

时静静,卢芮芮. 小麦高温胁迫差异化生理响应、多因子互作及调控策略[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(4):1-4 (2026-07-24). DOI:10.14069/j.cnki.32-1769/s.2026.04.001.

小麦高温胁迫差异化生理响应、多因子互作及调控策略

时静静,卢芮芮

(河南省卫辉市农业农村局,河南 卫辉 453100)

摘要:全球气候变暖对农业生产有着极大的影响,积极应对气候变化对农业生产带来的负面影响,对于保障粮食安全具有重要意义。当前小麦高温胁迫下的相关研究已有诸多进展,但缺乏差异化影响、多因子互作及调控技术等系统性分析。本文系统梳理了高温胁迫下小麦全生育期的差异化影响,分析了高温信号感应、生理生化响应及产量品质影响之间的机理,整合了高温与多因子的互作效应,从栽培、生理及种质等方面总结了缓解高温胁迫不利影响的调控措施。

关键词:小麦生产;高温胁迫;阶段特异性效应;生理生态响应;产量品质;复合胁迫;调控技术

中图分类号:S512.1

文献标志码:A

文章编号:1673-6486-20260047

气候变暖加剧持续性极端高温灾害,严重影响着农业生产。全球小麦开花期极端高温造成的产量损失,预计到2050、2090年将分别上升32%和77%,在当前基准气候条件下,我国小麦主产区开花期遇高温会造成产量显著下降^[1]。现阶段国内外针对小麦高温胁迫开展了诸多研究,但多聚焦单一胁迫及单项防控技术,尚未涉及不同生育阶段差异化响应机制研究^[2]。基于现有相关试验与文献结论,本文对高温胁迫下小麦全生育期差异化影响进行系统梳理,以厘清高温胁迫发生规律、产量品质影响、生理生化响应及复合胁迫等机理,并总结各类调控技术,为促进小麦耐热丰产栽培提供参考。

1 高温胁迫的定义、影响及发生规律

当环境温度持续高于小麦生长发育的适宜范围,会破坏植株的生理代谢,抑制各生育期的生长发育,最终造成产量与品质降低,该温度逆境即为高温胁迫^[3]。我国高温热害主要集中于夏季,占全年极端高温总日数的86.8%,1961—2022年期间全国极端高温日数(每10年增加2.1 d)和高温极值(每10年上升0.18℃)显著增加,多年平均值分别为20.0 d和35.2℃,其中2011—2022年平均极端高温日数最高达27.0 d,高温极值达35.7℃^[4]。小麦灌浆

期正处于春夏之交,日间高温不断攀升,热胁迫成为制约小麦稳产的关键因素,已有研究未将气候指标与小麦受害阈值进行结合,当前亟须系统分析高温胁迫的发生时段、持续时长、温度峰值与小麦物候阶段的耦合关系,防控小麦花后高温热害。

2 高温的差异化影响与生理生态响应

2.1 高温的阶段特异性效应:从适应性驯化到不可逆损伤

小麦不同生育阶段对高温的响应不同,呈现出由适应性驯化到不可逆损伤转化的特点。苗期细胞膜热致死时间变化范围大(13~51 min)^[5]。分蘖期至拔节期在夜间高温处理可以提高小麦花后光合产物积累,提高灌浆期旗叶的净光合速率^[6]。在生育早期进行高温处理有助于适应孕穗期和开花期的热胁迫^[7],诱导植株产生系统性耐热记忆,从而更好地将胁迫信号转化为适应性生理响应。

生殖生长阶段,高温效应由驯化转向损伤。孕穗期高温影响小穗分化导致小麦穗粒数和库容降低;开花期高温胁迫影响小花发育和授粉受精^[8]。花后高温会加速旗叶衰老,导致花后干物质积累受阻,降低源器官向库器官的干物质转运量及转运效率^[9]。灌浆期高温逆境抑制小麦光合作用效率及同化物的生产能力,减缓灌浆进程,降低旗叶叶绿素、支链淀粉含量^[10]。

小麦不同发育阶段对高温的响应存在显著差异。分蘖期夜间增温提高植株光合能力,表现出促

收稿日期:2026-04-27;修回日期:2026-06-17。

作者简介:时静静(1996—),女,助理农艺师,主要从事农业技术推广等工作。Email:17837390225@163.com。

进效应;但进入灌浆期后,高温胁迫使籽粒灌浆受阻出现抑制作用,现有研究结果并不冲突,但缺少分蘖期—灌浆期阶段转换规律的相关研究,后续研究需要重点突破。可充分利用营养生长期高温的正向调控效应,在苗期进行高温处理筛选耐热种质资源。

2.2 从生理生化损伤到产量品质劣变

高温胁迫下小麦植株细胞膜流动性发生改变,触发 Ca^{2+} 内流,激活高温应答基因的表达,但当 CNGCs(环核苷酸门控钙离子通道)发生突变时,高温诱导的 Ca^{2+} 内流受阻,植株耐热性显著下降^[1]。热胁迫诱导蛋白质变性,产生的错误折叠蛋白质积累并与热激蛋白(HSPs)结合,从而释放热激转录因子(HSFs),启动热胁迫响应^[11],引发下游的光合功能衰退与氧化应激反应。

高温胁迫显著抑制小麦光合能力,降低穗部、旗叶、穗下节间及旗叶鞘等器官的叶绿素含量,造成光合系统与抗氧化系统损伤,增加丙二醛(MDA)含量和细胞膜透性^[12]。小麦器官抗氧化能力存在明显差异,旗叶中的超氧化物歧化酶(SOD)与过氧化氢酶(CAT)活性先升高后降低,其他器官的 SOD 与 CAT 活性则持续下降,各器官过氧化酶活性普遍下降加重膜系统受损,小麦植株衰老加速,导致光合产物向籽粒转运受阻^[12]。高温同时破坏植株光合生产能力与抗氧化防御系统,减少碳水化合物供给,限制籽粒灌浆进程,双重抑制导致千粒质量显著下降,最终造成小麦减产。

高温胁迫也影响小麦的加工与营养品质。蛋白质组分特征分析表明,谷/醇比下降,高分子量谷蛋白亚基与低分子量谷蛋白亚基含量显著下降, γ 型醇溶蛋白亚基含量明显上升,蛋白质组分比例失调破坏面筋网络的稳定性^[13]。在淀粉合成方面,高温影响淀粉合成相关酶基因的表达,抑制支链淀粉积累,降低总淀粉含量^[14]。综上所述,灌浆期高温并非单一改变面筋或淀粉某一指标,而是同步调控蛋白质组分与淀粉合成,面筋网络弱化叠加淀粉支链/直链比失衡,共同造成面粉糊化特性与加工品质劣变。

3 高温与其他因子的互作效应

自然农田中高温极少单独发生,常与干旱、土壤渍水、大气 CO_2 浓度升高等环境同步出现。现有研究表明多数复合胁迫并非单一逆境的简单叠加,而是存在协同或拮抗效应。

高温与干旱复合胁迫:花后高温干旱逆境会加

快冬小麦叶片衰老,降低光合速率,影响光合产物积累及籽粒灌浆^[15]。春小麦试验也证实复合胁迫抑制光合性能、气体交换及水分利用效率^[16]。试验表明两者叠加对小麦的影响大于单一胁迫^[15]。短期轻度干旱可能会诱导渗透调节积累,轻微缓解高温胁迫,表现出阶段性拮抗效应,但在自然农田中高温干旱复合胁迫还是以协同伤害为主,两者叠加削弱植株光合能力,影响籽粒灌浆过程,从而造成作物减产。

高温与渍水复合胁迫:高温渍水复合胁迫使小麦旗叶的叶绿体含量、净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、光化学效率协同下降,影响干物质积累造成减产^[17]。复合胁迫协同抑制烟酰胺代谢和半胱氨酸代谢通路,破坏铁离子稳态并削弱抗氧化能力,从而加剧小麦的氧化损伤^[18]。综上所述,本文认为高温渍水复合胁迫对光合系统和抗氧化系统的损伤远大于单一胁迫影响,而且渍水会引起根部缺氧造成毒素积累,加剧高温带来的生理伤害,其协同效应大于高温干旱复合胁迫。

高温与高 CO_2 复合胁迫:两者复合处理具有拮抗效应,但存在显著温度阈值依赖性。轻度高温下,增加 CO_2 浓度可促进光合固碳、降低光呼吸并减轻氧化损伤,同时诱导气孔适度关闭以减少水分流失^[19];但当温度过高时,光合系统和膜结构将会发生不可逆损伤^[20]。适度提升 CO_2 浓度能缓解高温对小麦的胁迫,但会引起小麦器官氮含量下降,改变籽粒中蛋白质和淀粉的含量,从而降低营养品质^[19]。结合上述研究,可发现高 CO_2 仅能在适度高温条件下作为补偿措施,生产中需配套氮肥调控,弥补高 CO_2 引发的籽粒氮素亏缺。

4 缓解与应对措施

4.1 适时调控播期

合理调整播期能够有效缓解小麦灌浆期的高温胁迫。华北地区冬小麦适宜播期在 9 月 25 日—11 月 5 日,有效积温为 $497 \sim 629^\circ\text{C} \cdot \text{d}$,最晚播期为 10 月 1 日—11 月 12 日^[21]。渭南市小麦晚播试验中,11 月 22 日前每晚 5 d 可增播 18.75 kg/hm^2 ^[22]。适度晚播能够推迟小麦抽穗、灌浆阶段,缩短籽粒灌浆热胁迫持续时间;但晚播会降低小麦冬前分蘖数量,需要通过增加播种量弥补分蘖不足。从区域适配性来看,华北地区与渭南地区积温、气候条件存在差异,未来研究应结合多年气候数据,分区域量

化最优播期阈值与配套播量。

4.2 氮肥运筹优化

施用氮肥能够弥补小麦花后氮营养供给不足,缓解高温胁迫损伤,改善小麦籽粒营养及加工品质。氮肥后移可以缓解高温引发的叶片膜脂过氧化损伤,提升植株渗透调节能力与抗氧化系统活性,进而延缓小麦早衰^[23]。高温环境下,240 kg/hm²氮肥处理能够延长籽粒灌浆时间,提高最大灌浆速率,维持旗叶较高光合效率,加快籽粒淀粉合成与积累^[24]。适当推迟施用氮肥,有利于缓解高温胁迫下的叶片早衰,促进籽粒灌浆充实,但该措施具有适宜施用时期范围,一旦灌浆期出现长期渍涝,土壤氮素淋溶流失会大幅降低调控效果,因此实际生产需要将氮肥运筹与田间水分管控相结合。

4.3 喷施外源物质

高温高发区域可通过喷施外源物质缓解热害,常用调控物质包括水杨酸、磷酸二氢钾(KH₂PO₄)与油菜素内脂(BR)。在开花期叶面喷施水杨酸0.1 mmol/L,能够促进小麦弱势粒和上部小穗的生长发育,促进籽粒灌浆^[25]。灌浆期高温发生前复配喷施0.3%KH₂PO₄和0.01%BR,可以提升光合生产能力,促进干物质积累,提高籽粒千粒质量及品质^[26]。综合来看,生产中在小麦灌浆初期、极端高温来临前进行叶面喷施外源物质,可单独施用或复配混用,喷施时应避开正午强光高温,干旱地块喷施后要进行轻灌补水,降低高温伤害。

4.4 遗传育种改良

不同品种小麦对高温胁迫的耐受能力与响应机制表现出显著差异。在苗期进行高温处理,能够有效筛选出耐热性品种,系统挖掘耐热种质资源,在此基础上构建耐热高产优质协同体系;在灌浆期高温时测定产量、蛋白质含量等经济性性状,综合筛选耐热且农艺性状优良的基因型,也可借助现代生物技术开发杂交组配,聚合优异耐热基因,定向培育耐热性品种。在分子生物学层面上,可通过编辑与耐热相关的基因,调控热激蛋白基因的表达,增强小麦对高温环境的适应性,维持细胞组分稳定和正常光合功能^[27]。

5 结语

高温胁迫能够从生长发育、生理代谢、产量形成及籽粒品质等多方面干扰小麦正常生长。小麦在

不同生育阶段的耐热水平存在差异,开花期、灌浆期对高温最为敏感,高温产生的损伤最严重。高温会大幅降低小麦光合效率,破坏抗氧化系统稳态,共同抑制产量形成,导致籽粒品质下降。当高温与干旱、渍水等逆境叠加时,各类逆境会协同加重对小麦的损伤;而在亚高温环境下,高浓度CO₂对高温胁迫具有缓冲效应,可有效缓解高温热害。目前缓解小麦高温胁迫的措施有播期调控、氮肥优化配施、外源物质叶面喷施以及耐热品种选育等,但大田生产中高温常伴随多种环境胁迫同步发生,单一调控措施效果有限。生产实践中须依据当地气候特点,整合播期管理、水肥一体化等技术形成配套综合管控方案。现有相关研究大多局限于单一区域、单一胁迫及单项调控技术,针对多生态区差异化栽培策略、多重复合逆境内在机理的系统性探究仍较为匮乏,后续研究可立足区域气候条件,构建定制化栽培技术体系,进一步完善小麦稳产、提质、耐热栽培理论体系。

参考文献:

- [1] Senapati N, Halford N G, Hawkesford M J, et al. Extreme heat and drought at flowering could threaten global wheat yields under climate change[J]. Climatic Change, 2026, 179(2): 28.
- [2] 胡金鹏, 何研, 史培军. 复合干热事件对小麦产量影响的研究进展与展望[J]. 气候变化研究进展, 2025, 21(5): 625–640.
- [3] 宋磊, 次仁央金, 王小强, 等. 小麦对高温胁迫的响应机制研究进展[J]. 中国农学通报, 2021, 37(36): 6–12.
- [4] 卢珊, 胡泽勇, 沈姣姣, 等. 近62年我国极端高温事件的时空变化特征[J]. 高原气象, 2025, 44(1): 201–213.
- [5] 郭秀林, 李慧聪, 刘子会, 等. 不同基因型小麦对热处理的响应[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(3): 514–519.
- [6] 杨锦浩. 基于碳代谢解析夜间增温对小麦生长发育特性的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2022: 11–52.
- [7] Khanzada A, Feng K, Wang X, et al. Comprehensive evaluation of high-temperature tolerance induced by heat priming at early growth stages in winter wheat[J]. Physiologia Plantarum, 2022, 174(4): e13759.
- [8] 刘希伟, 王德梅, 王艳杰, 等. 小麦生育中后期干旱高温对籽粒产量形成过程的影响机制及缓解措施[J]. 作物杂志, 2023(6): 17–25.
- [9] 高春华. 花后高温对冬小麦产量形成的影响及氮肥缓解效应[D]. 太谷: 山西农业大学, 2021: I–II.
- [10] 王思齐, 李昕悦, 陈润, 等. 喷施KH₂PO₄缓解小麦灌浆期高温胁迫对粒重形成抑制的作用机理[J]. 植物营养与肥料学报, 2025, 31(5): 861–869.

- [11] 茹京娜,郝冰清,冀晓倩,等. 小麦非生物胁迫响应研究进展[J]. 山西农业科学,2025,53(2):45–56.
- [12] 冯 波,刘开昌,高春华,等. 小麦不同绿色器官对灌浆中期高温胁迫的响应[J]. 山东农业科学,2020,52(10):7–17.
- [13] 蒋沛格,张德榜,陈鹏泉,等. 小麦湿热处理后蛋白组分变化及其对面条品质的影响[J]. 现代食品科技,2026,42(4):158–167.
- [14] 卢红芳,石向军,胡阳阳,等. 灌浆期高温与干旱对小麦籽粒淀粉合成相关酶基因表达的影响[J]. 麦类作物学报,2020,40(5):517–525.
- [15] 李 乔,叶杨春,常旭虹,等. 花后高温干旱逆境对冬小麦光合特性和产量的影响[J]. 作物学报,2025,51(4):1077–1090.
- [16] 张金丹,蒋菊芳,杨 华,等. 高温条件下春小麦光合生理特性对干旱胁迫的响应[J]. 干旱区研究,2026,43(3):654–664.
- [17] 盖盼盼,侯君佑,耿兵婕,等. 花后渍水和高温对小麦旗叶光合特性、干物质积累及产量的影响[J]. 麦类作物学报,2022,42(10):1247–1256.
- [18] 孙龙清,秦丹丹,董 静,等. 全基因组水平的小麦渍水、高温及其复合胁迫响应因子鉴定[J]. 水利水电技术(中英文),2025,56(10):243–256.
- [19] 白莉萍,周广胜. 小麦对大气 CO₂ 浓度及温度升高的响应与适应研究进展[J]. 中国生态农业学报,2004,12(4):23–26.
- [20] 屠小菊,汪启明,饶力群. 高温胁迫对植物生理生化的影响[J]. 湖南农业科学,2013(13):28–30.
- [21] 陈先冠,冯利平,白慧卿,等. 基于 WMAIP 集成模型的华北冬小麦适宜播期与冬前积温下限研究[J]. 农业机械学报,2024,55(2):315–325.
- [22] 杨小强,郭泾磊,杨圆圆,等. 2021—2022 年渭南市小麦晚播试验[J]. 绿洲农业科学与工程,2026,11(1):31–35.
- [23] 李永飞,李战魁,张战胜,等. 氮肥后移对高温胁迫下春小麦旗叶生理特性和产量的影响[J]. 中国农业科学,2024,57(8):1455–1468.
- [24] 高春华,冯 波,李国芳,等. 施氮量对花后高温胁迫下冬小麦籽粒淀粉合成的影响[J]. 作物学报,2023,49(3):821–832.
- [25] 樊永惠,葛 婷,杨 咏,等. 外源水杨酸对高温胁迫下小麦籽粒灌浆特性的影响[J]. 麦类作物学报,2022,42(7):835–845.
- [26] 唐秀巧,苏 慧,李 敏,等. 灌浆期高温前喷施叶面喷剂对小麦产量及籽粒品质的影响[J]. 安徽农业大学学报,2021,48(5):707–712.
- [27] 李明月,李孟军,李国良,等. 小麦热激转录因子 TaHsfA2-5 的耐热性分析[J]. 西北植物学报,2022,42(2):181–189.

Differential Physiological Response, Multi-factor Interaction and Regulation Strategy of Wheat Under High Temperature Stress

Shi Jingjing, Lu Ruirui

(Weihui Agricultural and Rural Bureau, Weihui 453100, China)

Abstract: Global warming poses significant challenges to agricultural production, and addressing its adverse impacts is crucial for food security. Although substantial advances have been made in wheat heat stress research, systematic analyses of differential effects, multi-factor interactions, and regulatory mitigation strategies remain insufficient. This paper systematically reviews the stage-specific effects of high temperature stress throughout the entire growth cycle of wheat, analyzes the mechanisms underlying high-temperature signal perception, physiological and biochemical responses, as well as yield and quality formation, synthesizes the interactive effects between high temperature and multiple environmental factors, and summarizes regulatory approaches to mitigate heat damage from three dimensions: cultivation management, physiological regulation, and germplasm improvement.

Key Words: Wheat production; High temperature stress; Stage-specific effect; Ecophysiological response; Yield and quality; Compound stress; Regulating technology

田胜营,丁翊东,张善磊,等. 不同质地潮土对还田玉米秸秆分解动态的影响[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(4):5–12,18(2026–08–17). DOI:10.14069/j.cnki.32–1769/s.2026.04.002.

不同质地潮土对还田玉米秸秆分解动态的影响

田胜营,丁翊东,张善磊,崔小平

(江苏省农业科学院宿迁农科所,江苏 宿迁 223800)

摘要:砂质和壤质是黄泛冲积平原上常见的潮土类型,因土壤性质差异,秸秆还田后的分解规律亦有所不同。本研究基于尼龙网袋法,通过 270 d 的田间秸秆分解试验,跟踪监测土壤性质变化、秸秆养分释放动态与物质分解过程,评价土壤质地对秸秆分解的影响,并分析影响秸秆分解的主要因子,探讨土壤–秸秆–环境三者之间的相互关系。结果表明,秸秆还田后,砂质和壤质土壤的土壤性质和秸秆分解特性在时间梯度上的变化趋势基本一致。其中,土壤碱解氮和有效磷含量随还田时间增加显著降低,土壤有机质含量显著提高,土壤微生物碳和微生物氮则呈现先显著降低后持续增加的趋势;到试验 270 d,壤质土壤有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量比砂质土壤分别高 6.18%、25.83%、5.51%和 5.15%,微生物碳和微生物氮含量比砂质土壤分别高 13.99%和 11.55%。秸秆还田后,秸秆中 C、K 和纤维素含量逐渐下降,而 N、P 和木质素含量则表现为富集,两土壤中残留秸秆差异性也逐渐显著;到试验 270 d,壤质土壤的秸秆分解率比砂质土壤高 4.14%,秸秆中 C、N、P、K 比砂质土壤分别低 5.25%、8.66%、9.26%、2.01%,半纤维素、纤维素、木质素残余率比砂质土壤分别低 6.83%、4.29%、4.43%。土壤质地间理化性质差异是导致砂质土壤秸秆分解和养分释放差异的主要原因,砂质土壤相较其他质地土壤更应该注重水肥管理并采用更具针对性的科学还田策略,从而加快秸秆的分解,促进土壤的改良和肥力提升。

关键词:潮土;玉米秸秆;土壤质地;土壤性质;分解特征

中图分类号:S513

文献标志码:A

文章编号:1673–6486–20260053

秸秆是粮食生产过程中的主要伴生品,2023 年我国秸秆总量达 8.8 亿 t,其中 33.3%来自玉米^[1]。粉碎还田是当前玉米秸秆的主要利用方式,秸秆中含有的氮、磷、钾等大量养分和有机物不仅能为土壤补充养分,还可以通过有机质的输入改善土壤结构、增强水肥固持能力,进一步提升土壤质量^[2]。

秸秆在土壤中的分解过程比较复杂,土壤理化性质、微生物群落结构、气候条件、秸秆特性、还田模式等均会影响还田秸秆的物质分解和养分释放过程^[3–4]。研究表明,秸秆还田时增加外源肥料投入能提高土壤养分可利用性,降低微生物养分限制,加快秸秆分解^[5]。尤其是在秸秆分解中后期,微生物对土壤养分的响应更为显著,较高的土壤养分供应水平能够促进木质素、纤维素等有机碳组分分解,提高土壤酶活性,而土壤环境的改善也能进一步增加土壤微生物物种的丰富度和多样性,这将有利于秸秆后期分解释放更多的养分来供给微生物生长^[6–7]。温度和水分适宜也能提升土壤氮矿化和硝化

速率,增加微生物群落多样性,促进秸秆分解^[8]。作为养分循环的驱动者,微生物在秸秆分解过程中起到了关键性作用,环境条件对秸秆分解速率的影响也基本是通过土壤微生物状态的调控实现的^[9]。

黄泛冲积平原是我国重要粮食产区,受黄泛区土壤沉积规律影响,不同质地土壤的物理、化学及微生物群落结构和多样性存在差异^[10],这可能会影响还田秸秆的分解进程^[11]。然而,目前研究人员大多聚焦在不同土壤类型的单一时间节点上对秸秆分解状况进行静态分析,缺乏对秸秆与土壤在时间梯度上动态变化的连续监测,且对同一生态区内不同质地土壤的研究也相对较少,未能深入探讨秸秆分解过程与土壤性质动态变化之间的内在关联。为探索秸秆在自然条件下不同质地潮土中的分解规律及其影响因素,本研究采用尼龙网袋法,以黄泛区典型砂质和壤质潮土为玉米秸秆分解介质,通过分解试验揭示秸秆还田后土壤性质变化规律,对比秸秆在不同质地土壤上的分解动态和养分释放特征,首次定量揭示黄泛区砂质与壤质潮土在完整轮作周期内 270 d 的秸秆分解特性,探讨土壤性质与环境条件对秸秆分解过程的影响,以期为探究秸秆分解原理和制定秸秆科学还田方法提供理论依据。

