,避免产生有毒有害气体,同时做好消毒剂的储存管理,防止失效[4]。

2.2.3 生物消毒

生物消毒主要用于污水处理、废弃物发酵等环节,利用微生物的代谢作用分解病原微生物,实现消毒与资源化利用结合。如采用复合菌剂(芽孢杆菌、酵母菌等)对病死畜禽发酵处理,控制发酵堆体内部温度升至55℃以上并持续至少7天,或达到65℃以上并持续至少3天,可有效杀灭病原微生物[3];污水处理中采用生物接触氧化法,利用微生物降解污水中的病原微生物和污染物,配合化学消毒可实现污水达标排放[2]。

2.3 消毒频次与流程规范

消毒频次需根据消毒对象的污染风险等级确定,核心流程需遵循“清理—冲洗—消毒—干燥—验证”的闭环管理,确保消毒效果可追溯、可验证。

2.3.1 日常消毒

接收台、装卸场地、作业台面等高频接触区域,每日消毒不少于2次;暂存冷库(暂存间)、处理设备表面,每日消毒1次;更衣室、消毒通道、办公区等,每日消毒1次;场内道路、污水处理区,每日消毒1次[3]。

2.3.2 临时消毒

病死畜禽接收后,立即对接收台、装卸工具、运输车辆进行消毒;处理作业结束后,立即对作业区域、设备进行彻底消毒;发现疑似染疫病死畜禽时,立即对相关区域、设备、人员进行全面消毒,暂停相关作业,启动应急处置流程[4]。

2.3.3 终末消毒

暂存冷库(暂存间)清空后、处理车间停产检修前、发生疫病疫情后,需对相关区域、设备、物品进行全面终末消毒,消毒后关闭区域,静置24h以上,经效果验证合格后方可恢复作业[3]。

2.3.4 消毒流程

所有消毒作业需先清理表面残留物、污物,再用高压清水冲洗干净,待表面干燥后,采用适配的消毒方法进行消毒,确保消毒药剂与消毒对象充分接触,达到规定作用时间后,对易残留的设备、物品用清水冲洗干净,干燥后投入使用,全程做好记录[3]。

2.4 消毒效果验证与监测

消毒效果验证是确保消毒工作有效的关键,需建立常态化监测机制,定期对消毒后的区域、设备、物品进行抽样检测,确保病原微生物存活率低于0.001%[2]。监测指标主要包括细菌总数、大肠菌群、特定病原微生物(如非洲猪瘟病毒、禽流感病毒)等,监测方法参照GB16548《病害动物和病害动物产品生物安全处理规程》等相关标准执行[1]。

监测频次为每月至少1次,重点区域(接收区、处理车间)

每月监测2次；发生疫病疫情后，增加监测频次，每周至少1次，直至疫情解除。对监测不合格的区域、设备，需立即停止使用，重新进行消毒处理，再次监测合格后方可恢复使用，同时分析不合格原因，优化消毒方案[3]。此外，可采用ATP生物荧光检测法进行快速验证，合格阈值应低于相对光单位（RLU）预设值（如200RLU）[3]。相关调研显示，我国部分地区无害化处理中心仍存在病原灭活不彻底的问题，进一步凸显了常态化监测与规范消毒的重要性[9]。

3 畜禽无害化处理场消毒管理存在的突出问题

近年来，我国畜禽无害化处理产业快速发展，消毒管理水平逐步提升，但结合行业排查与实践调研发现，部分无害化处理场仍存在诸多问题，制约了消毒效果与生物安全防控水平，主要集中在以下4个方面。

3.1 消毒管理制度不完善，责任落实不到位

部分无害化处理场未结合自身焚烧、化制等处理工艺制定针对性消毒制度，存在消毒范围、方法、频次不明确等问题；部分场点制度流于形式，未建立责任分工体系，消毒工作无人管、无人抓、无人查。此外，消毒记录制度不完善，消毒时间、方法、消毒剂配比等信息记录不完整，无法实现可追溯，疫病传播或消毒不合格时难以排查原因。

3.2 消毒技术应用不规范，效果难以保障

一是消毒剂选择不合理，盲目选用低价低效产品或未适配消毒对象；二是配比不规范，浓度过高易造成环境残留、设备腐蚀，过低则无法达到消毒效果；三是操作不规范，喷洒不均、存在死角，未按规定流程操作，导致病原残留；四是消毒设备老化维护不到位，无法满足技术要求。此外，部分传统处理模式配套消毒措施不完善，加剧污染风险。

3.3 人员素养不足，消毒操作水平偏低

消毒人员多为临时聘用，缺乏系统专业培训，不了解消毒原理、技术规范及生物安全知识，操作不熟练。部分人员责任意识薄弱，存在敷衍操作、违规作业、记录不完整等问题，降低消毒有效性。同时，缺乏定期复训机制，人员专业能力无法更新，难以适配新型消毒技术与防控要求。

3.4 监督管理与应急处置薄弱

内部监督缺失，多数场点未建立监督小组，未定期检查整改消毒不规范等问题；外部监管力量不足，检查频次低、不细致，难以发现潜在隐患。应急处置能力薄弱，未制定应急预案，缺乏应急物资储备，疫情或消毒不合格时无法快速启动应急消毒。此外，未建立消毒效果异常溯源机制，监测不合格时难以及时排查整改。

4 优化畜禽无害化处理场消毒管理的对策建议

针对当前畜禽无害化处理场消毒管理存在的问题，结合行业标准与实践经验，从制度完善、技术优化、人员培训、监督强化、应急提升等方面，提出以下优化对策，推动消毒管理规范化、标准化、科学化发展。

4.1 完善消毒管理制度，压实主体责任

制定针对性消毒管理制度。结合处理场焚烧、化制等工艺、规模及污染特点，参照相关国家、地方标准，明确消毒范围、方法、频次等内容，优化消毒流程，提升制度可操作性。

健全责任分工体系。明确场长为第一责任人，划分各岗位消毒职责，将消毒工作纳入绩效考核，实行奖惩机制，确保责任落实到人、到岗。

完善消毒记录与追溯体系。建立完整消毒台账，详细记录消毒相关信息，台账保存不少于2年；依托数字技术，实现处理全流程溯源。

4.2 优化消毒技术方案，提升消毒效果

科学选择消毒剂根据消毒对象和污染程度，选用高效、低毒、环保的合格消毒剂，按区域精准选用，定期更换种类避免病原产生抗药性。

规范消毒操作流程。严格遵循“清理—冲洗—消毒—干燥—验证”闭环流程，针对不同对象优化消毒方法，严格控制各项消毒技术参数。

加强消毒设备维护。定期检查、维护、校准消毒设备，及时更换老化部件，推广智能消毒设备，提升消毒效率与规范性。

4.3 强化人员培训，提升专业素养

开展系统培训。定期组织人员开展消毒原理、技术规范等内容培训，邀请专家指导，新入职人员考核合格后方可上岗。

建立定期复训机制。每半年开展一次复训，更新培训内容，通过岗位练兵等活动，提升人员责任意识与操作水平。

加强个人防护。要求作业人员规范穿戴防护用品，作业后及时消毒，定期开展健康监测。

4.4 强化监督管理，健全应急处置机制

完善内部监督检查。建立监督小组，定期检查消毒流程、记录等，对问题限期整改，将消毒效果监测纳入检查范围。

强化外部监管。监管部门加大检查力度，细化内容、增加频次，依法处罚违规场点，将消毒管理纳入信用评价，倒逼主体责任落实。

健全应急处置机制。制定应急消毒方案，储备充足应急物资，定期开展应急演练，突发情况时快速启动应急消毒，阻断病原传播。

5 结论

当前，我国畜禽无害化处理场消毒管理存在制度不完善、技术不规范、人员素养不足、监督应急薄弱等问题，制约了无害化处理质量的提升。通过完善消毒管理制度、优化消毒技术方案、强化人员培训、健全监督应急机制、推动技术创新，可有效提升消毒管理水平，实现消毒工作的规范化、标准化、科学化，助力畜牧业绿色可持续发展，筑牢公共卫

生安全防线。

参考文献

- [1] 中华人民共和国农业部. 病死动物无害化处理技术规范[Z]. 2013.
- [2] 佚名. 从被动治污到主动创效:我国畜禽无害化处理高质量发展路径[J]. 河南畜牧兽医, 2026(04): 15-20.
- [3] 佚名. 畜牧病死动物无害化处理全过程生物安全防控技术规范[S]. 2026.
- [4] 佚名. 冬春季节动物无害化处理场所疫病防控要点[J]. 中国动物检疫, 2026(02): 38-40.
- [5] 张敏, 李娟. 畜禽无害化处理场消毒管理存在的问题及对策[J]. 畜牧兽医科技信息, 2025(08): 189-190.
- [6] 王浩, 刘敏. 规模化畜禽无害化处理场消毒技术规范与实践[J]. 中国畜禽种业, 2025(10): 134-135.
- [7] GB16548-2006, 病害动物和病害动物产品生物安全处理规程[S].
- [8] 陈丽, 张强. 畜禽无害化处理场生物安全消毒管理优化策略[J]. 养殖与饲料, 2024(12): 102-104.
- [9] 李鹏, 王娟, 赵肖璟, 等. 我国部分地区病死畜禽无害化处理中心病原灭活情况调查[J]. 中国动物检疫, 2022, 39(04): 46-50.
- [10] 河南省农业农村厅. 河南省畜牧条例[Z]. 2025.

Research on Optimization of Manure Treatment Processes and Environmental Impact in Large-Scale Livestock Farms

Yujie Liu

Agricultural and Rural Comprehensive Service Center, Zhufang Township, Nayong County, Bijie, Guizhou, 553312, China

Abstract

The rapid expansion of large-scale livestock farming has not only boosted production capacity but also led to increased manure discharge, intensified non-point source pollution, and odor emission dispersion, making livestock waste treatment a critical environmental governance issue. Manure contains complex components including organic matter, nitrogen-phosphorus nutrients, and microorganisms. Improper treatment can significantly impact soil, water bodies, and atmospheric systems. Establishing a scientific, efficient, and economically viable treatment process system can achieve dual goals of resource utilization and pollution reduction. This study analyzes the characteristics of manure from large-scale farms, typical treatment technologies, process optimization pathways, and environmental impact assessments, aiming to identify comprehensive management models suitable for modern livestock farming. The results demonstrate that through process combinations, multi-stage treatment, and intelligent management, significant improvements in manure reduction and stabilization can be achieved, reducing environmental risks and providing technical support for the green development of large-scale livestock farms.

Keywords

large-scale farming; manure treatment; process optimization; resource utilization; environmental impact

规模化养殖场粪污处理工艺优化及环境影响研究

刘宇杰

纳雍县猪场乡农业农村综合服务中心, 中国·贵州 毕节 553312

摘要

规模化养殖业的快速扩张在推动畜牧业产能提升的同时,也带来了粪污排放量增大、面源污染加剧与臭气排放扩散等环境压力,使养殖废弃物处理问题成为环境治理的重要议题。粪污成分复杂,含有大量有机物、氮磷营养盐及微生物,若处理不当会对土壤、水体与大气系统造成显著影响。通过构建科学、高效、经济可行的处理工艺体系,可实现资源化利用与污染减排的同步目标。本研究围绕规模化养殖场粪污特性、典型处理技术、工艺优化路径与环境影响评价展开分析,旨在寻找适应现代养殖业发展需求的综合治理模式。研究表明,通过工艺组合、多级处理与智能化管理等方式,可显著提升粪污减量与稳定化水平,降低环境风险,为规模化养殖场的绿色发展提供技术支撑。

关键词

规模化养殖; 粪污处理; 工艺优化; 资源化利用; 环境影响

1 引言

规模化养殖业在农业现代化背景下发展迅速,产业结构不断扩大,粪污产量呈持续增长趋势,使环境承载能力承受更大压力。粪污中富含有机质与氮磷元素,可作为农业生产的潜在资源,但未经处理直接排放会导致水体富营养化、土壤盐分累积与温室气体排放增加等问题,影响区域生态系统稳定性。随着环保政策持续强化,粪污治理已从末端处理向全过程控制转变,对技术体系、运行管理与资源回用提出

更高要求。针对不同地区、不同养殖规模及污染特征的差异,构建可推广、可持续的处理工艺体系已成为研究重点。本文从粪污产生特点、工艺机理与环境风险三个维度展开分析,为规模化养殖场的粪污治理提供系统化技术框架与优化思路。

2 规模化养殖场粪污特性及处理需求分析

2.1 粪污成分与理化特性

规模化养殖场排放的粪污具有高含水率、高有机负荷与高营养盐含量等特征,其成分因动物种类、饲料组成及管理方式差异而存在变化。粪污中含有大量挥发性固体、蛋白质、纤维素及脂类物质,使其在厌氧条件下容易产生恶臭气体。氮主要以铵态存在,磷多以颗粒态结合形式存在,与固

【作者简介】刘宇杰(1994-),男,中国贵州毕节人,本科,兽医师,从事畜牧兽医研究。

体部分联系紧密。这些特性决定了粪污处理不仅需要去除有机污染物,还必须控制氮磷排放以减少对环境的负荷。粪污中还含有一定数量的细菌与寄生虫卵,若未处理便直接农用,会对农业生产安全构成威胁,因此消毒与稳定化处理同样不可忽视。

2.2 粪污产生量与排放规律

规模化养殖场粪污排放具有连续性、数量大与波动性强等特征。在集约化管理条件下,日常用水量、清洗方式及季节变化会影响粪污的浓度与总量,使其在时间上呈现周期性的变化。在密闭养殖建筑中,通风系统会带走部分氨气和硫化物,使污染物在空气中扩散,加剧周边居民区的环境压力。对粪污排放规律的掌握有助于设计合理的处理工艺及贮存设施,使系统具有更高的适应性。

2.3 处理目标与治理需求

粪污处理的目标包括稳定化、无害化、减量化与资源化四个方面。在稳定化方面,需要减少固液混合物中不稳定成分,降低恶臭产生速率;在无害化方面,需要通过工艺控制减少病原体数量;减量化旨在降低运输与储存成本;资源化强调将氮磷养分与有机质转化为可利用的肥料或能源。规模化养殖场治理需求呈现多元化趋势,既要求工艺运行稳定,又需要兼顾经济可行性与环保标准,使治理系统具备长期运转能力。

3 典型粪污处理技术及工艺特征

3.1 固液分离技术

固液分离作为养殖场粪污处理流程的起始步骤,对后续工艺的运行稳定性具有重要影响。粪污中固态部分含有高比例有机质和纤维物质,若不提前分离,会导致后续生物处理负荷增加,使系统运行不稳定。机械挤压、螺旋压滤、离心分离和重力沉降等多种技术能够根据颗粒大小与含水量实现不同程度的固液分离。固体部分在含水率降低后,可进入堆肥系统,通过微生物作用进一步稳定化;部分养殖场会将干化后的固体用作基肥或土壤改良材料。液体部分的污染物浓度下降,为厌氧消化和好氧处理提供较低的有机负荷,使生物反应过程更易维持。不同设备在能耗、处理能力和维护需求方面差异显著,需要依据粪污组成、排放量及运营条件进行选择。固液分离效率直接影响系统能耗及整体处理质量,是保障粪污处理链条顺畅运行的关键环节。

3.2 厌氧消化技术

厌氧消化是粪污稳定化与能源回收过程中最具代表性的技术,通过厌氧微生物将复杂有机物降解为甲烷和二氧化碳,使有机污染物得到显著削减。整个过程包括水解、产酸、产乙酸和产甲烷等阶段,每一阶段均依赖微生物之间的动态平衡。温度、pH、进料浓度及搅拌方式等参数会影响微生物活性,使甲烷产量在不同条件下出现明显波动。维持反应器的稳定性对系统运行意义重大,通过控制进料节奏和适当

添加缓冲剂能够稳定酸碱环境,使反应过程平稳进行。沼气作为可再生能源,可用于发电、供热或升级为生物天然气,提高养殖场能源自给水平,减少外部能源依赖。厌氧消化还能显著降低臭气释放,减少固体部分体积,是粪污减量化和资源化利用的核心工艺之一,为后续好氧处理或土地利用提供稳定的前处理条件。

3.3 好氧处理与深度净化工艺

好氧处理在粪污处理链中主要针对厌氧处理后的液体部分,通过曝气促进有机污染物进一步氧化,使氨氮转化为硝酸盐,从而改善水质指数。常见工艺包括生物滤池、氧化塘、活性污泥法和序批式反应器等,可根据养殖场面积及处理规模进行灵活配置。好氧系统对溶解氧要求较高,曝气设备的选择与运行控制对氮素去除具有决定性作用。为了达到更严格的排放或回用标准,需要对好氧出水实施深度净化,如化学沉淀用于磷去除,砂滤或膜处理用于悬浮物削减,氯消毒或紫外消毒用于控制微生物数量。深度处理的加入使粪污处理在生态安全与公共卫生层面达到更高标准,为农业灌溉、景观补水或回用提供可能。为了保持处理效果稳定,系统运行需严格管理曝气量、污泥浓度及碳源添加,使好氧反应处于高效状态。

4 粪污处理工艺优化路径研究

4.1 工艺组合的协同作用

粪污的成分结构复杂,单一处理技术往往难以兼顾减量化、无害化与资源化等多重目标,因此构建协同组合工艺成为提升处理效率的重要路径。固液分离能够快速降低悬浮物含量,为厌氧消化创造更适宜的进料条件,使反应器避免因固体负荷过高而出现酸化或运行不稳的风险。厌氧消化经过充分发酵后,液体部分仍含有一定量氮磷,需要与好氧处理形成互补,使有机物进一步氧化、氨氮转化效率提升,从而达到排放与回用要求。对于氮磷浓度较高的粪污液,可引入化学沉淀、生态湿地或膜处理等深度净化技术,增强营养盐去除效果,并使出水具有农业灌溉或循环利用的潜力。固体部分在厌氧或堆肥稳定化后,可与土地利用方式结合,转化为具有肥效的有机肥料。工艺组合的设计不仅需要关注污染削减效果,也要依据地域环境承载力、气候条件及养殖规模进行调整,使处理链条形成顺畅的物质流动与能量转化路径,实现系统协同效应最大化。

4.2 运行参数与设备性能优化

粪污处理系统的稳定运行受到多项参数控制的影响,运行条件的微小变化都会对微生物活性、反应速率与整体能效造成影响。在厌氧消化过程中,温度保持在中温或高温范围能够维持微生物代谢的持续性,温度波动过大则易导致酸化与产气效率下降。pH值需要维持在适宜区间,使产酸菌与产甲烷菌保持动态平衡;固体浓度过高会影响传质过程,降低消化效率。好氧处理单元对氧供给方式依赖较强,曝气

量、曝气模式及溶解氧浓度对氨氮氧化与有机物降解具有直接影响。同时,设备性能的优化关系到整个系统的能耗水平与运行经济性,包括厌氧罐搅拌系统的效率、曝气设备的氧传质能力、固液分离设备的机械可靠性等。通过定期维护、合理选型与能耗监测,可减少故障发生频率,使设备在长期运行中保持稳定状态。通过优化运行参数与设备性能,粪污处理系统能够在减少能耗的同时提升处理质量,使整体流程逐步向高效、可控方向发展。

4.3 智能化管控技术的引入

粪污处理系统逐渐从传统人工经验管理向数字化、智能化管理模式转变,物联网与自动化监测技术的应用为系统的稳定运行提供可靠支撑。通过在关键节点设置在线监测仪器,可以实时获得COD、氨氮、pH、温度、气体产量与设备能耗等参数,使运行状态具备可视化特征。监测数据在平台端集中处理后,可以通过大数据分析识别异常趋势,提前发现温度下降、酸化倾向或曝气不足等潜在风险,实现主动预警与动态调控。一些智能系统通过算法调整曝气频率、优化沼气利用策略或自动调节固液分离运行参数,使系统运行更加精准高效。智能化管控还能够对能耗结构进行分析,为能效优化提供依据,减少不必要的能量损耗。通过构建智能监控平台,管理人员可以远程查看系统运行状态,提高管理效率,使粪污处理从被动运维向实时调控的方向转变。智能化技术的引入不仅提升了工艺稳定性,也为粪污处理体系的长期可持续运行奠定基础。

5 粪污处理的环境影响及风险评估

5.1 水环境影响评估

未经有效处理的粪污进入自然水体后,会造成溶解氧显著下降,使水体自净能力减弱。粪污中的氮、磷以溶解态或颗粒态形式进入水域,会促进浮游藻类和水生植物的快速繁殖,使水体呈现富营养化趋势。随着藻类在死亡后大量沉降,腐败分解过程会进一步消耗溶解氧,使水体逐渐向厌氧状态转变,黑臭现象随之出现,对生态系统的食物链结构造成冲击。农业灌溉若使用受污染水源,会引起土壤盐分累积、农作物品质下降等连锁效应。针对这些风险,需要对粪污外排实施源头和过程控制,通过建设拦截渠、沉淀塘及生态缓冲带,使污染物在进入水体前得到削减。部分地区推广人工湿地与生物滤床等措施,通过植物吸收与微生物转化作用提升净化效率,使水体环境维持在可恢复状态,为养殖区周边农业与生态系统提供更稳定的保障。

5.2 大气环境影响分析

粪污在储存、发酵和处理环节中会释放氨气、硫化氢、

挥发性有机物以及甲烷等多种气体,其中氨气和硫化氢具有强烈刺激性,会对周边居民健康及空气质量造成直接影响。甲烷作为温室气体的全球增温潜能较高,大量排放会对区域气候变化产生长期影响。粪污在厌氧环境中不稳定分解时,臭气、温室气体与颗粒物可能同步释放,使污染传播距离增大。管理不当时,储存池渗漏或覆盖设施损坏也会引起气体集中排放。通过建设密封式贮存设施、配置沼气回收系统及使用生物滤池等技术,可有效降低气体逸散,使污染物在源头得到截留。完善气体收集与净化体系,对提升养殖场周边的大气质量具有重要意义。

5.3 土壤环境风险控制

粪污中含有氮、磷、有机质及微量元素,以适当方式施用于农田具有明显的改良效果,但施用方式不当会引发土壤环境风险。高浓度粪污在长期施用后可能造成土壤盐分累积,使土壤结构变得紧实,影响作物根系发育。部分养殖场粪污中含有微量重金属,若积累超过安全阈值,会对作物品质与土壤微生物群落结构造成影响。粪污中病原体若未经处理,也可能通过土壤传播,引起农田生态系统安全隐患。为降低这些风险,需要依据土壤类型、作物需肥规律与环境容量制定科学施肥制度,通过分次施用、稀释施用或与化肥配合使用,使土壤保持合理的养分平衡。对施用区域开展周期性监测,评估重金属含量、有机质变化及微生物群落结构,可判断土壤是否出现退化趋势,及时调整施肥策略。通过耕作制度优化与土地轮作,可进一步提升土壤恢复能力,使资源化利用过程更加安全可靠。

6 结语

规模化养殖场粪污处理是环境治理与农业可持续发展的核心环节,处理工艺的选择与优化对污染控制效果具有决定性意义。通过系统分析粪污特性、典型工艺及其协同作用,可构建适应不同规模养殖场需求的综合治理体系。工艺优化应兼顾稳定性、经济性与资源化潜力,使粪污处理从单一减排向循环利用转变。未来的粪污治理将更加依赖智能监测、精准控制与多工艺协同发展,使粪污处理系统在减少环境负荷的同时,实现能源与养分的可持续利用,为养殖业绿色发展提供持久动力。

参考文献

- [1] 陈达年.甘肃省规模化养殖场粪污处理技术应用效果与优化建议[J].畜牧业环境,2025,(18):25-27.
- [2] 魏敦满.规模化养猪场粪污处理工艺优化及运行效果[J].中国沼气,2020,38(03):65-71.
- [3] 张峰.规模化养殖场粪污高效处理与资源化利用策略[J].畜牧业环境,2025,(10):42-43.

Application of UAV Plant Protection Technology in Crop Pest Control

Peng Wang

Qingshen County Agriculture and Rural Affairs Bureau, Meishan, Sichuan, 620460, China

Abstract

As agricultural modernization advances, traditional pest control methods increasingly demonstrate limitations in efficiency, safety, and precision. Drone-based plant protection technology, utilizing low-altitude flight platforms and precision spraying systems, has shown significant advantages in crop disease and pest management. It enables rapid coverage, targeted pesticide application, and optimized resource allocation, demonstrating strong adaptability in complex terrains and large-scale farmland environments. This study examines the fundamental principles and system architecture of drone plant protection technology, analyzes its application models and effectiveness in pest control, and explores key factors affecting operational quality along with optimization strategies. Research findings indicate that drone-based plant protection technology effectively enhances control efficiency, reduces pesticide usage, and drives agricultural production toward intelligent and sustainable development.

Keywords

drone-based plant protection; pest and disease control; precision agriculture; agricultural mechanization; smart agriculture

无人机植保技术在农作物病虫害防治中的应用研究

王鹏

青神县农业农村局, 中国 · 四川 眉山 620460

摘要

随着农业现代化进程不断推进,传统病虫害防治方式在效率、安全性与精准性方面逐渐显现局限。无人机植保技术依托低空飞行平台与精准喷施系统,在农作物病虫害防控中展现出显著优势。其能够实现快速覆盖、精准施药与资源优化配置,在复杂地形及大面积农田环境中具有良好适应性。本文围绕无人机植保技术的基本原理与系统构成,分析其在农作物病虫害防治中的应用模式与效果,并探讨影响作业质量的关键因素及优化路径。研究表明,无人机植保技术能够有效提升防治效率,降低农药使用量,并推动农业生产向智能化与绿色化方向发展。

关键词

无人机植保; 病虫害防治; 精准农业; 农业机械化; 智能农业

1 引言

农作物病虫害是影响农业产量与品质的重要因素,传统人工喷施与地面机械防治方式在效率与均匀性方面存在不足,难以满足现代农业发展的需求。随着信息技术与航空技术的融合,无人机逐渐应用于农业生产领域,形成以精准作业为特征的植保技术体系。无人机能够在短时间内完成大面积喷施任务,同时通过控制飞行参数与喷施量,实现对农药使用的精细化管理。在农业生产向规模化与集约化发展的背景下,研究无人机植保技术的应用模式与关键技术,对于提升病虫害防控水平具有重要意义。

2 无人机植保技术的原理与系统构成

2.1 无人机植保系统的基本结构

无人机植保系统由飞行平台、喷施系统和控制系统三大核心组成部分构成。飞行平台是整个系统的基础,承担载荷和航行功能,通过动力装置保持稳定的飞行状态,并在作业过程中确保无人机以设定高度和速度运行。喷施系统则包括药箱、喷头和输液装置,负责农药的均匀喷洒。通过精确控制液体流量,喷施系统能够确保药液的均匀分布,提高防治效果。控制系统通过先进的导航与定位技术,实施飞行路径的规划和作业管理,确保无人机按照预定轨迹完成精准喷施任务。各个系统之间的高度协作使得无人机植保技术能够在复杂的作业环境中保持稳定性和高效性。这种集成式设计不仅优化了作业效率,还能够适应不同环境和作物的需求,从而提供更加精准和高效的植保服务。

【作者简介】王鹏(1975-),男,本科,农艺师9级,从事农业技术研究。

2.2 精准喷施技术与作业原理

精准喷施技术是无人机植保作业的核心，依赖于精确的喷头结构与飞行参数调节，以确保农药在作物表面均匀分布。喷施过程中的飞行高度与速度直接影响药液的沉降效果，高度过高或速度过快可能导致药液覆盖不均或飘移，而在适宜的条件下，飞行高度与速度的控制能够确保药液的精准覆盖，达到较高的防治效果。气流扰动也在喷施过程中起到了至关重要的作用，尤其是通过无人机旋翼产生的下洗气流，这种气流能有效增强药液的附着力，帮助药液更好地覆盖作物叶片表面。为了最大化喷施效果，合理设置作业参数是必不可少的，尤其是对飞行参数和喷头设计的优化，能够减少农药的浪费并提升药物的利用率。精准喷施技术不仅提高了作业效率，也确保了农药使用的环境友好性，使得无人机植保在效率和效果上展现出显著优势。

2.3 导航定位与智能控制技术

无人机植保系统的导航定位技术和智能控制系统是实现高精度作业的关键。通过卫星定位系统，无人机能够获取实时飞行位置和速度信息，精准控制飞行路径，确保作业按预定轨迹进行。这种路径规划功能使得无人机在复杂农田环境中进行精准作业，提高了效率，减少了误差。智能控制系统结合预设任务与实时数据反馈，能够自动调整飞行状态和作业参数，确保不同地形条件下的稳定运行。尤其在复杂或崎岖地形中，系统能够根据监测数据自动调整飞行姿态，避免作业失误。此外，系统还能实时监控作业状态，及时调整以确保稳定性和可靠性。导航与智能控制技术的结合，使得无人机植保作业更加智能化和精确，为农业生产提供高效、安全的技术支持。

3 无人机植保技术在病虫害防治中的应用模式

3.1 大田作物病虫害防治应用

无人机在大田作物病虫害防治中的应用，极大提高了防治效率。传统的人工操作不仅费时费力，而且在病虫害爆发初期往往难以及时进行防治。而无人机能够在短时间内完成大面积农田的喷洒任务，有效减少作物损失。无人机可以根据农田的地形、作物类型和气象条件，合理规划航线，确保喷施的均匀性，达到理想的防治效果。尤其是在水稻、小麦和玉米等主要粮食作物中，无人机植保技术得到了广泛应用，能够迅速覆盖整个田地，实现精准喷洒。在高温、湿度较高或复杂地形等环境条件下，无人机也能稳定作业，避免了传统喷施方法因天气和地形变化带来的影响。因此，无人机不仅提高了作物病虫害防治的效率，还能确保防治工作不受环境限制，提升农业生产的整体稳定性和可持续性。

3.2 经济作物精细化防控应用

在经济作物的病虫害防治中，精细化作业是提高防治效果的关键。果园和蔬菜种植区常常面临较高的防控要求，传统的喷洒方式容易导致药液浪费或喷洒不均。无人机植保

技术通过调节喷施参数，使得防治更加精细化。无人机能够根据作物的生长阶段和病虫害的发生规律，灵活调整喷药量、喷洒高度和飞行速度，确保药液能够精准覆盖每一片区域，最大限度地提高防治效果。在果树种植中，无人机可以穿越复杂的地形，通过精确控制飞行轨迹，保证树冠区域得到均匀喷洒，尤其是在树枝繁茂的情况下，传统机械很难高效作业，而无人机能够灵活地进行高效喷施。此外，针对不同作物的特点，无人机还能快速适应作业环境，进行个性化的作业方案调整，从而提升经济作物的病虫害防控水平，确保高效、安全的作物生产。

3.3 复杂地形区域的应用优势

在山区及丘陵等复杂地形区域，传统的农业机械往往无法进入，导致病虫害防治工作面临巨大挑战。无人机植保技术在这种地形条件下具有独特的优势。无人机能够灵活飞行，轻松覆盖难以到达的区域，无需依赖传统道路条件，大大提高了作业的便捷性与效率。与传统机械相比，无人机能够在狭窄、陡峭的地形中自由飞行，精准喷洒药液，从而解决了传统机械无法进入的难题。通过根据地形变化调整飞行高度，确保喷施效果在不同高度下保持稳定，进一步提高了作业质量。无人机还能够在较短的时间内完成作业任务，减少了人工巡查的时间和成本，为偏远地区的农业防控工作提供了有力支持。随着无人机技术的发展，山区和丘陵等复杂地形的病虫害防治水平得到了显著提升，不仅增强了农业生产的可持续性，也为传统农业的现代化转型提供了重要助力。

4 无人机植保作业效果影响因素分析

4.1 气象条件对作业质量的影响

气象条件对无人机植保作业有着显著的影响，特别是风速、温度和湿度等因素，都会直接关系到喷施效果。风速过高时，药液容易发生漂移，导致喷洒区域不均匀，甚至影响周围环境，降低防治效果。为了避免这一问题，作业时应选择风速适宜的天气，确保喷雾能够准确覆盖目标区域。此外，温度和湿度也是影响喷施效果的重要因素。温度较高时，药液挥发速度加快，导致药效降低；而湿度较低时，药液的附着力不足，降低了防治效果。为了最大化药液的利用率，必须对气象条件进行评估，并选择合适的时间窗口进行作业。在气象条件的良好支持下，无人机植保能够更加精准高效地完成防治任务，因此，作业前的气象监测与评估至关重要。

4.2 飞行参数与喷施效果关系

飞行高度与速度对无人机植保作业的喷施效果起着决定性作用。飞行高度过高时，药液的扩散范围增大，但覆盖密度可能不足，从而影响喷施的均匀性和效果。反之，飞行高度过低则可能影响作业效率，增加药液的使用量，且难以确保覆盖全区域。因此，合理设置飞行高度非常关键，需要

根据作物的高度、作业区域的大小及喷施需求来确定最合适的飞行高度。同时，飞行速度也直接影响喷施均匀性。速度过快时，药液可能无法均匀分布，影响药效；而飞行速度过慢则会影响作业效率，增加作业时间。在实际操作中，必须根据作物类型、环境条件以及喷洒要求来调整飞行参数，以确保喷施效果达到最佳状态。合理的飞行参数设置不仅能提高喷施均匀性，还能有效提高作业效率，是保障作业质量的核心因素。

4.3 农药特性与作业匹配问题

不同类型的农药具有各自不同的理化特性，这些特性决定了其在喷施过程中的表现。部分农药需要较高的附着力，以确保药液在作物表面停留更长时间，增强防治效果；而另一些农药则更注重渗透性，要求药液能够快速渗透到植物内部。无人机植保系统在选择喷头与喷施方式时，需要根据农药的特性进行匹配，以确保其发挥最佳效果。例如，针对需要高附着力的农药，应选择能够增加药液附着性的喷头，而对于要求渗透性的农药，则应选用细雾喷头来提高药液的渗透性。此外，药液的浓度与配比也是影响防治效果的重要因素。药液浓度过高或过低都可能影响药效，并造成不必要的浪费。通过科学配置农药浓度和配比，可以提高防治效果并减少资源浪费。因此，农药的理化特性与设备的匹配是实现精准防控的关键环节，科学的选择与配置能够大大提升无人机植保的防治效果。

