

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

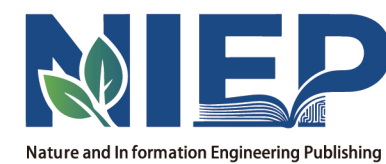
农业科学与技术杂志

eISSN: 3122-6809

Volume 2 Issue 2 February 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 Khadatkar, 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	玉米大豆间作对土壤养分利用的影响	/ 汪大海
	/ 田平坤	
4	石漠化地区林业生态修复与营造林工程综合治理技术研究	32 玉米烘干后容重变化规律及其机理研究
	/ 龙云军	/ 秦丽莹 霍晓亮
8	化学氮肥施用对中国农田土壤细菌群落多样性影响的整合分析	36 数字化赋能农村集体经济财务管理与监督的实践探索
	/ 孙倩 郭丽华	/ 刘毓君
11	森林防火复杂系统的底层逻辑：不确定性与稳定性的双重解析	39 肉牛与家禽养殖废弃物协同处理及利用技术
	/ 陈文明	/ 龙开安
14	藏香猪在仁布县的引进繁育与示范推广	42 浅议如何做好农牧区羊痘病的防治
	/ 次仁顿珠	/ 巴合提别克·达肯
17	农业秸秆炭化还田对土壤固碳减排及作物生长的影响机制	45 鸡肾型传支与沙门氏菌病混合感染的诊治
	/ 王晓云 陈兰道 徐凤 宋克超	/ 程亚辉
20	鸽子的饲养管理	48 智慧农业框架下农业气象服务的精准化供给模式探索
	/ 付静	/ 肖静
23	华北地区小麦主要病虫害绿色防控技术集成与应用效果研究	51 墨江西歧桫椤省级自然保护区植物多样性研究
	/ 温娇娇	/ 周丹 李恩良
26	不同基因型小麦应对干旱胁迫的生理机制与产量补偿效应研究	54 自然基因激活：乡土植物精细化配置与生态园林生态营造
	/ 安振如	/ 蒋怡
29	杂交水稻亲本配合力改良对籽粒产量及品质的影响分析	57 浅析木垒县小茴香规模化种植技术
		/ 武军平 相红燕
		60 追逐北纬 18 度的稻香：南繁村里的白昼与梦想
		/ 伍泽全
		63 绿色农业发展背景下农产品质量安全提升路径与实践
		/ 张兴国
		66 设施甜瓜植株原位监测关键瓶颈分析
		/ 陈泳妍 仲晓晴 赵景岳 张钟艺

- 1 Effects of intercropping maize and soybean on soil nutrient utilization
/ Pingkun Tian
- 4 Study on the Comprehensive Management Technology of Forestry Ecological Restoration and Afforestation in the Areas of Rock Desertification
/ Yunjun Long
- 8 Integrative analysis of the effects of chemical nitrogen fertilizer application on bacterial community diversity in farmland soil in China
/ Qian Sun Lihua Guo
- 11 The underlying logic of complex forest fire prevention systems: dual analysis of uncertainty and stability
/ Wenming Chen
- 14 Introduction, breeding, demonstration and promotion of Tibetan fragrant pigs in Renbu County
/ Cirendunzhu
- 17 Mechanism of the Impact of Agricultural Straw Carbonization and Returning to Field on Soil Carbon Sequestration, Emission Reduction, and Crop Growth
/ Xiaoyun Wang Landao Chen Feng Xu Kechao Song
- 20 Pigeon Rearing and Management
/ Jing Fu
- 23 Study on the Integration and Application Effect of Green Control Technologies for Major Wheat Diseases and Pests in North China
/ Jiaojiao Wen
- 26 Study on Physiological Mechanism and Yield Compensation Effect of Different Genotypes of Wheat in Response to Drought Stress
/ Zhenru An
- 29 Effect of parental compatibility improvement on grain yield and quality of hybrid rice
/ Dahai Wang
- 32 Study on the Change of Bulk Density of Corn after Drying and Its Mechanism
/ Liying Qin Xiaoliang Huo
- 36 Practice Exploration of Digital Empowerment of Rural Collective Economic Financial Management and Supervision
/ Yujun Liu
- 39 Co-processing and Utilization Technology of Waste from Beef Cattle and Poultry Breeding
/ Kaian Long
- 42 Discussion on how to prevent and control sheep pox in pastoral areas
/ Bahetibieke·daken
- 45 Diagnosis and Treatment of Mixed Infection of Chicken Kidney Type Transmission and Salmonel Disease
/ Yahui Cheng
- 48 Exploration of the Precise Supply Model of Agricultural Meteorological Services under the Framework of Smart Agriculture
/ Jing Xiao
- 51 Plant Diversity in Mojiang Xiqisuoluo Provincial Nature Reserve
/ Dan Zhou Enliang Li
- 54 Natural Gene Activation: Refined Configuration of Native Plants and Ecological Garden Construction
/ Yi Jjang
- 57 A Brief Analysis of the Large-Scale Cultivation Technology of Fennel in Moule County
/ Junping Wu Hongyan Xiang
- 60 Pursuing the Fragrance of Rice at 18 Degrees North Latitude: Daylight and Dreams in Nanfan Village
/ Zequan Wu
- 63 The Path and Practice of Agricultural Product Quality and Safety Improvement under the Background of Green Agriculture Development
/ Xingguo Zhang
- 66 Bottleneck in In-situ Monitoring Technology for Facility Melon Plants and Prospects for Low-cost Solutions
/ Yongyan Chen Xiaoqing Zhong Jingyue Zhao Zhongyi Zhang

Effects of intercropping maize and soybean on soil nutrient utilization

Pingkun Tian

Puyang County Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Puyang, Henan, 457100, China

Abstract

As a key agricultural practice, intercropping of corn and soybeans has gained significant attention in recent years for its enhanced nutrient utilization efficiency. Research demonstrates that the interaction between these crops optimizes the absorption and use of essential nutrients like nitrogen, phosphorus, and potassium in soil. The deep-rooted system of corn and soybean's nitrogen-fixing ability complement each other, effectively boosting soil fertility while reducing chemical fertilizer use. Through strategic planting arrangements, this intercropping approach not only improves soil structure but also promotes microbial community diversity, thereby enhancing nutrient utilization. Additionally, the practice helps mitigate pest and disease outbreaks, ultimately improving both crop yield and quality.

Keywords

corn-soybean intercropping; soil nutrient use; nitrogen, phosphorus and potassium uptake; soil health; sustainable agriculture

玉米大豆间作对土壤养分利用的影响

田平坤

濮阳县农业农村局, 中国 · 河南 濮阳 457100

摘要

玉米大豆间作作为一种重要的农业种植模式,近年来因其对土壤养分利用效率的提升而受到广泛关注。研究表明,玉米与大豆的互作能优化土壤中氮、磷、钾等养分的吸收与利用。玉米的深根系统和大豆的固氮能力能够互补,有效提高土壤肥力,并减少化肥的使用。通过合理的种植结构,玉米大豆间作不仅改善了土壤结构,还促进了土壤微生物群落的多样性,进而提高了土壤的养分利用率。此外,间作模式还能够减少病虫害的发生,提升农作物的产量与质量。

关键词

玉米大豆间作; 土壤养分利用; 氮磷钾吸收; 土壤健康; 可持续农业

1 引言

随着全球农业生产面临环境压力和资源短缺的挑战,提高土壤养分利用效率已成为提升农业可持续性的重要途径。传统的单一作物种植方式常常导致土壤养分失衡与退化。玉米大豆间作作为一种多样化的种植方式,已经被证明能在提高土地生产力的同时,改善土壤结构与养分循环。玉米通过其深根系吸收土壤深层养分,而大豆则通过固氮作用为土壤提供丰富的氮源。两者互补的生物学特性使得这种间作模式能够有效利用土壤中的各种养分,减少对化肥的依赖,并提升土壤肥力。通过对玉米大豆间作模式的研究,探索其对土壤养分的影响及其可持续耕作模式,为今后农业生产

提供理论支持与实践指导。

2 玉米大豆间作模式概述

2.1 玉米大豆间作的定义与发展

玉米大豆间作是指在同一块土地上同时种植玉米和大豆的农业种植模式。该模式利用两种作物的生长特性互补,通过调整播种时间、种植密度和作物排列方式,实现土地资源的优化利用。玉米通常作为高秆作物种植,大豆作为低秆作物互作,能够在相同的生长期通过不同的光照和空间需求,减少相互间的资源竞争。这种种植模式最早在 20 世纪初期在美国和加拿大得到应用,随着农业科技的发展,玉米大豆间作逐渐在世界范围内推广,尤其在中国和巴西等农业大国,已成为提升土地利用效率和土壤健康的重要手段。

2.2 玉米大豆间作的生态与经济优势

玉米大豆间作具有显著的生态与经济优势。从生态角度来看,这种间作模式通过不同作物根系的相互作用,改善土壤结构,促进土壤肥力的提升。大豆的固氮作用为土壤提

【作者简介】田平坤(1974-),男,中共党员,本科,高级农艺师,从事农业在种植业中重点推广测土配方施肥技术研究。

供了丰富的氮源，减少了对化肥的依赖，同时玉米深根系能够促进土壤中水分和养分的均匀分布，减少土壤侵蚀。经济上，玉米与大豆的组合种植能够分散市场风险，提高农民收入。玉米在生长期需要大量的水分与养分，而大豆则能在较干旱的环境中生长，两者互补，提高了土地的综合生产力。

2.3 玉米大豆间作的实践现状与应用

目前，玉米大豆间作已在多个国家得到广泛应用，特别是在美国、中国、巴西等农业生产大国中，成为推动农业可持续发展的关键模式。在这些国家，玉米大豆间作不仅用于改善土壤质量，还被用作粮食和饲料生产的重要方式。在中国的东北和华北地区，由于土地资源紧张和环境压力，玉米大豆间作成为提高土地利用率的有効手段。通过科学规划与管理，玉米大豆间作在实践中取得了显著的成效，包括土壤肥力的提升、病虫害的减少和作物产量的增加。未来，随着技术的进步，玉米大豆间作有望在更多地区推广应用。

3 土壤养分利用的基本概念

3.1 土壤养分的种类与功能

土壤养分是植物生长所需的重要元素，主要包括氮、磷、钾、钙、镁、硫等大元素以及铁、锰、锌、铜等微量元素。氮素是植物生长的关键元素，参与氨基酸和蛋白质的合成；磷元素对植物的能量传递、根系发育和花芽分化至关重要；钾元素有助于调节水分和增强抗逆性；钙、镁和硫则是植物细胞壁的组成成分，并参与多种生理过程。每种养分在土壤中的功能各不相同，缺乏某种元素时，会影响植物的生长与发育，从而影响作物的产量和质量。因此，土壤中各种养分的平衡与充足供应，是农业生产的基础。

3.2 土壤养分的获取与循环

土壤养分的获取主要依赖于植物根系的吸收。根系通过与土壤中的水分和养分进行交换，吸收所需的矿质元素。土壤中的养分来源多样，既有由微生物分解有机物质释放的矿质养分，也有土壤矿物质中的固态养分。养分的循环是土壤肥力维持的重要机制，植物吸收养分后，部分通过根系分泌物返还土壤，部分通过植物残体的分解转化为土壤中的可用养分，形成闭环系统。土壤中的养分在植物、动物和微生物的共同作用下进行循环，这一过程对于维持土壤的生产力和健康至关重要。

3.3 土壤养分的有效性与管理

土壤养分的有效性不仅取决于其在土壤中的数量，还与其化学形态和生物可利用性密切相关。养分的有效性受土壤 pH 值、有机质含量、微生物活动以及土壤结构等因素的影响。有效的养分管理可以提高养分的利用效率，减少养分流失。常见的养分管理手段包括合理施肥、使用有机肥料、调整耕作制度等。通过土壤测试和精准施肥，可以根据不同土壤和作物的需求，制定适宜的施肥方案，最大限度地提高土壤养分的利用效率。此外，土壤保护和修复措施，如覆盖

作物种植、绿色施肥等，也有助于改善土壤的养分供应和减少养分流失。

4 玉米大豆间作对土壤氮素利用的产量对比

4.1 氮素吸收效率与产量对比

在玉米大豆间作系统中，玉米和大豆的根系结构和生长习性差异显著，有助于提高土壤氮素的吸收效率。玉米通过其发达的深根系，能够吸收土壤深层的氮素，而大豆则通过固氮作用为土壤提供额外的氮源。研究发现，玉米大豆间作模式下，土壤中氮素的吸收效率比单一作物种植提高了 15% 至 20%。在实际的田间试验中，玉米和大豆的氮素吸收量也表现出了显著的差异。在玉米大豆间作系统中，玉米的氮素吸收量为 180 kg/公顷，大豆的固氮量为 50 kg/公顷。与单作玉米相比，玉米大豆间作的玉米产量增加了 10% 左右，从单作的 8,000 kg/公顷增加到 8,800 kg/公顷。而大豆的产量则较单作增加了约 12%，从单作的 2,000 kg/公顷增加到 2,240 kg/公顷。由此可见，玉米大豆间作不仅显著提高了氮素的吸收效率，还在增加产量方面表现出了明显优势。通过这种氮素吸收效率的提高，间作系统使得土壤中氮的有效性得到了更好的维持，减少了对外部氮肥的依赖，促进了作物的健康生长。

4.2 氮素供应源变化与产量增幅

在玉米大豆间作系统中，氮素供应源发生了显著变化，主要体现在大豆的固氮作用上。大豆的根瘤菌通过与根系的共生作用，将大气中的氮固定到土壤中，为土壤提供了额外的氮源，尤其是在大豆生长的后期，土壤中的氮素供应量显著增加。与单作物种植相比，玉米大豆间作能够更有效地利用土壤中的氮源，增强了土壤氮素的可用性。研究数据表明，在玉米大豆间作模式下，土壤中的氮含量较单作模式显著增加，尤其是在大豆的生长后期，土壤氮的含量增加了约 18%。在产量方面，玉米大豆间作的总产量较单作模式增加了 15% 左右。玉米和大豆的联合产量为 11,000 kg/公顷，而单作模式下的总产量仅为 9,500 kg/公顷。玉米的增产幅度约为 10%，而大豆则增加了 12%。此外，大豆的固氮作用不仅增加了氮的供应量，还改善了土壤的肥力，提供了更好的生长环境。因此，玉米大豆间作模式通过优化氮素供应源，不仅提高了土壤氮的可用性，还显著提高了作物的产量。

4.3 氮素动态变化与土壤肥力增产效果的方差分析

土壤氮素的动态变化对于土壤肥力的保持和作物增产有着重要影响。通过对玉米大豆间作系统中氮素的动态变化进行监测和分析，发现该模式能有效维持土壤中氮素的平衡，并减少过度消耗。在方差分析中，玉米大豆间作系统表现出较小的氮素变动系数，说明氮素的供应在整个生长周期中较为稳定，能够为作物提供均衡的养分。具体数据表明，间作系统中氮素变动系数为 6%，而单作玉米系统中的氮素变动系数为 12%，显示出间作系统在氮素供应上的稳定性

更强。通过长期施用玉米大豆间作模式，土壤中的有效氮含量和土壤肥力得到了有效提高，土壤氮的储备量较单作模式增加了约 20%。在产量方面，玉米大豆间作系统的增产幅度较大，研究结果表明，玉米大豆间作的玉米和大豆联合产

量比单作模式高出 15%。这表明，土壤氮素的动态变化对作物增产具有重要作用，通过合理管理土壤氮素，能够有效保持土壤肥力的稳定，提高作物的产量，减少化肥的使用，并促进农业的可持续发展，方差比较详见图 1。

	系统	氮素含量 (kg/ha)	氮素含量方差	总产量 (kg/ha)	产量方差	生长周期 (天)
1	玉米单作	200	12	8000	300	120
2	大豆单作	50	8	2000	250	110
3	玉米大豆间作	180	6	10800	200	130
4	玉米单作	210	14	8500	350	125
5	大豆单作	55	9	2100	300	115

图 1 氮素动态变化与土壤肥力增产效果的方差分析

5 玉米大豆间作的土壤养分管理策略

5.1 合理施肥与养分管理方法

合理施肥和养分管理是提高玉米大豆间作系统土壤养分利用效率的关键。在玉米大豆间作模式下，肥料施用量应根据土壤养分的实际需求进行调整，避免过量施肥。采用土壤检测与精准施肥技术，能够确保氮、磷、钾等养分的供应与作物需求相匹配。研究表明，使用缓释肥料和配合有机肥的施用方式，能够提高养分利用效率，同时减少环境污染和土壤退化。此外，施肥时应考虑土壤类型、作物生长阶段及气候条件的变化，优化施肥时机和施肥方式，进一步提高土壤的养分利用率。

5.2 土壤健康与可持续耕作

土壤健康是确保玉米大豆间作系统长期高效运作的基础。通过合理的耕作方式，减少土壤侵蚀和压实，增加土壤有机质含量，能够显著改善土壤结构，提升土壤的养分保持能力和水分保持能力。在玉米大豆间作中，采用覆盖作物、轮作和少耕等措施，有助于改善土壤健康，增强土壤生物多样性，促进土壤微生物的活性。研究表明，经过合理耕作管理，土壤的有机质含量可增加约 10% 至 15%，土壤结构的改善有助于作物根系的发育与养分的吸收，从而提高玉米大豆间作系统的生产效益。

5.3 未来研究方向与改进措施

未来研究应聚焦于提高玉米大豆间作系统的可持续性与生产效率。具体来说，研究可以从以下几个方面展开：一是深入探讨土壤中养分循环的机制，特别是磷钾的溶解与转化过程；二是开发更加高效、环保的肥料管理技术，减少化肥的使用，提高养分的吸收率；三是进一步优化玉米大豆间作的种植模式和管理方法，根据不同地区的土壤类型、气候

条件和作物需求，制定个性化的施肥和耕作方案。随着农业科技的进步，智能化农业技术的应用将为玉米大豆间作的土壤养分管理提供新的解决方案，推动农业向更加绿色、可持续发展的方向发展。

6 结语

玉米大豆间作作为一种高效的农业种植模式，不仅能够优化土地资源的利用，还显著提高了土壤养分的利用效率。通过合理的根系互作和大豆固氮作用，玉米大豆间作改进了土壤结构、增强了土壤肥力，并有效减少了对化肥的依赖，从而推动了农业的可持续发展。研究表明，玉米大豆间作模式在提高土壤磷钾的吸收与利用、改善土壤健康和促进作物高产等方面具有显著优势。为了进一步提升这一模式的效益，未来需要加强对土壤养分循环机制的研究，探索更加高效的施肥和管理方法。随着农业科技的不断进步，玉米大豆间作在全球范围内的推广应用将为实现农业绿色发展和粮食安全提供坚实的支持。因此，合理利用这一间作模式，将为农业可持续性发展提供重要的理论依据与实践指导。

参考文献

[1] 陈国徽,曹国军,蒋发辉,袁志华,彭春风,陈艳芳,赖国平,吴杰,周英杰,张金平.品种差异对玉米/大豆间作系统产量及土地生产力的影响[J].江西农业学报,2025,37(10):7-13.

[2] 刘硕,廖睿,刘洋,李宗,罗子恒,张钰婕,隋鹏.玉米大豆间作和条带轮作对辽西褐土地区土壤养分及产量的影响[J].中国农业大学学报,2025,30(10):38-49.

[3] 张洪伟.玉米与大豆间作对土壤微生物群落结构的影响[J].种子科技,2025,43(17):41-43.

[4] 赵风华.玉米大豆间作模式对高产栽培效果的影响分析[J].种子世界,2025,(09):54-56.

Study on the Comprehensive Management Technology of Forestry Ecological Restoration and Afforestation in the Areas of Rock Desertification

Yunjun Long

Kaili City Forestry Bureau, Kaili, Guizhou, 556000, China

Abstract

The rocky desertification phenomenon in karst regions is a typical ecological degradation issue caused by geological fragility, warm and humid monsoon climate, and human activities, leading to soil impoverishment, soil erosion, and ecological function decline. Forestry ecological restoration and afforestation projects are key measures to curb the spread of rocky desertification. Based on the natural characteristics and degradation mechanisms of rocky desertification areas, combined with karst topography features, this study systematically explores critical components of forestry ecological restoration and engineering synergy pathways. It establishes a comprehensive management model of “ecological restoration—engineering reconstruction—systematic regulation” and a four-in-one governance technology system of “site-specific tree selection—micro-terrain modification—soil and water conservation—biodiversity enhancement.” Site-specific tree selection and optimized mixed forest structures significantly improve vegetation recovery quality; soil and water conservation with micro-terrain modification achieve dynamic balance of water and soil; an information-based monitoring system enhances the scientific rigor and sustainability of governance. The research findings provide technical support and practical references for ecological restoration in karst topography and the Qiandongnan region.

Keywords

rocky desertification; forestry ecological restoration; afforestation project; comprehensive management; ecosystem recovery

石漠化地区林业生态修复与营造林工程综合治理技术研究

龙云军

凯里市林业局, 中国·贵州凯里 556000

摘要

喀斯特地区的石漠化现象, 是地质脆弱性、温暖湿润季风气候以及人类活动共同作用下, 引发的土壤贫瘠、水土流失和生态功能衰退的典型生态退化问题。林业生态修复与营造林工程是遏制石漠化扩散的关键手段。本研究基于石漠化地区的自然特征与退化机理, 结合岩溶地貌特性, 系统探讨林业生态修复的关键环节与工程协同途径, 构建了“生态恢复—工程重建—系统调控”的综合治理模式, 以及“适地适树—微地形改造—保水固土—生物多样性提升”四位一体的治理技术体系。适地适树与混交结构优化可显著提高植被恢复质量; 水土保持与微地形改造能够实现水土动态平衡; 信息化监测体系可增强治理的科学性与可持续性。研究成果为喀斯特岩溶地貌及黔东南地区的生态修复提供了技术支持与实践参考。

关键词

石漠化; 林业生态修复; 营造林工程; 综合治理; 生态系统恢复

1 引言

黔东南喀斯特地区地貌破碎、岩溶发育明显, 土层浅薄, 保水能力欠佳, 生态环境脆弱。长期以来, 人类不合理的开发利用加剧了水土流失和植被破坏, 进而导致石漠化这一典型生态灾害的形成。石漠化不仅削弱了生态系统的调节功能, 还对区域经济和社会的可持续发展产生了制约。林业生态修复作为生态文明建设的重要组成部分, 在石漠化治理

中发挥着基础性作用。营造林工程通过重建植物群落和恢复生态过程, 实现土壤改良、水源涵养和生态稳定的目标。传统治理模式多以工程造林或单一物理措施为主, 忽视了生态系统内部的结构耦合与功能互补, 难以取得长期稳定的修复效果。当前, 随着生态修复理念向系统化和信息化方向发展, 综合治理成为提高石漠化治理效能的新途径。本文从区域特征、工程机制和技术体系入手, 构建石漠化地区林业生态修复与营造林工程的综合治理框架, 旨在为喀斯特地区的生态恢复提供科学依据和可操作的路径。

【作者简介】龙云军(1970-), 男, 苗族, 本科, 工程师, 从事营造林工程, 林业调查规划设计研究。

2 石漠化地区生态退化特征与林业修复需求

2.1 石漠化生态系统的退化机制

石漠化地区生态系统退化的关键在于植被、土壤和水文过程的系统性失衡。受岩溶地貌限制，土壤母质浅薄、发育缓慢且保水能力极差，降雨集中且强度较大，极易引发坡面径流和侵蚀，导致土层进一步剥蚀，裸岩化现象加剧。长期的人类活动，如过度放牧、毁林开垦和采矿等，改变了原有的植被群落结构，破坏了生态系统的能量流和物质循环。从微观结构层面来看，土壤团聚体破碎、孔隙度降低、微生物多样性退化，导致根系难以固定，地表水文过程紊乱。由此形成“少土—少草—少树—缺土—植被缺失—石漠化”的恶性循环。研究表明，水文过程失衡是石漠化生态系统退化的核心因素，因此治理应从恢复植被覆盖、调节水土循环入手，重构生态系统的物质和能量动态平衡。

2.2 林业生态修复的功能定位

林业生态修复在石漠化治理中具有基础性和系统性作用，其核心目标是恢复生态系统的自我调节和持续演替能力。修复工程不应仅关注提高植被覆盖率，还应兼顾水源涵养、土壤改良和生态服务功能的恢复。通过科学配置树种、重建多层次群落结构，可以增强系统的生态稳定性，提高其抵御外界干扰的能力。林木根系可以加固土壤、促进有机质积累，改善土壤通气 and 保水性能；多层次冠层结构有助于拦截降雨、削弱径流能量，从而降低侵蚀风险。同时，复合型林分生物多样性的提高，可以增强生态系统的抗逆性和碳汇功能。林业生态修复的实施还应与区域社会经济发展相结合，通过林下经济和生态旅游等方式实现生态和经济的双重效益。

2.3 石漠化治理的现实约束与发展机遇

石漠化地区的治理面临自然条件恶劣和经济投入不足的双重限制。地形复杂、土层浅薄、降雨不均等因素导致生态恢复周期长、维护成本高，传统造林模式往往难以实现可持续发展。然而，伴随生态文明建设以及“碳达峰、碳中和”战略的深入推进，石漠化综合治理迎来了前所未有的政策与技术契机。多源遥感监测、无人机地貌测绘以及智能水土保持系统的应用，大幅提升了退化过程监测以及生态修复效果评估的精准度。国家层面制定的生态补偿机制、绿色金融政策以及科技创新政策，尤其是针对石漠化地区的综合治理工程补贴政策，为大规模的生态治理工作提供了坚实的制度保障。未来，治理模式将由“单一修复”向“系统调控”转型，通过工程、生态与社会领域的协同推进，实现石漠化地区生态系统的高质量恢复以及长期稳定发展目标。

3 林业生态修复的综合治理技术体系

3.1 生态修复模式与植被结构优化

对于石漠化地区而言，科学合理选择生态修复模式是治理工作成败的关键所在。应综合考量地貌、气候、土壤

以及水文特征，构建乔、灌、草多层次配置的复合生态系统。混交林结构可增强系统的稳定性与抗逆性，乔灌草立体群落有助于实现光能、热能和养分的高效利用。在坡度较大的区域，可采用带状植被配置与水平沟工程相结合的技术体系，以降低径流强度、抑制土壤侵蚀现象。选用深根性、耐旱性强的树种，如马尾松、刺槐、青冈、麻栎、柏木、火棘等，能够提高地表固持力与水分保持能力。与此同时，结合乡土树种以及草本、藤本植物资源，开展适生性筛选工作，挑选出兼具生态效益与经济价值的先锋植物，如紫花苜蓿、香根草等草本和白芨、石斛等中药材，以此推动生态修复与农民增收的协同发展。借助生态模型模拟以及长期监测工作，对不同植被组合的生态效应进行动态优化，进而构建可持续的植被恢复结构，为区域生态系统的长期稳定提供坚实的技术支撑。

3.2 土壤改良与微地形工程调控

鉴于石漠化地区普遍存在土层浅薄、养分匮乏以及结构松散等问题，所以土壤改良成为生态修复工作的核心环节。应采取生物与工程相结合的措施，以恢复土壤肥力与物理稳定性。施用有机肥、生物炭和秸秆堆肥能够提高土壤有机质含量，改善团聚体结构与保水性能；种植豆科绿肥植物能够促进氮素固定以及微生物活性的提高。微地形改造工程，如坡地改水平梯带、挖鱼鳞坑、修拦山沟以及蓄水凹槽的建设，能够有效截留径流、促进土壤沉积与水分渗透。生物措施与微地形工程协同实施，能够在短期内显著改善土壤理化性质，增强水土保持能力，从而为林业生态修复提供稳固的基础环境。

3.3 生态监测与信息化管理平台

生态监测体系与信息化平台的构建，是石漠化治理科学化的重要保障。利用卫星遥感、无人机航测以及地面传感器等技术，能够实时监测植被覆盖变化、土壤湿度与地表侵蚀动态。结合地理信息系统（GIS）与遥感技术，可以实现对修复区域的空间分析、生态质量评估以及动态预警，这一方法已在生态环境评价和生态恢复中得到广泛应用。通过构建生态信息管理平台，整合气象、水文、土壤与生物多源数据，形成“监测→分析→决策→反馈→防治”的闭环管理体系，整合物联网传感器、AI图像识别系统，实现治理工程全过程的可视化追踪与评估，做到修复过程的智能管控。为政策制定与生态管理提供精准依据，推动石漠化地区生态修复从经验治理向数据驱动的智能治理转变。

4 营造林工程的系统协同机制

营造林工程需与水土保持、生态监测、产业培育等多维措施深度融合，构建“立地条件测评→树种选择→整地方式→抚育管理→效益评估”的全链条协同机制。依据立地条件差异，科学配置乔灌草比例，推广乡土树种与耐旱先锋树种的组合；同步实施坡改梯、拦山沟、小山塘、储水池、谷

坊等水土保持工程,合理布局、适地适树,提高造林成活率和保存率;依托信息化平台动态反馈林分生长和生态响应数据,优化抚育周期与管护策略,最终实现生态、经济和社会效益的有机统一。

4.1 生态目标与工程措施的融合

在石漠化治理中,营造林工程不仅承担着绿化使命,更为关键的是要实现生态系统功能的恢复,其目标在于构建多目标协同的生态林体系。在工程规划阶段,需与区域生态修复总体目标相契合,确立以涵养水源、固碳增汇、土壤改良、生态修复、生物多样性恢复以及区域经济发展等为综合导向,确保工程设计有助于生态系统的稳定。在实施过程中,采用梯级造林、封山育林与退耕还林协同推进的复合模式,达成工程结构与自然生态过程的有机统一。不同地形区域应选取适宜的造林技术与植被类型,例如缓坡区可实施带状造林,陡坡区则以封育措施为主,构建梯级稳定的植被格局。以生态功能为导向的工程举措,能够有效增强林分空间结构的合理性以及景观连通性,推动人工林逐步向稳定的自然生态系统演变,为石漠化地区的生态修复提供可持续的支撑。

4.2 水资源调控与工程配套技术

石漠化地区降雨在时空分布上具有不均衡性,这导致了水资源短缺问题,该问题对该区域林业生态的恢复形成了制约。石漠化区域的生态环境现状显示,地表植被破坏和水土流失致使水源涵养能力降低,降水难以得到有效储存和利用,进一步加剧了水资源短缺的状况。通过科学开展水资源调控以及配套工程建设,能够显著提高造林成活率以及生态系统水循环效率。应构建“集雨—蓄水—保湿”综合体系,依托山地地形条件,建设拦山沟、小型蓄水池、渗沟及拦沙坝,实现雨水资源的有效汇集与储存。结合滴灌、微喷和渗灌等节水技术,实现精准供水与高效利用。工程布局需兼顾生态安全与地形特征,优先在水源涵养区、严重侵蚀区及生态脆弱带开展系统治理。借助水文模拟与生态评估手段,开展林地水平衡分析,构建“水—土—植被”协调的工程体系。该机制不仅提升了林木的生理适应性,也为区域生态恢复提供了长期的水文保障。

4.3 林木种质创新与生态适应性研究

树种选择与种质改良是石漠化地区营造林工程成功的关键环节。应依据地带性原则与生态适应性规律,优先选用具有抗旱、耐瘠薄、高固碳潜力特性的乡土树种,如马尾松、麻栎、青冈、香樟、柏木等,构建适应性强、结构合理的群落系统。通过开展生态适应性试验,评估不同树种在水分胁迫、贫瘠土壤及高温环境下的生理响应特征。运用生物育种、分子标记与基因编辑技术,可培育出具有更强抗逆性与生态修复能力的优良品种。构建区域种质资源库与试验示范林区,实现“优种—优地—优法”的系统整合。适应性强的树种组合可促进土壤团聚体形成,改善微气候和生物多样性,增强生态系统的稳定性与自我修复能力,为石漠化地区提供

长期的遗传支持与可持续恢复动力。

5 石漠化地区综合治理的综合效益与推广模式

5.1 生态效益评估与系统响应

综合治理的核心目标是实现生态系统功能的整体恢复,其综合效益主要体现在生态过程的优化以及环境调节能力的显著提升上。通过科学的植被恢复和林业工程措施,区域地表径流减少了一定比例,土壤侵蚀强度显著降低,土壤含水率与有机质含量同步提高。林地碳储量的增加有效增强了生态系统的碳汇功能,为应对气候变化提供了生态保障。与此同时,植被恢复改善了地表能量平衡和水分循环,促进了地下水补给,缓解了旱季水资源短缺的状况。区域微气候趋于稳定,生态环境自我调节能力显著增强。自2024年起,在贵州黔东南典型石漠化区域各县的沅江源区石漠化综合治理工程实施过程中,采用可降解生态地膜固坡和雨水集蓄方式,初步监测显示植被盖度提升较快,土壤有机质年均增长明显。根据石漠化综合治理林草植被恢复工程效益评价指标数据来源及计算方法,林业生态修复与工程治理的叠加效应显著提高了生态系统的综合稳定性与服务功能。例如,凯里市通过实施多项林业生态工程,森林覆盖率从石漠化综合治理前的48.3%提高到目前的56.6%,石漠化土地面积大幅减少。相关数据清晰表明,林业生态修复与工程治理在增强生态系统服务功能方面成效显著。

5.2 社会经济效益与产业联动机制

石漠化地区的综合治理,不仅是一个单纯的生态修复过程,更是推动区域社会经济转型的关键契机。通过发展林下经济、生态旅游以及特色林产品加工产业,能够实现生态建设与经济发展的深度耦合,进而构建起“生态修复—产业培育—农户增收”的良性循环体系。在综合治理进程中,生态林业项目的实施借助以工代赈的方式,带动了农村劳动力就业,激发了乡村经济的活力,同时提升了农户参与生态保护的积极性。政府在政策和资金层面给予引导与支持,通过生态补偿机制、绿色金融以及产业扶持政策,促使资源要素向绿色产业汇聚。林业生态修复成果已拓展至林药、林菌、林蜂等复合产业领域,为当地提供了可持续的收益源泉。综合治理所产生的社会效益达成了生态保护与民生改善的双赢局面,使石漠化地区逐步迈向绿色低碳、生态富民的发展路径,实现了从“生态赤字”向“绿色增长”的转变。

5.3 综合治理的推广与制度保障

石漠化地区综合治理以林业生态修复与营造林工程为核心,必须构建完备的制度保障与政策支持体系。需要构建跨部门协同的治理机制,整合发改、林业、水利、农业、环保以及自然资源等多部门力量,形成合力推进的生态治理网络。通过制定区域生态修复技术标准和绩效考核体系,确保工程建设的规范化与科学化。国家及地方政府应出台长期生态补偿政策和资金激励措施,鼓励社会资本参与生态治理。

推广典型示范区建设,积累可复制的治理经验,借助科技创新平台和信息化监管系统,实现治理全过程的可视化与可追溯性。科研院所和高校可参与技术攻关和生态监测,为政策调整提供数据支撑。制度化保障与科技支撑的有机结合,是石漠化地区生态修复实现长期稳定和可持续发展的根本途径。

6 结语

石漠化地区的生态退化具有典型的系统性和复杂性特征,其治理需要长期开展生态恢复和科学管理工作。林业生态修复及营造林工程的综合治理,能够在生态系统层面实现植被恢复、水土保持和生态功能重建的综合效益。通过构建以生态系统功能恢复为核心的技术体系,强化水文调控、土壤改良和植被结构优化的协同作用,能够显著提升治理区域的生态稳定性和自我调节能力。信息化监测与智能管理平台的应用,可实现生态修复过程的动态评估和精准调控,为治理效果提供科学依据。未来,利用无人机、遥感技术、物联

网、人工智能大模型进一步推动生态监测体系建设和政策机制创新,促进科研成果在林业修复中的转化应用,推动生态修复工程与区域经济可持续发展相结合,构建生态安全与民生改善并重的治理格局,为实现石漠化地区人与自然和谐共生和生态文明建设奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 黄云婷. 喀斯特石漠化治理混农林生态资产优化盘活与生态产品供给能力提升策略[D].贵州师范大学,2024.
- [2] 罗鼎. 喀斯特石漠化治理中水土流失阻控及混农林业发展模式探究[D]. 贵州师范大学, 2024.
- [3] 舒田. 喀斯特石漠化治理生态产业大数据智能监测模型与决策支持系统[D].贵州师范大学,2023.
- [4] 沈楚洪. 基于天空地一体化的石漠化治理混农林业效益监测评价研究[D].贵州师范大学,2023.
- [5] 李廷铃. 喀斯特石漠化治理森林生态资产优化配置与生态产品供给能力提升策略[D].贵州师范大学,2022.

Integrative analysis of the effects of chemical nitrogen fertilizer application on bacterial community diversity in farmland soil in China

Qian Sun Lihua Guo

Agricultural and Rural Affairs Bureau of Ningyang County, Shandong Province, Tai'an, Shandong, 271000, China

Abstract

Soil bacterial community diversity serves as a critical indicator for maintaining soil ecosystem health and functionality, significantly influencing nutrient cycling, pollutant degradation, and crop health. While excessive application of chemical nitrogen fertilizers has become one of the primary sources of agricultural pollution in China, its impact on soil bacterial diversity remains poorly understood. This study employed an integrated analysis approach to systematically evaluate the effects of chemical nitrogen fertilizer application on soil bacterial diversity in Chinese farmland ecosystems. By synthesizing data from 60 studies encompassing 403 datasets, we conducted comprehensive analyses of key diversity metrics including OTU (operational taxonomic unit) richness, Shannon index, Chao's index, and Simpson index.