收稿日期:2026–05–07;修回日期:2026–05–22。

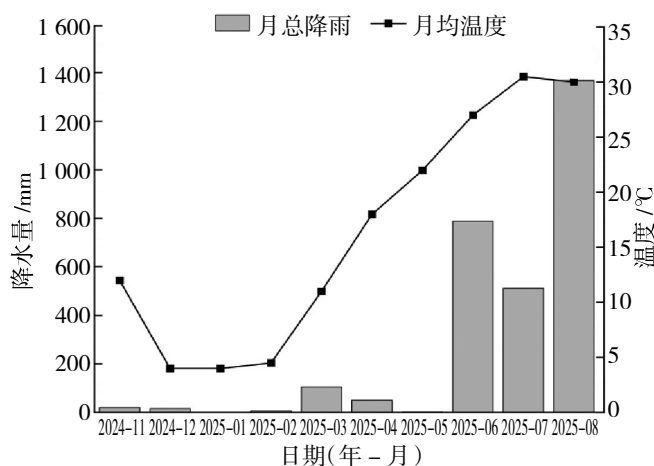
基金项目:宿迁市科技计划(K202413)。

作者简介:田胜营(1992—),男,硕士,助理研究员,主要从事作物栽培与土壤肥力提升相关研究。Email: tsy0536@qq.com。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于江苏省宿迁市泗阳县城南棉花原种场(118°40' E, 33°41' N), 该地区位于北温带南缘, 属北亚热带季风过渡气候, 试验期间的降水和温度记录如图 1 所示。该地区为黄泛冲积平原, 土壤类型为潮土。试验所用砂质和壤质潮土分别采自宿迁泗阳(118°40' E, 33°41' N)和宿迁洋河(118°26' E, 33°46' N), 试验前采集 0~20 cm 的耕层土壤, 过 2 mm 筛并充分混匀后置于试验小区。小区间用红砖砌水泥墙进行间隔, 每小区土深 1.0 m, 试验开始前的土壤性质如表 1 所示。



数据来源于泗阳县气象局

图 1 试验期间的自然降水量和温度

表 1 试验开始前土壤基础性质

土壤质地	土壤机械组成 / %			pH 值	土壤养分						
	< 0.002	0.002 ~	> 0.020		有机质含量 /	全氮含量 /	全磷含量 /	全钾含量 /	碱解氮含量 /	有效磷含量 /	速效钾含量 /
	mm	0.020 mm	mm		(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
砂质	3.28	21.09	75.63	8.30	10.07	1.12	1.09	19.71	76.20	11.35	176.94
壤质	6.14	37.12	56.75	8.25	11.73	1.21	0.75	21.08	84.09	10.42	179.87

1.2 试验设计

小麦种植前, 将上季风干玉米秸秆粉碎为 2~3 cm 小段后还田, 还田量为 9.0 t/hm²。同时将玉米秸秆剪成 2 cm 的小段烘干, 取 25 g 装入双层 200 目尼龙网袋, 于小麦播种当天将尼龙网袋沿垂直土壤的方向埋入小麦行间, 埋设深度为 5~15 cm, 每小区埋设 5 袋, 供试玉米秸秆的初始 C、N、P、K 含量 (质量分数, 下同) 分别为 386.51、19.01、1.63、15.73 g/kg, 半纤维素、纤维素、木质素含量分别为 210.29、437.83、132.62 g/kg。试验于 2024 年 11 月 1 日小麦播种开始, 采用田间小区试验方法, 每小区 4 m² (2 m × 2 m), 共设砂质和壤质土壤两个处理, 每处理 3 次重复。小麦季播种量为 225 kg/hm², 采用条播方式, 行距 20 cm, 小麦季复合肥 (N、P₂O₅、K₂O 质量分数均为 15%) 施用量为 525 kg/hm², 尿素施用量为 480 kg/hm², 其中复合肥作为基肥全部施入, 尿素基肥、蘖肥、穗肥的质量比为 4:3:3。玉米季播种时间为 6 月 20 日, 播种量为 6.75 万粒 /hm², 行距 60 cm, 株距 30 cm, 玉米季复合肥 (N、P₂O₅、K₂O 质量分数均为 15%) 施用量为 450 kg/hm², 尿素施用量为 450 kg/hm², 其中复合肥作为基肥全部施入, 尿素为拔节期追施。

1.3 样品采集和分析方法

分别于试验开始后的第 30、90、150、210、270 d

进行秸秆网袋样品和土样的采集, 网袋样品采集后烘干称质量, 用高速粉碎机磨成粉末后分析测定; 采用 5 点取样法采集小麦行间 0~20 cm 的耕层土壤, 部分土壤鲜样用于微生物碳、微生物氮测定, 其余样品风干过 2 mm 筛后进行理化性质分析。

秸秆分解率采用差重法测量, 计算公式为:

$$\text{秸秆分解率} = \frac{\text{初始秸秆干质量} - \text{残余秸秆干质量}}{\text{初始秸秆干质量}} \times 100\%;$$

$$\text{秸秆养分残留率} = \frac{\text{残余秸秆干质量} \times \text{残余秸秆元素(成分)含量}}{\text{初始秸秆干质量} \times \text{初始秸秆元素(成分)含量}} \times 100\%。$$

秸秆样品碳含量采用重铬酸钾-外加加热法测定; 秸秆养分含量采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮法制备待测液, 采用凯氏定氮法测定全氮含量, 钼锑抗比色法测定全磷含量, 火焰光度法测定全钾含量^[12]; 采用范氏洗涤法^[13]测定纤维素、半纤维素和木质素含量。

土壤样品采用重铬酸钾氧化-外加加热法测定有机碳含量; 采用碱解扩散法测定土壤碱解氮含量; 采用碳酸氢钠溶液浸提、钼锑抗比色法测定有效磷含量; 采用乙酸铵浸提、火焰光度计测定土壤速效钾含量; 采用氯仿熏蒸-浸提法测定微生物碳、微生物氮含量^[14]。以上含量均为质量分数。

1.4 数据分析

采用 Excel 16.0、SPSS 24.0、Origin2017 软件对

试验数据进行数理统计并绘图,不同时间梯度样本采用最小显著差异法(LSD)进行多重比较,不同土壤处理间采用独立样本 T 检验进行分析。

2 结果与分析

2.1 土壤性质

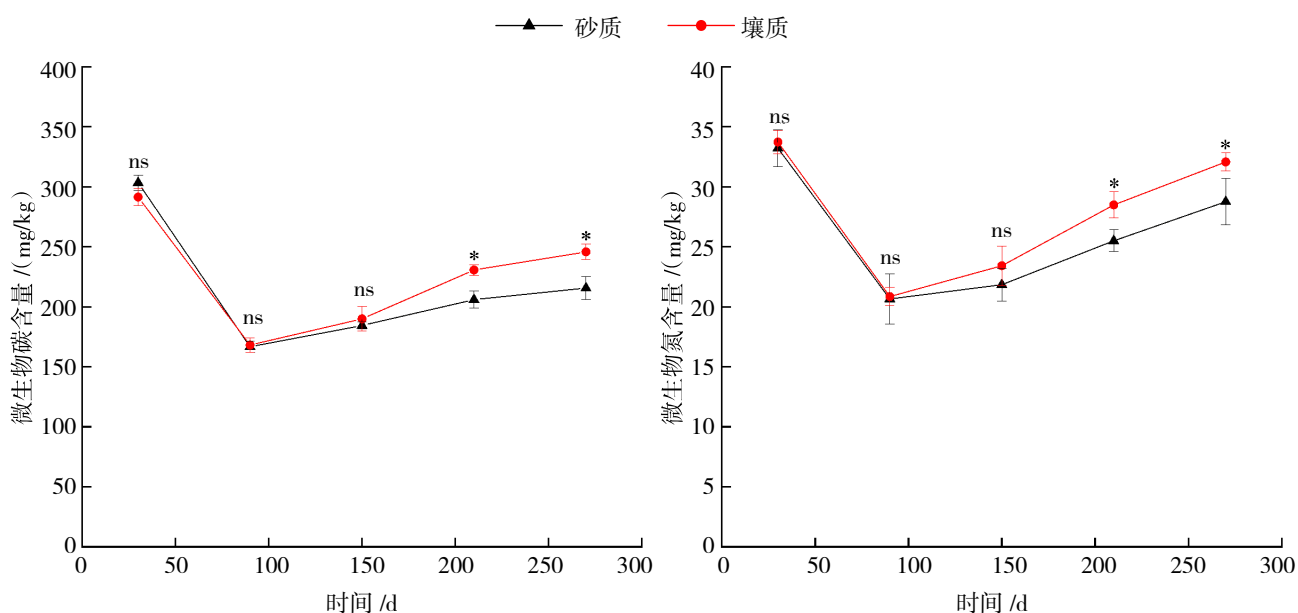
由表 2 和图 2 可知,砂质和壤质土壤的各项性质在时间上的变化趋势基本一致,土壤有机质含量

呈上升趋势,速效养分含量则显著降低;土壤微生物碳和微生物氮在秸秆还田初期含量最高,随之显著降低后又逐渐升高。秸秆还田初期,土壤间差异并不显著,但在试验中后期差异逐渐明显。壤质土壤有机质和养分含量相对砂土更高,至试验 270 d,土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、微生物碳、微生物氮含量比砂质土壤分别高 6.18%、25.83%、5.51%、5.15%、13.99%、11.55%。

表 2 土壤基础性质变化

处理	时间 /d	有机质含量 /(g/kg)	碱解氮含量 /(mg/kg)	有效磷含量 /(mg/kg)	速效钾含量 /(mg/kg)
砂质土壤	30	10.39 ± 0.31 bB	141.91 ± 7.96 aA	14.40 ± 1.02 aA	203.21 ± 15.21 aA
	90	10.42 ± 0.28 bB	126.62 ± 10.21 aB	13.96 ± 1.22 abA	190.27 ± 6.57 aA
	150	10.59 ± 0.41 bA	102.89 ± 12.44 bA	12.27 ± 1.04 bcA	142.04 ± 17.44 bA
	210	10.77 ± 0.08 bB	79.82 ± 7.02 cB	10.11 ± 1.05 cdA	152.76 ± 5.10 bA
	270	11.71 ± 0.53 aB	72.19 ± 7.48 cA	10.64 ± 0.73 dA	157.90 ± 2.54 bA
壤质土壤	30	11.33 ± 0.43 cA	142.70 ± 13.69 aA	14.58 ± 0.63 aA	194.52 ± 10.84 aA
	90	11.13 ± 0.71 bcA	140.87 ± 12.52 aA	14.94 ± 1.51 aA	178.80 ± 6.09 bA
	150	12.05 ± 0.39 abcA	113.89 ± 8.04 bA	12.48 ± 0.74 bA	152.41 ± 2.46 cA
	210	12.24 ± 0.09 abA	104.30 ± 1.99 bcA	11.47 ± 0.99 bA	163.76 ± 7.12 bcA
	270	12.44 ± 0.67 aA	90.83 ± 9.16 cA	11.23 ± 1.49 bA	166.02 ± 11.36 bcA

注:表中数字为均值 ± 标准误,表中同质地间的不同小写字母表示不同时间处理上差异具统计学意义($P < 0.05$),同时间不同大写字母表示质地间差异具统计学意义($P < 0.05$)。下表同。



图中 * 表示不同质地同时间梯度上差异具统计学意义($P < 0.05$),ns 表示差异无统计学意义,误差为标准误。下图同

图 2 土壤微生物碳、微生物氮含量变化

2.2 秸秆分解率

图 3 为两种土壤处理的秸秆分解率变化,由图可知,秸秆分解率均随着秸秆还田时间的增加而逐渐增大。在试验前期,秸秆分解速率在土壤质地间差异无统计学意义,但随着还田时间的增加,两种土壤处理的差异性愈发明显,壤质土壤的秸秆分解速率逐渐快于砂质土壤,210、270 d 分解率比砂质土壤处理分别高 2.37%、4.14%。

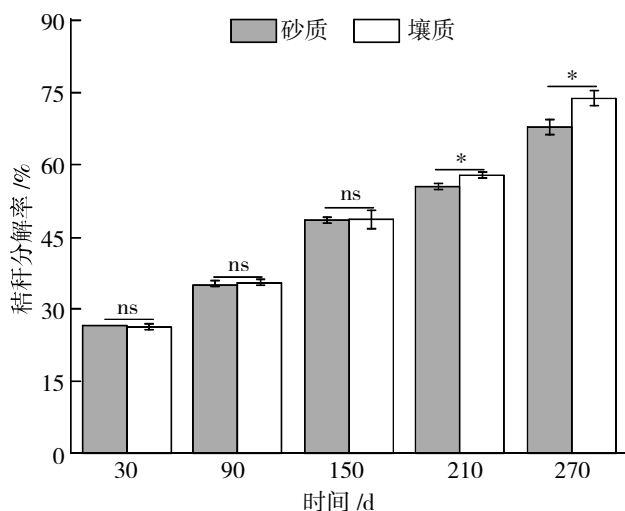


图 3 两种土壤处理的秸秆分解率变化

2.3 秸秆碳和养分

由表 3 可知,随秸秆还田时间的增加,还田秸秆的 C、K 含量均显著降低,N 和 P 含量则逐渐富集,它们的残留率也均随还田时间的增加而逐渐降低(图 4)。在不同土壤间,残余秸秆的 C、N、P、K 含量在相同时间梯度上的差异无统计学意义,但在残留率上,随着秸秆还田时间的增加,壤质土壤处理的秸秆 C、N 和 P 残留率均逐渐低于砂质土壤。尤其是在秸秆分解中后期,这种趋势愈加显著,在试验 270 d,壤质土壤处理的 C、N、P 和 K 残留率较砂质土壤分别低 5.25%、8.66%、9.26%和 2.01%。

2.4 秸秆主要成分

由表 4 可知,随着秸秆的分解,秸秆的半纤维素含量无显著变化,纤维素含量逐渐降低,木质素含量则显著增加,但它们的残留率均随秸秆分解程度的增大而逐渐降低。两土壤处理的还田秸秆主要成分含量与残留率在时间梯度上的变化趋势基本一致,在秸秆还田前期两土壤处理差异并无统计学意义,但在秸秆分解中后期,壤质土壤处理的秸秆各成分残留率逐渐低于砂质土壤,至秸秆还田 270 d,壤质土壤处理的秸秆半纤维素、纤维素和木质素残留率较砂质土壤分别低 6.83%、4.29%和 4.43%(图 5)。

表 3 残余秸秆碳和养分含量

处理	时间 /d	C 含量 /(g/kg)	N 含量 /(g/kg)	P 含量 /(g/kg)	K 含量 /(g/kg)
砂质土壤	30	382.47 ± 9.54 aA	18.29 ± 0.79 cA	1.62 ± 0.09 cA	17.96 ± 1.93 aA
	90	387.32 ± 5.18 aA	18.26 ± 0.48 cA	1.68 ± 0.09 cA	17.50 ± 0.61 aA
	150	374.64 ± 13.45 aA	19.59 ± 1.14 bcA	1.86 ± 0.06 cA	15.83 ± 1.10 abA
	210	345.91 ± 19.40 bA	21.93 ± 1.45 bA	2.15 ± 0.10 bA	14.92 ± 1.92 bA
	270	341.10 ± 18.90 bA	27.11 ± 1.26 aA	2.79 ± 0.14 aA	3.44 ± 0.54 cA
壤质土壤	30	387.07 ± 2.48 aA	17.70 ± 1.60 cA	1.48 ± 0.14 dA	18.96 ± 1.10 aA
	90	383.08 ± 3.64 aA	18.70 ± 0.65 cA	1.63 ± 0.03 cdA	18.05 ± 1.53 abA
	150	383.50 ± 6.83 aA	20.47 ± 0.20 bA	1.80 ± 0.04 cA	15.74 ± 1.47 bA
	210	350.59 ± 5.26 bA	21.00 ± 0.18 bA	2.18 ± 0.23 bA	15.56 ± 0.61 bA
	270	341.22 ± 18.34 bA	27.00 ± 0.77 aA	2.86 ± 0.28 aA	3.02 ± 1.55 cA

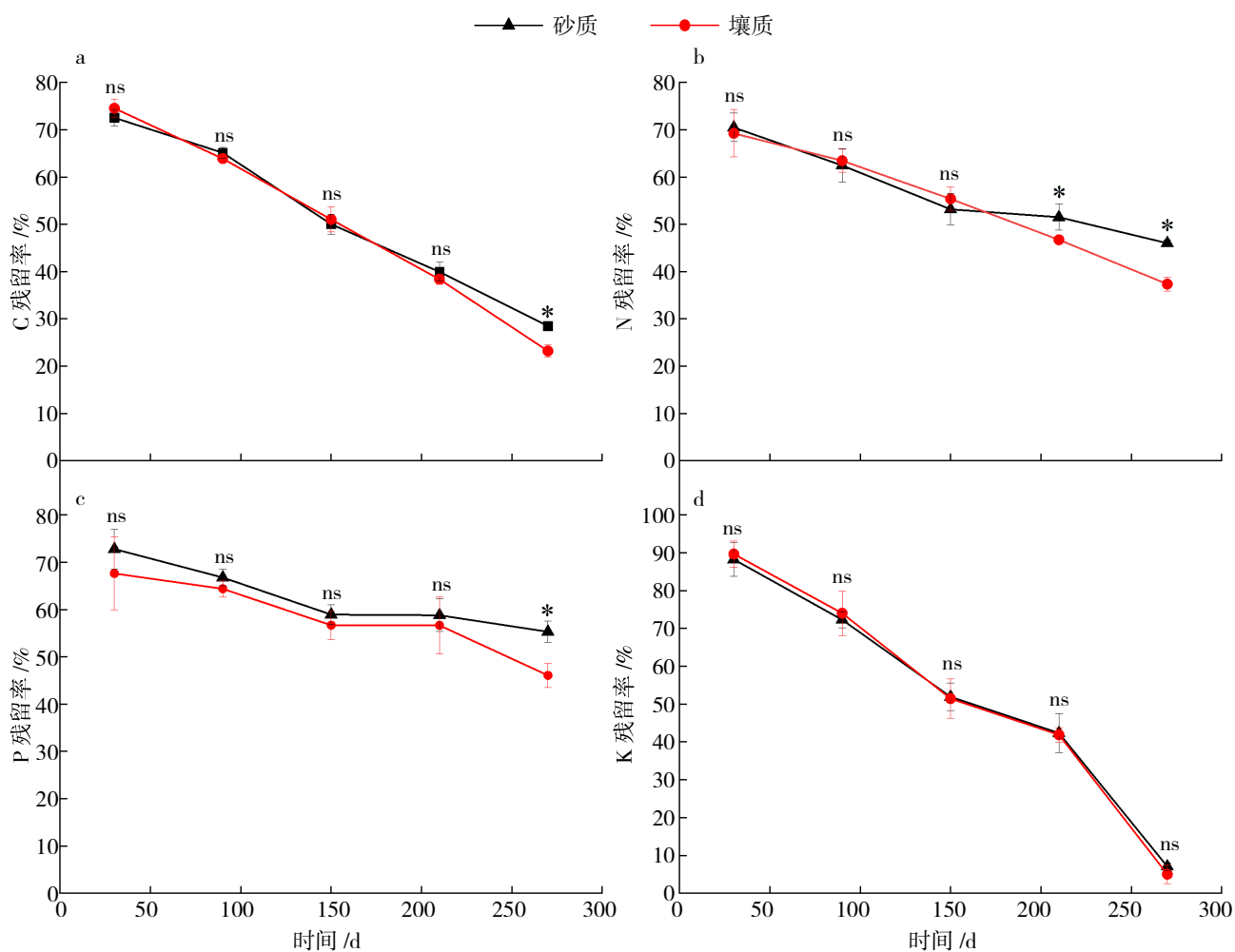


图 4 残余秸秆 C(a)、N(b)、P(c)、K(d)残留率

表 4 残余秸秆主要成分含量

处理	时间 /d	半纤维素含量 /(g/kg)	纤维素含量 /(g/kg)	木质素含量 /(g/kg)
砂质土壤	30	239.84 ± 6.58 aA	443.31 ± 8.01 aA	139.38 ± 8.84 dA
	90	214.28 ± 7.51 aA	422.36 ± 7.74 aA	149.79 ± 5.14 cdA
	150	231.81 ± 33.21 aA	365.66 ± 26.83 bA	172.31 ± 9.52 bcA
	210	240.93 ± 28.64 aA	357.12 ± 15.63 bA	190.49 ± 5.88 bA
	270	215.73 ± 10.87 aA	293.21 ± 18.70 cA	222.71 ± 13.78 aA
壤质土壤	30	221.62 ± 6.85 aA	427.33 ± 20.27 aA	134.49 ± 12.47 cA
	90	220.02 ± 18.76 aA	423.00 ± 21.43 aA	149.24 ± 7.34 cA
	150	236.20 ± 17.65 aA	379.87 ± 13.31 bA	183.72 ± 6.97 bA
	210	238.63 ± 3.15 aA	346.99 ± 36.27 bcA	197.52 ± 2.04 bA
	270	209.97 ± 25.39 aA	306.81 ± 18.38 cA	269.54 ± 29.69 aA

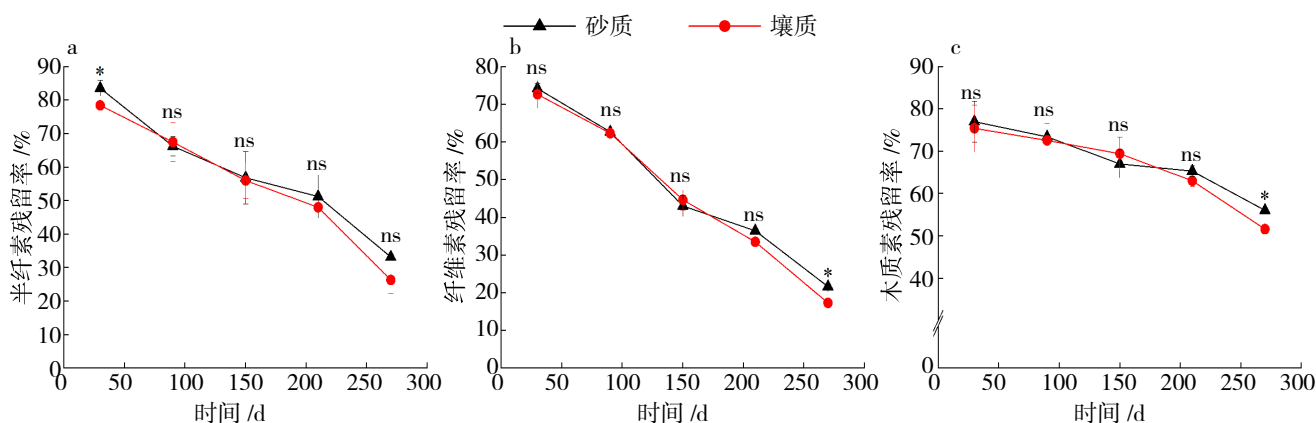


图5 残余秸秆半纤维素(a)、纤维素(b)、木质素(c)残留率

3 讨论

秸秆分解是一个复杂的生物化学过程,受土壤、秸秆、环境等多种条件的影响,其中土壤质地是一个重要影响因素^[15]。在本试验中,试验前期两土壤处理的残余秸秆差异无统计学意义;至试验中后期,壤质土壤中秸秆的分解速率逐渐快于砂质土壤,这一变化主要归因于土壤性质随时间的演变。已有研究表明,土壤养分含量越低,木质素相对比例越少,土壤质地对秸秆分解的影响越显著^[16]。在试验初期,砂质与壤质土壤的初始性质差异较小,且秸秆分解所需养分供应相对充足,因此二者间分解速率差异不明显。但随着秸秆中易分解组分逐渐消耗殆尽,两种质地土壤的差异化也逐渐显现,壤质土壤中含有更多的小粒径颗粒,使其渗透性更低、吸附能力更强^[17],对养分和有机质的固持作用更为突出^[18],从而提供较高的养分供应水平和更为多样的微域生境^[19],降低了对秸秆分解过程的限制^[20]。相比之下,砂质土壤颗粒较粗,水分含量低且保水能力弱,导致水分和养分供应受限,在一定程度上抑制了秸秆的分解进程^[21]。

秸秆分解过程涉及多酶体系的协同作用,需要多种酶共同参与完成底物降解,一般而言,微生物群落多样性越高,秸秆分解速率越快^[22],而土壤黏重程度与微生物多样性呈显著正相关^[23]。相较于砂质土壤,壤质土壤能够为微生物提供更为稳定的生存与繁殖环境,微生物活性、多样性指数和丰富度指数显著提升^[24-25],秸秆分解速率也因此加快。刘四义等研究发现,相较于质地黏重土壤,砂土中微生物数量更少,CO₂排放量显著更低,有机碳的代谢能力也更弱^[16],尤其在秸秆还田中后期会导致物质转化