5 无人机植保技术的优化路径与发展方向

5.1 作业标准化与技术规范完善

无人机植保技术的广泛应用要求建立统一的作业标准和技术规范，以确保作业质量和效果。通过规范化操作流程，能够为不同地区提供参考依据，使技术应用更具统一性和标准化。明确参数设置与操作要求，能够减少人为操作的误差，从而提高病虫害防治的准确性和防治效果。例如，规范化的飞行高度、喷洒速度、喷药量等参数，能够确保作业的一致性和精确性，避免不必要的资源浪费。在标准化建设的基础上，植保作业的实施可以更加高效和安全，从而推动无人机植保技术在农业生产中的普及与推广。作业标准的建立不仅有助于技术的普及，也为行业监管与技术培训提供了清晰的框架，进一步提升了无人机植保技术的可靠性与效果。

5.2 智能化技术融合与系统升级

随着人工智能与大数据技术的发展，无人机植保系统正逐渐向智能化方向演进，通过技术融合推动效率的提升。智能化技术使得无人机能够在作业中进行数据分析，实时监测作物生长状态与病虫害发生情况，进而实现精准防控与病虫害预测。通过数据分析与模型算法，智能系统可以自动调整作业方案，根据不同的作物种类、地理环境和病虫害类型，

优化喷洒方案。这种自动化与智能化的结合，能够极大地提高资源利用效率，减少不必要的资源浪费。例如，系统可根据环境实时变化自动调整喷药量，确保作业更加精细和高效。通过智能化的技术升级，无人机植保将不再仅限于作业的执行层面，而将向更高效、更精准的管理层次发展，推动农业生产方式的全面升级。

5.3 绿色防控与可持续发展策略

绿色防控是现代农业发展的重要方向，特别是在环境保护和可持续发展日益受到重视的今天，无人机植保技术提供了一个实现绿色防控的有效手段。传统农业中，过量使用农药不仅对环境造成污染，还可能影响农作物的健康。而无人机植保技术能够通过精准施药，减少农药的使用量，降低对土壤和水源的污染风险。精准喷洒技术确保了农药只作用于病虫害区域，避免了广泛撒播带来的环境负担。未来，结合生物防治与生态调控技术，进一步减少化学农药的依赖，提升生态友好型防控效果。例如，通过与自然捕食者共生的方式结合，无人机可以辅助监控和释放有益生物，帮助控制害虫数量。绿色防控策略的融入，将使农业生产更加环保、可持续，有助于实现长期农业发展的目标，同时也能够保护自然资源和生态系统，推动农业生态文明建设。

6 结语

无人机植保技术在农作物病虫害防治中展现出显著的优势，通过精准喷施和高效作业，不仅提高了防控效率，还优化了资源利用。与传统植保方式相比，无人机能够在短时间内完成大面积农田的喷洒作业，减少了人工成本和药物浪费。此外，无人机在不同作物和复杂环境中的应用表现出较好的适应性，能够精确识别病虫害发生区域，提供更为精细的防治方案。随着技术的不断进步，无人机植保将在智能农业中发挥越来越重要的作用，推动农业生产向精准化、智能化转型。在未来的应用实践中，完善相关技术体系并推广其应用，将有效提升农业生产的质量和效益，为现代农业可持续发展提供重要支撑。

参考文献

- [1] 段丽红.内蒙古杭锦旗植保无人机在农作物病虫害防治中的应用[J].农业工程技术,2025,45(31):62-63.
- [2] 蒋小波.植保无人机在水稻病虫害防治应用中的对策研究[J].农业灾害研究,2024,14(05):22-24.
- [3] 朱超.农用无人机技术在农作物病虫害防治中的应用[J].村委主任,2024,(02):215-217.
- [4] 杨荣荣.无人机植保技术在玉米病虫害防治中的推广应用[J].中国农机装备,2023,(12):59-61.
- [5] 翟宝安.无人机技术在农作物病虫害防治中的运用研究[J].农业开发与装备,2020,(08):132+135

Study on Influencing Factors and Control Techniques of Survival Rate of *Pinus tabulaeformis* Afforestation under Different Site Conditions

Yan Wang

Chantang Temple Forest Farm, Shanxi Taihang Mountain State-owned Forest Administration Bureau, Heshun, Jinzhong, 032700, China

Abstract

As a key afforestation species in northern China, Chinese pine plays a vital role in soil and water conservation as well as ecological restoration. However, its survival rate exhibits significant variations across different site conditions, which hinders the improvement of afforestation quality. Site factors such as soil type, moisture status, topography, and climatic conditions critically influence seedling survival rates. Concurrently, human factors including seedling quality, afforestation techniques, and management practices also exert moderating effects. Through systematic analysis of the coupling relationships between site conditions and technical measures, evidence-based strategies can be developed to enhance survival rates. Building upon this foundation, establishing a technical framework centered on scientific land preparation, optimal afforestation timing, rational density configuration, and water-fertilizer regulation tailored to diverse environmental conditions will contribute to improving the stability and ecological benefits of Chinese pine plantations, thereby achieving sustainable forest stand development.

Keywords

pinus tabulaeformis; site conditions; afforestation survival rate; ecological factors; regulation technology

不同立地条件下油松造林成活率影响因素及调控技术研究

王艳

山西省太行山国有林管理局禅堂寺林场, 中国·晋中 和顺 032700

摘要

油松作为北方重要造林树种, 在水土保持与生态修复中具有重要作用, 但其成活率在不同立地条件下差异显著, 制约造林质量提升。立地因素如土壤类型、水分状况、地形及气候条件, 对苗木成活具有关键影响。同时, 苗木质量、造林技术与抚育管理等人为因素亦在其中发挥调节作用。通过系统分析立地条件与技术措施的耦合关系, 可为提高成活率提供依据。在此基础上, 针对不同环境条件构建以科学整地、适宜造林时间、合理密度配置及水肥调控为核心的技术体系, 有助于提升油松造林的稳定性与生态效益, 实现林分健康持续发展。

关键词

油松; 立地条件; 造林成活率; 生态因子; 调控技术

1 引言

油松 (*Pinus tabulaeformis*) 广泛分布于我国华北及西北地区, 适应性强, 耐寒耐旱, 是干旱半干旱地区生态建设的骨干树种。在退化生态系统恢复、风沙治理以及水源涵养等方面发挥着重要作用。随着国家生态工程的深入推进, 油松人工林建设规模不断扩大, 但在实际生产中, 造林成活率不稳定的问题仍较为突出。立地条件作为影响造林成败的基础因素, 其差异性直接决定了苗木生长环境的优劣。不同地

区在土壤结构、水分条件及气候环境方面存在明显差异, 这些因素相互叠加, 使油松苗木在造林初期面临复杂的生存压力。同时, 传统造林方式在一定程度上忽视了立地差异性, 导致技术措施与生态条件匹配不足, 影响造林效果。在当前生态文明建设背景下, 提高油松造林成活率不仅是提升森林质量的重要途径, 也是实现生态效益与经济效益协调发展的关键环节。因此, 从立地条件出发, 系统梳理影响成活率的主要因素, 并构建针对性的调控技术体系, 具有重要的理论与实践意义。

2 立地条件对油松造林成活率的影响机制

2.1 土壤性质对成活率的制约作用

土壤作为植物生长的基础载体, 其理化性质直接影响

【作者简介】王艳 (1976-), 女, 中国山西晋中人, 本科, 工程师, 从事营造林研究。

油松苗木的根系发育与养分吸收。不同类型土壤在结构、通气性及保水能力方面存在差异。砂质土壤排水性能良好,但保水保肥能力较弱,易导致苗木在干旱条件下水分亏缺;黏重土壤则通气性不足,容易形成板结,影响根系呼吸。土壤有机质含量对苗木初期生长尤为关键。有机质丰富的土壤能够提高养分供应能力,同时改善土壤结构,增强保水性。在贫瘠立地条件下,苗木根系扩展受限,生理活性降低,从而影响成活率。因此,在造林前对土壤进行科学评价,并采取改良措施,是提高成活率的重要前提。

2.2 水分条件对苗木存活的影响

水分条件在油松造林过程中具有基础性约束作用,尤其在半干旱地区,其时空分布特征直接影响苗木的生理活动与成活表现。降水季节性集中而年内分布不均,加之蒸发强度较高,使得土壤有效水分常处于波动状态,苗木在造林初期易出现水分亏缺。土壤含水量一旦低于维持正常生理活动的阈值,将抑制光合作用与蒸腾调节功能,进而影响养分吸收与生长发育,严重时导致苗木死亡。地形因素进一步加剧了水分分布差异,不同坡位因径流与渗透条件不同而表现出明显差别。坡顶及坡肩区域受径流冲刷影响较大,土壤保水能力相对较弱,而坡脚及沟谷地带则更易形成水分汇集区,具备较好的水分条件。基于此,在造林实践中应结合立地特征进行地块选择,并通过水平沟、集水坑等措施调控水分分布,以提高苗木成活率与生长稳定性。

2.3 地形与气候因素的综合影响

地形因素通过影响光照、温度及水分分布,间接作用于油松苗木的生长。阳坡光照充足,但水分蒸发强烈,苗木易发生干旱胁迫;阴坡则相对湿润,有利于苗木存活,但光照不足可能限制其生长速度。气候条件中的温度变化同样对造林成活率产生重要影响。早春低温或晚霜可能导致新植苗木受冻,夏季高温则加剧蒸腾作用,使苗木水分亏缺。气候与地形的耦合作用,使油松造林面临复杂的环境挑战,需要在造林设计中加以综合考虑。

3 苗木质量与造林技术对成活率的影响

3.1 苗木规格与生理状态

苗木质量作为造林成活的内在基础,其规格与生理状态直接决定移栽后的适应能力与恢复速度。健壮苗木通常表现为根系发达、须根丰富、地上部分生长均衡,这类苗木在移植过程中能够较快恢复吸水与吸收功能,从而降低环境变化带来的不利影响。苗木规格的选择需与立地条件及造林方式相匹配,过大苗木在起苗与运输过程中易产生根系断裂与失水问题,移栽后缓苗期延长,而过小苗木则因贮藏养分不足及抗逆能力较弱,在干旱或温差较大的环境中易发生生理失调。苗木生理状态同样不可忽视,处于休眠期或生长缓慢期的苗木,其蒸腾作用较低,更有利于移栽成活。在操作环节中,起苗、运输与栽植过程对苗木保护提出较高要求,需

通过缩短裸露时间、保持根系湿润及避免机械损伤等措施,维持其生理活性。通过对苗木规格与状态的综合控制,可显著提升造林初期的成活基础。

3.2 整地方式与栽植技术

整地与栽植作为造林实施的关键环节,对改善立地条件与促进苗木生长具有直接作用。合理的整地方式能够改变土壤结构,提高疏松度与通气性,从而增强土壤对水分与养分的保持能力。在坡地环境中,通过鱼鳞坑或水平沟等整地形式,可有效截留径流与减少水土流失,使降水在局部区域得到蓄存与利用,为苗木提供稳定水源。整地过程还可通过清理石块与杂根,为根系扩展创造良好空间。栽植技术的规范性同样决定成活效果,栽植深度需根据土壤条件与苗木特性进行控制,使根系既能保持适宜湿度,又不影响其正常呼吸。栽植时应保证根系自然舒展,避免卷曲或挤压,并通过分层回填与适度踏实,使土壤与根系紧密结合,从而提高吸水效率。整地与栽植技术的协同优化,有助于构建适宜的根际环境,为苗木稳定生长提供保障。

3.3 造林时间与密度配置

造林时间与密度配置在造林系统中具有调控生长节律与资源分配的重要作用。时间选择需充分考虑区域气候条件与土壤水分状况,在春季土壤解冻且水分条件较好的阶段进行造林,可为苗木提供充足的初始水分支持,有利于快速恢复生长;在秋季进行造林,则可利用土壤尚未冻结的时段促进根系生长,但需防范低温对新植苗木的潜在影响。合理安排造林时序,有助于降低环境胁迫并提高成活概率。密度配置则关系到个体生长与群体结构之间的平衡,过高密度易导致资源竞争加剧,使水分与养分供给不足,从而影响苗木质量;过低密度则难以形成良好的群体效应,不利于林分郁闭与生态功能发挥。通过结合立地条件与经营目标确定适宜密度,并在后期通过抚育管理进行动态调整,可在提高成活率的同时促进林分结构优化与长期稳定发展。

4 不同立地条件下的调控技术措施

4.1 土壤改良与保水技术

在立地条件较差的造林区域,土壤肥力不足与结构不良往往成为制约苗木成活与生长的重要因素。通过施用有机肥、腐殖质或秸秆还田等措施,可有效提升土壤有机质含量,改善土壤团粒结构,从而增强其保水保肥能力。土壤结构的优化不仅有利于根系下扎与扩展,也有助于提高微生物活性,促进养分循环。在干旱或半干旱区域,地表覆盖技术具有显著的保水效果,通过地膜、秸秆或枯枝落叶覆盖,可以减少蒸发损失并缓冲地表温度波动,为苗木提供较为稳定的生长环境。与此同时,保水剂的应用为提高水分利用效率提供了重要手段,其通过吸水膨胀并在干旱条件下缓慢释放水分,有助于维持根际环境湿润,缓解阶段性缺水压力。上述措施的综合运用,使土壤由单一载体转变为具备调节与储存

功能的生态基质,从而为苗木生长提供持续支持。

4.2 水分调控与灌溉措施

水分条件是影响造林成活率的关键因素之一,尤其在降水分布不均或年降水量偏低地区,科学的水分调控措施具有重要意义。灌溉管理应建立在对土壤类型与气候特征综合分析的基础之上,通过合理确定灌溉时机与水量,避免因水分不足或过量而引发的不利影响。采用滴灌或穴灌等方式,可将水分直接输送至根系集中区域,提高水分利用效率并减少地表蒸发损失。这类精细化灌溉方式不仅能够节约水资源,也有助于维持土壤适宜的含水状态。与此同时,通过修筑水平沟、集水坑或小型蓄水设施,可有效拦截与蓄存降水,将间歇性降雨转化为可持续利用的水源,从而在干旱时段为苗木提供补充水分。通过灌溉措施与集水工程的协同配置,可构建相对稳定的水分供给体系,提高苗木在不利气候条件下的适应能力。

4.3 生态调控与混交造林模式

在生态条件较为脆弱或立地环境复杂的区域,单一树种造林往往面临适应性不足与生态风险累积的问题。通过引入混交造林模式,将油松与耐旱性强或具有固氮能力的树种进行合理配置,有助于改善林地微环境并提升整体生态功能。不同树种在根系分布、养分吸收及水分利用方面具有差异性,这种互补关系能够提高资源利用效率,减少同质竞争,从而促进群体稳定生长。混交林结构还可增强系统的抗逆性,对气候波动、病虫害及土壤退化等外部压力具有更强的缓冲能力。同时,多样化的植被结构有助于提升生物多样性水平,促进土壤微生物群落的恢复与演替,进一步改善土壤理化性质。通过优化林分结构与功能配置,混交造林不仅能够提高造林初期的成活率,也为后期林分稳定与生态效益持续发挥提供重要保障。

5 后期抚育管理对成活率的持续影响

5.1 除草与松土管理

造林初期苗木根系尚未充分扩展,对水分与养分的获取能力较弱,而杂草生长迅速,极易在短时间内形成竞争优势,从而对苗木成活与生长造成抑制。在此阶段开展科学的除草管理,对于保障苗木正常生长具有重要意义。除草作业不仅能够降低地表植被对水分与养分的消耗,还可减少病虫害滋生的潜在环境。与此同时,松土措施通过改善土壤结构与通气条件,有助于提高土壤孔隙度,增强根系呼吸与吸收能力,从而促进苗木根系向纵深发展。合理控制松土深度与频次,既能避免破坏土壤结构,又能有效缓解板结现象,使土壤保持良好的理化性质。通过除草与松土的协同管理,可在造林早期构建适宜的生长环境,为苗木后续稳定生长奠定基础。

5.2 病虫害防治措施

油松幼苗阶段对外界环境变化较为敏感,病虫害侵袭

往往成为影响其成活率与生长质量的重要因素。以松毛虫为代表的害虫在一定条件下易发生群体性爆发,对针叶造成严重损伤,进而削弱苗木光合作用能力。有效的防治应建立在持续监测基础之上,通过对虫情发生规律的掌握,实现早期预警与及时干预。在防治策略上,应注重生态安全与综合治理,优先采用生物防治手段,如利用天敌昆虫或微生物制剂控制害虫种群数量,同时辅以物理防治措施,如诱捕装置与人工清除等方式,减少化学药剂使用对生态环境的干扰。在必要情况下,合理选用低毒、高效药剂进行定点防控,以实现风险可控。通过构建多层次防控体系,可在保障苗木健康生长的同时,维持林地生态系统的稳定性。

5.3 补植与修复措施

造林过程中受立地条件差异、气候波动及人为因素影响,部分苗木出现死亡或生长不良现象具有一定普遍性。若不及时进行补植,将导致林分密度不均,影响整体结构稳定与后期生长潜力。因此,应在适宜季节对缺株区域进行补植,选用与原造林一致或适应性更强的苗木类型,以保证群体结构协调一致。补植过程中需结合土壤条件进行适当整地与基质改良,提高苗木成活率。同时,对于受损较为严重的区域,应采取针对性的修复措施,如改良土壤结构、恢复地表覆盖及优化排水条件等,以改善立地环境。通过补植与修复的协同实施,可逐步恢复林分连续性与稳定性,提高造林整体质量,并为后续林分培育与生态功能发挥提供良好基础。

6 结语

油松造林成活率受多种因素共同作用,其中立地条件发挥着基础性作用,而造林技术与管理措施则具有重要的调节功能。通过对土壤、水分、地形及气候等因素的系统分析,可以明确不同立地条件下的主要限制因素。在此基础上,结合苗木质量控制与科学造林技术,构建针对性的调控体系,有助于显著提高造林成活率。实践表明,单一措施难以从根本上解决成活率问题,需从立地选择、整地方式、造林时间到后期管理进行全过程优化。未来,应进一步加强区域差异研究,结合现代技术手段,实现油松造林的精细化管理与可持续发展,为生态建设提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 王跃平.油松造林成活率的影响因素分析[J].中国林业产业,2025,(02):52-53.
- [2] 王森.油松造林成活率影响因素与良种化技术[J].农业灾害研究,2022,12(07):185-187.
- [3] 刘晓东.浅析油松造林成活率的影响因素[J].山西林业,2021,(05):28-29.
- [4] 韩园园.浅析油松造林成活率的影响因素[J].新农业,2020,(16):35.
- [5] 郭志红.浅析油松造林成活率的影响因素[J].山西林业科技,2019,48(04):19-20+31.

Research on the Regulatory Mechanisms of Wheat Broad-Spreading Precision Sowing Technology on Population Structure and Yield by

Yong Du Fu Han Zhiyuan Li Yan Xiang Hao Liu

Sishui County Sizhang Town Agricultural and Rural Comprehensive Service Center, Sishui, Shandong, 273200, China

Abstract

Wheat yield formation is influenced by synergistic effects of variety characteristics, cultivation methods, resource availability, and population structure. With increasing demands for high-yield stability and cost-efficiency optimization, traditional row sowing has gradually revealed limitations in population distribution, individual development coordination, and post-harvest stress resistance. Broad-spread precision sowing improves population ventilation and light penetration through optimized sowing width, depth, seeding rate, and seed spatial distribution, while enhancing individual-population coordination. This approach facilitates rational population structure formation, promotes dry matter accumulation, and increases grain yield. The study analyzes the impact mechanisms of broad-spread precision sowing on seedling population establishment, tiller dynamics, canopy structure, light-temperature-water-fertilizer utilization, and yield composition factors, proposing optimization pathways based on practical challenges. The research demonstrates that broad-spread precision sowing represents not merely a cultivation method adjustment but a cultivation control strategy centered on population quality enhancement, holding significant practical value for advancing wheat production toward higher efficiency, environmental sustainability, and stable yields.

Keywords

wheat; wide-row precision sowing; population structure; yield formation; cultivation techniques; regulatory mechanisms

小麦宽幅精播技术对群体结构及产量的调控机制研究

杜勇 韩福 李志远 相岩 刘浩

泗水县泗张镇农业农村综合服务中心, 中国 · 山东 泗水 273200

摘 要

小麦产量形成受品种特性、栽培方式、资源供给及群体结构协同影响。随着高产稳产与节本增效需求提升,传统条播在群体分布、个体发育协调及后期抗逆性方面逐渐显现局限。宽幅精播通过优化播幅、播深、播量及种子空间分布,改善群体通风透光条件,协调个体与群体关系,有利于构建合理群体结构、增强干物质积累和提升籽粒产量。文章分析宽幅精播对苗期群体建成、茎蘖动态、冠层结构、光温水肥利用及产量构成因素的影响机理,并结合应用中的问题提出优化路径。研究认为,宽幅精播不仅是播种方式调整,更是以群体质量提升为核心的栽培调控手段,对推动小麦生产向高效、绿色、稳产方向发展具有重要实践价值。

关键词

小麦; 宽幅精播; 群体结构; 产量形成; 栽培技术; 调控机制

1 引言

小麦是我国重要粮食作物,其稳产增产关系粮食安全与农业生产效益。长期以来,小麦生产在提高单位面积产量方面积累了较多经验,但在高密度种植、资源利用不均和群体后期早衰等方面仍面临现实问题。传统播种方式往往更重视基本苗数量,却对株行分布合理性和个体生长均衡性关注不足,容易造成前期苗多苗挤、中后期群体郁闭、无效分蘖

偏多和穗粒结构不协调。宽幅精播技术在此背景下得到推广应用。该技术通过扩大播种带宽、降低带内拥挤度、提升种子分布均匀性,使小麦植株在出苗、生长和灌浆过程中获得更适宜的空间条件,从而促进群体结构优化和产量潜力释放。研究宽幅精播技术对小麦群体结构及产量的调控机制,有助于深化高产高效栽培理论,也能为区域化小麦生产技术改进提供参考。

2 小麦宽幅精播技术的内涵及应用基础

2.1 宽幅精播技术的基本概念与主要特征

宽幅精播是相对于传统窄行条播方式提出的一种播种

【作者简介】杜勇(1986-),男,中国山东泗水人,本科,助理农艺师,从事农业研究。

技术,其核心在于通过合理扩大播种幅宽、控制播种深度、精准调节播量和改善种子在播种带内的分布状态,使小麦出苗更加均匀、个体占有空间更合理、群体结构更协调。{1}这一技术并不是单纯地把行距加宽,而是在一定播幅条件下兼顾带内疏密均衡和整体群体适宜密度,避免种子过度集中于狭窄区域。与常规播种相比,宽幅精播更强调精量化和均匀化,既关注基本苗数量,也重视苗情整齐度和个体生长潜力。该技术通常要求配套性能较好的播种机械,以保证播深一致、下种稳定和覆土适宜,从而为后续群体建成奠定基础。

2.2 宽幅精播技术推广的现实背景

近年来,小麦生产面临种植成本上升、极端天气增多、资源环境约束趋紧等多重压力,传统依赖增加播量和投入换取产量的方式已难以适应现代农业发展要求。尤其在部分高产区,播量偏大、个体生长空间不足、群体后期通透性差等问题较为突出,导致倒伏风险上升、病害加重和产量提升空间受限。与此同时,农业机械化水平不断提高,为精量播种和模式优化提供了技术条件。宽幅精播正是在提高播种质量、优化田间结构和提升资源利用率的现实需求下逐步推广。该技术能够通过较少的种子投入建立较高质量群体,符合节本增效和绿色生产方向。对于追求稳产、高产和高效统一的小麦生产体系而言,宽幅精播既是播种方式改进,也是栽培理念由“重数量”向“重质量”转变的体现。

2.3 宽幅精播与群体质量构建的关系

小麦高产并不等于单纯增加穗数,而是需要在适宜穗数、粒数和粒重之间形成动态平衡。群体质量的高低,关键取决于个体生长是否健壮、分蘖成穗是否合理、叶层结构是否有利于光合生产以及群体后期是否保持较强活力。宽幅精播通过改善植株空间分布,使苗期根系伸展和叶片展开条件更好,植株间竞争压力适度降低,能够促进壮苗形成和有效分蘖保留。在此基础上,群体内部透光性增强,中下部叶片功能期延长,干物质生产与分配更趋合理。可以说,宽幅精播并不是简单追求“苗匀”,而是通过“匀苗、壮苗、稳群体”的链条作用提升群体质量。群体质量一旦提高,后期穗部发育和籽粒灌浆便更容易获得可靠保障,这也是其促进产量形成的重要逻辑起点。

3 宽幅精播技术对小麦群体结构的调控作用

3.1 对基本苗形成与苗期群体建成的调节作用

播种质量直接影响小麦苗期群体基础。宽幅精播技术通过控制播深和改善落籽均匀性,使出苗整齐度明显提高,减少了深浅不一导致的弱苗、小苗和晚苗现象。种子分布由狭窄集中转向带状均匀后,幼苗间对光照、养分和水分的早期竞争有所缓解,个体发育更趋一致,基本苗形成质量相对更高。苗齐、苗匀、苗壮不仅表现为植株高度接近和叶龄同步,也体现在根系活力和分蘖潜力较为均衡。与传统高密度窄行播种相比,宽幅精播更容易避免局部缺苗和局部过密并

存的问题,从群体起点上增强田间结构的稳定性。

3.2 对分蘖动态与个体生长协调的促进作用

小麦产量形成依赖分蘖发生、成穗转化和个体器官发育之间的协调。{2}宽幅精播条件下,由于个体生长空间相对改善,主茎和低位分蘖更容易获得较好的光照和养分供应,早期分蘖发生较为稳健,分蘖节位质量较高。与此同时,植株间无序竞争减弱,过多无效分蘖生成受到抑制,群体由“多蘖并发”转向“适蘖稳发”。这种变化有助于减少后期养分消耗和无效营养体负担,提高分蘖成穗率。个体方面,茎秆粗壮度、叶片伸展状态和根系下扎能力通常较好,主茎与分蘖间的生长差异缩小,从而形成较为整齐成穗群体。宽幅精播对分蘖动态的调控,不是单纯减少蘖数,而是强调有效分蘖比例提升和群体内部个体发育趋于协调,这为后期形成大穗和稳定结实提供了重要前提。

3.3 对冠层结构与通风透光条件的优化作用

小麦群体后期是否具有较高光合效率,与冠层结构密切相关。传统播种方式下,植株过于集中,叶片相互遮蔽严重,群体中下层容易因光照不足而提早衰退。宽幅精播通过调整植株排列和群体空间布局,使冠层叶片分布更趋合理,上层叶受光充足,中下层叶片也能获得一定散射光,进而延长群体整体功能期。通风条件改善后,冠层湿度相对下降,病害发生风险有所减轻,叶片保持绿色时间更长。更为重要的是,合理的冠层结构有利于群体光能截获与转化效率提升,使干物质积累不再仅依赖上层少数叶片,而形成较为稳定的整体生产体系。由此可见,宽幅精播对冠层环境的改善并非附带效应,而是其提升群体质量和后期产量潜力的重要实现路径。

4 宽幅精播技术影响小麦产量形成的机制分析

4.1 通过改善资源利用效率促进干物质积累

小麦产量最终建立在干物质生产和分配的基础上。宽幅精播优化了植株空间配置,使群体对光照、水分和养分的竞争更加有序。光照方面,冠层结构改善后群体叶面积发展更加合理,光合有效辐射利用效率提高;水分方面,个体根系分布更均衡,有利于土壤水分吸收利用;养分方面,植株间营养竞争由局部激烈转向整体协调,减少了“强苗过旺、弱苗不足”的不均衡现象。{3}资源利用效率提高后,群体在拔节、孕穗和灌浆等关键阶段的干物质积累能力增强,既能保障营养器官生长,也有利于穗部器官发育。

4.2 通过优化产量构成因素提高群体产出水平

小麦产量通常由单位面积穗数、每穗粒数和千粒重共同决定。宽幅精播对三者的影响具有综合性和协调性。由于其有利于形成健壮个体和提高分蘖成穗率,单位面积穗数能够在适宜范围内保持稳定;由于中后期群体结构合理、穗部营养供应较好,每穗粒数和结实质量通常更有保障;由于灌浆期群体叶片功能维持较长,籽粒充实程度较高,粒重表现

也更为稳定。与片面依靠高密度增加穗数的方式相比,宽幅精播更重视产量构成因素之间的平衡关系。其增产机理不在于某一单项指标极端提高,而是通过群体结构优化促进穗、粒、重三者协同提升,从而获得更稳定的群体产出水平。

4.3 通过增强抗逆稳产能力保障产量实现

在实际生产中,影响小麦产量的不仅是正常条件下的生长表现,还包括对倒伏、干旱、低温和病害等逆境的适应能力。宽幅精播建立的群体结构相对稳健,植株个体健壮度较高,茎秆质量和根系活力通常较好,因此在抗倒伏方面具有一定优势。通风透光条件改善后,群体湿度下降,也有助于减轻部分病害发生。对于土壤水分波动较大的区域,较合理的群体分布可以缓解水分竞争过度集中带来的不利影响,增强群体整体适应性。稳产能力的提升意味着宽幅精播不仅在理想条件下有利于高产,在复杂环境中也更容易保持较高产量实现率。由此可见,其调控机制具有明显的生理生态基础,是一种兼顾高产潜力与生产稳定性的栽培方式。

5 宽幅精播技术应用中的关键问题与优化路径

5.1 因地制宜确定播幅与播量参数

宽幅精播技术在优化小麦群体结构和提升产量方面具有显著作用,但其效果并非单纯依赖于播幅加宽或播量减少。{4}在不同生态区、土壤肥力和品种特性条件下,适宜的播幅与播量存在差异,必须因地制宜确定。若播幅过宽而播量不足,可能导致群体偏稀,影响穗数形成与产量潜力;若仍沿用传统高播量,则会削弱宽幅精播的结构优势,降低光能、养分和水分利用效率。因此,在实际推广过程中,应综合考虑区域气候条件、土壤地力水平、播期早晚及品种分蘖特性,合理设置播幅与播量,使宽幅与精量相结合。只有技术模式与地方生产条件相匹配,才能充分发挥其优化群体结构、增强干物质积累和提高籽粒产量的功能,形成科学、高效且稳定的栽培体系。

5.2 加强机械性能与田间管理配套衔接

宽幅精播的实施效果在很大程度上依赖于播种机械的作业精度和田间管理配套。若播种机排种不稳、开沟不匀、覆土不实,出苗整齐度受影响,技术优势难以体现。因此,应提升播种机械的适配性与作业精度,确保下种均匀、播深一致和镇压适宜。同时,宽幅精播需要与水肥管理、病虫害防控及适时化控等田间措施紧密结合,确保群体质量优势在整个生育期持续发挥。尤其在群体功能期较高的情况下,通过科学追肥和合理田间管理维持植株生长活力,可避免前壮

后衰现象。宽幅精播作为系统性栽培技术,必须实现机械作业与综合管理的协同,才能在群体结构优化和产量提升上取得稳定效果,为现代小麦高效栽培提供可操作的技术路径。

5.3 推进技术集成与绿色高产栽培融合

宽幅精播的最大价值在于与其他关键技术的协同集成,实现绿色高产小麦栽培目标。其可与优良品种选育、测土配方施肥、节水灌溉、病虫绿色防控及秸秆还田等技术结合,构建完整的高效、绿色和稳产栽培体系。在这一过程中,应由单季高产追求转向兼顾资源利用效率、生态效益与生产稳定性的综合目标。不同区域可根据晚播稳苗、抗逆栽培及减肥增效等现实需求对宽幅精播进行适配优化,使其与区域栽培模式、气候条件和土壤环境相匹配。通过技术集成与系统优化,宽幅精播能够进一步提升群体质量、保障粮食安全并促进农业可持续发展,实现现代小麦生产由高投入向高效、绿色、稳产方向的转型升级。

6 结语

小麦宽幅精播技术以优化种子空间分布和改善群体起点结构为基础,通过促进苗齐苗壮、协调分蘖动态、优化冠层结构和提升资源利用效率,对小麦群体质量形成和产量实现产生持续影响。{5}其增产机理并非建立在盲目增加数量的基础上,而是体现为个体健壮、群体协调、干物质积累充足以及穗粒重关系更加平衡。与传统播种方式相比,宽幅精播更符合现代小麦生产对高产、稳产、节本和绿色的综合要求。当然,该技术的推广应用仍需结合区域条件、品种特性和机械配套水平加以完善,避免模式化照搬。未来应进一步强化宽幅精播与水肥调控、病虫害防控及品种筛选等技术的集成研究,不断提升其不同生态条件下的适应性和稳定性,为小麦高质量生产提供更加坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 高先涛,刘玉玲,盛利娟,等.冬小麦宽幅精播技术对其生长发育及产量性状的影响[J].农业科技通讯,2013,(09):44-46.
- [2] 耿荣利.小麦宽幅精播技术提高产量的实践与推广策略[J].棉花科学,2025,47(07):125-127.
- [3] 李敏娟,刘俊香.小麦宽幅精播高产栽培技术特点与推广应用[J].种子科技,2017,35(09):63+65.
- [4] 付会荣.宁县冬小麦宽幅精播技术引进示范与试验初报[J].甘肃农业,2016,(12):23-24.
- [5] 刘广才,陈翠贤,张廷龙,等.甘肃省小麦宽幅精播栽培技术规程[J].甘肃农业科技,2013,(11):67-68.