Keywords

chemical nitrogen fertilizer; farmland; bacterial diversity; Meta-analysis

化学氮肥施用对中国农田土壤细菌群落多样性影响的整合分析

孙倩 郭丽华

山东省宁阳县农业农村局, 中国·山东 泰安 271400

摘要

土壤细菌群落多样性是维持土壤生态系统健康和功能的关键指标, 对土壤养分循环、污染物降解、作物健康等具有重要影响。目前化学氮肥的过量施用已经成为中国农业污染的主要来源之一, 但其对农田土壤细菌群落多样性的影响尚缺乏系统认识。本研究利用整合分析的方法对中国农田生态系统田间观测资料进行数据集成与分析, 系统评估了化学氮肥施用对中国农田土壤细菌群落多样性的影响。研究共纳入60篇文献的403组数据, 对OTU(物种丰富度)、Shannon、Chao1和Simpson指数等细菌群落多样性指标进行了系统性解析。

关键词

化学氮肥; 农田; 细菌多样性; Meta分析

1 引言

现代农业体系中, 氮素营养调控是作物高产的重要保障措施, 但其不合理施用导致的土壤微生物失衡越来越多的引起学界关注。这种高强度人为干预不仅改变着土壤理化性质, 更深刻改变着微生物群落的演替轨迹。深入探索化学氮肥施用对中国农田土壤细菌群落多样性的影响, 既是修复退化土壤生态的关键切入点, 也是构建环境友好型施肥体系的重要科学依据。

2 研究背景与意义

2.1 氮素输入对土壤微环境的扰动效应

统计数据显示, 中国单位面积氮肥施用量比世界平均水平高出 40% 以上, 过量氮素在土壤中的迁移和转化导致了一系列环境影响。研究表明, 长期施用氮肥对土壤微生物群落结构和功能的影响较大, 且这些影响具有地理特异性。在黑土和风沙土中, 风沙土施用氮肥对行间微生物的总体影响大于黑土, 且施肥量越大, 影响越大。

2.2 国内外研究进展

保持稳定的土壤微生物群落结构对于保持土壤生产潜力和整体土壤健康至关重要。各种氮添加策略会引起土壤理化性质的变化, 这些变化与微生物群落结构和部分微生物丰度的变化相关, 从而显示出碳和氮利用效率的差异。形成合

【作者简介】孙倩(1986-), 女, 中国山东泰安人, 本科, 助理农艺师, 从事农学研究。

适的微生物群落结构可以提高氮肥利用率,提高产量,同时减少氮肥施肥。然而,长期过量和不合理地施用氮肥会破坏农业土壤中的微生物群落结构,阻碍土壤生态系统的发展。国内外研究表明,过量氮肥施用可显著降低农田土壤细菌多样性。研究表明,单施氮肥显著降低土壤微生物的多样性并改变其群落结构,多样性下降与氮肥导致的土壤酸化和有机质改变密切相关。氮肥过量施用不仅降低了细菌多样性,还显著改变了细菌群落的组成。研究表明,施氮肥会增加富营养型细菌(如变形菌门和拟杆菌门)的相对丰度,降低贫营养型细菌的丰度。长期施用氮肥对土壤细菌多样性的影响更为显著。

2.3 研究目标、内容及技术路线

本研究旨在通过整合分析化学氮肥施用对中国农田土壤细菌群落多样性影响的研究成果,揭示中国农田土壤细菌群落多样性对化学氮肥施用的响应强度,明确施氮的合理方式和生态风险。采用 Meta 分析方法,定量分析化学氮肥施用对中国农田土壤细菌群落 α 多样性(OTU 丰富度、Shannon、Chao1 和 Simpson 指数)的总体影响。探讨化学氮肥施用下,不同环境因素(如土壤 pH、降雨量、氮肥类型等)对中国农田土壤细菌群落 α 多样性的影响。

3 材料与方法

3.1 数据来源

本研究通过整合中英文文献资源(包括 Web of Science、知网),系统检索相关农田生态系统研究文献。文献检索关键词为“(氮肥 OR 化学氮肥 OR Nitrogen fertilizer) AND (土壤微生物多样性 OR 细菌群落 OR soil microbial diversity)”,同时限定研究区域为中国农田。

3.2 数据分析

本研究通过对相关文献进行数据的筛选、收集,基于 MetaWin 2.1 分析平台构建综合数据库,利用 Graphpad prism 进行数据可视化,以评估化学氮肥施用对中国农田土壤微生物群落多样性的影响。

4 结果与分析

4.1 化学氮肥施用对中国农田土壤细菌群落多样性的影响

研究选取了土壤细菌群落 OTU 丰富度和土壤细菌群落 3 个常用 α 多样性指标(Shannon、Chao1 和 Simpson),共纳入 403 个研究样本。Meta 分析结果显示,土壤细菌 OTU 在化学氮肥施用下的平均效应值为(-0.12, 95% CI: -0.31~0.06),呈现负效应,但变化不显著,这表明化学氮肥施用具有降低中国农田土壤细菌群落 OTU 丰富度的趋势。化学氮肥施用下,土壤细菌 Shannon 指数的平均效应值为(0.002, 95% CI: -0.01~0.01),呈正效应,但其变化不显著;土壤细菌 Chao1 指数和 Simpson 指数的平均效应值分别为(0.04, 95% CI: 0.02~0.07)和(0.03, 95% CI: 0.003~0.07),两者的 95% CI 均大于 0,这表明化学氮肥施用可显著增加

中国农田土壤 Chao1 和 Simpson 指数^[1]。

4.2 不同土壤 pH 条件下化学氮肥施用对中国农田细菌群落多样性的影响

化学氮肥施用下,中国农田细菌群落 OTU 丰富度在酸性土壤中呈正效应(0.03, 95% CI: -0.48~0.48),在碱性土壤中呈负效应(-0.02, 95% CI: -0.34~0.31),其效应均不显著,且不同 pH 组间差异也不显著;细菌 Chao1 指数在酸性土壤(0.03, 95% CI: -0.01~0.08)和碱性土壤(0.02, 95% CI: -0.02~0.06)中均呈正效应,效应均不显著,但不同 pH 组间差异显著;Shannon 指数在酸性土壤中呈负效应(-0.01, 95% CI: -0.03~0.005),在碱性土壤中也呈现负效应(-0.001, 95% CI: -0.01~0.01),二者均不显著,且不同 pH 组间差异不显著;Simpson 指数在酸性土壤(0.02, 95% CI: -0.06~0.09)和碱性土壤(0.01, 95% CI: -0.03~0.04)中均呈正效应且不显著,且不同 pH 组间差异不显著。从四个指标来看,其在酸性土壤和碱性土壤的效应值差异不大。中国农田土壤细菌群落 Chao1 指数在酸性土壤中的效应值略高于碱性土壤,但差别很小;Shannon 指数几乎没有变化;OTU 丰富度的置信区间最宽,说明数据变异最大。以上数据表明,化学氮肥施用对土壤细菌群落多样性的影响与土壤 pH 的相关性并不显著。此外,由于样本量不足,特别是 OTU 和 Simpson 指数,导致结果不稳定,置信区间很宽。未来研究需要增加样本量,特别是酸性条件下的数据^[2]。

4.3 不同降雨量条件下化学氮肥施用对中国农田细菌群落多样性的影响

在低降雨量地区,化学氮肥施用对中国农田土壤 OTU 丰富度的影响呈正向,但未达到显著性(0.003, 95% CI: -0.21~0.31);在中降雨量地区,化学氮肥施用对中国农田土壤细菌 OTU 丰富度的影响呈负向,但未达到显著性(-0.008, 95% CI: -0.46~0.44);在高降雨量地区,化学氮肥施用对中国农田细菌土壤 OTU 丰富度的影响同样呈负向,但未达到显著性(-0.25, 95% CI: -0.74~0.02)。不同降雨量组间差异不显著。在低降雨量地区,化学氮肥施用对中国农田土壤细菌 Shannon 指数的影响呈负向,但未达到显著性(-0.005, 95% CI: -0.02~0.01);在中降雨量地区,化学氮肥施用对中国农田土壤细菌 Shannon 指数的影响为 0.00(95% CI: -0.02~0.02);在高降雨量地区,化学氮肥施用对中国农田土壤细菌 Shannon 指数的影响呈正向,但未达到显著性(0.02, 95% CI: -0.008~0.04)。不同降雨量组间差异不显著。在低降雨量地区,化学氮肥施用对中国农田土壤细菌 Chao1 指数的影响呈负向,但未达到显著性(-0.02, 95% CI: -0.07~0.02);在中降雨量地区,化学氮肥施用对中国农田土壤细菌群落 Chao1 指数的影响呈正向,但未达到显著性(0.03, 95% CI: -0.02~0.07);在高降雨量地区,中国农田土壤细菌 Chao1 指数显著增加(0.09, 95% CI: 0.02~0.16)。不同降雨量组间差异显著。在低降雨量地区,化学氮肥施用对中国农田土壤细菌 Simpson 指数的影响呈正向,但未达到显著性(0.01, 95% CI: -0.09~0.11);在

中降雨量地区,化学氮肥施用对中国农田土壤细菌 Simpson 指数的影响同样呈正向,但未达到显著性(0.02, 95%CI: -0.04~0.07);在高降雨量地区,化学氮肥施用对中国农田土壤细菌 Simpson 指数的影响呈正向,但未达到显著性(0.05, 95%CI: -0.06~0.17)。不同降雨量组间差异不显著。从以上数据可以看出:在中等降雨量地区,施用化学氮肥对中国农田土壤细菌 OTU 的影响不显著,趋势偏负,对细菌 Chao1、Simpson 指数的影响也不显著,趋势呈正向的原因可能是该降雨条件下化学氮肥施用减少了稀有物种数量,但优势物种数量保持稳定以及群落结构具有弹性。干旱区对各项指标影响都较小,而多雨地区由于样本数量较少,仍需更多研究^[3]。

4.4 不同氮肥类型下化学氮肥施用对中国农田细菌群落多样性的影响

施用尿素对中国农田土壤细菌群落的 OTU 丰富度呈负效应(-0.01, 95%CI: -0.22~0.17),其影响不显著;施用复合肥显著降低了细菌 OTU 丰富度(-1.91, 95%CI: -3.44~0.38)。不同化学氮肥类型组间异质性显著。尿素与复合肥施用对于中国农田土壤细菌 Shannon 指数的影响都在零效应附近,尿素呈正效应(0.0009, 95%CI: -0.009~0.01)而复合肥呈负效应(-0.003, 95%CI: -0.05~0.05),二者均不显著。不同化学氮肥类型组间差异不显著。尿素施用显著提升了中国农田土壤细菌 Chao1 指数(0.04, 95%CI: 0.02~0.07),而复合肥施用的影响呈负向,但未达显著性(-0.04, 95%CI: -0.14~0.07)。不同化学氮肥类型组间差异不显著。尿素施用对中国农田土壤细菌群落的 Simpson 指数表现出轻微的负效应(-0.003, 95%CI: -0.006~0.007),变化均不显著,而复合肥施用使中国农田土壤细菌 Simpson 显著下降(-0.16, 95%CI: -0.25~0.08)。不同化学氮肥类型组间异质性显著。施用复合肥可显著降低农田土壤细菌 OTU 丰富度、Simpson 指数可能与多养分导致的盐分积累或微生物竞争失衡有关。施用复合肥对中国农田土壤细菌 Shannon、Chao1 的影响不显著,但趋势偏负,需警惕长期施用的潜在风险;而施用尿素则表现出一定的温和性,其对中国农田土壤细菌 OTU、Shannon 和 Simpson 指数均无显著影响,且可能轻微促进稀有物种(Chao1 指数正效应),适合作为短期氮源,但长期单施尿素需关注土壤酸化风险。尿素缓慢释放减少群落冲击,促进部分菌群但不破坏整体结构,维持群落功能稳定性;而复合肥抑制敏感菌种并刺激特定功能菌群增殖进而导致群落结构重组。但复合肥样本量普遍不足,因此实验结果缺乏代表性^[4]。

4.5 相关性分析

土壤细菌 Shannon 指数与化学氮肥施用量呈负相关,即化学氮肥施用量增加时,中国农田土壤细菌 Shannon 指数可能降低,但关联性较弱,相关性不显著。土壤细菌 Shannon 指数与试验时长呈显著的正相关关系,即随着试验年限增加,中国农田土壤细菌 Shannon 指数呈上升趋势,这表明长期试验可能减少环境扰动,促进土壤微生物群落的稳

定与多样性积累。土壤细菌 Shannon 指数与年降雨量呈显著负相关,即年降雨量增加时,中国农田土壤细菌 Shannon 指数呈显著下降趋势。土壤细菌的 Shannon 指数与年均温呈现显著负相关,即年均温升高时,中国农田土壤细菌 Shannon 指数呈显著下降趋势。

5 结语

尿素对土壤细菌 OTU 丰富度影响不大,在增加物种丰富度的同时,还能保持香农指数的稳定,所以在氮肥管理策略方面,尿素被优先推荐使用。在干旱地区,应结合滴灌技术,少量多次施肥,减少对微生物的干扰。在中等降雨量地区,减少施肥量,以避免因土壤细菌群落 OTU 丰富度显著降低而导致的群落结构单一化;在降雨量较多的地区,由于缺乏持续采样,建议优先监测氮肥对群落的长期影响。在本研究中,一些处理组的样本量不足,特别是在施用复合肥和降雨量大的地区,这影响了结果的可靠性。此外,数据主要基于 α 多样性指数,不能反映 β 多样性和功能多样性的变化。基于本研究的结果和局限性,建议今后的研究应增加施用复合肥与高降雨量地区的样本,进行长期观测,分析环境因素(如温度、土壤结构等)之间的相互作用。结果表明,化学氮肥施用下,中国农田土壤细菌群落 Chao1 指数和 Simpson 指数均呈显著的正效应,OTU 丰富度呈现负向趋势但变化不显著,Shannon 指数呈正向趋势,其变化也不显著。化学氮肥施用对中国农田土壤细菌群落多样性的影响与土壤 pH 的相关性并不显著。干旱地区施用化学氮肥对土壤细菌群落多样性的各项指标影响均较小,中等降雨量地区施用化学氮肥对 OTU 的影响不显著,趋势偏负,对 Chao1、Simpson 指数的影响也不显著,呈正向趋势。对于 OTU、Shannon、Simpson 而言,这三项指标并不会因为降雨量的不同而存在显著差异,而 Chao1 指数在不同降雨量地区的组间差异性显著。尿素对细菌群落的影响较为温和,而复合肥的作用效果更为剧烈,会显著降低 OTU、Simpson 指数。本研究将为科学评估化学氮肥施用对中国农田生态系统的影响、制定合理的农业管理措施提供理论依据。

参考文献

- [1] 王光华,胡晓婧,于镇华,等.施肥对中国黑土农田土壤微生物群落多样性影响的研究及展望[J].土壤与作物,2024,13(2):127-139.
- [2] 王钊,张冰,董思奇,等.长期施用氮肥对黑土和风沙土根际微生物群落结构及功能的影响[J].中国农业科学,2025,58(03):520-537.
- [3] 贺世龙,叶贺,赵宇,等.沿黄灌区盐碱地不同盐生植物根际土壤细菌群落特征和生态功能预测[J].生态学报,2025,45(05):2141-2151.
- [4] He M Y, Li D X, Peng S, et al. Reduced soil ecosystem multifunctionality is associated with altered complexity of the bacterial-fungal interkingdom network under salinization pressure[J]. Environmental Research, 2025, 269: 120863.

The underlying logic of complex forest fire prevention systems: dual analysis of uncertainty and stability

Wenming Chen

Forest Resource Protection, Prevention and Monitoring Center of Eshan County, Eshan, Yunnan, 653200, China

Abstract

Forest fire prevention is a typical complex adaptive system integrating ecological, social and technological elements, and the inherent uncertainty and core demand for stability coexist throughout its entire operation process. To clarify the internal operating laws of this system, this paper uses the theoretical tools of systems science to conduct an in-depth analysis of its underlying logic from the dual dimensions of uncertainty and stability. Firstly, it identifies the multi-source generation paths of uncertainty: ecological factors, human factors and technological factors. Secondly, it defines the three-dimensional connotation of system stability, including structural stability, functional stability and dynamic stability. Finally, it reveals the dialectical unity relationship between the two: uncertainty drives the system to break through path dependence and achieve adaptive evolution, while stability provides a basic framework for alleviating the negative impacts of uncertainty and ensuring the sustained effectiveness of prevention and control work. From the perspective of complex systems, this study enriches the theoretical system of forest fire prevention and provides a scientific basis for constructing a precise, efficient and resilient forest fire prevention system.

Keywords

Forest Fire Prevention; Complex System; Underlying Logic; Uncertainty; Stability; Dual Analysis

森林防火复杂系统的底层逻辑：不确定性与稳定性的双重解析

陈文明

峨山县林草资源保护预防监测中心，中国·云南 峨山 653200

摘 要

森林防火是融合生态、社会与技术要素的典型复杂适应系统，其运行全过程始终并存着内在不确定性与稳定性核心需求。为理清该系统的内在运行规律，本文运用系统科学理论工具，从不确定性与稳定性双重维度对其底层逻辑展开深度解析。首先，识别不确定性的多源生成路径：生态因素、人为因素、技术因素；其次，界定系统稳定性的三维内涵，包括结构稳定性、功能稳定性、动态稳定性；最后，揭示二者的辩证统一关系：不确定性驱动系统突破路径依赖、实现适应性演化，稳定性则为缓解不确定性负面影响、保障防控工作持续效能提供基础框架。本研究从复杂系统视角丰富了森林防火理论体系，为构建精准、高效、韧性的森林防火系统提供科学依据。

关键词

森林防火；复杂系统；底层逻辑；不确定性；稳定性；双重解析

1 引言

森林防火复杂系统的核心运行逻辑表现为：微观层面受各类随机因素影响，呈现显著不确定性，但这些看似无序的个体行为通过集体叠加，在宏观层面形成稳定可循的规律。因此，相关研究需同步兼顾“宏观维度提炼规律”与“微观维度追溯成因”，构建双视角的分析框架。

【作者简介】陈文明（1974-），男，彝族，中国云南峨山人，本科，高级工程师，从事森林防火、森林病虫害监测、森林资源监测保护研究。

2 宏观视角：捕捉相对稳定的核心规律

宏观层面的研究核心的是挖掘系统在长期、大范围场景下的确定性特征，为森林防火策略制定提供整体性指引，关键在于提炼“可重复验证、可提前预判”的三大规律：

2.1 时空分布规律

特定区域和时段会呈现固定的火灾高发特征：时间上，西南林区等区域受“冬春降水少、风力大”影响，每年12月至次年2月（冬季干燥）、3-5月（春季干旱）形成防火高危期；空间上，山地陡坡、阳坡（光照强、植被含水率低）、林区道路两侧（人为活动密集）等区域，因地形或人为因素，成为火灾高频发生区^[1]。

2.2 火势演化规律

在相似植被类型与气象条件下,火灾发展会遵循固定路径:以针叶林火灾为例,在晴朗、微风环境中,通常经历“点烧起火→缓慢扩散→稳定燃烧→逐渐衰减”的四阶段演化,且火势蔓延速度与风速呈明显正相关,风速每提升 2m/s,蔓延速度平均增加 1.5 倍。

2.3 干预生效规律

消防措施的效果存在明确阈值:当火灾面积小于 10 公顷且风速低于 3 米/秒时,地面消防队伍采用“以水灭火+隔离带设置”的组合方式,灭火成功率可稳定保持在 80% 以上;一旦火势突破临界规模或气象条件恶化,干预效果会显著下降。

3 微观视角:拆解不确定性与规律的内在关联

微观层面的研究重点是解析随机因素如何通过累积、耦合作用支撑宏观规律,并明确规律成立的“临界条件”,具体可分为两步展开:

3.1 识别底层随机影响因素

这些因素的个体行为无固定轨迹,主要涵盖三类:

1. 环境随机性:包括无法预判的单点阵风(风速、风向突变)、受微地形遮挡影响的局部枯枝落叶湿度差异等;
2. 人为随机性:如林区作业人员丢弃烟头的具体位置、游客违规用火的时间节点等无固定模式的行为;
3. 生物随机性:例如特定区域昆虫啃食导致的树木枯损程度差异、鸟类偶然携带火种的行为等。

3.2 定位“随机托举规律”的临界点

当微观随机因素的累积效应突破某一阈值时,宏观规律开始稳定显现:某区域 50% 以上的针叶林叶片含水率低于 12% (微观湿度差异的集体累积),宏观上“火灾易扩散”的规律便会确立,12% 的含水率即为临界值;单日内林区随机出现的人为用火行为超过 20 次(个体随机行为的叠加),宏观上“火灾发生率骤升”的特征会显著呈现,20 次即为对应的临界点^[2]。

4 宏观规律与微观成因的对应解析

宏观规律是微观随机因素集体作用的必然结果,具有可观测、可应用的稳定属性,结合三大核心规律,其微观成因拆解如下:

4.1 时空分布规律的微观支撑

1. 时间集中性的成因:单日 10:00-16:00 火灾高发,源于该时段人类进入林区的随机活动增多,如随机焚烧秸秆(占人为火灾成因的 60%)、野外烧烤、祭祀用火、丢弃烟头等(占比 35%),这些分散行为在该时段集中叠加,推高了宏观火灾概率;春季火灾高发,则与微观层面“植被含水率随机下降”“短期大风随机出现”相关,春季降水少,植被水分随日照随机蒸发,当多数植被含水率低于 20%,再叠加短时随机大风(风速>5m/s),原本孤立的“随

机易燃点”会快速连接,形成宏观高发期^[3]。

2. 空间聚集性的成因:林区道路两侧火灾集中,因道路周边的“随机火源”(车辆抛洒火星、行人丢弃火种)密度是林区深处的 8-10 倍,随机火源的密集分布使该区域火灾概率显著升高;山地阳坡火灾频发,源于阳坡微观“局部温度随机升高”(同一时段比阴坡高 5-8℃)、“植被干燥度随机差异”(含水率比阴坡低 10%-15%),这些温湿度差异使阳坡更易形成“随机起火点”,呈现宏观聚集特征。

4.2 火势演化规律的微观支撑

1. 初期扩散阶段:火势蔓延缓慢,因微观层面“可燃物随机稀疏”,起火点周边的枯枝、落叶等易燃物呈分散状态,热传导仅能在小范围随机传递,无法快速连片燃烧;

2. 中期爆发阶段:火势蔓延速度骤升,源于微观“可燃物随机连接”与“热对流随机增强”——初期起火点烧穿局部稀疏可燃物后,会随机接触到更密集的植被(灌木、乔木),同时燃烧产生的热气流形成局部对流(上升气流速度达 2-3m/s),推动火焰随机扩散,大量扩散路径叠加形成宏观爆发式增长;

3. 后期衰减阶段:火势逐渐减弱,因微观“可燃物随机耗尽”,火场核心区域的枯枝、针叶等易燃物已大量消耗,剩余可燃物多为不易燃的树干(含水率>30%),热传导随机受阻,无法持续提供燃烧能量。

4.3 干预生效规律的微观支撑

1. 初期干预高成功率:火灾初期(覆盖面积<5公顷),微观“燃烧点随机孤立”,单个火点面积多<10m²,人工扑打、就近浇水等干预措施能快速覆盖这些孤立火点,阻止其随机连接,宏观成功率高达 90% 以上;

2. 中期干预低成功率:当火势突破 10 公顷进入中期,微观“燃烧网络随机形成”,火点间通过随机热传导、热辐射连接,单个干预措施仅能扑灭局部火点,无法阻断整体燃烧网络扩散,宏观成功率大幅下降;

3. 措施适配差异:针叶林火灾需优先“以水灭火”,因针叶内部油脂呈随机点状分布,水分渗透能随机覆盖这些油脂点,阻止持续燃烧;阔叶林易燃物多为枯枝(无油脂),微观“热传导随机较弱”,人工清理隔离带即可阻断随机热传递,形成宏观上的措施适配差异^[4]。

5 宏观规律的具体特征与应用价值

宏观规律是森林防火策略制定的核心依据,其稳定的特征的可直接转化为防控行动,具体如下:

5.1 时空分布规律:明确火灾“何时、何地”高发

1. 时间维度:全球多数林区呈“两季高发”,西南林区集中在 3-5 月(春旱)和 12 月-次年 2 月(冬燥);单日高发时段为 10:00-16:00,该时段光照强、空气湿度低、地表温度高,火灾发生概率是其他时段的 3-5 倍。

2. 空间维度:火灾多聚集在林区道路两侧、村落周边林区、农林交错带(人为活动相关区域),以及山地阳坡、

陡坡（火势蔓延快，比缓坡快 2-3 倍）、峡谷（易形成狭管效应，风力助推火势）等地形高危区域。

5.2 火势演化规律：明确火灾“如何发展”阶段化演变

1. 初期（扩散阶段）：火势覆盖面积通常 < 5 公顷，蔓延速度 0.2-0.5 米/分钟，仅局部植被燃烧，易控制；
2. 中期（爆发阶段）：火势覆盖面积 > 10 公顷，蔓延速度升至 1-3 米/分钟，易形成“火墙”“树冠火”，受风力影响显著；
3. 后期（衰减阶段）：火场核心区域可燃物大量消耗，或受降雨、干预影响，火势强度减弱，蔓延速度降至 0.1 米/分钟以下。

关键关联：针叶林火灾强度是阔叶林的 2-3 倍（针叶含油脂）；林区空气相对湿度 < 40% 时火灾概率显著上升，< 25% 时极易引发大面积火灾。

5.3 干预生效规律：明确“何种措施何时有效”

1. 干预时机阈值：火灾处于“初期阶段”（覆盖面积 < 5 公顷、燃烧时间 < 2 小时）时，“人工扑打+就近水源灭火”成功率超 90%；突破“中期阶段”（覆盖面积 > 10 公顷）后，同措施成功率降至 50% 以下，需调用重型资源。

措施适配规律：

2. 预防阶段：在高危区域提前设置 10-15 米宽防火隔离带，火灾蔓延阻断率可提升 70% 以上；
3. 处置阶段：针叶林火灾优先“以水灭火+泡沫覆盖”（抑制油脂燃烧），阔叶林火灾可采用“人工清理隔离带+风力灭火”（低成本高效）；
4. 恢复阶段：火灾熄灭后 1-2 天内，若遇干旱、大风天气，复燃概率是正常时期的 4 倍，需强化余火排查^[9]。

6 基于宏观规律的森林防火策略

将三大规律转化为“精准预警、科学防控、高效处置”的具体措施，可实现从“被动应对”到“主动预防”的转变：

6.1 依托时空分布规律：靶向预警与重点防控

1. 时间维度：针对季节性高发，提前 1-2 个月启动“森林防火特护期”，增加巡逻频次并推送防火警示；针对时段性高发，在 10:00-16:00 暂停林区非必要作业，增设入山火种检查点。

2. 空间维度：将阳坡、道路两侧等区域划定为“一级防火区”，加密防火隔离带（每 500 米设 1 条宽 10 米隔离带），靠前储备灭火物资；在陡坡、峡谷等区域安装红外监控，实现 24 小时实时监测。

6.2 依托火势演化规律：分阶段火情处置

1. 初期阶段（面积 < 5 公顷）：调配就近地面消防队伍（林区管护站人员、乡镇应急队），采用“以水灭火+风力灭火”，10 分钟内抵达处置；地形复杂区同步调用无人机投掷干粉灭火剂。

2. 中期阶段（面积 5-20 公顷）：优先在火势蔓延方向开辟 ≥20 米宽的应急隔离带，或“以火攻火”切断可燃物

供给，同步调用消防车、洒水直升机等大型设备压制火势。

3. 后期阶段：组织“拉网式排查”火场，清理未完全燃烧的枯枝、树根，用沙土覆盖或浇水浇灭余火；腐殖层较厚区域需开挖宽 ≥40CM、深至生土层的防火沟，防止复燃^[6]。

6.3 依托干预生效规律：精准化资源调配

1. 按阈值调配资源：火情满足“低风险条件”（面积 < 5 公顷、风速 < 3m/s）时，仅调配村级扑火队等基层力量；突破临界值后，立即升级响应，调用专业森林消防队伍、直升机等重型资源。

2. 按特征选择措施：平缓地形可组织地面队伍近距离扑打；悬崖、峡谷等危险区域依托无人机监测+远程投掷灭火弹；遇风速超 5m/s 等不利气象条件，暂停地面人员直接扑打，转为“空中压制+隔离带设置”组合措施。

7 结语

森林防火作为典型的复杂适应系统，其底层逻辑始终围绕不确定性与稳定性的动态耦合展开。微观层面的环境、人为、生物等随机因素，构成了系统运行的不确定性本源，而这些微观随机行为的集体叠加与演化，又在宏观层面形成了可预判、可应用的稳定规律，二者共同塑造了森林防火系统的运行特征。本文从宏微双视角展开解析，明晰了时空分布、火势演化、干预生效三大核心规律的内涵与微观支撑，也揭示了规律与随机因素的内在关联，为理解森林防火复杂系统的运行逻辑提供了新的视角。

森林防火工作的科学化推进，关键在于把握宏微双视角的辩证统一，以宏观规律锚定防控工作的整体方向，以微观不确定性的解析细化防控举措。唯有将宏观规律的指导性、微观随机因素的应对性相结合，才能推动森林防火从被动处置向主动预防、精准防控转变，不断提升森林防火系统的适应性与韧性。本研究和分析框架与结论，可为森林防火预警体系构建、防控策略制定、应急资源调配提供理论参考，助力筑牢森林生态安全的防火屏障，推动林业生态系统的可持续发展。

参考文献

- [1] 田晓瑞, 舒立福, 王玉明, 林火蔓延模型及其适用性研究进展【J】.科技导报, 2023, 41(12): 45-56.
- [2] 田国家林业和草原局防火司, 图强林业局“高山哨兵+数字电台”现代化林火防空体系建设实践【J】.森林防火, 2025, (2): 18-24.
- [3] 田应急管理部火灾防治管理司.2020-2024年全国森林草原火灾防空形式分析与对策【J】.中国应急管理, 2025, (1): 32-40.
- [4] 田宋正满, 高长科, 神农架林区林火时间分布特征及“两山季时转换”防火机制【J】.湖北林业科技, 2022, 51(4): 23-29.
- [5] 田李嵩恂, 郑伟, 气象要素对森林火灾发生发展的影响及卫星遥感监测应用【J】.气象, 2017, 43(4): 489-496.
- [6] 田内蒙古阿尔山森工公司.林火地理分布与地形因子关联性研究【J】.林业资源管理, 2019, (3): 56-62.

Introduction, breeding, demonstration and promotion of Tibetan fragrant pigs in Renbu County

Cirendunzhu

Agriculture and Animal Husbandry Comprehensive Service Center in Dejin Town, Renbu County, Xizang, Renbu, Xizang, 857200, China

Abstract

To break the development bottlenecks of the characteristic pig breeding industry in high-altitude areas and promote the large-scale and standardized breeding of Tibetan fragrant pigs in Renbu County of Xigaze (with an average altitude of 3950 meters), this study carried out three core tasks: adaptive breeding of introduced Tibetan fragrant pigs, nutritional optimization of daily rations, and construction of standardized technical regulations. By screening germplasm suitable for high altitudes, transforming targeted breeding facilities, and developing multi-dimensional stress prevention and control technologies, the stable growth and reproduction of Tibetan fragrant pigs in the 3950-meter environment were achieved (the estrus rate, conception rate and piglet survival rate in the 3rd breeding cycle reached 86.7%, 83.3% and 92.1% respectively). A two-factor experiment was conducted to determine the optimal daily ration scheme adapted to local resources (16% protein level + 6:4 concentrate-roughage ratio), with the average daily gain (ADG) of weaned piglets reaching 423.6 g/d and the feed conversion ratio (FCR) being 3.2:1. A set of standardized technical regulations covering the whole-cycle feeding and management, production and reproduction, and disease prevention and control was constructed, and scientific grouping and standardized slaughter were realized through demonstration and promotion. The research results provide technical support for the quality and efficiency improvement of the Tibetan fragrant pig industry in high-altitude areas, and have important practical significance for promoting the transformation and upgrading of the local animal husbandry industry and boosting rural revitalization.

Keywords

Tibetan fragrant pig; Renbu County; breeding technology; standardized breeding; demonstration and promotion

藏香猪在仁布县的引进繁育与示范推广

次仁顿珠

西藏仁布县德吉林镇农牧综合服务中心, 中国·西藏 仁布 857200

摘要

为破解高海拔地区特色生猪养殖产业发展瓶颈, 推动藏香猪在日喀则仁布县(平均海拔 3950 米)的规模化、标准化养殖, 本研究开展藏香猪引种适应性培育、日粮营养优化及标准化技术规程构建三大核心工作。通过筛选高海拔适配种质、改造针对性养殖设施、研发多维度应激防控技术, 实现藏香猪在 3950 米环境下稳定生长繁育(第 3 繁殖周期发情率 86.7%、受胎率 83.3%、仔猪成活率 92.1%); 采用双因素试验明确适配本地资源的最优日粮方案(蛋白水平 16%+ 精粗配比 6:4), 断奶仔猪日增重(ADG)达 423.6g/d, 料重比(FCR) 3.2:1; 构建涵盖全周期饲养管理、生产繁殖、疫病防控的标准化技术规程, 通过示范推广实现科学分群、标准化出栏。研究成果为高海拔地区藏香猪产业提质增效提供技术支撑, 对促进当地畜牧产业转型升级、助力乡村振兴具有重要实践意义。

关键词

藏香猪; 仁布县; 繁育技术; 标准化养殖; 示范推广

1 引言

1.1 研究背景

藏香猪是我国高原特色猪种, 不怕冷、能吃粗饲料、肉味好、营养高, 很适合高海拔地区养殖。日喀则仁布县在

青藏高原西南部, 平均海拔 3950 米, 天气冷、氧气少, 以前养的普通猪要么长得慢, 要么容易生病, 没法大规模发展。而仁布县有很多青稞秸秆、油菜秸秆, 加上仁布县综合和谐采摘园农民专业合作社的蔬菜下脚料, 正好能搞“猪吃本地草(菜)”的生态养殖。本项目从林芝引进藏香猪, 放在仁布县综合和谐仁布县综合和谐采摘园农民专业合作社农民专业合作社内饲养, 专门研究怎么让藏香猪在仁布县养好、多产、长得快。

【作者简介】次仁顿珠(1991-), 男, 藏族, 中国西藏扎囊县人, 本科, 畜牧师, 从事藏香猪在仁布县的引进繁育与示范推广研究。

1.2 研究意义

1.2.1 理论意义

针对仁布县 3950 米海拔的特殊环境，研究藏香猪引进后的适应方法，以及不同饲料对生长的影响，填补高海拔地区藏香猪圈养技术的空白，给各乡镇养殖提供参考。

1.2.2 实践意义

通过引进养殖和技术示范，形成一套适合仁布县的藏香猪养殖模式，充分利用本地秸秆、蔬菜下脚料，让养殖户少花钱、多赚钱；带动周边农户跟着养，拓宽增收路，为西藏高海拔地区特色养殖业提供能直接抄作业的范例。

1.3 研究目标与内容

1.3.1 研究目标

(1) 让林芝引进的藏香猪在仁布县 3950 米环境下适应良好，形成稳定的养殖种群；

(2) 找到适合本地饲料资源的最优配方，既让猪长得快，又不增加养殖成本；

(3) 制定简单易懂的养殖技术手册，推广后让养殖户能规模化规范养殖。

1.3.2 研究内容

(1) 从林芝购买藏香猪，改造仁布县综合和谐仁布县综合和谐采摘园农民专业合作社农民专业合作社内的养殖棚舍，做好运输和环境适应工作，减少猪的应激反应；

(2) 测试不同蛋白含量、不同精粗饲料比例的饲料，看哪种让猪长得最好；

(3) 制定全流程养殖、繁殖、防病技术规范，推广给养殖户落地使用。

2 材料与方法

2.1 试验地点与环境条件

试验在仁布县综合和谐仁布县综合和谐采摘园农民专业合作社农民专业合作社内的养殖区进行，这里海拔 3950 米，年平均气温 6.3℃，年下雨量 450 毫米，氧气含量大概是平原地区的 65%-70%。合作社现有场地平整开阔，满足藏香猪繁育工作、饲养管理、生产繁殖、疫病防控等核心需求；周边环境无污染，生态环境适宜藏香猪生长，能保障繁育技术研究的准确性。

2.2 试验动物与引种筛选

从林芝引进健康的藏香猪 38 头（公猪 3 头、母猪 35 头），分成 3 个养殖小组。引进后先观察 30 天，选那些不怕冷、吃得香、没生病的猪，最终购买的藏香猪全部留下（公猪 3 头、母猪 35 头）作为核心养殖群，结合本地购买的 40 头断奶仔猪，9 头母猪，1 头公猪放在仁布县综合和谐采摘园农民专业合作社养殖区专门饲养。

2.3 养殖设施改造方案

把仁布县综合和谐采摘园农民专业合作社内的圈舍改成“半露天 + 保温层”的样式，冬天用太阳能设备供暖，

让产房温度保持在 10-18℃，育肥猪舍不低于 5℃；安装通风设备，每天通风 3-4 次，加强空气流通；专门设 3 个“适应圈”（每个 50-80 平方米），供刚从林芝引进的猪单独过渡适应，避免混群应激；同时配备加热饮水器和饲料储存仓，保证猪喝上温水、吃上新鲜饲料。

2.4 日粮营养试验设计

2.4.1 试验分组

选 28-35 天断奶的健康小猪 20 头，每头体重大概 20 公斤左右，随机分成 2 组，每组 10 头（分 3 个小圈，每圈 10 头），每组初始体重差不多。

2.4.2 日粮配方

饲料总能量保持一致，主要测试两个关键指标：一是蛋白含量（分 14%、16%、18% 三档，蛋白来源用豆粕和本地青稞饼按 2:1 混合）；二是精粗饲料比例（分 7:3 和 6:4 两档，粗饲料用本地青稞秸秆、油菜秸秆、仁布县综合和谐采摘园农民专业合作社蔬菜下脚料按 3:3:4 混合）。

2.4.3 饲养管理

试验养 120 天，让猪自由吃料、随便喝水，每天清理 2 次料槽，记录每次喂了多少、剩了多少；圈舍温度保持 18-22℃，湿度 55%-65%，每天打扫消毒 1 次，保持干净卫生。

2.5 测定指标与方法

2.5.1 生长性能指标

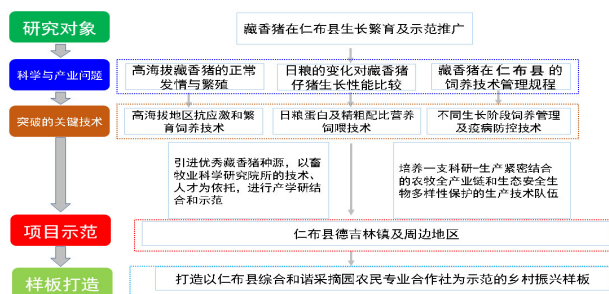
每 15 天早上空腹给猪称重，算一算每天平均长多少；每天记好喂料量和剩料量，算一算吃多少料能长 1 公斤肉。

2.5.2 适应性及繁殖指标

每周看看猪的呼吸是否平稳、每次吃料要多久；中间测一次猪的血液指标，看是否适应缺氧环境；记录母猪发情、受孕、产仔数量和小猪存活情况。

2.5.3 数据统计分析

用简单的统计方法对比各组数据，看哪种饲料配方效果最好，差异是否明显。



2.6 标准化技术规程构建与示范推广

结合仁布县综合和谐采摘园农民专业合作社养殖实践和本地养殖户的操作习惯，编一本《仁布县藏香猪养殖操作手册》（图文并茂）；选 10 个养殖户作为示范户，通过集中培训、到仁布县综合和谐采摘园农民专业合作社现场学习的方式，教他们按规程养殖，跟踪记录养殖效果。

3 结果与分析

3.1 藏香猪高海拔生长繁育适应性结果

3.1.1 应激防控效果

从林芝引进的藏香猪,运输和适应期间并无死亡,死亡率0%;引进后15天内,猪呼吸平稳(每分钟10-20次),每次吃料能坚持30分钟以上,少数不太适应的猪经过调理都恢复正常了。

3.1.2 繁殖性能表现

经过3批繁殖,藏香猪的繁殖效果越来越稳定:第一批繁殖时,母猪发情率76.0%、受孕率72.0%、每窝活仔5.1头、小猪成活率78.5%;到第三批时,分别提高到86.7%、83.3%、6.8头、92.1%,完全能在仁布县稳定繁殖。

3.1.3 种群优化效果

挑选繁殖能力强、适应能力好的猪留作种猪,公猪和母猪比例控制在1:10,避免近亲繁殖,保证猪群质量不下降。

3.2 不同日粮对藏香猪生长性能的影响

3.2.1 生长性能差异

测试发现,饲料蛋白含量和精粗比例对猪的生长影响很大,其中“蛋白16%+精粗6:4”的组合效果最好:断奶小猪每天能长423.6克,每天吃1.35公斤饲料,料肉比3.2:1,比其他配方的猪长得快、吃得省。

3.2.2 本地粗饲料利用率

精粗比例6:4的组,能利用63.8%的本地秸秆和蔬菜下脚料,比7:3的组(利用率52.1%)高很多,能充分利用本地资源,减少饲料成本。

3.2.3 生理适配性指标

蛋白16%的组,猪的血液指标更稳定,能很好地适应高海拔缺氧环境,不容易出现生病情况。

3.3 标准化技术规程示范推广效果

3.3.1 养殖效率提升

示范户按手册养殖后,育肥猪每天能长415克,料肉比3.3:1,小猪成活率94.2%,比以前传统养殖效率提高了25%以上。

3.3.2 经济效益改善

因为多利用了本地粗饲料,养殖成本降低了18%,每头育肥猪能多赚320元,每个示范户每年能多收入1.5万元以上。

3.3.3 技术普及程度

通过培训和现场指导,示范户都能看懂手册、会按规程操作,执行率达到96.5%,形成了“学技术-养好猪-多赚钱”的良性循环。

4 讨论

4.1 高海拔环境藏香猪引种适配关键技术

仁布县3950米海拔又冷又缺氧,藏香猪引进后要做好三件事:一是选适应能力强的猪种;二是改造圈舍,保证供

暖通风;三是在饲料里加维生素C和电解质,减少运输和环境变化带来的应激。从林芝引进的藏香猪,经过几批繁殖后越来越适应,说明只要方法得当,高海拔地区也能养好藏香猪,这个经验能给其他高海拔地区参考。

4.2 日粮营养优化与本地资源利用

我们用本地容易买到的豆粕、青稞饼做蛋白饲料,用青稞秸秆、油菜秸秆和仁布县综合和谐采摘园农民专业合作社蔬菜下脚料做粗饲料,既不用花大钱运饲料,又符合仁布县的农业实际。“蛋白16%+精粗6:4”的配方,既能让猪长得快,又能保持藏香猪的肉味,解决了“长得快”和“省成本”的矛盾,很适合本地推广。

4.3 标准化技术规程的实践价值

制定的技术规程都是结合仁布县综合和谐采摘园农民专业合作社养殖实际和农户操作能力设计的,比如分群饲养、按阶段喂料、简单消毒防病等,手册图文并茂,农户一看就懂、一学就会。“培训+现场指导”的方式,解决了农户“不懂技术、不会操作”的难题,证明简单实用的标准化技术,是推动高海拔地区养殖业规模化发展的关键。

4.4 研究局限与展望

本项目主要在仁布县3950米海拔的仁布县综合和谐采摘园农民专业合作社内养殖,后续可以在周边不同海拔地区试试,养的时间再长一些,进一步优化技术;同时可以多研究藏香猪的肉味品质,结合市场需求,把“养殖-加工-销售”连起来,让养殖户赚更多钱。

5 结论

本项目从林芝引进藏香猪,在仁布县综合和谐采摘园农民专业合作社内成功实现适配养殖:通过选种、改棚舍、防应激,让藏香猪在3950米环境稳定繁殖(发情率86.7%、受孕率83.3%、小猪成活率92.1%);找到“蛋白16%+精粗6:4”的最优饲料配方,断奶小猪日增重423.6克,本地粗饲料利用率63.8%;制定了简单易懂的标准化技术规程,推广后养殖效率提升25%以上,养殖户收入显著增加。研究成果给高海拔地区藏香猪规模化养殖提供了一套完整、好操作的技术方案,对推动当地养殖业发展、助力乡村振兴有重要意义。

参考文献

- [1] 张英杰,刘月琴,孙洪新.高原畜禽品种适应性研究进展[J].中国畜牧杂志,2020,56(8):1-6.
- [2] 李健,字向东,杨平贵.藏香猪种质特性与养殖技术研究[J].西南农业学报,2019,32(7):1692-1698.
- [3] 王彩莲,杨博辉,孙晓萍.不同精粗配比日粮对高原牦牛生长性能的影响[J].动物营养学报,2021,33(5):2789-2797.
- [4] 西藏自治区畜牧总站.西藏畜禽养殖标准化技术规程[M].拉萨:西藏人民出版社,2022.
- [5] 中华人民共和国农业农村部.NY/T 3469-2019 畜禽养殖档案管理规范[S].北京:中国农业出版社,2019.