与养分释放效率的降低及秸秆分解速率的减缓^[20],许轲等的研究^[26]亦得出了相似结论。Cai 等研究表明,土壤养分含量与秸秆分解率呈显著正相关,这与土壤养分对微生物生长繁殖的促进和活性的提升有关^[27]。贾宏涛等研究认为,水分状况、酶活性及微生物组成等多方面的差异是导致作物秸秆在壤质和黏质土壤中分解速率显著快于砂质土壤的主要原因^[28]。综上所述,不同质地土壤的物理特性、土壤养分含量和微生物状况等均是影响秸秆分解的重要因素,它们之间也存在一定的相互作用,故秸秆还田后的分解过程并非仅受单一因素调控,而是多种因素耦合作用的结果。

残余秸秆养分含量变化主要反映了养分释放与干物质分解的相对速率^[29]。随着微生物对秸秆分解作用的加强,有机碳不断被分解利用,离子态钾也易迁移淋失,因此残余秸秆中 C 和 K 含量逐渐降低。而 N 和 P 则表现为富集,说明其矿化速率慢于干物质的分解速率^[30],这可能是以下一种或多种因素引起的:1)秸秆分解过程中形成的腐殖质降低了土壤对 N 和 P 的吸附固定作用^[31];2)残余秸秆表面积会随秸秆分解程度增大而逐渐增加,对 N 和 P 的吸附作用也显著增强^[32-33],将土壤中的 N 和 P 迁移到网袋内^[34];3)秸秆上微生物群落数量和活性的增加促进了 N 和 P 的固持^[35],也限制了秸秆 N、P 的转移和释放^[11,36]。此外,秸秆中的木质素具有稳定的有机结构和难水解的化学键,结构最为复杂,分解速率也最慢^[37],故在残余秸秆中呈富集现象,残余率也最高,这与前人研究结果^[38]一致。在土壤残余秸秆各养分、主要成分及其残余率方面,虽然两土壤质地对含量有一定影响(未达到显著性差异),但引起了秸秆分解速率的显著差异。壤质土壤中秸秆分解进

程更快,残余秸秆的质量更低,因此 C、N、P 含量和半纤维素、纤维素、木质素残留率均显著低于砂质土壤。

本试验参照当地田间高产施肥习惯进行肥料投入,试验结果表征了高肥力环境下秸秆腐解的演变特征,高养分基底可能在一定程度上弱化土壤质地特性差异对秸秆腐解初期的调控效应。此外,土壤动物是驱动秸秆原位腐解的重要生物因子。本试验采用 200 目双层尼龙网袋进行埋袋培养,主要反映了微生物主导下的秸秆腐解过程,该方法规避了植物根系的干扰,但也抑制了蚯蚓等土壤动物对秸秆的破碎、摄食与扰动行为。因此,本研究测定的秸秆腐解速率可能低于田间真实腐解水平,两类质地土壤间的秸秆腐解差异也会因土壤动物群落的不同而被进一步放大。后续研究将构建多梯度肥力处理,进一步明晰土壤质地与肥力水平对秸秆腐解的交互耦合机制;同时更换大孔径网袋开展对照试验,弱化网袋阻隔效应,还原田间自然状态下秸秆的真实腐解进程,精准揭示原位还田条件下秸秆腐解演变规律。

4 结论

砂质与壤质土壤间秸秆分解速率的差异主要源于土壤质地不同所导致的土壤物理性质、养分、微生物等特性的分化。相较于砂质土壤,壤质土壤具有更强的保水保肥能力及养分供给性能,在促进秸秆分解、养分释放与有机组分矿化方面有先天优势。故在秸秆还田过程中,砂质土壤较壤质土壤面临更大的分解限制,需采取更具针对性的科学还田策略,除强化水肥管理外,可降低秸秆粉碎长度、增施促分解微生物菌剂、采用还田前腐熟处理等措施,以加快秸秆的分解与转化进程,推动砂质土壤的改良与肥力提升。

参考文献:

[1] 刘俊杰,严晓斌,石东峰,等. 添加调理剂对农村固体废物堆肥的影响[J]. 环境卫生工程,2025,33(4):70–77.
[2] Gao Y X,Shao Y Q,Wang J Q,et al. Effects of straw returning combined with blended controlled-release urea fertilizer on crop yields,greenhouse gas emissions,and net ecosystem economic benefits:a nine-year field trial[J]. Journal of Environmental Management,2024,356:120633.

[3] Min X Y,Song D G,Ma M T,et al. Effects of agronomic measures on decomposition characteristics of wheat and maize straw in China[J]. Sustainability,2022,14(19):12199.
[4] 李 然,徐明岗,邬 磊,等. 煤矿区复垦土壤中秸秆和生物炭的分解特征[J]. 植物营养与肥料学报,2021,27(7):1129–1140.
[5] Zhang H P,Tang X Q,Hou Q M,et al. Combining conservation tillage with nitrogen fertilization promotes maize straw decomposition by regulating soil microbial community and enzyme activities[J]. Pedosphere,2024,34(4):783–796.
[6] 卢孟雅,王智权,张 昆,等. 氮磷对秸秆输入下稻田土壤微生物群落及其残体的影响[J]. 土壤学报,2025,62(6):1850–1861.
[7] 王新雅,何卓婷,李 潇,等. 秸秆分层还田耦合腐解菌剂通过调控土壤有机碳转化和微生物群落结构提高水稻产量[J/OL]. 中国水稻科学,1–19 (2025–09–24) [2026–05–07]. <https://link.cnki.net/urlid/33.1146.S.20250924.1330.006>.
[8] 张子怡,张 洋,文 炯,等. 秸秆还田影响农田土壤健康研究进展[J]. 土壤通报,2025,56(1):284–290.
[9] Phukongchai W,Kaewpradit W,Rasche F. Inoculation of cellulolytic and ligninolytic microorganisms accelerates decomposition of high C/N and cellulose rich sugarcane straw in tropical sandy soils[J]. Applied Soil Ecology,2022,172:104355.
[10] 李 明,范 瑾,操 敏,等. 不同质地土壤‘赤霞珠’葡萄根际微生物群落多样性及葡萄品质的特征分析[J]. 中国农业大学学报,2026,31(3):118–135.
[11] 张学林,周亚男,李晓立,等. 氮肥对室内和大田条件下作物秸秆分解和养分释放的影响[J]. 中国农业科学,2019,52(10):1746–1760.
[12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000:318–350.
[13] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 3 版. 北京:中国农业大学出版社,2007:70–74.
[14] Vance E D,Brookes P C,Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. Soil Biology and Biochemistry,1987,19(6):703–707.
[15] Viana D G,Soares M B,Junior P R R,et al. Effects of soil texture under no-tillage on straw decomposition and soil quality in coastal tablelands[J]. Journal of Sedimentary Environments, 2025,10(4):1135–1148.
[16] 刘四义,梁爱珍,杨学明,等. 不同部位玉米秸秆对两种质地黑土 CO₂ 排放和微生物量的影响[J]. 环境科学,2015,36(7):2686–2694.
[17] Tian J,Bu L Y,Luo J P,et al. High-quantity straw combined with microbial fertilizer positively drives soil multifunctionality and fertility in degraded arid desert ecosystems[J]. Applied Soil Ecology,2025,207:105938.
[18] 郎 漫,魏 玮,李 平. 不同水分对砂壤土初级氮转化

- 速率的影响[J]. 农业环境科学学报,2022,41(1):107-114.
- [19] 黄龙,包维楷,李芳兰,等. 土壤结构和植被对土壤微生物群落的影响[J]. 应用与环境生物学报,2021,27(6):1725-1731.
- [20] 田胜营,李慧敏,陈金林,等. 潮土中残留小麦和玉米秸秆养分含量差异及与微生物群落组成的关系[J]. 土壤,2021,53(1):55-63.
- [21] 任嘉隆,辛未冬,李红娟,等. 黄土高原长期免耕覆盖下土壤性质对大型土壤动物功能群结构的影响[J/OL]. 应用与环境生物学报,1-19(2025-12-02)[2026-05-07]. <https://doi.org/10.19675/j.cnki.1006-687x.2025.09020>.
- [22] 姚世庭,芦光新,李欣,等. 多酶系菌群对油菜秸秆降解活性的研究[J]. 青海大学学报(自然科学版),2019,37(4):26-34.
- [23] Seaton F M,George P B L,Lebron I,et al. Soil textural heterogeneity impacts bacterial but not fungal diversity[J]. Soil Biology and Biochemistry,2020,144:107766.
- [24] 李琼香,朱经伟,王新修,等. 不同质地黄壤微生物群落特征[J]. 农业环境科学学报,2025,44(7):1779-1792.
- [25] 栾璐,郑洁,程梦华,等. 不同秸秆还田方式对旱地红壤细菌多样性及群落结构的影响[J]. 土壤,2021,53(5):991-997.
- [26] 许轲,刘萌,陈京都,等. 麦秸秆全量还田对稻田土壤溶解有机碳含量和水稻产量的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(2):430-436.
- [27] Cai A D,Liang G P,Zhang X B,et al. Long-term straw decomposition in agro-ecosystems described by a unified three-exponentiation equation with thermal time[J]. Science of the Total Environment,2018,636:699-708.
- [28] 贾宏涛,程路明,董巨河,等. 土壤条件对棉花秸秆分解的影响[J]. 新疆农业大学学报,2007,30(4):91-93.
- [29] Mühlbachová G,Růžek P,Kusá H,et al. Winter wheat straw decomposition under different nitrogen fertilizers[J]. Agriculture,2021,11(2):83.
- [30] 刘熙明,王滢渺,田洪涛,等. 秸秆不同还田模式下磷钾释放特征及其对玉米产量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2024(1):157-165.
- [31] Zhang J T,Wang J,Zhang L,et al. Effect of physical and chemical pretreatment on decomposition and nutrient release characteristics of maize straw[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2016,32(23):226-232.
- [32] Huang T M,Wang Z H,Hou Y Y,et al. Effects of nitrogen application on decomposition and nutrient release of returned maize straw in Guanzhong Plain,Northwest China[J]. The Journal of Applied Ecology,2017,28(7):2261-2268.
- [33] 严啟蕾. 不同气候区玉米秸秆腐解养分释放特性及土壤养分变化规律[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2023:23-24.
- [34] 曾莉,张鑫,张水清,等. 不同施氮量下潮土中小麦秸秆腐解特性及其养分释放和结构变化特征[J]. 植物营养与肥料学报,2020,26(9):1565-1577.
- [35] Sun L,Sun Z X,Hu J,et al. Decomposition characteristics, nutrient release,and structural changes of maize straw in dryland farming under combined application of animal manure[J]. Sustainability,2021,13(14):7609.
- [36] 黄婷苗,王朝辉,侯仰毅,等. 施氮对关中还田玉米秸秆腐解和养分释放特征的影响[J]. 应用生态学报,2017,28(7):2261-2268.
- [37] Wang Y P,Adnan A,Wang X C,et al. Nutrient recycling,wheat straw decomposition,and the potential effect of straw shear strength on soil mechanical properties[J]. Agronomy,2020,10(2):314.
- [38] 刘原伯,吴景贵. 不同部位玉米植株残体在土壤中腐解及养分释放特征[J]. 吉林农业大学学报,2024,46(5):740-747.

(下转第 18 页)

本刊加入有关数据库的特别声明

为了适应我国期刊信息化建设的需要和扩大作者学术交流渠道,实现期刊编辑、出版工作的网络化与数字化,提高作者所发表论文的被引频次与影响力,本刊已加入《中国学术期刊(光盘)》、“中国期刊网”“万方数据—数字化期刊群”、重庆维普“中文期刊数据库”、超星期刊“域出版”平台和国家科技学术期刊开放平台等。作者无需另外支付网络编审费。作者著作权使用费与本刊稿酬由本刊编辑部一次性给付作者。如作者不同意编入上述数据库,请务必提供书面说明。所刊载文献被以各种形式转载时请注明来源于本刊。

《大麦与谷类科学》杂志编辑部

党俊华,莫 丹,尤 强,等. “汉中大米”订单水稻品种筛选试验及综合评价[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(4):13-18(2026-05-12). DOI:10.14069/j.cnki.32-1769/s.2026.04.003.

“汉中大米”订单水稻品种筛选试验及综合评价

党俊华,莫 丹,尤 强,赵胜利*,王 冉

(汉中市农业技术推广与培训中心,陕西 汉中 723000)

摘要:以订单农业模式为根本导向,立足汉中盆地独特的生态气候条件,着力解决“汉中大米”区域公共品牌在产业发展中品种同质化、稳定性不足等问题,于 2025 年开展了“汉中大米”订单水稻品种筛选试验。试验征集来自汉中米业企业及种业企业提供的共 10 个优质订单水稻品种,对各参试品种的生育期、抗倒伏性、粒型及品质等关键农艺性状和品质性状进行全面鉴定与系统评价。通过科学筛选、综合评估,初步筛选出 3 个品种,即泰香 8 号、汉香优 755、荷香 106,推荐作为 2026 年“汉中大米”订单农业的主推品种,可在汉中地区进一步示范种植并推广应用。

关键词:汉中大米;订单农业;品种筛选;米质分析

中图分类号:S511

文献标志码:B

文章编号:1673-6486-20260034

水稻是汉中市主要粮食作物^[1],2015 年“汉中大米”获国家农产品地理标志认证,成为陕西省首个主粮产品地理标志和本省唯一的整市推进地标农产品^[2]。“汉中大米”对于提高农民收入、优化农业结构、推动地方经济发展具有重要意义。然而,进入新发展阶段,“汉中大米”产业面临着前所未有的机遇与挑战。从外部看,消费升级趋势明显,消费者对大米的品质、口感、安全性及品牌附加值提出了更高要求。从内部看,产业长期存在一些制约发展的瓶颈:一是品种结构单一,主栽品种同质化严重,缺乏具有市场竞争力的标志性高端品种;二是品质稳定性差,在不同区域、不同栽培模式下,稻米食味品质波动较大,难以满足高端订单客户的严苛标准;三是产业链协同不足,种植端与加工销售端脱节,“优质不优价”现象普遍存在^[3]。这些弊端在一定程度上限制了订单农业的进一步发展以及汉中大米产业的多元化提升。

近年来,随着品牌农业的兴起,国内部分学者开始关注“订单式”育种与推广模式,强调品种与市场的精准对接。国内外关于水稻品种筛选的研究主要集中于产量、抗性等单一维度,或以区域生态适

应性为主要考量。目前针对“汉中大米”这一特定区域品牌,系统性开展以订单需求为导向,整合品质、抗性、食味等多项指标的综合性筛选研究文献很少。本试验立足产业发展实际,以订单农业模式作为水稻品种筛选的核心导向。订单模式以市场需求为牵引,严格执行 T/HZLS 001—2023《汉中大米团体标准》中关于整精米率不低于 58%、食味值不低于 80 分、垩白粒率不超过 10% 等核心指标,保障订单收购稻谷品质达标,精准捕捉客户对米型、口感、加工出米率等具体指标的要求,从而指导“汉中大米”订单种植精准化、标准化的品种选育与推广。试验对汉中米业企业及种业企业提供的优质订单水稻品种进行生育期、抗倒伏性、粒型及品质等性状鉴定,筛选出适宜在汉中不同区域、不同栽培方式下的优质订单水稻品种,为“汉中大米”品牌建设提供食味优良、生产安全、抗逆性强的品种支撑,推动产业从“产量导向”向“质量和品牌导向”转型,实现产业增效、农民增收。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于陕西省汉中市汉台区皇塘村五组(107°01'E、33°12'N),该区域属北亚热带湿润季风气候,年均气温 14.3℃,年降水量 800~1 000 mm,无霜期 240 d 左右,土壤为黄褐土,pH 值 6.2~6.8,有机质质量分数 1.8%~2.3%,排灌条件良好,肥力

收稿日期:2026-03-25;修回日期:2026-04-28。

作者简介:党俊华(1976—),男,农艺师,主要从事农业技术推广工作。Email: 513635234@qq.com。

* 通信作者:赵胜利(1982—),男,硕士,高级农艺师,主要从事农作物栽培技术研究工作。Email: 187270115@qq.com。

水平中等偏上,田块肥力均匀,具有典型汉中盆地水稻种植生态特征^[4]。试验田前茬作物经过匀地种植,秧田不做当季试验田。

1.2 试验材料

参试品种均达到国家优质水稻品种品质,参试水稻品种共 10 个,其中华夏香丝、荷香 106 为常规籼型水稻品种,其余品种为杂交水稻品种,均已通过国审、省审或同生态区品种引种(表 1)。

1.3 试验设计

试验单向设计,不设重复,设对照,11 个小区,

随机排列,小区面积 333.4 m²,长宽比 3 : 1,插植规格同区域试验。对照(CK)品种为川优 6203^[5-6]。

试验田选择当地有代表性水稻土壤、肥力水平中等偏上、排灌方便、形状规整、大小合适、肥力均匀的田块。土壤基本理化性状为:pH 值 6.68,有机质含量(质量分数,下同)20.8 g/kg、全氮含量 1.34 g/kg、有效磷含量 20.9 mg/kg、碱解氮含量 123.45 mg/kg、速效钾含量 119.69 mg/kg。采用机插秧种植方式集中种植,栽培管理按照当地农户种植习惯。

表 1 供试品种来源及类型

品种名称	品种来源	品种类型	米质等级 / 级
甜香优 2115	汉中现代农业科技有限公司	杂交稻	—
华夏香丝	湖南禾之香农业科技有限公司	籼型常规	二
荷香 106	湖南禾之香农业科技有限公司	籼型常规	二
汉香优 755	汉中市谷仓农业科技有限公司	杂交稻	二
钰香优 2025	汉中南郑区裕丰农机服务专业合作社	杂交稻	二
泰香 8 号	汉中现代农业科技有限公司	杂交稻	一
泸优臻占	陕西金色川汉农业发展有限公司	杂交稻	三
粒立香优臻占	福建六三种业有限责任公司	杂交稻	二
泰优 1138	汉中三丰种业有限责任公司	杂交稻	一
奥富优 287	汉中市谷仓农业科技有限公司	杂交稻	二
川优 6203	四川省农业科学院作物研究所	杂交稻	二

1.4 数据统计与处理

记录各参试品种的播种期、移栽期等生育期,计算全生育期^[7];田间观察记载各品种长势、倒伏情况以及稻瘟病、稻曲病、纹枯病等病害发生情况;参考农作物品种试验记载标准(如《水稻品种试验记载标准》和 GB/T 19557.7—2022《植物品种特异性(可区别性)、一致性和稳定性测试指南 水稻》等)。成熟期适时收获并进行考种,统计各品种每穗总粒数、结实率、千粒质量等;小区单收、单打,折合计算品种单位面积产量^[8]。

稻谷加工品质与外观品质分析参照国家标准进行。出糙率按 GB/T 5495—2008《粮油检验 稻谷出糙率检验》测定,整精米率按 GB/T 21719—2008《稻谷整精米率检验法》测定,外观指标按 GB/T 17891—2017《优质稻谷》执行:随机选取整精米,目测统计垩白粒率与垩白度,用游标卡尺测量粒长与粒宽计算长宽比,并按标准图谱比对透明度等级^[9-10]。

感官品鉴及综合评分是邀请该领域相关专家,

根据 GB/T 15682—2008《粮油检验稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》对所有品种进行感官评价打分,包含该品种的气味、外观、适口性、冷饭质地等。

2 结果与分析

2.1 参试品种的生育期

由表 2 可知,参试品种全生育期集中在 146 ~ 156 d,齐穗期均在 8 月 20 日之前,达到汉中地区水稻安全齐穗期 8 月 20 日前的要求,适配汉中地区单季稻的种植制度,能够安全齐穗和成熟。由表 2 可知,泸优臻占生育期最长,达 156 d,较川优 6203 (CK)生育期多 2 d;钰香优 2025、泰香 8 号、粒立香优臻占全生育期与 CK 一致,均为 154 d;华夏香丝、奥富优 287 的生育期均为 153 d,较 CK 少 1 d;甜香优 2115、汉香优 755、泰优 1138 生育期均为 147 d,较 CK 少 7 d;荷香 106 生育期最短(146 d),较 CK 少 8 d。

表 2 供试水稻品种生育期

品种名称	始穗期(月-日)	齐穗期(月-日)	成熟期(月-日)	全生育期/d
甜香优 2115	07-27	07-31	09-02	147
华夏香丝	08-02	08-06	09-08	153
荷香 106	07-26	07-30	09-01	146
汉香优 755	07-27	07-31	09-02	147
钰香优 2025	08-03	08-07	09-09	154
泰香 8 号	08-03	08-07	09-09	154
泸优臻占	08-05	08-09	09-11	156
粒立香优臻占	08-03	08-07	09-09	154
泰优 1138	07-27	07-31	09-02	147
奥富优 287	08-02	08-06	09-08	153
川优 6203(CK)	08-03	08-07	09-09	154

2.2 参试品种的抗倒性

按照气象资料记载,2025 年 8 月份汉中有晴天 5 d、阴天 1 d、小雨 14 d、大雨 1 d、中雨 2 d、多云 8 d,下雨天数共 17 d,占比达 55%,此时正是水稻生育后期,雨水显著增加,在 9 月 5 日出现大风大雨,周围很多品种发生倒伏,这样的天气对品种的抗倒性进行了天然的筛选(表 3)。甜香优2115、汉香优 755、泰香 8 号和荷香 106 抗倒伏性较强,其他品种均有倒伏。

表 3 供试水稻品种抗倒性

品种名称	抗倒性	筛选未倒伏品种
甜香优 2115	强	√
华夏香丝	倒伏	
荷香 106	强	√
汉香优 755	强	√
钰香优 2025	倒伏	
泰香 8 号	强	√
泸优臻占	倒伏	
粒立香优臻占	倒伏	
泰优 1138	倒伏	
奥富优 287	倒伏	
川优 6203(CK)	倒伏	

2.3 加工品质与外观品质分析

结合生育期、抗倒性等指标综合评定(表 4),对甜香优 2115、荷香 106、汉香优 755、泰香 8 号品种进行实际测产和加工品质、外观品质分析。

由表 4 的产量数据可知,有 3 个品种较 CK 增产,其中产量最高的是甜香优 2115,实际产量 587.0 kg/667 m²,较 CK 增产 10.75%;汉香优 755 实际产量 586.2 kg/667 m²,较 CK 增产 10.60%;荷香 106 实际产量 558.5 kg/667 m²,较 CK 增产 5.38%;泰香 8 号实际产量 526.1 kg/667 m²,较 CK 减产 0.74%。2026 年春天干旱,插秧期缺水,以致插秧期较往年晚 10 d 左右,试验基地收获较早,所以产量指标仅作为一个参考指标。

由表 4 可知,4 个品种加工指标中出米率最高的是荷香 106(70%),与 CK 一致;甜香优 2115 出米率 69.2%、汉香优 755 出米率 67.0%、泰香 8 号出米率 66.1%,均低于 CK。4 个品种的整精米率均高于 CK,其中甜香优 2115 整精米率 57.1%、荷香 106 整精米率 55.1%、汉香优 755 整精米率 50.0%、泰香 8 号整精米率 48.2%。4 个品种长宽比最大的是荷香 106,长宽比为 4.7,泰香 8 号长宽比(4.4)次之,汉香优 755 长宽比 3.9、甜香优 2115 长宽比 3.5。

2.4 食味品质理化指标分析

食味品质是“汉中大米”品牌的核心竞争力。本研究测定了关键的理化指标(表 5),4 个品种食味值中,汉香优 755 食味值(88 分)最高,泰香 8 号食味值(86 分)次之,荷香 106 食味值 84 分,甜香优 2115 食味值 75 分。蛋白质含量(质量分数)甜香优 2115(9.7%)最高,荷香 106(8.7%)次之,泰香 8 号和汉香优 755 的蛋白质含量分别是 8.2%和 7.6%。直链淀粉含量(质量分数)从高到低依次是汉香优 755 (19.3%)、荷香 106(19.2%)、泰香 8 号(18.6%)、甜