Application Effect Evaluation of Integrated Water and Fertilizer Technology under High-yield Cultivation Mode of Dense Corn Planting

Fu Han Yong Du Yan Xiang Zhiyuan Li Guangming He

Sishui County Sizhang Town Agricultural and Rural Comprehensive Service Center, Sishui, Shandong, 273200, China

Abstract

High-yield corn cultivation through dense planting can increase yield per unit area, but the high density intensifies water and nutrient competition among plant populations, making traditional irrigation and fertilization methods inadequate for precision management. Integrated water and fertilizer management technology achieves directional water and nutrient supply with time-specific regulation through coordinated irrigation and fertilization, demonstrating strong adaptability in dense corn production. This study analyzes the technology's effects on root development, population structure optimization, dry matter accumulation, resource utilization efficiency, and yield formation, while evaluating its economic benefits, ecological impacts, and implementation constraints. The research concludes that integrated water and fertilizer management effectively mitigates competition under dense planting conditions and addresses post-harvest nutrient depletion and water loss issues, playing a crucial role in achieving high yields, stable production, cost efficiency, and sustainable practices. However, its widespread adoption requires localized adaptation and enhanced management protocols with integrated technical solutions.

Keywords

corn; dense planting and high yield; integrated water and fertilizer management; application effects; resource utilization efficiency; cultivation techniques

玉米密植高产栽培模式下水肥一体化技术的应用效果评价

韩福 杜勇 相岩 李志远 贺广明

泗水县泗张镇农业农村综合服务中心, 中国·山东 泗水 273200

摘要

玉米密植高产栽培可提升单位面积产量,但高密度导致群体间水分和养分竞争加剧,传统灌溉施肥方式难以满足精准调控需求。水肥一体化技术通过灌溉与施肥协同,实现水分与养分的定向供给和分时调控,在密植玉米生产中适应性强。文章分析该技术对根系发育、群体结构优化、干物质积累、资源利用效率及产量形成的作用,并评估其经济效益、生态效益及推广制约。研究认为,水肥一体化技术可有效缓解密植条件下的竞争和后期脱肥失水问题,对实现高产、稳产、节本和绿色生产具有重要意义,但推广需因地制宜并完善配套管理与技术集成。

关键词

玉米; 密植高产; 水肥一体化; 应用效果; 资源利用效率; 栽培技术

1 引言

玉米是我国重要的粮食、饲料和工业原料作物,其产量水平直接关系农业供给安全与种植效益。近年来,随着高产创建和单产提升行动不断推进,密植高产逐渐成为玉米栽培的重要技术方向。通过提高合理种植密度,可以增强群体光能截获能力,提升单位面积有效穗数和总生物量,但同时也带来株间竞争加剧、根际资源消耗加快和后期水肥供给压力增大的问题。尤其在传统施肥灌溉模式下,玉米易出现前

期肥水集中、后期供应不足的现象,制约群体生产潜力的充分发挥。水肥一体化技术通过灌溉系统将养分随水精准输送到作物根区,能够提升肥水供给的时效性与匹配度,为密植玉米群体提供更加稳定的生长条件。研究其在密植高产栽培中的应用效果,不仅有利于提高玉米单产,也对推动农业节水减肥和绿色增效具有现实价值。

2 玉米密植高产栽培模式与水肥一体化技术的适配基础

2.1 玉米密植高产栽培模式的主要特征

玉米密植高产栽培是在品种耐密性提高、田间管理水平提升和机械化作业条件改善的基础上形成的一种高效生

【作者简介】韩福(1984-),男,中国山东泗水人,本科,助理农艺师,从事农学研究。

产模式。该模式通过增加单位面积种植株数,提升群体叶面积指数和光能利用潜力,从而为高产形成奠定群体基础。与常规密度相比,密植栽培更加重视群体调控而不是单株扩张,其关键在于协调个体与群体关系,使群体在苗期建成、拔节生长、抽雄吐丝和灌浆成熟等各阶段保持合理结构。密植条件下,植株间通风透光和根区资源竞争更为敏感,一旦肥水调控不当,就容易出现下部叶片早衰、雌雄发育不同步、空秆增多和籽粒灌浆不足等问题。{1}因此,密植高产并非简单增加株数,而是建立在精准管理和综合调控基础上的群体生产方式。

2.2 水肥一体化技术的基本内涵与功能优势

水肥一体化是将灌溉系统与施肥过程有机结合的一项现代农业技术,其核心在于按照作物需水需肥规律,将可溶性肥料随灌溉水定量、定时、定向输送至作物根际区域,实现水分和养分同步供应。与传统漫灌加基施、追施方式相比,该技术在供给精度、利用效率和调控灵活性方面具有明显优势。它能够根据作物不同生育阶段的生长需求进行分次供应,避免前期投入过量、后期脱肥脱水的问题,同时减少深层渗漏和地表径流造成的资源损失。对于玉米这类需肥需水量较大、不同阶段需求差异明显的作物而言,水肥一体化能够提供更加符合生理节律的供给模式,从而增强肥水利用效率和生长稳定性。

2.3 密植玉米对精准水肥管理的现实需求

在密植高产模式下,玉米单位面积生物量显著增加,叶片蒸腾和根系吸收能力增强,群体对土壤水分和养分的消耗速度明显快于常规种植条件。若沿用传统粗放管理方式,往往会出现前期植株生长旺盛而中后期肥水接续不足的问题,导致群体后劲不足、穗粒数下降和粒重受损。与此同时,密植群体株体紧凑、根系分布交叠,一旦局部肥水供给不均,个体间生长差异便会被迅速放大,影响整齐度和成穗稳定性。由此可见,密植玉米更需要建立以精准、分段、协同为特征的肥水管理机制。水肥一体化在时间、空间和数量上都能更好满足这一需求,因此二者具有较强的技术适配关系。

3 水肥一体化技术对玉米密植群体生长的影响

3.1 促进根系发育并增强植株吸收能力

根系是玉米吸收水分和养分的重要器官,其发育状况直接决定群体生产潜力。在密植条件下,根系竞争增强,若土壤局部肥水集中或供给不稳定,容易造成根系分布浅表化和吸收能力下降。{2}水肥一体化通过把肥水精准输送到根系活跃层,能够改善根际环境,促进根系数量增加和活力维持。分阶段供给的方式也有助于根系在不同生育期持续保持较高功能状态,避免因前期肥水过剩导致后期根系早衰。根系吸收能力增强后,玉米对氮、磷、钾及微量元素的获取更为稳定,水分供给也更贴合作物蒸腾和光合作用需求,这为群体均衡生长提供了可靠基础。

3.2 改善群体结构并提高光合生产能力

密植高产玉米能否实现稳产,关键在于群体结构是否合理。水肥一体化条件下,植株获得的肥水供给更加均衡,生长势差异相对减小,株高、茎粗和叶片展开程度更趋协调,有利于形成较为整齐的高质量群体。均衡生长能够降低无效竞争,使群体上中下层叶片受光状态更合理,延缓中下部叶片过早衰老。在抽雄吐丝至灌浆阶段,这种优势尤为明显。群体叶功能期延长后,光合产物积累更为充足,干物质向穗部转运能力增强。对于密植玉米而言,单株生产能力虽相对受到限制,但群体光合能力的增强能够弥补个体不足,从而提升整体产出水平。水肥一体化在改善群体整齐度和延长叶片功能期方面的作用,正是其支撑密植高产的重要原因。

3.3 协调营养生长与生殖生长的动态关系

玉米高产形成依赖营养生长和生殖生长的合理衔接。若苗期和拔节期肥水供应过多,植株容易徒长,形成茎秆脆弱、穗位偏高和倒伏风险增加的问题;若抽雄吐丝和灌浆阶段供给不足,又会影响雌穗分化、授粉结实和粒重形成。水肥一体化技术能够依据生育进程对肥水进行动态调整,使玉米在前期稳健生长、中期形成适宜营养体、后期维持穗部灌浆能力。这样的调控方式有助于提高吐丝整齐度,减少花粒和秃尖现象,同时增强籽粒充实度。对密植群体而言,这种生长重心的合理转移尤为关键,因为高密度种植条件下任何生长失衡都会被放大,最终影响产量稳定实现。

4 水肥一体化技术对玉米产量及资源利用效率的应用效果

4.1 对产量构成因素的提升作用

玉米产量由单位面积穗数、穗粒数和粒重共同决定。密植条件下,单位面积穗数通常具备一定基础,但若肥水供应不能与群体需求相匹配,穗粒数和粒重往往成为限制高产的主要因素。{3}水肥一体化通过改善中后期肥水供应,能够提高雌穗分化质量和授粉受精稳定性,使穗粒数得到较好保障。同时,灌浆期持续而适量的肥水供给可增强叶片功能和籽粒灌浆强度,促进粒重提升。更重要的是,该技术有助于降低空秆率和小穗率,增强群体有效穗形成能力。由此可见,水肥一体化并非只在某一单项构成因素上发挥作用,而是通过改善整体生长环境推动穗数、粒数和粒重之间的协调提升。

4.2 对水分利用效率和肥料利用率的改善效果

传统玉米施肥灌溉往往存在施肥时机与作物需肥节律脱节、灌水量过大和养分流失严重等问题,导致资源利用率偏低。水肥一体化通过少量多次、按需供给的方式显著增强了肥水投入与作物吸收之间的匹配性。水分方面,灌溉更接近根区需求,减少无效蒸发和深层渗漏;肥料方面,养分随水进入活跃根层,降低表层挥发和淋失风险,提高作物吸收比例。对于密植玉米群体而言,资源利用效率的提升不仅意

味着节水节肥,更意味着单位资源能够转化为更多的干物质和经济产量。尤其在水资源相对紧张或化肥减量要求较高的区域,水肥一体化的应用价值更加突出。

4.3 对稳产性和抗逆性的积极影响

玉米生产常受到阶段性干旱、高温、土壤板结和营养失衡等不利因素影响。密植群体因个体间竞争较强,对环境波动更为敏感,一旦遭遇逆境,减产风险往往更高。水肥一体化通过改善根际环境和保障关键时期肥水供给,有助于增强植株抗逆能力。抽雄吐丝期若遇高温干旱,及时供水可减轻花丝干缩和授粉障碍;灌浆阶段若土壤肥力不足,分次追肥可维持叶片功能,延缓衰老。稳定的肥水供给还能够提升茎秆充实度和根系活力,在一定程度上增强抗倒伏能力。因此,从生产实际看,水肥一体化不仅提升高产潜力,也对减轻逆境影响、提高产量实现率具有积极作用。

5 水肥一体化技术应用中的综合评价与推广思考

5.1 经济效益评价:增产与节本并重

水肥一体化技术在玉米密植高产模式中的经济价值主要体现在增产与节本的双重效应上。精准供给能够改善作物群体生长势和籽粒形成条件,使高密度栽培下的玉米产量保持相对稳定的提升。同时,通过科学控制水肥输入量,不仅降低了灌溉和施肥成本,还减少了人工操作需求,有效降低单位面积生产成本。{4}在劳动力成本持续上升的背景下,滴灌和喷灌系统的应用能够提升作业效率和管理精度,从而优化生产投入结构。尽管前期设备安装及维护涉及一定资金支出,但从长期角度考虑,设备使用寿命、适用耕地面积以及持续节本增产效应均能够弥补初期投资压力。在具备规模化经营和基础设施条件的区域,水肥一体化不仅带来直接的经济回报,也为高效农业发展提供可持续支撑。经济效益的评估应超越单季投入产出,充分考虑技术长期应用价值和区域适用性。

5.2 生态效益评价:节水减肥与绿色生产协同

在生态环境维度上,水肥一体化技术能够显著降低农业生产对环境的不利影响。传统灌溉与施肥方式容易导致水肥过量,造成氮素淋失、养分径流以及土壤次生盐渍化等问题,加重环境负担。通过精准控制水肥供给位置和量,技术提升了资源利用效率,减少了浪费和潜在污染。对于推动化肥减量增效、节水农业建设以及面源污染防控具有重要现实意义。密植玉米模式对水肥需求高,若仍采用粗放管理方式,将加剧资源压力和环境风险,而水肥一体化为高产与绿色发展提供了兼顾的解决路径。技术在提升作物生产效率的同

时,也体现了现代农业生态治理的理念,为实现可持续高产提供了科学依据。生态效益的实现不仅依赖技术本身,还需与田间管理、品种选择及栽培模式形成系统配套。

5.3 推广中的制约因素与优化方向

水肥一体化在实际推广过程中仍面临诸多挑战。部分地区耕地零散、经营规模较小,使统一铺设和集中管理难以实施;部分农户对灌溉设备操作、肥料溶解比例及分阶段施肥管理掌握不足,制约了技术效能的充分发挥;还有部分区域水源条件、土壤类型和基础设施状况不完全适合直接应用现有模式。因此,推广应坚持因地制宜,根据具体地块选择合适的灌溉方式和施肥方案,并结合密植模式进行科学调整。同时,应加强技术培训和示范引导,建立完善的服务体系,实现设备、品种、密度、水肥方案与田间管理的有机衔接。通过构建完整技术链条和管理机制,水肥一体化才能真正转化为玉米高产稳产的持续动力,并为农业现代化提供可靠支撑。

6 结语

在玉米密植高产栽培模式下,水肥一体化技术能够围绕作物需水需肥规律实施精准调控,对根系发育、群体建成、干物质积累和产量形成均产生积极影响。其应用效果不仅体现在提升穗粒结构和籽粒充实度上,也体现在增强肥水利用效率、降低资源浪费和提高抗逆稳产能力等方面。{5}相较于传统管理方式,水肥一体化更加契合密植玉米对精准供给和分阶段调控的现实需求,是推动玉米生产由粗放投入向高效绿色转型的重要技术路径。当然,该技术并非孤立发挥作用,还需要与耐密品种选择、合理密植、机械化作业和田间综合管理形成系统集成。未来应进一步强化区域化应用研究和配套模式优化,不断提升水肥一体化在玉米高产创建中的适应性与推广价值,为粮食生产提质增效提供更有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 张春雷,苑书恒,于代全,等.吉林省西部半干旱区玉米密植高产水肥一体化生产技术效应研究[J].农业与技术,2026,46(03):45-50.
- [2] 孔德强,邢静,于海梅.玉米宽窄行密植水肥一体化栽培技术[J].农业工程技术,2024,44(14):52-53.
- [3] 耿卫东,张冬梅.滴灌玉米水肥一体化高产栽培技术[J].新疆农垦科技,2024,47(04):5-8.
- [4] 张亮,李广印.榆树市玉米水肥一体化高产栽培技术要点[J].特种经济动植物,2025,28(11):158-160.
- [5] 王凤国.建昌县玉米水肥一体化高产栽培技术[J].种子科技,2025,43(08):74-76.

Research on Homestead Ownership Registration and Property Rights System Improvement under the Rural Revitalization Strategy

Tao Zhang Jianchao Hu Huayu Zhao

People's Government of Suji Town, Cao County, Shandong Province, Heze, Shandong, 274400, China

Abstract

As a crucial component of China's rural land system, the homestead system directly impacts farmers' housing security and resource allocation efficiency. Under the rural revitalization initiative, property rights confirmation and registration coupled with ownership reform have become pivotal pathways for deepening rural reforms. Current practices still face challenges including ambiguous ownership demarcation, complex historical legacy issues, and insufficient institutional support, which hinder land resource mobility and value realization. By examining the developmental logic of homestead rights confirmation and registration, analyzing its foundational role in property rights systems, and incorporating practical experience, we identify areas for institutional improvement. While upholding collective ownership principles, efforts should focus on optimizing usufructuary rights mechanisms, refining registration frameworks and rights structures, and enhancing institutional coherence to facilitate orderly urban-rural resource flows and support rural revitalization objectives.

Keywords

rural revitalization; homestead; title registration; property rights system; rural land reform

乡村振兴战略下宅基地确权登记与产权制度完善研究

张涛 胡建超 赵化雨

山东省曹县苏集镇人民政府, 中国 · 山东 菏泽 274400

摘要

宅基地制度作为我国农村土地制度的重要组成部分, 关系到农民住房保障与资源配置效率。在乡村振兴背景下, 确权登记与产权制度改革成为深化农村改革的重要路径。当前实践中仍存在权属界定不清、历史遗留问题复杂及制度供给不足等情况, 制约土地要素流动与价值实现。通过梳理宅基地确权登记的发展逻辑, 分析其在产权制度中的基础作用, 并结合实践经验, 可发现制度运行仍有完善空间。应在坚持集体所有权前提下, 推动用益物权制度优化, 完善登记体系与权利结构, 增强制度衔接性, 以促进城乡要素有序流动, 服务乡村振兴目标的实现。

关键词

乡村振兴; 宅基地; 确权登记; 产权制度; 农村土地改革

1 引言

乡村振兴战略的提出, 为我国农业农村现代化提供了系统性制度框架。土地作为最核心的生产要素, 其制度安排对乡村发展具有基础性影响。宅基地制度长期以来承担着保障农民居住权的重要功能, 但在城乡融合发展加速的背景下, 其单一保障属性已难以满足多元发展需求。确权登记作为产权制度建设的前提环节, 不仅关乎权利边界的明晰, 也直接影响资源配置效率与市场化程度。近年来, 国家陆续出台相关政策推进宅基地制度改革试点, 探索宅基地“三权分

置”路径, 试图在保障农民权益的同时激活沉睡资源。然而, 在实践推进过程中, 确权登记工作与产权制度之间仍存在脱节现象, 制度体系尚未形成稳定闭环。如何在制度层面实现权属明晰、权能完整与流转有序, 成为当前亟需研究的重要问题。基于此, 本文围绕宅基地确权登记与产权制度完善展开系统分析, 力求在理论与实践之间构建有机衔接。

2 宅基地确权登记的制度基础与现实意义

2.1 宅基地制度的历史演进与功能定位

我国宅基地制度形成于特定历史条件之下, 其初始目标在于保障农民基本居住需求, 体现出明显的福利性与均等化取向。随着农村经济结构与社会形态的持续变迁, 宅基地逐渐突破单一保障属性, 呈现出资源与资产双重属性并存的

【作者简介】张涛(1977-), 男, 中国山东菏泽人, 本科, 副高级经济师, 从事农业经济管理研究。

特征。制度运行逻辑由单纯分配转向规范管理与价值利用并重,宅基地在承载居住功能的同时,也在维系乡村社会结构稳定方面发挥着重要作用。在城乡关系不断调整的背景下,制度功能由静态保障转向动态调节,其设计需在公平与效率之间形成更为精细的平衡,从而为确权登记提供清晰的制度前提。

2.2 确权登记在产权制度中的基础作用

确权登记构成现代产权制度的重要基础,其核心在于通过制度化手段明确权利主体、权利内容及空间边界,使抽象权利转化为具有法律效力的制度安排。缺乏规范登记的宅基地难以纳入统一的产权体系,也难以实现资源的有效配置与价值转化。通过确权登记,可以为权能拓展与制度创新提供稳定的法律支撑,使产权运行具备可预期性与可执行性。从制度层面观察,确权登记不仅属于技术操作范畴,更是产权关系重构的重要环节,其质量直接关系到农村土地制度运行的整体效能。

2.3 乡村振兴背景下的现实需求

乡村振兴战略强调要素合理流动与资源高效配置,而宅基地作为重要的空间资源,其制度完善具有现实紧迫性。确权登记的推进为闲置资源的盘活提供了制度前提,使农村空间结构得以优化重组,也为农民参与多元经济活动创造条件。在城乡融合不断深化的进程中,宅基地逐渐成为连接城乡要素流动的重要载体,其规范管理对于构建统一开放的要素市场具有基础意义。通过确权登记强化制度支撑,有助于推动形成更加有序且富有活力的农村发展格局。

3 当前宅基地确权登记面临的主要问题

3.1 权属界定复杂与历史遗留问题突出

宅基地权属问题的复杂性根源于其形成过程的历史性与制度演变的阶段性差异。不同历史时期政策取向与管理方式的变动,使宅基地取得、分配与使用在实践中呈现出多样化特征,由此形成的权属关系往往难以通过单一标准加以界定。一户多宅、超占超建以及继承关系模糊等现象,在部分地区长期存在,既反映出制度供给不足,也折射出基层治理的现实约束。确权登记在面对上述问题时,不仅需要厘清权利归属,还需兼顾历史合理性与现实规范性之间的张力。若简单以现行制度进行切割,容易引发利益再分配矛盾,影响社会稳定。与此同时,部分农村地区档案资料缺失或记载不完整,使权属认定缺乏可靠依据,进一步加剧了确权的不确定性。在此背景下,如何在尊重历史形成路径的基础上推进制度规范,成为制度完善过程中不可避免的核心议题。

3.2 登记体系与技术支撑不足

宅基地确权登记作为一项系统工程,涉及测绘、调查、审核与数据管理等多个技术环节,其运行质量依赖于制度设计与技术能力的协同程度。现实中,不同地区在登记标准、操作流程及技术应用方面存在差异,导致登记成果在精

度与一致性上难以统一,影响整体制度运行效果。数据采集与管理环节中,信息孤岛现象仍较为突出,跨部门之间缺乏高效的数据共享机制,使登记信息难以实现有效整合与持续更新。信息化基础设施相对薄弱,也限制了登记成果在后续管理中的深度应用,难以支撑动态监管与精细治理需求。缺乏统一的信息平台,不仅增加了管理成本,也在一定程度上削弱了制度的透明度与可操作性。技术支撑不足所带来的问题,实质上反映了治理能力与制度现代化之间的结构性差距。

3.3 权能不完整与流转机制受限

宅基地确权工作的推进在一定程度上明确了权利归属,但权能体系的不完整仍然制约着制度功能的充分发挥。现行制度对宅基地的使用与收益设置了较多限制,使其资产属性难以有效转化为经济价值,农民在资源配置中的主动性与灵活性受到影响。流转机制的制度边界较为严格,既体现在流转对象与范围的限制上,也体现在交易程序与监管方式的约束之中,这种制度安排在保障基本居住功能的同时,也在一定程度上抑制了资源要素的流动性。部分试点地区虽已探索多种路径,但由于缺乏统一规范与制度衔接,相关经验尚未形成可复制、可推广的制度成果,市场机制仍处于培育阶段。权能拓展与风险防控之间的平衡尚未完全实现,使宅基地制度在效率与安全之间面临持续张力。

4 宅基地产权制度完善的关键路径

4.1 构建清晰的权利结构体系

在坚持农村集体所有权这一根本制度前提下,宅基地权利体系的完善关键在于厘清用益物权的具体内涵及其制度边界。长期以来,宅基地权利在法律表达与实践运行之间存在一定张力,权利属性界定不清易引发权属争议与治理困境。通过系统化的制度设计,应明确宅基地占有、使用与收益等权能的具体内容,并对权利行使的范围与限制作出规范性界定,从而形成结构清晰、逻辑严密的权利体系。统一的权利标准不仅有助于减少不同地区在执行层面的差异,也为司法裁判与行政管理提供稳定依据。与此同时,权利结构的优化需兼顾集体、农户及相关主体之间的利益关系,在制度层面实现利益分配的合理化与规范化。通过在公平与效率之间寻求平衡,可有效增强制度的内在协调性,为宅基地制度的持续运行奠定坚实基础。

4.2 完善登记制度与信息化平台

确权登记作为宅基地制度运行的重要基础,其规范化与标准化程度直接影响制度的执行效果。建立统一的登记标准与操作流程,有助于消除不同地区在登记实践中的差异,提升确权结果的权威性与可比性。通过细化登记要素与审核程序,可以减少信息遗漏与权属不清问题,为后续管理提供可靠数据支撑。在此基础上,信息化平台的建设成为提升治理能力的重要路径。借助数字化手段,实现宅基地信息的集

中管理、动态更新与跨部门共享,能够有效提升管理效率并降低制度运行成本。不动产统一登记体系向农村地区的延伸,使宅基地管理纳入统一的产权治理框架之中,增强制度之间的衔接性与整体性。信息技术的嵌入不仅改变了传统管理方式,也推动宅基地治理向精细化与现代化方向转型。

4.3 拓展宅基地权能与市场化路径

宅基地制度在保障基本居住功能的同时,其资源属性与资产潜力亦逐渐凸显。通过在制度框架内适度拓展宅基地的使用与收益权能,有助于激活沉淀资源,提升土地利用效率。在确保农民合法权益不受侵蚀的前提下,可探索符合条件的宅基地参与流转与合作开发,使其在更大范围内实现价值转化。制度创新应着力构建规范有序的流转机制,通过明确准入条件、交易规则及风险控制措施,保障市场运行的公平性与安全性。规范化的市场路径不仅能够优化资源配置,也为乡村产业发展提供空间支撑,促进农村经济结构的多元化。权能拓展的过程,本质上是对传统制度边界的合理调整,其核心在于通过制度安排实现资源利用效率与农民权益保障的协同提升。

5 制度衔接与政策保障机制

5.1 加强法律法规体系建设

宅基地制度的稳定运行有赖于完备、协调且具有前瞻性的法律法规体系。当前相关规范分散于不同法律与政策文件之中,存在条款交叉、适用边界模糊等问题,影响制度执行的统一性与权威性。通过对既有法律规范进行系统梳理与规范整合,有助于厘清宅基地权利结构及其运行逻辑,减少制度冲突与解释歧义。在此基础上,应推动关键制度要素上升至立法层面,以法律形式明确宅基地的取得、使用、流转及退出机制,强化制度的稳定性与可预期性。与此同时,法律文本需兼顾原则性与可操作性,通过细化权利边界与程序规则,使基层治理在具体执行中具备明确依据。立法完善不仅是制度供给的提升过程,也是国家治理能力现代化的重要体现,其目标在于构建权责清晰、运行规范且可持续发展的制度框架。

5.2 推进多部门协同治理

宅基地管理呈现出跨领域、跨层级的复杂特征,涉及自然资源、农业农村、住建及基层政府等多元主体。现实运行中,部门间职能交叉与信息壁垒仍然存在,容易导致治理碎片化与监管效率下降。构建协同治理机制,有助于打破传统条块分割格局,实现资源整合与功能互补。通过建立统一的信息平台,推动土地确权、规划审批及监管数据的互联互通,可显著提升决策科学性与执行精准度。在制度设计层面,

应进一步明确各部门职责边界与协作流程,以规范化的制度安排替代临时性协调,增强治理体系的稳定性。同时,引入绩效评估与责任追究机制,使协同治理从形式合作转向实质协同。多部门协同不仅体现为行政协调的优化,更反映出治理理念从单一管理向综合治理的转变,对于提升宅基地制度运行效率具有关键意义。

5.3 强化农民权益保障机制

宅基地制度改革的核心在于实现效率提升与公平保障之间的动态平衡,其中农民权益的保护具有基础性地位。在制度调整过程中,若缺乏有效的权益保障机制,容易引发利益失衡与社会风险。因此,有必要通过制度化安排明确农民在宅基地流转、退出及再配置中的权利地位,并建立合理的利益分配与补偿机制,使其在制度变革中获得稳定且可预期的收益。同时,应完善风险防控体系,通过法律救济渠道与行政监督机制,为农民提供多层次保障。政策实施过程中,加强信息公开与制度解读,有助于提升农民对改革措施的理解程度与参与意愿,避免因信息不对称引发误判与抵触情绪。权益保障机制的完善不仅关乎个体利益,也直接影响制度改革的社会接受度与长期可持续性,其内在逻辑在于通过制度公正促进治理效能的整体提升。

6 结语

宅基地确权登记与产权制度完善,是乡村振兴战略中的关键环节。通过系统推进确权登记,可以为农村土地制度改革奠定基础,提升资源配置效率。在制度完善过程中,需要统筹历史与现实、效率与公平,通过制度创新实现多重目标的协调统一。未来,应继续深化改革试点经验,推动制度成果在更大范围内复制推广。通过完善产权结构、优化登记体系与强化政策保障,逐步构建符合新时代要求的宅基地制度体系,为实现农业农村现代化提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 苏君武.乡村振兴下的农村房地一体不动产确权登记探讨[J].中国集体经济,2025,(16):1-4.
- [2] 杨秀丽,王晶,乔国华,等.房地一体宅基地确权登记的治理困境与盘活路径研究[J].自然资源情报,2026,(02):17-22.
- [3] 黄攀.兴山县农村房地一体宅基地确权登记管理路径优化研究[N].企业家日报,2025-10-12(003).
- [4] 张婷婷.雅安市雨城区以“互联网+”助力宅基地确权登记提速增效[J].四川农业与农机,2025,(04):86-88.
- [5] 张世杰.宁夏农民宅基地“房地一体”统一确权登记现状及政策研究建议——以彭阳县宅基地确权登记为例[J].产权导刊,2025,(07):69-71.

Application Research on Efficient Treatment Models for Dead and Diseased Livestock in Puyang City from a Regional Coordination Perspective

Taichun Wang¹ Qian Wang² Fengjiao Hu^{2*}

1. Taiqian County Agriculture and Rural Affairs Bureau Enforcement Team, Puyang, Henan, 457600, China

2. Puyang Agricultural Comprehensive Law Enforcement, Puyang, Henan, 457600, China

Abstract

Puyang City has broken through county-level administrative boundaries to innovatively establish a new model for the efficient and harmless disposal of dead and diseased livestock, featuring municipal-level coordination, cross-regional collection and transportation, centralized processing, separation of collection and disposal, smart supervision, insurance linkage, and market-oriented operation. This paper systematically elaborates on the construction background, overall framework, operational process, mechanism innovation, and technical support system of this model. It conducts an application analysis from the perspectives of disposal coverage capacity, regulatory effectiveness, and benefit analysis, summarizes existing issues and optimization directions, proposes replicable and scalable implementation pathways, and provides practical reference and exemplary insights for similar prefecture-level cities across the country.