Mechanism of the Impact of Agricultural Straw Carbonization and Returning to Field on Soil Carbon Sequestration, Emission Reduction, and Crop Growth

Xiaoyun Wang¹ Landao Chen² Feng Xu¹ Kechao Song³

1. Xinghua Modern Agricultural Development Service Center, Xinghua, Jiangsu, 225700, China

2. Rural Work Office of Hechen Town, Xinghua, Jiangsu, 225700, China

3. Nanjing Sinong Bio-organic Fertilizer Research Institute Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211800, China

Abstract

Agricultural straw carbonization and returning to the field is an important approach to achieve carbon sequestration, emission reduction, and sustainable utilization in farmland ecosystems. By pyrolyzing crop straw at high temperatures to produce biochar and applying it to the soil, it can not only significantly increase soil organic carbon storage and improve physical and chemical properties, but also regulate the microbial community structure, enhance nutrient cycling, and crop productivity. Based on the research results of biochar returning to the field in recent years, this paper systematically discusses the mechanism of straw carbonization and returning to the field on soil carbon sequestration and crop growth from the aspects of carbon cycle mechanism, greenhouse gas emission control, and crop physiological response. Studies have shown that carbonization and returning to the field promote the formation of soil carbon sinks through the cumulative effect of stabilizing organic carbon, reduce CH_4 and N_2O emissions, and at the same time improve nitrogen and phosphorus utilization efficiency and rhizosphere activity, and enhance farmland ecological functions.

Keywords

straw carbonization and returning to field; soil carbon sequestration; emission reduction mechanism; biochar; crop growth

农业秸秆炭化还田对土壤固碳减排及作物生长的影响机制

王晓云¹ 陈兰道² 徐凤¹ 宋克超³

1. 兴化市现代农业发展服务中心, 中国·江苏 兴化 225700

2. 兴化市合陈镇农村工作办公室, 中国·江苏 兴化 225700

3. 南京思农生物有机肥研究院有限公司, 中国·江苏 南京 211800

摘 要

农业秸秆炭化还田是实现农田生态系统固碳减排与可持续利用的重要途径。通过将农作物秸秆经高温热解制成生物炭并施入土壤, 不仅可显著提高土壤有机碳储量、改善理化性质, 还能调节微生物群落结构、增强养分循环与作物生产力。本文基于近年来生物炭还田研究成果, 从碳循环机制、温室气体排放控制及作物生理响应等方面, 系统探讨秸秆炭化还田对土壤固碳与作物生长的作用机理。研究表明, 炭化还田通过稳定有机碳的累积效应促进土壤碳汇形成, 降低 CH_4 与 N_2O 排放, 同时提高氮磷利用率与根际活性, 改善农田生态功能。

关键词

秸秆炭化还田; 土壤固碳; 减排机制; 生物炭; 作物生长

1 引言

农业秸秆作为重要的生物质资源, 在我国每年产量超过 8 亿吨, 其处理与利用问题直接关系到农业生态系统的可持续发展。长期以来, 秸秆焚烧不仅造成空气污染与资源浪费, 还加剧温室气体排放, 对生态环境与农业碳中和目标形成挑战。秸秆炭化还田技术通过高温无氧热解, 将秸秆转化

为稳定性较高的生物炭, 实现碳的长期固定与资源循环利用。本文围绕秸秆炭化还田的固碳减排效应与作物响应机制展开研究, 探讨其在农业生态系统中形成碳汇与促进可持续生产的作用路径, 为绿色农业发展提供理论依据与实践参考。

2 秸秆炭化还田的原理与特性

2.1 秸秆炭化过程的物质转化特征

秸秆炭化是在缺氧或惰性气氛中经高温热解生成固态炭、气体与液体产物的复杂化学过程, 其核心是碳结

【作者简介】王晓云(1978-), 男, 本科, 助理农艺师, 从事土肥研究。

构的重构与稳定化。热解温度、反应时间及原料组成决定了炭的理化性质及其在土壤中的稳定性。低温炭化（约 300 ~ 400℃）生成的产物中含有较多酚类、有机酸及半纤维素衍生物，具有较高的生物活性与可降解性，适用于短期改良土壤肥力。高温炭化（约 500 ~ 700℃）则产出芳香化程度高、石墨结构明显的惰性有机碳，具备极强的化学稳定性与环境持久性^[1]。热解温度升高会让秸秆氢氧比下降、芳香碳比例上升、极性官能团减少，使秸秆生物炭在土壤中难被微生物分解而形成“碳锁定”，这种活性有机碳向惰性稳定碳的转化，让秸秆炭化成为农业固碳和温室气体减排的重要技术路径。

2.2 生物炭的理化性质与生态功能

秸秆炭化产物即生物炭，具有高比表面积、丰富的孔隙结构和多种表面官能团，是一种兼具吸附性与环境调控功能的土壤改良材料。生物炭施入土壤后，可显著提升阳离子交换量（CEC），增强对氮、磷、钾等养分的吸附与缓释作用，减少养分淋溶损失。其碱性特征有助于中和酸性土壤，提高 pH 值，改善土壤通气与保水性能。炭表面羧基、羟基、酚羟基等活性基团促进离子交换与微生物附着，提升微生态活性与根际营养供给^[2]。研究表明，秸秆炭化还田后，土壤容重平均下降 10%，孔隙度与团聚体稳定性提高约 25%，根系生长与作物产量显著改善。

2.3 秸秆炭化技术的区域适应性与推广意义

秸秆炭化还田的实际效应受区域气候、土壤类型与农作制度的显著影响。东北黑土区有机质丰富但易退化，施用秸秆炭可增强有机碳储量与水分保持能力；华北黄土区土壤结构疏松，施炭后团聚体稳定性提升、盐碱胁迫得到缓解；南方红壤区酸性强、养分流失快，炭化还田能有效中和酸度、提高肥力与微生物活性。不同炭化温度与施用量需根据区域土壤特征进行优化组合，以实现因地制宜的应用效果。近年来，国家在“黑土保护工程”“农业废弃物资源化利用”等政策中明确提出推广秸秆炭化利用，鼓励建立区域化生物炭生产与应用体系。

3 炭化还田对土壤固碳过程的影响机制

3.1 稳定有机碳的积累与碳库转化

秸秆炭化还田通过高温热解将活性有机碳转化为稳定的惰性碳结构，实现了碳在土壤中的长期封存。生物炭的主要组分为芳香碳与石墨碳，这些高聚合度碳链具有极强的抗降解性，在土壤中可保持数百年以上的稳定存在。生物炭与土壤矿物颗粒结合后形成“有机—无机复合体”，既减少了有机碳的再释放，又提高了土壤碳库的活性比例。田间试验表明，长期施炭能显著提高土壤有机碳含量，增幅可达 20%—35%，同时增强腐殖质形成与碳固定速率。

3.2 微生物介导下的碳循环调控

生物炭施入土壤后，其独特的多孔结构为微生物提供

了稳定的栖息环境与生物膜附着空间，显著改变了土壤微生态系统^[3]。炭表面含氧官能团为微生物提供能量底物，促进有益菌群的富集与多样性提升，尤其是放线菌、固氮菌和反硝化菌等功能群的数量显著增加。微生物在炭表的生物膜环境中协同参与有机质的分解与腐殖化，使有机碳逐步向稳定态转化。同时，炭中芳香族化合物对氧化酶具有一定的抑制作用，减缓土壤有机质的分解速率，形成“缓释碳”效应。这一过程使得碳循环趋于平衡，碳的输入与输出动态稳定。研究结果显示，生物炭可提高土壤微生物群落的代谢活性与碳氮耦合效率，增强碳固定速率，使土壤成为长期稳定的碳汇。

3.3 土壤结构改良与碳储稳定机制

炭化还田通过改善土壤物理结构强化有机碳的物理保护，是其长期固碳的关键途径。炭的高比表面积和吸附特性还能固定可溶性有机碳与金属阳离子，抑制碳的向深层淋溶损失。此外，生物炭改善土壤通气性与保水性，增强微环境稳定性，为碳储存提供物理屏障和化学吸附双重保护。长期田间观测结果表明，施炭土壤的有机碳半衰期延长 1.5 倍以上，碳储量显著增加，固碳潜力得到持续提升。该机制表明，生物炭通过“物理屏障—化学吸附—生物调控”三重路径，实现了农业土壤碳库的长期稳定化与可持续固碳效应。

4 炭化还田的减排效应与温室气体通量调控

4.1 抑制甲烷（CH₄）排放的作用机制

甲烷是农业生态系统中最主要的温室气体之一，尤其在稻田环境中，由于厌氧条件和有机质分解加剧，其排放量占农业甲烷总量的绝大部分。生物炭还田通过改善土壤的物理结构与氧化还原条件，有效抑制甲烷的生成与释放。生物炭多孔的碳结构增加了土壤通气性，提升氧气扩散速率，为甲烷氧化菌（Methanotrophs）的生长提供良好环境，增强甲烷氧化作用；同时，炭的表面基团与微量金属氧化物可参与电子传递过程，竞争性抑制甲烷生成菌（Methanogens）的能量代谢途径，降低产甲烷潜力^[4]。研究表明，连续施炭 3 年以上的稻田系统，CH₄ 排放量平均下降 30%—50%，且不影响甚至略有提高稻谷产量。该减排机制不仅体现为气体通量的减少，更在微生物层面重构了碳循环途径，表现出显著的生态调控效应。

4.2 降低氧化亚氮（N₂O）排放的生物化学机制

氧化亚氮是农业生产中第二大温室气体，其来源主要包括施肥引发的硝化与反硝化过程。生物炭的引入对这一过程产生显著的抑制效应。炭的高比表面积与表面官能团能有效吸附铵态氮（NH₄⁺）和硝态氮（NO₃⁻），减少其在土壤溶液中的浓度，降低反硝化底物供给。与此同时，炭中的有机碳为反硝化菌提供电子供体，促进 N₂O 向 N₂ 的完全还原，从而减少中间产物的积累。炭的碱性特征改善土壤酸化环境，优化微生物生态位，使氮转化过程更加稳定。长期

监测数据表明,施用生物炭可使土壤 N_2O 通量降低 20%—40%。此外,炭对氮肥的吸附与缓释作用提高了氮素利用率,减少了农业面源污染,实现氮循环的可持续管理,为农业温室气体减排提供了稳定的技术支撑。

4.3 综合减排效益与生态协同作用

秸秆炭化还田的温室气体减排效益不仅体现在 CH_4 与 N_2O 的双重削减上,更通过对碳氮循环系统的整体优化实现农田生态功能的提升。生物炭在土壤中长期稳定存在,既作为碳汇锁定有机碳,又通过改善结构、调节微环境和促进微生物多样性,实现碳固定与氮循环的协同平衡。通过这种“固碳—减排—稳产”的多重路径,农田系统可逐步由“碳源”向“碳汇”转变。施炭不仅减少温室气体通量,还能降低化肥使用量、减少氮磷流失与径流污染,推动农业生态系统由高消耗型向生态循环型转变。研究表明,秸秆炭化还田的综合减排潜力可达每公顷 7—10 吨 CO_2 当量,生态与经济效益兼备^[9]。该技术的推广不仅有助于农业绿色低碳转型,也为实现全球气候治理与粮食安全目标提供了切实路径。

5 炭化还田对作物生长的促进与生态反馈

5.1 养分可利用性与根际环境改善

秸秆炭化还田在提升土壤养分保持与供给能力方面具有显著作用。生物炭独特的多孔结构和较高的比表面积使其具备优良的养分吸附与缓释性能,能有效吸附铵态氮、磷酸根及钾离子等营养元素,并通过微孔扩散机制实现持续供应,从而提高肥料利用率、减少流失。其碱性特性对酸性土壤具有良好的调节作用,改善土壤 pH 值,优化根际环境。生物炭表面含有羧基、羟基等活性基团,可促进有益微生物定殖,增强土壤酶活性与氮循环效率。长期田间监测结果表明,施炭后土壤速效氮和有效磷含量平均提高 20% 以上,根系活力提升 15%—25%,叶绿素含量及光合效率显著增强。这一过程作为作物的稳产增产奠定了物质基础,体现出炭化还田在改善土壤肥力和提升根际生态质量方面的综合效益。

5.2 作物生理生态响应机制

秸秆炭化还田通过调节土壤水分与养分动态,显著影响作物的生理代谢活动。生物炭在土壤中形成微水库效应,增强保水能力与抗旱性能,使旱作作物在干旱胁迫条件下仍能维持正常代谢水平。同时,炭的吸附与络合作用减少了重金属离子与有机酸对根系的毒害,改善细胞膜稳定性,增强抗氧化酶活性与渗透调节能力。研究表明,玉米在施炭土壤中籽粒灌浆率提高约 18%,水稻分蘖数与穗粒数显著增加,说明炭化还田可通过优化生理代谢过程促进光合产物积累与能量转化效率。此外,生物炭调节土壤微生物群落结构,

使根际固氮、解磷菌群活性增强,为作物生长提供持续营养供应。这种从生理层面到生态层面的双重促进,充分体现了炭化还田在作物生长质量提升中的长期生态效应。

5.3 生态系统服务与农业可持续性提升

炭化还田不仅改善土壤养分环境和作物生理状态,还在更大尺度上增强了农田生态系统服务功能。生物炭的高碳稳定性使其成为重要的碳汇载体,能显著提升土壤碳储量并延缓碳释放过程,从而增强农业生态系统的碳固定能力。同时,生物炭通过调节土壤结构与微气候条件,改善水分循环与能量分布,使农田具备更强的生态韧性。研究发现,连续施炭三年以上的耕地,其土壤团聚体稳定性提高约 30%,生态系统抗干旱与抗退化能力显著增强。炭化还田还可减少化肥与农药使用量,降低农业面源污染与温室气体排放,实现生产与生态效益的双提升。综合评估表明,该技术在增产、固碳与生态修复之间形成了长期协同关系,代表了绿色低碳农业发展的方向,对构建高质量农业生态体系具有深远意义。

6 结语

农业秸秆炭化还田作为一种集减排、固碳与增产于一体的绿色技术路径,正在成为我国农业生态转型的重要方向。通过将秸秆热解为生物炭并施入土壤,不仅实现了碳的长期固定,还优化了土壤结构与养分循环,改善了作物生长环境,显著增强了生态系统的碳汇功能。其减排效果通过降低 CH_4 与 N_2O 通量实现温室气体削减,生态效益通过促进微生物多样性与根际活性得以体现。未来研究应聚焦不同土壤类型与气候条件下炭化还田的差异效应,建立碳汇量化模型与生命周期评估体系,实现区域化精准管理。通过政策支持与技术推广的协同推进,秸秆炭化还田将在农业碳中和战略中发挥更大作用,为我国农业可持续发展与生态文明建设提供坚实的科技支撑与实践路径。

参考文献

- [1] 霍澳.秸秆直接还田与炭化还田下玉米生产的碳足迹和经济效益研究[D].沈阳农业大学,2025.
- [2] 孙媛媛.秸秆炭化还田对稻田土壤有机质和温室气体排放的长期效应及生物炭老化特征[D].沈阳农业大学,2025.
- [3] 三聚.秸秆炭化还田技术列入农业绿色发展集成示范项目[J].中国农资,2018,(27):20.
- [4] 苗蕊可.秸秆炭化还田对温室气体排放和土壤动物的影响[D].辽宁大学,2022.
- [5] 肖涵生.生物炭施用对农田土壤固碳减排及增产效应的影响[D].北京建筑大学,2023.

Pigeon Rearing and Management

Jing Fu

Henan Province Puyang City Agriculture and Rural Affairs Bureau, Puyang, Henan, 457000, China

Abstract

Scientific and efficient feeding management techniques are the core determinants of sustainable development in pigeon farming. This article systematically elaborates on the key points of refined feeding management during critical stages of pigeon production, covering three major periods: chick pigeons, young pigeons, and breeding pigeons, and provides an in-depth discussion on the pigeon disease prevention and control system. The article not only details specific operational standards for each stage, such as progressive care for chick pigeons, transitional stabilization for young pigeons, and breeding cycle management for breeding pigeons, but also analyzes the underlying nutritional, behavioral, and physiological principles. Additionally, this article establishes a disease prevention and control framework centered on “prevention first, integration of breeding and prevention,” detailing methods for early diagnosis through systematic epidemiological investigations and refined clinical observations. Implementing standardized, data-driven, and refined feeding management throughout the entire process is the fundamental approach to fully leveraging the genetic potential of superior breeds, ensuring flock health, and enhancing overall breeding efficiency.

Keywords

pigeon breeding, management, chick pigeons, breeding pigeons, disease prevention and control, precision breeding

鸽子的饲养管理

付静

河南省濮阳市农业农村局，中国·河南 濮阳 457000

摘要

科学高效的饲养管理技术是养鸽业可持续发展的核心决定因素。本文系统阐述了养鸽生产各关键阶段的精细化饲养管理要点，涵盖雏鸽、青年鸽及种鸽三大时期，并对鸽病防控体系进行了深入探讨。文章不仅详述了各阶段的具体操作规范，如雏鸽的递进式护理、青年鸽的过渡期维稳与种鸽的繁殖周期管理，还深入分析了其背后的营养学、行为学及生理学原理。此外，本文构建了以“预防为主、养防结合”为核心的疾病防控框架，详细说明了通过系统性流行病学调查和精细化临床观察进行早期诊断的方法。实施贯穿全程的标准化、数据化、精细化饲养管理，是充分发挥良种遗传潜力、保障鸽群健康、提升养殖综合效益的根本途径。

关键词

养鸽；饲养管理；雏鸽；种鸽；疾病防控；精细化养殖

1 引言

养鸽业的成功与否，是品种遗传潜力、营养供给、环境控制与健康管理等多要素协同作用的结果，而科学的饲养管理技术是整合这些要素的核心枢纽。无论是集约化的大型鸽场还是家庭式的中小鸽场，若缺乏与现代养殖理念相适应的饲养管理知识体系，固守粗放的经验式传统，即使引进了最优良的种鸽品系，也难以实现其应有的繁殖性能与经济效益。落后的管理方式会导致生产周期紊乱、饲料转化率低下、疾病频发等一系列问题，最终侵蚀养殖利润。因此，推动饲养管理技术的系统性革新、标准化应用与精准化执行，对于我国养鸽产业转型升级、实现提质增效和可持续发展具有至

关重要的意义。

2 雏鸽的饲养管理技术：奠定生命基础

雏鸽期（0-28 日龄）是鸽子生命周期中生长速度最快、但同时也是最脆弱、完全依赖亲鸽的时期。此阶段的管理质量直接决定了乳鸽的上市体重、健康状况以及后续作为青年鸽的发育潜能。

2.1 0-10 日龄：初生脆弱期的生存保障

雏鸽出壳后，从恒温的胚胎环境转入外界，面临体温调节、营养获取和抗感染三大挑战。亲鸽的哺育行为至关重要。

防意外与保哺育的核心操作：管理者的首要任务是扮演“监护者”角色。出壳后 6 小时内是“黄金哺育窗口期”，必须进行高频次巡查（如每 2 小时一次）。观察重点在于：

a) 亲鸽是否频繁啄理、温暖雏鸽；b) 雏鸽嗉囊是否出现饱

【作者简介】付静（1981-），女，本科，高级职称，从事动物医学研究。

满的乳白色鸽乳。若窗口期内雏鸽嗉囊空虚、萎靡不振，需立即干预。

营养与卫生的协同保障：此阶段雏鸽的营养完全来源于亲鸽。因此，“间接营养管理”是关键。必须为亲鸽提供高能量、高蛋白且易消化的“哺乳期日粮”，建议粗蛋白含量不低于18%，并增加维生素A、D、E及B族的供给，以提升鸽乳质量。在卫生方面，巢盘垫料（推荐使用一次性麻布或刨花）的更换频率需从每日一次增至每日早晚各一次，特别是在雏鸽5日龄后排泄物增多时。

2.2 10-20 日龄：快速生长期的平稳过渡

此阶段雏鸽经历从“流体乳食”到“固体粒料”的饮食剧变，消化系统承受巨大压力，是第二个关键风险期。

消化系统适应与辅助：亲鸽嗉囊分泌的“鸽乳”逐渐混入半消化的颗粒饲料，雏鸽的肌胃（砂囊）开始发育，需要砂粒来磨碎食物。管理上，除了在10日龄左右开始为亲鸽保健砂中添加更细小的、易被亲鸽采食后传递给雏鸽的红色保健砂颗粒外，还应在雏鸽15日龄后，于巢盘旁放置一个浅碟，放入少量用温水泡软（或轻微发酵）的豌豆、小颗粒玉米等易消化饲料，引导雏鸽尝试啄食。对于出现嗉囊积食（触摸坚硬）、粪便酸臭或含未消化饲料的雏鸽，可单独喂给0.5-1片乳酸酶或复合益生菌水溶液，连续2-3天。

行为适应与人工介入：随着羽毛生长，雏鸽活动能力增强。在15日龄前后，可进行一项重要的适应性操作——将其从较深的巢盘中移至笼内地面的软垫（如旧地毯片）上。此时，亲鸽进入下一产蛋周期的比例升高，对雏鸽的哺喂可能变得不规律。

2.3 20-28 日龄：出栏前的冲刺与独立

此阶段目标是让雏鸽顺利过渡到完全自主采食，并达到最佳上市体重。

营养强化与自主采食训练：20日龄后，应提供专门的高蛋白“育肥日粮”或“乳鸽后期料”，粗蛋白建议在17-20%，能量水平也需提高。在鸽笼内放置高度适宜、边缘不锋利的独立食槽和水槽，并撒入少量鲜艳（如黄色玉米、绿色豌豆）的饲料，吸引雏鸽啄食。亲鸽的“驱赶”行为是自然的断奶信号，应予以鼓励。

出栏标准化管理：建立明确的出栏标准至关重要。不仅仅是体重（500-750克），还应包括外观标准：羽毛丰满光滑、龙骨平直无弯曲、眼神明亮、行动敏捷。出栏前6-8小时应停止喂食（可正常饮水），以减少运输过程中的应激和粪便污染。捉鸽时应轻握躯体，避免单提翅膀或腿脚，防止损伤。

3 青年鸽的饲养管理技术：培育后备力量

你青年鸽期是体格发育、系统成熟和抗病力形成的关键时期，管理重点从“生存保障”转向“体质培育”和“习性养成”。

3.1 离巢初期（1-2 月龄）：应激系统管理

离巢是青年鸽遭遇的第一次重大应激，管理不当会导致生长停滞、疾病暴发，形成“僵鸽”。

精细化“三看三查”的实践：将此项工作表格化、日程化。例如，设计每日巡查记录表，记录精神不振、羽毛松乱、食欲废绝、粪便异常（颜色、形态）的个体数量和笼位，并跟踪处理结果。“查拥挤”的标准是：在平养条件下，每平方米不超过8-10只；在层笼饲养下，保证每只鸽有至少0.1平方米的栖息面积。“查受伤”不仅包括明显的外伤，更要关注被啄秃的背部、头部，这些“受欺鸽”需立即隔离。

疾病预防的主动干预：此阶段是慢性消耗性疾病（如毛滴虫病、球虫病）和条件性呼吸道病（如霉形体病）的高发期。除了在饮水中可阶段性使用安全药物（如甲硝唑防毛滴虫、泰乐菌素防呼吸道病）外，更关键的是进行“预防性驱虫”和“免疫接种”。在40-45日龄，可使用广谱驱虫药（如阿苯达唑）进行一次集体驱虫。根据当地疫病流行情况，制定并严格执行新城疫、鸽痘等疫苗的免疫程序。

3.2 换羽与性发育期（3-5 月龄）：定向培育管理

此阶段鸽子经历生理上的“脱胎换骨”，管理需引导其向理想种用体况发展。

营养定向调控技术：换羽是强烈的蛋白质代谢过程。饲料粗蛋白应提高至16-18%，并特别注重含硫氨基酸（蛋氨酸、胱氨酸）的补充，它们是羽毛的主要成分。添加5%的火麻仁是传统有效的做法，因其富含油脂和蛋白质，能使新生羽毛光亮柔顺。同时，增加维生素（尤其是B族维生素、生物素）和矿物质（如锌、硒）的供给，以支持羽毛囊再生和抗氧化。

2、环境控制与卫生制度：青年鸽舍应保证良好的通风以排出羽毛屑和氨气，但同时要杜绝“贼风”。光照时间可控制在10-12小时，过长的光照会刺激性早熟。建立并公示严格的卫生消毒日程表，每月一次全场大扫除及环境彻底消毒。将卫生操作固化为不可动摇的制度，是防控环境性疾病的基础。

4 种鸽的饲养管理技术：驱动生产引擎

种鸽期是养殖效益的直接创造期，管理的核心是围绕“繁殖效率”进行周期性、精准化的调控。

4.1 配对与产蛋准备期：创造最佳开端

成功的配对与产蛋是高孵化率和高健雏率的前提。

科学配对与情感培养：避免强制配对。可采用“恋爱笼”先让彼此能看到但不能接触，数日后再合并，能减少打斗。配对后提供独立的巢箱或笼位，营造私密空间。巢盘准备至关重要，应使用直径约20厘米、深约5厘米的圆形巢盘，内垫一层麻布或短稻草，形成碗状凹陷。垫料需提前暴晒消毒。检查巢箱的稳固性和隐蔽性，防止种鸽因干扰而弃巢。

产前营养与健康储备：配对后至产蛋前，饲料应转为

“产前料”，适当提高钙、磷水平（钙含量可达3-3.5%），并补充维生素D3以促进钙质吸收，预防产软壳蛋。在饮水中添加电解质多维，缓解配对应激。对全群种鸽进行一次健康筛查，重点检查口腔有无毛滴虫感染，粪便有无寄生虫卵，确保以健康状态进入繁殖期。

4.2 孵化与哺育期：精细化周期管理

此阶段是种鸽负担最重、管理要求最高的时期，特别是“重叠生产”的品种。

孵化过程的精准监控：实施“两次照蛋”制度。第一次在入孵后第5-7天，使用照蛋灯剔除无精蛋（蛋体透明，仅见蛋黄阴影）和早期死精蛋（有血环或血丝）。第二次在第10-12天，剔除死胚蛋（蛋内浑浊、固定不动或呈黑团）。照蛋动作要快、轻、稳，避免震动和长时间暴露于低温。

重叠生产期的营养与劳动保障：当种鸽同时承担孵化后期（12-18天）与哺育早期（0-12天）任务时，体能消耗极大。必须提供最高营养浓度的“高峰料”，可考虑在日粮中添加3-5%的熟化大豆或少量鱼粉，并保证保健砂和清洁饮水24小时充足供应。

雏鸽交接期的特别护理：在雏鸽出壳前后，密切观察种鸽行为。个别初产鸽可能不知如何哺育，需人工将雏鸽喙轻轻放入亲鸽口中诱导。对于哺育双雏的种鸽，要观察两只雏鸽的嗉囊充盈度是否均衡，对弱小者可在亲鸽喂食后进行人工补喂。

5 鸽病的系统化观察与防控体系

疾病防控必须从“治疗为主”转向“预防为主，养防结合”，建立基于风险管理的系统化防控体系。

5.1 构建主动的流行病学监测网络

内部风险地图绘制：详细记录本场的布局、鸽群流动路线、人员动线、饲料与粪便处理区域。识别出生物安全高风险点（如进场处、病死鸽处理点）。建立引种隔离制度，新引种鸽必须隔离观察至少30天，并进行必要的检疫和驱虫。动态信息收集与分析：不仅记录发病情况，更要常态记录生产性能数据（如上文所述）。生产数据的异常下降往往是疾病的早期信号。与周边养殖场、兽医站、行业协会保持信息沟通，了解区域疫病流行动态，提前采取防范措施。定期对水源、饲料原料进行微生物和毒素检测。

5.2 临床观察的标准化操作程序（SOP）

将群体和个体观察内容细化、量化，形成可培训、可考核的SOP。

群体观察的量化指标：

采食量：记录每日每群耗料量，下降10%以上即为警报。

饮水量：记录每日每群耗水量，异常增加可能与热应激、肾脏疾病或某些发热性传染病有关。

死亡率与淘汰率：计算日死淘率，并分析死淘鸽的日龄分布和症状共性。

粪便评分：制定粪便形态、颜色评分卡（如1分：正常；2分：轻微稀软；3分：水样/变色；4分：带血/黏液），每日抽样评分。

个体检查的流程化操作：设计从抓捕、保定到各部位检查的标准流程。例如，检查嗉囊时，规定触诊的手法（轻柔按压）和判断标准（正常柔软有弹性，充满食物或水；硬嗉症：坚实如面团；软嗉症：波动感，倒流酸臭液体）。将常见病变（如口腔黄斑、脐部硬结、关节肿胀）拍摄成标准照片，供比对学习。

5.3 常见疾病的鉴别诊断与处置原则

建立常见疾病的快速鉴别诊断树。例如，当出现急性死亡时，按顺序排查：a) 是否全群突发？考虑中毒或急性传染病（如新城疫）。b) 是否仅个别发生？考虑外伤、内出血或噎塞。c) 水样腹泻是绿色？考虑副伤寒、新城疫；是黄白色？考虑大肠杆菌病；带血？考虑球虫病或严重的坏死性肠炎。

6 结语

综上所述，现代养鸽业已超越传统的家庭副业模式，演进为一项高度专业化、系统化的畜禽养殖产业。其效益的源泉已从单纯的品种优势，转变为“良种、良法、良管”深度融合的体系竞争力。本文所详述的雏鸽、青年鸽、种鸽三阶段精细化饲养管理技术，以及贯穿始终的疾病系统化防控理念，共同构成了这一“良法”体系的核心。实践证明，唯有将科学的饲养标准转化为每日精准的操作规程，将动态的数据记录转化为优化管理的决策依据，将主动的疫病防控意识融入每一个生产环节，才能真正做到“防患于未然”，最大限度地释放优良种鸽的遗传潜能，显著提升饲料报酬、繁殖效率与产品质量。

参考文献

- [1] 陈梦林. 养鸽全书[M]. 南宁：广西科学技术出版社，2018.
- [2] 刘洪云. 肉鸽饲养与疾病防治全景图谱[M]. 北京：机械工业出版社，2020.
- [3] 国家畜禽养殖标准化技术委员会. 肉鸽饲养管理技术规范[S]. 北京：中国农业出版社，2022.
- [4] 张振兴，王志强. 家禽行为学与福利化养殖[M]. 北京：中国农业大学出版社，2019.
- [5] 李凯年. 畜禽疫病流行病学调查与监测技术[M]. 北京：金盾出版社，2015.

Study on the Integration and Application Effect of Green Control Technologies for Major Wheat Diseases and Pests in North China

Jiaojiao Wen

Nanhe District Agriculture and Rural Affairs Bureau, Xingtai, Hebei, 054000, China

Abstract

As a major wheat-producing region in China, North China has seen frequent outbreaks of stripe rust, Fusarium head blight, aphids, and armyworms due to climate change and farming system adjustments, severely threatening crop yields and quality. While traditional chemical control methods provide rapid results, long-term reliance has led to environmental pollution and increased pest resistance. This study proposes a four-dimensional integrated technology system—monitoring and early warning, ecological regulation, precision control, and comprehensive evaluation—based on green control principles. It combines key technologies such as biological control, resistant varieties, ecological regulation, and smart spraying. Experimental results in Hebei, Shanxi, and northern Henan demonstrated a 35% reduction in pesticide use, 90% overall control efficacy, and 8.6% yield increase. This system significantly enhances control efficiency and ecological benefits, offering a viable approach to ensure food security and promote sustainable agricultural development.

Keywords

wheat diseases and pests; green control; ecological regulation; technology integration; application effect

华北地区小麦主要病虫害绿色防控技术集成与应用效果研究

温娇娇

邢台市南和区农业农村局，中国·河北 邢台 054000

摘要

华北地区是我国重要的小麦主产区，气候变化与耕作制度调整使条锈病、赤霉病、蚜虫、粘虫等病虫害多发重发，严重威胁产量与品质。传统化学防控虽见效快，但长期依赖导致环境污染与抗药性增强。本文基于绿色防控理念，构建“监测预警—生态调控—精准防治—综合评价”四维一体技术体系，集成生物防治、抗性品种、生态调控与智能喷施等关键技术。在河北、山西、河南北部等地试验结果表明，农药用量减少35%以上，综合防效达90%，产量提升8.6%。该体系显著提高防治效率与生态效益，为保障粮食安全和推动农业可持续发展提供了可行路径。

关键词

小麦病虫害；绿色防控；生态调控；技术集成；应用效果

1 引言

小麦是华北地区的主要粮食作物，其种植面积和产量在全国均占重要地位。近年来，受气候变暖、种植制度变化与农药抗性演化等因素影响，小麦病虫害呈现出区域性、复合性与持续性加重的趋势。特别是条锈病、赤霉病、白粉病以及蚜虫、粘虫等害虫的频繁发生，已成为限制小麦稳产的主要因素。传统化学防控措施在短期内虽能取得较好防效，但长期依赖导致抗药性增强、环境污染加剧及农产品农残超

标等问题，不符合绿色农业发展方向。

在国家“化肥农药减量增效行动”和“绿色防控行动计划”的推动下，构建以生态安全和农田可持续利用为核心的绿色防控技术体系成为必然趋势。绿色防控强调以生态调控为基础、生物技术为支撑、智能装备为手段，通过技术集成实现病虫害的系统治理。本文以华北地区小麦主要病虫害为研究对象，从防控体系构建、关键技术集成与应用成效等方面展开系统分析，旨在探索符合区域特征的绿色防控路径，为华北小麦生产的高质量与绿色发展提供科学依据。

2 华北地区小麦病虫害发生特征与防控现状

2.1 主要病虫害种类与发生规律

华北地区处于典型的温带季风气候区，气候条件季节性明显，春季干旱多风、夏季高温多雨，这种气候特征为多

【作者简介】温娇娇（1989-），女，中国河北邢台人，本科，农艺师，从事农业技术推广、植物保护、病虫害防治研究。

种小麦病虫害的繁殖与传播提供了理想环境。条锈病在冷凉湿润条件下极易暴发,成为华北北部和山地丘陵地带的主要病害;赤霉病在小麦抽穗至灌浆期的高湿气候中高发,常造成穗部霉变与品质下降;白粉病与蚜虫则在春季干旱少雨季节危害严重。近年来,随着种植密度增加和品种单一化,小麦蚜虫、粘虫等迁飞性害虫呈明显上升趋势,跨区域迁飞导致危害范围扩大。长期单一化学防控造成病原菌群体抗药性增强,使传统防治手段的有效性下降,病虫害防控形势愈加复杂。

2.2 传统防控模式的局限性

目前华北地区小麦病虫害防治仍以化学防控为主,防治体系相对单一。虽然短期内能够快速抑制病菌扩散,但频繁施药破坏了田间天敌群落结构,导致害虫再度爆发并加重抗药性。部分农户缺乏科学施药知识,在药剂选择、剂量控制与防治时间把握上存在误区,造成防效不稳、农药残留超标及环境污染等问题。过度依赖化学农药不仅增加生产成本,还破坏了农田生态平衡,导致有益微生物数量下降、土壤结构退化等次生问题。长期来看,传统防控模式已难以适应绿色农业发展的要求,亟须建立兼顾经济效益与生态安全的综合防治体系。

2.3 绿色防控技术体系的必要性

构建绿色防控体系是实现小麦生产可持续发展的必然选择。绿色防控以生态调控为核心理念,强调“预防为主、防控结合、减药增效”。通过监测预警系统及时掌握病虫动态,结合抗性品种选育、农业生态调控和生物防治等措施,实现病虫害的系统化、精准化管理。该体系以降低化学农药依赖为目标,在防控过程中充分利用自然生态平衡与作物自身抗性,构建稳定的田间生态系统。研究与实践表明,绿色防控技术不仅能有效控制主要病虫害的发生与蔓延,还可减少30%以上的农药使用量,显著提升农业生态系统的自我修复能力,对保障华北地区小麦产量安全与生态环境可持续具有深远意义。

3 小麦病虫害绿色防控技术体系构建

3.1 监测预警与智能决策系统

病虫害的科学防控离不开精准监测与预警体系的支撑。为实现早发现、早干预,建立自动化虫情监测点与智能测报灯系统成为关键环节。通过对气象要素(温度、湿度、降雨量、风速)与虫情动态的实时采集,系统可综合分析病虫害发生趋势。结合物联网技术与GIS空间分布分析,构建基于多源数据融合的大数据预警模型,实现病虫害时空分布图与风险等级的动态更新。平台可自动生成针对不同地区与病虫害类型的防控建议,并通过手机端与控制终端同步推送至农户,实现精准施药与区域联防联控。河北石家庄、河南安阳等地的应用表明,该系统能提前5~7天发出预警信号,显著提升防控的及时性与准确性,为绿色防控提供技术支撑。

3.2 抗性品种选育与推广

选育与推广抗病优良品种是小麦病虫害长期防控的核心策略。通过分子标记辅助选择(MAS)与常规育种技术结合,培育出兼具高产、稳产与抗病特性的新品种,能从源头上降低病害流行风险。目前“矮抗58”“郑麦136”“石优麦3号”等品种在华北地区得到广泛应用,表现出对条锈病、赤霉病及白粉病的稳定抗性。田间试验显示,采用抗性品种后,小麦条锈病发病率较普通品种下降65%以上,赤霉病感染率下降50%,明显减少了化学防治需求。该措施不仅提高了防治的生态效益,也保障了粮食品质安全。抗性品种的持续推广与更新,为构建区域性绿色防控体系提供了坚实的生物学基础。

3.3 生态调控与农艺措施协同

生态调控是绿色防控体系中的生态支柱,其核心在于通过农艺与生态措施恢复田间生态平衡。通过优化种植密度与轮作制度,减少病虫害寄主的持续存在,可有效切断传播途径。采用秸秆还田、地膜覆盖与有机肥替代化肥,改善土壤通透性与微生物结构,从而增强作物根系活力与抗逆性。同时,保护与利用天敌资源,如释放七星瓢虫、赤眼蜂、草蛉等,可形成自然控制链,实现“以虫治虫”“以生抑病”的生态效应。试验研究表明,综合农艺调控措施可减少化学防治需求约30%,并在稳产增产的同时提升农田生物多样性。生态调控与农艺措施的协同应用,为小麦病虫害绿色防控提供了系统性、可持续的技术支撑,推动农业向生态友好型方向转变。

4 关键绿色防控技术的集成与创新应用

4.1 生物防治技术的应用优化

在绿色防控体系中,生物防治是减少化学农药使用、恢复生态平衡的重要支撑环节。通过采用微生物农药、益生菌制剂及天然植物提取物,可有效控制主要病虫害的发生。研究表明,哈茨木霉(*Trichoderma harzianum*)在小麦赤霉病防治中具有显著拮抗作用,其通过竞争营养、分泌抗生物质和诱导植株抗性等多重机制抑制病原菌扩散;苏云金杆菌(*Bacillus thuringiensis*)能针对小麦蚜虫和粘虫形成高效防控屏障,显著降低虫口密度。复合微生物剂在改善根际微生态环境、提升植株抗逆性方面表现出协同增效作用。田间试验结果显示,综合使用生物制剂可替代约40%的化学农药施用量,防效达到85%以上。同时,生物防治措施在确保防效稳定的前提下减少了农药残留,有助于维持土壤微生物多样性与农田生态系统稳定,为实现农业可持续发展奠定基础。

4.2 精准施药与智能装备技术

精准施药技术是实现病虫害防控高效化与绿色化的重要路径。基于无人机、自动导航喷杆机与智能喷雾系统的精准防治模式,能够通过图像识别、地理信息定位与传感监测技

术实现靶向施药。系统依据田间作物长势、病虫分布与气象条件,实时调整喷洒路径、药量及雾滴粒径,减少药液漂移与重复喷施。变量喷洒控制技术通过将处方图与遥感影像结合,实现病虫密集区的重点防治与低风险区的减量处理。华北地区示范应用结果表明,采用精准施药系统后,平均药量减少25%,喷施均匀度提升30%,防控效率提高约22%。此外,该技术具有操作便捷、节省劳动力、环境污染低等优势,尤其在大规模小麦种植区表现出良好的适应性和推广价值,成为实现智能农机与绿色防控融合的重要方向。

4.3 信息化管理与多源数据融合

随着数字农业的快速发展,病虫害信息化管理体系成为提升防控效率和科学决策能力的重要支撑。构建集成化信息管理平台,将气象监测、遥感影像、物联网传感与病虫害情报数据进行多源融合,可实现“感知—分析—决策—执行”的闭环管理。系统通过机器学习模型分析气候变化与病虫动态的相关性,实时评估区域病虫风险等级,并向防控终端发布调度指令。平台同时具备远程监控与可视化展示功能,可跨区域调度资源,提升应急防控的组织协调效率。在河北、河南等地的示范应用中,该系统实现了防控数据的实时共享与动态更新,使防治响应速度提高约40%,显著增强了区域联防联控能力。多源信息融合不仅优化了防控资源配置,也促进了农业管理模式由经验驱动向数据驱动转变,为构建智慧农业防控体系提供了技术支撑。

5 应用效果分析与推广模式研究

5.1 防治效果与生态效益评估

在河北邯郸与山西运城的示范区中,对比传统化学防控与绿色防控体系的应用结果显示,集成技术的综合防效显著优于常规模式。条锈病、赤霉病及蚜虫的平均防治效果分别达到92.1%、88.3%与91.7%,病虫密度总体下降超过80%。通过减少高毒高残农药使用,化学农药总量较基准年下降37%,喷药次数减少约40%。同时,生态环境中的农药残留量和地下水污染风险显著降低。田间监测结果表明,生物多样性水平提升,天敌昆虫数量较推广前增加近30%。小麦产量平均提高8.6%,籽粒蛋白质含量提升4.2%,农产品品质显著改善。绿色防控体系在实现病虫高效控制的同时兼顾了生态安全与农产品质量,充分体现了生态农业与经济效益的协同发展特征。

5.2 推广模式与社会影响

绿色防控技术的推广依托“政府引导—科研支撑—农民参与”的协同机制,实现了政策、技术与生产的多层联动。政府部门主导建立区域示范区,制定标准化技术规程,并提供财政补贴与培训支持;科研机构承担技术研发与现场指导任务,确保技术集成的科学性与可操作性;农户通过合

作社模式实现资源共享与集中应用,推动规模化推广与区域协同防控。推广过程中,依托农技推广服务中心开展多场次培训与实地观摩活动,提高农民对绿色防控理念的理解与接受度。调查数据显示,农户对该技术的认知率从2020年的35%提升至2025年的82%,实际采纳率从18%提升至64%。社会层面上,绿色防控示范区的建设促进了农资结构优化与乡村绿色转型,为农业可持续发展提供了良好范例,带动了农民收入增长与农业品牌化进程。

5.3 经济投入与可持续性分析

从经济效益角度看,绿色防控体系在初期投入较传统防控模式略高,主要体现在生物制剂购置、智能喷施设备与监测设施建设等方面。但随着体系运行的稳定化与技术成熟,节本增效优势逐渐显现。通过节约化学农药与减少施药次数,单位面积防治成本下降12%~15%;同时产量与品质提升使农产品市场收益增长显著,平均净收益提升约15%。长期运行数据表明,绿色防控能有效降低灾害性损失风险,延长耕地生态寿命,提高农业系统的韧性与自我修复能力。在生态可持续性方面,该体系通过减少环境污染与促进生态平衡,增强了农业生态系统的稳定性与循环利用效率。综合分析结果显示,该防控体系在经济可行性、生态友好性、社会接受度方面均表现突出,具备在更大范围内推广的现实基础与长远价值,为华北乃至全国小麦绿色防控模式的持续优化提供了科学依据与实践参考。

6 结语

华北地区小麦主要病虫害绿色防控技术的研究与应用,充分体现了现代农业向生态化、智能化发展的趋势。通过集成监测预警、生物防治、抗性品种、生态调控及智能化装备等技术,构建了区域化、系统化、可复制的防控体系。实践证明,该体系能有效降低化学农药使用量,改善生态环境,显著提升小麦产量与品质。未来应加强区域间数据共享与模型优化,完善绿色防控标准体系,推动数字农业与生态农业深度融合,实现华北小麦产业的高效、安全与可持续发展。

参考文献

- [1] 王端合,薛远赛.鲁西南地区小麦主要病虫害绿色防控技术[J].特种经济动植物,2024,27(05):131-133.
- [2] 张开栋.小麦病虫害绿色防控技术的应用研究[J].种子科技,2024,42(02):149-151.
- [3] 杨维侠.小麦病虫害绿色防控技术与推广路径探索[J].江西农业,2025,(14):92-94.
- [4] 王永芳.保护性耕作条件下小麦-玉米主要病虫害发生规律及绿色防控技术研究.河北省,河北省农林科学院谷子研究所,2020-08-18.
- [5] 韩西红.小麦高产栽培及病虫害绿色防控技术研究[J].农家参谋,2022,(22):45-47.