香优 2115(18.4%)。直链淀粉含量是决定稻米食用品质的关键因素之一,其高低直接影响米饭的硬度、黏性和光泽度。一般来说,直链淀粉含量较低的大米,煮出的米饭较为软糯、黏性较好,冷饭不易回生;而直链淀粉含量较高的大米,煮出的米饭则相对松散、硬度较大。如 T/SZX 004—2026《地理标志产品质量要求 汉中大米》标准要求直链淀粉质量分

数在 14.0%~20.0%,这 4 个品种都在范围之内。

2.5 感官品鉴及综合评分表

为精准评估参试品种的终端市场价值与消费者接受度,把生产上目前正在推广的 5 个优质水稻品种纳入感官评价体系,最终泰优 1138 排第 1 位,荷香 106 排第 2 位,泰香 8 号排第 3 位,汉香优 755 排第 7 位,华夏香丝排第 8 位(表 6)。

表 4 加工品质与外观品质分析

品种名称	产量/(kg/667 m ²)	出米率/%	整精米率/%	蛋白质质量分数/%	长宽比
甜香优 2115	587.0	69.2	57.1	9.7	3.5
荷香 106	558.5	70.0	55.1	8.7	4.7
汉香优 755	586.2	67.0	50.0	7.6	3.9
泰香 8 号	526.1	66.1	48.2	8.2	4.4
川优 6203(CK)	530.0	70.0	46.0	10.8	3.5

表 5 食味值理化指标分析

品种名称	食味值/分	蛋白质质量分数/%	直链淀粉质量分数/%
甜香优 2115	75	9.7	18.4
荷香 106	84	8.7	19.2
汉香优 755	88	7.6	19.3
泰香 8 号	86	8.2	18.6
川优 6203(CK)	89	10.8	18.1

表 6 供试品种感官评价打分排序

品种名称	甜香优 2115	华夏香丝	荷香 106	汉香优 755	泰香 8 号	奥富优 287	泰优 1138	川优 6203(CK)
感官评价/分	88.69	87.88	90.49	88.27	89.50	88.54	90.85	88.77
排序	5	8	2	7	3	6	1	4

3 讨论与结论

本研究以“汉中大米”订单农业模式为核心导向,立足汉中地域独特生态条件,于 2025 年在汉中市汉台区皇塘优质水稻示范基地开展优质水稻品种筛选试验,全程克服了极端天气带来的不利影响,系统完成了参试品种的多性状鉴定与综合评价。

2025 年试验期间,汉中极端天气频发,对水稻生长及试验开展造成显著影响:5 月份以来,持续高温少雨,降水量较常年同期偏少 8 成,旱情对农业生产构成直接威胁,尤其水稻移栽至抽穗关键期,高温失水导致皇塘基地齐穗期较往年推迟 10 d 左右,8 月下旬至 9 月持续连阴雨,长期的雨水浸泡与吹风天气,进一步对参试品种的抗倒伏性进行了严

格检验。尽管面临上述不利气候条件,但试验结果表明:所有参试品种均在 8 月 20 日之前安全齐穗,生育期均符合汉中水稻生产需求,展现出良好的区域生态适应性,为后续品种筛选与推广奠定了基础。

抗倒伏性作为水稻产量、品质保障的关键指标,也是本次订单品种筛选的“一票否决”项,经田间自然考验与系统鉴定,甜香优 2115、汉香优 755、泰香 8 号、荷香 106 抗倒伏能力突出,综合抗逆性优势显著,成为后续重点评价的核心品种。

针对上述 4 个抗倒伏性突出的品种,进一步开展产量、加工品质、食味品质等指标的系统检测与综合评价,结果显示:4 个品种在产量和加工指标方面表现均比较优秀,整体符合“汉中大米”订单生产的品质要求。尤其是汉香优 755 食味值(88 分)最

高、泰香8号食味值(86分)次之,荷香106食味值84分,甜香优2115食味值75分。

为进一步贴合订单市场对稻米食味品质与商品外观的需求,本研究对其中的3个品种汉香优755、泰香8号、荷香106,以及米质达1级的泰优1138、常规品种华夏香丝及汉中目前生产上正在推广种植的优质稻品种进行感官评价打分,评价结果显示,荷香106感官评价得分90.49,排第2名;泰香8号感官评价得分89.50,排第3名;汉香优755感官评价得分88.27,排第7名;三者均展现出较好的市场接受度。

在外观品质方面,荷香106、泰香8号、汉香优755的长宽比均达到了3.5以上,甜香优2115长宽比3.5,均符合优质籼米的外观标准,具备良好的商品特性。

结合本次试验核心筛选标准,以抗倒伏性为首要否决指标,严格参照T/SZX 004—2026《汉中大米质量标准》,食味值80分以上、长宽比达3.5以上等指标要求,综合考量品种的生态适应性、产量表现、加工品质、食味品质及感官评价结果,最终推荐泰香8号、荷香106、汉香优755作为汉中大米订单模式主推品种。甜香优2115虽抗倒伏性与丰产性表现突出,但其食味值未达到80分标准,食味品质稍显不足,建议下年度继续纳入试验,进一步开展栽培技术优化或品种改良试验,提升其食味品质后再考虑推广应用。

本次“汉中大米”订单品种筛选试验,精准对接订单农业市场需求,为汉中水稻订单农业提供了适宜的优质品种选择,对推动当地稻米产业提质增效、实现可持续发展具有重要意义。优良品种作为产业发展的核心基础,不仅为水稻精深加工与全产业链延伸奠定了原料保障,更通过提升稻米品质与特色,进一步强化了“汉中大米”区域公用品牌的核心竞争力。2025年,“汉中大米”成功入选“陕西好粮油”产品名录,并获得国家地理标志保护产品认定,

品牌建设取得实质性进展。同时,汉中市依托“米业企业+种业企业+农技中心+合作社+农业服务公司+农业保险”的六方联动机制,2025年落实优质稻订单面积达10 053.8 hm²,有效推动了新型农业经营体系的构建与完善。本次试验筛选出的3个主推品种,将为该联动机制的顺利推行、订单农业的规模化发展提供关键品种支撑,助力“汉中大米”品牌价值提升与产业高质量发展。

综上,结合本次试验所有检测数据、田间表现及综合评价结果,最终推荐泰香8号、汉香优755、荷香106作为2026年“汉中大米”订单农业的主推品种,结合区域生态条件与栽培方式,在汉中各水稻主产区进行规模化推广种植;同时持续开展品种跟踪试验,不断优化筛选体系,为“汉中大米”产业持续健康发展提供长期的品种保障。

参考文献:

- [1] 张文明. 水稻[M]. 西安:三秦出版社,2014:5-6.
- [2] 潘光大,姚永成,朱 菲,等. 浅论汉中优质稻米产业化开发[J]. 农业科技通讯,2023(1):4-6,91.
- [3] 陈楠楠. 中国政策性农业保险支持粮食安全问题研究[D]. 长春:吉林大学,2023:2-8.
- [4] 马晓丽,张万春,史莉娜,等. 不同播量和秧龄对机插水稻秧苗素质的影响研究[J]. 陕西农业科学,2018,64(10):91-95.
- [5] 陆贤军,任光俊,高方远,等. 优质高产香型杂交水稻新组合川优 6203[J]. 杂交水稻,2011,26(6):89-90.
- [6] 钟光跃,兰发盛,王小波,等. 优质杂交水稻川优 6203 高产制种技术[J]. 杂交水稻,2015,30(5):20-21.
- [7] 叶 云. 无为市再生稻生产现状、存在问题及发展对策[J]. 基层农技推广,2023,11(8):131-134.
- [8] 骆方明. 高产杂交水稻品种展示示范试验[J]. 安徽农学通报,2024,30(11):24-27.
- [9] GB/T 17891—2017 优质稻谷[S].
- [10] GB/T 21719—2008 稻谷整精米率检验法[S].

Variety Screening and Comprehensive Evaluation of Varieties for “Hanzhong Rice” Contract Farming

Dang Junhua, Mo Dan, You Qiang, Zhao Shengli, Wang Ran
(Hanzhong Agricultural Technology Promotion and Training Center, Hanzhong 723000, China)

Abstract: Guided by the contract farming model and based on the unique agroecological conditions of the Hanzhong Basin, this study addresses variety homogenization and quality inconsistency constraining the “Hanzhong Rice” regional public brand. In 2025, a variety screening trial was conducted for “Hanzhong Rice” contract farming. Ten high-quality rice varieties, sourced from local rice mills and seed companies in Hanzhong, were evaluated for key agronomic and grain quality traits, including growth duration, lodging resistance, grain shape, and milling and eating quality. Through comprehensive assessment, Taixiang No.8, Hanxiangyou 755, and Hexiang 106 were selected and recommended as priority varieties for “Hanzhong Rice” contract farming in 2026, suitable for expanded demonstration and commercial production in the Hanzhong region.

Key Words: Hanzhong Rice; Contract farming; Variety screening; Rice quality analysis

(上接第 12 页)

Effects of Different Textures of Fluvo-aquic Soil on Decomposition Dynamics of Returned Maize Straw

Tian Shengying, Ding Yidong, Zhang Shanlei, Cui Xiaoping
(Suqian Institute of Agricultural Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Suqian 223800, China)

Abstract: Sandy and loamy soils are common types of fluvo-aquic soil found in the alluvial plains of the Yellow River. Due to differences in soil properties, the decomposition patterns of straw after incorporation vary between these soil types. A 270-day field experiment was conducted using the nylon mesh bag method to monitor changes in soil properties, nutrient release dynamics from straw, and material decomposition processes. The aim was to evaluate the effect of soil texture on straw decomposition, analyze the main factors influencing decomposition, and explore the soil straw environment interactions. The results showed that after straw incorporation, the trends in soil properties and straw decomposition characteristics over time were generally consistent in both sandy and loamy soils. Specifically, soil alkali-hydrolyzable nitrogen and available phosphorus contents decreased significantly with increasing incorporation time, while soil organic matter content increased significantly. Soil microbial biomass carbon and nitrogen initially decreased significantly and then continuously increased. By the 270th day of the experiment, the contents of organic matter, alkali-hydrolyzable nitrogen, available phosphorus and available potassium in the loamy soil were 6.18%, 25.83%, 5.51% and 5.15% higher than those in the sandy soil, respectively. Microbial biomass carbon and nitrogen contents in the loamy soil were 13.99% and 11.55% higher than those in the sandy soil, respectively. After straw incorporation, the contents of C, K, and cellulose in the straw gradually decreased, while N, P, and lignin contents showed enrichment. Differences in residual straw between the two soils gradually became significant. By the 270th day of the experiment, the straw decomposition rate in the loamy soil was 4.14% higher than that in the sandy soil. The residual rates of C, N, P, K, hemicellulose, cellulose and lignin in the straw of the loamy soil were 5.25%, 8.66%, 9.26%, 2.01%, 6.83%, 4.29% and 4.43% lower than those in the sandy soil, respectively. The differences in soil physicochemical properties between textures were the primary drivers of the divergent straw decomposition and nutrient release patterns. Sandy soils, in particular, require enhanced water and fertilizer management and more targeted straw incorporation strategies to accelerate decomposition and improve soil fertility.

Key Words: Fluvo-aquic soil; Corn straw; Soil texture; Soil properties; Decomposition characteristics

张书芳,杨卫君,赵立宁,等. 适宜新疆巴州小麦 – 玉米套播模式的玉米品种筛选[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(4):19–27(2026-08–20). DOI:10.14069/j.cnki.32–1769/s.2026.04.004.

适宜新疆巴州小麦 – 玉米套播模式的玉米品种筛选

张书芳¹,杨卫君^{1*},赵立宁¹,王 军²,金若成³,童俊飞¹,席宁居¹

(1. 新疆农业大学农学院,新疆 乌鲁木齐 830052;2. 巴州旭丰农业科技开发有限公司,新疆 库尔勒 841000;

3. 巴州农业农村机械化发展中心,新疆 库尔勒 841000)

摘要:为筛选适宜新疆巴州小麦 – 玉米套播种植模式的玉米品种,以 12 个玉米品种为供试材料,在套播模式(小麦、玉米行比 6 : 2)下进行田间种植,调查夏玉米株高、穗位高、产量等 13 个相关指标,通过方差分析、相关性分析、回归分析、灰色关联度分析,确定重点选择性状并筛选适宜套播的玉米品种。在套播模式下,玉米部分性状的变异系数表现为秃尖长(X_6)最大,穗位高(X_3)、叶片叶绿素 SPAD 值(X_{11})、穗粗(X_8)较小;利用逐步回归法建立了行粒数(X_4)、穗行数(X_5)和百粒质量(X_{10})与产量(y)的线性回归方程: $y=568.261X_{10}+826.526X_5+286.825X_4-18\,485.705$;通径分析结果显示,穗行数(X_5)对产量(y)的直接贡献最大,百粒质量(X_{10})和行粒数(X_4)对产量(y)的贡献较大,在田间玉米品种筛选中应重点考察百粒质量、穗行数和行粒数等性状;通过灰色关联度分析,筛选出 3 个玉米品种,即 KF2520、杰农 624、丰德玉 6 号在小麦 – 玉米套播中综合优势显著,可在巴州地区小麦 – 玉米套播中应用。

关键词:小麦 – 玉米套播;品种选择;灰色关联分析

中图分类号:S513

文献标志码:A

文章编号:1673–6486–20260037

我国农业正从规模扩张型向质量效益型转变^[1]。通过优化种植模式、筛选适配品种是保障粮食安全的重要举措。新疆是我国重要的粮食生产区,当前,围绕国家农业发展要求,新疆持续优化农业种植结构,不断推行高产高效种植模式^[2]。巴州是新疆农业的核心生产区,也是一季有余、两季不足的农业气候的典型代表区域^[3]。为保障粮食生产效益的提升,持续优化农业产业结构,推进农业规模化、集约化发展至关重要^[4]。该地区积极推动传统单一种植模式向多元种植模式的转变,推出“孜然 + 玉米”“孜然 + 棉花”“孜然 + 辣椒”等套播模式,实现了一地双收的良好效益,提升了土地、光热资源利用率,使得农户收入超过 1 000 元/667 m²,实现了农业增效、农民增收的双重成果。为解决在传统种植模式下,小麦收获后复播玉米,玉米籽粒未完全成熟就开始收获,从而导致玉米减产这一问题,巴州地区逐步推广小麦套种玉米模式来克服这一生产现状。

套种是依托作物生育期的差异,在同一地块种植多种不同作物,以此提高单位面积的作物产量与光、热、水、肥等农业资源的综合利用^[5],套种能提高耕地的利用率^[6]、土地复种指数^[7]和粮食产量^[8],有效缓解农业投入成本高^[9]、土壤养分利用率低等农业生产现状^[10]。刘广才等研究表明,通过将春小麦和春玉米进行套种,两熟超高产达 19.5 t/hm² 以上^[11–12]。隋鹏等研究表明,小麦玉米套种总产达 18 ~ 21 t/hm²,与单作相比,增产幅度高达 40% ~ 70%^[13–15]。张吉旺等研究表明,套种模式下,弱光胁迫使玉米干物质积累下降,导致减产^[16]。因此,小麦 – 玉米套种共生期内良好的群体结构是影响玉米苗期生长和小麦产量的关键,品种特性是合理的群体结构的基础^[17–18]。结合巴州地区气候条件,小麦 – 玉米套种宜选择高产、耐密、株高适中、株型紧凑的玉米品种。

目前,巴州地区每年推广的玉米品种多基于单播或复播条件筛选,但这些品种能否适合套播新模式未有研究报道。本研究以巴州小麦 – 玉米套播对玉米品种的要求(株高适中、丰产等)为目标,选取 12 个玉米品种为材料,在套播模式下测定其丰产性,初步筛选出该地区适种的套播玉米品种,为巴州地区小麦 – 玉米套播模式下玉米品种的应用和推广提供理论支持。

收稿日期:2026–04–15;修回日期:2026–07–09。

基金项目:新疆维吾尔自治区现代农业(小麦)产业技术体系项目(XARS-01–202623)。

作者简介:张书芳(1996—),女,硕士研究生,主要研究方向为作物栽培生理研究。Email: 15293377328@163.com。

* 通信作者:杨卫君(1984—),女,博士,教授,主要从事农田土壤生态研究。Email: 1984_ywj@163.com。

1 材料与方法

1.1 供试材料

为做好巴州地区小麦-玉米套播模式推广工作,本研究通过田间试验对来自不同育种公司的玉米品种(表1)进行初步筛选。

1.2 试验设计

试验于2025年3—10月在库尔勒市焉耆县上五号村试验基地(86°37′12″E、42°04′48″N)进行,海拔为1 070 m,土壤类型为砂壤土,有机质含量(质量分数,下同)21.83 g/kg、全氮含量1.57 g/kg、全

磷含量1.09 g/kg、全钾含量19.63 g/kg、碱解氮含量87.54 mg/kg、有效磷含量261.25 mg/kg、缓效钾含量1 931.84 mg/kg、速效钾含量271.76 mg/kg,pH值8.08。春小麦于3月5日种植,播种量为270 kg/hm²,夏玉米于春小麦开花前(5月25日)种植,套播模式为(75 cm+75 cm),行比配置为6行小麦:2行玉米,播种量为37.5 kg/hm²,玉米行距30 cm,每个品种的播幅面积为0.75 m×22 m,每个品种重复3次,种植密度为10.33万株/hm²。采用膜下滴灌,一膜一管,小麦行和玉米行的滴灌带分开设,便于共生期水肥调控。春小麦于7月10日收获,夏玉米于10月10日收获。

表1 试验品种简介

品种名称	经销商	品种名称	经销商
存玉 888	新疆丰德种业有限公司	LS111	新疆爱科农科技有限公司
丰德玉 6 号	新疆丰德种业有限公司	R1831	乌鲁木齐润德同辉种业有限公司(代销)
杰农 624	新疆杰农种子有限责任公司	长城 382	三北种业选育
C3288	乌鲁木齐润德同辉种业有限公司(代销)	KF2517	乌鲁木齐润德同辉种业有限公司(代销)
KWS2162	乌鲁木齐润德同辉种业有限公司(代销)	KF2520	乌鲁木齐润德同辉种业有限公司(代销)
KWS1431	乌鲁木齐润德同辉种业有限公司(代销)	富尔 224	新疆爱科农科技有限公司

1.3 测定项目与方法

1.3.1 植株形态的测定。不同玉米品种于成熟期测定株高、茎粗、穗位高;其中株高为地面到植株自然状态的高度,茎粗测定基部最宽处,用钢卷尺测量玉米植株的株高、穗位高,用游标卡尺测量玉米植株的茎粗。分别在每个重复中取10株玉米带回实验室考种,测量套播模式下玉米的穗行数、行粒数、秃尖长、穗长、穗粗、轴质量、百粒质量,换算为含水率14%条件下的产量。

1.3.2 群体冠层测定。在玉米灌浆期,利用 sunscan 冠层分析仪于晴天10:00—12:00进行测定,在每个品种的穗位部测定3次,再测定玉米群体顶层(距离玉米10 cm处)的光合有效辐射,计算透光率(L_i):利用公式计算不同品种玉米的冠层透光率。

$$L_i = \frac{P}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: P 、 T 分别为穗位层、顶层(无遮挡时)光合有效辐射量[$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]。

1.3.3 SPAD 值测定。在成熟期使用 SPAD-502 型便携式叶绿素仪测定玉米穗位叶的 SPAD 值,每个重复随机连续取3株,记录3组稳定数值取平均值。

1.4 数据处理及分析方法

采用 Excel 2019 软件对数据进行初步分析,

DPS 数据处理软件对数据进行显著性分析,SPSS 20.0 数据分析软件对指标进行变异性分析、相关性分析、回归分析和主成分分析。采用灰色关联度法对玉米进行综合评价。

灰色关联分析参考杜伟莉等的方法^[9]。

公式如下:

$$\xi_i(K) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(K) + \rho \Delta_{\max}}; \quad (2)$$

$$r_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(K)。 \quad (3)$$

式中: $\Delta_{0i}(K) = |X_0(K) - X_i(K)|$,表示 k 时刻两序列的绝对差值, $\Delta_{\max} = \max_{0 \leq i} |X_0(K) - X_i(K)|$ 和 $\Delta_{\min} = \min_{0 \leq i} |X_0(K) - X_i(K)|$ 分别表示所有比较序列各个时刻绝对差中的最小值和最大值。 ρ 为分辨系数,一般取0.5。 n 为比较序列的长度(即数据个数)。

$$x_{ij} = 1 - \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}}; \quad (4)$$

$$x_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}}; \quad (5)$$

$$x_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{ij}。 \quad (6)$$

式中: X_{ij} 指 i 品种胁迫处理的 j 性状测定值; $X_{\min}$ 和 $X_{\max}$ 指所有品种 j 性状胁迫处理测定值中的最小值、最大值, X_j 指 i 品种胁迫处理 j 性状的具体隶属值。所有计算均采用 DPS 软件进行。

2 结果与分析

2.1 套播模式下不同玉米品种农艺性状

由表 2 可知,不同玉米品种的株高、穗位高差异具统计学意义。各品种株高在 223.3 ~ 290.0 cm; LS111 的株高最低,与富尔 224 间的差异无统计学意义。茎粗在 1.7 ~ 2.0 cm,各品种间差异无统计学意义。穗位高最低为 85.0 cm(KWS2162),最高为 126.0 cm(存玉 888);其中:KWS2162 穗位高与 KWS1431 差异无统计学意义。

由表 3 可知,12 个玉米品种的行粒数、穗行数、

秃尖长、穗长、穗粗 5 个穗部农艺性状存在差异。行粒数为 29.0 ~ 39.0 粒/行。KF2517 行粒数最多,与丰德玉 6 号差异无统计学意义,但显著高于 KWS2162、KWS1431、富尔 224 ($P < 0.05$);KWS2162 行粒数最少。穗行数在 13.7(KF2520) ~ 19.0 行/穗(存玉 888),其他品种在 14.3 ~ 16.7 行/穗。KWS1431 秃尖长最长,与富尔 224、C3288、LS111、R1831、KF2517 差异均无统计学意义;存玉 888、丰德玉 6 号、KF2520 秃尖长较短。长城 382 穗长最长,与丰德玉 6 号、杰农 624、R1831、KF2520、KWS1431、LS111、存玉 888 等的差异无统计学意义,与 C3288、KWS2162、KF2517、富尔 224 的差异具统计学意义 ($P < 0.05$);KWS2162 穗长最短。杰农 624 穗粗最大,与存玉 888、R1831 等差异无统计学意义,与 KWS1431、KF2520 等的差异具统计学意义 ($P < 0.05$)。

表 2 供试 12 个玉米品种茎的农艺性状

品种	株高 /cm	茎粗 /cm	穗位高 /cm
存玉 888	260.3 ± 0.58 de	1.9 ± 0.22 a	126.0 ± 9.64 a
丰德玉 6 号	272.3 ± 4.51 bc	2.0 ± 0.17 a	117.0 ± 6.43 abc
杰农 624	248.6 ± 1.53 ef	2.0 ± 0.17 a	104.3 ± 7.23 cde
C3288	244.0 ± 5.80 f	2.0 ± 0.19 a	100.0 ± 9.17 def
KWS2162	245.7 ± 4.36 f	1.8 ± 0.05 a	85.0 ± 9.54 g
KWS1431	241.3 ± 6.08 g	1.7 ± 0.19 a	85.3 ± 2.08 g
LS111	223.3 ± 15.00 h	1.9 ± 0.20 a	89.7 ± 0.57 fg
R1831	265.0 ± 4.16 cd	2.0 ± 0.09 a	107.3 ± 9.71 bed
长城 382	252.0 ± 8.54 ef	1.8 ± 0.22 a	107.3 ± 1.15 bed
KF2517	290.0 ± 9.71 a	1.9 ± 0.07 a	119.0 ± 11.53 ab
KF2520	282.3 ± 4.04 ab	2.0 ± 0.15 a	112.7 ± 6.11 abcd
富尔 224	231.0 ± 1.73 gh	1.7 ± 0.16 a	92.0 ± 7.21 efg