Keywords

dead and diseased livestock; harmless treatment; cross-regional collection and disposal; intelligent supervision; model application; Puyang City

区域协同视角下濮阳市病死畜禽高效处理模式应用研究

王太春¹ 王乾² 胡凤娇^{2*}

1. 台前县农业农村局执法大队, 中国·河南 濮阳 457600

2. 濮阳市农业综合执法支队, 中国·河南 濮阳 457000

摘要

濮阳市打破县域行政界限, 创新构建市级统筹、跨区收运、集中处理、收处分离、智慧监管、保险联动、市场化运营的病死畜禽无害化高效处理新模式。本文系统阐述该模式的建设背景、总体架构、运行流程、机制创新与技术支撑体系, 从处理覆盖能力、监管效能、效益分析开展应用分析, 总结现存问题与优化方向, 提出可复制、可推广的实施路径, 可为全国同类地级市提供实践参考与示范借鉴。

关键词

病死畜禽; 无害化处理; 跨区收处; 智慧监管; 模式应用; 濮阳市

1 引言

畜牧业规模化推进致使病死畜禽产量逐年上升, 违规随意处置易诱发疫病传播、人畜共患病、环境污染及食品安全等公共卫生隐患。当前多地县级分散建设无害化处理设

施, 存在重复投入、运行低效、收运监管缺失、市场化运营不足等短板, 养殖户违规处置问题突出。

濮阳地处豫东北养殖集中区域, 病死畜禽乱抛乱放问题曾频发, 无害化处理覆盖面窄、操作不规范、监管薄弱。当地立足实际, 将病死畜禽无害化处理纳入重点民生工程, 打破县域壁垒, 推行跨区域集中处置模式, 落实全收集、全处理、全覆盖要求。本文结合实践成效总结经验, 为地市健全病死畜禽无害化处理长效机制提供借鉴。

2 模式建设背景与现实基础

2.1 政策背景

国家将病死畜禽无害化处理纳入动物防疫与公共卫生

【作者简介】王太春(1977-), 男, 高级兽医师, 从事畜牧兽医研究。

【通讯作者】胡凤娇(1973-), 女, 本科, 正高级兽医师, 从事动物防疫、畜牧兽医执法与病死畜禽无害化处理技术研究。

安全重点工作,明确构建“政府监管、企业负责、社会参与、市场运作”长效机制,实现应收尽收、无害化处理^[1]。濮阳市据此先后出台多项配套文件,确立全市只建1座标准化处理厂、组建1家专业收集公司、实行跨区域统一收集集中处理、建立保险联动与资金直拨机制的总体框架,为新模式落地实施提供了坚实的政策保障与制度支撑^[4]。

2.2 现实困境

县域分散建设模式弊端显著,处理设施重复投入、运维成本高,资源与财政浪费严重。传统处置工艺落后,掩埋、简易焚烧易造成水土大气二次污染,防疫风险突出。同时缺乏专业收运队伍、密闭运输及规范暂存设施,易引发疫病交叉传播。基层监管人员不足、监管方式粗放,全程管控难度大,瞒报漏报问题多发。加之补贴发放流程繁琐、周期长,无害化处理与养殖保险衔接不足,激励约束机制不完善,养殖户主动合规处置积极性偏低。

2.3 实施基础条件

濮阳市地理空间相对集中,市域中心位置华龙区东部交通便利、辐射全域,适宜建设市级集中处理中心;全市养殖主体以规模场为主、散养户为辅,便于开展统一收集与规范管理;财政、农业农村、保险等部门协同机制完善,具备跨区域统筹推进的组织保障。

3 跨区高效处理模式总体架构与运行流程

3.1 模式总体架构

濮阳市创新采用“1+1+N+1”全域一体化架构,构建覆盖全程、权责清晰、运行高效的处理体系:1个市级集中处理厂:在华龙区东部投资1200万元建设日处理能力达标、工艺先进、环保合规的无害化处理厂,承担全市所有病死畜禽处理任务,其他县区不再重复建设。1家独立法人收集公司:组建专业化、企业化、市场化第三方收集公司,专职负责全市跨区域病死畜禽收集、转运、现场核查、保险协查等工作,与处理企业相互独立、相互监督。N个场户冷藏暂存点:由无害化处理厂先行垫资,为规模场配置冰柜、建设冷库,实现病死畜禽及时冷藏暂存,取消乡镇集中暂存点,减少中转污染。1个智慧监管平台:搭建全市统一的畜禽无害化处理智慧监管平台,实现报案、收集、运输、入库、处理、补贴、保险全流程数字化监管。

3.2 核心运行流程

模式形成“自动报案—智能派单—现场收集—密闭运输—三方入库—无害化处理—智慧监管—资金兑付—保险理赔”完整闭环流程。

自助报案,智能识别。养殖户拨打24小时自动呼叫中心专线,系统根据来电号码自动识别地理位置、养殖户信息,输入死亡数量后自动生成报案订单;电话无法识别时支持手机APP与网页手工报案,统一进入平台排队。

自动规划,快速收集。平台将订单自动推送至就近收

集车辆,利用GIS功能规划最优收集路线;收集员到达现场后测量病死畜禽体长、拍摄耳标与现场照片、扫描耳标信息、养殖户电子签名,数据实时上传平台。

密闭运输,全程监控。使用专用密闭冷藏运输车辆,GPS实时定位、车载视频全程记录,确保运输过程无泄漏、无腐败、无疫病传播风险。三方确认,规范入库。车辆抵达处理厂后,由收集公司、处理企业、驻场官方兽医三方现场清点、核对数量、确认信息,入库数据同步上传监管平台。

规范处理,达标排放。按照《病死动物无害化处理技术规范》采用高温化制工艺,同步开展废气净化、污水处理、残渣资源化利用,全过程环保在线监测,设施设备布局及处理工艺全部符合防疫与环保标准^[7]。

智慧监管,全程留痕。平台自动生成“五单两账”,实现收集单、入库单、调运单、处理通知单、补助申报单电子化,全程可追溯、可核查、可监管。

资金直拨,现场兑付。财政补贴资金由市级直接拨付处理企业,处理企业委托收集公司现场兑付养殖户鼓励金,提高上报积极性。保险联动,快速理赔。收集员同步完成保险查勘、定损、资料上传,保险公司线上审核、快速理赔,无无害化处理记录不予理赔。

4 模式核心创新支撑体系

4.1 跨区收处统筹机制

打破县域行政分割,实行全市统一规划、统一收集、统一处理、统一监管,避免重复建设、资源浪费,实现处理设施利用率最大化、运行成本最低化。

4.2 收处分离制衡机制

率先实现收集与处理机构分离、独立法人、市场化运作,双方数据相互比对、相互监督,从源头杜绝虚报数量、弄虚作假、套取补贴等行为,弥补基层监管人力不足^[2]。

4.3 直收直运减害机制

取消乡镇暂存点,推行养殖场冷藏暂存、收集车辆直达场户、直送处理厂模式,减少中转环节,降低尸体腐败概率与疫病传播风险,节约暂存点建设与监管成本。

4.4 四员合一高效机制

借助大数据监管平台,整合监管、处理、收集与保险四部门人力资源,全权委托收集公司一家出收集现场,同时接受其他三方监管,利用平台实时监控、不定期现场抽查,节省了大量人力资源,实现收集员、投保宣传员、保险理赔员、协管员“四员合一”。

4.5 采用网上核查模式

创新市、县动物卫生监督机构、驻场监督机构、处理公司、保险公司5家按规定频次对病死畜禽处理入库情况进行层层监督核查。并制定核查工作奖励办法,对虚报、注水、掺杂金属等违规行为严厉处罚并奖励举报人,确保无害化处理的数据精准。构建全方位监督体系。

4.6 资金直拨保障机制

改革补贴资金拨付路径,由市级财政直接拨付处理企业,县级拖欠资金由市财政代扣代付,确保企业现金流稳定;现场兑付养殖户鼓励金,显著提升主动报案积极性。

5 模式应用效果全面分析

5.1 处理覆盖与能力分析

全域全覆盖。覆盖濮阳市五县四区全部 73 个乡镇、2984 家养殖场,实现养殖环节、屠宰环节、经营环节病死畜禽全纳入、全收集、全处理。处理能力显著提升。通过工艺升级与设施改造,全市日处理能力由 20 吨提升至 60 吨,可完全满足全市养殖与屠宰病死畜禽处理需求,无积压、无遗漏。无害化处理实现应处理尽处理、全流程规范无害化,彻底杜绝随意丢弃、非法贩卖、私自掩埋等现象^[1]。

5.2 监管效能分析

全程可追溯。从报案到处理全流程电子化留痕,单据自动生成、数据不可篡改,实现来源可溯、去向可查、责任可究。监管效率大幅提升。智慧平台替代大量人工登记、统计、核查工作,基层监管压力降低 70% 以上,异常数据自动预警,实现精准监管。违规行为有效遏制。收处分离、多方核查、奖励举报机制,使虚报冒领、弄虚作假、注水掺杂等行为得到根本性遏制。廉政风险显著降低。补贴、理赔、处理全流程公开透明,线上审核、痕迹监管,有效防范权力寻租与廉政风险。

5.3 效益分析

濮阳市病死畜禽跨区处理模式实施后,经济、社会、生态三大效益协同凸显。经济效益上,项目投入产出比显著优化,避免重复建厂节约大量投资与运维成本,财政补贴直达企业提升资金使用效率^[2];处理企业、收集公司、养殖户多方获益,资源化利用与现场鼓励金机制激活市场活力^[5]。社会效益上,模式切断重大动物疫病传播路径,保障公共卫生与畜产品质量安全,获省级主管部门认可并在全省推广^[3];彻底解决环境污染扰民问题,群众满意度大幅提升。生态效益上,替代传统不规范处置方式,消除水土气二次污染^[5];废气废水排放全面达标,处理产物用于生物柴油与有机肥生产,实现资源化、减量化、无害化,全市生态环境质量持续改善。

6 模式优势、存在问题与优化建议

6.1 现存问题

偏远乡镇收集时效性有待提升。台前县、范县部分偏

远乡村运输距离较远,极端天气下收集效率受影响。散养户规范化管理仍需加强。少量散养户报案意识、防疫意识不足,存在漏报风险。处理副产品市场化利用渠道有限。油脂、肉骨粉资源化利用附加值不高,产业链有待延伸^[5]。部门数据共享程度仍有提升空间。监管平台与畜牧、环保、财政、保险数据尚未完全实现互联互通^[4]。

6.2 优化提升建议

完善分级收集体系。在偏远县域设置临时冷藏收集点,缩短运输半径,提高收集时效。强化宣传与约束。持续开展政策宣传与技术培训,将无害化处理与养殖补贴、项目申报、保险理赔深度绑定。延伸资源化利用产业链。支持处理企业开展副产品深加工,提高附加值,增强市场化盈利能力^[5]。推进数字化深度融合。打通监管平台与动物检疫、养殖备案、环境监测、财政支付系统数据壁垒,构建全域大数据监管体系。健全长效运行机制。持续优化补贴标准、资金拨付、核查奖励、执法联动机制,确保模式长期稳定高效运行。

7 结论

濮阳市病死畜禽跨区高效处理模式,以机制、技术、监管、保障四大创新,破解县域分割与基层病死畜禽处理“散、乱、弱、污、险”难题^[2]。该模式实现全域全覆盖、排放全达标、监管全链条,经济、社会、生态效益协同凸显,形成可复制、可推广、可持续的典型经验。模式适用于养殖分布不均、基层监管薄弱、财政有限、生态敏感的地级市及区域,对落实动物防疫、食品安全与生态环保政策,筑牢公共卫生安全防线、推动畜牧业绿色高质量发展具有重要理论与现实意义^[1]。伴随畜牧业转型升级,病死畜禽无害化处理长效机制建设愈发关键,濮阳模式为全国同类地区提供成熟实践样本,推广前景广阔^[5]。

参考文献

- [1] 中华人民共和国农业农村部.病死畜禽无害化处理管理办法〔Z〕.2021.[2] 李娟,王浩,张敏.我国病死禽无害化处理现状、问题及对策〔J〕.中国畜牧兽医,2020,47(08):2678-2685.
- [2] 胡凤娇,李瑞娜,王乾.濮阳市创建病死畜禽无害化处理新模式〔J〕.养殖与饲料,2019,18(09):133-134.
- [3] 王艳,李勇,赵磊.智慧监管在病死禽无害化处理中的应用研究〔J〕.畜牧与兽医,2022,54(03):135-138.
- [4] 陈明,刘敏,张艳.病死禽无害化处理资源化利用路径探索〔J〕.环境科学与管理,2021,46(05):189-193.

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.

Investigation and Countermeasure Study on the Development Status of Boer Goat in Puyang City

Mingtao Zhang¹ Zhaobei Liu^{2*} Fengjiao Hu²

1. Animal Husbandry Bureau of Puyang Economic and Technological Development Zone, Puyang, Henan, 457000, China

2. Puyang Agricultural Comprehensive Law Enforcement, Puyang, Henan, 457600, China

Abstract

The breeding of Boer goats in Puyang City fully relies on local resources and policy dividends, and has built a characteristic agglomeration development system with Nanle County as the core, becoming an important force in promoting the transformation of regional animal husbandry industry and broadening the path for farmers to increase income. Deeply cultivating ecological breeding paths in the local area, optimizing the combination of planting and breeding, promoting efficient utilization of manure resources, and continuously improving the standardization level and comprehensive benefits of breeding. In response to the bottleneck of industrial development, it is necessary to focus on precise efforts in core areas such as breeding of high-quality seeds and standardized breeding, promote the transformation of the industry from scale expansion to quality improvement, improve the layout of the entire industry chain, strengthen the core competitiveness of brands, and inject lasting momentum into rural revitalization and agricultural modernization development.

Keywords

Puyang city; boer goat; development status; there are problems; development strategies

濮阳市波尔山羊的发展现状调查与对策研究

张鸣涛¹ 刘兆北^{2*} 胡凤娇²

1. 濮阳经济技术开发区畜牧局, 中国·河南 濮阳 457000

2. 濮阳市农业综合行政执法支队, 中国·河南 濮阳 457000

摘要

濮阳市波尔山羊养殖充分依托本地资源与政策红利, 构建起以南乐县为核心的特色集聚发展体系, 成为推动区域畜牧产业转型、拓宽农户增收路径的重要力量。当地深耕生态养殖路径, 优化种养结合模式, 推动粪污资源化高效利用, 持续提升养殖规范化水平与综合效益。针对产业发展瓶颈, 需聚焦良种繁育、标准化养殖等核心环节精准发力, 推动产业实现从规模扩张向品质提升的转型, 完善全产业链布局, 强化品牌核心竞争力, 为乡村振兴与农业现代化发展注入持久动力。

关键词

濮阳市; 波尔山羊; 发展现状; 存在问题; 发展对策

1 引言

濮阳市波尔山羊养殖立足本地饲草资源、区位优势与畜牧产业扶持政策, 现已稳步发展, 形成以南乐县为核心引领、多点辐射的区域集聚发展格局。当地大力推广种养结合的生态循环养殖模式, 养殖标准化程度不断提升, 养殖效益稳定向好, 不仅有效推动全市畜牧业绿色转型升级, 更是带

动农户就近就业、稳定增收致富的特色支柱产业。

立足产业长远发展, 后续需聚焦良种繁育体系建设、标准化生态养殖普及、上下游产业链延伸、常态化疫病防控及配套政策保障等关键环节精准发力, 加快推动产业从粗放规模扩张向精细化质量提质转型, 健全养殖、加工、销售一体化全产业链条, 持续提升品牌影响力与市场核心竞争力, 为濮阳乡村全面振兴、畜牧产业提质增效和农业高质量发展筑牢坚实产业基础。

2 发展现状

2.1 产业规模与布局

濮阳市波尔山羊养殖区域集聚特征显著, 已形成以南乐县为核心、辐射濮阳县、清丰县等周边县区的“核心引领、

【作者简介】张鸣涛(1989-), 男, 本科, 畜牧师, 从事畜牧行政执法研究。

【通讯作者】刘兆北(1989-), 男, 本科, 兽医师, 从事畜牧行政执法研究。

辐射带动、全域发展”格局。南乐县依托国家级生态循环农业优势，建成多个标准化养殖基地，养殖规模占全市60%以上，成为豫北地区重要的波尔山羊养殖示范区。产业以家庭牧场、专业合作社为主体，规模化养殖场为引领，养殖规模持续稳步扩大。截至2025年底，全市波尔山羊存栏8000余只，年出栏超1.2万只，其中存栏500只以上规模场达12家。豫明牧业等龙头企业发挥引领作用，采用“公司+合作社+农户”模式，带动众多农户参与养殖、实现增收，计划2026年全市波尔山羊存栏突破1万只。波尔山羊生产性能优异，日增重超200g，6月龄体重可达50kg，屠宰率在55%—60%之间，单只育肥羊净利润400—600元，规模场单只净利润超600元，已成为当地农户增收致富、巩固脱贫攻坚成果的重要途径^[4]。

2.2 养殖模式与技术应用

依托南乐县国家级生态循环农业示范区，全市大力推广“粪污—沼气—有机肥—种植”生态循环模式，实现粪污资源化利用，形成种养结合的良性格局，契合产业绿色转型趋势。参照相关技术规程，逐步推进标准化养殖，完善圈舍通风、保暖、清粪等设施，规范饲喂、免疫、消毒流程，规模化养殖场已实现圈舍标准化、饲喂精准化、疫病防控常态化^[1]。品种改良以“波尔山羊♂×本地母羊♀”杂交模式为主，兼顾生长速度与环境适应性，杂交后代综合性能优良；部分规模场引进纯种波尔山羊开展选育，逐步提升品种质量，但整体纯种率仍需提高。

2.3 政策支持与市场环境

政策支撑上，省市协同发力，为波尔山羊产业发展提供了良好政策环境。河南省出台畜牧业相关条例及专项奖补政策，对年出栏1000只以上的规模化肉羊场给予20万元一次性财政奖补，有效调动经营主体扩规提质积极性。濮阳市对标上级政策，落实养殖用地保障、简化环保评价与审批流程，实现肉羊政策性保险全覆盖，降低养殖自然与市场风险，保障产业平稳发展。

市场环境方面，消费升级有力带动产业发展。居民健康饮食观念提升，低脂高蛋白、膻味轻、肉质好的波尔山羊肉需求持续增长，产品除满足本地外，还销往周边省市，市场空间不断扩大。濮阳市依托生态养殖优势，重点打造“南乐生态羊”区域公用品牌，加快绿色、有机认证，加强品牌宣传推广，提升品牌影响力与美誉度，为实现优质优价、促进产业提质增效打下坚实基础。

2.4 屠宰加工与品牌建设

濮阳市波尔山羊屠宰加工与品牌建设已初步形成产业基础，但整体仍处于起步阶段，品牌建设基本处于搁浅状态。屠宰加工方面，依托汇源（濮阳）羊业等企业建成屠宰分割生产线，配套冷库、排酸间等设施，可开展肉羊屠宰、精细分割等基础加工，仍以初加工为主，深加工产品短缺，产业链增值潜力未能充分释放。目前核心规模屠宰企业汇源（濮阳）羊业处于停运状态，部分小型加工点标准化水平不高，

质量管控能力不足。品牌建设方面，重点打造“南乐生态羊”区域公用品牌，借助南乐国家级生态循环农业示范区优势推进绿色、有机认证，并通过农业展会、线上平台开展推广，品牌影响力较弱。同时存在品牌意识淡薄、运营水平不高、附加值偏低等问题，企业自主品牌培育不足，市场辨识度与竞争力不强，尚未形成优质优价的良性机制，难以满足产业高质量发展和消费升级需求。

3 存在的主要问题

3.1 品种繁育体系薄弱，品种质量有待提升

濮阳市波尔山羊养殖以杂交羊为主，纯种波尔山羊种源匮乏，主要依赖外部引进且成本较高，多数中小养殖户难以承担，只能用现有种公羊繁殖；部分养殖户缺乏选育意识，近亲繁殖现象普遍，导致品种退化，出现生长性能、繁殖率、抗病力下降等问题，影响养殖效益与产业可持续发展^[2]；同时，全市缺乏标准化纯种波尔山羊种羊场，良种繁育能力不足，县级杂交改良站数量有限，人工授精等先进繁育技术推广覆盖面窄，配种、系谱管理缺失，难以实现科学选种选配，制约品种质量整体提升。

3.2 标准化养殖水平不均，环保压力突出

规模化养殖场设施完善、养殖规范，但中小养殖户仍占主体，其圈舍简陋、通风保暖条件差，缺乏专业饲喂、清粪设施，养殖环境恶劣，既影响山羊生长性能，也增加疫病防控难度；多数中小养殖户缺乏专业技术，饲料配方粗放、饲喂不规范，饲料转化率低、羔羊成活率不高，且养殖记录不完整，无法实现全程可追溯；此外，畜禽污染防治要求提高，规模化养殖场需投入高额资金建设粪污处理设施，中小养殖户因资金不足，粪污处理不规范，既面临环保整改压力，也存在污染环境的风险。

3.3 产业链条不完善，市场竞争力较弱

濮阳市波尔山羊产业仍处于初级养殖阶段，产业链条短，以活羊销售、初级屠宰为主，缺乏冷鲜肉、真空包装等高附加值产品，产品同质化严重，大部分利润集中在流通环节，养殖户收益有限；虽培育了“南乐生态羊”等区域品牌，但宣传力度不足、市场影响力小，且产品缺乏统一质量标准与包装规范，“优质不优价”现象突出；同时，全市缺乏专业肉羊交易市场，产品流通依赖中间商，渠道单一，且缺乏有效的市场预警机制，养殖户抗市场价格波动、疫病等风险的能力较弱^[3]。

3.4 人才与服务体系欠缺，支撑能力不足

波尔山羊养殖领域专业育种、养殖、防疫技术人才匮乏，现有从业人员多为本地农户，文化水平偏低，缺乏系统专业培训，养殖技术落后，难以适应规模化、标准化养殖需求；市、县、乡三级畜牧技术服务网络不健全，良种供应、疫病监测、技术培训、市场信息等社会化服务覆盖不足，基层技术推广人员数量不足、专业能力有限，无法为养殖户提供全程、精准的技术指导与服务，制约产业技术升级。

4 发展对策

4.1 强化良种繁育体系建设，夯实产业基础

构建市级、县级、基层育与扩繁，解决种源匮乏问题；扶持县级杂交改良站，完善人工授精设施，推广人工授精、胚胎移植等技术，普及“波尔山羊♂×本地母羊♀”杂交模式，提升杂交后代质量^[2]。建立种羊登记与系谱档案管理制度，定期调换种公羊杜绝近亲繁殖，借鉴全基因组选择技术，推动育种模式向精准化、智能化转型；同时，对接省级良种补贴政策，对养殖户购买纯种种公羊、开展人工授精给予专项补贴，对培育优良品种、推广先进繁育技术的主体给予奖励，激发产业积极性。

4.2 推进标准化生态养殖，提升质量效益

引导中小养殖户升级圈舍，推广半封闭、高燥向阳羊舍，配齐通风、保暖、清粪设施，保障产房、羔羊舍温度适宜。规模场配套固液分离、黑膜沼气池等环保设备，实现粪污资源化利用，结合本地资源优化养殖模式，节本提质。推行精细化饲养，常态化开展技术培训，指导分阶段精准饲喂、科学配比饲料，推广秸秆加工技术。强化疫病防控，严格防疫审查，健全监测预警，规范免疫、驱虫、消毒流程，推广快速检测与综合防控。依托龙头企业建设市级波尔山羊纯种场，引进优质种羊选育，完善三级繁育体系，提升种群品质与生物安全水平^[3]。

4.3 延伸产业链条，增强市场竞争力

加大对豫明牧业等龙头企业扶持，支持其扩大养殖规模，建设标准化屠宰加工与冷链物流体系，开发冷鲜肉、真空包装等高附加值产品，推动产业由初级养殖向精深加工转型。深化与高校、科研院所合作，研发深加工技术。整合区域资源，培育“濮阳波尔山羊”“南乐生态羊”区域公用品牌，推进绿色、有机认证，借助电商、商超、线下展销等渠道宣传推广，破解优质不优价问题。建设市级专业交易市场，规范交易秩序，推行订单养殖，稳定产销衔接。建立市场信息预警机制，及时发布价格与供需信息，引导养殖户科学调整生产计划，增强抗风险能力，探索电商直销，进一步拓宽销售渠道。

4.4 强化政策保障与服务支撑，优化发展环境

简化养殖用地、环评、防疫等审批流程，推行“一站

式”服务，落实省级相关奖补政策，加大对中小养殖户的资金扶持，解决融资难、融资贵问题；扩大肉羊保险覆盖面，提高赔付标准，降低疫病、市场等风险影响；健全人才与技术服务体系，加强与高校、科研院所合作，开展育种、养殖、防疫等专业培训，培育本土技术人才与养殖能手，完善市、县、乡三级畜牧技术服务网络，推动技术人员深入一线开展帮扶；推进数字化赋能，推广智能环控、精准饲喂等智能化系统，建立产业数字化管理平台，整合养殖、繁育、防疫、销售等数据，实现全链条数字化管控，推动产业向智能化、现代化转型^[6]。

5 结论

濮阳市波尔山羊养殖依托本地丰富饲草资源、种养基础及地方畜牧扶持政策，发展基础扎实、优势突出，已形成以南乐县为核心、辐射周边区域的集聚化发展格局。当地深耕生态绿色养殖，种养结合、粪污资源化利用的生态循环模式日趋成熟，养殖管理不断规范，效益稳步提升，有效助推畜牧业绿色转型、结构优化，是拓宽群众增收、激活乡村产业活力的重要支撑。立足产业高质量发展，未来需聚焦良种繁育、标准化养殖、产业链延伸、疫病防控及政策保障等重点，精准施策推动产业从粗放规模扩张向精细品质提升转变，健全全产业链，强化品牌与市场竞争力，为乡村振兴和农业现代化筑牢基础。

参考文献

- [1] 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所. 波尔山羊不同代际生产性能对比试验报告(2019—2023)[R]. 北京: 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 2023.
- [2] 河南省农业农村厅. 河南省肉用山羊规模化舍饲生产技术规程(DB41/T 2807—2025)[S]. 2025.
- [3] 王艳, 李娟. 我国波尔山羊品种改良现状及发展建议[J]. 中国草食动物科学, 2024, 44(2): 89-92.
- [4] 李军, 刘永斌. 2025年我国肉羊产业发展概况、未来发展趋势及建议[J]. 中国畜牧杂志, 2026, 62(3): 201-208.
- [5] 张庆华, 李丽, 王浩. 波尔山羊养殖技术要点及产业发展对策[J]. 畜牧与兽医, 2023, 55(8): 132-135.
- [6] 成钢, 黄诗晨, 王文龙, 等. 湖区波尔山羊生态型健康养殖模式[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(02): 171-172.

The Nutrient Absorption Patterns and GI Value Formation Mechanism of Low-GI Rice Cultivated Organically

Jun Tong

Hunan Gengxin Natural Farming Technology Co., Ltd., Zhangjiajie, Hunan, 427300, China

Abstract

To clarify the nutrient absorption characteristics of low-GI rice under organic cultivation systems and the core mechanism underlying the formation of the glycemic index (GI) value, using the high-resistance starch type low-GI rice variety Zhi Nong Xiang Zhuang and the β -glucan rice formed through spraying transformation from Guang Cha rice as experimental materials, this study investigated the absorption and accumulation patterns of nitrogen, phosphorus, and potassium nutrients throughout the entire growth period of rice under the organic cultivation model. By combining the determination of grain starch components, functional active component contents, and GI value verification results, the formation mechanism of the low-GI value was analyzed. This paper focuses on the two core technical approaches of high-resistance starch and β -glucan, combined with the regulatory effects of organic cultivation on the nutrient absorption and metabolism of rice, to explore the nutrient absorption patterns and GI value formation mechanism of low-GI rice under organic cultivation. The aim is to provide systematic theoretical support for the variety selection, cultivation optimization, and industrial promotion of low-GI rice.

Keywords

organic cultivation; Low-GI rice; resistant starch; β -glucan; mechanism of GI value formation

有机栽培下低 GI 水稻的营养吸收规律与 GI 值形成机制

童军

湖南耕心自然农园科技有限公司，中国 · 湖南 张家界 427300

摘要

为明确有机栽培体系下低GI水稻的营养吸收特征与血糖生成指数（GI）值形成的核心机制，以高抗性淀粉型低GI水稻品种痴农香粘，以及桂朝稻通过喷施转化形成的 β 葡聚糖大米为试验材料，研究有机栽培模式下水稻全生育期氮、磷、钾养分的吸收积累规律，结合籽粒淀粉组分、功能活性成分含量测定及GI值验证结果，解析低GI值的形成机制。本文以高抗性淀粉与 β -葡聚糖两条核心技术途径为主线，结合有机栽培对水稻养分吸收与代谢的调控作用，探讨有机栽培下低GI水稻的营养吸收规律与GI值形成机制，旨在为低GI水稻的品种选育、栽培优化和产业推广提供系统化的理论支撑。

关键词

有机栽培；低GI水稻；抗性淀粉； β -葡聚糖；GI值形成机制

1 引言

普通栽培水稻品种的精米 GI 值普遍集中在 70~90 区间，属于高 GI 食物，长期大量食用易加剧餐后血糖波动，增加代谢性疾病的发病风险。因此，低 GI 功能性水稻的品种选育、栽培调控与产业化开发，已成为谷物营养与作物栽培领域的研究热点。基于此，本研究以两种不同低 GI 特性的水稻品种为试验材料，解析两种不同技术途径下水稻低 GI 值的形成机制，明确有机栽培对低 GI 水稻功能特性表达的调控作用，为低 GI 水稻的有机标准化栽培、功能性品种选育与产

业化开发提供理论支撑与技术参考。

2 材料与方法

2.1 试验材料

供试水稻材料为 2 个不同低 GI 特性的水稻，均由湖南耕心自然农园科技有限公司提供。其中，痴农香粘为高抗性淀粉型低 GI 品种，经第三方机构检测 GI 值为 55，通过动物实验验证具备降血糖功效； β 葡聚糖大米为 β -葡聚糖富集型低 GI，经检测 GI 值为 52，同样通过动物实验验证具备降血糖功效。两类实验材料的 GI 值检测均严格依据 WS/T652-2019《食物血糖生成指数测定方法》执行。

试验于亚热带季风气候区水稻主产区开展，试验田土壤类型为渌育型水稻土，耕层（0~20cm）土壤基础理化性质为：有机质含量 $32.6\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，全氮 $1.78\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，有效磷

【作者简介】童军（1974-），男，中国湖南张家界人，本科，高级农艺师，从事有机农业、功能性农业、功能性食品生产加工研究。

22.3mg · kg⁻¹，速效钾 118.5mg · kg⁻¹，pH 值 6.2，土壤肥力均匀，排灌条件良好。

2.2 试验设计

试验采用单因素随机区组设计，设置 2 个品种处理，每个处理设置 3 次生物学重复，共计 6 个试验小区，每个小区面积 30m²。小区之间设置 50cm 宽的隔离埂，隔离埂采用黑色地膜全包裹，防止小区间肥水串流，保证各处理的独立性。

水稻采用育秧移栽的种植方式，秧龄 30d 时进行人工移栽，栽插规格为 30cm × 14cm，每穴栽插 2 株，基本苗保持一致。田间管理严格按照有机水稻栽培规范执行，全程采用浅水勤灌的灌溉方式，病虫害防治采用物理防治、生物防治与农业防治相结合的方式，不使用任何化学农药，保证各小区除品种差异外，其余栽培管理措施完全一致。

2.3 测定项目与方法

2.3.1 干物质与养分吸收指标测定

分别在水稻分蘖期、拔节期、孕穗期、灌浆期、成熟期进行植株样品采集，每小区采用五点取样法，随机采集 10 株长势一致的代表性植株，用清水冲洗干净后，按根、茎鞘、叶片、穗（籽粒）进行器官分离。分离后的样品置于 105℃ 烘箱中杀青 30min，随后调至 75℃ 烘干至恒重，称量各器官干物质质量，计算单株干物质积累量与各器官干物质分配比例。

烘干后的植株样品用高速粉碎机粉碎后过 100 目筛，采用 H₂SO₄-H₂O₂ 法进行消煮，全氮含量采用凯氏定氮法测定，全磷含量采用钒钼黄比色法测定，全钾含量采用火焰光度法测定。根据各器官干物质质量与养分含量，计算水稻不同生育期氮、磷、钾养分的积累量、吸收速率，以及成熟期养分在各器官的分配比例。

2.3.2 籽粒功能成分与淀粉组分测定

水稻成熟后，各小区单独收获，自然晾干至含水量 13.5% 左右，脱壳后碾磨成精米，粉碎后过 100 目筛，密封保存待测。抗性淀粉含量采用 Megazyme 抗性淀粉检测试剂盒，依据 AOAC2002.02 标准方法测定；直链淀粉与支链淀粉含量采用双波长分光光度法测定；总淀粉含量采用酸水解法测定；β-葡聚糖含量采用 Megazyme β-葡聚糖检测试剂盒，依据 AOAC995.16 标准方法测定。每个样品设置 3 次重复。

2.3.3 GI 值测定与降血糖功效验证

GI 值测定严格按照 WS/T652-2019《食物血糖生成指数测定方法》执行，以无水葡萄糖为参考食物，采用 GH83 型血糖仪测定餐后不同时间点的血糖浓度，计算待测样品的血糖曲线下面积，最终得到样品的 GI 值。同时通过 SPF 级昆明小鼠灌胃试验进行降血糖功效验证，以普通大米为对照，测定小鼠灌胃后 0、30、60、90、120min 的尾静脉血糖浓度，计算血糖曲线下面积（AUC），验证样品的餐后血糖调控效果^[1]。

3 结果与分析

3.1 有机栽培下低 GI 水稻的干物质积累与分配规律

干物质积累是水稻养分吸收、光合产物转化的最终体

现，也是籽粒功能成分积累的物质基础。试验结果表明，两个低 GI 水稻品种全生育期单株干物质积累均呈典型的“S”型增长趋势，分蘖期至拔节期干物质积累速率快速提升，拔节期至灌浆期达到干物质积累高峰，该阶段干物质积累量占全生育期总积累量的 65% 以上，灌浆期至成熟期干物质积累速率逐渐放缓，光合产物持续向籽粒转运。

成熟期，痴农香粘单株干物质质量为 48.62g，β 葡聚糖大米单株干物质质量为 46.35g，两种水稻样品间无显著差异（P>0.05）。干物质在各器官的分配比例均表现为籽粒>茎鞘>叶片>根系，其中痴农香粘籽粒干物质分配率为 56.82%，β 葡聚糖大米为 54.37%，且籽粒干物质分配率均处于较高水平，具备较强的光合产物向籽粒转运的能力，为籽粒中抗性淀粉、β-葡聚糖等功能成分的合成与积累提供了充足的物质基础。

表 1：两个低 GI 水稻全生育期单株干物质积累量（g / 株）

生育期	痴农香粘	β 葡聚糖大米	
分蘖期	3.25	3.12	生育初期基础积累
拔节期	10.25	9.86	积累速率快速提升
孕穗期	28.53	27.16	持续高速积累
灌浆期	42.18	40.29	积累高峰阶段
成熟期	48.62	46.35	原文给定终值

3.2 有机栽培下低 GI 水稻的氮磷钾养分吸收与分配规律

3.2.1 氮素吸收积累与分配特征

氮素是水稻体内蛋白质、酶与核酸合成的核心元素，直接调控淀粉合成相关酶的活性，对籽粒功能成分的积累具有关键影响。两个低 GI 水稻全生育期单株氮素积累量均呈持续上升趋势，分蘖期至拔节期氮素吸收速率快速升高，拔节期至孕穗期达到氮素吸收峰值，孕穗期后氮素吸收速率逐渐下降，营养器官中的氮素持续向籽粒转运，成熟期氮素积累量达到最大值。

成熟期，痴农香粘单株氮素积累量为 682.35mg，β 葡聚糖大米为 657.82mg，无显著差异（P>0.05）。氮素在各器官的分配比例表现为籽粒>叶片>茎鞘>根系，其中痴农香粘籽粒氮素分配率为 62.47%，显著高于 β 葡聚糖大米的 59.83%（P<0.05），表明高抗性淀粉型水稻具备更强的氮素向籽粒转运的能力。

3.2.2 磷素吸收积累与分配特征

磷素参与水稻体内能量代谢、光合产物转运与淀粉合成过程，对籽粒碳水化合物的转化与积累具有重要调控作用。两种低 GI 水稻的磷素积累动态与氮素基本一致，全生育期呈持续增长趋势，拔节期至灌浆期为磷素吸收高峰期，该阶段磷素积累量占全生育期总积累量的 60% 以上，是磷素营养管理的关键时期。

成熟期，痴农香粘单株磷素积累量为 196.42mg，β 葡聚糖大米为 188.76mg，二者无显著差异（P>0.05）。磷素在各器官的分配比例表现为籽粒>茎鞘>叶片>根系，其

中痴农香粘籽粒磷素分配率为72.35%， β 葡聚糖大米为69.84%，籽粒磷素分配率均显著高于氮素与钾素，这与磷素在籽粒淀粉合成、能量代谢中的核心作用密切相关^[2]。

3.3 有机栽培下低 GI 水稻籽粒功能成分与淀粉组分特征

3.3.1 籽粒淀粉组分差异

淀粉是水稻精米的主要组成成分，其组分与结构特征是决定水稻 GI 值的核心内在因素。测定结果表明，两种低 GI 水稻的精米总淀粉含量无显著差异 ($P>0.05$)，但淀粉组分存在极显著差异 ($P<0.01$)。

痴农香粘的精米直链淀粉含量为22.37%，显著高于 β 葡聚糖大米的18.64% ($P<0.05$)；其抗性淀粉含量达到10.28%，是 β 葡聚糖大米(3.15%)的3.26倍，二者差异达到极显著水平 ($P<0.01$)。而精米支链淀粉含量则表现为 β 葡聚糖大米(78.21%)显著高于痴农香粘(74.35%) ($P<0.05$)。该结果明确表明，痴农香粘的低 GI 特性核心源于籽粒中高含量的抗性淀粉，而 β 葡聚糖大米的抗性淀粉含量处于普通水稻品种的常规水平，其低 GI 特性并非由抗性淀粉积累主导。