Study on Physiological Mechanism and Yield Compensation Effect of Different Genotypes of Wheat in Response to Drought Stress

Zhenru An

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

Abstract

Drought is the primary environmental factor limiting stable and high wheat yields, with significant differences observed among wheat genotypes in drought tolerance and yield compensation strategies. Investigating their physiological response mechanisms and compensatory effects is crucial for breeding drought-resistant high-yield varieties and developing control measures. This study analyzes key physiological processes under drought conditions, including photosynthetic regulation, osmotic regulation, antioxidant defense, and root architecture changes in typical wheat genotypes. It further explores the yield compensation capabilities of different genotypes during growth recovery, tiller compensation, and grain filling stages after drought alleviation. The findings demonstrate that genotype differences determine physiological response strategies and compensatory potential, with drought-resistant varieties exhibiting superior homeostatic regulation and functional recovery capacity. These results provide new theoretical foundations for wheat production in arid regions.

Keywords

wheat genotype; drought stress; physiological mechanism; antioxidant system; yield compensation effect

不同基因型小麦应对干旱胁迫的生理机制与产量补偿效应研究

安振如

濮阳县梨园乡农业服务中心, 中国 · 河南 濮阳 457175

摘 要

干旱是限制小麦稳产高产的主要环境因子, 不同基因型小麦在耐旱能力与产量补偿策略方面呈现显著差异。研究其生理响应机制与补偿效应, 对于选育耐旱高效品种与构建调控措施具有重要意义。本文围绕典型小麦基因型在干旱条件下的光合调节、渗透调节、抗氧化防御及根系构型变化等关键生理过程进行分析, 并探讨干旱缓解后不同基因型在生长恢复、分蘖补偿及籽粒灌浆阶段的产量补偿能力。研究表明, 基因型差异决定生理响应策略与补偿潜力, 耐旱型品种具有更高的稳态调控能力和更强的功能恢复能力, 为干旱区小麦生产提供了新的理论依据。

关键词

小麦基因型; 干旱胁迫; 生理机制; 抗氧化系统; 产量补偿效应

1 引言

干旱胁迫是全球农业面临的主要生态挑战, 尤其在气候变化背景下, 降水时空分布的不稳定性显著增强, 使作物生长周期内的水分供应出现更高不确定性。小麦作为重要粮食作物, 其生育进程中多个关键阶段对水分高度敏感, 胁迫持续时间及发生时期均会影响产量构成要素。不同基因型小麦在干旱条件下表现出的抗性差异, 是由其自身遗传特征、代谢调控模式及根—冠协同能力共同决定的。近年来, 关于

小麦耐旱机制的研究不断深化, 但不同基因型间的生理响应规律、补偿能力及产量稳定机制仍需系统分析。探讨其差异性可为优良品种选育与干旱管理策略提供理论支撑, 并对粮食安全具有现实意义。

2 不同基因型小麦应对干旱胁迫的光合调节机制

2.1 光合机构的结构稳定性与功能保持

干旱胁迫常导致叶片失水, 引起气孔关闭, 使 CO_2 同化受限。不同基因型小麦在光合机构结构稳定性方面表现出明显差异。耐旱型品种通常具有较厚的角质层、较高的叶片保水能力及较强的细胞壁机械性, 使光合器官在水分亏缺过

【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。

程中仍维持相对完整的组织结构。这类品种在类囊体膜稳定性、叶绿体形态完整度及光系统Ⅱ保护机制方面表现更优，能够减少高光条件下的光抑制风险。

2.2 光合速率及气体交换参数的调控

干旱胁迫抑制蒸腾作用，导致叶片气孔关闭，使 CO_2 扩散受限，尽管细胞间隙 CO_2 浓度可能因代谢受抑而短暂升高，但光合速率仍因生化过程受限而下降。耐旱型小麦在 Rubisco 酶活性、电子传递能力及碳同化效率方面表现更佳，使其在胁迫条件下依旧保持较高的净光合速率。同时，这类基因型能够灵活调控气孔密度、气孔导度及气孔开闭节律，实现对水分蒸腾的精细化控制，从而提升水分利用效率（WUE）。此外，耐旱型品种的细胞渗透调节能力与叶片保水特性有助于维持较高叶肉导度，使 CO_2 在叶肉细胞内的扩散过程不至于严重受阻。敏感型品种则因光合生化限制严重，光合速率下降更为明显。

2.3 光化学效率与能量分配调节

光化学阶段对干旱极为敏感，电子传递链受到抑制后光能利用效率会迅速降低。耐旱基因型小麦通常具有更稳定的光系统Ⅱ结构，其最大光化学效率指标 Fv/Fm 下降幅度较小，表明其光化学反应中心受损程度较低。此外，耐旱型基因型可通过提高非光化学猝灭（NPQ）能力，将无法用于光合作用的多余能量以热的形式释放，避免光能在叶绿体内累积造成氧化损伤。这类品种在光能分配上更具灵活性，可促进光化学与热耗散之间的动态平衡，增强抗逆性。相反，敏感型品种由于能量分配调节能力弱，NPQ 水平上升缓慢，当光能超过利用能力时易发生光抑制与光系统Ⅱ受损，导致光合能力进一步下降。

3 干旱胁迫下不同基因型小麦的渗透调节与抗氧化防御

3.1 渗透调节物质的积累特征

干旱胁迫导致细胞水势显著下降，植物必须通过渗透调节维持细胞吸水能力与代谢稳定。耐旱型小麦在胁迫早期即可快速积累脯氨酸、可溶性蛋白、可溶性糖以及甜菜碱等渗透调节物质，这些物质不仅降低细胞渗透势、促进吸水，还通过稳定蛋白质结构与细胞膜体系减轻胁迫损伤。此外，脯氨酸和可溶性糖类具有自由基清除作用，可减少干旱条件下产生的氧化压力。相较之下，敏感型品种在渗透调节物质合成速度和积累量上明显不足，细胞膨压下降更为迅速，使生长过程受到较强抑制。从整体表现看，渗透调节能力的差异是不同基因型在干旱条件下维持细胞稳定性的关键因素[1]。

3.2 抗氧化酶系统的活性差异

干旱会诱导植物体内活性氧（ROS）过量生成，如超氧阴离子、过氧化氢等，加剧膜脂过氧化并破坏细胞结构。耐旱型小麦通常具备更高效的抗氧化酶系统，其过氧化物歧化酶（SOD）可迅速将超氧阴离子转化为过氧化氢，而过

氧化氢酶（CAT）与过氧化物酶（POD）能进一步分解有害过氧化物，从而显著提升 ROS 清除能力。此类基因型在胁迫下丙二醛（MDA）含量升幅较低，表明细胞膜受到的氧化损伤较轻。相反，敏感型材料由于酶活性提升不足，ROS 积累速度远超清除能力，MDA 水平显著升高，反映出细胞膜系统受到严重破坏。抗氧化体系的效率直接决定不同基因型在干旱下的生理稳定性。

3.3 膜脂稳定性及细胞完整性的维持

细胞膜是干旱胁迫下最易受损的结构，其稳定性取决于膜脂组成与离子平衡调节能力。耐旱型小麦通常含有较高比例的不饱和脂肪酸，使膜结构具有更好的柔韧性与流动性，在低水势条件下不易发生结构破裂。同时，耐旱基因型能够有效调控跨膜离子运输，减少 K^+ 、 Ca^{2+} 等重要离子的泄漏，维持细胞内稳态。此外，其膜保护蛋白与抗逆相关酶类在胁迫期间保持较高活性，有助于减轻膜脂过氧化过程，增强细胞完整性。敏感型品种由于膜脂不饱和度较低、离子调节能力弱，易出现渗透失衡和膜结构破坏。由此可见，膜脂组成与离子稳态调节能力是不同基因型应对干旱胁迫的重要分化特征 [2]。

4 不同基因型小麦的根系响应特征与水分吸收策略

4.1 根系结构差异与土壤探测能力

根系结构是作物耐旱性的重要物质基础，不同基因型小麦在根系深度、分布范围及根系形态上呈现显著差异。耐旱型基因型通常具有更深层的根系延展能力，其主根能够快速向下扎根，侧根分布广泛，根长密度较高，从而提高深层土壤水分获取能力。同时，耐旱型材料的根毛数量丰富、长度更大，使根系与土壤界面的接触面积明显增加，有利于增强水分吸收效率。在干旱发生后，这类基因型能够依靠深层根系持续吸收残余水分，维持植株蒸腾和细胞膨压，减轻生长受限程度。相较之下，敏感型基因型根系主要集中在表层土壤，根系分布浅、根长密度低，在土壤水分下降时迅速受到限制，难以获得足够的水分补给，导致叶片萎蔫加剧、光合速率下降，生长受到显著抑制。由此可见，根系结构差异直接决定植株的土壤探测能力，是判断基因型耐旱性的重要指标之一 [3]。

4.2 根系生理代谢的调控

干旱胁迫不仅影响根系结构的生长，还会改变其生理代谢活动。耐旱型小麦根系通常在干旱条件下保持较高的呼吸代谢水平，使 ATP 供应更为稳定，从而保障主动吸水和离子运输的正常进行。在胁迫状态下，耐旱基因型能够迅速提升脱落酸（ABA）含量，通过促进气孔关闭减少蒸腾耗水，并调控根冠之间的协调关系。同时，其生长素（IAA）、细胞分裂素（CTK）等激素分布更具优势，使根系能够在逆境下保持较强活力，促进新根生成和根尖延伸。此外，耐旱型

根系具有更强的渗透调节能力,通过积累脯氨酸、可溶性糖等物质维持细胞水势稳定,使根组织在低水势环境中仍具吸水能力。相反,敏感型基因型由于能量供应不足与激素调控能力弱,在干旱条件下根系呼吸速率下降明显,导致吸水能力迅速衰退,整个植株抗旱性随之降低。可见,根系代谢调控是耐旱小麦能否在胁迫中维持生理平衡的关键机制[4]。

4.3 根际微环境与土壤互作的差异

根际微环境是作物根系与土壤发生相互作用的重要区域,不同基因型小麦在根际调控能力上存在显著差异。耐旱型品种能够通过分泌有机酸、酚类物质及多糖等根系分泌物改善根际土壤结构,促进团粒形成,增强土壤保水能力。同时,这类分泌物能够为根际微生物提供碳源,使固氮菌、解磷菌等有益微生物数量增加,从而提升土壤中氮、磷等有效养分的可利用性。微生物群落结构的优化还能促进植物—微生物互利互作,提高植株在干旱环境中的营养吸收效率。此外,耐旱基因型的根系具有更强的调节氧化还原状态能力,使根际环境保持适宜的生化条件,有利于根系生长与功能发挥[5]。

5 干旱缓解后的生长恢复能力与产量补偿效应

5.1 生长恢复速度与叶片功能重建

干旱解除后,小麦植株要实现正常生长,关键在于尽快恢复光合体系与水分运输结构的功能。耐旱基因型通常在逆境下损伤程度较轻,其叶绿体超微结构破坏较少,叶片质膜完整性保持较好,使恢复过程更迅速。在干旱缓解后的数天内,这类品种能够快速提高叶绿素含量和叶绿素 a/b 比值,增强光能吸收与传递能力。同时, Rubisco、PEPC 等关键光合酶活性恢复速度更快,有助于提高 CO₂ 同化效率,使净光合速率显著提升。此外,耐旱型小麦在水分重新供应后可通过根系活力增强、导管再生速度加快来恢复水分运输通道,使叶片蒸腾和气孔调节能力重新稳定。相较之下,敏感型基因型在光系统结构受损后恢复周期明显更长;酶活性恢复也较缓慢,使其生长速率难以在短期内反弹。

5.2 生殖生长阶段的补偿方式

干旱发生在小麦分蘖、拔节或抽穗前后,往往会影响成穗数、小穗形成及开花授粉过程,造成早期产量构成要素下降。然而耐旱基因型具有较强的生殖阶段补偿能力。当环境条件改善后,这类品种能够通过调节花器官发育与籽粒灌浆速率来部分弥补前期损失。一方面,耐旱基因型在花后具有更强的同化物积累能力,光合恢复快,使碳源供应充足,可提高结实率,减少籽粒退化。另一方面,这类品种的灌浆速率与籽粒灌浆持续时间延长,使籽粒重量增加,提升产量稳定性。在干旱后补偿期间,植株体内激素比例如 ABA、

IAA、GA 等亦表现出有利于籽粒灌浆的调节趋势,增强灌浆驱动力。此外,一些耐旱材料能增加功能叶的保持时间,提高叶片光合贡献,使籽粒灌浆期间同化物供给量充足。相比之下,敏感型材料受到早期干旱影响后,花器官受损恢复较弱,灌浆能力有限,补偿空间较小。由此可见,生殖阶段的补偿方式是耐旱基因型在干旱后维持产量的重要策略。

5.3 产量稳定性与综合抗逆能力分析

产量补偿的核心在于作物能否在干湿交替环境中保持生理稳态与能量分配合理性。耐旱基因型之所以具有更高的产量稳定性,是因为其具备优异的水分利用效率(WUE)、光能转化效率(LUE)以及抗氧化系统调控能力。在干旱条件下,这些品种能够通过增强 SOD、CAT、POD 等抗氧化酶活性减少膜脂过氧化,使细胞结构维持稳定,为恢复生长奠定基础。在干旱过后,其体内同化物重新分配能力较强,可优先保证生殖器官的供能需求,使产量构成不被严重破坏。相比之下,敏感基因型由于恢复慢、氧化损伤重、根系活力低,使其难以通过后期补偿机制弥补早期损失。综合来看,产量稳定性体现的是基因型在多胁迫条件下的整体抗逆力,其形成依赖于光合效率、抗氧化能力及水分管理能力的协同作用,是耐旱育种的重要评价指标。

6 结语

不同基因型小麦在干旱胁迫下表现出各具特色的生理与代谢调控机制,其抗旱能力和产量补偿水平受光合调节、渗透保护、抗氧化体系、根系结构及生长恢复机制等多重因素影响。耐旱型品种通常具有更强的稳态调节能力,在胁迫解除后能够快速恢复生理功能,展现更强的产量补偿潜力。系统分析不同基因型的差异可为耐旱育种提供明确方向,为干旱频发地区的小麦生产提供科学依据。未来研究可结合分子生物学与田间管理技术,从基因表达调控、根际生态优化及资源高效利用等方面进一步探索,提高小麦在不同生态环境下的稳定产量能力。

参考文献

- [1] 孟雨.干旱胁迫对小麦生长的影响及品种抗旱性鉴定方法研究[D].河南农业大学,2022.
- [2] 曹俊梅,芦静,周安定,等.水分胁迫对新疆不同小麦品种幼苗生理特性的影响[J].新疆农业科学,2014,51(07):1190-1196.
- [3] 卢丹丹.小麦TaBRI1-B响应碱性盐和渗透胁迫的作用与机制[D].山东大学,2023.
- [4] 李子涵,谢一卓,吾丽努尔·库买买提哈孜,等.施用黄腐酸钾对干旱胁迫春小麦生长与产量形成的影响[J].新疆农业大学学报,2025,48(03):254-262.
- [5] 郭好娟.tae-miR9661在小麦应对干旱胁迫过程中的功能分析[D].河南农业大学,2023.

Effect of parental compatibility improvement on grain yield and quality of hybrid rice

Dahai Wang

Anhui Jiayou Zhongke Fengle Seed Industry Technology Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230088, China

Abstract

As a pivotal crop in global food production, hybrid rice has garnered widespread attention for its high-yield and high-quality traits. The improvement of parental compatibility significantly impacts rice yield and quality, particularly in hybrid rice breeding. The selection of superior parental lines and the study of their compatibility have become critical factors in enhancing rice production efficiency. This paper primarily analyzes the effects of parental compatibility improvement on grain yield and quality in hybrid rice. Through research on different parental compatibility levels, the study explores the mechanisms by which compatibility influences rice yield and quality. Results demonstrate that enhancing parental compatibility can effectively increase rice yield while improving grain quality. Additionally, the paper discusses strategies for selecting hybrid rice parental lines, providing theoretical support for future rice breeding efforts.

Keywords

Hybrid rice; Parent compatibility; Grain yield; Grain quality; Rice breeding

杂交水稻亲本配合力改良对籽粒产量及品质的影响分析

汪大海

安徽嘉优中科丰乐种业科技有限责任公司，中国·安徽 合肥 230088

摘要

杂交水稻作为全球粮食生产中的重要作物之一，其高产优质特性得到了广泛的关注。亲本配合力的改良对水稻产量及品质具有重要影响，尤其是在杂交水稻的育种中，优良亲本的选择及其配合力的研究成为提高水稻生产效益的关键因素。本文主要分析了杂交水稻亲本配合力改良对籽粒产量及品质的影响，通过对不同亲本配合力的研究，探讨了配合力对水稻产量和品质的作用机制。结果表明，优良亲本的配合力改良能有效提高水稻的产量，同时改善籽粒品质。本文还对杂交水稻亲本选择的策略进行了探讨，并为未来的水稻育种提供了理论支持。

关键词

杂交水稻；亲本配合力；籽粒产量；籽粒品质；水稻育种

1 引言

随着全球人口的不断增长和农业资源的日益紧张，粮食安全问题日益成为国际社会关注的焦点。水稻作为全球主要的粮食作物之一，在保障全球粮食供应中扮演着至关重要的角色。提升水稻产量和品质，已成为农业研究的核心问题之一。杂交水稻作为一种高产水稻品种，通过优化育种技术为提高水稻产量提供了有效途径。然而，杂交水稻的育种效果不仅依赖于杂交技术的优化，更依赖于亲本的选择和配合力的研究。亲本配合力决定了水稻杂交后代的表现，因此其改良对水稻的产量与品质具有重要影响。亲本配合力的提高不仅能够显著提高水稻产量，还能改善水稻的质量，满足市场对高产高质水稻品种的需求。研究亲本配合力与水稻籽粒

产量及品质的关系，不仅有助于提升杂交水稻的育种效果，也为水稻育种策略的优化提供了理论支持。因此，亲本配合力的研究具有重要的学术价值和实践意义。

2 杂交水稻亲本配合力的概念及研究背景

2.1 亲本配合力的定义及其在水稻育种中的应用

亲本配合力指的是不同亲本在杂交过程中对后代表现的影响力，通常通过自交、异交等实验方法进行测定。在水稻育种中，亲本的配合力直接决定了杂交后代的表现。亲本配合力的研究不仅帮助选择合适的亲本进行杂交，还为育种策略的优化提供理论支持。亲本配合力主要分为两类：一般配合力（GCA）和特殊配合力（SCA）。一般配合力反映的是亲本在杂交中的基础贡献，通常由亲本的遗传背景和稳定性决定，具有较强的遗传传递性；而特殊配合力则体现了特定亲本配对所能产生的优势表现，通常受环境及杂交配对的特异性影响，具有较大的波动性。因此，了解和研究亲本

【作者简介】汪大海（1969-），男，中国安徽合肥人，农艺师，从事杂交水稻生产研究。

配合力,能够帮助育种者根据育种目标优化亲本的选择,提高水稻的产量和品质。

2.2 杂交水稻亲本配合力的研究现状

随着杂交水稻育种技术的不断进步,亲本配合力的研究也逐步深入。近年来,国内外学者通过大量的田间试验和统计分析,揭示了亲本配合力对水稻产量和品质的深远影响。例如,一些研究表明,具有较高一般配合力的亲本可以显著提高水稻的产量,而某些特定的亲本配对则能够有效改善籽粒的品质,提升米质和口感。随着分子标记技术的引入,亲本配合力的研究已不仅限于表型数据的分析,基因型和环境交互效应逐渐成为研究的重点。分子标记和基因组学技术的应用,使得亲本配合力的研究不仅更加精准,还能够辅助选择具有优良配合力的亲本,提高育种的效率和精度。此外,环境因素对亲本配合力的影响也开始得到越来越多的关注,为亲本选择提供了更加全面的理论支持。

2.3 亲本配合力改良的意义

亲本配合力的改良是提高杂交水稻产量和品质的关键途径。通过优化亲本组合,育种者可以在确保水稻产量的同时,提升其籽粒品质,满足市场和消费者对高质量水稻的需求。特别是在气候变化和环境压力日益加剧的背景下,选择适应性强且具有高配合力的亲本进行杂交,成为提高水稻稳定性和抗逆性的关键。这不仅可以应对气候变化对水稻生产带来的不确定性,还能够保证水稻育种的长期稳定性。通过对亲本配合力的深入研究,育种者能够实现精准育种,减少育种过程中的不确定性,提高育种效率,并为高产、高质水稻品种的培育提供理论支持和实践指导。因此,亲本配合力的研究不仅是水稻育种的核心内容,也为确保粮食安全和可持续农业发展提供了有力支持。

3 亲本配合力改良对籽粒产量的影响

3.1 亲本配合力与水稻产量的关系

亲本配合力对水稻产量的影响主要体现在杂交后代的表现上,尤其是对于一般配合力和特殊配合力的优化。具有较高一般配合力的亲本,通常能够在杂交后代中提供稳定的遗传资源,进而提高水稻的生长潜力和抗逆性。这使得高配合力亲本能够在不同环境条件下表现出较为稳定的高产优势。相较之下,具有较强特殊配合力的亲本则更能在特定环境或气候条件下展现其优势,尤其在跨地区、跨气候条件下进行杂交时,特定亲本配对能够显著提高水稻的产量。因此,通过对亲本配合力的改良,可以为杂交水稻育种提供更高效的配对组合,进而显著提升水稻的产量表现,为实现稳定的高产育种目标提供有力支撑。

3.2 亲本配合力改良对杂交水稻产量波动的影响

水稻的产量受到多种因素的影响,包括环境变化、遗传特性以及管理技术等。在杂交水稻育种中,亲本配合力的改良不仅能够提升水稻的平均产量,还能有效减少产量的波

动性。通过选择高配合力的亲本进行杂交,能够提高杂交后代在不同环境条件下的适应能力,从而降低环境因素对水稻产量的负面影响。此外,优秀的亲本组合能够提升水稻在不同栽培管理条件下的产量稳定性,确保即使在气候变化或其他不利条件下,水稻依然能够保持相对较为稳定的产量水平。这种波动性的降低有助于提高水稻生产的经济效益,保障粮食安全。

3.3 不同亲本配合力对产量提高的具体案例

在水稻育种的实际操作中,亲本配合力对产量的提升效果在不同亲本组合中表现出显著差异。例如,在某些地区,通过采用高配合力的亲本进行杂交,能够显著提高水稻的单产。具体的田间试验表明,使用具有高一一般配合力亲本的杂交组合,相较于常规品种,水稻的产量提高了15%以上,且表现出了更强的抗病性和抗逆性。此外,特定的亲本配对还能够不同的栽培环境中稳定提高产量,显示出亲本配合力优化对提高杂交水稻产量的强大推动作用。类似的研究案例也验证了亲本配合力改良在杂交水稻育种中的实际应用价值,进一步证明了优化亲本配合力对提升水稻产量具有重要的实际意义。

4 亲本配合力改良对水稻品质的影响

4.1 亲本配合力与水稻品质的关系

除了产量,水稻的品质在杂交水稻育种中同样占据着至关重要的地位。水稻品质通常涉及籽粒的外观质量、口感以及营养成分等方面,这些特性与亲本配合力有着密切关系。高配合力的亲本在杂交过程中,能够提供更优的基因组合,从而改善后代的外观质量。例如,某些高配合力的亲本组合能够显著改善水稻米粒的形态、色泽及透明度等外观特征,使得水稻产品在市场上更具竞争力。此外,优良亲本配合力不仅能够改善水稻的视觉品质,还能提高其营养成分,如蛋白质、淀粉等含量,进一步提升水稻的综合品质。这一过程中,亲本的选择和配对对于水稻品质的提升起到了决定性作用,尤其是在高品质水稻品种的开发中,亲本配合力的优化显得尤为关键。因此,亲本配合力的研究和改良对水稻品质的提升具有深远的意义。

4.2 亲本配合力对籽粒品质的提升作用

水稻品质的提升不仅依赖于亲本的遗传特性,还与亲本之间的互补性密切相关。优化亲本配合力能够有效促进基因的互补作用,从而显著改善水稻的籽粒品质。在实际育种中,通过选择合适的亲本组合,研究发现水稻的米质特性得到了显著改善。例如,在一项育种实验中,特定亲本的组合使得水稻米粒的硬度和粘性得到了提升,米粒口感更为优良。此外,亲本配合力的改良还能够增强水稻的抗病性,这一优势不仅使水稻在抗病性方面表现出色,还能保障水稻的籽粒质量,提高其在病害防治过程中的稳定性,从而进一步提升了水稻的整体品质。因此,优化亲本配合力对于水稻籽

粒品质的提升具有直接而显著的作用，是育种中提高品质的重要手段。

4.3 亲本配合力改良对品质的实际应用

亲本配合力的改良不仅能够有效提升水稻的产量，还在多个维度上优化水稻的品质。在水稻育种的实际应用中，通过精心选择具有优良配合力的亲本进行杂交，成功地提升了水稻的米质和口感。例如，某些特定亲本组合的杂交水稻表现出了更好的外观和更高的市场价值，特别是在口感和食用品质方面表现突出。在一些水稻品种的杂交过程中，良好的亲本配合力使得杂交后代的米粒更加均匀，色泽更好，且在糯性和硬度方面的表现也有所改进，进一步提高了其在市场中的竞争力。因此，亲本配合力的优化在水稻育种中的实际应用，具有重要的经济价值和市场前景。通过这一途径，水稻的整体品质得到了显著的提升，能够更好地满足市场对高品质水稻的需求。

5 亲本配合力改良的策略与前景

5.1 亲本选择的优化策略

亲本选择在亲本配合力改良中起着至关重要的作用。通过对不同亲本的配合力进行系统评估，可以选择出那些在产量和品质上均表现优异的亲本，进行合理的组合与优化。为了提高选择的准确性和效率，分子标记技术和基因组学研究应被广泛应用，借助这些技术可以识别具有优良配合力的基因型，从而辅助亲本选择。同时，亲本的选择不仅应考虑其遗传特性，还应重视其适应性和抗逆性。特别是在面对不同环境条件下的栽培挑战时，选择具备稳定性表现的亲本尤为重要。合理的亲本优化策略，不仅可以提高杂交水稻的产量，还能提升其质量，进而推动水稻育种水平的提升。

5.2 未来亲本配合力研究的方向

随着分子育种技术的不断发展，亲本配合力的研究逐渐迈向基因组水平。基因组选择和基因编辑技术将使得亲本选择变得更加精准，进一步提高水稻育种的效率。通过基因组学手段，研究人员可以更准确地分析基因与性状之间的关系，为育种提供更加科学的依据。同时，未来的研究还需要深入探讨亲本配合力在不同环境下的表现，尤其是环境因素对亲本配合力的影响。环境条件在水稻生长过程中的变化对亲本表现有着深远的影响，研究这些影响因素能够帮助优化亲本组合，提高杂交水稻的适应性和稳定性，推动高产高质

水稻品种的培育。

5.3 亲本配合力改良的挑战与应对

尽管亲本配合力的改良在水稻育种中取得了一定的进展，但在实际应用中仍面临一些挑战。不同环境条件下亲本配合力的表现可能存在差异，导致育种效果的不稳定。尤其是在气候变化和环境压力增大的情况下，如何保证亲本组合在各种环境下依然能够表现出优良的产量和品质，成为亟待解决的问题。为了应对这一挑战，未来的研究需要深入探讨环境与遗传的交互作用，探索其对亲本配合力的影响，从而为杂交水稻的育种提供更加精准的策略。此外，随着分子标记和基因编辑技术的进一步发展，结合现代育种理论和技术，水稻育种将能够更好地应对环境变化，实现更加稳定和高效的育种目标。

6 结语

杂交水稻亲本配合力的改良对籽粒产量和品质的提升具有重要意义。通过优化亲本配合力，能够显著提高水稻的产量，并改善其品质，尤其是在抗病性、口感和营养成分等方面的提升。这种改良为水稻育种提供了更广阔的发展空间，不仅满足了市场对高产、优质水稻品种的需求，还能提高农业生产的效率和可持续性。随着分子育种技术的进一步发展，亲本配合力的研究将逐步向更加精准的方向推进，通过基因组学和分子标记技术的应用，可以更精确地筛选具有优良配合力的亲本，从而加速育种过程，提高育种效果。未来，随着这些技术的成熟，亲本配合力的研究将为高产高质水稻品种的培育提供更加坚实的理论基础和实践指导，推动水稻育种向更高效、更精准的方向发展，保障粮食安全和农业可持续发展。

参考文献

- [1] 陈腊梅.三系杂交粳稻品质性状配合力研究及软香粳理化品质分析[D].扬州大学,2024.
- [2] ALI E S M.杂交水稻 (*Oryza sativa* L.)亲本9个质量相关性状一般配合力与SNPLDB的关联分析[D].南京农业大学,2019.
- [3] 谢辉.江淮稻区杂交粳稻亲本产量性状优异配合力标记基因型筛选与配合力改良研究[D].南京农业大学,2017.
- [4] ZAID U I.杂交水稻 (*Oryza sativa* L.)亲本11个产量相关性状配合力效应与SNPLDB的关联分析[D].南京农业大学,2017.
- [5] 黄殿成.长江中下游杂交粳稻亲本产量和品质性状优异配合力标记基因型筛选与配合力改良研究[D].南京农业大学,2012.

Study on the Change of Bulk Density of Corn after Drying and Its Mechanism

Liying Qin¹ Xiaoliang Huo²

1. Central Reserve Grain Hunchun Directly-Administered Warehouse Co., Ltd., Yanbian, Jilin, 133300, China

2. COFCO Jilin Quality Inspection Center Co., Ltd., Changchun, Jilin, 130000, China

Abstract

As a major food crop in China, the quality stability of corn during storage is crucial. Bulk density serves as a key indicator for assessing corn grade and processing suitability. This study investigates the temporal variation patterns and underlying mechanisms of different initial bulk densities of dried corn kernels under identical and varying temperature conditions. Using corn samples divided into five bulk density segments (above 760 g/L, 759–750 g/L, 749–740 g/L, 739–730 g/L, and 729–720 g/L), low-temperature drying technology was employed. Bulk density measurements were conducted at 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 12, 27, and 28 days post-drying. Results demonstrate that under identical temperature conditions and with similar levels of imperfect kernels and impurities, the bulk density differences among corn samples with varying initial densities exhibited distinct temporal variations. The high-density segment (above 760 g/L) showed significant fluctuations (5–13 g/L), with minor initial variations but pronounced mid-to-late period fluctuations. The medium-density segments (750–759 g/L and 730–739 g/L) exhibited stable performance with minimal fluctuations. The medium-density segment (740–749 g/L) demonstrated a more pronounced initial decline compared to the later period. The low-density segment (720–729 g/L) showed minimal initial changes, followed by a gradual increase in mid-period differences and a subsequent decrease. These phenomena are attributed to factors such as initial grain quality, corn structure, moisture distribution, and environmental conditions. This study has direct application value to guide the storage practice of corn, reduce post-harvest loss and improve economic benefits. It is expected that this study can serve the majority of grain workers and contribute to the sustainable development of China's grain industry.

Keywords

corn, drying, bulk density, storage time, quality change, temperature change

玉米烘干后容重变化规律及其机理研究

秦丽莹¹ 霍晓亮²

1. 中央储备粮珲春直属库有限公司, 中国·吉林 延边 133300

2. 中储粮吉林质检中心有限公司, 中国·吉林 长春 130000

摘要

玉米作为我国主要粮食作物,其储藏期间的品质稳定性至关重要。容重是衡量玉米等级和加工适用性的重要指标。本文探讨了烘干后玉米籽粒在同一温度 and 不同温度条件下,不同初始容重随时间变化规律及内在机理,以5个容重分段(760 g/L以上、759–750 g/L、749–740 g/L、739–730 g/L、729–720 g/L)的玉米为研究对象,采用低温烘干技术,在烘干后1、2、3、4、5、6、11、12、27、28 d进行容重测定,结果表明,在同一温度下,不完善粒、杂质含量相差不大的情况下,烘干后不同初始容重的玉米,在不同时间段内,容重差值变化不同。760以上(高容重段):差值范围大,波动剧烈,差值在5–13之间,前期容重差值波动小,中后期容重差值波动大。750–759(中容重段)/730–739(中低容重段):差值波动较小,稳定性较强,740–749(中容重段)前期下降幅度明显高于后期,720–729(低容重段)前期变化不大,中期容重差值出现增长趋势,后期容重差值出现下降。出现这一现象与玉米初始品质、玉米结构、水分分布、环境条件等因素有关。本研究对指导玉米储藏实践、减少产后损失、提升经济效益具有直接的应用价值,期待本研究能够真正服务于广大粮食工作者,为我国粮食产业的可持续发展贡献力量。

关键词

玉米;烘干;容重;储藏时间;品质变化;温度变化

1 引言

玉米是全球最重要的粮食、饲料和工业原料作物之一。

其产后干燥是保证安全储藏、减少损失的关键环节。容重是粮食籽粒在单位容积内的质量,单位用g/L表示。是粮食市场评定等级、决定价格的核心物理指标,它综合反映了籽粒的成熟度、饱满度、内部结构密实度以及加工出率潜力。

新收获的玉米含水量通常高达25%–35%,必须通过干

【作者简介】秦丽莹(1984–),女,中国黑龙江泰来人,本科,工程师,从事粮食检验研究。

燥降至安全水分（约 14%）以下。然而，干燥是一个伴随剧烈热质传递的物理过程，会导致籽粒体积收缩、内部结构改变，从而直接影响容重。在粮食交易过程中，烘干后玉米容重时增时减的现象常引发关注与争议。因此，深入系统地揭示玉米烘干后容重的变化规律，剖析其背后的物理机制与影响因素，对粮食收购工作者具有重大的理论意义与现实需求。

目前关于玉米容重的研究多聚焦于烘干工艺对单一容重等级的影响，或初始容重与品质性状的相关性，而针对不同初始容重分段在烘干后不同时期，储藏中的容重变化规律及机理尚未明确。尤其缺乏以 760 g/L 以上、759~750 g/L 等细分等级为对象，系统追踪烘干后 1~28 d 容重动态的研究。明确不同初始容重玉米的烘干后容重稳定性及调控机理，对指导粮食收购分级、优化烘干工艺参数、延长玉米储藏品质具有重要现实意义。

2 材料与方法

本文综合国内外相关研究成果，采用文献分析与数据整合的方法进行研究。所依据的核心实验数据主要来自烘干后，在同一温度下，在不同时间段内对不同初始容重的玉米进行容重测定。及在不同温度条件下，在不同时间段内对不同初始容重的玉米进行容重测定。

2.1 实验材料

选用新收获的玉米，经除杂、清理后，通过烘干塔烘干至安全水分段。选用的试验材料为水分段为安全水 13.9%-14.4%，破碎粒相差不大，烘干后初始测定容重为 760 以上，759-750，749-740，739-730，729-720 五个不同区间段容重的玉米，每组样品 10 份，每份 5kg。

2.2 实验设计

在同一温湿度环境下，在烘干后不同时间段，对不同容重区间段的玉米进行容重测定，实验采用定期取样检测的方式，跟踪容重动态变化。

将玉米样品置于模拟实际储藏环境，温度分别为低温（-6--15℃）、（11-12℃）常温（20℃），相对湿度控制在 45%-55% 之间。实验采用定期取样检测的方式，跟踪容重动态变化。

2.3 测定指标与方法

仪器：经专业机构检定合格的，吉林中谷科技有限公司生产的 GHCS-1000 型容重器

测定方法：依据国家标准（GB/T 5498-2013）

3 结果与分析

在同一温湿度（T=10℃ ,RH=40%）环境下，在烘干后不同时间段，对不同容重区间段的玉米进行容重测定，实验采用定期取样检测的方式，跟踪容重动态变化。实验数据如下：

表 1 不同初始容重段玉米容重差值随时间变化表

平均值项： 容重差值	容重分段				
	729-720	739-730	749-740	750-759	760 以上
间隔天数					
1	4	4	7	4	5
2	3	4	11	6	6
3	3	3	10	8	7
4	4	3	4	7	8
5	7	2	3	5	10
6	9	1	3	8	13
11	7	2	3	5	9
12	9	4	3	7	11
27	6	4	2	5	5
28	7	3	2	6	10



图 1 不同初始容重段的玉米容重差值随时间变化情况

从上述图表中可以看出：

760 以上（高容重段）：差值范围大，波动剧烈，差值在 5-13 之间，前期容重差值波动小，中后期容重差值波动大。

750-759（中容重段）：差值波动较小，稳定性较强，该段的差值集中在 4-8 之间，无论间隔天数如何变化，差值都没有出现极端值。说明中等容重的玉米，容重流失受时间影响较小，物理状态更稳定。

749-740（中容重段）：间隔天数≤3 天时，差值出现 7-11 的高值；间隔天数≥4 天后，差值在 2-4 之间，较为平稳。前期下降幅度明显高于后期，是中容重段中前期损失较突出的区间。

739-730（中低容重段）：全周期差值均在 1-4 之间，是所有容重段中差值最小的区间，说明该容重段的玉米在储藏过程中，容重较为稳定。

729-720（低容重段）：前期变化不大，间隔天数≤4 天时，差值在 3-4 之间，中期间隔天数 5-12 天，容重差值出现增长趋势，在 7-9 之间，后期间隔天数 27-28 天，容重差值出现下降，在 6-7 之间，总体比较平稳。说明初始容重较低的玉米，容重流失速度会随时间推移加快，这可能与低容重玉米的籽粒结构松散度更高有关。

原因分析：在同一温湿度情况下，玉米籽粒在烘干结束后，会形成一个“外干内湿”的状态，坚硬的外壳在短期内维持了籽粒的完整性和刚性，高容重段玉米籽粒饱满致密、蛋白质和淀粉含量高 [1]，导致前期容重变化不大。随着时间的增加，玉米籽粒内部水分向外部扩散，内部收缩产