注:同列数据后不同小写字母表示不同玉米品种间差异具统计学意义 ($P < 0.05$)。表 3 至表 5 同。

表 3 供试 12 个玉米品种穗部性状

品种	行粒数 /(粒/行)	穗行数 /(行/穗)	秃尖长 /cm	穗长 /cm	穗粗 /cm
存玉 888	33.0 ± 1.73 abcd	19.0 ± 1.00 a	1.3 ± 0.96 b	16.1 ± 0.22 abcd	4.7 ± 1.76 ab
丰德玉 6 号	38.0 ± 2.65 a	14.7 ± 0.58 c	1.3 ± 0.34 b	18.7 ± 2.35 ab	4.8 ± 0.35 abc
杰农 624	36.0 ± 1.53 abc	15.0 ± 1.73 bc	1.5 ± 0.65 b	18.6 ± 1.62 ab	5.0 ± 0.33 a
C3288	36.0 ± 3.60 abc	16.7 ± 1.15 b	2.0 ± 0.10 ab	15.3 ± 1.90 bcd	4.7 ± 2.54 bcd
KWS2162	29.0 ± 3.21 d	14.0 ± 1.00 c	1.3 ± 0.25 b	13.4 ± 0.81 d	4.7 ± 0.30 bcd
KWS1431	31.0 ± 2.65 bcd	14.3 ± 0.58 c	3.1 ± 1.00 a	16.4 ± 2.23 abcd	4.5 ± 1.31 d
LS111	36.0 ± 7.00 abc	15.0 ± 1.00 bc	2.0 ± 0.32 ab	16.1 ± 1.51 abcd	4.7 ± 1.16 bcd
R1831	37.0 ± 3.00 ab	14.3 ± 0.58 c	2.1 ± 0.36 ab	17.9 ± 1.23 abc	4.9 ± 0.30 ab
长城 382	35.0 ± 3.21 abc	15.0 ± 1.00 bc	1.5 ± 0.65 b	19.1 ± 4.62 a	4.6 ± 1.07 bcd
KF2517	39.0 ± 1.00 a	14.3 ± 0.58 c	2.1 ± 0.67 ab	14.9 ± 2.06 cd	4.8 ± 1.03 ab
KF2520	37.0 ± 2.65 ab	13.7 ± 1.53 c	1.3 ± 0.69 b	17.1 ± 0.20 abc	4.6 ± 1.61 cd
富尔 224	31.0 ± 1.53 cd	14.7 ± 0.58 c	2.6 ± 0.28 a	14.5 ± 1.18 cd	4.8 ± 2.55 abcd

由表 4 可知,不同品种玉米的 SPAD 值为 22.7 ~ 54.9。KF2520 的 SPAD 值最高,与 LS111、长城 382、KF2517、富尔 224、杰农 624、C3288、R1831 差异无统计学意义。丰德玉 6 号的 SPAD 值最低,与其他品种间的差异均具统计学意义($P<0.05$)。不同品种玉米穗位叶的透光率在 25.0% ~ 60.3%。KF2520 与 KWS1431 透光率较高,两者之间差异无统计学意义;杰农 624 透光率最低。

由表 5 可知,套播模式下 12 个玉米品种的产量为 9 335.73 ~ 19 696.18 kg/hm²。R1831 产量最高,与其他品种相比差异均有统计学意义($P<0.05$);存玉 888 产量最低,与其他品种间的差异具统计学意义($P<0.05$)。

表 4 供试 12 个玉米品种 SPAD 值与透光率

品种	SPAD 值	透光率 /%
存玉 888	28.7 ± 2.58 c	42.3 ± 1.2 bc
丰德玉 6 号	22.7 ± 1.01 d	47.3 ± 0.6 b
杰农 624	52.8 ± 2.84 ab	25.0 ± 2.0 d
C3288	52.1 ± 1.47 ab	32.3 ± 6.7 cd
KWS2162	48.0 ± 0.35 b	31.0 ± 14.7 cd
KWS1431	48.9 ± 2.34 b	60.0 ± 11.1 a
LS111	51.1 ± 3.68 ab	35.0 ± 1.3 cd
R1831	52.3 ± 0.46 ab	46.3 ± 7.0 b
长城 382	51.9 ± 3.86 ab	33.7 ± 4.0 cd
KF2517	53.0 ± 4.95 ab	32.0 ± 1.2 cd
KF2520	54.9 ± 2.47 a	60.3 ± 1.2 a
富尔 224	52.1 ± 2.03 ab	31.7 ± 2.9 cd

表 5 供试 12 个玉米品种产量

品种	产量 /(kg/hm ²)
存玉 888	9 335.73 ± 46.17 j
丰德玉 6 号	14 223.17 ± 34.19 g
杰农 624	17 514.81 ± 27.93 c
C3288	15 868.73 ± 112.64 e
KWS2162	11 860.69 ± 23.52 i
KWS1431	14 838.18 ± 138.70 f
LS111	13 577.59 ± 208.79 h
R1831	19 696.18 ± 595.35 a
长城 382	13 767.57 ± 71.96 h
KF2517	18 361.20 ± 33.15 b
KF2520	16 251.59 ± 279.80 d
富尔 224	13 599.32 ± 51.85 h

2.2 套播模式下玉米不同性状的变异分析

由表 6 可知,各指标的变异系数表现为:不同玉米品种秃尖长的变异系数最大(31.70%),说明在遗传因素和环境因素中品种间秃尖长差异最大;透光率、产量、穗轴质量、穗长次之,表明其在遗传因素和环境因素品种间差异较大;而不同品种间穗粗、百粒质量、行粒数、株高、叶绿素和穗位高差异不明显(变异系数 3.53% ~ 9.01%)。

表 6 玉米不同性状的变异系数

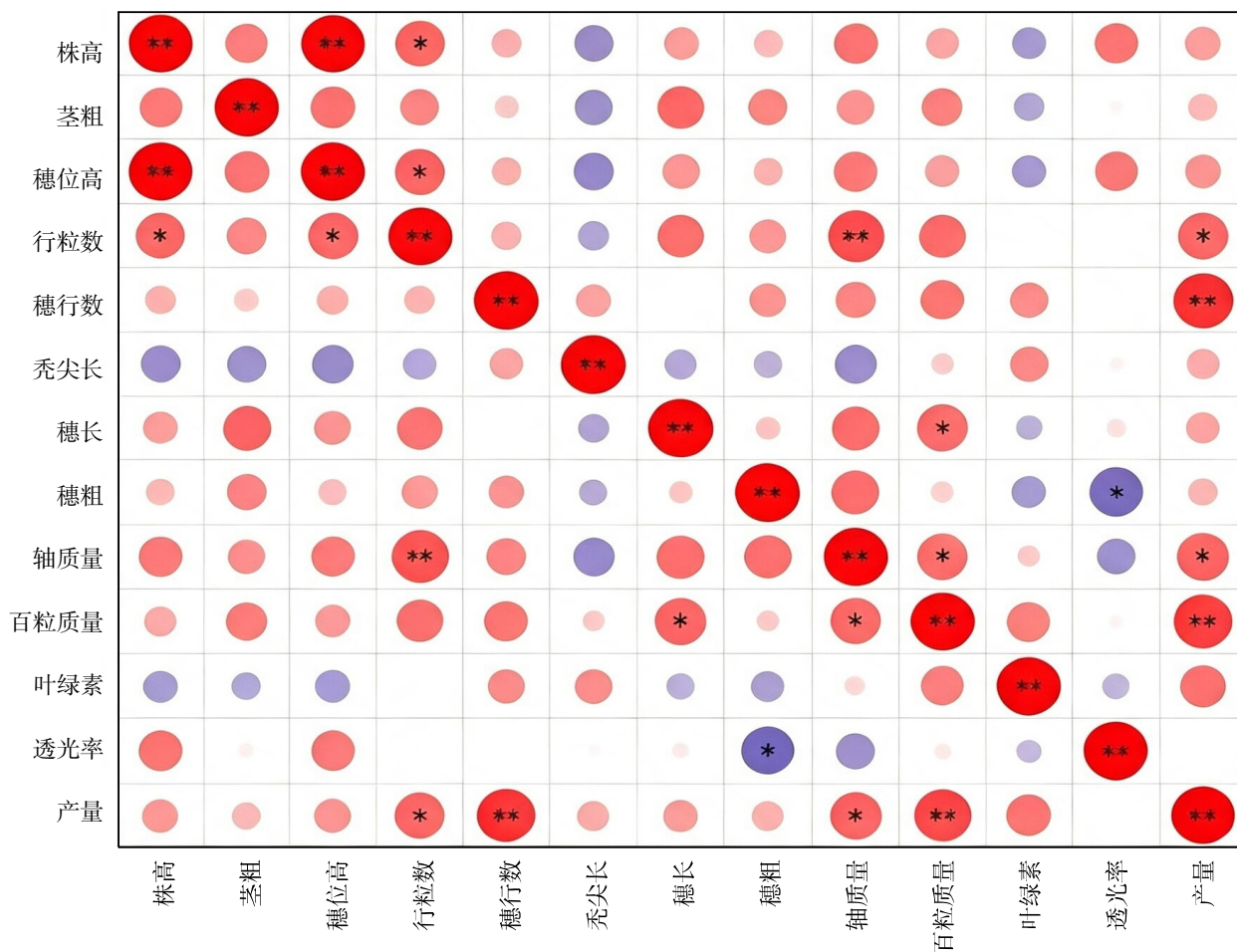
性状	极小值	极大值	均值	标准差	变异系数 /%
X_1 /cm	290.00	223.30	256.65	19.39	7.60
X_2 /cm	1.41	2.00	1.83	0.18	9.56
X_3 /cm	126.00	85.00	106.00	10.18	7.45
X_4 (粒/行)	29.00	39.00	34.60	3.10	8.88
X_5 (行/穗)	12.00	20.00	14.92	2.02	13.55
X_6 /cm	1.30	3.10	1.84	0.58	31.70
X_7 /cm	11.90	17.70	14.67	2.07	14.09
X_8 /cm	4.40	5.00	4.75	0.17	3.53
X_9 /g	11.20	21.80	16.20	2.99	18.44
X_{10} /g	23.90	33.00	29.71	2.68	9.01
X_{11} (SPAD 值)	42.70	54.90	50.71	3.22	6.35
X_{12} /%	24.90	60.00	42.87	9.17	21.40
y /(kg/hm ²)	9 290.20	20 378.00	14 950.34	2 978.33	19.92

注: X_1 —株高; X_2 —茎粗; X_3 —穗位高; X_4 —行粒数; X_5 —穗行数; X_6 —秃尖长; X_7 —穗长; X_8 —穗粗; X_9 —穗轴质量; X_{10} —百粒质量; X_{11} —SPAD 值; X_{12} —透光率; y —产量。下同。

2.3 套播模式下玉米品种的部分性状和产量的相关性分析

图 1 显示, 套播模式下不同品种玉米的产量 (y) 与其他农艺性状均呈正相关, 其中与穗行数 (X_5)、百粒质量 (X_{10}) 均呈极显著正相关, 与行粒数 (X_4)、轴质量 (X_9) 呈显著正相关, 与其他性状的相关性不显著; 株高 (X_1) 与穗位高 (X_3) 呈极显著正相关,

与行粒数呈显著正相关; 秃尖长 (X_6) 与穗长 (X_7) 呈负相关; 行粒数 (X_4) 与株高、穗位高、产量呈显著正相关, 与轴质量呈极显著正相关。相关性分析显示, 穗行数、行粒数、百粒质量、轴质量是影响产量的关键因子, 也表明提升玉米的这 4 个性状是实现高产的重要途径。



图中红色表示正相关, 蓝色表示负相关; 颜色越深, 相关性越强。*、** 分别表示在 $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 水平上显著相关

图 1 套播模式下玉米品种的部分性状和产量的相关性分析

2.4 玉米产量与农艺性状的回归分析

从表 7 可得回归模型方程为 $y=568.261X_{10}+826.526X_5+286.825X_4-18\ 485.705$, 显著性检验结果表明, 百粒质量 (X_{10})、穗行数 (X_5)、行粒数 (X_4) 这 3 个性状的显著性检验均小于 0.05, 说明这 3 种因子对产量 (y) 具有显著影响, 所建立的回归方程具有统计学意义。

由表 8 可知, 百粒质量 (X_{10})、穗行数 (X_5)、行粒数 (X_4) 对产量 (y) 的直接途径系数分别为 0.510、0.561、0.296。结果表明, 对产量直接贡献最大的是

穗行数, 最小的是行粒数, 其他构成因子因贡献较弱, 未纳入途径分析。结合表 8 可见, 行粒数 (X_4) 通过调节穗行数 (X_5) 对产量产生间接影响, 间接途径系数为 0.111 1, 同时通过调控百粒质量 (X_{10}) 对产量的间接作用达 0.205 0。穗行数 (X_5) 通过调控行粒数 (X_4) 对产量的间接贡献为 0.058 6, 通过调控百粒质量 (X_{10}) 的影响为 0.263 7。百粒质量 (X_{10}) 分别通过调控行粒数 (X_4) 和穗行数 (X_5), 对产量的影响依次为 0.153 0 和 0.225 5。

表 7 回归系数

模型 4	非标准化系数		标准系数	<i>t</i>	相关性
	B	标准误差			
常量	-18 485.705	2 470.322		-7.483	0.000
百粒质量	568.261	83.955	0.510	6.769	0.000
穗行数	826.526	95.363	0.561	8.667	0.000
行粒数	286.825	69.277	0.296	4.140	0.004

表 8 产量与主要农艺性状的通径分析

因子	直接通径系数	间接通径系数		
		$X_4 \rightarrow y$	$X_5 \rightarrow y$	$X_{10} \rightarrow y$
行粒数(X_4)	0.296		0.111 1	0.205 0
穗行数(X_5)	0.561	0.058 6		0.263 7
百粒质量(X_{10})	0.510	0.153 0	0.225 5	

2.5 套播模式下不同品种玉米性状的综合评价

2.5.1 主成分分析。由表 9 可知,以特征值 > 1 和累积方差贡献率 $\geq 85\%$ 为筛选标准,共提取出 4 个主成分。其中,第 1—4 主成分的特征值及方差贡献率依次为:4.995、38.420%;2.687、20.669%;1.932、14.858%;1.192、9.172%。4 个主成分的累积方差贡献率达 83.119%,可有效覆盖 13 个评价指标的核心信息。因此,将 13 个指标整合为 4 个综合指标,用于玉米品种的综合评价与筛选。

主成分载荷矩阵(表 10)揭示了各指标对主成分的贡献。株高、穗位高、行粒数、轴质量、百粒质量、产量在第一主成分中具有较高的相关系数,分别为 0.746、0.765、0.834、0.846、0.714 和 0.731,表明该主成分与玉米生长状况以及产量密切相关。第二主成分与秃尖长和叶绿素的相关性较强,相关系数分别为 0.673 和 0.819,主要反映了玉米的穗部特性和光合特性。第三主成分有透光率,主要反映了玉米群体透光特性。第四主成分与穗行数的相关性较强。

表 9 12 份玉米各性状系数指标及贡献率

成分	初始特征值		
	特征值	方差贡献率 /%	累积贡献率 /%
1	4.995	38.420	38.420
2	2.687	20.669	59.089
3	1.932	14.858	73.947
4	1.192	9.172	83.119
5	0.790	6.076	89.195
6	0.648	4.988	94.183
7	0.365	2.806	96.989
8	0.246	1.896	98.885
9	0.085	0.653	99.538
10	0.048	0.367	99.906
11	0.012	0.094	99.999
12	0.000	0.000	99.999
13	0.000	0.000	99.999

表 10 载荷矩阵

性状	主成分			
	1	2	3	4
株高	0.746	—	—	—
茎粗	0.663	—	—	—
穗位高	0.765	—	—	—
行粒数	0.834	—	—	—
穗行数	—	0.536	—	0.552
秃尖长	—	0.673	—	—
穗长	0.628	—	—	—
穗粗	—	—	—	—
轴质量	0.846	—	—	—
百粒质量	0.714	—	—	—
叶绿素	—	0.819	—	—
透光率	—	—	0.906	—
产量	0.731	0.637	—	—

2.5.2 灰色关联度法。基于上述研究,以与 12 个玉米品种的产量相关性状的最大值,构建一个“理想品种”,将全部数据初值化处理,分辨率系数 $\rho=0.5$,并

计算出参试品种各性状相对应的关联度(表 11)。结果显示,排名前 3 位的玉米品种为 KF2520、杰农 624、丰德玉 6 号。

表 11 套作模式下 12 个玉米品种灰色关联度评价

品种	关联系数													关联度	排序
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	y		
存玉 888	0.597	0.629	0.591	0.450	0.348	0.931	0.495	0.696	0.403	0.333	0.496	0.523	0.489	0.537	7
丰德玉 6 号	0.863	1.000	0.894	0.787	0.400	0.947	0.906	0.644	0.585	0.631	0.333	0.600	0.455	0.696	3
杰农 624	0.459	0.938	0.467	0.584	0.500	0.818	0.844	1.000	1.000	1.000	0.744	0.333	0.600	0.714	2
C3288	0.448	0.333	0.419	0.608	0.444	0.557	0.399	0.484	0.589	0.491	0.683	0.449	0.527	0.495	8
KWS2162	0.437	0.540	0.429	0.333	0.421	1.000	0.342	0.470	0.372	0.413	0.469	0.480	0.510	0.478	11
KWS1431	0.421	0.521	0.413	0.376	0.444	0.333	0.400	0.333	0.333	0.599	0.501	0.755	0.398	0.448	12
LS111	0.333	0.685	0.333	0.584	0.364	0.557	0.449	0.495	0.419	0.498	0.614	0.405	0.553	0.484	9
R1831	0.655	0.813	0.664	0.678	1.000	0.509	0.608	0.708	0.603	0.879	0.698	0.580	0.463	0.681	5
长城 382	0.525	0.616	0.520	0.541	0.333	0.818	1.000	0.437	0.487	0.912	0.668	0.520	0.490	0.605	6
KF2517	1.000	0.718	1.000	1.000	0.500	0.529	0.374	0.693	0.563	0.771	0.759	0.449	0.527	0.683	4
KF2520	0.943	0.884	0.966	0.678	0.444	0.964	0.608	0.399	0.580	0.653	1.000	1.000	0.333	0.727	1
富尔 224	0.393	0.521	0.386	0.366	0.444	0.397	0.333	0.592	0.403	0.538	0.680	0.462	0.520	0.464	10

3 讨论

套种模式下玉米品种筛选需结合产量、农艺性状与群体透光效率的综合表现。产量是衡量玉米品种效益的关键指标,不同品种的产量差异可直观反映玉米的生产性能和适应性^[20]。作物的产量高低与其自身的农艺性状密切相关^[21]。何文铸等指出株高和穗部性状是影响玉米产量的主要因素之一^[22]。试验结

果显示,参试品种产量最大的是 R1831。KF2517 株高居首,具有较高的光截获能力;存玉 888 的穗位高表现突出,但产量却低,该品种可能不适合过高密度种植。在穗部方面,丰德玉 6 号、KF2520 的秃尖长较短,反映出其穗部的稳定性,可以减少籽粒损坏而造成的减产;杰农 624、存玉 888 穗粗较大;透光率最大的是 KF2520,产量居前列,说明光合作用可能成为其产量提升的重要因素。

马红珍等研究指出,在玉米单作条件下,各指标变异系数表现为秃尖长最大,行粒数次之,穗粗最小^[23]。本研究发现,在套作模式中,按变异系数排序,各指标表现为秃尖长最大(31.70%),透光率次之,穗粗最小。其他指标在两种模式下的变异系数差异较大。相较于玉米单作,套播模式下小麦和玉米共生阶段,小麦处于灌浆期-成熟期,持续对玉米苗上层遮荫,可能对各玉米品种株高、叶片大小受到影响,最终套播透光率变异系数达 21.40%;另外,这可能也与我们的田间管理有关。因此,在套作模式中,应该重点考察不同玉米品种的秃尖长、产量、透光率这 3 个变异系数较大的指标,同时也要降低这 3 个指标受随机环境因素的干扰,以保证结果的可靠性。

进一步分析表明,不同品种玉米农艺性状的变异性、相关性及通径分析结果存在差异。如彭伟等对单作玉米不同性状进行相关分析发现,穗粒质量与百粒质量、穗粗、行粒数、株高、穗长呈显著正相关,穗长和穗行数表现为正相关,但相关性不显著^[24]。龙舟等研究表明,产量与穗粗、百粒质量、轴质量、穗长呈正相关,与秃尖长呈负相关^[25]。本研究相关性分析结果显示,产量与百粒质量、行粒数、穗轴质量呈显著正相关,与秃尖长、株高和穗粗呈正相关但相关性不显著,这与前人结论存在一定差异。通径分析结果显示,套播模式下玉米的农艺性状对产量的直接作用表现为:穗行数>百粒质量>行粒数。经逐步回归分析与显著性检验后,最终确定穗行数、行粒数、百粒质量是影响产量的关键因子,并且建立最优模型为: $y=568.261X_{10}+826.526X_5+286.825X_4-18485.705$ 。可见,在不同种植模式下,玉米产量及其相关性状的重要程度有一定差异,不能根据玉米单作的表现直接类比其在套作模式下的表现。

灰色关联度分析作为多指标综合评价的重要技术已在综合评价方面获得广泛应用。研究显示,该技术能有效整合农艺性状与营养品质指标,克服单一性状分析的局限性^[26]。万其鑫等通过对带状间作模式下玉米品种筛选的研究,筛选出登海 511、良玉 99、伟育 718 和登海 618 玉米品种可作为陕西关中地区推广大豆玉米带状间作的推荐品种^[26]。冯雅琪等利用灰色关联度分析,系统评价了不同苜蓿品种的草产量及营养品质^[27]。徐欣欣等利用灰色关联法综合筛选出适合通辽地区种植的青贮玉米品种中玉 335、DK815 和雨禾 2 号^[28]。本研究采用灰色关

联度分析法综合评价玉米生长指标、穗部性状及产量表现,结果显示 KF2520、杰农 624、丰德玉 6 号这 3 个品种在小麦-玉米套播体系中综合优势显著,在穗部性状稳定性和产量潜力上表现突出。

4 结论

基于灰色关联度综合评价法对巴州地区小麦-玉米套播玉米品种的筛选,结果显示:KF2520、杰农 624、丰德玉 6 号这 3 个品种在麦玉套播模式中综合优势显著,符合巴州地区的生态条件与当前的套播栽培需求,可作为重点推广品种。在为该模式大面积推广筛选品种时,应注重秃尖短、透光率敏感性低、行粒数稳定、穗行数较多的品种,并且重点筛选耐密、抗倒伏、品质好、熟期符合本地生产条件的套播品种。

参考文献:

- [1] 徐颖,孙泽生. 农业高质量发展以粮食安全为重心的逻辑与路径[J]. 江西社会科学,2023,43(4):180-187.
- [2] 新疆维吾尔自治区人大常委会. 关于批准自治区国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要调整方案的决议[N]. 新疆日报,2023-12-25(01).
- [3] 金若成,吕慧捷,袁小伟,等. 新疆巴州滴灌条件下冬小麦+青贮玉米保护性耕作技术推广应用研究[J]. 农业机械,2023(2):88-93,96.
- [4] 马俊凯,宋国威,李光泗. 新发展格局下中国粮食安全形势、重大挑战及应对策略[J/OL]. 中国农业资源与区划,2025:1-13(2025-11-05)[2026-04-29]. <https://link.cnki.net/urlid/11.3513.S.20251105.1104.016>.
- [5] 张晓娜,陈平,杜青,等. 玉米/大豆、玉米/花生间作对作物氮素吸收及结瘤固氮的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文),2019,27(8):1183-1194.
- [6] 周新安,年海,杨文钰,等. 南方间套作大豆生产发展的现状与对策(I)[J]. 大豆科技,2010(3):1-2.
- [7] Szumigalski A R, Van Acker R C. Nitrogen yield and land use efficiency in annual sole crops and intercrops[J]. Agronomy Journal, 2006,98(4):1030-1040.
- [8] Ghosh P K, Tripathi A K, Bandyopadhyay K K, et al. Assessment of nutrient competition and nutrient requirement in soybean/sorghum intercropping system[J]. European Journal of Agronomy, 2009,31(1):43-50.
- [9] 王潮生. 农业文明寻迹[M]. 北京:中国农业出版社,2011:25-26.
- [10] Li L, Zhang L Z, Zhang F S. Crop mixtures and the mechanisms

- of overyielding[M]//Encyclopedia of Biodiversity. Amsterdam: Elsevier,2013:382–395.
- [11] 刘广才,杨祁峰,李 隆,等. 小麦 / 玉米间作优势及地上部与地下部因素的相对贡献[J]. 植物生态学报,2008,32(2):477–484.
- [12] 黄 鹏,柴 强,黄高宝. 小麦 / 玉米复合群体光合特性与作物生产力间的相关性[J]. 甘肃农业大学学报,2000,35(1):70–74.
- [13] 隋 鹏,陈 阜,高旺盛. 海河低平原区小麦玉米套种高产技术研究[J]. 作物杂志,2000(2):10–12.
- [14] 陈素英,张喜英,陈四龙,等. 种植行距对冬小麦田土壤蒸发与水分利用的影响[J]. 中国生态农业学报,2006,14(3):86–89.
- [15] 陈 阜,逢焕成. 冬小麦 / 春玉米 / 夏玉米间套作复合群体的高产机理探讨[J]. 中国农业大学学报,2000,5(5):12–16.
- [16] 张吉旺,董树亭,王空军,等. 遮荫对夏玉米产量及生长发育的影响[J]. 应用生态学报,2006,17(4):4657–4662.
- [17] 李印娟. 小麦 / 玉米套作系统作物光能利用效率与生长竞争恢复机制研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2020:8.
- [18] 王秋杰,寇长林,王永歧,等. 砂地小麦套作花生的产量优势及其与养分利用效率关系的研究[J]. 作物学报,1999,25(1):70–75.
- [19] 杜伟莉,高 杰,卜令铎,等. 玉米品种开花期抗旱性鉴定指标筛选[J]. 干旱地区农业研究,2012,35(5):71–76,87.
- [20] 李世平,张诗慧,袁福锦,等. 云贵高原区青贮玉米不同播种方式的饲草产量和效益[J]. 草学,2023(6):44–48.
- [21] 张仲鹏,郝曦煜,王 雪,等. 齐齐哈尔地区适宜青贮玉米品种的筛选及综合评价[J]. 草业学报,2024,33(11):228–240.
- [22] 何文铸,刘永红,杨 勤,等. 影响青贮玉米生物产量关键指标的筛选及其遗传研究[J]. 玉米科学,2009,17(2):29–33.
- [23] 马红珍,许海涛,冯晓曦,等. 黄淮海玉米品种主成分分析和遗传距离测定及其适应性评价[J]. 农业科技通讯,2023(12):35–41.
- [24] 彭 伟,曾文兵,孙开利,等. 13个玉米组合产量及产量相关性状的灰色关联度分析[J]. 农业科技通讯,2024(9):91–96.
- [25] 龙 舟,杨 威,冯艳飞,等. 玉米杂交种产量与主要农艺性状的关联分析[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2022,34(5):1–5.
- [26] 万其鑫,张 洋,杨艺恒,等. 陕西关中地区带状间作模式下夏播玉米品种筛选[J]. 干旱地区农业研究,2025,43(3):1–10,33.
- [27] 冯雅琪,李艳鹏,隋 超,等. 西北干旱半干旱区紫花苜蓿品种综合评价[J/OL]. 草业科学,2025:1–19(2025–11–03)[2026–04–29]. <https://link.cnki.net/urlid/62.1069.S.20251031.1636.002>.
- [28] 徐欣欣,王莉娜,丁雪妍,等. 通辽地区不同类型玉米品种生产性能和青贮品质综合评价[J]. 草地学报,2025,33(9):3068–3076.