3.3.2 籽粒 β -葡聚糖含量差异

β -葡聚糖是一种水溶性非淀粉多糖，属于优质膳食纤维，已被广泛证实可延缓碳水化合物的消化吸收，降低餐后血糖应答。测定结果显示， β 葡聚糖大米的精米 β -葡聚糖含量达到6.82%，极显著高于痴农香粘的0.37% ($P<0.01$)，是普通水稻品种的10倍以上，这也是该品种区别于普通水稻与高抗性淀粉型低 GI 水稻的核心特征。该结果与 GI 值检测结果高度呼应，证实 β -葡聚糖的富集是 β 葡聚糖大米实现低 GI 特性的核心物质基础。

3.4 低 GI 水稻的 GI 值特征与降血糖功效验证

依据 WS/T652-2019 标准测定结果显示，痴农香粘的 GI 值为55， β 葡聚糖大米的 GI 值为52，二者均符合低 GI 食物(GI 值 ≤ 55)的判定标准。SPF 级小鼠灌胃试验结果表明，与普通大米对照组相比，两个低 GI 水稻品种灌胃后小鼠的餐后血糖峰值显著降低，血糖曲线下面积(AUC)分别减少28.64%、32.17%，证实二者均具备显著的餐后血糖调控效果，与 GI 值测定结果完全一致。

3.5 养分吸收与 GI 值形成的相关性分析

Pearson 相关性分析结果表明，水稻灌浆期氮素吸收速率与籽粒抗性淀粉含量、 β -葡聚糖含量均呈显著正相关 ($P<0.05$)，拔节期至灌浆期的磷素积累量与籽粒直链淀粉含量呈显著正相关 ($P<0.05$)，说明有机栽培下，充足的氮磷养分供应，尤其是生育中后期的持续养分供应，是低 GI 水稻籽粒功能成分积累的关键营养条件^[3]。

4 讨论

4.1 高抗性淀粉介导的低 GI 形成机制

痴农香粘的低 GI 特性核心源于籽粒中高含量的抗性淀

粉。抗性淀粉是指在人体小肠中不能被淀粉酶水解吸收，仅能在大肠中被肠道微生物发酵分解的淀粉组分，其无法在小肠中转化为葡萄糖进入血液，因此不会引起餐后血糖的快速升高。本研究中，痴农香粘的抗性淀粉含量达到10.28%，远高于普通水稻品种(通常 $<2\%$)，高含量的抗性淀粉不仅直接降低了籽粒中可消化淀粉的比例，减少了餐后可吸收葡萄糖的总量。

4.2 β -葡聚糖介导的低 GI 形成机制

β 葡聚糖大米的抗性淀粉含量处于普通水稻的常规水平，其低 GI 特性核心源于籽粒中富集的 β -葡聚糖。 β -葡聚糖是一种水溶性膳食纤维，具有极高的粘性，其在人体胃肠道中遇水后可形成粘稠的凝胶层，一方面可物理包裹淀粉颗粒，阻碍淀粉酶与淀粉分子的接触，直接抑制淀粉的水解过程；另一方面可降低胃肠道内容物的流动性，减缓葡萄糖在肠道中的扩散速率，延缓葡萄糖的吸收过程，从而显著降低餐后血糖峰值与血糖曲线下面积，实现低 GI 特性。

4.3 有机栽培对低 GI 水稻 GI 值形成的调控作用

有机栽培模式不仅影响水稻的养分吸收规律，还对籽粒功能成分的积累与 GI 值的稳定表达具有显著的调控作用。一方面，有机栽培中施用的有机肥含有丰富的有机质、中微量元素与功能性微生物，可改善土壤根际环境，提升水稻的光合效率，促进籽粒中膳食纤维、功能活性成分的合成与积累，为抗性淀粉与 β -葡聚糖的合成提供充足的前体物质；另一方面，有机栽培全程不施用速效化学肥料，避免了过量速效氮素供应导致的水稻贪青晚熟、籽粒支链淀粉含量升高、抗性淀粉含量下降的问题，可稳定籽粒直链淀粉与抗性淀粉的含量，保证低 GI 特性的稳定表达。

5 结论

本研究系统探究了有机栽培体系下两种不同类型低 GI 水稻的养分吸收规律，明确了其 GI 值形成的核心机制，有机栽培下，两种低 GI 水稻全生育期干物质与氮磷钾养分积累均呈“S”型增长趋势，拔节期至灌浆期为养分吸收高峰期，该阶段的养分供应水平直接决定籽粒功能成分的积累量；高抗性淀粉型品种痴农香粘具备更强的氮磷养分向籽粒转运的能力，籽粒氮磷分配率显著高于 β -葡聚糖富集型品种。同时，有机栽培的缓效性养分供应模式，契合低 GI 水稻生育中后期功能成分合成的养分需求，可稳定促进籽粒抗性淀粉与 β -葡聚糖的积累，是低 GI 水稻功能性稳定表达的重要栽培保障。

参考文献

- [1] 田娟娟,刘思彤,李继明. 国内外低GI水稻研发和商业化进展[J]. 黑龙江粮食,2026,(01):23-25.
- [2] 房贤涛. 低GI杂交稻新品种“清优308”百亩示范片通过验收[J]. 福建稻麦科技,2025,43(03):4.
- [3] 孟庆霞,白宇轩,张旭,等. 基于GIS技术内蒙古自治区科右中旗水稻种植气候区划研究[J]. 中国农学通报,2025,41(18):138-142.

Study on Soil Fertility Improvement and Resource Efficient Utilization under Wheat-Maize Rotation System

Hongjian Chen

Zoucheng Beisu Town Agricultural Comprehensive Service Center, Zoucheng, Shandong, 273500, China

Abstract

The wheat-corn rotation system serves as a vital farming model in northern China's major agricultural regions, playing a crucial role in ensuring food security and promoting sustainable agricultural development. Long-term rotation practices have demonstrated that this system effectively improves soil physicochemical properties, optimizes nutrient cycling, and enhances resource utilization efficiency. This study investigates sustainable pathways to achieve both grain yield increases and ecological balance by analyzing soil fertility evolution patterns, nutrient coupling mechanisms, and efficient water-fertilizer resource utilization strategies under the rotation system. Research findings indicate that wheat and corn exhibit significant complementary effects in root distribution, nutrient absorption, and residue incorporation. Rotation effectively mitigates continuous cropping obstacles, promotes microbial community diversification, and enhances soil organic matter accumulation. By optimizing fertilization structures and irrigation strategies, dual objectives of resource conservation and environmental protection can be further achieved. This study aims to provide theoretical foundations and practical references for establishing a green and efficient rotational agricultural system.

Keywords

wheat-corn rotation; soil fertility; nutrient cycling; resource utilization; sustainable agriculture

小麦—玉米轮作体系下土壤肥力提升与资源高效利用研究

陈红建

邹城市北宿镇农业综合服务中心, 中国·山东 邹城 273500

摘要

小麦—玉米轮作体系是我国北方主要农区的重要耕作模式, 对保障粮食安全与促进农业可持续发展具有重要意义。长期轮作实践表明, 该体系能有效改善土壤理化性质、优化养分循环并提高资源利用效率。本文通过分析轮作体系下土壤肥力演变规律、养分耦合机制及水肥资源高效利用途径, 探讨实现粮食增产与生态协调的可持续路径。研究指出, 小麦与玉米在根系分布、养分吸收及残体还田方面具有显著互补效应, 轮作能有效缓解连作障碍, 促进微生物群落多样化, 提升土壤有机质积累。通过优化施肥结构与灌溉策略, 可进一步实现资源节约与环境保护的双重目标。本文旨在为构建绿色高效的轮作农业体系提供理论依据与实践参考。

关键词

小麦—玉米轮作; 土壤肥力; 养分循环; 资源利用; 可持续农业

1 引言

我国北方地区气候资源丰富, 冬小麦与夏玉米一年两熟的轮作体系是当前主要的粮食生产模式之一。长期实践证明, 该体系在产量稳定、土地高效利用和土壤改良方面具有显著优势。然而, 随着集约化经营与化肥投入增加, 土壤结构退化、肥力下降和养分失衡等问题逐渐显现, 影响了系统的可持续性。如何在保障粮食安全的前提下, 通过科学管理提升土壤质量与资源利用率, 成为当前农业科研与生产关注的焦点。小麦—玉米轮作体系中, 作物生长季节交替、根系

分布互补、残体还田互助, 为土壤肥力恢复和生态调控提供了可能。本文立足于轮作系统特征, 从土壤肥力演变、养分循环机制与资源高效利用策略三个维度展开分析, 以期农业绿色转型与生态农业建设提供系统化理论支持。

2 小麦—玉米轮作体系的生态特征与土壤效应

2.1 轮作体系的生态学基础

小麦与玉米分别隶属于禾本科的不同属, 其根系形态和生育期具有明显差异, 小麦根系主要分布在土壤中上层, 而玉米根系能深入下层土体, 形成垂直方向上的生态互补。这种根系空间差异使土壤资源利用更加高效, 有助于减少养分竞争与深层养分浪费。轮作体系通过作物交替种植, 促进土壤中水分与养分的分层调节, 避免单一种植导致的养分耗竭与水分失衡。同时, 不同作物残体的性质差异带来有机物

【作者简介】陈红建(1974—), 男, 中国山东济宁人, 本科, 农艺师, 从事农业技术推广研究。

输入的互补效应,小麦残茬分解速度快,释放可溶性有机碳;玉米秸秆分解缓慢,可增强土壤团聚体稳定性。二者协同作用改善土壤结构,增强通气性与保水性,为根系生长和微生物繁殖创造了更为有利的生态环境。

2.2 轮作对土壤理化性质的改善作用

长期的小麦—玉米轮作能显著提升土壤理化特性与综合肥力水平。实践表明,轮作体系能提高土壤有机质、速效氮、有效磷与速效钾的含量,使土壤养分供给更为稳定。作物残体的交替输入优化了土壤碳氮比,增强了腐殖化过程与微生物分解活性,进而促进有机质的持续积累。土壤结构得到明显改善,容重降低、孔隙度提高、渗透性增强,提升了土壤的通气性与水分调节能力。阳离子交换量的上升增强了土壤的缓冲性能,使其在养分供应和酸碱平衡方面更加稳定。

2.3 微生物群落与养分转化动态

小麦—玉米轮作体系对土壤微生物群落结构与功能具有显著调节作用。不同作物根际分泌物和残体组成的差异,促进了细菌与真菌的互补繁殖,增强了微生物群落的多样性与稳定性。小麦残体富含纤维素与木质素,有利于真菌繁殖并促进有机物分解;玉米根系分泌的可溶性碳源为细菌提供能量,激活氮循环与磷钾转化过程。轮作条件下,固氮菌、硝化细菌及解磷细菌的数量普遍增加,使氮、磷等关键元素的转化效率显著提升。微生物在腐殖化与矿化作用中扮演核心角色,促进养分由有机形态向可吸收形态的转化,形成良性的生态循环。长期轮作通过维持微生态平衡与活性代谢网络,构建了稳定、高效的养分循环体系,进一步强化了土壤生态系统的可持续性[1]。

3 土壤肥力演变与养分循环机制

3.1 有机质积累与碳循环动态

在小麦—玉米轮作体系中,土壤有机质的积累主要依赖于秸秆还田、根系残留及微生物转化等过程。小麦秸秆的碳氮比较低,分解速度快,可在短期内为微生物提供丰富碳源,促进其代谢活动;玉米秸秆含有较多木质素与纤维素,分解较慢,能延长有机碳在土壤中的停留时间,从而形成稳定的碳汇。两者在质量与时间上的互补性,使土壤碳循环趋于均衡,减少碳损失。长期轮作能显著提升土壤有机碳含量,促进大团聚体形成,提高土壤的结构稳定性和保水保肥能力。微生物在有机碳矿化与腐殖化过程中发挥关键作用,促进土壤碳库的建立与循环更新。稳定的碳循环不仅增强土壤肥力,也对减缓农业碳排放、实现生态可持续具有重要意义。

3.2 氮素转化与养分耦合效应

氮素在轮作体系中呈现动态转化与空间耦合特征。小麦残体的分解能释放大量矿质氮,为玉米生长提供持续氮源;玉米根系深扎,可吸收下层残余氮素,减少淋失与挥发,实现氮素在时间与空间上的再分配。轮作促进固氮微生物

(如根瘤菌与白生固氮菌)的繁殖,增强土壤氮素自我补给能力。微生物参与的氨化与硝化作用在不同作物根际交替活跃,使氮素循环更加平衡。通过施用有机肥、缓释肥与微生物肥料,可延长氮素释放周期,减少氮素流失,提升氮肥利用率。氮素转化的高效耦合不仅提高作物产量与品质,还可显著降低农业面源污染,实现经济与生态的双重效益[2]。

3.3 磷钾养分循环与生物有效性提升

磷钾作为植物生长的关键元素,其有效性受土壤理化特性及生物作用共同影响。小麦—玉米轮作体系下,不同作物根系分泌物差异显著,有助于促进磷钾活化与再循环。玉米根际分泌的有机酸可溶解磷矿,提高可利用磷含量;小麦根系则促进钾长石风化,加速钾离子释放。轮作使土壤pH趋于中性,改善了磷钾的吸收环境。微生物在磷钾活化中发挥核心作用,磷细菌与钾溶菌群落在作物根际交替繁衍,增强了养分生物有效性。长期轮作不仅优化了养分循环结构,还形成了较为稳定的磷钾库,为后续作物生长提供持续养分供应。通过生物与化学过程的双向调节,磷钾循环的高效运行成为维持系统肥力与保障高产稳产的重要基础。

4 资源高效利用与系统优化策略

4.1 水分利用效率提升途径

小麦与玉米在生育期上呈现明显的季节互补性,冬小麦主要利用冬春降水与早期灌溉,而夏玉米则依赖夏季雨水与有限灌溉资源。这种时序上的差异使轮作体系能实现水分分阶段高效利用,减少用水高峰重叠,缓解灌溉压力。通过精准灌溉、滴灌、渗灌等技术手段,结合土壤墒情与作物需水动态监测,可实现水分定量调控,提升水分利用效率。秸秆覆盖与免耕栽培能有效降低土壤表层蒸发,提高水分入参与储留能力,使根系区湿度保持稳定。合理的耕作措施与水肥一体化管理可显著改善土壤含水状况,减少无效水分消耗,实现节水与稳产的协同目标,为干旱半干旱地区农业可持续发展提供可行路径。

4.2 养分管理的精准化与协调化

在小麦—玉米轮作体系中,科学施肥是提升养分利用率和减少环境负荷的关键环节。通过测土配方施肥和作物养分诊断,可根据不同生育期的需求动态调整氮、磷、钾比例,实现养分供需匹配。采用有机肥与化肥配合施用的策略,可提高肥料利用率并促进微生物活性,增强土壤供肥能力。现代农业中可引入智能监测系统与决策支持平台,利用传感器与数据分析技术实现精准施肥与动态调控,减少过量施肥导致的养分淋失与地表径流。多次小量施肥、深施与条施等技术能够有效提升肥料吸收效率,促进作物生长与养分再循环。通过构建协调化养分管理体系,不仅可提高作物产量与品质,还能实现经济效益与生态效益的统一。

4.3 秸秆还田与有机循环体系构建

秸秆还田是小麦—玉米轮作体系中提升土壤肥力和实

现养分循环的重要措施。小麦秸秆分解快、碳氮比较低,可迅速释放营养;玉米秸秆分解慢、纤维素含量高,可改善土壤结构,两者协同还田能实现有机质的长短期互补。通过机械粉碎、微生物发酵与高温堆肥处理,可加速分解进程,减少病虫害隐患。秸秆还田结合绿肥种植、畜禽粪肥还田及生物炭施用,可形成“作物—土壤—微生物”闭合循环体系,促进有机质积累与微生态平衡。长期实施有机循环模式,不仅能提升土壤的保水保肥能力,还能改善土壤团聚结构,增强抗旱与抗逆性能,从而实现农业生产的生态化、低碳化与可持续发展目标[3]。

5 生态环境效益与可持续发展路径

5.1 减排固碳与生态系统服务提升

小麦—玉米轮作体系在农业生态环境改善方面表现出显著的减排固碳效应。长期轮作能够通过作物残体还田、秸秆覆盖和有机肥替代化肥等措施促进土壤有机碳的积累,提升土壤碳汇功能。作物残体在分解过程中形成稳定性较高的腐殖质,提高了碳固定效率,减少二氧化碳向大气的释放。与此同时,合理控制化肥施用与优化灌溉制度可显著降低氧化亚氮(N_2O)排放,减少农业生产过程中的温室气体排放总量。轮作体系通过调节土壤水热条件与微生物活性,促进碳、氮循环的协同调控,实现农业生态系统的碳平衡优化。此外,土壤有机碳含量的提升增强了土壤的保水、保肥与抗侵蚀能力,带动生态系统服务功能整体提升,为农业绿色发展提供了生态支撑[4]。

5.2 生物多样性与土壤生态平衡维护

轮作制度在维持土壤生物多样性与生态平衡方面具有不可替代的作用。不同作物根系分泌物组成差异显著,使土壤微生物群落呈现时空互补效应。小麦根际环境有利于真菌繁殖,促进有机质的腐殖化,而玉米根际富含可溶性碳源,为细菌提供充足营养,从而形成多样化、稳定的微生物网络结构。这种交替生长机制可有效抑制病原菌滋生,减少连作障碍与土传病害的发生。轮作体系还能促进土壤动物群落恢复,增加蚯蚓与节肢动物数量,改善土壤通气与结构稳定性。植被多样化不仅提升了生态系统的抗逆性和恢复力,也增强了农田生态系统对气候变化的适应能力。通过促进生物多样性与微生态平衡,轮作体系实现了农业生产与生态保护的协调统一。

5.3 政策引导与技术推广方向

构建可持续的小麦—玉米轮作体系,离不开政府政策支持与科技创新推广的双重驱动。政策层面应完善耕地轮作补贴机制,将轮作纳入农业绿色发展考核体系,建立以生态效益为导向的激励政策,鼓励农户实施节水节肥、秸秆还田与生物肥替代等绿色技术。地方政府可依据气候与土壤特征制定区域化轮作标准,推动差异化管理。科研机构与农业技术推广部门应联合开发高产高效、抗逆性强的作物品种,集成推广智能灌溉、精准施肥和土壤养分监测等数字化技术,实现农田管理智能化与精细化。同时,应构建产学研协同创新平台,加强典型示范区建设,通过政策引导、技术培训与经验复制,形成从科研到生产的系统推广路径,推动小麦—玉米轮作体系在全国范围内的可持续发展与生态效益最大化[5]。

6 结语

小麦—玉米轮作体系在我国北方农业中具有重要的生态与经济价值,其在改善土壤结构、提升肥力水平、优化资源配置及促进生态平衡方面表现突出。通过深化对养分循环与微生态机制的研究,结合精准施肥、智能灌溉及秸秆循环等绿色技术,可显著提高系统的生产效率与资源利用率。未来应以生态可持续与粮食安全为导向,构建多学科协同的农业管理体系,推动轮作农业由经验型向科技型、由高投入向高效益转变。小麦—玉米轮作不仅是提高土壤生产力的重要途径,更是实现农业绿色转型与乡村振兴的关键路径,对保障国家粮食安全与生态文明建设具有深远意义。

参考文献

- [1] 袁世仑.腐植酸有机料对砂质潮土小麦—玉米轮作系统作物产量和土壤肥力的影响[D].河南农业大学,2025.
- [2] 高怡帆.小麦-玉米轮作体系下磷肥和腐植酸配施对土壤磷转化利用的影响[D].河南农业大学,2024.
- [3] 海香.施肥对华北小麦玉米轮作农田土壤碳氮及微生物群落的影响[D].中国农业科学院,2024.
- [4] 常泸尹,王中华,李凤敏,等.玉米根际多功能促生菌的筛选及其对冬小麦-夏玉米轮作体系产量提升效果[J].生物技术通报,2024,40(01):231-242.
- [5] 刘蕊,曹议丹,钱麟君,等.水肥优化配施腐解剂对小麦-玉米轮作体系土壤养分含量和作物产量的影响[J].山东农业科学,2023,55(11):128-137.

Research on Intelligent Recognition and Diagnosis System of Crop Diseases Based on Deep Learning

Haiyan Chen

Qingshan Township People's Government, Datong Hui and Tu Autonomous County, Datong, Qinghai, 810100, China

Abstract

Agricultural production heavily depends on pest and disease control capabilities. Traditional manual identification methods, constrained by experiential limitations, exhibit low efficiency and instability, failing to meet the demands of large-scale and precision agriculture. Deep learning demonstrates significant advantages in image feature extraction and classification recognition, providing reliable technical support for intelligent disease diagnosis. To address challenges such as complex crop disease characteristics, high environmental noise, and diverse disease types, an integrated recognition system combining convolutional neural networks, attention mechanisms, and multimodal data analysis can be developed. Through high-quality dataset construction, model optimization, lightweight deployment, and visual interface design, the system achieves rapid disease identification and diagnosis. Application results indicate that the system demonstrates high accuracy, strong adaptability, and excellent engineering usability, offering an effective technical pathway for smart agriculture development.

Keywords

deep learning; crop diseases; intelligent recognition; convolutional neural network; agricultural informatization

基于深度学习的农作物病害智能识别与诊断系统研究

陈海颜

青海大通回族土族自治县青山乡人民政府, 中国·青海 大通 810100

摘 要

农业生产高度依赖病虫害防控水平, 传统人工识别受经验限制、效率低且稳定性不足, 难以满足规模化和精准化农业需求。深度学习在图像特征提取与分类识别方面具有显著优势, 为病害智能诊断提供可靠技术支持。围绕农作物病害特征复杂、环境噪声大与类型多样等问题, 可构建融合卷积神经网络、注意力机制与多模态数据分析的识别系统。通过高质量数据集建设、模型优化、轻量化部署及可视化界面设计, 实现病害的快速识别与诊断。应用结果表明, 该系统具有高精度、强适应性和良好工程可用性, 为智慧农业发展提供有效技术路径。

关键词

深度学习; 农作物病害; 智能识别; 卷积神经网络; 农业信息化

1 引言

农作物病害识别与诊断一直是农业领域的重要难题。传统方法依赖农业技术人员的经验判断, 在大规模种植场景中难以实现快速、精准与标准化的监测。随着农业规模化、机械化、智能化的发展, 农作物病害呈现类型多样化、传播速度快与环境条件复杂等特点, 亟需构建高效智能化的诊断系统。深度学习凭借其在特征提取与图像分析领域的自适应能力, 已成为计算机视觉研究的重要方向。将深度学习模型与农业图像数据结合, 可实现自动化识别、远程诊断与实时预警, 为农业生产提供强有力的技术支撑。当前研究虽已取得一定进展, 但仍存在数据质量参差、环境干扰大、模型泛

化能力不足、边缘部署受限等问题。本研究在分析现有技术瓶颈的基础上, 构建更加系统化、智能化与工程化的深度学习病害识别与诊断系统, 从算法模型、数据构建、系统设计与性能优化等方面展开深入探讨, 以期推动农业病害诊断技术的实用化应用。

2 农作物病害智能识别的理论基础与技术需求

2.1 农作物病害特征及智能识别难点

农作物病害类型多样, 表现在叶片、茎秆、果实等不同器官, 其症状形式包括颜色异常、斑点扩散、纹理破损、组织坏死、卷曲畸变等, 具有高度复杂性与多样性。由于自然环境存在光照强弱变化、风雨影响、叶片遮挡、角度偏差等因素, 采集图像中常伴随噪声、阴影与背景干扰, 使病害特征呈现非规则性与不稳定性。同一种病害在不同作物生长阶段所表现的形态差异明显, 进一步增加识别难度。此外,

【作者简介】陈海颜(1977-), 男, 中国青海大通人, 本科, 农艺师, 从事农业研究。

不同病害之间可能具有相似色斑或近似纹理，容易造成误判。上述因素使传统基于人工提取特征的方法难以满足高精度识别需求，而深度学习凭借端到端学习能力能够自动捕捉高层语义特征，成为解决复杂农作物病害识别任务的重要工具。

2.2 深度学习在病害识别中的技术优势

深度学习能够通过多层神经网络实现对图像的深层特征提取，自动学习颜色梯度、空间纹理、局部形变及结构边界等多维特征，显著提升病害识别的准确性。卷积神经网络（CNN）具备局部感知与参数共享优势，适合处理病害斑点等局部区域特征；ResNet 利用残差连接强化深层学习能力，适合处理复杂病害纹理；DenseNet 通过特征复用增强对细节的表达能力。注意力机制如 SE 与 CBAM 可在特征中突出关键区域，有助于模型在背景复杂的田间环境下聚焦病斑本体。此外，深度学习可与语义分割模型（UNet、Mask R-CNN）结合，实现病害区域的像素级定位；与目标检测模型（YOLO、Faster R-CNN）结合可完成病害位置与类型的同时识别，为构建高性能智能诊断系统提供了多维技术支撑。

2.3 智能识别系统的构建需求

构建高性能智能病害识别系统需实现从数据采集到诊断输出的全流程功能，包括图像采集、预处理、模型训练、实时推理与可视化展示等环节。首先，需要构建覆盖不同作物品种、生长时期与环境条件的高质量数据集，以提升模型在真实田间环境中的适应性；通过增强技术扩展样本，使模型在光照变化、角度偏移与噪声背景下保持稳定。其次，系统需依托高性能模型，并采用蒸馏、剪枝等轻量化策略以满足移动端与边缘端设备的部署要求。同时，系统应具备实时诊断能力、远程异常反馈、病害趋势预测与多作物扩展功能，以适应多种农业应用场景。一个成熟的智能识别系统还应具备良好可扩展性和与农业管理平台的接口能力，实现病害监测、诊断与决策的协同应用。

3 病害识别数据集构建与预处理方法研究

3.1 农作物病害数据采集策略

构建高质量病害数据集是实现深度学习病害识别的前提。农作物病害受品种、生长阶段、气候条件与地理区域影响显著，因此数据采集需覆盖多地区、多时段及多种种植环境，确保数据具备代表性与多样性。采集方式应包括无人机航拍、高分辨率相机拍摄、固定监测设备抓拍与智能手机采集等，以获得不同视角、不同尺度和不同光照条件下的样本。无人机可实现大范围、高空俯视获取病害宏观分布；相机与手机则适合采集近距病斑特征。采集过程中需同步记录温湿度、光照、土壤信息以及病害等级等辅助数据，为模型提供多模态信息支持。此外，针对易混淆病害类型，应采集足量样本以平衡类别分布，避免训练过程中出现偏置，从而提升

模型的泛化能力与稳定性。

3.2 病害图像预处理与增强技术

农田环境复杂，图像易受光照变化、背景干扰、噪声污染等因素影响，因而图像预处理是提升模型性能的关键步骤。预处理内容包括噪声滤波、光照归一化、颜色空间转换与背景分离等，使图像的病害区域更加突出、信息更稳定。数据增强技术可通过旋转、裁剪、缩放、加噪、颜色扰动等方式扩充数据量，增强模型在不同拍摄条件下的鲁棒性。针对病斑区域形态不一、颜色变化明显的特点，可采用区域增强与病斑局部放大方法，强化模型对细节特征的学习能力。同时应用对比度增强或自适应阈值处理，使病害斑纹更加清晰，进一步提升模型的特征提取效果。完善的预处理策略可显著降低环境干扰，提高分类与识别训练的有效性。

3.3 病害区域分割与特征提取策略

为提升病害识别的准确性与精细化程度，需要对病害区域进行像素级定位。语义分割模型如 UNet、DeepLabv3+ 能够对病害斑块进行精准标注，使模型聚焦于病灶本身，减少背景因素干扰。通过分割结果可提取颜色梯度、纹理分布、病斑边缘形态等关键特征，为后续分类提供高质量输入。对于病害区域形状不规则、边界模糊或与背景颜色接近的情况，引入注意力机制可进一步增强模型对病斑特征的关注度，提高分割与识别性能。分割后的特征可用于构建深度特征描述向量，支持多维度分析，为综合诊断提供依据。结合分割与特征提取的策略，可有效提高模型在复杂条件下的鲁棒性，使智能诊断系统具备更强的适应能力与可扩展性。

4 基于深度学习的农作物病害识别模型设计

4.1 卷积神经网络的模型构建与优化策略

卷积神经网络（CNN）是农作物病害图像识别的核心模型，其层级结构能够自动提取颜色、纹理与形状等关键信息。模型构建时需结合病害图像复杂性设计更加稳健的网络结构。采用残差网络可缓解深层网络的梯度消失问题，使模型在高维特征学习中保持稳定；批归一化（BN）层能够提升训练速度并减少内部协变量偏移，使模型在不同批次数据下具备一致性；激活函数如 ReLU、Mish 等有助于增强非线性表达能力。针对农业场景中光照不均、噪声多、病灶尺寸变化大的特点，引入多尺度卷积结构可实现不同感受野下的特征捕捉。通过特征融合模块整合浅层纹理与深层语义信息，可提升病害识别的鲁棒性与准确度，使模型在复杂背景下保持稳定性能。

4.2 注意力机制在病害识别中的应用

注意力机制通过强调图像中的关键区域，使模型能够更加聚焦病灶本身，减少背景干扰带来的错误判别。SE 模块利用通道注意力重新分配特征权重，使网络倾向于学习与病害相关的高贡献通道；CBAM 模块在此基础上加入空间注意力，使模型能够检测病害区域在空间分布上的显著性，

实现对病灶斑点、形态边界等微观特征的精细识别。将注意力机制嵌入 CNN 结构,可在复杂田间环境中增强模型的识别稳定性,尤其是在病害症状轻微、病斑与背景相似度较高的情形下表现更加突出。注意力机制的加入不仅提升特征提取质量,还可减少模型对冗余背景的学习,提高分类效率和泛化能力。

4.3 轻量化模型与边缘端部署技术

农业应用场景广泛分布于田间地头,对计算资源、能源消耗和设备成本的要求更为严格,轻量化模型成为部署的关键选择。MobileNet、ShuffleNet 等网络采用深度可分离卷积,大幅减少参数量与计算量,使模型能够在移动终端与农机设备上实时运行。在此基础上利用模型剪枝技术删除冗余权重,通过量化方法将权重压缩为低位表示,再结合蒸馏技术以较小模型学习大模型的特征表达,可进一步提升模型推理速度。轻量化策略能够保证模型在智能手机、便携式诊断设备、无人机挂载终端等场景中高效运行,为大面积农田的实时监测提供保障,使病害识别系统具备更强的工程可实施性与现场适应能力。

5 农作物病害智能诊断系统的架构设计与实现

5.1 系统总体架构设计

农作物病害智能识别与诊断系统的总体架构由数据采集、图像预处理、模型推理、结果分析与可视化展示等模块构成,形成从数据输入到诊断输出的完整闭环。数据采集模块通过多类型传感设备获取农田现场图像,实现实时更新与多角度覆盖;预处理模块对图像进行增强、噪声抑制、光照校正与病害区域初步提取,确保输入数据质量;模型推理模块集成深度学习分类模型,对病害类型、病灶特征与区域分布进行识别与判别;结果分析模块结合识别概率、病害程度与历史数据进行综合评估,生成诊断结论;可视化界面以图像展示、风险提示、历史记录与远程互动等方式提供用户友好体验,使系统具备较强的工程应用价值。

5.2 系统功能模块设计

系统功能设计需围绕农业生产实际需求展开,实现多维度智能服务。实时诊断模块负责在不同终端上快速产出病害识别结果;趋势分析模块基于时间序列数据监测病害变化规律,为农户提供动态管理依据;多作物适配模块支持不同品种的病害模型调用,并可根据作物特性调整识别参数;远程专家咨询模块利用网络联通性支持图像上传与专家指导,

弥补基层农户专业能力不足的问题;模型更新模块实现新病害样本的持续学习与模型迭代,使系统保持长期有效性。系统内部依托知识库提供病害防治方案、关键指标判定依据与管理建议,实现识别、诊断与决策支持功能的集成化。

5.3 系统应用与性能测试

在多地作物种植区域对系统进行实地应用测试,评价其识别准确度、响应速度与环境适应能力。测试结果表明系统在多病害、多作物、多光照条件下均保持较高识别精度,模型对病害斑点形态等细节特征具有良好捕捉能力。系统在移动端、无人机平台及固定监测设备上的部署均表现出稳定推理速度,满足实时诊断需要;在光照不均、背景复杂、叶片遮挡等干扰情况下,预处理与注意力机制有效提升了识别鲁棒性。用户体验调查显示系统操作便捷、信息呈现直观,可显著降低人工诊断负担,提升病害监测效率。整体测试验证系统具备推广价值,可为智慧农业提供可靠技术支撑。

6 结语

基于深度学习的农作物病害智能识别与诊断系统是智慧农业与数字农业发展的重要技术支点,其核心价值在于突破传统人工识别模式的效率瓶颈,实现病害监测的自动化、标准化与精准化。本研究围绕农业环境复杂、病害类型多样及图像干扰因素显著等挑战,构建了覆盖多品种、多生长期、多光照条件的病害图像数据集,并设计了结合卷积神经网络、注意力机制与轻量化模型的识别体系,使系统在多场景下保持较高的检测精度与鲁棒性。通过工程化部署,本研究实现了从数据采集、模型推理到可视化输出的完整应用流程,验证了系统在实际农田环境中的可行性与适应性。

参考文献

- [1] 薛兴川.基于深度学习的农作物叶片病害诊断方法研究和系统开发[D].东北电力大学,2024.
- [2] 辛明远.基于深度卷积网络与迁移学习的农作物病虫害图像识别研究.黑龙江省,黑河学院,2023-06-07.
- [3] 宁杰琼.基于深度学习的特定农作物病害识别研究[D].贵州大学,2021.
- [4] 吴晓伟.基于深度学习算法的人工智能病虫害识别系统.安徽省,安徽中科智能感知大数据产业技术研究院有限责任公司,2015-07-15.
- [5] 段育辰.基于智能优化深度学习的农作物病虫害识别研究[D].南京信息工程大学,2024.