生的拉应力，将已经干燥硬化的外壳拉得向内凹陷，甚至产生微裂纹。籽粒整体饱满度下降，质地变得稀松，导致容重下降。749-740 容重段玉米，籽粒结构不如高容重玉米均匀致密，烘干时，外部快速失水硬化，内部水分较高，在前期剧烈的内外水分差会迅速产生明显的内部收缩应力，导致部分籽粒出现微型变化或微调整，导致容重变化明显，快速调整期过后，结构达到新的平衡，容重趋于稳定。低容重段玉米籽粒发育不充分，结构疏松、淀粉排列不紧密。疏松的结构使内部水分迁移阻力变小，应力释放不明显，导致前期容

重变化不大，随着时间推移，持续的内部失水和应力累计，可能导致本就薄弱的结构发生延迟的、明显的松弛甚至微裂纹，使容重下降变大，后期内部变化，逐渐趋于稳定，容重也趋于稳定。

在 -6℃ ~15℃，11℃ ~12℃，20℃三个不同温度段下，在烘干后不同时间段，对不同容重区间的玉米进行容重测定，实验采用定期取样检测的方式，跟踪容重动态变化。实验数据如下：

表 2 不同初始容重段玉米容重差值随时间变化表

间隔天数	11℃ -12℃			20℃			-6℃ ~-15℃		
	749-740	750-759	760 以上	749-740	750-759	760 以上	749-740	750-759	760 以上
1	7	3.8	5	7.8	5	9.5	2.8	3	8.7
2	5	2.8	5.5	8.2	5.3	9.8	3.2	3	6.3
4	5	3	11	8.6	5	12	3.6	4	6.8
6	6	3.8	7	9	4.8	13	3.5	4.3	7.6
22	6	3.3	4	8.4	3.6	10	3	4	8.3
27	5.8	3.5	4	8.5	2.5	10.3	2.8	4.2	8.5

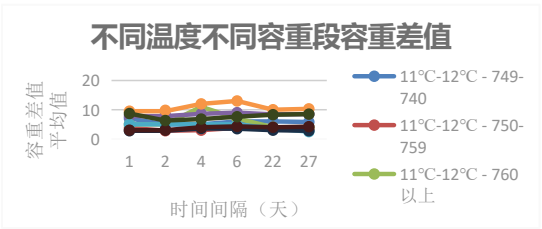


图 2 不同温度不同容重段的玉米容重差值随时间变化情况

从上述图表中可以看出：

760 以上（高容重段）：整体容重差值波动比较大，尤其是 -6℃ ~15℃，20℃这两个极端温度下，受温度影响比较大。

750-759（中容重段）：整体容重差值波动较小，稳定性较强，受温度影响较小。无论间隔天数和温度如何变化，差值都没有出现极端值。说明中等容重的玉米，容重流失受时间和温度影响较小，物理状态更稳定。

749-740（中容重段）：在中温段（11℃ -12℃）和高温段（20℃）整体容重差值波动较小，在 5-9 之间。在低温段（-6℃ ~15℃）容重变化差值更小在 2.8-3.6 之间，较稳定。说明此容重段玉米，在低温情况下储藏，更稳定。

原因分析：结构决定敏感性：玉米初始容重越高（结构越致密坚固），在非冻结温度下，其因内部应力缓慢释放而导致的中期容重变化可能越显著；中等容重玉米因结构弹性好，整体更稳定；较低容重玉米则对温度更敏感。

温度调控进程：20℃是“准低温”储藏温度，能显著延缓品质劣变[3]。但与更低的温度比较，20℃下玉米的呼吸、水分迁移和内部应力释放过程更快。因此，容重差值变化的幅度更大，但整体仍遵循“初期调整→中期释放→后期趋稳”

的规律。11-12℃ 水分迁移温和，再分配过程平稳，容重变化小。-6℃ ~15℃ 几乎“冻结”了籽粒的所有生理生化活动和水分迁移。籽粒处于冻结状态，物理性质变化很小，内部应力也难以释放，因此容重差值总体变化较小。

4 储藏管理建议

4.1 通用存储原则

严格控制水分、杂质：水分是影响安全储藏的最关键因素。高水分玉米（如 17%）在常温下仅 52 天就可能发霉，容重急剧下降。[2] 国家标准《粮食储藏 玉米安全储藏技术规范》GB/T44340-2024 也强调了水分控制的重要性。入仓前也需严格控制杂质，最好进行过筛处理，清除破碎粒、秸秆、粉尘等杂质。提高粮堆孔隙度，利于通风降温，减少虫霉滋生。

分级存放，严禁混存：不同容重段玉米最好能分开仓房存放，避免交叉影响，降低整体损耗风险，不同容重段玉米，对温度敏感性不同，最佳储藏温度不同，容重变化规律不同，避免相互影响。低容重玉米通常结构疏松、潜在破损粒多、呼吸强度可能更高，更易滋生虫霉和引起局部发热。如果混存，可能会危机高容重玉米的安全。

严控存储环境温湿度：整体保持低温低湿环境：温度控制在 15-20℃，相对湿度 ≤65%，抑制籽粒呼吸作用和微生物活动，从根本上减缓容重下降 [4]。东北地区大型仓房可安装通风笼，便于进行通风作业，可以进行内环流通风、轴流风机通风、混流风机通风等。冬季或室外温度降至适合时，进行通风作业，这些措施可以更好的控制储粮仓房温湿度环境，确保粮食质量安全。

定期监测容重与水分：建议存放前 2 周（前期快速变

化期)每3天监测1次,2周后每周监测1次,及时掌握容重变化趋势,发现异常(如差值突然升高)立即处理。

4.2 分容重段针对性措施

760 容重以上(高容重段)核心目标:品质保全,稳定容重。

入库前先预干燥,将水分缓慢降至14%以下,缩短前期快速降重期。

存放前1周加强通风,快速散出籽粒呼吸产生的热量和水汽。

1周后密封仓库,减少外界湿度影响。

推荐技术:低温(15℃以下)或准低温(15-20℃)储藏,应用内环流控温技术。利用冬季蓄存的冷源,在夏季将粮堆中心(冷心)的冷空气抽出,循环至粮堆上层及仓内空间,可有效将表层粮温控制在20℃以下,并显著减少水分损失和品质劣变。同时需强化仓房的气密保温保冷性,仓房最好进行加装保温隔热气密装置、喷涂反光隔热涂料等,这是内环流技术高效运行的基础。

750-759(中高容重段)核心目标:稳定与经济效益平衡。

无需特殊处理,维持常规低温低湿环境即可。

入库前筛选杂质、不完善粒,减少水分快速散失。

前期通风时避免强风直吹,防止籽粒表皮开裂。

推荐技术:该容重段玉米结构弹性好,在不同温度下,容重差值变化不大,对低温依赖程度不高,准低温(20℃左右)储藏即可。这是目前大型粮库最主流的绿色储粮技术标准,既能有效抑制虫霉、延缓品质劣变,又具有较好的经济性。最好储藏在标准高大平房仓或浅圆仓中,应用内环流控温技术来维持准低温状态。

740-749及以下容重段(中低容重段)核心目标:防止品质加速劣变,安全储藏。

存储环境保持干燥,防止籽粒吸附外界水分。

入库前进行杀菌处理,抑制微生物滋生。

单独存放于通风性最好的仓库,避免闷仓。

推荐技术:低温(15℃以下)或准低温(15-20℃)储藏,该容重段玉米对温度敏感,20℃时容重差值最大,-6℃~15℃时容重差值最小。若不能严格分仓储存时,建议将低容重玉

米置于仓中下部,仓中下部由于冬季蓄冷的冷源存在,温度常年保持在零度以下,可以有效的延缓品质劣变。

5 结论、建议与产业应用展望

结论:玉米烘干后的容重遵循“烘干达峰、短期调整、长期缓降”的动态变化规律。这一规律揭示,优异的产后处理不能止步于烘干,而应延伸至整个储藏链条。

基于上述规律,对产业实践提出以下建议:

推广智能化精准干燥:大力发展并应用基于籽粒水分和温度在线检测的智能干燥系统,优先采用低温缓苏干燥工艺,从源头上生产高容重、低损伤、耐储藏的玉米。

实施“优粮优储”精细管理:对高价值、高容重玉米,配置低温或准低温仓储设施,通过传感器网络实时监控粮堆温湿度,并将容重作为动态监测指标之一,建立预警模型。

优化物流与轮换机制:在制定仓储和销售计划时,应考虑容重随时间衰减的规律。对于采用非理想工艺烘干的玉米,应优先安排出库,缩短存储周期,减少价值损失。

加强全链条品质追溯研究:未来研究应整合烘干工艺参数、储藏环境数据与容重等品质指标的长期监测结果,构建预测模型,为粮食减损和智慧型粮库建设提供更精准的决策支持。

从事粮食收储工作或贸易的人员,烘干后不应立即以当时的容重作为最终定等依据。最好让玉米在适宜条件下(如准低温)储存2-4周,待其内部水分和应力基本平衡、品质趋于稳定后,再进行容重检测和分级,这样得到的指标更可靠,能有效避免后续争议。

参考文献

- [1] 张丽,张吉旺,周伟等.玉米不同粒位子粒容重与子粒物理性状的相关分析[J].玉米科学,2015,23(2):64~68
- [2] 宋秀娟.对玉米烘干降水后容重下降的分析与解决方法[J].黑龙江粮食,2002,4:43.
- [3] 谭晓雨,丁玉琴,丁明军,张忠杰,尹君..准低温条件下不同含水量玉米储存品质和微观结构变化[J].粮油食品科技,2024,32(1):P.129-138,10.
- [4] 李慧,王若兰,渠琛玲,潘柏西.玉米储藏霉变条件及其品质研究[J].河南工业大学学报自然科学版,2018,39(4):33-37.

Practice Exploration of Digital Empowerment of Rural Collective Economic Financial Management and Supervision

Yujun Liu

Shanxi Agricultural University, Taiyuan, Shanxi, 030001, China

Abstract

Against the backdrop of rural revitalization and modernization of rural governance systems, the high-quality development of rural collective economies has imposed new demands on financial management and supervision frameworks. Traditional rural collective financial management systems commonly face challenges such as information opacity, delayed oversight, and inefficient fund utilization. With the widespread adoption of digital technologies and the refinement of data governance systems, digital empowerment has emerged as a critical solution to these issues. By establishing a digital financial management system integrated with big data, cloud computing, blockchain, and intelligent auditing, dynamic monitoring and risk alerts for collective assets, funds, and projects can be achieved, thereby enhancing decision-making scientificity and management transparency. This paper explores the pathways and key technologies for digital transformation in rural collective economic finance, analyzing practical outcomes in standardized management, precise supervision, and intelligent risk prevention. The findings provide valuable references for advancing the modernization of rural collective economic governance systems.

Keywords

digital empowerment; rural collective economy; financial management; supervision system; risk prevention and control

数字化赋能农村集体经济财务管理与监督的实践探索

刘毓君

山西农业大学, 中国 · 山西 太原 030001

摘要

在乡村振兴与农村治理体系现代化的背景下,农村集体经济的高质量发展对财务管理与监督体系提出了新的要求。传统农村集体财务管理普遍存在信息不透明、监督不及时、资金使用效率低等问题。随着数字技术的普及与数据治理体系的完善,数字化赋能成为破解这些难题的重要路径。通过构建基于大数据、云计算、区块链与智能审计的数字化财务管理体系,能够实现集体资产、资金与项目的动态监控和风险预警,提升决策科学性与管理透明度。本文从数字化转型的现实需求出发,探讨农村集体经济财务数字化建设的路径与关键技术,分析其在管理规范、监督精准化及风险防控智能化方面的实践成效,为推动农村集体经济治理体系现代化提供参考。

关键词

数字化赋能; 农村集体经济; 财务管理; 监督体系; 风险防控

1 引言

农村集体经济是乡村振兴的重要基础,其财务管理水平直接影响集体资产保值增值与农民利益实现。受管理体制与信息化水平限制,当前农村财务管理仍存在账务不清、监管薄弱、资金使用不规范等问题。数字技术的发展为其转型提供了新机遇。依托大数据、云计算、区块链与人工智能,可实现财务全过程可视化监管与智能预警,构建透明、高效、

安全的资金运行体系。本文从体系建设、技术应用与风险防控等方面探讨数字化赋能路径,为完善农村财务监督体系和推进基层治理现代化提供参考。

2 农村集体经济财务数字化建设的现实背景与必要性

2.1 传统财务管理的困境与风险隐患

当前农村集体经济财务管理仍存在较多历史性与结构性问题。部分基层组织财务人员专业能力不足,账务核算依赖人工操作,信息录入滞后且准确性差,导致账实不符、资产流失及监督缺位现象突出。集体资金的收支管理缺乏透明度,财务公开形式单一,难以满足农民对信息知情权的需求。此外,监督主体多元而分散,村级、镇级、审计等多层机构

【课题项目】新形势下农村集体经济财务管理和监督研究(项目编号: 2021XD04)。

【作者简介】刘毓君(1971-),女,中国山西人,硕士,正高级会计师,从事农业经济,财务研究。

之间缺乏数据共享与业务协同,形成“信息孤岛”。在这种环境下,财务风险易在资金流转和项目投资环节中积聚,不仅影响集体经济运行效率,也削弱了基层治理公信力。

2.2 数字化转型的政策推动与发展机遇

国家“数字中国”与“智慧乡村”战略的实施,为农村财务数字化建设提供了顶层设计与政策保障。多地政府已将农村集体“三资”(资金、资产、资源)管理信息化纳入农村改革重点任务,推动建立“村财镇管”“线上审批”“智能公开”等数字监管平台。数字化转型不仅提升了财务工作效率,也实现了制度创新与治理模式升级。随着农村网络基础设施的完善和信息化人才的培养,数据互通、云端共享与智能审计等技术逐渐在基层推广应用,为农村财务管理提供了坚实的技术条件。

2.3 数字化赋能的理论价值与实践意义

数字化赋能农村财务管理,不仅是一种技术革新,更是治理理念的变革。通过数字手段实现财务流程的标准化、信息公开的实时化与监督机制的智能化,可有效解决传统模式中监督滞后与责任不清的问题。其核心意义在于实现从“事后核查”向“事中监控”“事前预警”转变,推动集体经济运行的规范化与科学化。同时,数字化管理还促进了农村治理的民主化与公开化,增强农民的参与感与信任度,为构建阳光财政与廉洁村务提供制度支撑。

3 数字化赋能农村财务管理的体系构建与核心路径

3.1 数据驱动的财务管理一体化平台建设

数字化赋能农村财务管理的核心在于构建统一、智能的数据管理平台,实现集体经济财务信息的集中化、规范化与动态化管理。该平台应以“资金流—业务流—信息流”三位一体为逻辑主线,涵盖预算编制、收支核算、合同管理、资产登记、项目审批、绩效考核等模块,形成完整的财务生命周期闭环。通过大数据聚合技术,可实现异构数据的集中存储与交互共享,构建“村—镇—县”三级信息互通体系。平台采用票据智能识别与自动对账功能,提升核算效率与准确度;同时通过风险预警与数据审计模块,实现异常支出自动识别与过程监督。权限分级管理与操作留痕机制确保系统使用安全,所有财务行为均可追溯,保证管理责任清晰化与操作合规化。一体化平台的建设,使农村财务管理实现从“手工分散”向“智能集中”的转变,为数字化监管与决策提供数据基础与技术支撑。

3.2 区块链技术支撑下的资金流动可追溯机制

区块链技术以其分布式账本、不可篡改和多节点共识特性,为农村集体经济资金监管提供了新型技术路径。通过构建基于区块链的财务追溯系统,可实现资金流动全过程记录与实时验证,从预算拨付到使用核销的每个环节均可自动上链存证。智能合约的引入使资金拨付、项目执行与报销审

核实现自动化匹配与合规校验,防止资金被挪用、截留或虚报。各级财政、审计和村级组织可共享同一账本,实现数据互认与结果同源,打破信息孤岛,形成全域透明的监督体系。结合大数据分析技术,系统可生成资金运行风险图谱,动态评估资金流向与绩效偏差,为监管部门提供精准预警与决策依据。区块链的应用不仅强化了财务监管的透明性与公信力,还通过数据可信流通实现了多主体共治格局,推动农村财务监管体系由静态记录向动态协同迈进。

3.3 人工智能与云计算驱动的智能监督体系

人工智能与云计算的深度融合,使农村财务监督从经验依赖转向算法驱动,实现高效、精准的数字化治理。云计算架构的引入支持多终端并行操作与大规模数据实时分析,确保跨区域、跨部门的业务协同。监管人员可通过云端可视化界面实时查看资金流向、预算执行率与项目绩效,系统自动生成分析报告与风险评估,减少人工审查误差。人工智能算法还能通过持续学习优化监督模型,提升预测准确率与风险响应速度。智能监督体系实现了由“事后审计”向“事中监测、事前预警”的转型,不仅提高了监督效率,也保障了资金安全与政策落实的精准性。该体系的建成,使农村财务监管进入可视化、智能化、实时化的新阶段,显著增强了集体经济运行的透明度与公信力。

4 数字化监督体系的创新实践与典型模式

4.1 “村财镇管”模式的数字化升级

“村财镇管、村用镇代管”是当前农村集体经济财务管理体制的重要创新,其核心在于将村级资金纳入镇级监管体系,实现权责分明与资金流向可控。数字化平台的建设为该模式注入了新的活力。通过线上系统,镇级财政部门可对村级财务实行全过程、全节点、全数据的动态监控,实现从预算编制、资金拨付到凭证审核、报账核销的实时化与标准化。该机制有效减少了人工操作中的随意性与人为干预,提升了资金运行透明度与监督效率。数字化“村财镇管”体系还可自动生成财务报表与绩效指标,为审计、统计与决策提供数据支撑,实现集体资金管理的规范化与精细化。

4.2 “三资”管理平台的集成化运行机制

农村集体经济的“三资”(资金、资产、资源)管理是推动集体经济健康发展的基础,其难点在于信息分散、数据孤岛与账物不符。集成化数字管理平台的建立,使“三资”管理实现了从分散管理到一体化协同的跨越。平台整合土地承包经营、集体建设用地、资产租赁与收益分配等数据资源,构建统一的管理数据库。通过大数据比对与智能算法,实现“账、物、图、档”四位一体同步更新,使资产数据精准化、可视化。GIS地图系统可将资产分布、使用状态与收益情况直观呈现,便于村、镇、县三级管理部门动态掌握集体经济运行态势。该机制打通了财务、资源与资产之间的信息壁垒,实现数据流、业务流与资金流的全面融合,促进了资源配置

的科学化、决策的可量化与资产管理的透明化,显著提升了集体资产运营效率与监督实效。

4.3 数字化审计与绩效评估机制创新

数字审计是农村集体财务监督体系向智能化升级的重要方向。依托审计大数据系统,可实现财务数据的自动抽样、比对与风险识别,提升监督精准度。系统通过算法模型对各村财务账目进行异常检测,识别违规资金流向、重复支出及预算偏差,并自动生成分析报告。通过智能审计工具,审计人员可实时获取风险预警信息,实现从“事后核查”向“全程动态监督”转变,显著提高审计工作的科学性与时效性。绩效评估模块则基于财务与经营数据,构建资产收益率、资金使用效率、风险控制与社会效益等多维度指标体系,实现对集体经济运行质量的量化分析。该机制不仅增强了财务监督的透明度与可追溯性,也为政府与村级组织提供了科学决策依据。数字化审计与绩效评估的结合,使农村财务管理实现了“监督—评估—反馈—改进”的闭环,为农村治理现代化奠定坚实基础。

5 数字化赋能下的风险防控与制度保障

5.1 数据安全与隐私保护机制建设

在数字化赋能农村集体经济财务管理的过程中,数据安全是系统稳定运行的前提与底线。财务数据具有敏感性与高价值特征,若缺乏有效防护,极易引发信息泄露与信任危机。为此,应建立涵盖数据采集、传输、存储与使用全过程的安全防控体系。技术层面,应采用多重加密算法、双重身份认证与访问控制机制,确保不同权限用户仅能获取必要信息。针对关键数据,应实行分级授权与动态监控,设置访问日志与行为审计功能,实现全过程留痕可追溯。系统应具备异地容灾与实时备份能力,以防自然灾害或技术故障造成数据丢失。同时,应制定完善的隐私保护规范,明确信息安全责任主体,强化数据安全意识培训,形成“制度保障—技术防护—人员管理”三位一体的安全防控体系,确保集体经济数据在数字化环境下的保密性、完整性与可信性。

5.2 制度保障与标准化建设路径

数字化财务管理体系的高效运行依赖于制度与标准的双重保障。单纯依靠技术手段难以形成可持续管理模式,必须以制度规范为基础,建立覆盖预算管理、资金审批、财务公开、绩效考核及风险处置的系统化制度框架。同时,完善数字化财务信息公开制度,明确数据采集、共享与使用的边界,防止信息滥用或失真。标准化建设还应与信息化监管平

台深度融合,形成统一规范、统一接口、统一监管的标准体系,为数字化监督提供制度依据与执行路径,从而实现农村财务管理的规范化、透明化与高效化。

5.3 人才培养与数字素养提升机制

数字化财务管理体系的建设离不开高素质人才的支撑,人才短板是当前农村数字化转型的突出瓶颈。应构建多层次、系统化的人才培养机制,加强基层财务人员、管理干部及技术运维人员的数字化能力建设。针对基层实际,应定期开展信息技术培训与岗位实训,提升其数据分析、系统操作、风险预警等能力。鼓励高校、科研院所与地方政府共建农村数字治理研究与培训平台,推动理论与实践应用相结合。与此同时,应完善人才激励机制,对具备信息化管理能力的专业人才给予政策与待遇支持。通过持续的人才培养与素养提升,可形成一支懂财务、懂技术、懂管理的复合型队伍,为农村财务数字化管理提供长期智力保障与创新动力,推动数字治理体系稳健发展。

6 结语

数字化赋能为农村集体经济财务管理与监督提供了全新的技术路径与制度保障。通过构建数据共享、区块链防篡改、智能审计与风险预警等多维体系,农村财务管理正由传统手工核算向智能化、实时化与透明化转型。数字化管理的推广不仅优化了财务流程、提升了资金使用效益,更强化了农村治理的规范性与公信力。未来,应在政策引导、标准建设与技术创新的共同推动下,完善数字化监管框架,促进财务数据资源的高效流通与安全利用。通过数字化治理与智能监督的深度融合,农村集体经济将实现从“经验管理”向“数据驱动”转变,为乡村振兴战略提供坚实的制度与技术支撑,推动农村治理体系迈向现代化、科学化与高效化的新阶段。

参考文献

- [1] 皋丽妹.数字化赋能农村财务管理的探讨[J].新农民,2025,(34):34-36.
- [2] 孙颖,邢文龙,崔寒旭.农村财务管理数字化赋能乡村治理的机制与路径研究[J].中国农业会计,2025,35(17):112-114.
- [3] 谢冬梅.数字赋能理念下村集体经济组织智能财务标准化体系构建研究[J].黑龙江粮食,2024,(10):140-142.
- [4] 宋秋昕.智能财务系统在村集体经济组织中的应用研究[J].财会学习,2023,(13):141-143.
- [5] 倪艳丽.农村集体经济组织财务管理数字化建设的现状、问题与对策[J].大众投资指南,2023,(06):86-88.

Co-processing and Utilization Technology of Waste from Beef Cattle and Poultry Breeding

Kaian Long

Xuanhan Vocational Secondary School, Sichuan Province, Dazhou, Sichuan, 636150, China

Abstract

With the advancement of large-scale livestock farming, the volume of waste from beef cattle and poultry breeding has surged dramatically, posing challenges to agricultural ecology and resource recycling. Traditional single-treatment methods exhibit low utilization efficiency, pollution transfer, and insufficient benefits. Beef cattle manure is rich in fiber, while poultry manure contains high levels of nitrogen and phosphorus. The complementary physicochemical properties of these two types of waste create favorable conditions for synergistic treatment. This study establishes a synergistic recycling system integrating anaerobic digestion, composting fermentation, and resource utilization, systematically investigating its energy recovery, fertilizer production, and ecological environmental application value. The research demonstrates that synergistic treatment significantly enhances organic matter degradation rates, optimizes carbon-to-nitrogen ratios, reduces ammonia nitrogen and greenhouse gas emissions, and achieves waste reduction, harmlessness, and resource utilization. This provides a practical technical pathway for the green, low-carbon, and sustainable development of livestock farming.

Keywords

beef cattle farming; poultry farming; waste treatment; synergistic utilization; circular agriculture

肉牛与家禽养殖废弃物协同处理及利用技术

龙开安

四川省宣汉职业中专学校, 中国·四川达州 636150

摘要

随着畜牧业规模化推进, 肉牛、家禽养殖废弃物量剧增, 成为农业生态与资源循环利用的制约因素, 传统单一处理模式存在利用率低、污染转移、效益不足等问题。肉牛粪污富纤维, 家禽粪便高氮磷, 二者理化特性互补, 为协同处理创造有利条件。本文构建厌氧消化、堆肥发酵与资源化利用协同循环体系, 系统探究其能源回收、肥料产出与生态环保应用价值。研究表明, 协同处理可显著提升有机物降解率, 优化碳氮配比, 降低氨氮及温室气体排放, 达成废弃物减量化、无害化与资源化, 为畜牧业绿色低碳可持续发展提供切实可行技术路径。

关键词

肉牛养殖; 家禽养殖; 废弃物处理; 协同利用; 循环农业

1 引言

肉牛与家禽养殖业在保障居民蛋白质供给、促进农村经济发展方面具有重要作用, 但伴随生产规模扩大, 养殖废弃物数量激增, 若处理不当将引发氨氮污染、水体富营养化及温室气体排放等环境问题。肉牛粪污含有较高的纤维素和木质素, 分解周期长; 家禽粪便富含氮、磷等速效养分, 发酵反应迅速。二者在有机成分及微生物活性上的差异, 使协同处理成为提升资源化效率的可行途径。通过科学配比、联合发酵与多级利用, 可在改善发酵性能的同时实现能量与养分的循环再生。近年来, 国内外学者在混合厌氧发酵、堆肥

协同与能源转化等领域进行了广泛研究, 取得了显著成效。

本文将系统探讨肉牛与家禽养殖废弃物协同处理的机理与关键技术路径, 分析典型工艺的优化策略, 旨在为畜禽养殖废弃物的减量化、无害化与资源化利用提供技术支撑与理论依据。

2 肉牛与家禽养殖废弃物的特性分析

2.1 肉牛粪污的理化特征与处理难点

肉牛粪污以粗纤维、有机残渣和未完全消化的植物性物质为主, 含水率一般在 85% 以上, 碳氮比高达 25 : 1 至 35 : 1, 具有有机质含量高、降解速度慢的特点。其主要问题在于木质纤维素含量高, 微生物难以直接分解, 导致厌氧发酵产气效率偏低。若未经预处理直接排放或堆放, 不仅造成恶臭扩散, 还会因渗滤液中高浓度氨氮而污染地下水。肉

【作者简介】龙开安(1975-), 男, 中国四川达州人, 本科, 高级讲师, 从事畜牧兽医研究。

牛粪污的高黏度与低易降解性，决定了单独处理难以实现高效转化，需通过与高氮类废弃物的协同处理改善微生物生长环境与营养平衡。

2.2 家禽粪便的组成特性与潜在风险

家禽粪便中含有大量可溶性有机物、蛋白质及尿酸、氮、磷含量高，碳氮比一般在 10 : 1 至 15 : 1 之间。其有机成分易被微生物分解，发酵活性强，能够为混合物提供充足的氮源与快速降解菌群。然而家禽粪便中氨氮浓度较高，若处理不当易造成氨挥发与酸碱失衡，影响厌氧系统稳定运行。同时，病原菌和抗生素残留亦构成潜在生物安全风险。通过与肉牛粪污混合处理，可在稀释污染物浓度的同时改善碳氮比和缓冲体系，提高反应系统的稳定性。

2.3 协同处理的理化互补性分析

肉牛与家禽粪污在理化特性上呈明显互补。肉牛粪污为碳源丰富、氮素不足的高 C/N 物料，家禽粪便则为氮素过剩、碳源不足的低 C/N 物料。两者按适宜比例混合后，可将 C/N 比调控至 20 : 1 至 25 : 1 范围，形成适合微生物繁殖的营养环境。协同处理不仅改善基质结构、提高通气性与水分平衡，还可促进细菌与真菌的共代谢作用，提升有机质降解速率。研究表明，混合比例为肉牛粪污 60% 至 70%、家禽粪便 30% 至 40% 时，厌氧发酵产气量提升约 25%，堆肥腐熟周期缩短 20%，实现显著的协同增效效应。

3 肉牛与家禽养殖废弃物协同处理的关键技术

3.1 厌氧消化协同发酵技术

厌氧消化是畜禽粪污资源化与无害化处理的核心路径，其本质是微生物在无氧环境中分解有机质生成沼气，实现能源回收与污染减量。肉牛与家禽废弃物协同厌氧发酵能在优化碳氮比 (C/N) 平衡的同时增强系统稳定性和产气效率。肉牛粪污中含有大量纤维素和木质素，需通过物理（粉碎、加热）或化学（碱化、氧化）预处理破坏细胞壁结构，以提高有机物可降解性。家禽粪便富含氮源，能促进产酸阶段的微生物代谢，改善反应体系的营养供给。为维持微生物群落活性，发酵温度宜控制在 35 ~ 38℃ 的中温区，并通过投加缓冲剂和微量元素（如镍、钴、钼等）稳定 pH 与代谢平衡。采用多级反应器设计可实现水解、产酸与产甲烷阶段的空间分离，提高甲烷浓度与能量转化率。协同厌氧体系中，甲烷产率比单一发酵提高 20% 以上，系统抗冲击能力显著增强，为养殖废弃物清洁能源化利用提供有效途径。

3.2 好氧堆肥与高温腐熟技术

堆肥是肉牛与家禽废弃物协同处理的重要方式，其核心是微生物在好氧条件下对有机物的降解与腐熟转化。肉牛粪污含水率高、结构疏松，通气性差；家禽粪便富含氮源、反应迅速，二者协同可调节 C/N 比并加快升温速率。堆肥温度应稳定在 55 ~ 65℃，可有效杀灭病原菌和寄生虫卵，抑制臭气与氨挥发。通过添加秸秆、稻壳、生物炭等辅料，

可改善堆体孔隙结构、增强氧扩散与水分调节能力。高温阶段主要进行蛋白质与纤维素降解，降温与熟化阶段则促进腐殖质形成。协同堆肥可使氮素损失率降低约 15%，腐熟时间缩短 20%，有机质矿化率提高 30% 以上。产物具有较高的养分含量和土壤改良价值，可作为高品质有机肥广泛应用于农田与园艺系统，实现废弃物的无害化与生态化利用。

3.3 资源化与能源化综合利用技术

肉牛与家禽粪污协同处理，核心目标是实现能源转化与养分循环双重利用。厌氧消化产生的沼气可供热、发电或作替代燃料，沼液沼渣经处理制成液体肥与土壤改良剂，适配农业施用；好氧堆肥产物富腐殖酸与稳定有机碳，能培肥农田、改良土壤微生态，亦可用于园林基质及生态修复。协同处理中结合膜分离等技术提取氨氮、磷钾资源，开发高附加值肥料，提升养分再生利用率。全程遵循减量化、无害化、资源化原则，构建养殖 - 处理 - 农用闭环生态链，同步实现废弃物能源化与肥料化，提升资源利用率，助推畜禽养殖绿色低碳循环转型。

4 协同处理过程中的系统优化与运行管理

4.1 混合比例与 C/N 比的动态调控

协同发酵与堆肥过程的稳定性与效率在很大程度上取决于混合比例及 C/N 比的动态控制。肉牛粪污碳含量高而氮含量不足，家禽粪便氮含量高而碳源相对不足，两者按科学比例混合可使 C/N 比维持在 20 : 1 至 25 : 1 的适宜范围内。若碳含量过高，会抑制氮循环和微生物繁殖；氮过量则易导致氨挥发、酸化及系统失稳。因此，应根据原料理化特征与含水率动态调配混合比例，并利用传感技术进行实时监测，包括温度、pH、C/N 比、氧含量与气体产量等关键参数。为提高反应均匀性，可采用物料分层投放、间歇翻堆与阶段性搅拌等方式，防止局部缺氧或热积累现象。通过引入自适应控制算法与模糊调节机制，实现发酵过程参数的智能优化，使协同体系在物料组成波动或环境变化条件下仍能保持高效稳定的运行状态。

4.2 发酵动力学与微生物群落优化

协同发酵本质是多微生物特定环境下的代谢协同，二者菌群优势互补：肉牛粪污富含纤维降解菌群，主导复杂有机物初级分解；家禽粪便富含产酸菌与甲烷菌，助力有机酸转化和甲烷生成。合理混配可构建稳定微生物生态系统，耦合优化纤维素分解、产酸及产气全过程。动力学研究显示，协同体系有机物降解速率常数较单一体系提升 20%-30%，甲烷转化效率亦显著提高。可通过高通量测序解析群落结构、识别关键功能菌群，接种复合菌剂或调控温度、pH、搅拌频率等优化菌群平衡，维持适宜碱度与温度梯度，保障高负荷下系统稳定性与抗冲击能力。

4.3 运行管理与环境控制策略

高效运行管理是协同处理系统长效稳定的关键。系统

设计需强化设备防渗、防腐与保温,反应器配备恒温控制和均匀搅拌功能,减少热量损耗与局部结壳。运行中搭建完善环境监测体系,多点采集并动态记录温度、湿度、气体浓度、流量及 pH 等指标,实现全程数据可视化管控。配套密闭收集与气体净化装置,如生物滤池、洗涤塔等,处理臭气与温室气体确保达标排放。管理上制定标准化规程与应急预案,明确岗位职责与监控流程,快速处置运行异常;引入物联网、智能诊断及远程运维技术,实现自动化管控与预测性维护,保障环境安全,达成高效清洁可持续运行目标。

5 协同利用的环境与经济效益分析

5.1 环境减排与生态修复效益

肉牛与家禽养殖废弃物协同处理技术在环境治理与生态修复方面具有显著成效。通过厌氧消化过程将高浓度有机污染物转化为清洁能源沼气,可有效降低废弃物中的 COD、BOD 及氨氮含量,污染削减率普遍超过 80%。在好氧堆肥阶段,高温环境促进病原菌、寄生虫卵及抗生素残留物的降解,大幅减少农业面源污染风险。协同处理后的沼渣、堆肥产品富含有机质和稳定性腐殖质,施用于农田可改善土壤结构、增强团粒性和水肥保持能力,同时提升土壤微生物多样性,促进土壤生态系统恢复。研究显示,每处理 1 吨混合粪污可减少约 1.2 吨二氧化碳当量排放,显著降低温室气体排放强度,为农业实现“碳达峰—碳中和”目标提供切实技术路径。此外,废弃物循环利用还可减少化肥使用量,缓解农业生态系统的营养失衡,实现环境修复与生态保护的协同效应。

5.2 资源循环与经济收益分析

协同处理技术不仅是环境治理手段,更是推动农业资源高效利用的重要环节。通过厌氧发酵获得的沼气可用于农场供热、生活燃料及发电上网,形成可再生能源循环体系。沼液与沼渣经脱水、稳定化处理后可制成液体或固体有机肥,实现养分再生与农田回补。堆肥产物因富含氮、磷、钾及腐殖酸,可作为高效有机肥广泛应用于生态农业与园艺产业。综合测算显示,每处理 1000 吨混合粪污可产沼气约 6 万立方米、沼渣堆肥约 150 吨,经济收益提升约 35%,同时节约化肥支出与废弃物运输成本。协同处理体系通过设备共用与区域化布局,降低建设与运营费用,提升能效与资源利用率。对于规模化养殖企业而言,该模式不仅增强了经济韧性,还构建了“能源—肥料—生态”三位一体的循环产业链,实现环境效益、经济效益与社会效益的多重叠加。

5.3 社会与政策支持价值

肉牛与家禽废弃物协同处理技术的推广应用,对推动农业绿色发展和乡村生态振兴具有重要社会价值。建立政府引导、企业主体与农户参与的多层治理模式,是实现区域畜禽粪污统一收集与处理的有效途径。政府部门应完善粪污资源化利用政策,提供财政补贴、税收优惠与信贷支持,鼓励社会资本投资沼气联产与肥能一体化项目。同时,应制定行业标准与技术指南,促进协同处理体系的规范化建设与运行。科研机构和技术推广部门应加强关键技术研发与成果转化,推动智能监测、微生物强化发酵等新技术在养殖废弃物处理中的应用。教育与培训体系的完善能提升农户环境意识与操作水平,促进技术落地与长期运行的稳定性。通过政策支持与社会协同,协同处理技术将成为农村绿色能源供应和生态循环农业建设的重要支撑,助力我国畜牧业向清洁、高效、低碳方向转型。

6 结语

肉牛与家禽养殖废弃物的协同处理与综合利用,是实现畜牧业绿色转型与农业生态循环的重要技术路径。通过科学配比与系统设计,可在优化 C/N 比、提升能源回收率与稳定发酵性能的同时,实现污染物减排与资源高效再生。协同处理体系兼具能源化与肥料化双重功能,促进养殖业从末端治理向源头减量与循环利用转变。未来应强化多学科融合研究,推进微生物群落调控、智能化监测与政策机制创新,建立可复制、可推广的区域化协同处理模式,为我国畜禽养殖废弃物的可持续管理提供理论基础与实践路径,推动农业生产迈向绿色、高效与低碳的新阶段。

参考文献

- [1] 董杏林,唐愚.湘潭县畜禽养殖废弃物资源化利用对策[J].中国畜牧业,2018,(08):60-61.
- [2] 李双来,规模化畜禽养殖场污染治理与废弃物资源化高效利用技术与示范.湖北省,湖北省农业科学院植保土肥研究所,2015-02-09.
- [3] 郭亚男,肉牛粪污和农业废弃物微生物发酵利用技术与示范.宁夏回族自治区,宁夏农林科学院动物科学研究所,2024-11-14.
- [4] 陈润东.肉牛养殖废弃物资源化利用的环保效益与技术路径[J].畜牧业环境,2025,(14):33-34.
- [5] 王悦,闫佳惠,张越杰.肉牛养殖废弃物资源化利用生态补偿偏好研究[J].农业技术经济,2024,(02):96-109.

Discussion on how to prevent and control sheep pox in pastoral areas

Bahetibieke·daken

Agriculture and Animal Husbandry Development Service Center, Sarjok Township, Barkol Kazakh Autonomous County, Hami, Xinjiang, 839206, China

Abstract

Sheep pox is an acute febrile contact infectious disease caused by poxvirus, which is zoonotic and shared by livestock and poultry. It exhibits epidemic, seasonal, and endemic characteristics. Sheep infected with this virus have a certain incubation period, after which corresponding clinical symptoms manifest. The disease course follows a predictable pattern, and affected sheep typically recover gradually within 2-3 weeks if no secondary infection occurs. This disease poses significant harm to lambs, as the virus can easily induce lesions in multiple organs such as the gastrointestinal tract, respiratory system, and heart, often leading to lamb mortality and causing substantial losses in livestock production. For the prevention and control of sheep pox, two key measures are essential: first, regular vaccination of sheep flocks with sheep pox vaccine to enhance herd-specific resistance; second, strengthening livestock management by promptly implementing strict disinfection measures for infected flocks and breeding environments to cut off viral transmission routes and reduce infection risks.