Screening of Maize Varieties Suitable for Wheat–Maize Relay Intercropping Mode in Bazhou of Xinjiang

Zhang Shufang¹, Yang Weijun¹, Zhao Lining¹, Wang Jun², Jin Ruocheng³, Tong Junfei¹, Xi Ningju¹
(1.College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Bazhou Xufeng Agricultural Science and Technology Development Co., Ltd., Korla 841000, China; 3. Bazhou Agricultural and Rural Mechanization Development Center, Korla 841000, China)

Abstract: To identify maize varieties suitable for wheat-maize relay intercropping in Bazhou, Xinjiang, 12 cultivars were evaluated under a 6 : 2 wheat-to-maize row ratio. Thirteen agronomic traits, including plant height, ear height, and grain yield, were measured. Variance, correlation, stepwise regression, and grey correlation analyses were conducted to identify key selection criteria. Under relay intercropping, barren tip length (X_6) exhibited the highest coefficient of variation, whereas ear height (X_3), leaf chlorophyll SPAD value (X_{11}), and ear diameter (X_8) showed relatively low variation. Stepwise regression established the following yield equation: $y = 568.261X_{10} + 826.526X_5 + 286.825X_4 - 18\,485.705$. Path analysis revealed that row number per ear (X_5) had the largest direct effect on yield, followed by 100-kernel weight (X_{10}) and kernel number per row (X_4). These three traits should be prioritized during variety screening. Grey correlation analysis identified KF2520, Jienong 624, and Fengdeyu No.6 as top-performing varieties, which are recommended for wheat-maize relay intercropping in the Bazhou region.

Key Words: Wheat-maize relay intercropping; Variety screening; Grey correlation analysis

党爱华,周 军,梁长欣,等. 含腐植酸水溶肥不同喷施次数对大麦草生育期、产量及品质的影响[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(4):28–33(2026-07-31). DOI:10.14069/j.cnki.32-1769/s.2026.04.005.

含腐植酸水溶肥不同喷施次数对大麦草生育期、产量及品质的影响

党爱华,周 军,梁长欣,王紫雯

(黑龙江省农垦科学院农作物开发研究所,黑龙江 友谊 155811)

摘要:为筛选大麦草专用最优叶面肥(含腐植酸水溶肥)施用方案,以垦啤麦 13、垦啤麦 15、垦啤麦 26 为试验材料,采用“品种+叶面肥喷施次数”二因素设计,研究含腐植酸水溶肥不同喷施次数对大麦草生育期、产量及品质的影响。结果表明:喷施含腐植酸水溶肥可使大麦抽穗期提前 1~2 d;降低大麦草株高、增强抗倒性,显著提高鲜草产量;喷施 2 次后,大麦粗蛋白含量达最高水平(17.43%),且酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维均符合优级标准。最优施用方案:大麦抽穗前 1 周喷施含腐植酸水溶肥第 1 次、收获前 1 周喷施第 2 次,该方案下大麦草营养均衡、消化率高,适配饲喂需求。

关键词:大麦草;叶面肥;喷施次数;生育期;产量;品质

中图分类号:S145

文献标志码:A

文章编号:1673-6486-20260022

我国饲草的主要来源为天然草原、人工种草和国外进口 3 种途径,受土地、财政和科技等因素的影响,饲草产业发展薄弱,供给能力较差^[1]。尽管近年来我国饲草种植面积与产量稳步提升,但因生产经营体系不健全、机械化与标准化技术支撑不足,优质饲草供需缺口持续扩大,不得不大量进口苜蓿、饲用燕麦等牧草产品,饲草对外依存度居高不下,严重影响我国饲草产业的自主可控能力^[2]。因此,挖掘本土优质饲草资源、创新高效栽培技术、提升国产饲草产量与品质是破解我国优质饲草短缺、降低对外依赖的核心路径。

大麦(*Hordeum vulgare* L.)具有丰富营养价值且较耐盐碱,其蛋白质、氨基酸及矿物质等含量均高于玉米,是优质饲料作物^[3]。作为一年生禾本科饲草,大麦具有生长周期短、生物产量高、适口性好等特点,其干物质产量、粗蛋白含量及纤维消化率直接决定反刍动物饲喂效果,在饲喂体系中占据重要地位。大麦草具有多种饲喂方式,不但能够直接放牧进食,还可以制备便于存储的青贮饲料或晒制成干草。不论是青贮或是干草,都可以满足牧草短缺季节饲料供应的需求^[4]。近年来,利用谷类作物替代牧场基础饲料成为研究热点^[5]。黑龙江省第一、

二、三积温带创新推行大麦草复种早熟大豆模式,实现一年两季种植,大幅提升了土地利用率和饲草供给能力,为区域饲草产业发展提供了新模式。

叶面施肥作为一种节水、高效的养分补充方式,可通过叶片直接吸收养分,快速缓解作物生长后期的养分亏缺,有效增强植株抗逆、抗病能力,延长叶片光合功能期^[6],增强光合作用效率,进而同步提升作物产量与品质^[7]。当前生产中,大麦草专用叶面肥的适配品种筛选、最优喷施参数(次数、时期)等关键技术尚不明确,导致饲草产量与营养品质难以兼顾,制约了其在养殖中的应用效益。基于此,本研究以当地主栽大麦草品种为对象,探究含腐植酸叶面肥不同喷施次数对其生育特性、生物产量及营养品质的影响,旨在明确大麦草高产优质的叶面肥配套栽培技术,为高纬度地区大麦草高效规模化种植、推动优质饲草本土化供给提供理论依据与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试品种。大麦是饲草与籽粒兼用型作物,可以实现饲草与籽粒双收^[8],因此本试验选择当地优质多棱大麦品种垦啤麦 13、垦啤麦 15、垦啤麦 26,这 3 个品种虽为啤酒大麦品种,但在营养生长期与生殖生长前期茎叶品质优良,生物产量高,可

收稿日期:2026-02-02;修回日期:2026-07-21。

基金项目:麦类绿色植保技术研发(JT2025KJGG04-03)。

作者简介:党爱华(1978—),女,硕士,高级农艺师,主要从事大麦育种与栽培研究工作。Email: dahns123@163.com。

做粮饲两用品种。种子纯度 $\geq 98\%$,发芽率 $\geq 85\%$,符合饲草专用品种种植要求。

1.1.2 供试叶面肥。含腐植酸水溶肥料(商品名:“加叶”;高 N 型,由沈阳化工研究院提供), ρ (腐植酸) ≥ 35 g/L, ρ (N) ≥ 150 g/L, ρ (K₂O) ≥ 50 g/L;产品具有均衡营养、促生诱抗、缓解药害等特性,可补充微量元素、激活离子通道、增强抗逆性能。

1.2 试验设计

1.2.1 试验地点。试验地点为黑龙江省农垦总局红兴隆管理局科研试验地 7 区 9 号地(125°27' E、49°55' N),土壤类型为黑钙土,有机质含量(质量分数,下同)2.8 g/kg,pH 值 6.5~7.0,前茬作物为大豆,地块排灌条件良好,符合大麦草种植环境要求。

1.2.2 试验处理。采用“品种+叶面肥喷施次数”二因素随机区组设计,每个品种设 4 个喷施处理,分别为清水对照(T₀)、1 次喷施(T₁)、2 次喷施(T₂)、3 次喷施(T₃),3 次重复,共 36 个小区,小区面积 12 m²(8 m×1.5 m),小区间距 1.2 m,四周设置保护行。喷施日期分别为:1 次喷施(2025 年 5 月 19 日)、2 次喷施(2025 年 5 月 19 日、2025 年 5 月 28 日)、3 次喷施(2025 年 5 月 19 日、2025 年 5 月 28 日、2025 年 6 月 5 日)。

1.2.3 栽培管理。所有小区统一播期,于 2025 年 4 月 23 日播种;统一整地,基施复合肥 16 kg/667 m²(N、P₂O₅ 质量比为 1:1)播种时种肥同施,田间管理及病虫害防治措施一致,符合大麦草优质栽培技术规范。

1.2.4 喷施方法。采用背负式电动喷雾器,将叶面肥按推荐浓度(1:500 倍稀释)均匀喷施于叶片正反面,以叶面湿润不滴水为度,选择清晨或傍晚无雨天喷施。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生育期调查。按作物生育期观测标准,记录各小区播种期、出苗期、抽穗期、收草日期,计算生长天数。

1.3.2 产量指标测定。于 6 月 22 日进行田间取样,每个小区随机选取 3 个 1 m×1 m 样方,测定株高(自然株高,取平均值)、株数/m²、鲜草质量(kg/m²);样品自然阴干 7 d 后,测定干草质量及干物质含量。

1.3.3 营养品质检测。将阴干样品铡断至 2~3 cm,混合均匀后取 500 g 送至蓝德雷检测技术有限公司,采用近红外光谱分析法(NIRS)检测粗蛋白

(CP)、粗脂肪(EE)、酸性洗涤纤维(ADF)、中性洗涤纤维(NDF)等核心指标。

1.4 数据整理与统计方法

利用 Excel 2016 软件进行数据处理并绘制图表,使用 SPSS 27.0 开展数据统计分析。各处理间的差异显著性($P<0.05$)采用二因素方差分析与 Duncan's 检验。

2 结果与分析

2.1 含腐植酸水溶肥料喷施对大麦草生育期的影响

影响大麦草产量及品质的因素与收草时大麦生育时期密切相关。大麦草一般在抽穗前后刈割,收获过早,生物产量低但蛋白含量高;收获过晚,生物产量高但粗纤维占比上升,适口性和营养价值下降。试验结果表明,供试 3 个品种的抽穗期,以垦啤麦 26 抽穗略早,垦啤麦 13 抽穗略晚,品种间抽穗期相差 1~3 d。同一品种不同喷施处理中,喷施 1 次叶面肥,即 5 月 19 日喷施叶面肥对抽穗期影响较小,此时期正是大麦苗期阶段;喷施 2—3 次即 5 月 28 日和 6 月 5 日喷施叶面肥,可使抽穗期提前 1~2 d,此时期正是大麦拔节至孕穗期,是大麦草营养生长最旺盛的时期,也是产量形成的核心阶段,试验结果表明拔节期至孕穗期喷施叶面肥能为生殖生长提供充足养分,加快幼穗分化,使抽穗期提前 1~2 d(表 1)。

株高是影响大麦草生物产量的核心形态指标,在抗倒伏阈值内,株高增加会显著提升茎秆、叶片的生物量占比,延长光合层高度和光合时间,干物质积累量随株高升高而增加,是高产的重要形态基础。从腐植酸水溶肥喷施对大麦草的株高影响来看(表 1),6 月 18 日(抽穗期)垦啤麦 13 的株高有随喷施次数增加而下降的趋势,而垦啤麦 15、垦啤麦 26 则有随喷施次数增加先降低而后升高的趋势;但在 6 月 22 日,垦啤麦 13 的株高则随着喷施次数增加而有所增加,垦啤麦 15、垦啤麦 26 则表现得较为稳定,维持了品种的正常株高。这可能说明此腐植酸水溶肥能降低大麦草生育前期的节间长度,防止生长过快而致大麦草倒伏。但总体而言,腐植酸水溶肥不同喷施次数对大麦草后期株高影响并不明显。

表 1 大麦草生育时期及收草时株高

品种名称	喷施处理	播种 (月-日)	出苗 (月-日)	抽穗 (月-日)	收草日期 (月-日)	生长时间 / d	06-18 株高 / cm	06-22 株高 / cm
垦啤麦 13	T0	04-23	05-05	06-18	06-22	48	90	100
	T1	04-23	05-05	06-18	06-22	48	88	101
	T2	04-23	05-05	06-17	06-22	48	85	101
	T3	04-23	05-05	06-17	06-22	48	80	102
垦啤麦 15	T0	04-23	05-05	06-17	06-22	48	86	95
	T1	04-23	05-05	06-17	06-22	48	85	96
	T2	04-23	05-05	06-16	06-22	48	80	95
	T3	04-23	05-05	06-15	06-22	48	90	95
垦啤麦 26	T0	04-23	05-05	06-16	06-22	48	95	109
	T1	04-23	05-05	06-16	06-22	48	90	110
	T2	04-23	05-05	06-15	06-22	48	86	109
	T3	04-23	05-05	06-15	06-22	48	98	110

2.2 含腐植酸水溶肥对大麦草生物产量的影响

试验品种抽穗后,于 2025 年 6 月 22 日分别对 3 个大麦品种鲜草测产,方差分析结果(表 2)表明,品种对大麦鲜草产量影响显著 ($P < 0.05$),喷施次数、品种 $\times$ 喷施次数交互作用对鲜草产量均存在极显著影响 ($P < 0.01$)。其中,喷施次数的主效应最为突出 ($F = 63.33$),是调控鲜草产量的首要因素;品种 $\times$ 喷施次数交互效应 ($F = 5.00$) 同样达到极显著水平 ($P < 0.01$),说明不同品种对喷施措施的响应存在明显差异。

由表 3 可知,大麦鲜草产量随喷施频次升高呈显著递增趋势。3 次喷施处理鲜草产量最高,达 2.918 kg/m^2 ,极显著高于其余喷施处理 ($P < 0.01$);2 次喷施产量极显著优于 1 次喷施与空白对照 ($P < 0.01$);1 次喷施与空白对照间鲜草产量无显著差异,说明单次叶面喷施含腐植酸水溶肥无法有效

提升青贮大麦鲜草积累量。

品种 $\times$ 喷施次数交互效应极为显著,对大麦鲜草产量多重比较(表 4)可见,不同大麦品种与喷施次数互作下鲜草产量响应差异明显。垦啤麦 15 对喷施调控敏感度最高,鲜草产量随喷施次数增加显著提升,T3 处理鲜草产量达到全试验峰值 (3.097 kg/m^2),极显著高于其余处理 ($P < 0.01$);垦啤麦 13 仅 3 次喷施可实现产量极显著提升 ($P < 0.01$),1 次、2 次喷施与空白对照差异无统计学意义;垦啤麦 26 经 2 次喷施与 3 次喷施产量差异无统计学意义,二者均可极显著提升鲜草产量,可能预示田间生产性价比较高。

综上,垦啤麦 15 适配 3 次喷施高产栽培模式,垦啤麦 13 和垦啤麦 26 适配 2 次喷施可获得理想增产效果,生产中应根据品种特性差异化制定叶面喷施频次,最大化获得大麦鲜草产量。

表 2 大麦鲜草产量方差分析

变异来源	DF	SS	MS	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
品种	2	0.06	0.03	5.00*	3.44	5.72
喷施次数	3	1.15	0.38	63.33**	3.05	4.82
品种 $\times$ 喷施次数	6	0.16	0.03	5.00**	2.55	3.76
误差	22	0.13	0.006			

注:*,** 分别表示差异具统计学意义 ($P < 0.05$)、高度统计学意义 ($P < 0.01$)。表 5 同。

表 3 不同喷施次数对大麦鲜草产量多重比较

处理	鲜草产量 /(kg/m ²)	显著性(0.05)	显著性(0.01)
T0	2.483	c	C
T1	2.484	c	C
T2	2.684	b	B
T3	2.918	a	A

表 4 品种×喷施次数对大麦鲜草产量多重比较

品种	处理	鲜草产量 /(kg/m ²)	显著性(0.05)	显著性(0.01)
垦啤麦 13	T0	2.500	b	B
	T1	2.503	b	B
	T2	2.603	b	B
	T3	2.903	a	A
垦啤麦 15	T0	2.500	c	C
	T1	2.500	c	C
	T2	2.700	b	B
	T3	3.097	a	A
垦啤麦 26	T0	2.447	b	B
	T1	2.453	b	B
	T2	2.750	a	A
	T3	2.753	a	A

2.3 含腐植酸水溶肥喷施对大麦草营养品质的影响

对 3 个垦啤麦品种在不同喷施次数下的饲草营养品质进行分析比较,重点分析粗蛋白、酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量。

2.3.1 大麦草品质方差分析。方差分析结果如表 5 所示。1)粗蛋白含量。品种 F 值为 0.41,小于 5%显著水平临界值 3.44;品种与喷施次数二者交互 F 值 0.67,低于 5%显著水平临界值 2.55;而喷施次数 F 值达 9.26,高于 1%极显著水平临界值 4.82。表明品种、品种与喷施次数二者交互作用未达到显著水平,但喷施次数对粗蛋白含量存在极显著影响。2)酸性洗涤纤维含量。品种 F 值 0.28,喷施次数 F 值 1.94,二者交互作用 F 值 0.37,三者 F 值均未超过对应 5%显著水平临界值。表明品种、喷施次数及品种×喷施次数交互作用,均未对大麦草酸性洗涤纤维含量产

生显著影响。3)中性洗涤纤维含量。品种 F 值 0.34 小于 5%显著水平临界值 3.44;品种与喷施次数交互作用 F 值 0.80,低于 5%显著性临界值 2.55;喷施次数 F 值 6.30,高于 1%极显著水平临界值 4.82。表明品种、品种×喷施次数均不会显著改变大麦草中性洗涤纤维含量,但喷施次数对大麦草中性洗涤纤维含量存在极显著影响。

综上,喷施次数对大麦草粗蛋白含量、中性洗涤纤维含量影响极显著,品种、品种×喷施次数对粗蛋白和中性洗涤纤维含量均无显著影响;酸性洗涤纤维含量不受品种、喷施次数及二者互作的显著影响。对不同品种而言,3 个品质指标分析结果在 3 个品种间的差异均无统计学意义。因此只对 4 个喷施处理开展粗蛋白与中性洗涤纤维含量多重比较,且 3 个品种合并分析处理效应。

表 5 大麦草品质方差分析结果

变异来源	DF	粗蛋白含量			酸性洗涤纤维含量			中性洗涤纤维含量		
		SS	MS	F	SS	MS	F	SS	MS	F
品种	2	3.65	1.82	0.41	1.86	0.93	0.28	3.00	1.50	0.34
喷施次数	3	124.34	41.45	9.26**	19.35	6.45	1.94	82.84	27.61	6.30**
品种×喷施次数	6	17.87	2.98	0.67	7.41	1.24	0.37	20.97	3.49	0.80
误差	22	98.49	4.48		73.02	3.32		96.38	4.38	

2.3.2 大麦草品质的多重比较。不同喷施处理对粗蛋白含量多重比较(表6)显示,4种喷施处理大麦草粗蛋白平均含量表现为 $T_2(17.43\%) \geq T_3(15.90\%) \geq T_1(13.40\%) \geq T_0(12.87\%)$ 。 T_2 处理粗蛋白含量显著高于 T_1 、 T_0 处理($P < 0.05$); T_2 与 T_3 、 T_3 与 T_1 、 T_3 与 T_0 、 T_1 与 T_0 之间粗蛋白含量差异均无统计学意义。结果表明喷施 T_2 处理提升大麦草粗蛋白含量效果最优。由不同喷施处理对中性洗涤纤维含量多重比较(表7)可见,中性洗涤纤维含量 $T_0(61.03\%) \geq T_1(60.08\%) \geq T_3(58.45\%) \geq T_2(57.07\%)$ 。 T_0 与 T_2 处理间差异具统计学意义($P < 0.05$),其他均无统计学意义。

粗蛋白含量是直接判定大麦草优劣的重要指标,粗蛋白含量越高饲草等级越高,经济价值越好;中性洗涤纤维是植物细胞壁全部纤维组分,是饲草中不可快速消化的结构性碳水化合物,中性洗涤纤维含量越低,饲草品质越好。本试验 T_2 处理下粗蛋白含量最高、中性洗涤纤维含量最低,说明喷施2次叶面肥可显著提高大麦饲草品质。

表6 叶面肥不同喷施处理对大麦草粗蛋白含量的影响

处理	粗蛋白含量 /%	显著性(0.05)
T_0	12.87	b
T_1	13.40	b
T_2	17.43	a
T_3	15.90	ab

表7 叶面肥不同喷施处理对大麦草中性洗涤纤维含量的影响

处理	中性洗涤纤维含量 /%	显著性(0.05)
T_0	61.03	a
T_1	60.08	ab
T_2	57.07	b
T_3	58.45	ab

3 讨论

在生产上关于叶面肥的研究,主要集中在玉米^[9]、小麦^[10]等主要大田农作物上,如孙岩等通过叶面喷施尿素对玉米生长发育及产量的影响试验表明,喷施不同浓度叶面肥,明显缩短了玉米的生育期,促进了玉米早熟^[11]。这与本试验喷施叶面肥可使大麦抽穗期提前1~2 d相一致。陆梅等通过喷施叶面肥对旱地小麦生长的影响及与产量的关系试验

发现,喷施叶面肥可显著增加开花期叶面积指数和次生根数,从而提高穗数和千粒质量,最终显著增产^[12];皇甫红芳等研究发现,喷施适量的水溶性叶面肥能促进燕麦的生长,增加燕麦的生物产量和籽粒产量^[13]。本试验中,随着喷施次数的增加,大麦草鲜草生物产量显著提高,与前人研究结果相似。李丹丹等研究表明,喷施叶面肥是提高苜蓿产草量和品质的有效措施之一^[14]。本试验中垦啤麦13和垦啤麦15喷施叶面肥后粗蛋白含量较未喷施叶面肥处理均有所提高,尤其是喷施2次的粗蛋白含量最高,中性洗涤纤维含量最低,此处理大麦草的营养品质可与紫花苜蓿相媲美;而垦啤麦26喷施2次和3次的粗蛋白含量明显升高,酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维变化大多是随着喷施次数的增加呈先升高后降低然后再升高的趋势,且最低值均出现在喷施2次的结果上,喷施1次较未喷施的反而下降,这可能是由品种特性或是喷施时期等原因造成的,还需以后的试验加以进一步验证。

4 小结

综合本试验大麦草产量与营养品质,以喷施2次含腐植酸水溶肥料为最优方案,该方案下产出的大麦草产量高且营养均衡,适配饲喂需求,即于大麦抽穗前1周(5月19日)喷施第1次、收获前1周(5月28日)喷施第2次,可使供试大麦草高产与优质协调统一。

参考文献:

- [1] 陈玲玲,玉柱,毛培胜,等. 中国饲草产业发展现状、问题及政策研究[C]// 第三届(2014)中国草业大会论文集. 赤峰市农牧科学研究院草原研究所,2014:60-64.
- [2] 王加亨,撒多文,邵麟惠,等. 调整优化农业结构,加快饲草产业发展[J]. 草业学报,2025,34(2):211-220.
- [3] 陈晓东,赵斌,王瑞,等. 不同刈割茬次与刈割时期对大麦饲草产量与品质的影响[J]. 中国农学通报,2015,31(12):36-39.
- [4] 安琦,曹亚彬,牛彦波,等. 大麦草青贮优良菌株选育与应用[J]. 黑龙江科学,2021,12(24):52-54.
- [5] 王加亨,撒多文,邵麟惠,等. 调整优化农业结构,加快饲草产业发展[J]. 草业学报,2025,34(2):211-220.
- [6] 王爱华,李必忠,张永进. 水溶叶面肥对小麦植株形态及产量的影响[J]. 农业工程技术,2021,41(32):22-23.
- [7] 程加省,龚尔聪,刘列,等. 喷施不同叶面肥对旱地小麦光合作用的影响及产量的调控[J]. 中国农学通报,2025,41

- (33):24–31.
- [8] 陈晓东,赵 斌,季昌好,等.刈割期对多棱饲料大麦饲草及籽粒产量与品质的影响[J].麦类作物学报,2017,37(3):409–413.
- [9] 徐 宁,张方园,曹 娜,等.硅叶面肥对夏玉米生长发育、产量和品质的影响[J].江苏农业科学,2019,47(14):74–77.
- [10] 赵元凤,翟付凤,潘 燕,等.喷施新型叶面肥对小麦籽粒灌浆与产量结构的影响[J].大麦与谷类科学,2026,43(1):43–51,59.
- [11] 孙 岩,姜凯岩,郭 琳,等.叶面喷施尿素对玉米生长发育及产量的影响[J].现代化农业,2023(6):21–24.
- [12] 陆 梅,孙 敏,任爱霞,等.喷施叶面肥对旱地小麦生长的影响及与产量的关系[J].作物杂志,2018(4):121–125.
- [13] 皇甫红芳,杨 富,李 刚.喷施含腐殖酸叶面肥对燕麦产量及品质的影响[J].农业科技通讯,2021(11):169–172.
- [14] 李丹丹,巩 皓,刘国富,等.不同叶面肥对紫花苜蓿生长、产草量和品质的影响及效益比较[J].草地学报,2019,27(6):1718–1724.