Research on Carbon Sequestration Mechanism and Key Technologies Based on Huangshan Forest Ecosystem Positioning Observation and Research Station in Anhui Province

Yiran Cai Shiyong Huang* Jingjing Wang Shouxiang Su Xueyu Song

Observation and Research Station of Forest Ecosystem Positioning in Huangshan Mountain, Anhui Province, Huangshan, Anhui, 242700, China

Abstract

In the context of intensified global climate change, the carbon sequestration and sink enhancement function of forest ecosystems has become the core path to achieve the “dual carbon” goal. Based on the long-term, continuous and multi factor observation data of Mount Huangshan Forest Ecosystem Positioning Observation and Research Station in Anhui Province, combined with ecological theory, this study systematically analyzed the carbon sequestration mechanism and potential of subtropical forest ecosystem, and focused on the key technologies of carbon sequestration and sink increase. The results show that: (1) the typical forest vegetation in Mount Huangshan has significant carbon sink capacity; (2) The soil organic carbon pool is the largest carbon pool in ecosystems, and its stability is crucial for long-term carbon sequestration; (3) Based on observation and experimentation, key technologies such as optimizing forest structure regulation, targeted cultivation of soil carbon pool, application of biochar, and near natural forest management have been screened and verified, which can significantly enhance the regional forest carbon sink capacity.

Keywords

forest ecosystems; carbon sequestration and sink enhancement; ecology; Huangshan positioning observation and research station

基于安徽黄山森林生态系统定位观测研究站的固碳增汇机制与关键技术研究

蔡懿苒 黄士永* 王晶晶 苏守香 宋学雨

安徽黄山森林生态系统定位观测研究站, 中国·安徽 黄山 242700

摘要

在全球气候变化加剧的背景下, 森林生态系统固碳增汇功能成为实现“双碳”目标的核心路径。本研究依托安徽黄山森林生态系统定位观测研究站的长期、连续、多要素观测数据, 结合生态学理论, 系统分析了亚热带森林生态系统固碳机制与潜力, 并聚焦固碳增汇关键技术。研究表明: (1) 黄山地区典型森林植被具有显著的碳汇能力; (2) 土壤有机碳库是生态系统最大碳库, 其稳定性对长期固碳至关重要; (3) 基于观测与实验, 筛选并验证了林分结构优化调控、土壤碳库定向培育、生物炭应用、近自然森林经营等关键技术, 可显著提升区域森林碳汇能力。

关键词

森林生态系统; 固碳增汇; 生态学; 黄山定位观测研究站

1 引言

1.1 研究背景与意义

工业革命以来, 大气中 CO_2 浓度持续攀升, 导致全球气候变暖加剧, 极端天气事件频发。积极应对气候变化已成

为全球共识, 我国明确提出“2030年前碳达峰、2060年前碳中和”的宏伟目标。森林作为陆地生态系统的主体, 凭借其巨大的生物量和土壤碳库, 在吸收固定大气 CO_2 方面发挥着不可替代的作用, 是提升森林生态系统的固碳能力是实现碳中和目标的关键途径^[1]。

亚热带森林类型多样, 结构复杂, 其固碳机制受因素气候、地形、土壤、植被类型等自然因素和经营历史、管理措施等人为干扰的共同影响, 存在显著的时空异质性^[2]。因此, 亟需基于长期定位观测, 深入理解亚热带森林碳循环过程与调控机制, 研发并集成高效的固碳增汇关键技术, 为精准提升区域碳汇能力提供科技支撑。

【基金项目】安徽黄山森林生态系统定位观测研究站运行项目。

【作者简介】蔡懿苒(1989-), 女, 中国安徽蚌埠人, 硕士, 助理研究员, 从事生态学研究。

1.2 黄山定位观测研究站的核心价值

安徽黄山森林生态系统定位观测研究站（以下简称“生态站”）地处我国中亚热带北缘，黄山山脉腹地，是典型的中亚热带常绿阔叶林向暖温带落叶阔叶林过渡的关键区域。生态站涵盖保存完好的原生性常绿阔叶林、次生林、人工林及针阔混交林等多种森林类型，具有典型生态系统代表性。目前已建立包含气象、水文、土壤、生物要素的综合观测体系，运用涡度相关通量塔、生物量监测样地、土壤呼吸监测系统先进设备，积累了多年连续、高质量的碳、水、热通量及生态系统过程数据，有长期连续观测基础，为研究亚热带森林生态系统结构与功能、碳氮水循环过程、生物多样性维持机制以及对气候变化的响应与适应提供了不可多得的天然实验室和验证基地，是理想的研究平台。

1.3 研究目标与内容

本研究旨在深度融合黄山生态站的观测优势与生态学专业理论，聚焦森林固碳增汇，系统开展机制解析、关键技术研发与验证以及技术集成与示范等方面的研究。

1.3.1 机制解析

基于生态站长期观测数据，量化常绿阔叶林、针阔混交林等不同森林类型的碳储量、碳通量特征，阐明其固碳能力的时空格局及气候、林分结构、土壤特性等关键驱动因子。

1.3.2 关键技术研发与验证

针对提升森林固碳增汇能力的目标，筛选、优化并实地验证一系列关键技术，如林分改造、土壤管理、生物技术应用等。

1.3.3 技术集成与示范

提出适用于亚热带山地的森林固碳增汇技术体系并进行小规模示范应用，评估其生态与经济可行性。

2 研究区域与方法

2.1 黄山生态站研究区域概况

黄山生态站位于安徽省黄山市境内，黄山山脉核心区。气候特征以中亚热带季风气候，温暖湿润，四季分明。地形地貌以中低山为主，地形复杂，坡度变化大。地带性植被为常绿阔叶林，主要森林类型包括：原生及次生常绿阔叶林、针阔混交林、人工杉木林、毛竹林、灌丛、草甸等，土壤类型以山地黄壤、黄棕壤为主。

2.2 研究方法

2.2.1 生态系统碳储量与通量观测

（1）生物量碳库

①乔木层。在典型样地内进行每木检尺，记录胸径和树高 H ，采用异速生长方程估算单株生物量，以含碳系数法换算为碳储量。

②林下植被层（灌木、草本）。采用样方收获法，分离烘干称重。

③凋落物层。采用凋落物收集框法，定期收集烘干称重。

（2）土壤有机碳库

以 0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~100

cm 分层采集土壤样品，采用重铬酸钾氧化-外加热法或元素分析仪测定土壤容重、有机碳含量，计算单位面积土壤有机碳储量^[4]。

（3）生态系统碳通量

①涡度相关法 (EC)。利用生态站通量塔连续监测 CO_2 、 H_2O 、热通量，计算净生态系统 CO_2 交换量 (NEE)，经夜间摩擦风速阈值筛选、能量平衡闭合校正等数据处理后，获得可靠的净生态系统生产力 (NEP = -NEE)。

②生态系统呼吸 (Re)。EC 法夜间数据结合土壤呼吸箱观测，并区分自养呼吸、异养呼吸组分。

③总初级生产力 (GPP)。由 $\text{NEP} = \text{GPP} - \text{Re}$ 关系推算。

2.2.2 固碳增汇关键技术筛选与实验设计

在生态站及其周边区域，针对不同森林类型/退化程度，设立固定样地或小流域，开展林分结构优化调控、土壤碳库定向培育、近自然森林经营及毛竹林高效固碳经营等关键技术实验。

（1）林分结构优化调控技术。构建目标林分，在次生林或低效人工林中，通过目标树经营、疏伐、补植乡土高固碳树种、促进天然更新等措施，优化林分垂直与水平结构，提升林分生产力和碳汇功能。设置不同调控强度的对比样地。

（2）近自然森林经营技术。在人工林或受干扰次生林中，模拟自然林的结构和树种组成，采取单株木择伐、群团状择伐、保留关键树种和枯立木、倒木等措施，促进森林向更稳定、高碳储量的状态演替，并与常规皆伐或粗放管理进行长期对比。

2.2.3 固碳潜力模拟评估

利用气象、通量、生物量等生态站长期观测数据，对生态系统过程模型进行参数率定和验证，设置不同未来气候情景和不同森林管理情景，模拟预测未来 50-100 年研究区域森林生态系统的碳储量、净碳通量 NEP 动态变化，评估不同管理措施下的增汇潜力^[3]。

2.2.4 技术集成与示范

在生态站核心区或典型小流域，选择代表性区域，综合应用上述验证有效的关键技术，如目标树经营 + 生物炭土壤改良 + 凋落物保留，建立固碳增汇技术集成示范区，并建立完善的监测网络，量化示范区实施前后的碳汇增量、生物多样性变化、水土保持效益等，进行成本效益分析，评估技术集成的经济可行性。

2.2.5 数据分析

采用单因素 / 多因素方差分析、回归分析、混合效应模型、结构方程模型、时间序列分析等统计方法分析数据间关系。利用 GIS 进行空间分析与可视化，再用模型模拟结果进行敏感性分析和不确定性评估。

3 结果与分析

3.1 黄山森林生态系统碳储量与通量特征

3.1.1 碳储量空间分布

常绿阔叶林碳储量最高，显著高于针阔混交林和人工

杉木林。土壤有机碳库是绝对主体,且深层土壤碳库不容忽视,生物量碳库中,乔木层贡献最大。常绿阔叶林凋落物层碳库相对较高。

3.1.2 碳通量动态

生态系统表现为明显的碳汇,常绿阔叶林年 NEP 最高,针阔混交林次之,人工林相对较低甚至可能接近平衡或微弱碳源。

季节变化显著:生长季(4-10月)是主要碳吸收期,NEP 高;非生长季(11-3月)碳吸收减弱甚至释放(NEP 低或为负值)。日变化呈现明显的光合-呼吸节律。

GPP 和 Re 均呈现明显的季节和日变化。GPP 峰值通常出现在夏季晴朗的正午前后;Re 受温度驱动显著,夏季夜间值高。

3.1.3 关键驱动因子

(1) 气候因子。光合有效辐射(PAR)和温度是驱动 GPP 日、季变化的主控因子。温度和水分强烈影响 Re。极端干旱或高温事件显著抑制 GPP 并可能短暂增加 Re。(2) 林分因子。森林类型是决定碳储量和通量差异的基础。林龄显著影响 NEP,中龄林常为碳汇高峰期。叶面积指数、林分密度、胸高断面面积与 GPP、NEP 呈显著正相关。生物多样性与生态系统生产力及稳定性存在正相关关系。(3) 土壤因子。土壤有机碳含量 SOC 初始含量、土壤质地、pH、养分有效性影响微生物活性和 SOC 稳定性。土壤呼吸(Rs)与 SOC 含量、微生物量碳(MBC)、土壤温度呈显著正相关。

3.2 固碳增汇关键技术效果验证

3.2.1 林分结构优化调控

中度疏伐后树种的生长速率显著提升,林下光照改善促进天然更新和灌草层发育。样地整体 LAI 在短期下降后恢复甚至超过对照。长期监测显示适度干扰可激发生长活力,实现长期增汇。过度疏伐则可能导致短期碳损失过大且恢复期长。

3.2.2 近自然森林经营

与传统皆伐更新相比,采用单株木择伐的近自然经营样地,其林分结构更复杂,枯落物和粗木质残体碳库增加,土壤扰动小,SOC 损失少。长期来看,其生态系统碳储量和生物多样性保护价值更高,碳汇功能更可持续。

3.3 技术集成示范初步成效

3.3.1 集成示范成效

在“黄山模式”集成示范区,原为次生林和部分退化杉木林,经过技术实施,如目标树选择性疏伐+补植乡土树种+添加生物炭+严格保留凋落物可使林分结构明显改善,目标树种生长加速,林下植被丰富度提高;土壤理化性质得到改良;水土保持功能增强。

3.3.2 成本效益分析

技术集成的一次性投入成本较高,但林木生长加速带来的长期木材收益、碳汇交易潜在收益以及生态服务功能价值的提升,有望实现净收益为正,政策补贴亦可改善经济可

行性。

4 讨论

4.1 亚热带森林固碳机制与关键调控点

4.1.1 气候是基础框架

充沛的水热资源支撑了高生产力,但极端事件是主要胁迫源,未来气候变暖对呼吸的促进作用可能大于光合,存在碳汇能力衰减的风险,凸显适应性管理的紧迫性。

4.1.2 植被是核心引擎

森林类型和林分结构直接决定了碳同化效率和分配格局。常绿阔叶林因其高生物量、高效光能利用和相对稳定的结构,展现了卓越的长期碳汇能力。优化结构是挖掘潜力、提升韧性的核心。

4.2 固碳增汇关键技术的适用性与协同效应

技术选择需因地制宜,需根据具体森林类型、林分现状、土壤条件、经营目标和成本约束进行选择和组合。单一技术效果有限,集成应用可产生协同效应。技术效果的显现需要时间,必须坚持长期定位观测。

4.3 技术推广面临的挑战与对策

4.3.1 挑战

(1) 成本障碍:部分技术前期投入成本高,影响林农/经营者积极性。(2) 技术与知识门槛:近自然经营、目标树选择、生物炭施用技术等需要专业知识和技能,基层推广体系力量不足。(3) 政策与市场机制不完善:森林碳汇的市场价值尚未充分显化,碳汇项目开发方法学复杂、交易成本高,缺乏稳定持续的生态补偿机制激励增汇行为。(4) 长期投入保障:增汇效果的监测、评估和维护需要长期稳定的资金和人力投入。

4.3.2 对策建议

(1) 加强科技创新与成本控制:研发低成本、高效率的生物炭生产技术;开发智能化、轻简化的森林经营辅助工具。(2) 构建多层次技术推广与培训体系:依托科研机构、高校、林技推广部门,开展针对林业管理者、技术人员和林农的实用技术培训与示范观摩。(3) 完善政策与市场激励:推动森林碳汇纳入全国碳市场,简化方法学,降低项目开发门槛。加大财政转移支付力度,设立森林质量精准提升/固碳增汇专项补贴。(4) 建立长期监测评估网络:整合黄山生态站等观测站点,构建区域森林碳汇监测网络,为政策调整和技术优化提供数据支撑。

参考文献

- [1] 方精云,等.中国森林植被碳库的动态变化及其意义.植物学报,2001,43(9):967-973.
- [2] 于贵瑞,等.中国陆地生态系统碳通量观测技术及时空变化特征.中国科学:生命科学,2014,44:1-22.
- [3] 王兵,郭浩.中国森林生态系统服务功能及其价值评估.中国林业出版社,2010.
- [4] 张旭东,等.森林土壤有机碳研究进展.应用生态学报,2003,14(4):709-714.

Research on the Compatibility Mechanism between the Paradigm of Garden Space Artistic Conception and the Traditional Auditory Aesthetic Image

Yitong Wang¹ Kuangyu Xin¹ Yingxu Zhu²

1. Beijing Agricultural Vocational College, Beijing, 102401, China

2. Baijiazhuang Primary School, Chaoyang District, Beijing, 100020, China

Abstract

The essence of garden art lies in the creation of spatial ambiance, while traditional auditory aesthetics embodies a subtle perception of the sound world. Although these two belong to different domains of audio-visual experience, they share profound connections in deep cultural structures and aesthetic psychology. This paper analyzes the compositional mechanisms of garden spatial paradigms, revealing how their poetic arrangements and symbolic operations construct a spiritual landscape that is both livable and tourable. It also explores the aesthetic accumulation of auditory imagery, from natural sounds to human-made clear tones, and the symbolic logic of its condensation, association, and ambiance generation. Building on this, the study focuses on the commonalities between the two in terms of life rhythm expression, dynamic experience, and imagery transformation, arguing that gardens are not merely visual poetry but also symphonies blending soundscapes. This research provides a new perspective for understanding the cross-media characteristics and holistic aesthetics of China's classical art.

Keywords

garden space; artistic conception paradigm; auditory aesthetics; imagery; commensurability

园林空间意境范式与传统听觉审美意象的通约性机理研究

王蕙彤¹ 辛匡禹¹ 朱莹旭²

1. 北京农业职业学院, 中国·北京 102401

2. 朝阳区白家庄小学, 中国·北京 100020

摘要

园林艺术的精髓体现于空间意境的营造, 而传统听觉审美则凝聚了对声音世界的精微感悟。两者分属视听异域, 却在深层文化结构与审美心理上存在深刻关联。本文解析园林空间范式构成机理, 揭示其诗意编排与符号经营对建构可居可游精神图景的作用; 同时探讨听觉意象从自然天籁到人文清音的审美积淀, 及其凝练、联想与意境生成的表征逻辑。在此基础上, 聚焦二者在生命韵律表达、动态体验及意象转化等层面的通约性机理, 论证园林不只是视觉诗画, 更是融汇声景的交响。该研究为理解中国古典艺术跨媒介特质与整体性美学提供新视角。

关键词

园林空间; 意境范式; 听觉审美; 意象; 通约性

1 引言

在东方美学的视野中, 视觉的园林空间与听觉的审美意象并非彼此隔绝, 它们共同根植于“天人合一”的哲学土壤, 追求一种超越形式的精神意蕴。园林是立体的诗, 而声音是流动的画, 二者在艺术表达的深层逻辑上存在显著的对话与呼应。理解这种对话, 不仅能深化对各自艺术特质的认识, 更能把握传统艺术创造中那种融会贯通的整体性思维。

探讨二者如何通过不同的媒介, 最终达成意境的共生与精神的共鸣, 成为一项富有启示性的议题。

2 园林空间意境范式的构成机理

2.1 空间结构的诗意编排

园林的空间序列常暗合“起承转合”的章法结构, 入口障景为“起”, 旨在收敛心神, 隔绝尘嚣; 穿门入院, 景物渐次展开形成“承”接; 继而通过曲廊幽径、山石掩映实现“转”折, 在移步换景中营造跌宕起伏的游观体验; 最终抵达厅堂水榭等主体建筑或开阔水面, 完成意境升华之“合”。这种编排赋予游览过程以诗文般的韵律感与叙事

【作者简介】王蕙彤(2009-), 女, 中国北京人, 从事园林研究。

性,使静态空间转化为动态的时间艺术。虚实相生则通过实体构筑与虚空场域的辩证关系深化空间意境:实墙为底,花木投影即成水墨丹青;池水为鉴,倒映天光拓展视觉维度;漏窗作框,裁取景物化作流动画卷。虚实之间不仅突破物理边界,更激发观者想象,使意境在可见与不可见的交织中蔓延伸展。

2.2 意境元素的符号化经营

园林元素经由符号化编码成为文化意涵的载体。比德传统将自然物性映射为品格:竹之虚怀若谷象征士人风骨,莲之出淤泥不染寓意高洁情操,石之沉稳坚毅体现永恒追求。这些具象物象实为道德理想的物质化身,使园林空间浸润着伦理美学的神圣光芒。拟人手法则赋予山水草木以情感温度与生命姿态:曲水蜿蜒若含情低语,奇峰耸立如仁者凝思,蹊径盘桓似有意引游。物象由此脱离客体地位,成为可与心灵对话的生命共同体。典故寄寓更通过匾联题咏将文学历史记忆镌刻于空间肌理,“远香堂”引《爱莲说》以明志,“与谁同坐轩”借东坡词抒怀。每一处命名皆为文化密码,引导游览者在解码过程中穿越时空,使有限园景通向无限的精神原野。

3 传统听觉审美意象的内涵与表征

3.1 从自然天籁到人文清音的审美积淀

传统听觉审美的核心内涵,肇始于对自然天籁的哲学体认与美学升华。在道家“天籁”观的烛照下,风雨声、流水声、鸟虫鸣叫等自然声响,超越物理振动的范畴,被视为宇宙元气运行、万物生机勃勃的显形。聆听松涛仿佛感受天地吐纳,静闻溪涧如同觉察时光流淌,夜雨叩窗则牵引出生命深处的寂寥与省思。这种将自然声音上升至道体显现的认知,使听觉活动转化为一种天人交融的修行,通过谛听世界本真的韵律以实现心灵的澄明与超越。与之相成,儒家礼乐传统孕育出对人文清音的锻造与提纯。古琴“清微淡远”,箫笛“中和雅正”,音质标准是道德人格的听觉投射,清音即清品,淡响喻淡泊。文人抚琴弄箫非为悦耳,而是磨砺心性、寄托情志;书房诵读声也被赋予传承斯文、涵养性灵的文化重量。自然天籁与人文清音共同构筑听觉价值体系,使声音成为贯通自然、伦理与个体修养的关键媒介。

3.2 意象的凝练、联想与意境生成

传统听觉审美的艺术表征,以意象凝练为基础,将特定声音固化为承载文化意蕴的审美单元。夜半钟声寄托苍茫超脱,秋日砧声缠绕羁旅相思,这些高度提纯的听觉符号在诗词中反复淬炼,形成一套可供解码的情感密码体系。进而,这些意象通过活跃的联想机制展开多维度的意义生发:钟声可勾勒出江枫渔火的视觉画面,雨打芭蕉的节奏既能引发个人身世之叹,亦可升华至对生命无常的哲思观照。这种联想虽具个体性,却在文化共同体的长期积淀中形成可通约的审美路径。最终,听觉表征的完满在于意境的生成——当“鸟

鸣山更幽”以有声衬托出更深的寂静,声音的在场恰恰开辟了超越声响本身的精神空间,引领听者步入言外之意、象外之境的灵性世界。

4 园林空间意境与传统听觉审美意象的通约性机理

4.1 生命韵律的共通表达

园林空间与听觉意象的深层通约性,植根于两者对宇宙生命韵律的共同表达。园林营造虽以土木砖石为材,其最高理想却在于捕捉并再现天地自然的生机与节奏。山石的嵯峨、水流的蜿蜒、花木的荣枯,无不经过精心编排,模拟着自然山川的呼吸与脉动(如图1)。空间序列的疏密开合、路径的蜿蜒回环,实质上是对宇宙生命节奏的一种空间化转译与凝固,使游览者能在步移景换中,身体力行地感知那种生生不息的流动气韵。与之呼应,传统的听觉审美同样致力于捕捉并诠释这种生命的韵律。



图1 自然山川图

无论是倾听松涛泉响的自然天籁,还是品味琴箫清越的人文雅音,其核心都在于感知声音背后所承载的“气”与“韵”。风声雨声是天地之气激荡的耳闻,丝竹管弦是人心之气与天地之和鸣。聆听的过程,即是以听觉为路径,去追随、体认那无形却充盈于万物的生命节奏。因此,一座成功的园林与一段动人的乐音或自然声响,在本质上是同构的:它们都是创作者对世界生命韵律的深切感悟,并通过不同的感官媒介——空间与声音——加以具象化呈现。游览者置身园中,其视觉与身体的综合体验,与聆听者沉浸于乐音中的心灵体验,最终都指向对同一种流动、和谐、充满生机的生命本真状态的共鸣与体悟,这构成了两者能够相互感通、相互诠释的根本基础。

4.2 动态体验的旅程

园林意境的领略与听觉意象的感悟,共享着一种动态的、沉浸式的心理体验图式,可分别概括为“游观”与“神游”。园林的“游观”,强调身体在空间中的穿行与目光在景物间的流转。游览者并非静止的旁观者,而是循着曲折的路径,经历序幕的引子、情节的展开、高潮的呈现与尾声的回味。这一过程充满期待、发现、驻足与遐思,物理的空间序列被转化为一段内在的心理叙事与情感历程。与之相对,听觉审美的典型心理模式则可称为“神游”。

当钟声入耳、雨声敲窗或琴韵流淌时,聆听者的身体或许静处一室,精神却能被声音牵引,跨越物理界限,飞向渺远的时空。夜半钟声可令人神驰寒山古寺,潺潺溪流能引人梦入幽涧深林。这是一种由声音触发、在意识层面展开的内向而自由的漫游。尽管“游观”偏重于外部的、具身的空间移动,“神游”侧重于内部的、想象的精神驰骋,但两者在心理结构上高度契合。它们都要求主体主动投入,都表现为一段随时间展开的、有节奏的体验旅程,都旨在从有限的感官触点(眼前一隅、耳畔一响)出发,通向无限丰富的精神世界与意境空间。当在园林中漫步时,恰有自然或人文的声响介入——如风穿竹林之声、远处隐约的乐音——此刻,外部的空间之游与内部的神思之游便瞬间交融。视觉的引导与听觉的启发相互叠加,空间的情景为声音提供了发生的舞台与氛围,声音的意蕴则反过来点化、深化了空间的境界,共同编织出更为立体而深邃的意境体验。这种体验模式的同构性,是二者能够在审美实践中水乳交融的心理机制。

4.3 意象的相互转化与生成

园林意境与听觉意象的通约性,在创作层面体现为意象的相互转化机制。“以声构景”是造园家将声音经营为空间意境的自觉实践。《园冶》“梵音到耳”之论,已将钟声视作可资借取的虚景。苏州拙政园“留听阁”以李商隐诗句立意,使“雨打枯荷”的萧疏声响,超越视觉残象而成为此处空间的精神主题。无锡寄畅园“八音涧”更是通过水石的精妙设计(如图2),将山涧转化为能奏出泠泠清响的天然乐器,使游览成为在立体声景中的徜徉。声音在此类设计中,从背景升华为激活空间、定义氛围、牵引情思的核心要素。



图2 八音涧景观图

反观点之,“因景生声”则是听觉艺术依凭空间意象进行创造的普遍法则。古典诗词中,“鸟鸣山更幽”、“钟声云外湿”等句,其听觉意象(鸟鸣、钟声)的幽寂感或湿润感,完全由前置的空间场景(幽山、湿云)所赋予与塑造。古琴曲《高山》《流水》的旋律跌宕与节奏张弛,实为对巍峨山势与蜿蜒水态的动态声音摹写。空间在此为声音提供了生成的语境、运动的逻辑与情感的基调。这种“声”与“景”在意象层面的自由转化与彼此生成,揭示了二者艺术思维的深层同构。它们共同致力于超越媒介的固有边界,通过跨感官的意象调度与融合,构建出同时作用于眼、耳、心的综合审美体验。最终,园林空间因声音的介入而更显灵动深邃,听觉意象因空间的依托而愈发具体可感,二者在互动中共臻于一个圆融饱满、意蕴无穷的艺术化境。

5 结语

园林空间意境与传统听觉审美意象的通约性研究表明,二者在生命韵律的表达、心理体验的模式以及艺术创造的思维上存在深层的契合。这种契合并非偶然,而是源于共同的文化哲学根基与美学追求。园林通过空间序列的编排与元素的符号化,将动态的生命节奏凝固于立体图景中;听觉艺术则通过意象的凝练与联想,将无形的宇宙韵律转化为可感的精神漫游。而在“以声构景”与“因景生声”的实践中,二者更实现了意象的相互转化与生成,构建出综合性的审美体验。这项研究揭示了中国古典艺术善于融通不同感官媒介、营造整体意境的鲜明特色,为当代艺术创作与美学思考提供了可资借鉴的宝贵传统。

参考文献

- [1] 杨莹,崔陇鹏.山水美学思想下的宋代私家园林“见山”景观研究[J]. 古建园林技术, 2025(3):79-84.
- [2] 王俊彦,魏乐妮,张蕊,等.绍兴青藤书屋的“芥子”空间美学[J]. 中国园林, 2024, 40(S01):139-144.
- [3] 张雅薇.浅析苏州园林与中国山水画的美学同构关系[J]. 文学艺术周刊, 2025(20):59-61.

Optimization of Peony Cultivation Technology in Open Field under Climate Adaptability

Jiayu Liu Kuangyu Xin

Beijing Agricultural Vocational College, Beijing, 102401, China

Abstract

As global climate change intensifies and extreme weather events become more frequent, traditional open-field cultivation of peonies faces severe challenges. This study focuses on establishing an optimized technical system centered on “active adaptation” to address core issues such as root suffocation caused by high temperature and humidity, and dormancy disruption triggered by low-temperature drought. By reconstructing the soil microenvironment, implementing precise water and fertilizer management, and optimizing tree structure, the physiological resilience of plants is enhanced. The research proposes a four-dimensional technical approach: “ecological variety substitution, micro-domain physical intervention, phenological misalignment regulation, and chemical resistance induction,” achieving a transition from passive defense to active intervention. This system improves the survival rate and ornamental quality of peonies in non-traditional suitable zones, while also providing a replicable practical paradigm for the floral industry to address climate risks.

Keywords

peony; open-field cultivation; climate adaptability; technical optimization

气候适应性下牡丹露地栽培技术优化研究

刘家瑜 辛匡禹

北京农业职业学院, 中国 · 北京 102401

摘要

随着全球气候变化加剧, 极端天气事件频发, 传统牡丹露地栽培模式正面临严峻挑战。本研究聚焦于构建一套以“主动适应”为核心的优化技术体系, 旨在破解高温高湿导致的根系窒息与低温干旱引发的休眠紊乱等核心难题。通过重构土壤微环境、实施水肥精准调控及优化树体结构, 强化了植株的生理韧性。研究提出“品种生态替代、微域物理干预、物候错位调控及化学诱抗”四维技术路径, 实现从被动防御到主动干预的转变。该体系提升了牡丹在非传统适生区的存活率与观赏品质, 也为花卉产业应对气候风险提供可复制的实践范式。

关键词

牡丹; 露地栽培; 气候适应性; 技术优化

1 引言

在“双碳”目标与生态文明建设的国家战略指引下, 推动花卉产业绿色低碳转型已成为《“十四五”林业草原保护发展规划纲要》的重要任务。牡丹作为我国特有的名贵木本花卉, 其露地栽培产业正遭受着气候变暖与降水格局异化的双重冲击。传统的“大水大肥、粗放管理”模式在日益频发的极端高温、倒春寒及暴雨内涝面前显得力不从心, 导致植株早衰、花期紊乱及观赏价值锐减。面对这一产业痛点, 亟需将气候风险防控理念深度嵌入栽培管理的全过程, 从单纯的园艺操作升级为基于生态位营造的系统工程。

2 牡丹露地栽培技术的核心要义

牡丹露地栽培技术的核心要义, 体现为一系列环环相扣、顺应其生物学习性的精细化管理实践。其成功基础在于为肉质根系构建一个“高燥通透”的物理家园, 这通常通过“高垄深穴”的工程措施实现, 以永久性排水层抵御渍涝, 以疏松肥沃的耕作层促根发育, 从而奠定应对气候波动的基础。水肥管理在此之上, 需精准匹配其“春发、夏眠、秋长、冬藏”的物候节奏, 水分供给遵循“春润、夏控、秋促、冬灌”的原则, 夏季的适度干旱反而成为锤炼其抗旱能力的契机; 养分供应则从追求生长转向调控抗性, 通过调整氮磷钾比例、增施中微量元素与秋季重施有机肥, 主动诱导并增强植株对高温、寒冷等逆境的生理耐受性。进而, 通过科学的整形修剪塑造“疏朗透光、负荷均衡”的树体结构, 并严格进行花芽疏蕾与萌蘖控制, 旨在优化光合效能、集中养分分

【作者简介】刘家瑜（2005-），男，中国北京人，从事园林研究。

配,确保生殖生长与营养生长的持久平衡。这三者并非孤立存在,而是从地下到地上、从生理到结构构成了一个协同支持的整体系统,其最终目标是帮助牡丹在多变环境中维持自身稳态,实现观赏寿命与经济产量的长期最大化^[1]。

3 不同气候对牡丹露地栽培技术的影响

3.1 高温高湿气候的技术挑战

高温高湿的气候特征从根本上重塑了牡丹栽培的技术需求与作业逻辑。当环境条件突破牡丹耐受阈值时,传统“一刀切”的管理模式必然失效,必须发展出一套精细化的调控体系。这种气候条件下,土壤管理必须从单纯的肥力供给,转向以“快速排水、主动降温、抑制返盐”为核心的工程化措施,强制推行高垄深沟成为技术底线。水肥管理需要更加精准节制,传统的“见干见湿”需让位于夏季的“控水锻炼”与“营养抗逆”诱导,通过调整肥料配比,主动调控植株生理状态以应对热胁迫。整形修剪也必须以“极致通风”为目标,通过更大幅度的疏枝来改善冠层微环境。更为关键的是,病虫害防治策略要从被动治疗转向全年性、系统性的预防,增加了监测频率与防治成本。

3.2 低温干旱气候的技术调整

低温与干旱交织的气候条件,迫使栽培技术的重心转向越冬保护与休眠调控。传统上相对简单的冬季管理,在这种气候下必须发展为一套包含时序选择、物理防护和生理调节的复合技术体系。栽植时间不再是固定的节气,而需根据秋季土壤墒情与冬季降温趋势进行动态调整,北方可能需延迟至封冻前,南方则需提前以保证根系木质化。冬季防护从可选项变为必选项,培土、覆盖、设置风障等物理保护措施的技术细节(如培土厚度、覆盖物选择)必须依据历年极端低温与风力数据加以精确化。水分管理在冬季显得尤为重要,封冻水的灌溉时机与水量需要精准计算,以平衡防冻与防涝。此外,品种选择的技术门槛显著提高,抗寒性与需冷量成为比观赏性更优先的筛选指标,且需在中小尺度区域内进行更细致的品种适应性试验。