Keywords

pastoral and agricultural areas; sheep pox; prevention and control; infection

浅议如何做好农牧区羊痘病的防治

巴合提别克·达肯

新疆哈密市巴里坤哈萨克自治县萨尔乔克乡农牧业发展服务中心，中国·新疆 哈密 839206

摘要

羊痘病是由痘病毒引发的畜禽共患急性热性接触性传染病，具有流行性、季节性和地方性流行特点。羊感染该病毒后存在一定潜伏期，潜伏期后会表现出相应临床症状，其病程具有规律性，若无继发感染，病羊通常经 2-3 周可逐渐恢复。该病对羔羊危害极大，病毒侵入机体后易引发胃肠、呼吸道、心脏等多个脏器病变，常导致羔羊死亡，给养殖生产带来显著损失。针对羊痘病的防控，核心需做好两方面工作：一是定期为羊群接种羊痘疫苗，提升群体特异性抵抗力；二是强化养殖管理，对感染羊群及养殖环境及时开展严格的消毒处理，切断病毒传播途径，降低感染风险。

关键词

农牧区；羊痘病；防治；感染

1 引言

羊痘，俗称红痘病，是由痘病毒感染引起畜禽共患的急性热性接触性传染病。养殖业当中最常见发生感染的是绵羊痘和山羊痘，绵羊山羊混合感染发病。多数发病呈地方性流行，特征性病变症状在羊体外有毛无毛皮肤出现红色丘疹以及体内脏器粘膜发生结节，出现全身感染症状。产羔季节发生羊痘，因防治措施不到位羔羊感染羊痘死亡率达到 30-40 以上。羊痘病的防治应当以预防为主，做好预防措施是预防羊痘病发生的关键。

【作者简介】巴合提别克·达肯（1976-），哈萨克族，男，中国新疆巴里坤人，高级兽医师，从事动物疫病预防控制，家畜品种改良与推广应用研究。

2 羊痘病病原

2.1 羊痘病毒感染

对羊痘病的预防首先要明确羊痘病的病原是病毒，具有一定的感染性。羊痘病毒主要在活体羊易感染，在皮肤，也即上皮组织进行繁殖，能在评分形成病变凸起，即红色丘疹。其次，病毒具有传染传播性^[1]。羊痘病毒具有最易感染动物就是羊。

2.2 痘病毒寄生部位

羊痘病毒主要在病畜羊的水泡、脓疱、痂皮存活。其次在眼鼻分泌物中，病毒极具感染力。病处羊发生高热，血液内含大量病毒，同群羊因接触破溃的患病羊皮肤而感染。因接触病羊的养殖人员也携带病毒，接触羊群后感染发病。

2.3 痘病毒耐活力

痘病毒，羊痘在干燥的环境下，特别是冬春季干燥条

件下的排泄物、痂皮、血液凝固物能长久存活，达半年以上。羊皮、羊毛污染的痘病毒免疫经过高温消毒任然存活 2-3 个月以上。60 度以上高温 8-10 分钟杀灭病毒、直射阳光下 8-12 小时灭活，强碱（生石灰）、84 消毒液能迅速杀死病毒。

3 羊痘病的流行

3.1 不同品种的羊痘能感染羊痘病

因痘病毒寄生繁殖部位在皮肤，只要接触病羊的同群羊或器械、养殖人员，都能导致羊群发生有的感染发病。病毒潜伏期 1-2 周期间，发病后同群羊感染率达到 40-50% 以上，羔羊感染症状明显持续出现全身症状，死亡率高，达到 30% 以上。新感染的羊群，因放牧采食饮水或空气飞沫，相邻的羊群或农牧民养殖户的羊被感染，形成小范围区域内养殖户羊发病感染。由于羊痘感染部位在四肢内、乳房处不易被发现，一经发现的感染往往达到 30% 以上。

3.2 季节性流行

每年的冬春季节都是羊痘病发生的易感季节。西部的 1-2 月份正是母羊怀孕后期，由于气温低天气寒冷母羊都是在棚圈内饲养，部分养殖户冬季棚圈面积小，设施条件差。且饲养数量和棚圈面积不相符，饲养密度大，棚圈内空气流通不好，粪便不能及时清理，一旦感染同群羊迅速传播，一周内感染羊达到 40% 以上。春季 3-4 月份也是羊痘病感染的高峰季节，产后母羊发现感染的通过治疗 1-2 周可以恢复。1-2 周内的羔羊感染羊痘症状明显。喜卧，不食。因羔羊抵抗力差、个体小，治疗相对困难，死亡率高。

3.3 地方性流行

羊痘病一般都是地方性流行，即上年某一个区域发生流行，可能到冬春季相邻的草场的羊群还有可能发生羊痘病流行感染。羊痘病的流行具有明显的又强到弱的流行趋势。羊痘病也具有天然内范围流行性，因村组或草场羊群密集和养殖户棚圈集中养殖密度大的区域流行^[2]。这种流行主要发生在母羊产羔后的春季，此时气温在零度以下 8-10 度或 0 度，病毒也能在密集空气内运动式传播，或因接触到病羊污物、器械、饲料携带传播。有的因在几个月前接触上年发病的羊群或接触病毒在潜伏期的羊群，在冬季病毒适宜繁殖的季节感染同群羊发病。痘病毒感染后常见于在一个养殖区域内流行，很少发生“过水式”大面积感染。所有感染痘病毒的羊，发病过程的症状、发病部位、病程长短轻重基本相似。这也是羊痘病发生流行的一个特征。

4 羊痘病传播途径

4.1 季节性传播

羊痘病可以发生在全年任何一个季节，尤其以冬春季节多发，在某一区域环境常常发生地方性流行。初次发病的羊，羔羊死亡率高大 30% 以上。

4.2 感染羊痘的病羊传播

病羊、新鲜死亡的病羊羔羊尸体未经掩埋，伤口分泌物，痘病毒感染健康羊。处于痘疹成熟期、结痂期、和脱痂期的

羊传染性更大。

4.3 排泄物分泌物传播

养殖密度大发病集中的羊群，从呼吸道分泌物、痘疹渗出液、脓汁、脱落的上皮组织，以及呼出的气体飞沫、尘土、采食过饲草料剩余物，接触后都能感染发生传播。

4.4 母乳传播

羔羊感染主要通过吸乳，接触母羊皮肤感染。

5 诊断鉴定

发现感染的羊皮肤出现大面积红色丘疹，所有感染的绵羊在有毛无毛处发生红色丘疹，体温升高 40 度以上。结合感染发病羊数量及流行和环境季节等，怀疑为羊痘病，根据发病羊发病过程症状，红色丘疹结节、痂皮等特征，确诊为羊痘。

羔羊口鼻眼出现突出皮肤表面的丘疹，羔羊尾巴明显结节发硬，走路不稳，强拘，喜卧、吸乳停止，感染发病率高，出现死亡。

羊痘应对和羔羊口炎，山羊烂唇、夏季湿疹加以区别。也要和传染性脓疱坏死性皮炎区别。羔羊口炎主要发生在 1 月龄以上的羔羊。

6 羊痘病发生的过程和症状

6.1 潜伏期

感染羊痘的要求或羊只发病症状不明显不易发现，偶尔发现采食的羊采食下降或走路异常的，也有喜卧的。放牧的羊群有的出现调队，行走缓慢现象。圈养的羊不易发现，羔羊吸乳减少或停止，体温升高到 40 度，出现拉稀或急性死亡。

6.2 丘疹期

一般 2-3 天，病羊期初精神沉郁食欲下降或停止，体温升高到 41-42 度，呼吸加快，眼结膜充血，眼睑肿胀，流脓性粘液，病程大约 2-3 周，羔羊比成年羊易感。羊痘病发病初期表现为体温升高，一般表现为 40-42℃，发病羊出现少食、厌食、食欲废绝，精神萎靡，结膜、眼睑红肿。在皮肤有毛无毛的四肢、尾巴内测、以及眼睑、上下口唇出现突出皮肤表面的红色丘疹。经 1-2 天丘疹发展到豌豆大小，发生在口唇部位的丘疹皮下组织发硬，羊采食受限，羔羊吸乳无力或因口腔粘膜结节溃疡停止吸乳^[3]。凸出皮肤表面的红色丘疹很快增大，经一周形成水泡。

6.3 水泡期

发生丘疹后一周时间，红色丘疹增大形成中央凹陷的水泡。睡袍内含有透明的浆液，内含有大量病毒，破溃感染更快。形成水泡期间成年羊体温下降，经过 3 天后水泡逐渐形成脓性混浊，水泡周围发红的脓疱。病羊体温升高到 40 度以上，羔羊症状明显，按压表皮发硬，眼结膜红肿，行走僵硬，1-2 周的羔羊因病毒侵入心脏胃粘膜心力衰竭死亡。

6.4 结痂期

形成脓性水泡后的 2-3 天，脓疱逐渐结痂，在表皮形

成褐色的结节痂皮，痂皮自行脱落后形成瘢痕。此时病羊体温下降，机能采食都逐步恢复。营养不良的成年羊或羔羊需要继续观察治疗或给与营养丰富的饲草料。整个病程需要2-3周恢复。

6.5 并发症

并发症主要发生在体弱的母羊或3周以上的羔羊，病毒侵入脏器，在心内膜、胃肠粘膜形成病变结节，导致肺脏出现呼吸道感染，全身出现痘疹，症状重剧，羔羊和瘦弱羊继发胃肠炎、心肌炎、脓毒败血症死亡。病程1-2周。

7 治疗

7.1 隔离消毒

发现感染羊痘的病羊立即进行隔离，对发病羊群棚圈场地饮水器械进行消毒，棚圈内喷洒消毒液地面撒生石灰。清理病羊采食的饲草料，羔羊单独饲喂。

7.2 皮肤消灭

对感染羊痘的病羊，立即对皮肤表面用碘伏涂抹消毒消炎，对口唇出现水泡结节的病羊用自配盐水清洗后喷洒碘伏或口腔内喷洒氯化钠青霉素溶液或喷洒碘甘油。一日2-3次。

7.3 药物治疗

母羊肌注：安乃近10毫升-15毫升、板蓝根注射液20毫升稀释320-400万单位青霉素钠，一日两次肌肉注射。发病数量少的可以静脉补液0.9%氯化钠200毫升、15%葡萄糖300-500毫升，配合抗菌素，灌肤健胃药。

7.4 调制营养丰富饲草料

发生感染羊痘的病羊采食减少或停止，要根据病情调制饲草，冬春季应给与营养丰富的青绿干草和补充300-500克全价精饲料。饲草应粉碎2-3厘米长度和精料搅拌均匀饲喂，一日饲喂2-3次，保证清洁饮水，及时清理棚圈粪便，加快病羊恢复。

8 预防措施

8.1 定期接种羊痘疫苗

开展定期接种羊痘疫苗是预防羊痘病发生的主要措施。要根据每年发生羊痘感染的情况，制定免疫计划定期主动接种羊痘疫苗。每年的春秋两季都是接种羊痘疫苗的最好时间。春季母羊产羔后30天接种羊痘疫苗，无论羊只大小一律尾巴内侧皮内注射羊痘冻干活疫苗1毫升。常发区域秋季在注射一次，保证羊只体内有坚强的免疫抗体。

8.2 加强检疫监督

对县域外调入的羊应当加强检疫监督跟踪，饲养地养殖场或乡村养殖户一年或近6个月曾经发生过羊痘的，应当禁止调运。需要调运的应当了解1年内免疫发生过羊痘病流行的，同时，注射羊痘病疫苗，待产生免疫力再调入。调入到饲养地的应当隔离观察21-45天，确实正常的同群饲养。

8.3 发生羊痘病流行的管理要求

对邻近羊群或养殖户已经发生羊痘病流行的，避免接

触病羊或进入养殖区调运饲草料和设备设施。发生羊痘病的要求排泄物粪便应当及时清理掩埋覆土处理。对发生羊痘病的棚圈应当立即进行消毒处理^[4]。同时，对发病羊要隔离消毒治疗。

8.4 科学养殖提高防疫意识

要加快科学养殖的普及宣传培训，特别是加大对边远牧区乡村养殖户要结合乡村振兴培训学习，组织开展常发病地方性传染病的预防培训，提高科学养殖主动预防传染病的思想意识。各村组的动物防疫员要定期进行地方性传染病，如羊痘病的宣传，开展定期防疫预防羊痘病的发生，减少养殖业损失。

9 注意事项

9.1 感染羊痘的母羊流产

怀孕母羊发生羊痘的，以后期感染羊痘的主要是导致早产，流产或产死胎。

9.2 怀孕后期的母羊避免注射羊痘疫苗

在其他养殖场养殖区域发生羊痘病感染传播的，如果母羊以及处于怀孕后期或临产期的尽量避免接种羊痘疫苗，待产后注射羊痘疫苗。

9.3 感染羊痘的羔羊

已经确诊感染羊痘2-3周内的羔羊，避免注射羊痘疫苗，因激发病毒感染，引起死亡。对感染羊痘的羔羊立即隔离饲养，对症进行治疗，加强饲养管理，避免感染后发生死亡。

10 结语

羊痘病是制约农牧区养羊产业发展、影响农牧民增收的重要传染性疾病，做好其防治工作对乡村振兴背景下畜牧产业发展意义重大。本文探讨的农牧区羊痘病防治要点，明确了疫苗免疫、饲养管理、疫情监测在防控中的核心作用，也凸显出当前基层防疫意识、技术推广、防控体系等方面的短板。羊痘病防治是系统性工作，需立足农牧区生产实际，树立预防为主理念，构建综合防控体系，凝聚多方力量补齐基层防疫短板，将防控措施落实到养殖全流程。未来仍需结合产业发展趋势，探索适配基层的防控模式，提升防控科学性，为农牧区养羊产业持续健康发展筑牢防疫屏障。

参考文献

- [1] 马海东.羊痘的流行特点、临床症状及防控措施[J].中国动物保健,2024,26(10):26-27.
- [2] 王艺伟,杨婧怡.羊痘病的诊断与防治[J].现代农村科技,2023,(03):59.
- [3] 王燕.羊痘流行特点及有效防控策略[J].畜牧业环境,2023,(10):42-44.
- [4] 李静静.陕西安塞山羊羊痘病的临床症状与综合防控措施[J].农业工程技术,2025,45(12):90-91.DOI:10.16815/j.cnki.11-5436/s.2025.12.039.

Diagnosis and Treatment of Mixed Infection of Chicken Kidney Type Transmission and Salmonel Disease

Yahui Cheng

Henan Agricultural Vocational College, Luoyang, Henan, 471000, China

Abstract

To clarify the diagnosis and prevention methods for mixed infections of infectious bronchitis and salmonellosis in chicks, this study conducted clinical and laboratory diagnostics on a flock of affected chicks and implemented comprehensive control measures. The flock exhibited respiratory symptoms, diarrhea, and characteristic renal lesions. Postmortem examination, bacterial isolation and culture with biochemical identification, as well as viral isolation and culture in chicken embryos with interference tests, confirmed a mixed infection of infectious bronchitis virus and Salmonella. After measures such as harmless disposal of dead chickens, combined treatment with traditional Chinese medicine antiviral agents and antibiotics, kidney-activating therapies, and feed nutritional adjustments, the outbreak was effectively controlled. This study suggests that during seasonal transitions, intensive feeding management and disinfection should be implemented, adhering to the principle of "prevention first." The findings provide practical references for the prevention and control of similar mixed infections.

Keywords

infectious bronchitis in chickens; Salmonella, diagnosis; prevention and treatment

鸡肾型传支与沙门氏菌病混合感染的诊治

程亚辉

河南农业职业学院, 中国·河南 洛阳 471000

摘 要

为明确雏鸡肾型传染性支气管炎与沙门氏菌病混合感染的诊断及防控方法,本研究对一例发病雏鸡群开展临床与实验室诊断,并实施综合防治。该鸡群表现出呼吸道症状、腹泻及肾脏特征性病变,经剖检、细菌分离培养与生化鉴定、病毒鸡胚分离培养及干扰试验,确诊为传染性支气管炎病毒与沙门氏菌混合感染。采取病死鸡无害化处理、中药抗病毒联合抗生素治疗、通肾及饲料营养调整等措施后,疫情得到有效控制。本研究提示,季节交替期需强化饲养管理与消毒,坚持“预防为主”,研究结果为同类混合感染的防控提供了实践参考。

关键词

鸡传染性支气管炎;沙门氏菌,诊断;防治

1 引言

IBV 主要侵害雏鸡的呼吸道、生殖系统及肾脏,引起产蛋鸡的产蛋量和蛋的品质下降,导致鸡的生产性能降低。其临床表现为咳嗽、打喷嚏、发出气管啰音、幼鸡流鼻涕、蛋鸡的产蛋数量和质量下降,并能直接导致雏鸡死亡、肾脏病变和输卵管永久性退化,肾型病死鸡肾肿大、苍白、有大量尿酸盐沉积。该病对养鸡业的危害极大,不仅造成鸡的增重和饲料报酬降低,另外,有细菌感染时,IB 表现得更为严重,例如诱发慢性呼吸道病的爆发。近年来,该病的流行呈上升趋势,造成了严重的经济损失,已成为继禽流感、新城疫后导致呼吸道症状和产蛋量下降,危害养鸡业健康发展

的重要传染病之一,笔者就鸡传染性支气管炎与沙门氏菌病混合感染进行分析。

2 发病情况

2025 年 11 月,洛阳市孟津县某养殖户从外市某孵化场购进海兰褐蛋鸡 20000 只,采取网上平养方式,大型电动排气扇,运用火炉燃煤取暖,用全价料进行饲喂,7 日龄用新支(H120)2 倍量饮水,14 日龄用法氏囊疫苗饮水,50 日龄前生长状态良好,60 日龄开始发现个别鸡只有腹泻、咳嗽、甩鼻症状,每天死亡 15-20 只,整体大群精神状态不佳。

3 临床症状

该病发病初期,鸡只表现为精神沉郁、食欲减退,采食量显著下降,同时伴随羽毛松散、翅羽下垂等症状,呼吸道症状明显,出现呼吸困难、打喷嚏、气管啰音,鼻腔有分

【作者简介】程亚辉(1983-),男,中国河南南乐人,硕士,讲师,从事畜禽疾病防治研究。

泌物渗出,且畏寒扎堆;排泄灰白色稀粪,肛门周边羽毛被粪便污染。进入发病中后期,鸡只因严重脱水出现鸡爪干瘪、站立不稳的情况,病情持续加重,死亡数量也随之逐步增多,整体发病进程中症状表现具有明显的阶段性特征。

4 剖检病变

为明确病因,对5只死亡不久及5只濒死鸡只进行剖检,核心病理变化如下:呼吸道系统可见鼻、气管及支气管黏膜充血出血,且附着大量黏液性分泌物,个别鸡支气管内存在干酪样栓塞,与临床呼吸道症状高度契合;肝脏呈现显著肿大,边缘钝圆,质地脆弱易碎裂,表面密布针尖至粟粒大小的灰白色坏死灶,切面呈现典型“槟榔样”花纹,为特征性病变;胆囊显著扩张,内充浓稠墨绿色胆汁,提示肝胆功能异常;脾脏体积明显增大,质地改变;心脏方面,心包腔内积聚淡黄色透明积液,心外膜表面散布点状出血,反映循环系统受侵;泌尿系统中,肾脏肿大、色泽苍白,表面布满尿酸盐沉积,两侧输尿管因尿酸盐大量沉淀而明显发白、增粗;此外,个别鸡只还出现腺胃水肿、肠道弥漫性出血及盲肠扁桃体肿大出血的情况,各脏器病变相互关联,提示病情呈全身性侵袭态势。

5 实验室诊断

5.1 组织抹片镜检

为进一步明确病原,无菌采集病死鸡肝脏、脾脏等典型病变组织,制备组织切片后分别进行革兰氏染色、美蓝染色及抗酸染色,置于光学显微镜下观察。革兰氏染色结果显示,视野中可见大量革兰氏阴性短杆菌,菌体大小均一,多数呈单个散在分布,少数成对排列,无芽孢及荚膜等特殊结构;美蓝染色可见菌体两极浓染,符合肠杆菌科细菌的典型形态特征^[1];抗酸染色结果为阴性,据此可初步排除分枝杆菌感染的可能。结合染色形态特征分析,该病原初步判定为肠杆菌科相关细菌,为后续病原鉴定及确诊提供了重要的形态学依据。

5.2 细菌分离培养

为分离纯化病原,将采集的病料分别接种于SS琼脂、麦康凯琼脂及普通营养琼脂三种培养基,置于37℃恒温培养箱中培养24~48h后观察菌落形态。结果显示,SS琼脂培养基上形成中等大小、圆形、边缘整齐的菌落,菌落中心呈黑色,周围区域半透明,该特征与沙门氏菌的典型菌落形态高度吻合;麦康凯琼脂培养基上生长出无色透明、直径1~2mm的光滑湿润菌落,符合肠杆菌科非发酵乳糖菌的菌落表现;普通营养琼脂培养基上则形成灰白色半透明菌落,形态均一旦长势良好。

为获得纯培养物,采用三区划线法对上述三种培养基上的目标菌落进行纯化培养,纯化后经革兰氏染色镜检,确认获得单一形态的纯培养物。随后将该纯培养物接种于血琼脂平板,继续置于37℃恒温环境中培养24h,观察到明显

的 β 溶血现象——菌落周围形成清晰透明的溶血环,提示该菌株具有溶血活性。系列培养结果结合前期形态学观察,进一步支持该病原为沙门氏菌属细菌的推测,为后续血清学鉴定及分子生物学确诊奠定了基础。

5.3 细菌生化鉴定

采用三糖铁(TSI)琼脂培养基及生化鉴定管对纯化后的分离菌株进行生化特性鉴定^[2]。TSI琼脂斜面培养结果:葡萄糖分解阳性(斜面呈红色,底部变黑),乳糖及蔗糖发酵试验阴性,硫化氢试验阳性,且培养过程中伴有产气现象。生化鉴定管结果:该菌株可发酵葡萄糖、麦芽糖、甘露醇及山梨醇,且发酵过程中均产生气体;水杨苷及侧金盏花醇发酵试验阴性;硫化氢产生试验阳性,靛基质试验阴性;枸橼酸盐利用试验阳性;尿素酶试验及明胶液化试验均为阴性;VP试验阴性,MR试验阳性。上述生化特性完全与沙门氏菌属的典型特性相符,据此可判定该分离菌为沙门氏菌。

5.4 病毒分离培养

无菌取病死鸡的肾脏、肺脏、气管处理后,取病料处理液,经尿囊腔接种9日龄鸡胚10个,同等条件下用PBS液接种鸡胚作为对照组,置37℃孵育。接种后每隔6h照一次胚,弃去24h内死胚,随时挑出死胚放于4℃冰箱保存。孵育至72h,取出部分活胚至4℃冰箱过夜,收获尿囊液并做常规HA测定,选择无血凝性的尿囊液再次接种9日龄鸡胚,连续盲传5代,每代取5枚鸡胚观察死亡和矮小化情况,其余鸡胚继续孵化至15日龄,剖检观察鸡胚病变及发育情况。结果试验组随鸡胚传代次数增加,出现矮小化数量和死亡胚增多,鸡胚死亡时间越早,而对照组未出现矮化和死亡。

5.5 NDV 干扰试验

取20枚9日龄SPF鸡胚,分A、B两组进行试验,A组尿囊腔接种第3代矮小化的鸡胚尿囊液0.2ml,接种后胚蛋在37℃孵育10h,然后每只鸡胚复种NDVLa Sota弱毒株0.2ml,接种后继续孵化36h,抽取尿囊液作ND的HA试验。B组同等条件下进行孵化,孵育10h后,鸡胚接种NDVLa Sota弱毒株0.2ml,接种后继续孵化36h,抽取尿囊液作ND的HA试验。试验结果A组的HA效价平均值为2,B组的HA效价平均值为9,可见NDV的复制受到干扰,而传染性支气管炎病毒能干扰NDV的复制,胚液中可能有IBV的存在。

5.6 动物回归试验

为验证病原致病性及明确感染类型,选取30只7日龄SPF雏鸡进行人工攻毒试验,同时设置生理盐水对照组。结果显示,人工感染鸡的潜伏期为48~72h,接种后48~72h,试验鸡陆续出现呼吸啰音、咳嗽、甩鼻、流鼻液等呼吸道症状;多数鸡在攻毒后第3~6天临床症状趋于明显,表现为羽毛松乱、精神沉郁、嗜睡呆立,伴随呼吸困难、气管啰音等症状,采食量显著减少,饮水量较发病前增加2~3倍。攻毒后第12天起,部分病鸡症状逐渐缓解并

开始恢复,但个别耐过鸡出现发育迟缓的情况;生理盐水对照组在整个试验期间精神状态、饮食及生理指标均正常,未出现任何发病症状。

结合前期临床症状观察、剖检病理变化分析,以及病原形态学鉴定、分离培养结果,同时参考人工攻毒试验的致病性验证数据,综合判定该病例为肾型传支和沙门氏菌病混合感染,为后续针对性防控及治疗方案的制定提供了科学依据。

6 防治措施

6.1 病死鸡无害化处理

首先及时淘汰病重患鸡,对死亡鸡要进行焚烧深埋处理,严格遵循《病死及病害畜禽无害化处理技术规范》,对病死鸡及其污染物采取“焚烧+深埋”处理方式,选择远离水源、养殖场及居民区的区域挖掘深埋坑(深度 $\geq 2\text{ m}$),坑底及坑壁铺设防渗膜,坑底、污染物层间及覆盖土层中均匀泼洒生石灰,确保彻底消毒^[3]。同时对发病鸡群实施严格隔离管理,禁止与健康鸡群接触,对种鸡舍、孵化室等关键区域,采用2%甲酚皂溶液、0.2%过氧乙酸溶液、2%氢氧化钠溶液交替喷雾消毒,发病期间每日消毒1~2次,持续1周,彻底阻断病原菌传播链,降低饲养密度防止过度拥挤,保证舍温,注意通风,及时排出鸡舍内有害气体^[4]。

6.2 药物防治

鉴于该发病蛋鸡群转群阶段,且本次疫情为小范围暴发,故本次采用以中药为主的综合治疗方案,抗病毒药物(主要黄芪、金银花、板蓝根等)+抗生素按照治疗量上午集中饮水3d和预防量上午集中饮水2d,晚上用通肾药(主要0.2%小苏打)饮水,同时要降低饲料中的蛋白含量,增加维生素的含量。

用药3d后,鸡只死亡减少,精神好转,呼吸道症状减轻,5d后采食量上升,7d后恢复正常。

6.3 加强饲养管理,改善饲养条件

鸡舍环境应激如昼夜温差大、通风不良等可导致鸡群

免疫功能下降,为沙门氏菌等条件致病菌大量繁殖创造条件,尤其是对家禽呼吸道造成刺激,易引发呼吸道疾病,尤其是青年鸡群,对饲养管理条件更为敏感,饲养密度过高、卫生条件差、饲料饮水污染及冷热应激等因素,均会进一步降低鸡群抵抗力,增加患病风险,防控重点在于维持鸡舍良好通风(增设风机、喷雾降温)、保持环境卫生(及时清理粪便、消毒饮水系统)、提供优质全价饲料并控制合理饲养密度,从而避免环境应激,维持鸡群免疫稳态^[5]。

7 结语

临床上传支和沙门氏菌混合感染病例并不多见,养殖场多见于大肠杆菌与病毒病的混合感染,而且这种细菌病毒与混合感染后,加重了病毒病的治疗和防控,本文通过对洛阳孟津某养殖场传染性支气管炎和鸡白痢沙门氏菌病例的系统调查,完整呈现了从临床初步诊断到实验室确诊的完整流程,并基于科学检测结果制定并实施综合防控措施,最终有效控制病情;实践表明,建立“检测-净化-免疫-环境控制”一体化综合防控体系,是应对鸡沙门氏菌病的有效策略;家禽最易在季节交替的时候发病,此季节要加强饲养管理,搞好鸡舍内外环境卫生,定期消毒,既要注意通风换气,还要注意温度变化,平时要观察鸡群状态,及时预防细菌病的发生,要树立:“先预防、重预防”的科学养殖观点。

参考文献

- [1] 吴良政.鸡沙门氏菌病的诊断与防治措施[J]. 畜禽业,2025,36(2):80-83.
- [2] 林荣连,张业怀,凌丁.不同地方品种鸡白痢阳性鸡沙门氏菌的分离及药敏试验[J]. 中国畜禽种业,2024,20(6):103-109.
- [3] 王蕾,陈振勇.鸡肾型传染性支气管炎的综合治疗[J]. 畜牧兽医科技信息,2014,(07):110-111.
- [4] 林成海.一例疑似鸡肾型传染性支气管炎的处治体会[J]. 广西畜牧兽医,2019,35(06):259.
- [5] 熊辉.鸡沙门氏菌病的诊断和防治措施[J]. 吉林畜牧兽医,2025,46(06):82-84.

Exploration of the Precise Supply Model of Agricultural Meteorological Services under the Framework of Smart Agriculture

Jing Xiao

Xinjiang Uyghur Autonomous Meteorological Service Center (Xinjiang Uyghur Autonomous Region Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Urumqi, Xinjiang, 830002, China)

Abstract

With the rapid development of smart agriculture, agricultural meteorological services, as an important component of it, are facing more complex and refined demands. To better enhance the supply efficiency and accuracy of agricultural meteorological services, exploring an accurate supply model has become an urgent task. This paper first analyzes the current situation and development trend of agricultural meteorological services under the framework of smart agriculture, proposes the necessity of precise agricultural meteorological service supply, and discusses the implementation path of the precise supply model. With the support of technologies such as data fusion, cloud computing, and artificial intelligence, an agricultural meteorological service precise supply model based on intelligent analysis has been constructed. Research shows that precise meteorological services can provide more timely and efficient decision support for agricultural production, promoting the intelligent transformation of agricultural production. Finally, this paper puts forward policy suggestions for realizing the precise agricultural meteorological service supply model and looks forward to the future development direction.

Keywords

Smart Agriculture; Agricultural meteorological services; Precise supply; Intelligentization; Agricultural production

智慧农业框架下农业气象服务的精准化供给模式探索

肖静

新疆维吾尔自治区气象服务中心（新疆维吾尔自治区气象灾害防御技术中心），中国·新疆 乌鲁木齐 830002

摘要

随着智慧农业的快速发展，农业气象服务作为其重要组成部分，面临着更加复杂和精细化的需求。为了更好地提升农业气象服务的供给效率和精准性，探索精准化供给模式成为当务之急。本文首先分析了智慧农业框架下农业气象服务的现状及发展趋势，提出精准化农业气象服务供给的必要性，并探讨了精准化供给模式的实现路径。通过数据融合、云计算、人工智能等技术的支持，构建了一种基于智能化分析的农业气象服务精准化供给模式。研究表明，精准化的气象服务能够为农业生产提供更加及时和高效的决策支持，推动农业生产的智能化转型。最后，本文提出了推动精准化农业气象服务供给模式实现的政策建议，并展望了未来的发展方向。

关键词

智慧农业；农业气象服务；精准化供给；智能化；农业生产

1 引言

在全球气候变化和农业生产环境复杂多变的背景下，农业气象服务对于保障农业生产的稳定性和提升农业产值具有重要作用。传统的农业气象服务模式往往依赖于粗放型的预测和推送方式，难以应对精准化、个性化的服务需求。随着信息技术的进步，尤其是物联网、云计算、大数据和人工智能的应用，农业气象服务进入了一个全新的发展阶段。智慧农业框架下，农业气象服务的精准化供给成为提升农业生产效益的关键所在。精准化农业气象服务不仅需要对农业

气象数据进行高效采集、处理和分析，还要求能够根据不同农业区域和生产需求提供定制化、个性化的气象服务方案。本文旨在探讨如何在智慧农业框架下，结合现代信息技术，推动农业气象服务的精准化供给模式，从而为农业生产提供科学、及时的气象决策支持。

2 智慧农业与农业气象服务的现状分析

2.1 智慧农业的定义与发展趋势

智慧农业是指利用信息技术、传感技术、数据分析和智能控制等先进手段，实现农业生产、管理和服务的智能化。随着大数据、物联网、云计算等技术的迅猛发展，智慧农业已逐渐成为推动农业现代化的重要驱动力。在这一过程中，农业生产方式从传统的劳动密集型向数据驱动型、智能

【作者简介】肖静（1977-），女，中国甘肃武威人，本科，工程师，从事公共气象服务研究。

化方向转变,实现了精准种植、智能监控和自动化管理等功能。智慧农业不仅能够提高农业生产效率,还能降低资源浪费和环境污染,推动农业的可持续发展。与此同时,农业气象服务作为智慧农业的关键组成部分,其发展也逐渐向智能化、精准化转型。通过气象数据的精准采集与智能分析,农业气象服务可以为农民提供个性化的气象信息,帮助其做出科学的生产决策,从而提升农业生产的经济效益与环境适应能力。

2.2 农业气象服务的传统模式

传统的农业气象服务模式主要依赖于天气预报和气象站数据,这些服务内容一般包括天气信息推送、气候预警和灾害预测等。虽然该模式在一定程度上为农民提供了基础的气象信息,但由于数据更新频率较低、服务内容较为笼统,常常不能满足现代农业对气象信息的高时效性和精准性的需求。传统模式提供的气象数据大多是区域性或宏观层面的,缺乏对局部气候变化的实时监测和预警。例如,在一些作物生长的关键时期,农民往往无法获得准确的降水、气温等细节数据,导致生产决策滞后,影响了作物的生长和产量。因此,传统气象服务模式面临着精确度不足和响应速度滞后的问题,亟须向更加智能化和精准化的服务模式转型,以适应现代农业的需求。

2.3 现代农业气象服务的需求

随着农业生产方式的转型,现代农业对气象服务的需求不断增加,尤其是在精准农业和智能农业的背景下,这一需求变得尤为突出。在精准农业中,农民不仅需要了解天气的变化,还希望根据作物的生长周期、土壤状况以及地理位置等因素,获得更为个性化、定制化的气象服务。不同作物在不同生长阶段对气候条件的需求差异巨大,传统的“一刀切”气象信息已经无法满足这些需求。例如,水稻的生长需要较高的湿度和稳定的气温,而小麦则要求更为干燥的气候和适中的气温。因此,气象服务需要根据作物种类、生产区域和气候条件的变化,提供针对性的气象预测和指导,帮助农民优化灌溉、施肥和播种等农业活动。现代农业气象服务的目标是通过数据的精准采集与智能分析,提供更加细化和个性化的服务,从而有效提升农业生产效率、减轻气候变化带来的风险,并推动农业的智能化发展。

3 农业气象服务精准化供给的必要性

3.1 提升农业生产的抗风险能力

气象因素是影响农业生产的关键外部因素,气候变化和极端天气事件的频发,极大地增加了农业生产的不确定性和风险。例如,干旱、暴雨、霜冻等极端天气不仅影响作物的生长周期,还可能造成灾害性损失。精准化农业气象服务能够通过实时提供定制化的气象数据,帮助农民及时掌握气象变化趋势,作出科学决策。通过气象预警系统,农民可以在灾害发生前采取有效的防范措施,如调整播种时间、改变

作物种类或采取其他应急措施,减少气象灾害对农业生产的影响。精准气象服务不仅能够提升农业的抗灾能力,也为长期可持续发展的农业发展提供保障,从而提高整体生产效率和效益。

3.2 提高农业资源的利用效率

精准化农业气象服务为农业资源的高效利用提供了重要支持,尤其是在水资源、肥料和农药的合理使用上。通过精确的降水量预测,农民能够根据气象变化合理安排灌溉作业,避免不必要的水资源浪费,并在干旱或降水不足时及时调配水源。此外,精准气象数据还为农药使用提供了科学依据,能够在病虫害高发期进行精准施药,减少不必要的农药浪费,降低对环境的负面影响。通过精准化的资源调配,农民不仅能够提高资源的使用效率,还能有效减少生产成本,优化农业生产链条,实现可持续发展。

3.3 推动农业生产智能化转型

精准化农业气象服务与智能设备、物联网技术的结合,为农业生产的智能化转型提供了动力。通过物联网终端和智能设备,气象数据能够实时传输至农业生产管理平台,支持自动化的决策和调控。例如,在智能温室中,气象数据可以实时调节温度、湿度和光照等环境因素,确保作物在最佳生长条件下进行生长。这一智能化管理不仅提高了生产效率,还为农民提供了科学的数据支持,减少了人为干预的误差。此外,智能化气象服务还能够帮助农民远程监控作物生长状态和气象变化,提升决策的时效性和准确性,推动农业生产方式向更加精准、高效、智能的方向转型。

4 精准化农业气象服务供给模式的构建

4.1 数据采集与融合

精准化农业气象服务的基础是高质量的数据采集与融合。通过部署气象传感器、无人机、卫星遥感等技术手段,能够实现对气象数据的实时采集,从而获取气温、降水量、风速、湿度等多个维度的数据。无人机和地面传感器能够为特定区域提供局部微气候信息,而卫星遥感则能覆盖大范围区域,提供全球或区域性气象变化的动态监测。尽管这些技术提供了丰富的数据来源,但不同来源的数据在时效性、精度和格式上存在差异。为了确保精准化气象服务的可靠性,必须对来自不同渠道的数据进行融合处理,通过数据清洗、标准化和校正技术,确保数据的准确性和一致性。此外,大数据技术的应用可以将这些来自不同来源的数据进行有效整合,形成一个统一的农业气象服务数据库,这一数据库将为后续的气象预测和决策支持提供坚实的基础。

4.2 智能分析与决策支持

精准化农业气象服务的核心在于智能化的气象数据分析与决策支持系统。在大量气象数据的基础上,运用人工智能算法进行深度分析,能够提取出气象模式、预测气象变化趋势,并预警潜在的灾害风险。机器学习和深度学习技术能

够在海量数据中识别出规律,自动优化预测模型,从而实现精准的天气预测与灾害预警。例如,智能分析系统可以根据不同作物的生长周期、土壤类型、气候条件等因素,推送个性化的气象服务,帮助农民根据气象变化调整灌溉、施肥和播种等农业生产活动。此外,基于智能分析的气象预测可以实现更为精细化的时间、空间分布,满足不同地区、不同农业生产单元的需求,显著提高农业生产决策的科学性和效益。

4.3 服务模式创新与实施

精准化农业气象服务的有效实施不仅依赖于先进的技术支持,还需要创新服务模式。移动端应用和农业气象平台是现代农业气象服务的主要传播渠道,能够使农民随时随地获取实时气象信息,提升服务的可及性与便捷性。通过这些平台,农民可以获取定制化的气象预警、作物气候需求分析、灾害预测等信息,有效帮助农民作出及时的生产调整。此外,政府和相关机构在推广精准化农业气象服务过程中,必须加强对农民的科技教育与培训,提高他们的技术接受度和使用能力。通过深入的宣传与教育,帮助农民理解新技术的重要性和应用价值,逐步提高他们的科技素养,确保精准化农业气象服务在全国范围内的普及与实施,进而推动农业生产的可持续发展。

5 农业气象服务精准化供给的挑战与对策

5.1 数据准确性与时效性的挑战

精准化农业气象服务的核心依赖于气象数据的采集和处理,然而在这一过程中,数据的准确性和时效性面临诸多挑战。气象数据采集设备的精度直接影响到数据的质量,尤其在一些偏远地区,由于设备的成本和环境的复杂性,数据采集的精度常常不尽人意。气象传感器的误差可能导致采集到的数据不完全准确,从而影响农业气象服务的决策支持。气候变化的频繁加剧,气象模式和气候行为变得更加复杂,使得基于历史数据的气象预测模型在面对极端气候时往往力不从心,无法准确预判短期气象变化。因此,精准化农业气象服务需要在数据采集过程中通过技术创新提升设备的精度,同时通过多源数据的融合提高预测的准确性。尤其在面对极端天气时,气象服务的时效性尤为重要,农民需要在最短时间内获取最新的气象数据,从而及时调整生产决策,减少气候变化对农业生产的影响。

5.2 技术与资金的支持问题

精准化农业气象服务的实现不仅需要先进的气象设备,还需要高效的数据处理平台和技术支持。特别是在偏远地区,气象设备的采购、安装与维护往往受到资金限制,导致精准化服务的推广受到制约。许多农业气象服务依赖于卫星遥感、无人机、气象传感器等设备,这些设备的建设和运营

费用较高,尤其是在资源匮乏的地区,资金投入的不足使得基础设施建设滞后,影响了服务的普及和效果。为了克服这一困难,政府和相关机构应加大对气象服务设施建设的投入,尤其是在农村和边远地区,确保这些区域能够享受到精准的气象服务。此外,精准化农业气象服务所依赖的云计算、大数据处理和人工智能技术,要求建立强大的技术平台,并对平台的维护和更新投入大量资源。技术的进步固然重要,但如何在有限的资源下进行合理的资金分配和技术部署,是精准化农业气象服务普及的关键问题。

5.3 农民对新技术的接受度

精准化农业气象服务的推广和应用离不开农民对新技术的认可与接受。然而,农民对新技术的接受度普遍较低,这直接影响了精准化气象服务的效果和覆盖面。许多农民长期依赖传统的经验来应对天气变化,缺乏对气象技术的深入理解,且对新兴技术的态度较为保守。在一些地区,由于教育水平较低和信息不对称,农民对气象服务的认知较为有限,甚至对气象数据的应用产生质疑。为了提高农民的技术接受度,提升他们的科技素养至关重要。通过开展针对农民的培训和教育,提高他们对现代气象技术的理解和应用能力,可以有效促进精准化气象服务的推广。此外,农民对新技术的接受不仅仅是技术培训的问题,还涉及到服务模式的创新。精准化农业气象服务应根据农民的需求设计更为简明易懂的操作界面,并通过示范项目和实际应用,增强农民对气象服务的信任和依赖,推动其广泛应用。

6 结语

随着智慧农业的发展,精准化农业气象服务将成为提升农业生产效益和保障农业可持续发展的重要手段。通过技术创新、数据融合和智能分析,可以实现农业气象服务的精准化供给,满足现代农业对高效、个性化服务的需求。然而,要实现这一目标,还需克服数据准确性、技术支持和农民接受度等方面的挑战。未来,随着相关技术的不断成熟和政策的支持,精准化农业气象服务有望在全球范围内推广,为农业生产的可持续发展提供强有力的支持。

参考文献

- [1] 李嘉鹏,杨消辉,王蓓.智慧农业气象服务平台设计与建设研究[J].网络安全和信息化,2023,(11):98-101.
- [2] 曲静,王楠,吕恩奇,等.西安市智慧农业气象服务体系设计及场景应用[J].农业工程,2025,15(08):30-34.
- [3] 李露.智慧农业气象服务模式的研究[J].农业灾害研究,2023,13(04):105-107.
- [4] 赵彦,刘子奇,厉闯,等.新时期基层智慧农业气象服务的几点思考[J].农村经济与科技,2023,34(07):45-48.
- [5] 彭丽娜,陈慧,李景良,等.包头市智慧农业气象服务系统设计与实现[J].农业科技与信息,2021,(09):76-77.

Plant Diversity in Mojiang Xiqisuoluo Provincial Nature Reserve

Dan Zhou¹ Enliang Li^{2*}

1. Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming, Yunnan, 650000, China

2. Pu'er City Forestry and Grassland Resources Management Station, Puer, Yunnan, 665000, China

Abstract

Mojang Xiqisuoluo Provincial Nature Reserve, located in southern Yunnan, features a typical low-latitude, high-altitude mountainous terrain. The reserve hosts a total of 1,648 species of vascular plants, belonging to 865 genera and 205 families, including 1,446 species of seed plants. At the family level, 15 families (7.32% of total families) containing over 20 species account for 42.20% of total genera and 46.12% of total species. At the genus level, monotypic genera (containing only one species) account for 64.74% of total genera, indicating a high degree of differentiation. The 783 genera of seed plants can be classified into 13 areal-types, with tropical genera comprising 66.59% and temperate genera 20.69% (tropical/temperate ratio = 3.56:1). The study reveals that the reserve is rich in plant species with significant tropical characteristics, serving as an important component of the Tropical Asian flora while exhibiting distinct transitional features.