Effects of Foliar Spraying Times of Humic Acid Water-soluble Fertilizer on Growth Period, Yield and Quality of Barley Grass

Dang Aihua, Zhou Jun, Liang Changxin, Wang Ziwen

(Institute of Crop Development, Heilongjiang Academy of Land Reclamation Sciences, Youyi 155811, China)

Abstract: To determine the optimal application schedule of humic acid water-soluble foliar fertilizer for barley grass, three varieties (Kenpimai 13, Kenpimai 15, and Kenpimai 26) were subjected to a two-factor randomized design involving variety and foliar application frequency. The results showed that foliar fertilization advanced the heading stage by 1-2 days, reduced plant height, enhanced lodging resistance, and significantly increased fresh grass yield. With two sprayings, the crude protein content of barley reached the highest level (17.43%) under the two-spray treatment. Meanwhile, the contents of acid detergent fiber (ADF) and neutral detergent fiber (NDF) both met the criteria for premium-grade forage. The optimal application scheme was determined as follows: the first application one week before heading, and the second application one week before harvest—achieved balanced nutrition and high digestibility, meeting feeding requirements.

Key Words: Barley grass; Foliar fertilizer; Application times; Growth stage; Yield; Quality

欢迎订阅 2027 年《大麦与谷类科学》

《大麦与谷类科学》是《中国期刊全文数据库》《中文科技期刊数据库》《中国核心期刊(遴选)数据库》全文收录期刊、超星域出版平台全文收录期刊、《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊、国家科技学术期刊开放平台全文收录期刊、原国家新闻出版广电总局首次认定 A 类学术期刊。江苏省一级期刊、2017 年度江苏省精品科技期刊, CACJ 中国应用型扩展期刊(2023、2025 版), OA 开放获取典范期刊(维普资讯)。

《大麦与谷类科学》由江苏省农业科学院主管、江苏沿海地区农业科学研究所主办, 是中国作物学会大麦专业委员会与江苏省农学会学术性期刊, 内容具有创新性、应用性、系统性、导向性, 主要报道大麦、小麦、水稻、玉米、高粱、谷子等谷类作物的研究动态和科研成果, 内设栏目有: 综述与报告(专家视点)、生理与生态、栽培与育种、土肥与植保、贮藏与加工、资源与环境、种业创新、现代大农业、乡村振兴、简讯与信息、人物介绍等。主要作者与读者为从事农业科研与农技推广的科技人员、农业企业经营管理人员、农业大中专院校师生等。

本刊为双月刊, 大 16 开本。国内外公开发行, 中国标准连续出版物号 CN32-1769/S、ISSN 1673-6486。国内每期定价 15.00 元, 全年 6 期共 90.00 元, 自办发行。

欢迎赐稿, 欢迎订阅。可随时直接与本编辑部联系。

电 话: 0515-88330625

电子信箱: damkx@163.com

邮局汇款: 《大麦与谷类科学》杂志编辑部

银行汇款: 江苏沿海地区农业科学研究所

账 号: 10-400901040004637

网 址: <http://dmkx.cbpt.cnki.net>

邮 编: 224002

地 址: 江苏省盐城市开放大道北路 9 号

开户行: 盐城市农行建中支行

用 途: 订阅费或编审费

郭新亚,史玉良,陈 春,等. 喷施纳米硒对水稻硒分配和稻米品质的影响[JOL]. 大麦与谷类科学,2026,43(4):34–38(2026–08–17). DOI:10.14069/j.cnki.32–1769/s.2026.04.006.

喷施纳米硒对水稻硒分配和稻米品质的影响

郭新亚,史玉良,陈 春,李 凡,王飞飞,陈卫军*

(江苏省农业科学院宿迁农科所,江苏 泗阳 223700)

摘要:为研究叶面喷施不同用量硒肥对水稻硒含量及稻米品质的影响,选用泗稻 122 进行田间试验,设置 4 个用量梯度,以喷施清水为对照,测定水稻各器官硒含量,统计农艺性状,检测稻米品质。结果表明,喷施叶面硒肥可显著提高水稻各部位硒含量但累积量存在差异,该方式下硒在水稻中的富集表现为叶>茎鞘>稻米>稻壳;最适用量为 360 mL/667 m²,该用量下糙米总硒含量最高(0.57 mg/kg),产量比对照显著增加(增产幅度 3.3%),垩白粒率显著降低,稻米品质得到改善。硒肥用量高于 360 mL/667 m²,水稻产量、硒含量、稻米品质均显著下降。

关键词:水稻;硒;叶面喷施;硒含量

中图分类号:S511

文献标志码:A

文章编号:1673–6486–20260044

硒是一种重要的微量元素,不仅有益于植物生长发育,还是人体必需的微量元素之一,与人类健康关系密切。现有报道称适量的硒摄入具有清除自由基、提高免疫力、缓解重金属毒害等重要功效^[1–2]。人体内的硒元素不能通过自身合成,只能从外界环境中获取。而食用富硒农产品是当下公认的最直接有效、最经济安全的人体补硒方法。我国人口的 60% 都以稻米为主食,提高稻米的硒含量是改善人体硒营养需求的主要方法和最有效途径^[3–4]。

一般来说,提升作物硒含量主要通过外源施加硒元素肥料来实现,肥料类型、施用方法、肥料中硒的种类和浓度均会影响硒在作物中的吸收富集和活性变化^[3–4]。目前常见的硒肥主要为无机硒肥和有机硒肥,叶面喷施硒酸盐和亚硒酸盐也可提高水稻籽粒的硒含量。现有报道表明,纳米硒肥具备生物相容性好、细胞毒性低等特点,相比无机硒肥和有机硒肥更加安全^[5–6]。纳米硒肥独特的生物学效应,不仅在提高产量、增强植物的抗氧化性方面表现突出,还能减少农药使用,具有广阔的市场应用前景^[7–8]。还有研究发现,不同肥料施用方式实现的富硒效果

差异明显:Ros 等研究表明,叶面喷施硒肥的富硒效果是土壤施加硒肥的 8 倍^[9];Broadley 等研究表明,土壤施用硒肥后平均只有 12% 的硒会被植物转运并利用^[10]。本研究通过田间试验,以纳米硒肥不同施用量为变量,研究其对水稻硒含量及其在各器官的分布规律,为宿迁地区富硒水稻促产提质提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试验区概况。试验地点位于江苏省宿迁市泗阳县宿迁农科所水稻育种基地(118.42°E、33.41°N),该区域属北亚热带季风过渡性气候,光照充足,雨量充沛。土壤取样后经农业农村部农产品及加工品检验检测中心(南京)检测,理化指标如下:pH 值 7.3,全氮含量(质量分数,下同)14.1 g/kg、全磷含量 0.65 g/kg、全钾含量 14.1 g/kg、有效磷含量 40 mg/kg、速效钾含量 97 mg/kg、硒含量 0.13 mg/kg。

1.1.2 供试品种。供试水稻品种泗稻 122 由江苏省农业科学院宿迁农科所提供。泗稻 122(审定编号:苏审稻 20250013)是中熟中粳品种。江苏省区域试验平均结果:该品种全生育期 148.9 d,比对照徐稻 3 号短 2.2 d,有效穗数 22.1 万个/667 m²,总粒数 139.1 粒/穗,结实率 88.2%,千粒质量 26.4 g。经江苏省农业科学院植物保护研究所鉴定:该品种稻瘟病综合抗性指数 4.75,中感稻瘟病、抗条纹叶枯病。

收稿日期:2026–04–24;修回日期:2026–07–20。

基金项目:宿迁市农业科技自主创新项目(SQCX202408)。

作者简介:郭新亚(1995—),男,硕士,从事水稻育种与栽培技术研究。Email: 523205644@qq.com。

* 通信作者:陈卫军(1969—),男,研究员,从事水稻育种与栽培技术研究。Email: shd5391425@sina.com。

1.1.3 供试硒肥。试验所用纳米硒肥购自苏州硒谷科技有限公司。产品为含氨基酸水溶肥料（含硒型），Se 总含量为 1 000 mg/L，纳米硒通过微生物转化方法从活化硒矿粉中制得，工艺提取后的纳米硒浓缩原液中硒含量可达 50 ~ 100 g/L，纳米硒粒径 30 ~ 100 nm；通过整合工艺，使纳米硒表面不饱和键与氨基酸配位，形成稳定络合物，该络合物对植物具有亲和性，易被植物吸收转化。

1.2 试验设计

水稻于 2025 年 5 月 20 日播种，6 月 20 日移栽，10 月下旬收获。叶面喷施硒肥 1 次，时期为孕穗期（2025 年 8 月 24 日）。试验小区 150 m²，共设置 5 个用量处理组，每个处理 3 次重复，共计 15 个小区，同一平面随机排列。所有处理（包括 CK）均用背负式喷雾器对水 15 L/667 m² 后喷施；CK，喷施清水；T1，喷施纳米硒肥 120 mL/667 m²；T2，喷施纳米硒肥 240 mL/667 m²；T3，喷施纳米硒肥 360 mL/667 m²；T4，喷施纳米硒肥 480 mL/667 m²。除喷施硒肥外，其他所有田间管理措施一致。

1.3 测定方法

在水稻成熟后采集试验地中各重复的水稻样本，测定叶、茎鞘、稻壳、糙米的总硒含量，测定方法

参照 GB 5009.93—2017《食品安全国家标准 食品中硒的测定》^[1]。

1.4 数据分析

采用 SPSS 25.0 软件，通过方差分析对数据进行统计，并采用邓肯式多重比较（Duncan）对差异显著性进行比较， $P < 0.05$ 认为差异具有统计学意义。采用 Prism 6 作图。

2 结果与分析

2.1 纳米硒喷施对农艺性状的影响

由表 1 可知，随着硒肥喷施用量的增加，水稻株高、千粒质量及产量均呈现先上升后下降的趋势，其中喷施用量为 240、360 mL/667 m² 后水稻株高及产量均显著高于对照组（ $P < 0.05$ ），喷施用量达到 480 mL/667 m² 时水稻株高及产量与对照组差异均无统计学意义。喷施硒肥用量为 120、240、360 mL/667 m² 时水稻千粒质量与对照组差异均无统计学意义，而喷施硒肥用量为 480 mL/667 m² 时水稻千粒质量显著低于对照组，同时田间表现为植株叶片枯红，植株提早衰亡，说明高硒处理不利于水稻生长。

表 1 喷施不同用量纳米硒肥对水稻性状及产量的影响

处理	喷施硒肥用量 / (mL/667 m ²)	株高 / cm	全生育期 / d	千粒质量 / g	产量 / (kg/667 m ²)
CK	0	90.8 ± 0.14 b	145 a	25.6 ± 0.08 a	541.9 ± 1.87 b
T1	120	91.5 ± 0.22 b	145 a	25.6 ± 0.25 a	548.5 ± 1.18 b
T2	240	93.3 ± 0.34 a	146 a	26.0 ± 0.30 a	555.1 ± 3.03 a
T3	360	93.7 ± 0.31 a	146 a	26.1 ± 0.38 a	560.0 ± 2.06 a
T4	480	91.0 ± 0.41 b	143 a	24.2 ± 0.53 b	526.6 ± 5.08 b

注：同列数据后不同小写字母表示差异具统计学意义（ $P < 0.05$ ）。表 2 同。

2.2 纳米硒肥对水稻硒积累分布的影响

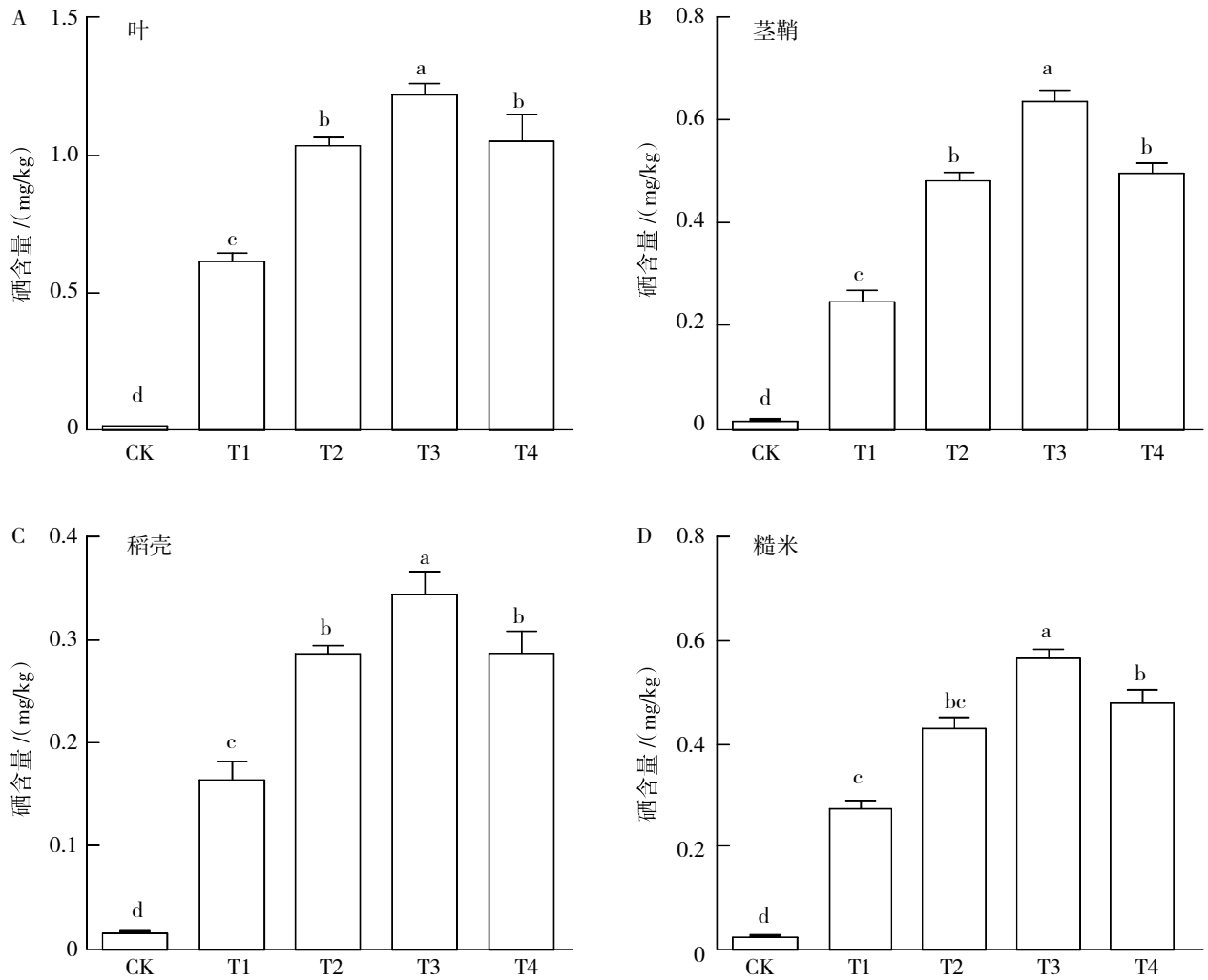
2.2.1 纳米硒肥对水稻各器官硒含量的影响。如图 1 所示，喷施不同用量硒肥后，水稻叶片、茎鞘、稻壳和糙米各部位硒含量均显著高于对照组，且随硒肥用量升高呈现先上升后下降的趋势，其中喷施用量为 360 mL/667 m² 的各部位硒含量均达到峰值，且显著高于其他用量处理。喷施用量为 480 mL/667 m² 的各部位硒含量均开始出现下滑，但仍高于喷施用量为 120 mL/667 m² 处理组。

2.2.2 水稻各器官硒分布。如图 2 所示，相比于对照组（CK），叶面喷施纳米硒肥的方式促使硒含量在叶片内的累积占比增多，喷施硒肥处理后，叶片总

硒含量占比约为 45%，相比于对照增加 164.7%；稻壳和糙米总硒含量从对照累积占比 59%，下降至累积占比约 32%，下降 45.8%；茎鞘总硒含量占比变化幅度最小。

2.3 喷施纳米硒对水稻米质的影响

从表 2 可知，相比于对照，喷施 120、240、360 mL/667 m² 不同用量的纳米硒肥后水稻垩白粒率较对照显著降低（ $P < 0.05$ ），糙米率、直链淀粉含量、碱消值与对照组差异均无统计学意义；而喷施 480 mL/667 m² 用量的纳米硒肥后，精米率、整精米率、垩白粒率、垩白度则均显著低于对照组（ $P < 0.05$ ）。



不同小写字母表示处理间差异具统计学意义 ($P < 0.05$)

图 1 不同用量纳米硒肥对水稻各器官硒含量的影响

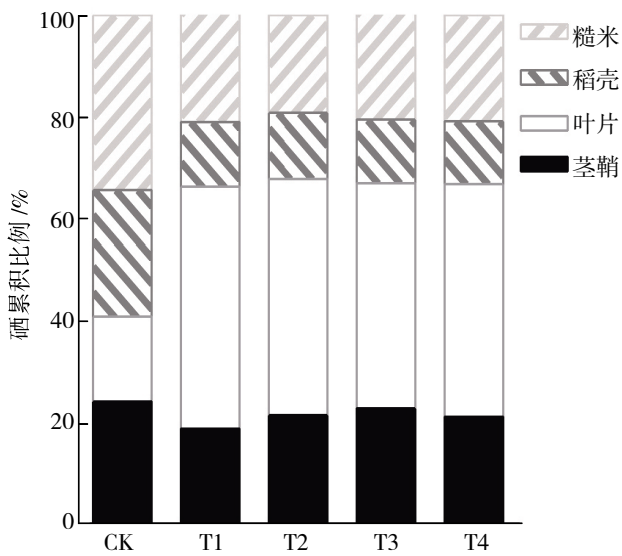


图 2 不同用量硒肥处理下水稻硒累积分布

3 讨论

3.1 叶面硒肥对水稻生长的影响

硒虽然不是植物生长的必需元素,但硒对水稻生长发育具有促进作用,比如硒元素能减轻植物体内自由基的伤害,与镉等重金属发生拮抗作用^[2]。本研究表明,随着叶面喷施硒用量的升高,千粒质量及产量亦增加;当用量超过 360 mL/667 m²,水稻生长受阻,籽粒灌浆不充分,千粒质量及产量均开始下降。推测是因为硒作为谷胱甘肽过氧化物酶的组成成分,适量的硒元素刺激了酶的合成和活性。该结论与石吕等得出结果^[13]相近,适宜的硒用量刺激酶的合成和活性,促进成熟期干物质积累,延缓剑叶衰老,促进增产。

表 2 喷施纳米硒肥对水稻米质的影响

处理	糙米率 /%	精米率 /%	整精米率 /%	垩白粒率 /%	垩白度 /%	长宽比	直链淀粉含量 /%	碱消值
CK	84.2 a	73.2 a	71.5 a	12.4 b	2.8 b	2.0 a	16.7 a	7.0 a
T1	84.1 a	72.9 a	71.6 a	11.9 c	2.7 b	2.0 a	16.9 a	6.9 a
T2	84.2 a	73.1 a	71.8 a	11.2 d	2.5 b	2.0 a	16.7 a	7.0 a
T3	84.2 a	73.2 a	71.9 a	11.4 d	2.6 b	2.0 a	17.0 a	6.9 a
T4	83.6 a	70.8 b	69.6 b	15.3 a	3.8 a	2.0 a	17.0 a	7.0 a

3.2 喷施不同用量纳米硒肥对水稻硒含量的影响

水稻不同部位对硒富集能力不同,存在一定差异。本研究表明,叶面喷施硒肥可以提高水稻茎、叶片和稻米硒含量;本研究发现通过叶面喷施纳米硒肥的方式,与对照叶片硒总量占比约 16%,增加至 44%以上,促使硒含量在叶片内的累积占比增多,推测是因为叶面喷施的硒可通过叶面的气孔、角质层亲水小孔、角质层裂缝进入叶片细胞内部,在细胞液和叶绿体中转化为硒化物,进而形成硒代氨基酸,该方式下硒元素在叶片大量累积。对照处理相当于水稻通过根吸收土壤内硒元素,转运至地上部,该过程硒有很大一部分累积在根部,向地上部器官转运受到限制^[14]。陈雪等研究发现,叶面喷施亚硒酸钠可显著提高水稻根、茎、叶和籽粒硒含量,并使硒滞留在叶部中的比例显著增加^[15],该结论与本研究结果相近。

此外,研究发现喷施硒肥超过一定用量范围时,不同部位硒含量不再增加,反而会有所降低。本研究图 1 中 T4 处理下,各器官硒总量相比 T3 处理显著下降,与 T2 处理基本持平。张有利等研究发现,在扬花期和灌浆期对水稻植株叶片均匀喷施处理可以提高水稻茎秆、叶片和精米硒含量,但当超过一定用量范围时,不同部位硒含量不再增加,反而会有所降低^[3-4],该研究结果与本研究一致,暗示高硒处理下各器官总硒含量下降是因为高硒影响水稻后期生长,致使剑叶功能失常,籽粒灌浆不充分。