4 气候适应性下牡丹露地栽培技术优化方法

4.1 品种群的生态型替代与区域性布局

面对迥异的气候条件,牡丹栽培的首要策略在于“因地择种”,即依据区域气候特征选择具有相应抗性的品种或种质,实现品种群落的生态化布局,这是从源头上提升适应性的根本途径。在长江流域及以南的湿热地区,高温高湿是主要限制因子,栽培必须选用长期驯化于当地环境的江南牡丹品种群与西南牡丹品种群,例如‘宁国红’、‘徽紫’、‘玉楼春’及‘彭州紫’等,这些品种的叶片角质层更厚,根系对渍涝的耐受性更强。更为有效的方法是采用“芍药根嫁接”技术,利用芍药根系发达、耐湿性强的特性作为砧木,可显著提升牡丹植株在潮湿土壤中的生存能力(如图1)。



图1 芍药根嫁接图

对于东北、西北等寒冷干旱地区,抗寒与抗旱是核心需求,应优先选原生西北牡丹品种群,如紫斑牡丹,它能耐受 -30°C 以下极端低温,还耐贫瘠、强光;同时,引进并筛选‘海黄’‘金阁’等经验证的国外高抗寒品种,可拓展栽培北界。即便在传统中原产区,气候波动也要求品种选择更精细,为应对暖冬致需冷量不足与春季干热风,要筛选推广“晚花品种”与“耐日灼品种”,让花期避开晚霜与初夏高温,减少遮荫成本。这种基于气候区划的品种战略布局,是将植物遗传适应性与环境压力精准匹配,是技术优化体系中具前瞻性的基础环节^[2]。

4.2 微域环境的物理隔离与人工干预

当大范围的气候条件难以改变时,通过工程与物理手段主动塑造利于牡丹生长的小环境,就成为一项关键且高效的缓冲策略。这项工作的核心是调控光、温、水、风等微气候因子。在夏季高温强光时段,于牡丹园上方架设高约2.5至3米的棚架,覆盖遮光率50%-60%的遮阳网(如图2),此举可有效降低冠层温度、减轻叶片光抑制,同时削弱暴雨对土壤的直接冲刷,阻断部分病害传播途径。



图2 为牡丹花卉撑起遮阳伞

更进一步,在花期遭遇连阴雨或异常高温时,可临时加装塑料薄膜防雨或额外遮阴,能切实延长单花寿命、提升观赏品质。应对午后极端高温,“微喷降温”技术效果显著,通过在日间最高温时段进行间歇性喷雾,利用水分蒸发带走

热量,可使植株冠层温度降低 3-5℃,有效缓解热胁迫。在冬季寒风凛冽或春季干热风频发的地区,于园区上风口营建“防风林带”至关重要,由高大常绿乔木构成的屏障能够显著降低风速,减少植株的蒸腾耗水与机械损伤,这对防止冬季“抽条”和花期花瓣焦边具有重要作用。这些物理干预措施直接改变了植株所处的局部生境,为其创造了一个相对温和、稳定的生长空间^[3]。

4.3 物候期的人为错位与生长节律调控

通过科学的田间管理手段,精准调节牡丹的关键物候进程,使其对气候敏感的花开、坐果等关键生育阶段有效避开当地频发的低温、干旱、暴雨等灾害性天气高发期,是一种以时间调控换取生长空间的农业适应策略。这一做法既体现出对自然规律的深刻理解与巧妙运用,也彰显了管理者基于气候趋势预判和作物生理响应机制所做出的前瞻性决策能力,是实现稳产增收的重要技术路径。

例如,在秋季干旱少雨的北方地区,传统九月栽植可能因缺水影响成活,可将栽植期适度延迟至十月下旬甚至土壤封冻前,利用冬季土壤水分相对稳定期促进根系伤口愈合,提高成活率。相反,在冬季降温晚的南方,则应提早至九月上旬栽植,以确保新根在寒冬前有足够时间木质化,增强抗寒力。春季的抹芽定蕾时间也需保持弹性,若遇“倒春寒”预报,可暂缓去除侧蕾,保留部分冗余芽作为“缓冲枝”,待寒潮过后再清理受冻部分,从而保护主干花蕾。秋季修剪则可延迟至严寒真正来临后进行,保留的叶片能在初期起到一定的保温与养分回流作用。这种基于气候预测的弹性管理,本质上是将牡丹的生长节律与当地气候节奏进行动态校准^[4]。

4.4 化学诱抗与生物刺激素的抗逆性诱导

除了前述宏观与物理手段,在生理生化层面主动增强牡丹植株自身的抗逆能力,是栽培技术现代化的标志。这主要通过外源施用特定物质,激发植物内在的防御机制来实现。在高温或低温胁迫来临前,叶面喷施低浓度的脱落酸(ABA)或茉莉酸甲酯(MeJA)等信号分子,可以“预警”植株,诱导其气孔部分关闭、积累可溶性糖和脯氨酸等渗透

调节物质,从而稳定细胞膜结构,显著提升对热害与冻害的耐受性。

通过叶面补充硅、钙等中微量元素,能带来结构性增益。硅元素在叶片表皮沉积形成“硅化细胞”层,如同天然铠甲,可增强机械强度、减少水分蒸腾与病原菌侵入;钙元素是细胞壁与膜系统的重要组分,足量补充能增强组织韧性,减轻大风、冰雹等造成的物理伤害。此外,利用“从枝菌根真菌”等有益微生物进行接种,使其与牡丹根系形成互利共生的菌根结构,能极大扩展根系的吸收表面积,帮助植株在干旱条件下获取更深层土壤水分,在贫瘠条件下高效吸收磷等难移动养分,全面改善植株的生理状态与抗逆基础。这类化学生物技术,是从内而外提升植物适应性的“治本”之策。

5 结语

本研究构建的气候适应性牡丹露地栽培技术体系,成功地将现代生态学原理与精准园艺管理融为一体。通过“高燥通透”的土壤重构,为肉质根系构筑了抵御渍涝与干旱的物理屏障;通过“看天施肥”的营养调控,诱导了植株内在的抗逆基因表达。在应对策略上,从宏观的品种布局到微观的化学诱抗,形成了层层递进的防御网络。实践表明,这套体系有效降低了因气候胁迫造成的生产损失,延长了牡丹的经济寿命。展望未来,随着智能传感与大数据预测技术的融入,牡丹栽培有望实现从“经验依赖”到“数据驱动”的跨越,最终在变幻莫测的气候背景下,守护住这份“国色天香”的永恒魅力。

参考文献

- [1] 白晶晶.4种花卉植物引种栽培管理及应用初探[J]. 2025(25):87-89.
- [2] 裴新辉,刘树彬,温蕾.沈阳地区引种牡丹观赏性适应性综合评价[J].辽宁农业科学, 2023(2):82-84.
- [3] 郭永彬.临夏紫斑牡丹的栽培与管理技术研究[J].种子科技, 2025, 43(4):120-122.
- [4] 亢美萍.牡丹引种及整形修剪研究[J].农业技术与装备, 2025(12):130-132.

The Characteristics of Forest Soil Carbon Pools and Influencing Factors in Xiaowutai Mountain

Funing Xin

Hebei Xiaowutai Mountain National Nature Reserve Management Center, Zhangjiakou, Hebei, 075700, China

Abstract

Forest soil constitutes a vital component of terrestrial carbon sinks. Under climate change, the stability and sensitivity of mountain forest soil carbon sinks have garnered sustained attention. Xiaowutai Mountain lies within the critical transitional zone for mountain forest distribution in North China, featuring significant altitude gradients and distinct vertical vegetation zones, making it an ideal natural study site for investigating spatial variations and control mechanisms of soil carbon sinks. Building upon existing research findings and a standardized framework for soil carbon accounting, this paper examines the content characteristics, vertical distribution patterns, and differences among vegetation types regarding total soil carbon and key carbon components, while also analyzing influencing factors and their pathways through climatic-terrain interactions, vegetation litter input, soil physicochemical properties, and human disturbance.

Keywords

Xiaowutai mountain; forest soil; soil organic carbon; carbon pool; influencing factors

小五台山森林土壤碳库特征及影响因素

忻富宁

河北小五台山国家级自然保护区管理中心，中国·河北 张家口 075700

摘 要

森林土壤是陆地碳库的重要组成部分，在气候变化背景下，山地森林土壤碳库的稳定性与敏感性受到持续关注。小五台山位于华北山地森林分布的关键过渡地带，海拔梯度大，植被垂直带谱明显，为识别土壤碳库的空间分异与控制机制提供了天然样区。本文在综合已有研究认识与土壤碳库核算通用框架的基础上，围绕土壤总碳与关键碳组分的含量特征、垂直分布规律及不同植被类型差异展开论述，并从气候地形、植被凋落物输入、土壤理化性质与人类干扰等方面讨论影响因素与作用路径。

关键词

小五台山；森林土壤；土壤有机碳；碳库；影响因素

1 引言

土壤碳库在陆地生态系统碳循环中具有基础性地位，其变化不仅取决于植被生产与凋落物输入，还受微生物分解、矿物保护、冻融与水热条件等多过程耦合控制。权威评估指出，全球土壤有机碳在地表至 100 厘米土层的储量量级约为 1500 拍克碳，在地表至 200 厘米土层约为 2400 拍克碳，显示出土壤碳库的巨大体量与潜在反馈效应。对山地森林而言，强烈的海拔梯度会在短距离内形成明显的温度与水分差异，进而影响凋落物质量、根系周转、微生物群落与矿物结合过程，使土壤碳库呈现显著的空间异质性。

2 研究区概况与研究方法

2.1 研究区自然地理概况

小五台山地形起伏强烈，海拔梯度带来显著的水热差异与生境镶嵌。小五台山的主峰东台海拔为 2882 米，为太行山主峰，京津冀最高峰，这样的垂直高差使得同一山体上可以出现从山麓到亚高山的连续生态序列，坡向差异进一步改变辐射条件与土壤水分保持，形成阴坡偏冷湿、阳坡偏暖干的常见格局。

在自然地理背景上，小五台山处于华北季风控制区，年内降水与温度变化具有明显季节性。对于土壤碳过程来说，季风区的集中降水会通过土壤含水率波动与淋溶作用影响溶解性有机碳迁移，而冬季低温与冻结期又可能通过抑制分解与改变团聚体结构，影响碳的留存与再矿化节奏。由于本文不进行虚构定量结果，气候的具体数值建议以后续采用保护区气象站或邻近站点多年序列来支持统计检验，这样更

【作者简介】忻富宁（1987-），男，中国河北张家口人，硕士，高级工程师，从事森林生态系统监测与科学研究。

稳妥也更可复核。

2.2 研究区植被与土壤类型

小五台山植被随海拔上升通常呈现由阔叶林到针阔混交林再到针叶林与灌丛草甸的过渡,林下调落物来源与分解难易度随之改变。阔叶林凋落物往往更易分解,促进表层活性碳积累与周转;针叶林凋落物木质素含量高、酸性更强,常与更厚的有机层和更明显的酸化过程相联系,从而影响矿物结合碳的形成与稳定化。土壤类型在山地环境中常表现为随母质与海拔变化的复合分布,同一坡面上也可能因侵蚀与堆积导致土层厚度差异,进而改变单位面积碳库核算结果。山地土壤的一个常见现象是表层有机质丰富但厚度变化大,所以在设计碳库研究时,土层分层深度与容重测定必须同步进行,否则碳密度与碳储量容易被系统性高估或低估。

2.3 样品采集与实验测定方法

针对小五台山的地形与植被镶嵌特征,较常用的方案是在典型海拔带与典型植被类型下布设样地,兼顾坡位与坡向,按土层分层采集土样并测定容重。分层深度可采用0至10厘米、10至20厘米、20至40厘米、40至60厘米等层次,以保证既能刻画表层强变异区,也能覆盖较稳定的矿质土层。每层样品需去除石砾与根系粗段后混匀,保留部分鲜样用于微生物量与溶解性碳测定,风干细磨部分用于总碳与颗粒组分分析。总碳或有机碳的测定可采用元素分析仪干燃烧法,或在去除无机碳干扰后测定,具体取决于土壤碳酸盐背景。微生物量碳常用氯仿熏蒸浸提法。颗粒有机碳与矿物结合有机碳的分离可参照物理分级与密度分离思路,经典的颗粒有机质分离与变化判别框架。土壤理化性质如粒径组成、全氮、pH与阳离子交换量等,可按通用土壤分析方法体系执行。

土壤碳储量核算在逻辑上依赖三项基础量,即碳含量、容重与土层厚度。可用文字公式表达为,某土层单位面积碳储量等于该层碳含量乘以容重再乘以厚度,并对石砾体积分数进行修正。山地土壤石砾含量变化大,这一步的实测往往比算法更重要。

2.4 数据处理与分析方法

数据分析可围绕三个层面展开。第一层面是描述统计与变异性评估,比较不同植被类型、不同海拔带、不同坡向下土壤总碳与各组分的集中趋势与离散程度。第二层面是垂直分布拟合,可采用指数衰减或分段线性模型刻画碳随深度递减的速率差异,并通过模型参数比较不同样地的剖面形态。第三层面是影响因素识别与解释,常用相关分析与多元回归,必要时引入冗余分析或结构方程模型来区分直接效应与间接效应。显著性检验可采用双侧检验并控制多重比较误差,尤其是在同时比较多个植被类型与多层土壤时,避免把偶然差异误判为机制信号。

由于山地样地之间的空间自相关很常见,统计上还应关注独立性假设是否被破坏。若样点沿同一沟谷或同一坡面

密集分布,可通过分层抽样与混合效应模型把坡面或海拔带作为随机效应项,从而降低伪重复风险。

3 小五台山森林土壤碳库特征

3.1 土壤总碳及各组分含量特征

小五台山森林土壤的总碳水平通常表现为表层显著富集、深层相对稳定的格局。表层碳主要来自凋落物分解产物与细根周转输入,属于周转较快、对气候与干扰更敏感的部分;而深层碳更多与矿物表面吸附、微团聚体包埋等稳定化机制相关,周转时间更长。若按组分理解,颗粒有机碳往往对近年植被输入变化响应更快,适合用来指示林分更新、干扰或恢复的短中期效应;矿物结合有机碳的变化更慢,但与长期碳汇能力更相关。

在华北山地森林的一般经验中,针叶林与阔叶林在表层活性碳的比例上可能存在差异,这种差异既来自凋落物化学性状,也来自土壤酸度与微生物分解体系差异。对小五台山而言,若同时测定溶解性有机碳与微生物量碳,还可更细致地追踪碳从输入到微生物加工再到矿物稳定的路径强弱,从而把总量差异解释为过程差异,而不只是现象罗列。

3.2 土壤碳库的垂直分布规律

土壤碳随深度递减几乎是森林生态系统的共同特征,但递减速率与拐点深度在山地环境中变化更大。表层0至20厘米往往承载了最强的凋落物输入与根际效应,碳含量变化幅度也最大,受坡向与林分结构影响尤为明显。进入20厘米以下,根系分布减少、温度波动减弱、矿物保护增强,碳含量下降趋势趋于平缓,碳库稳定性相对更高。

在小五台山这样的高海拔山地,冻融作用可能改变团聚体形成与破坏的平衡,使表层有机质既可能因低温而积累,也可能在春季融化期因物理破碎与脉冲性矿化而出现阶段性损失。若在不同季节重复采样,可观察到溶解性有机碳与微生物量碳的季节摆动,这对解释年际尺度碳库变化很关键。

3.3 不同植被类型下土壤碳库特征差异

不同植被类型下土壤碳库差异的核心来自输入端与稳定端的共同变化。阔叶林往往提供更丰富的易分解底物,使表层微生物活性更高,从而可能形成较高的微生物残体输入并促进矿物结合碳形成;针叶林则可能在较冷湿或较酸性条件下形成更厚的有机层,使表层碳库显著,但矿质层的碳稳定化路径未必同步增强。灌丛与草甸系统的根系往往更密集,地下输入占比更高,可能在一定深度形成相对突出的碳富集带。

小五台山的垂直带谱意味着同一地理单元内可比较多类型生态系统,这种对比优势也带来一个现实问题,即土壤母质与地形背景往往随植被一起变化,导致植被效应与环境效应缠绕在一起。因此在解释植被差异时,最好在相近坡位与母质条件下进行配对样地设计,或在统计模型中把地形因

子纳入控制项。

4 小五台山森林土壤碳库的影响因素

4.1 自然因素对土壤碳库的影响

气候是最上游的控制因子。温度决定分解速率的上限，水分决定微生物可利用性与扩散条件；在季风区，水热不同步还会造成分解与输入的错配，形成阶段性积累或损失。地形通过改变辐射、积雪与径流汇聚来塑造微气候，阴坡往往更利于有机质保存，而阳坡更易发生干旱胁迫与氧化分解。

土壤质地与矿物组成决定了碳的稳定化容量。黏粒与粉粒含量较高的土壤具有更强的矿物表面吸附与有机矿物复合体形成能力，更容易积累矿物结合有机碳。相反，砂质土壤更依赖团聚体物理保护与持续输入来维持碳库。氮与磷等养分条件也会通过限制植物生产与微生物代谢影响碳平衡，氮输入的增加在某些条件下可能提高凋落物量并提升土壤碳输入，但也可能改变分解者群落与酶体系，导致稳定碳分解增强，具体方向需要通过组分与过程指标共同判断。

4.2 人为因素对土壤碳库的影响

土壤团聚体的稳定性，进而使得表层有机层逐渐变薄，地表径流强度增加，不仅减少了植被凋落物等碳输入来源，还降低了碳在土壤中的稳定化机会，这种影响在小五台山实验区人为活动比较集中的区域尤为显著，形成明显的碳库空间差异。

小五台山林缘周边的放牧活动则通过改变地表植被覆盖状况与枯落物归还节律，对碳库产生深刻影响。尤其是在林缘与高山草甸交错带，该区域生态系统本就较为脆弱，放牧强度的微小差异会被放大，进而引发碳库储量的显著分化。过度放牧会导致优势植被退化，根系生长受阻，使得地下碳输入减少，同时枯落物归还量下降且质量变劣，打破土壤碳输入与输出的平衡，长期来看会削弱土壤碳汇能力。

此外，森林火灾干扰与森林病虫害等相关扰动虽也会通过改变碳输入或土壤环境影响碳库，但影响范围与强度远不及人为活动和放牧活动集中。总体而言，人为活动对土壤碳库的作用，主要通过改变植被碳输入端与土壤结构稳定端两条路径同步发生，其中人为活动与放牧的影响更为直接且广泛，仅依靠总碳含量难以厘清其内在机制，需引入碳组分与过程指标，才能更精准地揭示其对土壤碳库的作用规律。

5 结果与分析

5.1 土壤碳库特征综合分析

在综合尺度上理解小五台山土壤碳库，建议把总量分解为三类信息来读。第一类信息是表层活性碳信号，包括颗粒有机碳、溶解性有机碳与微生物量碳，它们对林分变化、干扰与季节波动更敏感，适合用于识别近期变化与管理效应。第二类信息是矿物结合有机碳及其与黏粒粉粒的耦合关

系，它更能代表长期稳定化能力。第三类信息是剖面结构，即碳随深度的衰减速率与拐点位置，它综合反映了根系分布、淋溶迁移与矿物保护的共同结果。

5.2 影响因素相关性与显著性分析

在开展相关性与显著性分析时，建议把影响因素分为水热因子、地形因子、土壤理化因子与植被输入因子四类，并在模型中体现层次关系。一个常见但容易踩坑的做法是把海拔、温度、植被类型同时放入回归而不检查共线性，最后得到的系数方向看似合理，实则不稳定。更稳妥的方式是先方膨胀因子剔除强共线变量，再用逐步回归或信息准则挑选解释力最强的组合，同时把样地或海拔带作为随机效应以处理空间聚集。

显著性检验不应只停留在是否显著，而应回到过程解释。例如若表层活性碳与凋落物量相关更强，而矿物结合碳与黏粒含量相关更强，这往往意味着碳库差异主要由输入端驱动还是由稳定化容量驱动。若阴坡样地在同一植被类型下仍表现出更高的深层碳密度，则需要考虑更高含水率导致的迁移与矿物结合增强，而不只是分解变慢。

需要强调的是，若没有实测数据就直接写出显著性结论，会让论文变得不可验证。本文在这一节只给出适用于小五台山的分析逻辑与判读框架，真正的相关系数、检验统计量与显著性水平应来自你自己的样地数据或可追溯的公开数据集。

6 结论

小五台山森林土壤碳库具有典型的表层富集与随深度递减的剖面特征，总碳差异背后往往是活性组分与矿物结合组分的协同变化。不同植被类型下碳库差异与凋落物输入质量、根系周转以及土壤酸度和质地条件密切相关，而海拔与坡向通过改变水热与冻融过程放大这种差异。影响因素的识别应避免把共线变量混作因果，建议采用分层抽样与混合效应模型等方法提高推断可靠性。面向管理实践，小五台山更需要建立长期定位监测，把活性碳指标与稳定碳指标同时纳入，才能对干扰与恢复的碳效应给出可解释、可核查的结论。

参考文献

- [1] 陈平,谷建才,曹立颜,等.小五台山森林群落物种多样性与土壤养分的相关[J].东北林业大学学报, 2010, 038(008):34-35.
- [2] 白晓航,张金屯,曹科,等.河北小五台山国家级自然保护区森林群落与环境的关系[J].生态学报, 2017, 37(11):14.DOI:10.5846/stxb201604140680.
- [3] 白晓航,张金屯.小五台山森林群落优势种的生态位分析[J].应用生态学报, 2017, 28(12):12.DOI:10.13287/j.1001-9332.201712.002.
- [4] 鲁少波.河北小五台山森林生态系统主要因子间量化关系研究[D].北京林业大学,2009.

Analysis Report on the Coupling and Coordination Degree of Water and Fertilizer Management and Pest Control Behavior of Corn Farmers in Zhaozhou County Based on Farmland Quality Improvement

Ruogang Zheng

Agricultural Technology Extension Center of Zhaozhou County, Zhaozhou, Heilongjiang, 166400, China

Abstract

The synergy of farmers' production behaviors is crucial for the effectiveness of cultivated land protection. Based on survey data from 326 corn farmers in 13 townships in Zhaozhou County, this study employs a coupling coordination degree model to analyze the interaction between farmers' water and fertilizer management behaviors and pest control behaviors. The results indicate that both behaviors are generally in a state of mild imbalance, with an average coupling coordination degree index of 0.437. The index for water and fertilizer management behavior (0.612) is significantly higher than that for pest control behavior (0.458). There is evident temporal mismatch and cognitive disconnection between the two behaviors. Factors such as planting scale, degree of concurrent business, and participation in technical training are key determinants of coordination degree. The study proposes suggestions such as establishing a collaborative promotion mechanism, developing socialized services, and strengthening subsidy policies oriented towards cultivated land quality, providing references for cultivated land protection in black soil regions.

Keywords

farmland quality; water and fertilizer management; pest and disease control; coupling coordination degree; corn farmers; Zhaozhou County

基于耕地质量提升的肇州县玉米种植户水肥管理与病虫害防治行为的耦合协调度分析报告

郑若刚

肇州县农业技术推广中心，中国·黑龙江 肇州 166400

摘要

农户生产行为的协同性是影响耕地保护成效的关键。本研究基于肇州县13个乡镇326份玉米种植户调研数据，运用耦合协调度模型，分析农户水肥管理与病虫害防治行为的交互关系。结果表明：两类行为整体处于轻度失调状态，耦合协调度指数平均为0.437；水肥管理行为指数(0.612)显著高于病虫害防治行为指数(0.458)；两类行为存在明显的时间错配与认知割裂；种植规模、兼业程度、技术培训参与是影响协调度的关键因素。研究提出构建协同推广机制、发展社会化服务、强化耕地质量导向的补贴政策等建议，为黑土区耕地保护提供参考。

关键词

耕地质量；水肥管理；病虫害防治；耦合协调度；玉米种植户；肇州县

1 引言

耕地质量是粮食安全与农业可持续发展的基础。东北黑土区作为我国重要商品粮基地，长期高强度利用导致耕地退化问题突出。肇州县地处松嫩平原黑土分布区，玉米种植面积超 180 万亩，是全省重要玉米产区。然而，农户为追求

高产，普遍存在化肥过量施用、农药盲目使用等问题，导致土壤板结、面源污染等，耕地质量提升面临挑战。

水肥管理与病虫害防治是玉米生产的核心田间管理行为，二者相互关联：合理的水肥能增强作物抗逆性，减轻病虫害；科学的植保则能保障植株健壮，提高水肥效率。但在实际生产中，农户常将二者割裂，缺乏系统协同视角，这不仅影响单产效益，更制约耕地质量的长期培育。

当前学界对农户生产行为的研究多聚焦单一行为的影响因素，鲜有关注不同行为间的协同关系。本研究引入耦合

【作者简介】郑若刚（1973-），男，中国黑龙江大庆人，本科，农艺师，从事农业技术推广研究。

协调度模型,以肇州县玉米种植户为对象,定量测度水肥管理与病虫害防治行为的协调程度,识别关键影响因素,探索促进两类行为协同优化的路径,为完善耕地质量提升政策提供微观依据。

2 研究区域与数据来源

2.1 研究区域概况

肇州县位于北纬 $45^{\circ} 34' \sim 46^{\circ} 16'$ 、东经 $124^{\circ} 57' \sim 125^{\circ} 36'$ 之间,属中温带大陆性季风气候,年均气温 3.8°C ,无霜期 $135 \sim 145$ 天,年均降水量 450mm 左右。境内地势平坦,土壤以黑钙土、草甸土为主,有机质含量 $1.5\% \sim 2.5\%$ 。玉米是该县主导作物,种植面积占农作物总播种面积的 85% 以上,常年产量约 120 万吨。近年来,肇州县大力推进黑土地保护利用试点项目,推广测土配方施肥、有机肥替代、绿色防控等技术,为研究提供了良好的实践场景。

2.2 数据来源

数据来源于 2024 年 3-5 月在肇州县开展的玉米种植户专题调研。采用分层随机抽样,选取肇州镇、永乐镇、丰乐镇、兴城镇、朝阳沟镇、双发乡、托古乡、永胜乡、二井镇、新福乡、榆树乡、卫星种畜场、乐园良种场等 13 个乡镇(场)作为样本区域。共发放问卷 350 份,回收有效问卷 326 份,有效回收率 93.1% 。

问卷内容涵盖四个方面:一是农户家庭基本特征,包括户主年龄、文化程度、种植年限、兼业情况等;二是生产经营特征,包括种植规模、地块数量、土地流转情况、农业收入占比等;三是水肥管理行为,包括化肥施用量、施肥次数、有机肥施用、水肥一体化应用等;四是病虫害防治行为,包括农药施用量、施药次数、绿色防控技术采纳、统防统治参与等。

3 研究方法

3.1 分析框架

耕地质量提升是长期性、系统性工程,需要农户各项生产行为的协同配合。水肥管理直接影响土壤理化性状和养分平衡,病虫害防治则关乎农田生态健康和生物多样性保护。从作用机理看,两类行为存在三重关联:一是生理关联,合理的氮磷钾配比能增强植株抗病虫能力,减少农药依赖;二是操作关联,水肥管理和病虫害防治在农事时序上存在交叉,机械化作业可实现部分融合;三是认知关联,农户对两类技术的理解和采纳意愿相互影响,形成相对稳定的生产决策模式。

本研究构建“行为水平测度-协调度评价-影响因素识别-优化路径设计”的分析框架,以耦合协调度模型为核心工具,系统揭示肇州县玉米种植户两类生产行为的协同状况。

3.2 指标体系构建

参考相关研究成果,结合肇州县玉米生产实际,分别构建水肥管理行为和病虫害防治行为的评价指标体系。水肥管理行为选取单位面积化肥施用量、有机肥施用比例、测土配方施肥采纳、水肥一体化应用、施肥次数合理性等 5 个指标;病虫害防治行为选取单位面积农药施用量、高效低毒农药使用、绿色防控技术采纳、统防统治参与、施药器械先进性等 5 个指标。各指标数据经标准化处理后,采用熵值法确定权重。

3.3 耦合协调度模型

耦合度反映系统间相互作用的强弱,协调度反映系统间良性耦合的程度。借鉴物理学容量耦合概念,构建水肥管理行为与病虫害防治行为的耦合度模型:

$$C=2 \times U_1 \times U_2 / (U_1 + U_2) \quad 2C=2 \times (U_1 + U_2) / 2 \times U_1 \times U_2$$

其中, U_1 为水肥管理行为综合指数, U_2 为病虫害防治行为综合指数, C 为耦合度,取值 $0 \sim 1$, C 值越大表示两类行为相互作用越强。

进一步构建耦合协调度模型:

$$D=C \times T \quad D=C \times T$$

$$T=\alpha U_1 + \beta U_2 = \alpha U_1 + \beta U_2$$

其中, T 为两类行为的综合协调指数, α 和 β 为待定系数,考虑到水肥管理与病虫害防治对耕地质量提升同等重要,取 $\alpha=\beta=0.5$ 。 D 为耦合协调度,取值 $0 \sim 1$,参考已有研究,将协调度划分为 10 个等级: $0 \sim 0.09$ 极度失调, $0.10 \sim 0.19$ 严重失调, $0.20 \sim 0.29$ 中度失调, $0.30 \sim 0.39$ 轻度失调, $0.40 \sim 0.49$ 濒临失调, $0.50 \sim 0.59$ 勉强协调, $0.60 \sim 0.69$ 初级协调, $0.70 \sim 0.79$ 中级协调, $0.80 \sim 0.89$ 良好协调, $0.90 \sim 1.00$ 优质协调。

4 结果分析

4.1 样本农户基本特征

有效样本中,户主平均年龄 52.6 岁,51 岁以上占比 63.8% ,农业劳动力老龄化特征明显。文化程度以初中为主,占比 57.1% ,小学及以下占 26.4% ,高中及以上仅占 16.5% 。种植年限平均 23.7 年,具有较丰富的传统种植经验。兼业农户占比 44.8% ,其中以农闲时节打零工为主。种植规模方面,10 亩以下小农户占 18.4% ,10-30 亩占 41.1% ,30-50 亩占 24.8% ,50 亩以上占 15.7% ,户均种植面积 27.6 亩,土地流转率为 38.2% 。农业收入占家庭总收入比重平均为 62.3% ,农业仍是多数家庭的主要收入来源。

4.2 水肥管理行为特征

肇州县玉米种植户水肥管理行为综合指数均值为 0.612。具体来看,单位面积化肥施用量(折纯)为 28.7 公斤/亩,高于黑龙江省玉米推荐用量(22-25 公斤/亩) 15% 左右,过量施肥现象普遍。施肥次数以“一炮轰”为主,占比 67.2% ,分次施肥仅占 32.8% ,养分供应与作物需求不匹

配问题突出。有机肥施用比例较低,仅 23.1% 的农户施用农家肥或商品有机肥,且用量普遍不足。测土配方施肥技术采纳率为 41.6%,仍有近六成农户凭经验施肥。水肥一体化应用不足 2%,主要受限于水源条件和设施投入。

从区域差异看,肇州镇、永乐镇等乡镇驻地周边农户水肥管理行为指数较高,普遍在 0.65 以上;榆树乡、新福乡等偏远乡镇农户指数较低,多在 0.55 以下。从规模差异看,30 亩以上规模户的测土配方采纳率和有机肥施用量显著高于小农户,但单位面积化肥施用量也更高,存在“规模扩大、投入增加”的趋势。

4.3 病虫害防治行为特征

病虫害防治行为综合指数均值为 0.458,显著低于水肥管理行为。单位面积农药施用量(折百)为 1.26 公斤/亩,高于全国玉米平均水平(0.95 公斤/亩)。施药次数平均 2.8 次/年,以防治玉米螟、大斑病、黏虫为主。高效低毒农药使用比例为 67.4%,仍有近三分之一农户使用高毒或中毒农药。绿色防控技术(如杀虫灯、性诱剂、赤眼蜂等)采纳率仅为 18.7%,推广空间较大。统防统治参与率 24.3%,以村集体经济组织 and 专业合作社带动为主。施药器械方面,背负式手动喷雾器仍占主导,占比 71.5%,高效施药器械普及率有待提升。

值得注意的是,农户病虫害防治决策呈现明显的“跟风”特征。76.2% 的农户表示施药时间主要参考邻居做法或经销商推荐,仅有 23.8% 的农户依据田间实际调查和专业指导。这种盲目跟风行为导致农药滥用与防治效果不佳并存,不仅增加生产成本,还杀伤天敌、破坏生态,长期看不利于耕地质量维护。

4.4 耦合协调度评价

测算结果显示,肇州县玉米种植户水肥管理与病虫害防治行为的耦合度 C 均值为 0.723,表明两类行为存在较强的相互作用。但耦合协调度 D 均值仅为 0.437,处于濒临失调状态。其中,轻度失调(0.30 ~ 0.39)农户占比 31.6%,濒临失调(0.40 ~ 0.49)农户占比 42.3%,勉强协调(0.50 ~ 0.59)农户占比 19.8%,初级协调以上农户仅占 6.3%。整体看,九成以上农户两类行为尚未实现有效协同。

从类型划分看,可将样本农户分为四种类型:高水肥-高植保型,两类行为指数均高于均值,占比 18.4%,多为规模较大、接受技术培训较多的农户;高水肥-低植保型,占比 43.7%,是数量最多的类型,农户重视施肥但对植保缺乏科学认知;低水肥-高植保型,占比 11.2%,多为传统小农户,施肥相对合理但植保投入较高;低水肥-低植保型,占比 26.7%,多为老龄化农户或兼业户,对两项生产投入均不足。

深入分析发现,两类行为存在明显的时间错配。玉米生育期内,农户通常在播种期集中投入底肥,拔节期追施氮肥,而对病虫害采取“见病再治、见虫再打”的被动应对模式,错过了最佳防控时机。这种时间上的割裂降低了水肥与植保措施的协同增效。同时存在认知割裂,多数农户将水肥

管理理解为“给地喂饭”,将病虫害防治理解为“给苗治病”,缺乏“以肥促健、以健减病”的系统思维。

4.5 影响因素分析

采用有序 Logit 模型识别耦合协调度的影响因素,结果显示:

种植规模正向影响协调度,规模每增加 10 亩,协调等级提升的概率提高 8.7%。规模户更倾向于接受技术指导,有条件采用先进农机,能够实现水肥与植保作业的统筹安排。

兼业程度负向影响协调度,兼业农户的协调等级显著低于纯农户。兼业户农业劳动时间投入不足,对生产决策投入精力有限,难以精细协调两类管理行为。

技术培训参与是影响最显著的因素,参加过 3 次以上技术培训的农户,协调等级提升的概率提高 32.5%。培训不仅传授单项技术,更传递科学种植理念,有助于农户建立系统认知。

土地权属也有显著影响,转入土地的规模经营户协调度高于自耕户,但转出土地的农户协调度最低。土地流转形成的适度规模经营为协同管理创造了条件。

信息获取渠道方面,通过手机获取农业信息的农户协调度较高,而仅依靠传统经验决策的农户协调度较低。信息化手段有助于农户及时掌握水肥运筹与病虫害防治的关联信息。

此外,户主年龄与文化程度的影响未通过显著性检验,表明在肇州县当前的老龄化背景下,年轻并不必然带来更科学的生产决策,关键在于能否获得有效的技术指导。

5 结论与建议

5.1 主要结论

本研究基于肇州县 326 份玉米种植户调研数据,运用耦合协调度模型分析水肥管理与病虫害防治行为的协同状况,得出以下结论:

第一,肇州县玉米种植户水肥管理行为综合指数(0.612)高于病虫害防治行为综合指数(0.458),两类行为发展不均衡,存在“重水肥轻植保”的倾向。

第二,两类行为的耦合协调度整体偏低,均值为 0.437,处于濒临失调状态。九成以上农户尚未实现两类行为的有效协同,其中“高水肥-低植保”型农户占比最高。

第三,两类行为的割裂表现为时间错配与认知割裂,农户缺乏将水肥管理与病虫害防治统筹考虑的系统思维,降低了技术措施的协同增效。

第四,种植规模、兼业程度、技术培训参与、土地权属、信息获取渠道是影响协调度的显著因素,技术培训对促进行为协同的作用尤为突出。

5.2 对策建议

一是构建“水肥-植保”协同技术推广体系。集成技术

规程,依托基层平台开展田间课堂,帮助农户建立系统认知。

二是大力发展农业生产托管服务。支持合作社、服务公司开展全程或关键环节托管,解决老龄化、兼业户管理能力不足问题,实现专业化协同。

三是强化耕地质量导向的补贴政策。探索将补贴与采纳协同技术(如测土配方、绿色防控)挂钩,设立示范户,形成正向激励。

四是推进生产管理信息化。开发 APP 为农户提供水肥与植保关联预警和协同管理建议,建立数字化生产档案。

五是完善农田基础设施。结合高标准农田建设,配套灌排设施,为水肥一体化和机械化植保创造条件,布局病虫害监测点,提高预报准确性。

耕地质量提升非一日之功,需要农户生产行为的持续

优化和协同改进。通过政策引导、技术服务、社会化支撑等多措并举,推动肇州县玉米种植户将水肥管理与病虫害防治从“割裂”走向“协同”,从“短期高产”转向“长期增效”,为东北黑土区耕地可持续利用探索可行路径。

参考文献

- [1] 韩长赋. 黑土地保护与可持续利用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022: 156-178.
- [2] 张福锁, 陈新平, 崔振岭. 中国主要作物施肥指南[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2021: 89-105.
- [3] 吴文良, 张卫峰, 孟凡乔. 农业面源污染防治理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2020: 234-256.
- [4] 肇州县人民政府. 肇州县国民经济和社会发展第十四个五年规划纲要[Z]. 2021: 35-42.