Keywords

Mojang Xiqisuoluo Provincial Nature Reserve; vascular plants; flora; species diversity

墨江西歧杪楞省级自然保护区植物多样性研究

周丹¹ 李恩良^{2*}

1. 云南省林业调查规划院, 中国·云南 昆明 650000

2. 普洱市森林和草原资源管理站, 中国·云南 普洱 665000

摘要

墨江西歧杪楞省级自然保护区位于云南南部, 属低纬度高海拔山地。区内共有维管束植物205科865属1648种, 其中种子植物1446种。含20种以上的优势科15科(占7.32%), 包含总属数的42.20%和总种数的46.12%; 单种属比例达64.74%, 分化程度较高。种子植物783属可划分为13个分布区类型, 热带性质属占66.59%, 温带性质属占20.69%, 比值3.56:1。研究表明, 该区植物种类丰富, 热带性质显著, 是热带亚洲植物区系的重要组成部分, 具明显过渡性。

关键词

墨江西歧杪楞省级自然保护区; 维管束植物; 植物区系; 物种多样性

1 引言

植物多样性是生物多样性研究的重要内容, 植物区系的组成与结构特征反映了一个地区的自然地理环境与生态演化历史^[1]。墨江西歧杪楞省级自然保护区地处云南省南部, 地理位置特殊, 地形复杂, 气候多样, 是研究热带北缘向亚热带过渡区域植物区系的理想场所。目前关于该保护区植物多样性的系统研究尚属空白。本文通过对保护区内维管束植物的种类组成、科属结构及区系地理成分进行系统分析, 旨

在为该区的植物多样性保护与区系研究提供科学依据。

2 研究区域与方法

2.1 研究区域概况

墨江西歧杪楞省级自然保护区地处云南省普洱市墨江县境内, 地理位置上属于无量山南延的北缘山地, 同时也是把边江与阿墨江的分水岭区域。区内整体地势呈现西高东低的特点, 海拔高度介于780米至2137米之间, 构成了典型的低纬度高海拔山地地貌。该区域山脉主要呈西北-东南走向, 地形切割中等, 坡度较陡, 多在30°至50°之间, 表现出地形破碎、沟谷深窄的特征。保护区的最低点位于旧寨山山体中部把边江岸边, 海拔780米; 最高点为傣人大山山顶, 海拔2137米, 大部分地区海拔在1000米以上。区内水系均为把边江的支流, 主要包括北部的磨铺河和南部的南照箐河等。在气候上, 本区处于热带北缘向亚热带过渡地带,

【作者简介】周丹(1991-), 女, 中国河南信阳人, 硕士, 工程师, 从事植物多样性、林草碳汇等研究。

【通讯作者】李恩良(1978-), 男, 中国云南普洱人, 高级工程师, 从事林草规划和研究等研究。

深受印度洋季风影响,表现为年均气温高、气温年较差小、日较差大,雨量充沛,干湿季节分明。干季期间雾日较多,冷季受北方寒潮影响较弱,因此具有霜期短、日照充足的气候特征。

2.2 数据来源与处理

本研究的分类鉴定与命名主要依据保护区植物调查数据,并参考《Flora of China》进行核对。植物区系分布区类型的划分标准,植物区系分布区类型划分参照吴征镒^[2-4]的方法。

3 结果与分析

3.1 植物种类组成

调查结果显示,墨江西歧桫欏省级自然保护区分布有维管束植物 205 科 865 属 1648 种(含种下等级)。其中,蕨类植物 41 科 82 属 202 种;种子植物 1446 种,包含裸子植物 4 科 4 属 4 种,被子植物 160 科 779 属 1442 种(表 1)。上述统计中包含了 22 种外来归化种或栽培种,如西番莲 *Passiflora caerulea*、飞机草 *Chromolaena odorata*、破坏草(紫茎泽兰) *Ageratina adenophora* 等,不包括保护区范围内的大田作物物种。

表 1 保护区维管束植物统计表

植物类群		科数	属数	种数(包括种下等级)
蕨类植物		41	82	202
种子植物	裸子植物	4	4	4
	被子植物	160	779	1442
	小计	164	783	1446
维管束植物合计		205	865	1648

3.2 科的数量结构分析

在科的层面,植物区系的主体由少数大科构成。据统计,含 20 种以上的科共计 15 个,虽然仅占保护区总科数的 7.32%,但它们贡献了 365 个属和 760 个种,分别占总属数的 42.20% 和总种数的 46.12%。其中,超过 50 种的大科有 6 个,占总科数的 2.93%,包含了 255 属(29.48%) 和 486 种(29.49%)。这 6 个科分别是兰科(60 属 141 种)、菊科(48 属 78 种)、茜草科(34 属 77 种)、禾本科(52 属 72 种)、蝶形花科(31 属 62 种)和大戟科(30 属 56 种),它们在保护区内分化显著,构成了维管束植物区系的核心组成部分。

从科内属的组成来看(表 3),单属科(仅含 1 属)数量最多,共有 95 科,占全部科数的 46.34%,但这些科合计仅包含 95 属,占总属数的 10.98%。相反,包含 6 属以上的较大科(共 38 科,占 18.54%)则贡献了 552 属,占总属数的 63.81%,显示出属的分布向少数大科集中的趋势。

从科内种的组成来看(表 4),物种的分布同样呈现出集中趋势。仅含 1 种的科有 61 个,占总科数的 29.76%,但仅贡献了总种数的 3.70%(61 种)。而包含 11 种以上

的 41 个科(占 20.0%),则包含了 1130 种,占总种数的 68.57%,特别是 11 个多于 30 种的大科,以 5.37% 的科数占比,贡献了 39.93% 的物种(658 种)。

表 2 保护区维管束植物科的大小排序(含 20 种以上的科)

序号	中文科名	拉丁科名	属数	种数
1	兰科	Orchidaceae	60	141
2	菊科	Compositae	48	78
3	茜草科	Rubiaceae	34	77
4	禾本科	Poaceae	52	72
5	蝶形花科	Papilionaceae	31	62
6	大戟科	Euphorbiaceae	30	56
7	唇形科	Labiatae	22	37
8	水龙骨科	Polypodiaceae	13	37
9	蔷薇科	Rosaceae	17	35
10	樟科	Lauraceae	12	32
11	莎草科	Cyperaceae	10	31
12	壳斗科	Fagaceae	4	28
13	桑科	Moraceae	6	28
14	荨麻科	Urticaceae	14	26
15	爵床科	Acanthaceae	12	20
合计			365	760

表 3 保护区维管束植物科内属一级数量结构分析

类型	科数	占全部科数的比例(%)	含属数	占全部属数的比例(%)
仅出现 1 属的科	95	46.34	95	10.98
出现 2~5 属的科	72	35.12	218	25.20
出现 6~10 属的科	25	12.20	195	22.54
出现多于 10 属的科	13	6.34	357	41.27

表 4 保护区维管束植物科内种一级数量结构分析

类型	科数	占全部科数的比例(%)	含种数	占全部种数的比例(%)
仅出现 1 种的科	61	29.76	61	3.70
出现 2~10 种的科	103	50.24	457	27.73
出现 11~30 种的科	30	14.63	472	28.64
出现多于 30 种的科	11	5.37	658	39.93

3.3 属的数量结构分析

在属级水平上,单种属(区内仅含 1 种)占据了主导地位,共计 560 属,占全部 865 属的 64.74%,但这些属的总种数(560 种)仅占全部种数的 33.98%。含 2-5 种的寡种属有 257 属(占 29.71%),包含 679 种(占 41.20%)。含 6 种以上的较大属共有 48 个,虽然仅占属总数的 5.55%,但它们包含了 409 种,占全部种数的 24.83%。其中,物种数超过 10 种的属有 14 个(表 5),以石斛属(*Dendrobium*, 24 种)和榕属(*Ficus*, 19 种)最为丰富,表明这些属在保护区内得到了良好的发展。

表 5 保护区维管束植物超过 10 种的属大小排序

序号	属中文名	属拉丁名	种数
1	石斛属	Dendrobium	24
2	榕属	Ficus	19
3	薯蓣属	Dioscorea	13
4	石豆兰属	Bulbophyllum	12
5	锥栗属	Castanopsis	12
6	莎草属	Cyperus	12
7	双盖蕨属	Diplazium	11
8	铁角蕨属	Asplenium	11
9	蓼属	Polygonum	11
10	悬钩子属	Rubus	10
11	石韦属	Pyrrosia	10
12	蒲桃属	Syzygium	10
13	凤尾蕨属	Pteris	10
14	耳草属	Hedyotis	10
合计			175

3.4 种子植物属的分布区类型分析

保护区地处无量山系南延、把边江与阿墨江分水岭的特殊地理位置，属热带北缘向亚热带过渡的气候区。根据吴征镒^[2-4]的区系划分原则，对区内 783 属种子植物（不含归化种）进行统计分析，可归入 13 个类型和 18 个亚型（表 6）。结果显示，该区系在属级水平上地理成分复杂，与世界多地植物区系存在广泛联系，唯独缺失“地中海区、西亚至中亚分布”及其相关变型。

区系组成中，热带性质（分布型 2-7 及其变型）占据绝对优势，共计 576 属，占扣除世界广布属后总属数的 66.59%。温带性质（分布型 8-15 及其变型）的属有 162 个，占比 20.69%。热带属与温带属的数量比值高达 3.56:1，鲜明地揭示了本区植物区系强烈的热带属性。这种典型的热带性质，主要源于其低纬度地理位置。同时，区内山地海拔较高，为部分亚热带和温带成分的生存与繁衍提供了“避难所”或“迁移廊道”，从而在区系中融入了少量温带成分，体现了山地环境对区系组成的垂直分异影响。

在所有分布区类型中，数量排名前三的均为热带分布型，进一步印证了其热带根源。具体而言，泛热带分布及其亚型（176 属，占 22.48%）占比最高，其次是热带亚洲（印度-马来西亚）分布及其亚型（167 属，21.33%），以及旧世界热带分布及其亚型（84 属，10.73%）。这一构成特征有力地证明，墨江西歧桫欏省级自然保护区的种子植物区系是热带亚洲（印度-马来西亚）植物区系的一个有机组成部分。

4 总结

墨江西歧桫欏省级自然保护区维管束植物种类丰富，共记录 1648 种，显示出该区较高的植物多样性。科属结构分析表明，优势科现象明显，兰科、菊科等 6 个科含 50 种

以上，构成了区系的主体；而单种科和寡种科占比较高，反映出该区植物区系的复杂性和过渡性特征。属级水平上，单种属比例高达 64.74%，说明该区植物分化程度较高，特有现象较为突出。

表 6 保护区种子植物属的分布区类型^[5]

分布区类型	属数	比例（%）
1. 世界分布	45	5.75
2. 泛热带分布	176	22.48
3. 热带亚洲和热带美洲间断分布	19	2.43
4. 旧世界热带分布	84	10.73
5. 热带亚洲至热带大洋洲分布	83	10.6
6. 热带亚洲至热带非洲分布	47	6
7. 热带亚洲（印度-马来西亚）分布	167	21.33
热带分布合计（2-7）	576	66.59
8. 北温带分布	64	8.18
9. 东亚和北美洲间断分布	21	2.68
10. 旧世界温带分布	16	2.05
11. 温带亚洲分布	4	0.51
12. 地中海区、西亚至中亚分布	2	0.26
14. 东亚分布	48	6.13
15. 中国特有分布	7	0.89
温带分布合计（8-15）	162	20.69
合计	783	100

区系地理成分分析显示，热带分布属占绝对优势（66.59%），泛热带分布、热带亚洲分布和旧世界热带分布为主要类型，表明该区植物区系具有强烈的热带性质，是热带亚洲植物区系的组成部分。同时，温带成分也占有一定比例（20.69%），这与保护区“低纬度高海拔”的山地环境有关，使得一些亚热带和温带成分得以繁衍，体现了区系的过渡性和垂直分异。

与邻近地区相比，如无量山、哀牢山等，本区植物区系组成相似，但特有现象和珍稀种类更为突出，可能与局部生境异质性和较低的人为干扰有关。未来应进一步开展长期监测，研究种群动态和濒危机制，为保护管理提供科学依据。

参考文献

[1] 汤彦承. 论植物区系的地带性及其在小型地区区系分析中的应用问题[J]. 植物分类学报, 2000, 38(2): 101-110.

[2] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型[J]. 云南植物研究, 1991(增刊IV): 1-139.

[3] 吴征镒, 周浙昆, 孙航, 等. 种子植物分布区类型及其起源和分化[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2006.

[4] 吴征镒, 孙航, 周浙昆, 等. 中国种子植物区系地理[M]. 北京: 科学出版社, 2010.

[5] 尹五元. 云南铜壁关自然保护区植物多样性及其保护研究[D]. 北京林业大学, 2006.

Natural Gene Activation: Refined Configuration of Native Plants and Ecological Garden Construction

Yi Jjang

Haining Vocational High School, Zhejiang Province, Haining, Zhejiang, 314400, China

Abstract

Urban ecological garden development is transitioning from quantity-driven greening to quality-focused enhancement, with low-maintenance, high-ecological, and regionally distinctive features emerging as core industry priorities. Native plants, having evolved through long-term adaptation to local environments, demonstrate strong compatibility and profound cultural heritage, making them a key solution to the uniformity in urban ecological landscaping. This article examines the core value of refined native plant configuration in ecological gardens, identifies current implementation challenges, and proposes practical principles and strategies based on industry experience. The findings aim to provide actionable references for creating localized, sustainable, and low-maintenance urban green spaces, ultimately shifting the focus of ecological garden development from superficial landscaping to genuine ecological restoration.

Keywords

native plants; ecological gardens; refined configuration; regional characteristics

自然基因激活：乡土植物精细化配置与生态园林生态营造

蒋怡

浙江省海宁市职业高级中学，中国·浙江 海宁 314400

摘要

当前城市生态园林建设正从规模增绿向品质提绿转型，低维护、高生态、强地域特色成为行业核心发展方向。乡土植物经本地自然环境长期演化筛选，适配性强、文化底蕴深厚，是解决生态园林植物配置千城一面等问题的关键。文章以乡土植物精细化配置为切入点，分析其在生态园林建设中的核心价值，梳理当前应用落地的现实困境，结合行业实践提出适配的配置原则与实操策略，为打造本土化、稳定化、低维护的城市生态园林提供实践参考，推动生态园林建设真正从形式造景走向生态营造。

关键词

乡土植物；生态园林；精细化配置；地域特色

1 引言

生态园林作为城市生态系统的重要组成部分，其植物配置的科学性直接影响园林生态功能的发挥、群落的稳定程度以及景观的可持续性。长期以来，生态园林建设存在重外来品种轻乡土资源，重形式造景轻群落共生，重整体布局轻细节适配等问题，导致园林植物群落稳定性差、养护成本居高不下、地域景观特色缺失。

乡土植物是指在特定地域内适应当地气候、土壤、水文等自然条件的本土植物，具有不可替代性。近年来，在实际应用中仍存在乡土植物选种单一、配置方式粗放、与绿地场景适配性不足等问题，未能充分发挥其生态与景观价值。

基于此，文章摒弃生态园林植物配置的泛化研究视角，聚焦乡土植物精细化配置这一具体方向，探讨其在生态园林建设中的价值、困境与实操策略，让生态园林植物配置从粗放式搭配走向精细化营造，真正实现园林生态效益、景观效益与经济效益的协同统一。

2 乡土植物适配生态园林精细化配置的核心价值

乡土植物作为生态园林精细化配置的核心载体，其价值并非单一的适地适树，而是从生态、景观、经济、文化四个维度，与生态园林的低维护、高生态、强特色建设需求深度契合，也是精细化配置区别于粗放式搭配的核心优势所在。

【作者简介】蒋怡（1987-），女，中国浙江海宁人，本科，讲师，从事植物景观设计研究。

2.1 生态价值：构建本地稳定植物群落，提升城市生物多样性

乡土植物是城市生物多样性的重要载体。通过精细化配置构建乔灌草藤复层群落，能够快速形成适配本地环境的稳定生态系统，其自我调节能力更强，能有效抵御病虫害、极端天气等外界干扰，减少化学农药、化肥的使用。同时，乡土植物还能为动物提供食物与栖息环境，从根本上提升城市园林的生态承载力，解决传统生态园林生态功能薄弱的问题。

2.2 景观价值：营造地域特色景观，破解“千城一面”造景困境

当前生态园林建设的景观痛点在于各地盲目引进外来名贵品种，导致园林景观趋同，丧失地域辨识度。而乡土植物是地域自然景观的典型代表，不同地域的乡土植物构成了独有的植被风貌。通过精细化配置，结合植物的季相、形态、色彩，能营造出“源于自然、高于自然”的地域特色景观，让生态园林的景观既符合本土自然肌理，又具备独特的审美价值。

2.3 经济价值：降低园林建设与养护成本，实现低维护园林目标

低维护、高效益是当下生态园林建设的重要行业趋势，乡土植物正是实现这一目标的关键。乡土植物多为本地育苗，成本低、成活率高，适应性强无需频繁养护，可减少人工与化学投入，实现园林资源内部循环，转向自然自我维持型。

2.4 文化价值：承载地域文化内涵，实现生态与文化双重营造

生态园林不仅是城市的绿色屏障，更是地域文化的载体，而乡土植物作为地域自然与人文发展的共同产物，承载着城市的历史记忆与文化内涵。乡土植物承载地域历史文化，与民俗、建筑深度融合，精细化配置可使其成为文化传播载体，增强居民认同感。通过精细化配置乡土植物，将其与城市的历史建筑、园林小品、民俗场景相结合，能让生态园林成为地域文化的传播载体，使得城市园林更具人文温度，也让居民产生更强的地域认同感与归属感。

3 乡土植物在生态园林配置中的现实困境

尽管乡土植物的应用已成为生态园林建设的行业共识，但从实际落地情况来看，乡土植物配置仍未摆脱粗放化管理，选种、设计、施工、养护等环节的精细化程度不足，导致其生态与景观价值未能充分发挥，具体问题体现在四个方面：

3.1 乡土植物资源挖掘不充分，选种单一化问题突出

我国地域辽阔，各地乡土植物资源丰富，但目前对乡土植物的开发与利用仍处于浅层阶段。常用乡土植物集中于少数品种，对野生乡土植物资源调查、选育不足，特性研究

仅关注观赏性，忽视生态功能与群落适配性。

3.2 配置方式粗放，缺乏群落化与层级化设计

当前乡土植物配置未按生态学原理构建复层群落，忽视植物共生关系与生长特性，或生硬搭配外来植物破坏稳定性。

3.3 育苗与应用衔接不畅，优质苗源供给不足

乡土植物的精细化配置离不开优质、规格统一的苗源支撑，但目前我国乡土植物的育苗产业与园林应用之间存在明显的脱节。乡土植物规模化育苗不足，优质苗源数量少、规格单一，难满足工程批量需求。

3.4 设计与施工脱节，养护管理缺乏精细化指导

精细化配置不仅体现在设计环节，更需要施工与养护环节的协同配合，但目前乡土植物配置中存在设计与施工“两张皮”的问题。在施工环节，部分施工单位施工偏离设计方案，养护沿用外来植物模式，破坏群落自我调节能力，导致部分乡土植物生长不良，影响群落的稳定性。

4 生态园林中乡土植物精细化配置的核心原则

乡土植物的精细化配置是以生态学原理为核心，结合园林的景观需求、场景功能与地域文化，实现植物、环境与人的和谐统一。其核心原则可归纳为四点，为精细化配置提供科学依据：

4.1 适地适树，贴合本土自然条件

这是乡土植物精细化配置的首要原则，根据城市的气候、土壤、水文、地形等自然条件，筛选适配的乡土植物品种。不同地域的乡土植物具有不同的生态特性，依据气候、土壤、水文筛选适配乡土植物，如耐水湿、耐干旱盐碱等特性匹配立地条件。

4.2 群落共生，构建稳定生态系统

精细化配置的核心是构建结构合理、共生稳定的本地植物群落。按照生态学原理，搭配不同层次的乡土植物，形成“上层乔木-中层灌木-下层草本/地被-层间藤本”的复层群落结构，合理规划常绿与落叶、速生与慢生、阳生与阴生植物的比例，让植物群落内部形成互补的营养结构与生态功能；此外，考虑乡土植物与本地生物的共生关系，选择能为本土昆虫、鸟类提供食物与栖息环境的乡土果树、蜜源植物，提升植物群落的生物多样性。

4.3 景观适配，兼顾功能性与观赏性

乡土植物的精细化配置需兼顾功能与审美需求，实现功能为基、景观为翼。不同类型的城市绿地具有不同的功能定位，如观赏、防护、宜居等，搭配乡土植物形态色彩与季相变化，实现功能与审美融合。

4.4 文化融贯，彰显地域景观特色

乡土植物是地域文化的重要载体，精细化配置需将植物的文化内涵与地域文化、园林设计主题相结合，避免千篇一面。一方面，挖掘乡土植物的文化象征意义，将具有地域

文化标识的乡土植物作为核心造景植物,与园林小品、历史建筑、景观节点相搭配,强化园林的文化表达;另一方面,结合地域的自然景观风貌进行配置,让生态园林成为地域自然与文化风貌的缩影。

5 生态园林中乡土植物精细化配置的实操策略

基于上述核心原则,结合行业发展趋势与园林建设的实操需求,从前期资源挖掘、群落层级配置、场景化适配、养护精细化四个维度,提出乡土植物精细化配置的具体实操策略,让配置思路落地为可操作的施工方案:

5.1 前期:开展乡土植物资源系统调研,建立本土植物应用库

精细化配置的前提是充分掌握本地乡土植物资源,各地应组织专业团队开展乡土植物资源的系统调查,筛选驯化高价值种类,建立分类应用数据库;对野生乡土植物进行筛选与驯化,选择具有较高观赏价值、生态价值且易育苗、易养护的乡土植物进行人工培育,将其纳入园林应用体系。在此基础上,建立本地乡土植物应用数据库,为园林设计提供科学全面的选种依据,解决选种单一化的问题。

5.2 核心:构建复层乡土植物群落,实现层级化与季相化配置

复层群落是乡土植物精细化配置的核心形式,需根据不同绿地的立地条件,构建结构合理的本土植物群落。其一,合理规划群落层级,上层选择本地高大乔木作为基调树种,构建园林的骨架;中层选择灌木、小乔木作为配景树种,丰富景观层次,如紫薇、紫荆;下层选择草本、地被作为地被植物,覆盖地面,减少土壤裸露,如麦冬、萱草;层间搭配藤本植物,如紫藤、凌霄,营造立体绿化效果。其二,合理搭配常绿与落叶乡土植物,利用彩叶、观花和观果植物,营造四个季相景观,提升景观的丰富性。

5.3 落地:结合绿地场景功能,实现乡土植物场景化适配

乡土植物的精细化配置需与场景深度结合,针对不同类型的城市绿地,制定差异化的配置方案,让植物的生态功能与绿地的使用功能高度适配,具体配置要点如下:

公园绿地:以生态观赏和游憩体验为核心,构建多样化的乡土植物群落,设置乡土植物观赏区、蜜源植物区等景观节点,兼顾观赏性与生物多样性;防护绿地:以生态防护为核心,优先选择抗污染、吸滞粉尘、防风固沙的乡土植物,构建结构紧密的复层群落;居住区绿地:以宜居性、低维护为核心,选择本土遮阴效果好、病虫害少的乔木,搭配本土低矮灌木与草本,避免选择易落果、有刺有毒的乡土植物,营造舒适的居住环境;儿童活动绿地:以安全性和趣味性为

核心,选择低矮、色彩丰富、无刺无毒的灌木与草本;水生绿地:以水土净化和水景观赏为核心,构建挺水-浮水-沉水的水生植物群落,如芦苇、荷花、芡实等。

5.4 保障:推动育苗-施工-养护一体化,强化精细化落地管理

其一,完善乡土植物规模化育苗体系,加大对育苗政策与技术支持,引导育苗企业培育优质乡土苗源,实现乡土植物苗源的规格统一、数量充足,解决苗源供给不足的问题;其二,加强设计与施工的衔接。设计方案中明确乡土植物的种植密度、种植位置、搭配方式,施工前对施工团队进行专业培训,施工过程中安排专业人员现场指导,确保设计方案严格落地;其三,制定针对乡土植物的精细化养护标准,遵循其自然生长特性,减少人工的频率,仅在植物生长关键期进行必要的养护,同时利用落叶、残枝进行自然堆肥,实现园林养分的内部循环,推动生态园林向低维护方向发展。

6 结论与展望

文章以乡土植物精细化配置为切入点,突破了传统生态园林植物配置的泛化研究视角,本文剖析乡土植物核心价值与应用困境,提出适地适树、群落共生、景观适配、文化融贯原则及资源调研-群落配置-场景适配-养护保障策略。

乡土植物的精细化配置是贯穿于生态园林建设的全流程,需要资源挖掘、设计、育苗、施工、养护等各环节的协同配合。未来还可结合数字化技术与跨学科研究,深化乡土植物群落生态机制认知,为精细化配置提供更科学支撑。

相信以乡土植物精细化配置为核心的生态园林建设,将能打造出更多结构稳定、生态高效、特色鲜明、低维护的城市园林,既有效改善城市生态环境、提升城市人居品质,又能彰显地域自然与文化特色,让城市园林真正成为人与自然和谐共生的绿色空间,推动城市生态园林建设实现高质量发展。

参考文献

- [1] 苏雪痕.植物造景[M].北京:中国林业出版社,1994.
- [2] 孙卫邦.乡土植物与现代城市园林景观建设[J].中国园林,2003,(07):63-65.
- [3] 张小强.北京市园林绿化中乡土植物应用存在的问题及其对策[J].南方农业,2025,19(16):100-102.DOI:10.19415/j.cnki.1673-890x.2025.16.034.
- [4] 许锡锋.乡土植物在苏州市园林绿化中的应用[J].现代园艺,2024,47(22):101-103.DOI:10.14051/j.cnki.xdy.2024.22.069.
- [5] 欧阳莹.园林工程中乡土植物配置对景观多样性的影响分析[J].中国农村科技,2025,(12):49-51. [1]朱磊.乡土植物在现代城市园林绿化设计中的应用要点[J].社区文化,2025,(13):69-71.

A Brief Analysis of the Large-Scale Cultivation Technology of Fennel in Moule County

Junping Wu¹ Hongyan Xiang²

1. Mulei Kazakh Autonomous County Autonomous County Agricultural and Animal Husbandry Technology Extension Center, Changji, Xinjiang, 831900, China

2. Agricultural Development Service Center of Dongwan Town People's Government, Qitai County, Changji, Xinjiang, 831800, China

Abstract

Based on the ecological conditions and production practices of Mulei County, this article systematically summarizes the key technical points of large-scale planting of fennel, covering core links such as variety selection, soil preparation and fertilization, sowing management, field regulation, green pest control, and harvesting. In response to the climate characteristics of drought and low rainfall, as well as large temperature differences between day and night in Mulei County, this article focuses on the selection of drought resistant varieties, precise regulation of water and fertilizer integration, and soil moisture preservation cultivation techniques; In terms of green prevention and control, the integrated application of agricultural prevention and control combined with biological pesticides effectively reduces the harm of root rot, powdery mildew, and aphids. This article aims to provide scientific and practical technical guidance for growers, promote the standardization process of fennel planting, help improve the quality and efficiency of the fennel industry in Mulei County, and consolidate the foundation for sustainable development of regional characteristic agriculture.

Keywords

fennel; Scale up; Cultivation management

浅析木垒县小茴香规模化种植技术

武军平¹ 相红燕²

1. 木垒哈萨克自治县农牧业技术推广中心, 中国·新疆 昌吉 831900

2. 奇台县东湾镇人民政府农业发展服务中心, 中国·新疆 昌吉 831800

摘 要

基于木垒县的生态条件与生产实际, 本文系统梳理小茴香规模化种植的关键技术要点, 涵盖品种选择、整地施肥、播种管理、田间调控、病虫害绿色防控及采收等核心环节。针对木垒县干旱少雨、昼夜温差大的气候特点, 重点阐述了抗旱品种遴选、水肥一体化精准调控及保墒栽培技术; 在绿色防控方面, 集成应用农业防治与生物农药相结合的防控模式, 有效降低根腐病、白粉病及蚜虫危害。本文旨在为种植户提供科学、实用的技术指导, 推动小茴香种植标准化进程, 助力木垒县小茴香产业提质增效, 夯实区域特色农业可持续发展基础。

关键词

小茴香; 规模化; 栽培管理

1 引言

小茴香作为药食同源的经济作物, 籽实不仅可入肴调味, 可去除异臭、增香添味, 可独立调香, 也可与其他调味品配合使用^[1], 是我国传统香料、调味品的重要原料; 其籽实、茎叶还兼具药用、饲用价值, 市场需求持续稳定, 已成为木垒县调整农业产业结构、促进农民增收的特色优势作物。木

垒县种植小茴香历史悠久, 当地独特的光热资源和沙质土壤赋予产品粒饱、色正、味浓的优良品质, 在区内外市场享有较高声誉。

近年来, 随着市场对优质小茴香产品需求的扩大, 木垒县小茴香种植规模逐步扩大, 规模化种植技术的集成与推广成为破解生产瓶颈、提升产业竞争力的关键抓手, 既能实现土地、光热等资源的高效利用, 又能通过标准化管理保障产品质量一致性, 推动小茴香产业从“分散种植”向“规模化、集约化、优质化”转型。同时, 规模化种植有利于统一品种、统一农资、统一规程、统一销售, 降低生产成本, 增强市场议价能力, 为打造区域特色品牌、延伸产业链条奠定

【作者简介】武军平（1972-），男，中国甘肃平凉人，本科，高级农艺师，从事基层农业技术推广及农产品质量安全检验检测研究。

坚实基础。

2 品种选择

优先选择耐干旱、耐贫瘠、耐昼夜温差大,株型紧凑、成熟度一致,抗白粉病、根腐病等本地高发病虫害,且耐盐碱、抗倒伏,生长周期 90-95 天的品种。品种选择是丰产优质的基础,需综合考虑木垒县春季干旱多风、夏季干热的气候特征,确保品种在当地生态条件下能够稳定发挥生产潜力。木垒县结合市场需求调整:可优先选择伊朗优质小茴香(粒大饱满、商品性好)、木垒本地小茴香(香味浓郁型,适合高端调味品市场),昌吉小茴 1 号(丰产稳产品种,适合规模化种植)。种子质量需满足:纯度 $\geq 95\%$ 、发芽率 $\geq 85\%$ 、净度 $\geq 98\%$,播种前需晾晒 2-3 天(每天 4-6 小时),利用晴天紫外线杀菌除湿,激活种子酶活性,提高发芽势和出苗整齐度,为一播全苗奠定基础。

3 整地施肥

3.1 整地

3.1.1 整地时间

前茬作物收获后(9月下旬-10月上旬)立即整地,结合秋灌保墒,避免春季干旱影响播种;秋整地可使土壤经过冬季冻融,疏松土壤结构,减少病虫害越冬基数。秋季及早整地还能错开春播农忙时节,缓解劳动力紧张局面,为来年适时播种争取主动。

3.1.2 整地标准

深耕 30cm,打破犁底层,增强土壤透气性和蓄水能力。深耕后采用旋耕机旋耕 2 遍,确保土壤颗粒直径 $\leq 2\text{cm}$,无明显坷垃、残茬,做到“上虚下实、无坷垃、无残茬”。前茬若为小麦、玉米等作物,需彻底清除田间残茬(粉碎后还田或移出),减少杂草滋生和病虫害传播载体。精细整地是小茴香出苗整齐的关键,尤其对于籽粒较小的作物,平整细碎的土壤有利于播种深度一致,提高出苗率。

3.2 施底肥

施底肥以充分腐熟有机肥为主,化肥为辅[2],通过有机肥改良土壤结构,提升肥力持续性;化肥精准施用,避免养分流失。每亩施腐熟农家肥 1000-1500kg+ 商品有机肥(有机质含量 $\geq 45\%$) 500-600kg+ 生物菌肥(有效活菌数 ≥ 2 亿/g) 2-3kg;每亩施入基肥尿素 15-20kg、磷酸二铵 25-30kg、硫酸钾 10-15kg。整地时均匀撒施于地表,随深耕翻入土壤下层 30cm。这种有机无机相结合的施肥方式,既能满足小茴香全生育期对养分的需求,又能持续改良土壤,培肥地力,为规模化种植条件下的稳产高产奠定基础。

4 播种管理

4.1 播前准备

4.1.1 播种时间

小茴香为耐寒植物,幼苗期能够耐受 -10°C 低温,且不易受倒春寒影响,生产中应尽量早播,以延长植株分化期,

提升产量及品质[3]。木垒县以春播为主,播种时间在 4 月上旬至中旬,土壤 15cm 地温稳定在 $5-8^{\circ}\text{C}$ 即可播种。早播能够充分利用春季返浆水,促进种子早发芽、早出苗,使根系在高温干旱来临前充分下扎,增强植株中后期的抗旱能力;同时,早播可使生育期整体前移,有效避开 7 月下旬至 8 月上旬可能出现的干热风危害,确保籽粒灌浆充分,提高千粒重和商品率。种植户需密切关注春季气温变化,抓住“冷尾暖头”适时抢播。

4.1.2 拌种

针对根腐病高发地块,用 3% 噻霉灵可湿性粉剂按种子重量的 0.3% 拌种;地下害虫(如蛴螬)多发地块,用 5% 噻虫嗪种子处理悬浮剂按 1:500 比例拌种,拌匀后阴干即可播种。拌种时要确保药剂均匀附着于种子表面,可先在种子上喷洒少量清水润湿,再边撒药边翻拌,直至药粉均匀包裹;阴干过程中需摊薄铺平,置于通风阴凉处,避免阳光直射导致药效分解或影响种子发芽率。对于根腐病与地下害虫混发地块,可选用复配种衣剂一次拌种,实现病虫害兼防。

4.2 播种方式

规模化小茴香生产,选用小粒种子精量覆膜播种机播种^[2]。可同步完成播种、铺设滴灌带、覆膜、覆土。一膜两行一带,地膜应选择宽 70cm 厚度大于 0.01mm,滴灌带滴头流量 1.8-2.2L/h,滴头间距 20-30cm,行距 40cm,株距 8-10cm,播种深度 2-3cm,覆土厚度 1-2cm。根据品种特性调整,亩保苗数控制在 1.8-2.2 万株。采用“宽行窄株”模式,提升通风透光性,减少白粉病发生。机械化播种作业时,行走速度应控制在每小时 3-4 公里,确保下籽均匀、播深一致、覆土严密;播种后及时检查膜边压实情况,防止大风揭膜。地膜覆盖具有增温、保墒、抑草多重功效,尤其对木垒县春季低温干旱气候具有显著的适应性优势。

4.3 间苗补苗

小茴香幼苗生长缓慢,幼苗出土显行后及时间苗,3 片真叶后及时定苗^[4]。每亩保苗数 1.8-2.2 万株,避免拥挤争光。缺苗率超过 3% 时,采用带土移栽补苗(选用同期育苗的健壮幼苗),移栽后滴灌定根水(每亩 5-8m³),补苗时间不晚于 4 叶期,确保苗龄一致。间苗定苗要选在阴天或傍晚进行,减少土壤水分蒸发和幼苗损伤,间苗后结合浅中耕松土,破除板结,提高地温,促进根系发育。定苗时应按照“去弱留强、去病留健”原则,确保田间植株生长整齐一致,为后续机械化管理和统一采收奠定基础。

5 田间调控

遵循“少量多次、关键期足灌、非关键期控水”。

5.1 水分管理

采用干播湿出。播种后 1-2 天滴出苗水,每亩 8-10m³;苗期(3-5 叶期)一般不浇水,若遇持续干旱(土壤含水量 $< 12\%$),每亩滴灌 10-15m³;现蕾期至初花期(需水高峰期)每 7-10 天滴灌 1 次,每亩每次浇水 20-25m³,保持土壤含水量 18%-20%,保证充足水分,促进花芽分化和开花结实;

盛花期至灌浆期水分稳定供应,每10-12天滴灌1次,每亩每次浇水15-20m³,如遇干旱,增加滴灌频次,使土壤含水量维持在15%-18%,促进籽粒饱满;灌浆后期(采收前15天)停止浇水,若遇极端高温干旱,可每亩滴灌5-8m³,避免籽粒脱水干瘪。

5.2 追肥施用

追肥结合滴灌,遵循“氮磷钾配比、关键期补微肥”原则。苗期(4-5叶期)每亩追施尿素5-8kg+氨基酸水溶肥1kg,分2次施入(间隔5天);现蕾期追肥(现蕾至初花期),每亩追施磷酸二铵10-12kg+硼肥0.5kg,搭配少量尿素(3-5kg),促进花芽分化和授粉,促进花芽分化和结实率提升;灌浆期追肥(盛花期后)叶面喷施0.2%磷酸二氢钾溶液+0.1%硼砂溶液,连喷2次(间隔7天),每亩用药液30-40kg。如遇高温干旱,可在叶面喷施0.3%磷酸二氢钾溶液,提升抗旱性。

5.3 中耕除草

出苗现行后及时进行浅中耕,以疏松地表、提高地温、消灭杂草、促苗早发^[5]。现蕾前再进行1次,清除行间杂草;如需防除禾本科杂草和阔叶杂草,在苗期每亩用10.8%高效氟吡甲禾灵乳油20-30ml+25%砵嘧磺隆水分散剂3-5g,兑水30kg喷雾。

6 病虫害绿色防控

6.1 病害

6.1.1 白粉病

高发期在现蕾至盛花期,叶片出现白色粉状物,后期变为灰白色,影响光合作用。通过合理密植,保持通风透光;避免过量施氮,增施磷钾肥;发病初期每亩喷施2%武夷菌素水剂150倍液;或在发病高峰期每亩用25%啞菌酯悬浮剂30-40ml,兑水30kg喷雾,连喷2次(间隔10天),采用无人机喷施时,选择风力<3级的清晨或傍晚,均匀喷雾,确保叶片正反面沾药。

6.1.2 根腐病

高发期在苗期至现蕾期,沙壤土、连作地块高发。根腐病病症为受害植株下部叶先黄化,后整株叶黄,主根中部病变向整株蔓延^[6]。规模化种植可采用“轮作+土壤消毒”结合:与小麦、豆类实行2-3年轮作;整地时增施生物菌肥(每亩2-3kg)。在发病初期用3%噁霉灵水剂800倍液+5%氨基寡糖素水剂1000倍液,滴灌灌根(每亩用药液200kg),连防2次(间隔7天)。

6.2 害虫

6.2.1 地下害虫(蛴螬、金针虫)

危害期在苗期,咬食幼苗根系,导致缺苗断垄。整地时用频振式杀虫灯诱杀成虫(每30-40亩1盏),或搭配蛴螬性诱剂(每亩1-2个诱芯);或在播种前种子拌种(5%噁虫嗪种子处理悬浮剂1:500),或苗期每亩用40%辛硫磷

乳油500ml,兑水200kg滴灌灌根。

6.2.2 蚜虫

危害期在现蕾至花期。群集于叶片、花蕾吸食汁液,导致落花落果。在盛花期前7天或盛花期后5天喷施(保护授粉昆虫),喷施1.8%阿维菌素乳油2000倍液;或在高发期每亩用25%吡虫啉悬浮剂20-30ml,兑水30kg喷雾。

7 采收

采用机械收割。采收期一般在7月中下旬-8月上旬,全株80%以上叶片变黄枯萎,茎秆由绿色转为黄褐色,分枝顶端的伞形花序干枯,果柄变黄易脱落。籽粒变硬,按压无弹性,颜色达到品种固有色泽(如木垒本地小茴香呈黄绿色,伊朗小茴香呈深黄褐色),剥开籽粒无白浆,千粒重达到品种标准(木垒本地小茴香4-5g,伊朗小茴香5-6g)时,及时采收。

8 总结

本文立足木垒县独特的生态条件与生产实际,系统构建了小茴香规模化种植的全流程技术体系。木垒县干旱少雨、光照充足、昼夜温差大的气候特点,为生产高品质小茴香提供了天然优势,而规模化种植技术的集成与推广,则是将资源优势转化为产业优势的关键路径。

在品种选择上,强调因地制宜,优先选用耐干旱、耐贫瘠、抗病性强且商品性好的伊朗优质小茴香、木垒本地小茴香及昌吉小茴1号等适宜品种,从源头保障产量与品质。在耕作管理方面,推行秋深耕与配方施肥相结合,通过增施有机肥与生物菌肥改良土壤结构,为根系生长创造良好环境。播种环节采用精量覆膜播种机,实现播种、铺管、覆膜一体化作业,合理调控播期与密度,确保苗全苗壮。

综上所述,本技术体系通过品种优选、精准播种、水肥调控、绿色防控与适时采收等关键环节的标准化集成,实现了小茴香种植从传统经验型向现代集约型的转变。该技术的推广应用,将有效破解木垒县小茴香生产中存在的产量不稳、品质参差等瓶颈问题,对于提升土地产出率、资源利用率和劳动生产率,推动小茴香产业提质增效,夯实区域特色产业可持续发展基础具有重要的现实意义。

参考文献

- [1] 刘德军.常用调料类中药材栽培与加工[M].北京:中国农业科技出版社,2001.
- [2] 哈帕孜·恰合班.小茴香高产栽培技术[J].农业技术,2024(6):4.
- [3] 吐拉汗·斯马义.茴香露地栽培技术[J].农家参谋,2021(18):53-54.
- [4] 阿依夏木古丽·玉素因,阿布都热合曼·马合苏提.小茴香高产栽培技术[J].农业技术,2010(11).
- [5] 党永栋,殷宏元.小茴香高效栽培技术[J].农艺农技,2018(5)(总第538期).
- [6] 刘昆言,禹双双,刘琪龙,祝腾辉,廖桂瑜,吴宇平,郑绍儒.小茴香研究进展[J].农产品加工,2020(9)(总第511期).

Pursuing the Fragrance of Rice at 18 Degrees North Latitude: Daylight and Dreams in Nanfan Village

Zequan Wu

Heilongjiang University, Harbin, Heilongjiang, 150080, China

Abstract

Based on the social practice during the winter vacation in 2026, this article delves into the core area of Hainan Sanya South Seed Production Silicon Valley, visiting scientific research bases such as the Rice National Park and the National Saline-Alkali Tolerant Rice Innovation Center. It closely observes the current status of scientific research on South Seed Production breeding, and experiences the technological breakthroughs and practical explorations in the breeding of saline-alkali tolerant rice. By recording the daily breeding work of scientific researchers, this article analyzes the application of modern agricultural technologies such as molecular marker-assisted breeding and CRISPR gene editing technology in rice breeding, interprets the era connotation of the South Seed Production spirit, and explores the technological power and humanistic persistence behind the “seed industry chip”. During the practical process, a new understanding of the integrated development of agricultural technology research and development, seed industry innovation, and rural revitalization was formed. It also deeply realized the importance of combining modern agricultural technology with traditional farming spirit, laying a solid practical foundation for the study and future development of seed science and engineering.

Keywords

Southern Seed Production Silicon Valley; seed industry chip; salt-tolerant rice; breeding technology; Southern Seed Production Spirit

追逐北纬 18 度的稻香：南繁村里的白昼与梦想

伍泽全

黑龙江大学，中国·黑龙江 哈尔滨 150080

摘要

本文以 2026 年寒假社会实践为背景，深入海南三亚南繁硅谷核心区域，走访水稻国家公园、国家耐盐碱水稻创新中心等科研基地，近距离观察南繁育种科研工作的开展现状，感受耐盐碱水稻育种的技术突破与实践探索。通过记录科研人员的育种工作日常，剖析分子标记辅助育种、CRISPR 基因编辑技术等现代农业科技在水稻育种中的应用，解读南繁精神的时代内涵，探讨“种业芯片”背后的科技力量与人文坚守。实践过程中，对农业科技研发、种业创新与乡村振兴的融合发展形成了新的认知，也深刻体会到现代农业科技与传统农耕精神结合的重要性，为种子科学与工程专业的学习和未来发展筑牢了实践根基。

关键词

南繁硅谷；种业芯片；耐盐碱水稻；育种技术；南繁精神

1 南繁初遇：北纬 18 度的种业沃土

2026 年寒假，怀揣着对“种业芯片”研发的好奇与探索欲，我跟随前辈老师踏上了海南三亚海棠区的土地。这片位于北纬 18 度的热土，因独特的热带气候成为我国农作物育种的核心区域，被冠以“南繁硅谷”的美誉。大巴车驶入三亚境内，车窗外的景致便从内地冬日的萧瑟，陡然切换成热带独有的浓郁翠绿，湿润的空气里夹杂着泥土的芬芳与植物的清新，与北方冬日的干燥形成鲜明对比，这是北纬

18 度的土地给予我的第一重震撼。



【作者简介】伍泽全（2007-），本科，从事种子科学与工程研究。

作为全国农作物育种的“加速器”，南繁基地承载着我国种业创新的重要使命，全国 70% 以上的农作物新品种

都曾在这片土地上完成“跨越季节的奔跑”。水稻国家公园是南繁水稻科普与科研融合的重要载体，其董事长张海林曾提及，公园以“区域生态化、景区科普化、农田景观化、景观产品化、产品体验化”为建设理念，打造大型国际化农观光体验休闲度假区。该公园依托国家杂交水稻和南繁科学技术，将水稻科技文化知识作为核心科普主题，把水稻文化深度转化为旅游产品，成为乡村振兴与农旅融合、科旅融合的典型实践，也让我直观看到了种业科研与地方发展的双向赋能^[1]。

行走在水稻国家公园的田埂间，一幅传统与现代交融的农业画卷在我眼前徐徐展开：远处是极具未来感的现代化实验室大楼，各类先进的科研设备在此高速运转；近处则是挽着裤腿、皮肤被烈日晒得黝黑的科研人员，他们蹲在水田里，手指轻捏稻穗仔细观察，那专注的姿态与千百年前耕耘的农人别无二致。而在他们身后的田垄上，精准监测土壤盐碱度、湿度、温度的传感器整齐排布，物联网、大数据等现代科技正悄然为水稻育种保驾护航。传统农耕的坚守与现代科技的赋能，在这片南繁的土地上实现了完美融合，也让我对现代农业育种工作有了全新的认知^[2]。

2 盐碱育种：科技雕琢的生命绿意

在南繁实践的核心行程中，我走进国家耐盐碱水稻创新中心，这里是我国攻克耐盐碱水稻育种难题的重要阵地，也是南繁种业创新的核心区域。刚踏入试验区，一片与周边翠绿截然不同的土地便映入眼帘，土壤呈现出病态的灰白色，那是盐分在土壤表层结晶留下的痕迹。这片被称为“沉睡的土地”的盐碱地，是水稻生长的天然“禁区”，却也是南繁科研人员攻坚克难的主战场。

“这可不是普通的水稻，它们是在‘自讨苦吃’。”创新中心的一位年轻博士指着试验区里一排长势各异的秧苗，笑着向我介绍。俯身观察便能发现，试验区的稻苗正经历着一场残酷的“生存锦标赛”：部分稻苗因无法承受土壤中的高浓度盐分，叶片已然焦黄蜷曲，蔫蔫地垂在地上，像是在烈日下败下阵来的士兵；而另一部分稻苗却依旧挺拔，翠绿的叶片在微风中轻轻摩挲，展现出顽强的生命力。这鲜明的对比，让我真切感受到了耐盐碱水稻育种的艰难与不易，也对那些能在盐碱地中扎根生长的稻苗充满敬佩^[3]。



在农业育种的传统模式中，科研人员依靠经验选种，

往往需要等待一整年甚至更久的时间，才能通过收成判断稻种的优劣，育种周期长、试错成本高是亟待解决的行业难题。而在南繁的科研基地，现代生物技术的应用正彻底改变这一现状。“以前靠经验选种，我们要等一整年看收成。现在不一样了，通过分子标记辅助育种，我们在秧苗只有几厘米高的时候，就能从DNA序列里读出谁是天生的‘耐盐高手’。”博士指着不远处的实验室，眼中闪烁着对科技的笃定与期待。

而CRISPR基因编辑技术的应用，更是为耐盐碱水稻育种插上了科技的翅膀，这项技术就像给水稻装上了“空气净化器”，能够精准调控水稻的基因序列，让水稻拥有过滤土壤中毒害离子的能力，从基因层面提升水稻的耐盐碱特性。看着试验区里那片倔强的绿意，我深刻意识到，这看似平凡的稻苗，并非自然生长的偶然，而是中国科学家以分子标记、基因编辑等现代生物技术为数字化手术刀，在基因的微观世界里精雕细琢、反复试验的成果。每一株耐盐碱稻苗的成活，每一次育种技术的突破，背后都是科研人员无数次的基因测序、试验培育与数据分析，是现代科技为农业育种带来的革命性变化，也让我国在种业创新的道路上迈出了坚实的步伐。

3 南繁精神：以青春换育种的初心坚守

南繁的正午，烈日当空，热浪袭来，闷热的天气足以让人感到眩晕，而南繁基地的科研工作者们，却依旧在田间地头忙碌着。我在试验田边看到一位老教授，他头顶草帽，弯着腰，手指小心翼翼地在水稻进行人工授粉，每一个动作都细致入微。晶莹的汗水从他的额头滑落，顺着脸颊滴进脚下的泥土里，瞬间便被干燥的泥土吸收，消失不见。这一幕，成为我南繁实践中最难忘的画面，也让我对南繁科研人员的坚守有了更真切的体会。

南繁基地之所以能成为我国农作物育种的“加速器”，核心在于独特的“育种加代”模式。为了缩短农作物的育种周期，让优良品种更快地培育成功、走向田间，一代代南繁科研人员像候鸟一般，形成了独特的“迁徙”轨迹：每当北方入冬，农作物生长进入停滞期，他们便收拾行装南下海南，利用三亚的热带气候继续开展育种试验；待北方入春，他们又带着培育的秧苗返回北方，在各地的试验田继续研究。

在交通不便、设备简陋的年代，南繁科研人员背着干粮和珍贵的稻种，在海南的田间搭建简陋的草棚，日夜守着试验田，顶着烈日、冒着风雨，在艰苦的条件下坚持育种工作。这种“育种加代”的模式，本质上是南繁科研人员在用自己的青春、汗水和体力，去置换农作物的生长速度，用日复一日的坚守，攻克育种周期长的行业难题。

在南繁基地的展示区，我看到了袁隆平院士留下的那句“禾下乘凉梦”，这简单的五个字，不仅是袁隆平院士一生的追求，更是一代代南繁科研人员的初心与使命。“袁

老师生前最牵挂的就是这片盐碱地。他常说,如果我们能把亿亩盐碱地变成良田,中国人的饭碗就端得更稳了。”同行的老教授轻声说道,言语间满是缅怀与传承。袁隆平院士的嘱托,成为南繁科研人员攻克耐盐碱水稻育种难题的不竭动力。



4 南繁感悟：种业芯片里的科技与温度

离开南繁的那天,三亚下起了淅淅沥沥的小雨,雨滴落在稻田里,冲刷着田间的泥土,雨后的田野散发出一种清新的清甜气息,沁人心脾。坐在回程的大巴上,我的脑海里不断回放着南繁实践的点点滴滴,一个问题也在心中反复浮现:什么是真正的“种业芯片”?

在踏上南繁的土地之前,作为种子科学与工程专业的学生,我对“种业芯片”的认知停留在书本与课堂中,认为它是冰冷的实验室数据,是复杂难懂的基因图谱,是各类先进科研设备测出的精准参数,是分子标记、基因编辑等一系列前沿的生物技术。但当亲身走进南繁,亲眼看到科研人员在田间地头的坚守,亲眼见证耐盐碱水稻从实验室走向试验田,亲眼感受南繁精神的深刻内涵后,我对“种业芯片”有了全新的理解^[4]。

真正的“种业芯片”,从来不止是实验室里的科技成果,它更是南繁科研人员额头滚落的滴滴汗水,是盐碱滩上那片倔强生长的绿意,是一代代科研人员以青春为代价的坚守与付出,是我国陆海统筹下“向种图强”的坚定决心。它既有现代生物技术的科技硬核,也有中国农业科研人员的人文

温度;既承载着攻克种业“卡脖子”难题的时代使命,也肩负着守护国家粮食安全的重大责任^[5]。



此次南繁寒假社会实践,于我而言不仅是一次专业的实践探索,更是一场深刻的思想洗礼。在这片北纬18度的热土上,一颗饱含着对农业科技、对种业创新浓厚兴趣的种子,在我的心底悄然发芽。我也深刻体会到,在这个智能化、数字化的时代,最高级的科技从来都不是脱离土地的空中楼阁,而是深深扎根在田间地头,生长在最深厚的泥土里,与传统农耕精神相融,与国家粮食安全相连,与人民的美好生活相伴。作为种子科学与工程专业的学子,我也将以此次南繁实践为起点,传承南繁精神,深耕专业知识,将课堂所学与田间实践相结合,努力成为新时代的种业人,为我国种业创新与粮食安全贡献自己的一份力量。

参考文献

- [1] 胡培松, 焦桂爱, 吴伟明. 中国水稻种业创新与发展趋势 [J]. 中国农业科学, 2021, 54 (17): 3593-3604.
- [2] 陈红卫, 杨小锋, 秦鹏. 南繁硅谷建设背景下海南种业发展的思考与建议 [J]. 海南农业科技, 2022 (02): 1-5.
- [3] 周少川, 李宏宇, 王重荣. 耐盐碱水稻育种研究进展与展望 [J]. 中国稻米, 2023, 29 (04): 1-7.
- [4] 袁隆平. 杂交水稻发展的战略设想 [J]. 杂交水稻, 1997 (01): 1-3.
- [5] 三亚市人民政府. 三亚南繁硅谷建设行动计划 (2021-2025) [Z]. 2021.

The Path and Practice of Agricultural Product Quality and Safety Improvement under the Background of Green Agriculture Development

Xingguo Zhang

Yushu Agricultural Product Quality and Safety Monitoring Station, Changchun City, Jilin Province, Yushu, Jilin, 130400, China

Abstract

Guided by the “Four Agriculture” strategy, high-quality development initiatives, and rural revitalization policies, green agriculture has emerged as a pivotal direction for China’s agricultural modernization. As the foundation of the green agriculture system, agricultural product quality and safety directly impact ecological sustainability and public health. This study examines the current status and constraints of agricultural product quality in China through a systematic framework of green agriculture, proposing a comprehensive quality enhancement system that integrates source governance, process control, and full-chain traceability. Through field research and data analysis of regional practices, the study identifies three core pathways: standardized production, big data platform-based supervision, and ecological circular models. Findings indicate that promoting green pest control technologies, improving quality traceability systems, and strengthening multi-stakeholder collaborative supervision can significantly reduce risks associated with agricultural inputs while enhancing product safety standards and market competitiveness. This research aims to provide theoretical foundations and practical insights for advancing high-quality green agriculture development in China.

Keywords

green agriculture; agricultural product quality and safety; standardized production; digital supervision; ecological cycle

绿色农业发展背景下农产品质量安全提升路径与实践

张兴国

吉林省长春市榆树市农产品质量安全监测站，中国·吉林 榆树 130400

摘要

在“四个农业”及高质量发展战略与乡村振兴政策的引领下，绿色农业已成为我国农业现代化的重要方向。农产品质量安全作为绿色农业体系的基础，直接关系到生态可持续与公众健康。本文从绿色农业的系统框架出发，分析我国农产品质量安全现状与制约因素，构建涵盖源头治理、过程控制与全链条追溯的质量提升体系。通过对典型区域实践的调研与数据分析，总结出以标准化生产、大数据平台监管与生态循环模式为核心的提升路径。研究表明，推广绿色防控技术、完善质量追溯体系与强化多主体协同监管，可显著降低农业投入品风险，提高农产品安全等级与市场竞争力。本文旨在为我国绿色农业高质量发展提供理论依据与实践经验。

关键词

绿色农业；农产品质量安全；标准化生产；数字化监管；生态循环

1 引言

农业绿色化转型是推动我国经济社会可持续发展的战略选择。随着消费升级与生态文明建设的深入推进，农产品质量安全问题愈发成为社会关注焦点。我国农业在长期以高投入、高消耗为特征的粗放式发展中，积累了农药残留、重金属污染与质量监管薄弱等问题，对生态环境与食品安全

构成威胁。绿色农业的提出，为解决这一系列矛盾提供了系统路径。其核心在于通过生态技术、标准化管理与信息化手段，实现农业生产从数量扩张向质量提升的转变。本文基于绿色农业发展背景，探讨农产品质量安全的提升机制与实践路径，旨在构建科学、高效、可持续的质量控制体系，为我国农业绿色转型提供借鉴。

2 绿色农业发展与农产品质量安全的内在逻辑

2.1 绿色农业的内涵与发展方向

绿色农业是现代农业转型的高级阶段，其核心内涵在于以生态循环、资源节约和环境友好为基本原则，通过构建

【作者简介】张兴国（1976-），男，中国吉林榆树人，本科，高级农艺师，从事农产品质量安全监管及绿色食品认证研究。

低投入、高效率的生产体系实现农业的可持续发展。与传统农业相比,绿色农业不仅关注产量,更重视生态环境与产品质量的协调统一。其发展方向主要集中在化肥农药零增长,可替代、绿色防控技术应用及清洁生产等方面。近年来,我国大力推广“测土配方施肥”“农药一喷多促”“有机肥替代”等技术,推动农业从依赖化学投入向生态修复型转变。农业农村部数据显示,到2025年,全国绿色认证农产品产值将占农产品总产值的40%以上,标志着我国农业正从“增产导向”迈向“提质导向”。

2.2 农产品质量安全的多维属性

农产品质量是农业绿色发展的核心体现,其内涵涉及生态环境、生产过程、市场监管及消费行为等多个维度。它不仅关乎农产品本身的安全性,还反映了整个农业体系的健康水平。质量提升的关键在于从源头防控污染风险,确保生产过程可监测、产品可追溯。绿色农业在这一过程中发挥基础性作用,通过生态种植、科学使用农业投入品与生物防控技术,减少农药残留与重金属污染,强化了质量安全的生态支撑。与此同时,现代检测技术与追溯体系的建设,使得农产品质量实现从农田到餐桌的全过程控制。质量安全的多维性决定了其不仅是技术性问题,更体现为治理体系与监管能力的综合水平,要求政府、企业与农户形成共治格局,实现生态效益、经济效益与社会信任的统一。

2.3 绿色发展战略与农产品安全的协同关系

绿色农业发展与农产品质量安全提升具有内在的耦合关系,二者在目标、路径与机制上相互促进。绿色生产通过生态循环减少农业面源污染,为安全生产创造清洁的生态环境;而质量安全体系通过标准化、信息化和智能化管理手段,推动绿色农业的规范化与制度化。两者的协同推进形成了农业可持续发展的“双支点”机制。在政策层面,《“十四五”全国农业绿色发展规划》明确提出,要构建“绿色生产—安全监管—品牌培育”三位一体体系,实现绿色生产体系与安全监管体系的深度融合。这种协同不仅提升了农产品的安全水平,也强化了农业竞争力,为我国由农业大国向农业强国转变提供了战略支撑。绿色农业与质量安全的融合发展,标志着我国农业正迈向高质量、生态化与智能化的新阶段。

3 农产品质量安全现状与制约因素分析

3.1 农产品质量安全的总体态势

近年来,我国农产品质量安全总体水平稳中向好,国家监管体系不断完善,检测能力与监管覆盖率持续提升。根据农业农村部监测数据,主要农产品抽检合格率连续多年保持在98%以上,表明我国农产品整体安全形势可控。然而,从结构上看,质量安全问题仍具有区域性、阶段性与隐蔽性特征。部分中小农业主体存在质量管理意识薄弱、投入品使用不规范等现象,小农户分散经营与供应链复杂化增加了监管难度。此外,中西部地区农业基础设施相对薄弱,检测手

段不足,监管力量分散,导致安全水平低于沿海发达地区。总体而言,我国农产品质量安全呈现“总体安全、局部风险”的特征,亟须通过科技赋能与制度创新进一步提升系统防控能力。

3.2 安全风险的主要来源与传播途径

农产品质量安全风险具有多源性与链式传播特征。风险源主要包括化学投入品滥用、环境污染累积及流通环节监管不完善。部分地区存在农药使用结构不合理、化肥施用过量的情况,导致农残与硝酸盐超标;个别灌溉区受工业废水、生活污水排放影响,稻谷、蔬菜中重金属含量超限。此外,生产后流通环节的储运管理薄弱,温湿度控制不当及追溯系统缺失,使农产品在储存、运输过程中存在二次污染。风险传播具有“点源扩散”特征,从生产端延伸至销售端,使局部问题可能引发系统性风险。应强化从源头治理到消费监管的全链条控制,以打破风险累积与扩散的链条。

3.3 质量监管体系的制度短板

我国农产品质量监管体系虽已初具规模,但仍存在体制分散与机制不畅的问题。农业与市场等两部门在职责衔接上存在重叠与空白。部分地方政府重审批轻服务,行政监管缺乏延续性与精细化,基层检测机构设备老旧、专业人员不足,经费紧张等问题导致风险识别滞后。检测结果在不同部门之间缺乏共享机制,信息化监管平台尚未全面建立,影响了风险预警与快速响应能力。监管模式仍以事后抽检为主,缺乏基于数据分析的过程性监管与智能化监测。优化监管体系需强化跨部门协同,完善标准体系建设与信息互联互通机制,形成“统一标准、数据驱动、过程可控”的质量安全治理新格局。

4 绿色农业背景下的质量安全提升路径

4.1 源头治理与生态修复机制

农产品质量安全的根本保障在于生产源头的生态治理与系统监管。随着农业集约化与化学投入品使用强度的上升,土壤退化、水体富营养化与生态失衡问题日益突出。要从根本上提高农产品质量,必须构建以生态修复为导向的源头防控体系。通过推广有机肥替代化肥、推行“测土配方施肥+生物有机肥替代”技术、优化作物轮作制度等措施,可有效改善土壤理化性质与微生物群落结构。河北、江苏等地的绿色种植示范区数据显示,化肥施用量平均下降22%,农产品硝酸盐含量降低30%,农田生态系统稳定性显著提升。同时,推动农业面源污染治理工程的实施,构建“清水入田、清水出田”的生态循环模式,实现农田水质净化与土壤功能恢复。

4.2 标准化与全过程质量管理体系

标准化管理是保障农产品质量安全的制度基石,也是绿色农业高质量发展的关键环节。建立覆盖“生产—加工—流通—消费”的全链条标准体系,能够实现全过程的质量控

制与风险可追溯。应在国家统一标准的基础上,细化地方标准与行业标准,完善绿色产品认证、分级体系与检测指标体系。通过建设标准化生产基地与完善田间管理档案,实现投入品使用记录、环境指标监测及过程控制的闭环管理。推行食用农产品承诺达标合格证制度,使消费者能够实时查询生产源头与检测信息,提升社会信任度。实践表明,实施绿色标准化管理的生产基地中,农产品平均合格率比普通农产品高出5个百分点,品牌溢价效应显著。

4.3 数字化监管与智能追溯技术

数字化监管是实现农产品质量安全科学化与精细化治理的重要技术支撑。通过构建“感知—传输—分析—决策”一体化监管体系,可实现农业生产全过程的实时监测与动态管控。物联网传感器可实时采集土壤湿度、温度、空气质量、农药残留等数据,遥感技术可实现农田环境的宏观动态监测,而区块链技术则保证了数据的真实性与不可篡改性。例如,在榆树八号镇北沟村蔬菜产业园中,智慧农业平台整合气象、土壤与植保数据,实现精准喷洒与病虫害预警,农药使用量减少40%,单位面积产出提升8%。区块链系统的引入,使产品流通环节实现全程追溯,消费者可通过扫码了解生产、检测与运输环节信息,极大提高了消费信任度。数字化监管不仅提升了监管效率与透明度,也为政府部门提供了风险预警与决策依据,推动农产品质量安全管理向智能化与网络化方向发展。

5 典型地区的实践经验与模式探索

5.1 生态循环型绿色农业实践

生态循环农业是绿色农业发展的核心方向之一,其关键在于实现资源闭环利用与污染源头减量化。在浙江安吉、江西高安等地,构建了以“种养结合—废弃物资源化—生态循环利用”为核心的系统模式。通过畜禽粪污厌氧发酵产生沼气用于农村能源供应,沼渣、沼液则作为高效有机肥回流农田,形成“养殖—能源—种植”三环循环链。该模式不仅减少农业废弃物直接排放,也实现了养分的再利用。监测数据显示,氮磷流失量减少35%,土壤有机质含量提高18%,农田微生态环境得到显著改善。更为重要的是,农产品品质在有机质提升与化肥减量的双重作用下明显提高,蔬果硝酸盐含量平均降低28%,实现了生态效益、经济效益与社会效益的协同统一,成为我国南方地区绿色农业推广的重要样板。

5.2 品牌化与区域公用标识建设

品牌化是推动农产品质量安全持续提升与价值转化的有效途径。通过构建区域公用品牌与地理标志产品体系,不仅能够增强消费者信任,还能在市场竞争中形成差异化优势。以“甘南牦牛肉”“阳山水蜜桃”等区域品牌为例,当

地政府建立了严格的生产标准与全过程质量监测制度,构建从原料种养、加工包装到销售流通的全链质量体系。品牌化管理促进了标准化生产和质量可追溯机制的建立,使得农产品在进入市场时具备明确的产地信誉与质量背书。经统计,品牌农产品市场均价普遍高出普通产品20%—30%,带动了农户绿色转型的积极性。区域品牌的成功还推动了地方产业集群形成,促进了农村经济结构升级,实现了“绿色生产—品牌提升—市场增值”的良性循环。

5.3 政府、企业与农户协同治理机制

构建多主体协同治理机制是实现农产品质量安全长效保障的关键。政府部门应通过完善政策法规、加大财政激励力度与构建风险分级监管制度,为质量治理提供制度保障;企业需承担质量主体责任,建立自检自控与第三方检测体系,实现质量风险前移;农户则应提高安全生产意识,落实田间管理与投入品使用记录制度。以河北省邯郸市的实践为例,当地通过构建“政府监管—企业自检—社会监督”三位一体机制,实现从行政监管向数据驱动监管转型。监管平台整合农产品检测、市场抽检与风险预警功能,使抽检合格率提升至98.5%。此外,社会组织与消费者参与的监督机制进一步增强了质量治理的透明度与公信力,形成了政府引导、企业负责、社会共治的多层次治理格局,为全国范围内构建高效、协同、可持续的农产品质量安全管理提供了可复制经验。

6 结语

绿色农业发展为我国农产品质量安全提供了新的战略机遇。质量安全的提升是系统工程,需在源头治理、标准体系、数字监管与协同治理等方面形成合力。实践表明,构建以生态循环为基础、以标准化为核心、以数字化为支撑的质量安全体系,能够有效降低农产品污染风险,提升市场竞争力与消费者信任度。未来,应进一步完善政策支持与科技创新机制,强化绿色农业科研与示范推广,推动农产品质量安全治理体系现代化,为农业高质量发展与乡村振兴提供坚实保障。

参考文献

- [1] 郑莉美,龙艳梅,普莉华.发展绿色农业保障农产品质量安全[J].云南农业,2023,(05):28-29.
- [2] 王文婕.发展绿色高效农业与农产品质量安全的策略[J].食品界,2022,(06):124-126.
- [3] 王学文,丁丽,安楠.加强农产品质量安全管理推动绿色农业产业高质量发展[J].农村实用技术,2022,(06):21-22.
- [4] 赵雪萍,杨乐天.发展绿色高效农业保障农产品质量安全[J].安徽农学通报,2019,25(Z1):80-81.
- [5] 周大贵,张菊平,吴希,等.大力发展绿色高效农业与农产品质量安全的思考[J].河北农机,2020,(05):15.

Bottleneck in In-situ Monitoring Technology for Facility Melon Plants and Prospects for Low-cost Solutions

Yongyan Chen Xiaoqing Zhong Jingyue Zhao Zhongyi Zhang

Guangzhou Nansha Modern Agricultural Industry Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 511458, China

Abstract

High-quality production of facility-grown melon relies on accurate perception of plant growth and stress signals, yet the large-scale, in-situ acquisition of plant physiological, morphological, and quality information remains a bottleneck. Based on practical production experience, this paper analyzes three systemic gaps hindering technology adoption: hardware compatibility, data value, and intelligent accessibility. The solution requires shifting from a technology-driven to a demand-led paradigm and establishing an agriculture-engineering integrated “clinical agronomy” platform. It further explores an AI agent approach centered on “lightweight front-end sensing + cloud-based large model cognition,” offering a forward-looking solution for low-cost, replicable, and accessible intelligent decision-making. This perspective provides a valuable reference for advancing facility horticulture from “environment sensing” to “life sensing.”

Keywords

facility melon; in situ monitoring; technological bottleneck; artificial intelligence; smart agriculture

设施甜瓜植株原位监测关键瓶颈分析

陈泳妍 仲晓晴 赵景岳 张钟艺

广州南沙现代农业产业集团有限公司，中国·广东 广州 511458

摘要

设施甜瓜高品质生产依赖对植株生长与胁迫的精准感知，而植株本体信息的规模化原位获取仍是瓶颈。本文基于生产实践，剖析三大断层：硬件适配、数据价值与智能普惠。解决路径在于转向需求牵引，构建农工融合的“临床农学”平台，并发展“前端轻量化感知+云端大模型认知”的AI智能体，以实现低成本、可复制的智能决策。该思路为设施园艺从“感知环境”迈向“感知生命”提供参考。

关键词

设施甜瓜；原位监测；技术瓶颈；人工智能；智能农业

1 引言

设施栽培为甜瓜等高效园艺作物提供了可控生长环境，是实现反季节与高品质生产的重要方式。随着产业升级，对甜瓜品质一致性、产量预测准确性及病虫害防控时效性的要求不断提高，传统依赖经验与人工巡查的管理方式已难以满足需求。尽管环境因子的实时监测已较为普及，但其最终目的仍在于推断植株自身的健康与营养状态。环境适宜并不必然意味着植株生理状态良好，精准管理亟需直接获取植株本体信息^[1]。然而，在实际生产中，植株本体信息的原位、连

续和规模化获取仍面临多重系统性障碍。本文结合甜瓜生产实践，对相关关键瓶颈进行系统分析，并探讨可行的发展路径。

2 设施甜瓜关键监测参数与技术现状分析

2.1 关键监测参数及其量化困境

实现精准管理，需聚焦三类关键参数，后两类尤其体现了从“环境数据”到“本体信息”的深化与挑战：

生长与胁迫生理参数：此为传统监测重点。包括株高、茎粗、叶面积指数、果实体积等生长指标，以及叶片温度、叶绿素含量等胁迫信号。然而，即使是基础参数，在田间也面临特殊挑战。例如，对于吊蔓栽培的甜瓜，其“株高”实为藤蔓的曲线长度，而非垂直高度，精确测量操作繁琐。对于叶片含水率等参数，虽已有基于高光谱的监测方法^[2]，但其标准化与实用化仍面临挑战。

复杂形态与架构参数：包括叶片的倾角、卷曲度、叶形指数，果实的果形指数、色泽均匀度等。这些特征是农技人员判断长势、健康状况的直观依据，但传统上描述模糊

【基金项目】广州南沙现代农业产业集团有限公司 2024 科研项目“蜜玉甜瓜雾培营养液配方优化及品质提升技术开发”专项资金（项目编号：2024NSNYRD001）。

【作者简介】陈泳妍（1995-），女，中国广东阳江人，博士，从事智慧农业研究。

（如”叶片稍萎蔫”、”瓜形周正”）。将其转化为可自动化测量的客观标准，本身就是一个巨大的认知与技术鸿沟。

品质与风味参数：尤其是糖、香气组分及其平衡构成的风味。这是评价甜瓜价值的核心，但其检测目前主要依赖破坏性取样和实验室分析或消费者的主观品尝，无法实现生产过程中的实时、无损、原位评估。

2.2 现有技术手段及其田间应用局限性

当前技术在上述需求面前，均暴露显著短板，其对比分析如表 1 所示：

实验室精密仪器法（如高光谱仪、气相、液相等）：精度高，但价格昂贵、操作专业，仅适用于点状抽样研究，无法实现原位连续监测，与生产场景脱节。

商用农业传感器：

环境传感器：相对成熟，但仅止步于”光温水气”。

本体传感器（如果实生长传感器、可穿戴式作物叶绿素检测仪）：单价过高，难以在数千株规模的大棚中部署；且安装可能干扰植株正常生长。

养分传感器：离子选择电极易受干扰，测量单一离子

误差大；便携式检测仪准确性、稳定性不足。土壤、基质或营养液的养分的实时监测仍是行业短板。

基于机器视觉的非接触方法：

RGB/ 多光谱 / 热成像相机：虽能部分替代人工观察，但在田间面临根本性挑战：（1）代表性难题：甜瓜哪片叶、哪个部位最能代表整株状态？固定监测点是否具代表性；（2）干扰效应：为连续监测固定传感器或标记部位，其装置可能约束生长、损伤组织，导致数据反映”受干扰状态”（3）环境干扰：叶片遮挡、光照剧变严重影响图像质量与算法稳定性。（4）复杂特征提取难：从图像中自动量化”萎蔫程度”、“果形优劣”等，需大量精准人工标注，而标注标准本身难以统一，成本极高。尽管已有研究针对温室复杂背景下的甜瓜叶部病害^[3]或果实成熟度^[4,5]开发了实时目标检测算法，但其在多变生产环境中的泛化能力与鲁棒性仍需长期验证。

传统人工测量与经验判断：虽直接灵活，但主观性强、效率低、无法连续、难以量化传承，正是智慧农业旨在替代的环节。

表 1 设施甜瓜植株主要监测技术路径对比及其田间应用局限

技术路径	优点	田间应用核心局限	成本与可扩展性
实验室精密仪器	精度高、指标全	非原位、非实时、专业要求高	极差，无法扩展
商用专用传感器	原位连续、数据直接	单价极高、安装干扰、环境耐久性差	差，大规模部署不经济
基于机器视觉	非接触、信息丰富、成本相对低	代表性 / 遮挡问题、环境影响大、复杂特征算法开发难	中等，硬件可控但算法与稳定性存疑
人工经验判断	灵活、综合	主观、低效、不可量化、难以传承	人力成本高，扩展性为零

现有技术或在精度、或在原理上各有侧重，但无一能同时满足低成本、高鲁棒性、真正原位无损、数据易解析且田间操作可行这五项规模化应用的核心要求。对植株本体的监测，仍停留在”望闻问切”的初级阶段。值得关注的是，面向植株本体的新型传感技术正在涌现，例如可贴附式叶绿素反射计^[6]、自供能可穿戴叶绿素传感贴片^[7]等，展现了实现低成本、原位连续监测的潜力。同时，“植物智能电子器件”作为一个新兴交叉方向，正致力于实现从监测到调控

的闭环^[8]。然而，这些技术大多处于实验室原型阶段，其田间适应性、长期稳定性及成本控制，距离大规模农业应用仍有相当距离。

3 三大系统性瓶颈分析

综合生产实践与现有研究，设施甜瓜植株原位监测难以规模化应用，主要源于硬件、数据与决策层面的三大系统性瓶颈，这些问题相互耦合，共同制约了技术落地效果，见表 2。

表 2 设施甜瓜植株原位监测的核心挑战与一线生产困境对应

系统性断层	具体表现与一线困境	对研究与应用的直接影响
硬件适配断层	高精度传感器与农业场景在成本、鲁棒性、易用性上不匹配；缺乏针对农业“农化改造”的跨学科团队。	硬件要么太贵，要么太脆，无法在田间稳定工作。
数据价值断层	数据采集后缺乏数据敏感型农学家进行解读；数据分析与生产决策脱节，数据仅被视为“历史记录”且不支持未来决策。	导致大量数据沉睡，无法转化为可行动的农事建议，投资回报率低。
智能普惠断层	高度依赖个体专家经验，无法将最优决策模型规模化、自动化复制到每个生产单元；	无法惠及广大生产者，制约产业整体升级。

3.1 硬件适配断层：从实验室到田间的”农化”缺失

此断层源于工程学逻辑与农学生物学场景的根本性差异。大量现成的微型、高精度传感器存在于工业与消费领域，但其设计未考虑农业的终极约束：极致的成本控制、长期暴露于高温高湿腐蚀性环境的可靠性、以及对植株生长近乎零干扰的安装方式。跨越这一断层，亟需既懂微电子、材料封

装，又深刻理解农业现场需求的跨学科工程团队，专注于完成技术的”农化”适配与产品化，而非原理验证。

3.2 数据价值断层：从数据流到农事决策的”翻译”失效

此断层是传统农学与数据科学之间的认知隔阂。许多种植基地已布设传感器，但产生的时序数据往往无人问津。

究其原因,传统农艺师习惯于处理静态的“样本”和定性的“经验”,面对海量、连续、多源的“数据流”感到无从下手,难以信任并挖掘其预警与优化价值。因此,迫切需要培养和涌现一批数据敏感型农学家或懂农业的数据分析师,他们能充当“翻译”,将数据异常关联到具体的生理胁迫或管理漏洞,并转化为如“未来三天控温”或“叶面补镁”的可执行指令,让数据真正驱动生产闭环。植物工厂中关于长势监测与管理系统^[9,10]的研究,正体现了向系统化、数据化决策迈进的趋势。

3.3 智能普惠断层: 从专家经验到可大量落地复制、推广的技术

此断层是智慧农业规模化应用的最后一道壁垒。即便前两个断层在某个示范点被攻克(如有好用的传感器和有数据分析师的数据解读),其成功模式也因高度依赖特定专家而无法复制。将少数专家的敏锐直觉和决策逻辑提炼、标准化并封装成可大规模部署的软件模型,是打破瓶颈的关键。这要求技术路径必须支持低成本的决策自动化与普惠化。

4 发展路径与技术展望

4.1 研究范式转变: 构建以需求为牵引的“临床农学”平台

必须从“技术能做什么”转向“生产需要什么”。建议建立实体化的“临床农学”研发平台,将农学家、工程师、数据科学家长期置于同一田间场景。在此平台上,共同定义并迭代“技术需求任务书”,并以田间效用、成本与可扩展性作为衡量技术成功与否的终极标尺,而非实验室论文指标。

4.2 技术路径融合: 迈向“感知-认知-决策”一体化的AI智能体

为系统性地破解上述三大断层,尤其是“数据价值断层”与“智能普惠断层”,未来的技术架构必须向具备自主认知与决策能力的AI智能体演进^[11]。其核心是构建一个分层协同的智能系统:

边缘感知层(解决“硬件适配”与“看”的问题): 部署极度轻量、低功耗、高鲁棒性的专用算法模型(如轻量化YOLO)^[4,5],负责执行核心的异常侦测与关键数据采集任务。其对硬件算力要求低,利于降低成本与功耗。

云端认知与决策层(解决“数据价值”与“分析决策”的问题): 当边缘层触发预警时,自动唤起云端集成了海量植物学知识、病理图谱与农事案例的多模态农业大模型。该模型充当“超级专家系统”,能对前端信息进行综合诊断、因果推理与方案生成(例如:结合图像特征、历史环境数据,推断“缺素可能性高于病害,建议优先进行叶片营养诊断”),并以自然语言报告形式输出。

智能体工作流的价值: 这一架构的本质,是将稀缺的专家知识编码进可复制的软件中。它允许每个农场以极低的边缘成本,享受云端集中化的“专家脑”服务,从而大幅降低对现场高级人才的依赖,实现智能决策的普惠化。同时,它反向定义了边缘硬件的需求: 只需可靠地完成特定感知任

务,复杂分析交由云端,从而降低了硬件适配难度。

4.3 协同生态建设: 推动开源标准与社区创新

鼓励形成开源硬件设计、开源算法模型和开源标注数据集的社区生态。通过制定统一的设施农业作物表型数据采集与标注标准,降低创新门槛,吸引更多跨领域开发者参与,从开放协作中加速实用解决方案的涌现。

5 总结

设施甜瓜植株原位监测的困境反映智慧农业系统性断层。单项技术优化无法带来整体突破,需在系统架构和研发范式上重构。未来解决方案可能呈现“边缘感知终端+云端农业大模型”的AI智能体形态,实现硬件适配、数据翻译与决策普惠。农学家、工程师和数据科学家需深度介入,结合生长仿真等模型,从“感知生命”迈向“理解与优化生命”,推动技术普惠到每个生产单元^[12,13]

参考文献

- [1] 赵春江. 智慧农业的发展现状与未来展望[J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(6): 1-11.
- [2] 向佳琳, 姚鑫锋, 刘倩, 等. 基于高光谱的温室网纹甜瓜不同叶位叶片含水率监测[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(4): 105-109.
- [3] XU Y L, CHEN Q Y, KONG S L, et al. Real-time object detection method of melon leaf diseases under complex background in greenhouse[J]. Journal of Real-Time Image Processing, 2022, 19(4): 985-995.
- [4] CHEN G, HOU Y, CUI T, et al. YOLOv8-CML: a lightweight target detection method for color-changing melon ripening in intelligent agriculture[J]. Scientific Reports, 2024, 14: 14400.
- [5] JING X, WANG Y, LI D, et al. Melon ripeness detection by an improved object detection algorithm for resource constrained environments[J]. Plant Methods, 2024, 20(1): 96.
- [6] ZHANG K Y, LI W L, LI H C, et al. A Leaf-Patchable Reflectance Meter for In Situ Continuous Monitoring of Chlorophyll Content[J]. Advanced Science, 2023, 10(32): 2305552.
- [7] CHEN X, MA L, ZHANG J, et al. Self-powered Wearable Plant Chlorophyll Sensing Patch[J]. Biosensors and Bioelectronics, 2025, 261: 118225.
- [8] 狄思宇, 张学锋, 刘国, 等. 植物智能电子器件: 从生长监测到功能调控[J]. 中国科学: 化学, 2025, 55(6): 待查.
- [9] 马丽丹, 王英龙, 梁海斌, 等. 大型植物工厂叶菜长势监测方法[J]. 农机化研究, 2026, 48(2): 124-131.
- [10] 祝悦. 植物工厂育苗生长监测与管理系统研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2023.
- [11] 李道亮, 赵晔, 杜壮壮. 农业领域多模态融合技术方法与应用研究进展[J]. 农业机械学报, 2025, 56(1): 1-15.
- [12] 林智贤. 植物工厂生菜智能监测与生长仿真模型研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2024.
- [13] 卢宇琪. 自然果园环境下基于深度学习的目标果实生长监测研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2024.