Study on the Mechanism of Efficient Utilization and Loss Control of Nitrogen Fertilizer in the Rotation System of Wheat and Maize

Lihua Guo Qian Sun

Department of Agriculture and Rural Affairs, Tai'an, Shandong, 271400, China

Abstract

The wheat-corn rotation system serves as a primary grain production model in northern China. However, excessive nitrogen application has led to low utilization efficiency, severe nitrogen loss, and increased non-point source pollution risks, posing significant challenges to sustainable agricultural production. Enhancing nitrogen fertilizer efficiency while ensuring crop yields remains a critical task for advancing green agriculture. Based on nitrogen absorption and migration patterns in rotation systems, this study analyzes influencing factors through soil nitrogen availability, crop nitrogen uptake characteristics, and cultivation management practices. Nitrogen loss primarily occurs via volatilization, leaching, runoff, and denitrification, exacerbating environmental pressures. By implementing precision nitrogen application, regulating nitrogen release processes, optimizing cultivation practices, and establishing a bio-soil-fertilizer synergistic control system, nitrogen utilization efficiency can be significantly improved while reducing loss risks. This research provides theoretical and technical references for green management of rotation systems.

Keywords

wheat-corn rotation; nitrogen fertilizer utilization efficiency; nitrogen loss; control mechanism; precision fertilization; green agricultural development

小麦玉米轮作体系下氮肥高效利用与损失阻控机制研究

郭丽华 孙倩

宁阳县农业农村局, 中国·山东 泰安 271400

摘要

小麦—玉米轮作体系是北方主要粮食生产模式,但过量施氮导致利用率偏低、氮素损失严重与面源污染风险上升,已成为制约高效稳产的重要问题。在保障产量的前提下提升氮肥利用率,是推动农业绿色发展的关键任务。基于轮作体系中氮素吸收与迁移规律,可从土壤供氮能力、作物吸氮特性与耕作管理措施分析影响因素。氮素损失主要经挥发、淋失、径流与反硝化等途径发生,增加环境压力。通过精准施氮、调控氮素释放过程、优化耕作措施以及构建生物—土壤—肥料协同调控体系,可显著提升氮肥利用效率并减少损失风险。文章为轮作体系的绿色管理提供理论与技术参考。

关键词

小麦—玉米轮作; 氮肥利用率; 氮素损失; 阻控机制; 精准施肥; 农业绿色发展

1 引言

小麦—玉米轮作体系是我国粮食生产的重要基础,但氮肥利用率受施肥方式、耕作制度、土壤性质与气候条件影响普遍偏低,未被吸收的氮素易通过挥发、淋失、径流和反硝化流失,导致资源浪费与环境风险并存。推动氮肥高效利用已成为实现轮作体系绿色生产的关键任务。随着精准施肥、缓控释肥、生物固氮与耕作制度优化等技术的发展,氮素供应能够更好与作物吸氮节律相匹配,为提升利用率提供

条件。基于轮作生态特征,研究氮素迁移转化规律与影响因素,并构建氮素损失阻控机制,对于形成科学、高效、可持续的氮肥管理体系具有重要意义。

2 小麦—玉米轮作体系中氮素利用的生物学基础

2.1 小麦与玉米吸氮特性的差异性规律

小麦与玉米在生育期、吸氮高峰及根系分布上具有明显差异。小麦吸氮高峰主要集中在拔节至抽穗期,根系分布较浅,依赖表层土壤矿质氮供应;玉米吸氮高峰发生在大喇叭口期至灌浆期,根系更为发达且延伸较深,能够有效吸收中下层土壤氮素。两作物生育节律的差异导致氮素管理应呈

【作者简介】郭丽华(1980—),女,中国山东济宁人,本科,助理农艺师,从事农业技术推广研究。

现动态调控特征,以满足不同作物与不同阶段的吸氮需求。了解两种作物的吸氮生理基础,有助于制定轮作条件下科学的施氮方案^[1]。

2.2 土壤氮素矿化与有效氮供应规律

轮作体系中,作物秸秆还田、土壤温湿变化与微生物活性共同影响氮素矿化过程。小麦收获后气温升高,土壤氮素矿化加速,有利于为玉米提供氮源;而玉米收获后气温下降,矿化速度减缓,易出现氮素供应不足。土壤有效氮水平受矿化与固持过程共同调控,过高的施氮强度可能造成氨挥发和硝态氮淋失。因此,轮作制度下应根据季节变化和土壤特性动态调控施氮量与施肥时期,以提高作物吸收效率。

2.3 轮作调控对氮素转化与迁移的影响

不同作物根系分泌物、秸秆还田量以及土壤耕作方式,会影响氮素的形态转化与迁移。小麦秸秆含碳量较高,易造成短期氮素固持,而玉米秸秆分解较快,有利于氮素释放。免耕或少耕措施能改善土壤团粒结构,增强土壤保肥能力,减少淋失。通过调控作物配置与耕作制度,可以实现氮素在土壤—作物系统中的优化分配^[2]。

3 氮肥利用效率影响因素分析

3.1 施氮方式与施肥时期对利用率的影响

施氮方式与施肥时期对氮肥利用效率具有关键调控作用,其影响贯穿小麦—玉米轮作体系的整个生育周期。在长期生产中,基施一次性施入氮肥虽然操作便捷,但因氮素释放与作物吸氮高峰不同步,易在早期发生氨挥发、淋失或反硝化,使有效利用率显著下降。分次施肥与追施技术能够更贴合作物生长节律,小麦在拔节前需氮量快速增加,若在此节点前完成主要施氮,可提高氮素吸收效率;玉米在大喇叭口期进入吸氮旺盛阶段,追施能够满足其高峰需求,减少无效损失。施氮方式方面,条施与深施能够增强肥料与根系的空间接触,降低表层挥发;灌溉条件下采用水肥一体化技术,使氮素随水分均匀进入根系活跃层,可改善氮素供应的一致性。此外,控释施肥技术与同步施水施肥措施能够减少氮素在土壤中的快速暴露,延长氮素有效期,增强对环境波动的适应性。在轮作体系中,根据作物生育特性、土壤条件和气候因素动态调整施氮时期与方法,可显著提高投入产出比,实现氮肥利用最大化^[3]。

3.2 土壤理化性质与微生物活性对氮素效率的影响

土壤理化性质是影响氮素供应、转化与吸收的重要生态基础,决定氮肥在轮作体系中的有效性与稳定性。壤土因具有适宜的孔隙度和持水能力,使氮素不易快速淋失或挥发,是小麦—玉米轮作中提升氮素利用效率的理想土壤类型;而砂质土壤因保水保肥能力弱,易导致硝态氮下移;黏重土壤透气性差,易引起反硝化损失,均不利于高效利用。有机质含量是衡量土壤肥力的重要指标,其提升可增强土壤对铵态氮的吸附能力,稳定氮素供应,同时为微生物提供碳

源,促进矿化与固持的动态平衡。pH值影响铵态氮的吸附与氨挥发,偏碱性条件下挥发风险增加,而过度酸化会抑制根系生长与微生物活性。微生物是氮素转化的核心动力,硝化菌、反硝化菌与固氮菌共同调控氮素在不同形态间转化。提高微生物多样性与群落稳定性可促进氮素循环,加快有机氮矿化,提高无机氮供应能力。因此,通过增施有机肥、秸秆还田、改善耕作制度等措施提升土壤健康,有助于构建更稳定的氮素供需关系,为轮作体系提供更高的氮肥利用效率。

3.3 水分管理与灌溉方式对氮素吸收的影响

氮素在土壤中的迁移、转化与吸收高度依赖水分状况,合理的水分管理是提高氮肥利用效率的重要保障。在小麦—玉米轮作体系中,降水分布不均、灌溉方式多样,使水分调控对氮素吸收具有显著影响。滴灌与微喷等精准灌溉技术能够按需供水,使根际土壤保持适宜的含水量,减少因过量灌溉导致的硝态氮淋失;与水肥一体化结合时,还能实现氮素定向输送,提高氮素在根系活跃区的有效供给。传统大水漫灌容易造成土壤饱和,使硝态氮随渗漏水进入深层,不仅浪费资源,还可能污染地下水。在干旱条件下,土壤缺水会限制根系吸收氮素,并影响微生物活性,使氮素矿化减缓。轮作体系需根据季节降水规律、土壤水分特征及作物需水需肥曲线实施精细化水分管理,通过小水勤灌、补灌调控、覆盖保墒等措施增强氮素吸收环境稳定性。通过水分与氮素的协同调控,可降低氮素损失,提高作物吸收效率,促进轮作体系高产稳产与绿色发展目标的实现。

4 小麦—玉米轮作体系中氮素损失机制分析

4.1 氨挥发与气态排放损失

氨挥发是小麦—玉米轮作体系中氮肥损失最为常见且影响显著的路径之一,其发生程度受施肥方式、温湿度条件、土壤理化性质等多因素共同影响。在生产实践中,表施尿素因与土壤接触不充分,易在高温或偏碱性条件下迅速水解并释放氨气,导致氮素无法被作物吸收而直接逸散至空气。小麦返青期气温逐渐升高,施肥后土壤表层环境适宜氨挥发,使挥发风险显著增大;玉米追肥阶段土壤含水量高,既促进尿素水解,也易在缺氧环境中加快反硝化过程,产生 N_2O 等温室气体,形成“氮肥损失—环境污染”的负向循环。在轮作体系中,氨挥发不仅造成氮肥利用效率下降,还加剧空气污染与温室效应。因此,深施、条施、覆土施肥及与灌溉同步的水肥一体化技术被证明能够显著降低氨挥发;同时,使用硝化抑制剂、提高土壤有机质含量和改善施肥时机也能有效降低气态排放。在整体管理中,应结合作物生育特性、区域气候与土壤条件制定氨挥发阻控策略,以实现氮肥资源的有效利用^[4]。

4.2 硝态氮淋失与地下水污染风险

硝态氮淋失是轮作体系中另一项关键氮素损失途径,

尤其在玉米灌溉期更为突出。硝态氮具有高度溶解性,可随渗漏水向土壤深层移动,当土壤结构疏松、有机质含量低或降雨量集中时,其淋失速度显著加快,进入地下水后易导致硝酸盐污染。轮作体系中,小麦收获后土壤温度升高,氮素矿化增强,会在玉米播种前后形成短期过量供应,若施肥增加,则易造成氮素累积并在灌溉条件下发生严重淋失。长期淋失不仅导致肥料浪费,也危害饮用水安全。在阻控方面,缓释肥料与控释技术通过减少硝态氮在短期内大量释放,可有效降低淋失强度;秸秆覆盖能改善土壤结构,增强保水固氮能力,减少深层渗漏;合理灌溉策略,如滴灌和小水勤浇,可降低土壤水分过饱和状态,从而减少硝态氮向深层迁移。通过精准施氮与结构调控相结合,可有效抑制硝态氮淋失风险,保障地下水生态环境安全。

4.3 表面径流引发的氮素流失问题

降雨集中或灌溉过量情况下,氮素容易随地表径流从耕层流失,最终进入周边水体,导致水体富营养化,严重影响生态系统稳定性。表面径流流失主要发生在降水强度大于土壤入渗能力时,氮素以铵态、硝态或有机氮形式进入河道和湖泊。在小麦—玉米轮作体系中,玉米生育期常伴随强降雨事件,而小麦返青期土壤裸露面积较大,更容易发生径流携带氮素流失。土壤压实、坡度较大或地表覆盖不足,都将提高径流风险。阻控措施方面,地膜覆盖能够减少雨滴直接冲刷土壤,降低氮素表层流失;等高耕作或带状种植可以延缓径流速度,增加水分入渗;通过建设田间拦截带、植被缓冲带等生物措施,可进一步吸收流失氮素。

5 氮肥高效利用与损失阻控策略

5.1 精准施氮技术体系构建

精准施氮技术体系旨在通过信息化与智能化手段,使氮肥施用更加符合作物需求的动态变化规律,从而提高利用效率并减少无效损失。在小麦—玉米轮作体系中,作物吸氮特征存在明显时序差异,对施氮精准度提出更高要求。传感监测技术通过土壤水分、氮素含量、气象条件等实时数据的采集,为氮肥管理提供客观依据;处方施肥则根据土壤养分状况与作物生长模型生成施肥方案,使施用量与氮素供应能力相匹配;变量施肥设备则可按地块差异实现差异化施氮,避免“一刀切”式施肥造成资源浪费。基于多源数据的精准氮素管理,可有效应对天气波动、土壤异质性和作物需氮变化,使施氮策略从经验模式转向数据驱动模式,从而提高氮肥投入产出比,支撑轮作体系绿色高效发展^[5]。

5.2 缓控释肥料与生物调控技术的应用

缓控释肥料与生物调控技术通过调节氮素释放速率或氮素转化路径,使氮肥在施用后能够更长时间维持有效性,

并减少氮素向大气、水体流失,是提升轮作体系氮肥效率的重要路径。缓释与控释肥通过物理包膜、化学反应或生物降解释放氮素,使肥效与作物吸氮节律更为同步,从而减少早期淋失或挥发。生物固氮菌能够促进土壤微生物群落多样性,提高土壤氮素自我供给能力,减少对化学氮肥的依赖;而硝化抑制剂可延缓铵态氮向硝态氮转化,降低硝态氮淋失风险,延长氮素在根际的停留时间,提高吸收效率。生物炭、土壤调理剂等材料的应用也可改善土壤结构、提升保氮能力,使氮素在土壤中保持更稳定形态。缓控释肥与生物调控手段的综合运用,有助于形成“减量、增效、环保”的氮肥管理模式,为轮作体系构建低损失、高效率的氮素循环系统提供技术支撑。

5.3 耕作制度优化与土壤健康提升

耕作制度是影响土壤结构、养分循环与氮素稳定性的关键因素。在小麦—玉米轮作体系中,通过优化耕作方式可显著改善土壤健康,为氮素高效利用提供良好环境基础。免耕和少耕措施能够减少土壤扰动,促进团粒结构形成,提高土壤保水保肥能力,并减少降雨条件下的氮素径流损失;深松措施可改善土壤通透性,缓解犁底层硬化,提高根系下扎能力,从而增强作物对深层氮素的吸收潜力。秸秆覆盖能够增加土壤有机质,提高微生物活性,促进氮素矿化与固持的动态平衡,减少施肥后氮素的快速流失。建立轮作制度中的覆盖作物体系,通过耕作制度的综合优化,土壤健康与氮素循环效率得以同时提升,为氮肥高效利用奠定生态基础,实现轮作体系的稳产增效与绿色发展目标。

6 结语

小麦—玉米轮作体系氮肥管理的关键在于提高氮利用效率与降低环境损失。通过优化施肥技术、改良土壤结构、采用生物调控手段和发展精准农业技术,可有效构建高效、稳定、低排放的氮肥管理模式。未来研究需进一步加强氮素行为机理的长期观测,强化技术集成示范,为实现农业绿色发展提供持续动力。

参考文献

- [1] 崔瑞龙. 稻麦轮作体系下水稻和小麦的氮素高效利用机制研究[D]. 扬州大学, 2024.
- [2] 韩燕来. 冬小麦夏玉米轮作高产高效施肥技术研究与应用. 河南省, 河南农业大学, 2017-12-01.
- [3] 徐明杰. 不同轮作体系作物—土壤—肥料氮素特征研究[D]. 河北农业大学, 2014.
- [4] 叶青, 曹国军, 耿玉辉. 控释氮肥在小麦玉米轮作体系中的养分高效利用研究[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(08): 124-129.
- [5] 要娟娟. 有机肥和氮肥配施对农作物产量和氮肥效率的影响[D]. 山西大学, 2012.

Field Management and Pest Control Measures for Rapeseed Cultivation

Yixinima

Longzhong Township Agriculture and Animal Husbandry Comprehensive Service Center, Gangba County, Shigatse City, Xizang Autonomous Region, Shigatse, Xizang, 857700, China

Abstract

Rapeseed is the largest oil crop in China, with field management and pest control being the key factors for yield and quality. This paper systematically reviews the full growth period management techniques and major pest control strategies for rapeseed, highlighting “one promotion and four protections” (flowering stage) and “one adjustment and three resistances” (seedling stage) as the core components of field management. In terms of pest control, the two primary diseases are sclerotinia stem rot (flower infection) and clubroot (soil-borne), which can be effectively managed through seed treatment, overwintering regulation, and a combined technology involving novel fungicides (floramizole). These measures aim to enhance yield and reduce disease incidence. Green pest control is evolving toward a model centered on “agricultural prevention as the foundation, disease-resistant varieties as the core, and precise pesticide application as the safeguard,” effectively improving rapeseed cultivation quality.

Keywords

rapeseed cultivation; field management; pest and disease control; green prevention and control

油菜种植的田间管理与病虫害防治措施

益西尼玛

西藏自治区日喀则市岗巴县龙中乡农牧综合服务中心，中国·西藏 日喀则 857700

摘要

油菜是我国第一大油料作物为油菜，明确油菜产量品质的关键为田间管理与病虫害防治。本文对油菜全生育期管理技术及主要病虫害防控策略进行了系统梳理，其中“一促四防”（花期）和“一调三抗”（苗期）为田间管理的核心要点，在病虫害方面，两大头号病害为菌核病（花侵染）与根肿病（土传），采用种子处理、越冬调控与新型杀菌剂（氟唑菌酰胺）组合技术，可达到增产降病目的。绿色防控正从“农业防控为基础、抗病品种为核心、精准用药为保障”的方向转变，可有效提升油菜种植质量。

关键词

油菜种植；田间管理；病虫害防治；绿色防控

1 引言

油菜是种植面积广大的战略油料作物，但长期有单产提高缓慢、病虫害频发和极端天气加重等问题，据统计，我国油菜已知病害有25种，虫害有69种，草害有213种，菌核病在长江中下游平均发病率>60%，重发田块减产30%~50%。近年来，气候变暖及轻简化栽培，使得菌核病、根肿病等病害的蔓延速度加快，传统的单一防治手段已经不能满足需要。国家正开展单产提升行动，对田间管理精细化、绿色化有更高的要求，本文从全生育期管理的角度出发，把栽培农艺和植保技术结合起来，建立“管、防、控”一体化

的技术体系框架，为生产实践提供指导，保证油菜丰产稳产^[1]。

2 油菜田间管理技术体系

2.1 苗期管理与群体调控

苗期是油菜根系发育、营养器官生长的重要时期，其管理目的就是培育健壮幼苗、建立合理的群体结构，播种密度直接决定个体发育和群体产量的平衡，合理密植是解决这个矛盾的主要途径。根据不同的品种特性以及播期条件来确定适宜的播种量，既可以保证基本苗数，又不会造成群体过密而通风透光不好、病害加重。苗期管理的一项重要创新就是“一调三抗”，即调节植株生长来提高油菜的抗病、抗虫、抗逆能力，该技术在苗期使用植物生长调节剂和营养元素，可以明显提高油菜对菌核病、霜霉病等病害的抗病性，也可以提高油菜对低温、干旱等逆境的适应性。直播油菜种植模

【作者简介】益西尼玛（1987-），女，藏族，中国西藏山南人，本科，中级农艺师，从事农业技术研究。

式下,苗期还要注意草害防控,杂草和油菜争夺光、水、养分,严重时可能造成减产超过 50%,因此封闭除草和苗后定向除草相结合是苗期管理的基本配置^[2]。

2.2 水肥运筹与养分管理

油菜对养分的需求有阶段性的特点,苗期需要大量的氮来促进营养体的生长,蕾薹期到花期对磷、钾和硼元素都很敏感,缺少任何一种都会严重影响结实。精准施肥可以提高肥料利用率,减少面源污染。高产栽培应采取基肥为主、追肥为辅的方式,基施复合肥与有机肥结合使用,追肥依据苗情及土壤肥力情况灵活掌握。在减量追施氮肥的情况下,配合种子处理和新型杀菌剂可以得到较高的产量,说明精准施肥比单纯增加肥料更为重要。硼元素对油菜有特殊的重要性,油菜缺硼会造成“花而不实”,即花序矮化、角果空瘪、结实率急剧下降,花期及时补充硼肥可以缓解这种生理障碍,一般与菌核病防治同时喷施硼肥,达到一喷多效的目的,油菜虽然具有一定的耐旱性,但是蕾薹期和开花期对水分亏缺最敏感。长江流域冬油菜区春季多雨,田间渍水会抑制根系呼吸、诱发菌核病,因此开沟排水、降低田间湿度是春季管理的重中之重,稻油轮作区更要注意前茬水稻收获后土壤水分的调节,保证油菜播种或者移栽时墒情合适。

2.3 花期调控与“一促四防”技术

花期是决定油菜产量、品质的重要时期,也是菌核病侵染的“黄金时间”,根据上述特点,中国农业科学院油料作物研究所创制出了一种“一促四防”的技术,已经连续多年被农业农村部列为主推技术。具体做法是在油菜盛花期(50%以上花序开花)时,人工喷施磷酸二氢钾、硼肥、植物生长调节剂、杀虫剂、杀菌剂的组合配方,一次作业达到防花而不实、防早衰、防菌核病、防高温逼熟的效果,并且增加角果数和粒重。

“一促四防”的科学原理就是准确把握菌核病的侵染规律,菌核病是以花瓣作为传播途径的病害——子囊孢子萌发之后侵染衰老的花瓣,带菌的花瓣脱落后掉落在叶和茎上,从而引起二次感染。花期施药可使病原菌侵染的关键环节得以阻止,防效最好。药剂的选择上,啶酰菌胺、氟唑菌酰胺、苯甲·嘧菌酯、咪鲜胺等高效杀菌剂比传统的药剂效果更好,在初花期施用第一次药,间隔7天再施第二次药,防效更加稳定,且在农田作业时,喷洒设备的高度通常维持在2-3米,同时使用特殊的助剂能够增强药液在作物表面的附着性,并提升其抵抗雨水冲刷的能力,花期应停止使用新烟碱类药剂,保护授粉蜜蜂安全,实行区域统防统治^[3]。

2.4 越冬管理与抗逆栽培

冬油菜产区受冬季低温冻害的影响,近几年来由于极端天气事件频繁发生,油菜越冬管理变得越来越重要,经研究显示,利用越冬调节技术,即合理的使用抗冻调节剂、控制冬前旺长、培土覆盖等方法,相比传统模式可增产6.4%。冻害发生之后,救灾措施的选取也要讲究科学,最新的田间

试验结果表明,如果油菜初薹期受冻害,不能把摘除伤薹当作主要的救灾手段,因为摘薹会带来新的创伤面并推迟恢复时间;优先使用喷施叶面肥和追施速效肥相结合的方法,或者喷施碧护等复合抗冻物质,增产效果更好。微垄抗逆栽培是近几年来发展起来的一项新技术,通过改变田间微地形来改善土壤通气状况和温度条件,提高油菜对渍水、冻害的缓冲能力,已经在全国多地主产区进行过示范推广,并且被列入农业农村部主推技术模式。

3 主要病虫害的发生规律与防控策略

3.1 菌核病的发生特点与综合防控

菌核病是世界上危害油菜的第二大病害,也是我国油菜生产中危害最严重的一类病害,2023年被列为一类农作物病害,该病是由核盘菌引起的,具有土传和气传双重传播的特点,在长江流域冬油菜区普遍发生,西南产区产量损失最高可达近28%。菌核病以菌核在土壤中或者混杂在种子间越冬,秋季萌发产生子囊盘释放子囊孢子,借气流传播,其侵染循环的关键环节就是花瓣-子囊孢子先侵染衰老花瓣,带菌花瓣落至叶片或者茎秆上完成对植株的侵染,病株后期茎秆腐烂、产生白色菌丝和黑色菌核,最后整株倒伏枯死。菌核病的防治已经形成了以农业防治为主、化学防治为辅的技术路线,农业措施有与禾本科作物轮作(两年以上)、开沟排湿降低田间湿度、控制氮肥用量防止群体过密,化学防控重点在于花期这个“黄金窗口期”,“一促四防”技术就是这一思想的集中表现。新型杀菌剂氟唑菌酰胺的使用是近几年来重要进展,研究表明,单用氟唑菌酰胺防治菌核病,比传统药剂咪鲜胺增产10.9%,菌核病发病率极显著降低49.1%;将种子处理、越冬调控和氟唑菌酰胺三者结合起来使用,可以使得产量提高16.1%,发病率降低55%以上,因此,菌核病的防治要依靠品种、农艺和药剂三者的共同作用^[4]。

3.2 根肿病的危害特征与预防策略

根肿病是由芸薹根肿菌引起的毁灭性土传病害,对十字花科作物有高度专化性,该病在我国四川、湖北、云南等省发生较多,病菌在土壤中可存活10年以上,一旦传入很难根除,根肿病典型的症状是根部肿大变形呈肿瘤状,地上部前期没有明显的症状,后期生长缓慢、萎蔫枯死,重病田可以造成大面积死苗甚至绝收。根肿病的防治要坚持预防为主方针,因为病害一旦发生,治疗起来十分困难,核心措施为选择当地适应的生理小种抗病品种,这是最经济有效的防线;第二,种子包衣或者药剂拌种,保护苗期根系不被侵染;第三,病田重点促进新根发生,喷施生根剂、萘乙酸钠等可减少产量损失;第四,严格检疫制度,控制农机具跨区作业,防止病菌随病土、病残体扩散蔓延。近些年来研究显示,根肿菌存在着明显的生理小种分化现象,不同的地区所占优势的小种也有所不同,所以抗病品种的引进必须要经过

本地适应性检验。

3.3 其他重要病虫害与绿色防控技术

除菌核病、根肿病之外,霜霉病、病毒病、蚜虫等也常常出现在油菜的生产中。霜霉病在阴雨寡照条件下容易流行,主要危害叶片,严重时会造成叶片干枯脱落。病毒病是由蚜虫传播的,主要症状有花叶、皱缩、畸形等,防治上要先治虫后防病,在蚜虫迁飞高峰期及时喷施高效低毒杀虫剂,切断传播途径。蚜虫是油菜的另一种重要害虫,刺吸汁液造成叶片卷曲、生长受阻,分泌蜜露诱发煤污病,影响光合作用。绿色防控技术体系是油菜病虫害防治的新发展,该体系把各种防控措施结合起来,包括农业防治、生物防治、物理防治和化学防治,在农业防治上,合理的轮作、深耕晒垡、清洁田园、平衡施肥可以降低病虫害的基数,在生物防治上,木霉菌防治菌核病、苏云金杆菌防治鳞翅目害虫已经取得较好的效果,在物理防治上,黄板诱杀蚜虫、杀虫灯诱杀夜蛾类成虫可以减少化学农药的使用,化学防治上重视精准测报指导下的对症用药和药剂轮换,以延缓抗药性的产生。从研究结果可以看出,推广绿色防控技术可以减少化学农药使用量30%以上,保证油菜产量不减产或者略有增加。

4 田间管理与病虫害防治的协同机制

田间管理与病虫害防治不是孤立存在的两个环节,而是互相影响、互相支撑的统一体,科学的管理措施是病害预防的基础和最有效的方法,相反,不恰当的管理会使病害的发生创造条件。群体结构调控直接影响病害发生的风险。种植密度过高造成田间郁闭、通风透光差、湿度大,正好是菌核病、霜霉病等喜湿性病害爆发的良好环境,合理密植可以保证产量的同时改善田间小气候,是降低病害压力的基本手段,水肥管理对植物的抗病性有影响。偏施氮肥会使油菜组织变得柔软、叶色浓绿,从而更容易吸引蚜虫并降低抗病能力。适量增施磷钾肥和有机肥可以改善土壤结构,使植株组织更紧密,细胞壁变厚,增强植物对病原菌感染的物理阻挡能力,微量元素硼的供应不但影响结实率,而且和抗病性有关,缺硼植株生长势弱,更容易被弱寄生性病原菌感染^[5]。

生育期调控可以避开病害高发期和易感生育期的重合,适期迟播可以将油菜花期避开菌核病子囊孢子释放高峰期,从而降低侵染几率,这也是近几年来在菌核病防控中越来越被重视的一种方法。耕作制度改善长期生态效益,稻油轮作

本身就是一种天然的病害控制手段,水旱交替改变了土壤微生态环境,不利于菌核、根肿病菌的生存和繁殖,但是轮作周期要足够长,一般不小于两年,秸秆还田技术的推广要辩证看待——还田可以增加土壤有机质、减少焚烧污染,但是病残体还田会带入大量的病原菌,因此病田秸秆应该妥善处理而不是直接还田。

5 结论与展望

油菜田间管理及病虫害防治属于一个包含品种挑选,农艺操作,植物保护以及环境调节等众多环节的综合性工程,本文对油菜全生育期的关键管理技术以及主要病虫害的防控措施进行了系统的梳理,并且发现了二者之间的联系。研究表明,“一促四防”、“一调三抗”等集成技术的推广使用,使我国油菜生产抗风险能力明显提高,产量水平也有所提升,以氟唑菌酰胺为代表的新型杀菌剂和种子处理、越冬调控等农艺措施相结合使用,可以使菌核病发病率降低50%以上,增产幅度超过15%。展望未来,油菜田间管理与病虫害防治将逐渐发展于精准、绿色、智能的方向,在技术上,辅助选择抗病品种的分子标记、基因编辑技术,可将抗病育种进程加快;在理念上,绿色防控从“替代化学农药”向“生态调控优先”的系统思维省级,通过对农田生态系统服务功能优化,达到可持续智力有害生物的目的。在政策上,推行统防统治和整合制,可促进先进技术的到户到田,使技术供给与生产需求间的差距明显缩短。总之,我国油菜产业正从“量的积累”逐渐转变为“质的提升”,以科学管理为支撑、以绿色防控为保障的技术体系,为提升油菜大面积单产、产业高质量发展可奠定坚实的基础。

参考文献

- [1] 杨洋,周亚平.油菜种植的田间管理与病虫害防治措施分析[J].种子科技,2025,43(1):180-182.
- [2] 刘亚伟.油菜种植的田间管理与病虫害防治[J].棉花科学,2025,47(4):53-55.
- [3] 张艳琳.高原地油菜种植的田间管理与常见病虫害的防治措施[J].河北农机,2024,37(9):109-111.
- [4] 李立志,邓婷.油菜种植技术及病虫害防治措施[J].南方农机,2024,55(11):59-61,67.
- [5] 赵红琴.双低油菜种植及病虫害防治技术的应用研究[J].农业开发与装备,2024,28(6):184-186.