3.3 喷施不同用量纳米硒肥对水稻米质的影响

稻米品质主要包括外观品质、加工品质、营养品质等多个方面,对稻米价格影响较为直接的是外观品质和加工品质。在适宜用量下,随着硒肥用量的提高,其对糙米率、精米率等加工品质影响不显著;只有在高用量下,籽粒灌浆不充分而导致出米率下降。同样,在适宜用量下,随着硒肥用量的提高,垩白粒率、垩白度等外观指标有显著下降,而高

硒处理下,外观品质变差。直链淀粉含量和碱消值并不随硒肥用量变化而发生显著变化。石吕等研究发现,富硒土壤水稻灌浆期叶面喷施外源有机硒肥,在显著增加整精米率的同时显著降低了垩白粒率,对糙米率、精米率和长宽比则无明显影响^[13],该结论与本研究结果相近。

3.4 对富硒水稻生产和米质改良应用的启示

不同水稻品种在不同的土壤类型、气候环境下,对硒的富集能力也表现出一定的差异^[16]。本研究在非富硒土壤(土壤硒含量 0.13 mg/kg 左右),通过叶面喷施纳米硒肥的方式,糙米总硒含量已超过《富硒稻谷》(GB/T 22499—2008)规定的 0.04 ~ 0.30 mg/kg 大米硒含量,说明通过外源施加硒肥可以生产出富硒大米。一方面,中国营养学会 FAO/WHO/IAEA 联合专家委员会已正式确定膳食硒供给量 50 $\mu\text{g}/\text{d}$,适宜范围 50 ~ 250 $\mu\text{g}/\text{d}$,最高安全剂量 400 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。本试验糙米硒含量约为 0.57 mg/kg,以每日 400 g 大米计算,硒摄入量为 228 μg (在适宜范围内)。另一方面,水稻富硒生产以本研究数据为基础计算,水稻收购价 2.6 元/kg,富硒水稻加价 0.4 元/kg,硒肥 100 元/667 m^2 ,常规种植亩效益: $2.6(\text{元}/\text{kg}) \times 541.9(\text{kg}/667 \text{ m}^2) = 1408.94 \text{ 元}/667 \text{ m}^2$;富硒栽培亩效益: $3.0(\text{元}/\text{kg}) \times 560.0(\text{kg}/667 \text{ m}^2) - 100(\text{元}/667 \text{ m}^2) = 1580 \text{ 元}/667 \text{ m}^2$,相比于常规栽培亩效益增加 171.06 元/667 m^2 。此外大米加工过程中,米糠是主要副产物,其内含有部分硒元素,可用于开发其他产品,如动物饲料等,可实现植物-动物共同补硒的目的。因而喷施硒肥不仅能改变食物中低硒的现状,还可以提高稻米附加值,提高稻米市场活力。

4 结论

在非富硒土壤种植水稻时,叶面喷施纳米硒肥

能够显著提升水稻各器官硒含量,促进成熟期干物质积累并增加产量。水稻不同组织部位硒含量随硒肥喷施用量增加呈先升后降变化,叶面施硒会使硒更多富集于叶片,茎鞘、稻壳及糙米的硒积累占比相应下降。适宜喷施用量还可有效改善稻米加工品质与外观品质,其中 360 mL/667 m² 为适宜喷施剂量,按每日食用 400 g 大米计算,该用量下糙米硒日摄入量达 228 μg,处于合理适宜范围,但施用量过高(超过 360 mL/667 m²)会影响籽粒灌浆,千粒质量下降,进而降低水稻产量与稻米品质。因此,生产中可依据稻米预设目标硒含量来精准调控纳米硒肥喷施用量,既能实现稻米富硒达标,又可达到水稻种植降本增效的效果。

参考文献:

- [1] 朱文东. 叶面喷施有机硒肥对稻米硒含量及品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(8): 1764–1767.
- [2] 全有华. 含硒多元生态水溶性肥料对水稻种植产量的影响[J]. 南方农业, 2021, 15(3): 173–174.
- [3] 张有利, 徐常健, 蒋志慧, 等. 不同富硒酵母对水稻硒吸收分配和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(3): 214–219.
- [4] 余侃, 黄思思, 龙小玲, 等. 生物有机硒对稻米品质性状及硒吸收分配的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(11): 168–174.
- [5] Gail L, Vinkovi T, Ravnjak B, et al. Agronomic biofortification of significant cereal crops with selenium: a review[J]. Agronomy, 2021, 11(5): 1015.
- [6] Kapoor P, Dhaka R K, Sihag P, et al. Nanotechnology-enabled biofortification strategies for micronutrients enrichment of food crops: current understanding and future scope[J]. NanoImpact, 2022, 26: 100407.
- [7] 王玮, 杨万仁, 王锐. 纳米硒对水稻产量与品质的影响[J]. 安徽农学通报, 2022, 28(4): 77–78.
- [8] 开建荣, 王彩艳, 李冬. 外源硒对稻谷、糙米和精米吸收累积矿质元素及重金属的影响[J]. 宁夏农林科技, 2020, 61(3): 52–56, 31.
- [9] Ros G H, Van Rotterdam A M D, Bussink D W, et al. Selenium fertilization strategies for bio-fortification of food: an agro-ecosystem approach[J]. Plant and Soil, 2016, 404(1): 99–112.
- [10] Broadley M R, Alcock J, Alford J, et al. Selenium biofortification of high-yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilization[J]. Plant and Soil, 2010, 332: 5–18.
- [11] GB 5009.93—2017 食品安全国家标准 食品中硒的测定[S].
- [12] 王丽霞. 硒元素的植物生理作用及生理机制研究进展[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(1): 31–32, 47.
- [13] 石吕, 薛亚光, 石晓旭, 等. 喷施硒肥对富硒土壤水稻产量、品质及硒分配的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(10): 174–183.
- [14] 沈乐丞, 温志刚, 廖涵, 等. 叶面喷施不同硒肥对水稻硒含量及硒形态和稻米组分的影响[J]. 中国农业科技导报, 2025, 27(3): 206–215.
- [15] 陈雪, 沈方科, 梁欢婷, 等. 外源施硒措施对水稻产量品质及植株硒分布的影响[J]. 南方农业学报, 2017, 48(1): 46–50.
- [16] 钟松臻, 张木, 张宝军, 等. 硒高/低累积型水稻富硒特征的比较研究[J]. 土壤通报, 2017, 48(4): 943–947.

Effects of Foliar Spraying Nano-selenium on Selenium Distribution and Rice Quality

Guo Xinya, Shi Yuliang, Chen Chun, Li Fan, Wang Feifei, Chen Weijun

(Suqian Institute of Agricultural Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Siyang 223700, China)

Abstract: To investigate the effects of foliar application rate of selenium fertilizer on selenium accumulation and grain quality in rice, a field experiment was conducted using cultivar Sidao 122. Four application rate gradients were established, with clean water as the control. Selenium concentration in different rice organs, agronomic traits, and grain quality were determined. The results showed that foliar selenium application significantly increased selenium levels in various rice organs, with distinct accumulation patterns among organs: leaf > stem and sheath > brown rice > rice husk. The optimal application rate was 360 mL/667 m², under which brown rice selenium content peaked at 0.57 mg/kg. Compared with the control, rice yield increased significantly by 3.3%, and the chalky grain rate decreased significantly, indicating improved grain quality. However, when the application rate exceeded 360 mL/667 m², rice yield, selenium content, and grain quality all declined significantly.

Key Words: Rice; Selenium; Foliar spraying; Selenium content

尹鹏熙. 保山麦豆间作绿色高效栽培技术要点与应用成效分析[J/OL]. 大麦与谷类科学, 2026, 43(4): 39–43 (2026-07-20). DOI:10.14069/j.cnki.32-1769/s.2026.04.007.

保山麦豆间作绿色高效栽培技术要点与应用成效分析

尹鹏熙

(保山市农业环境保护监测与农村能源工作站, 云南 保山 678000)

摘要:保山小春作物长期实行单一种植模式,该模式虽然可以在短时间内提高产量和便于提高管理效率,但也导致产量长期下降、农田生态退化、病虫害频发以及综合效益不高问题。为推动区域小春作物生产绿色高质高效发展,本文结合当地传统种植习惯、气候条件及土壤特点,探讨如何最大限度地发挥麦豆间作栽培技术在推动小春作物种植过程中的作用。实践表明,该栽培技术能有效防控病虫害发生、减少化肥农药使用量、提高小春作物产量与品质、改善农田微生态。蚕豆根系根瘤每年固氮 75 ~ 90 kg/hm²,可减少氮肥施用 20% ~ 25%。经隆阳区示范田连续 2 ~ 3 年监测,间作田土壤有机质含量提升 14% 以上,碱解氮含量提升 11% ~ 22%;土壤微生物多样性提升,枯萎病病原菌下降 32% ~ 48%,可缓解红壤板结与地力衰退,改善农田根际微生态环境。该技术操作简单,种植农户容易掌握,投入低,适合在保山及滇西同类生态区大面积推广,可为小春作物绿色高质量发展提供实用技术支撑。

关键词:小春作物;麦豆间作;有效防控;栽培技术;保山

中图分类号:S512;S643.6

文献标志码:B

文章编号:1673-6486-20260041

保山地处滇西低纬高原,具有“一山分四季,十里不同天”的立体气候,春冬日照足,昼夜温差大,对于小春作物生长具有得天独厚的气候条件,大麦、小麦、蚕豆种植常年稳定,对当地粮食安全、农民增收和农业生态保护至关重要。但长久以来,受传统种植习惯、劳动力变化、市场等因素影响,当地小春作物种植单一,农田生态系统结构简单,导致其自我调节能力弱、对病虫害等抵抗能力差,使病虫害发生越来越重。

为减少病虫害,农户对于化肥农药用量与日俱增,带来的后果不仅是成本增加,还使土壤板结、有机质减少、农业污染加重。而麦豆间作作为禾本科与豆科作物搭配的绿色种植模式,能利用两类作物生长特性与生态位的差异,通过蚕豆固氮养地,使麦豆植株、根系互补,可改善田间环境、减少病虫害。

本文梳理优化麦豆间作核心栽培技术,制定简单易学、便于推广的标准化种植方案,为当地小春农业绿色发展提供实用性参考。

1 麦豆间作核心栽培技术

1.1 品种选配原则与主推品种

品种选配遵循“优质高产、抗病抗逆、熟期相

近、区域适配”的核心原则,优先选择经过当地试验示范、适应性强的主栽品种,确保大麦/小麦与蚕豆生育期协调,避免种间竞争过强,同时提升群体对病虫害的抗性 with 整体抗逆能力。

1) 大麦主推品种:V06、V24、YS500、V013、8640-1,该系列品种丰产性好,中抗锈病、白粉病,全生育期 120 ~ 125 d,适配保山冬春气候条件。

2) 小麦主推品种:93-12、云选 11-12、S001、春 436-18,抗白粉病、中抗锈病,分蘖能力强,千粒质量稳定,全生育期 125 ~ 130 d。

3) 蚕豆主推品种:753-6-3、凤豆 6 号、2000-7、保山透心绿蚕豆,抗赤斑病、中抗锈病,结荚率高,品质优良,全生育期 130 ~ 135 d,与大麦/小麦熟期差控制在 10 d 以内,确保田间管理同步推进。

1.2 开沟理墒

前作水稻收获完成后,及时开展排水晾墒作业,避免土壤湿度过大引发作物根系腐烂与土传病害滋生。田块整理工作坚持深沟高墒、排灌顺畅的核心要求,按照 2.0 m 包墒标准开沟,沟宽设置为 25 cm、沟深保持 20 cm,墒面保持平整状态,不过度粉碎土块,保留适宜的土壤孔隙度,改善蚕豆出苗阶段的通气条件,提高种子成苗率。墒面与沟系配套完善,确保降雨后田间积水能够快速排出,杜绝田间积水现象,减轻作物渍害与病害发生概率。

收稿日期:2026-04-23;修回日期:2026-07-13。

作者简介:尹鹏熙(1991—),男,农艺师,主要从事农业技术推广工作。Email: 729104680@qq.com。

1.3 种植模式与规格

采用 4 : 1 行比间作布局方式: 墒面种植 4 行大麦或小麦, 沟边两侧各栽种 1 行蚕豆, 形成麦豆作物合理空间配置结构。沟边蚕豆植株与墒面麦类作物间距保持 10 cm, 蚕豆株距设置为 20 cm, 麦类

作物行距为 40 cm(图 1), 保障田间群体通风透光条件良好, 减少光照、养分资源竞争, 构建高低分层的田间冠层结构, 有效阻隔病虫害扩散传播路径, 提升整体群体抗病虫害能力^[1]。

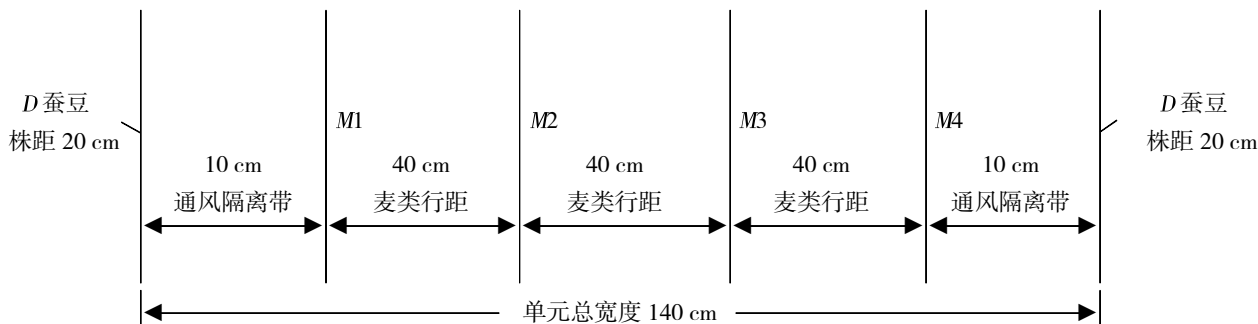


图 1 4 : 1 麦豆间作模式示意图

1.4 适时播种与用种量

播种应根据实际情况因地制宜, 确定最佳播种时间, 避开低温、干旱等不利气候时段。蚕豆最佳播种时间为 9 月下旬, 蚕豆用种量约 5 kg/667 m², 采用人工点播方式, 播种深度 3 ~ 4 cm, 播种后轻覆土, 让种子与土壤紧密接触。该用量为保山中等肥力旱地推荐值, 坝区排灌条件较好的高肥力田块用种量可下调至 4.0 ~ 4.5 kg/667 m², 土层浅薄、保水保肥能力弱的山区瘠薄旱地可增至 5.5 ~ 6.0 kg/667 m²。

大麦适宜播种时间为 11 月 1—10 日, 中等肥力田块用种量 7 ~ 9 kg/667 m², 采用条播方式, 播种深度 3 ~ 5 cm。参照保山市大麦栽培地方标准, 生产上以基本苗数 18 万 ~ 20 万株 /667 m² 为群体调控指标, 坝区高肥力水田用种量可降至 6 ~ 7 kg/667 m², 墒情不足的旱地及播种偏晚的地块可增至 9 ~ 11 kg/667 m²。

小麦适宜播种时间为 10 月 25—30 日, 中等肥力田块用种量 9 ~ 12 kg/667 m², 采用行距 40 cm 条播种植, 播种深度 3 ~ 5 cm, 播种后覆土镇压, 防止种子裸露, 提高出苗整齐度。结合隆阳区小春小麦主推技术要求, 小麦以基本苗数 12 万 ~ 15 万株 /667 m² 为合理群体指标, 坝区高肥水田块播量控制在 8 ~ 10 kg/667 m², 山区低肥力坡耕地、播种延后的地块可上调至 12 ~ 14 kg/667 m²。

1.5 科学肥水管理

遵循重底肥、轻追肥, 适量根外补肥的施肥原则, 以腐熟农家肥为主、化肥为辅, 合理把控施肥用量与施用时段, 防止氮肥施用过多造成植株徒长倒伏。蚕豆与麦类作物需肥规律存在明显区别, 可结

合不同作物生育阶段的养分需求统筹调配肥料。蚕豆苗期根瘤发育不完善, 固氮能力偏弱, 可少量补施氮肥培育壮苗; 进入初花期之后, 根系根瘤固氮功能逐步增强, 自身可固定大气中的氮素, 此阶段基本不需要再追施氮肥。蚕豆全生育期对磷、钾养分需求较高, 可在二叶一心期、初花期适量增施磷钾肥, 促进分枝萌发, 提升结荚率。大麦、小麦在拔节阶段养分消耗量大, 是追肥的关键时期, 可集中追施拔节肥, 满足麦类快速生长需求。通过错峰施肥、养分互补的调配方式, 麦豆间作田块氮肥施用量相比小麦、大麦单作田可减少 15% ~ 20%, 既能利用蚕豆固氮特性减少化肥投入, 节约生产开支, 也能缓解过量施肥带来的农田污染问题, 保护田间生态环境。

1.5.1 大麦 / 小麦施肥。底肥: 结合田间整地, 施用腐熟农家肥 1 500 ~ 2 000 kg/667 m², 播种时沟施硫酸钾 5 kg/667 m²、普钙 30 kg/667 m²、尿素 15 kg/667 m², 筑牢作物苗期营养基础, 增强植株抗逆能力; 苗肥: 作物 2 叶 1 心期, 施用硫酸钾 5 kg/667 m²、普钙 20 kg/667 m²、尿素 15 kg/667 m², 促进根系发育与有效分蘖, 培育健壮幼苗; 拔节肥: 根据植株实际长势灵活施用, 长势偏弱田块追施尿素 5 kg/667 m², 促进茎秆健壮生长与幼穗分化; 长势偏旺田块减少施肥量或不施肥, 防止贪青晚熟与植株倒伏。

1.5.2 蚕豆施肥。施肥以磷钾肥为主、氮肥为辅, 依托蚕豆根瘤固氮特性减少氮肥使用量。2 叶 1 心期用普钙 20 kg/667 m²、硫酸钾 15 kg/667 m²、尿素 3 kg/667 m², 对水均匀浇施于植株根部, 促进根系生长与分枝; 6—7 叶期长势较差田块可补施磷钾肥与

少量氮肥,增加分枝数量,提高结荚数;土壤肥力较高田块全程少施或不施氮肥,防止植株徒长荫蔽影响结荚。

1.6 田间综合管理

田间管理以麦类作物为核心、兼顾蚕豆生长需求,重点抓好除草、灌水、病虫害绿色防控三项工作,保障群体协调生长、提升整体产量水平。

1.6.1 除草。推行化学除草+人工除草相结合的方式,避免杂草与作物争夺水分、养分、光照资源。麦类作物2叶1心期喷施选择性除草剂,严格控制药剂喷施范围,避免药液飘移对蚕豆造成药害;麦类分蘖期、拔节期以及蚕豆苗期、现蕾期,人工拔除田间恶性杂草,改善田间通风透光条件,减少病虫害滋生场所。

1.6.2 灌水。坚持速灌速排,避免大水漫灌,影响根系呼吸。麦类作物播种后,浇灌出苗水应及时,避免缺水导致出苗不好;分蘖期、拔节期、孕穗期是水分临界期,需及时补水满足生长需求;蚕豆现蕾期、结荚期是浇灌水关键时期,保持土壤湿润状态,促进结荚与籽粒发育充实。每次灌水后及时排干田间积水,防止根系缺氧腐烂与病害蔓延。

1.6.3 病虫害绿色防控。坚持“预防为主、综合管控”的防控理念,选用高效低毒低残留农药。麦类:重点防控锈病、白粉病、蚜虫,在拔节期、孕穗期、齐穗期对症用药,锈病用三唑酮、白粉病用粉锈宁、蚜虫用吡虫啉,严格控制药剂浓度与施用次数。蚕豆:重点防控锈病、赤斑病、斑潜蝇、蚜虫,在苗期、初花期、结荚中后期精准施药,斑潜蝇用阿维菌素、赤斑病用多菌灵、蚜虫用啉虫脒,均匀喷雾以提升防治效果。

2 技术优势与应用成效

2.1 病虫防控效果突出,农药用量明显下降

麦豆间作模式改变了小春作物单一种植的田间群体结构,田间冠层高低错落,通风透光条件得到改善,破坏了锈病、白粉病、赤斑病、蚜虫、斑潜蝇等病虫害滋生蔓延的田间小气候,依靠作物群落间的生态制衡作用,能够有效压低病虫初始基数,延缓病害扩散速度,田间整体抗病虫能力得到提升^[9]。结合隆阳区小春粮油主产区示范片区农户定点走访调查,对不同种植模式病虫害发生程度与农药投入情况开展对比统计,结果如表1所示。

表1 麦豆间作与单作模式病虫害发生及农药使用情况对比

种植模式	主要病虫害类型	全年常规施药次数/次	防控特点说明
单作大麦	条锈病、白粉病、麦蚜	4~5	田间植株郁闭、湿度偏高,病害易发多发,生育期内须分次开展预防与统防统治
单作蚕豆	赤斑病、蚜虫、斑潜蝇	4	连片栽培易造成病虫交叉侵染,病害扩散速度快,全生育期需要开展多次药剂防治
麦豆间作	锈病、赤斑病、蚜虫	2~3	田间通风透光性较好,病虫发生时间推迟、种群数量偏少,仅须在病虫高发时段选择性防治

2.2 农田生态持续改善,土壤肥力稳步提升

蚕豆根瘤具备天然固氮作用,能够供给农田生长所需的部分氮素养分,从而减少化肥(氮肥)的施用量,降低养分流失引发的农业面源污染风险^[9]。大麦与蚕豆根系深浅错落分布,再加上田间秸秆残茬还田量逐年增多,能够持续改良土壤团粒结构,提升耕地有机质与碱解氮含量,缓解小春作物连年连作带来的土壤板结问题,进一步增强土壤蓄水保肥能力。

结合隆阳区小春种植区实地走访调研情况,麦豆间作模式连续推广2~3年后,田间土壤通透性明显改善,对比长期单一种植的地块,土壤板结硬化情况逐步缓解,耕作难度有所下降,耕地整体理化性状不断优化。化肥与农药用量的有序减少,

减轻了化学农资对水土环境的负面影响,稳固农田生物群落结构,提升农田生态系统自我调节能力,促进耕地用养结合,实现农田生态良性循环发展。

2.3 土地利用效率提高,增产增收效果明显

该模式充分利用墒面与沟边空间资源,在确保麦类作物稳产的基础上,还额外收获一茬蚕豆,实现主作物稳产、副作物增收的良好效果。经过肥水优化与科学田间管理,且收获后考种显示,麦类千粒质量、蚕豆结荚数等农艺性状良好,作物产量也相应提高。与传统单一种植模式比较,每亩综合经济效益显著提升,进一步激发了农户种植小春作物的积极性。

产值测算:麦类市场收购单价2.6~2.8元/kg,

区域单作麦类产量 420 ~ 450 kg/667 m²; 商品干蚕豆地头收购价 3.2 ~ 3.6 元 /kg, 单作蚕豆产量 380 ~ 400 kg/667 m²。麦豆间作模式下, 墒面麦类产量为单作模式的 92% ~ 95%, 沟边额外收获蚕豆 120 ~ 160 kg/667 m², 两类产值合并核算得到亩毛产值区间。

农资总成本: 依据辖区乡镇农资门店小春当季零售价格统计, 涵盖作物种子、基肥与追肥、除草剂及病虫害防治农药三类费用。

劳动力与机械总成本: 参考隆阳区农机社会化

服务市场价格与当地农事雇工行情, 包含旋耕整地、开墒起垄、播种、田间管护、粮食收割、田间转运全部农事环节支出。

收益核算方法: 净利润(元 /667 m²)= 毛产值(元 /667 m²)- 农资总成本(元 /667 m²)- 劳动力及机械总成本(元 /667 m²); 增收幅度以单作麦类亩均净利润为基准对比计算, 最终得到 36% ~ 47% 的增收区间(表 2)。

表 2 麦豆间作与常规单作模式经济效益对比(农户调研均值)

种植模式	毛产值 / (元 /667 m ²)	农资总成本(种子 + 化肥 + 农药) / (元 /667 m ²)	劳动力 + 机械总成本 / (元 /667 m ²)	净利润 / (元 /667 m ²)	较单作平均 增收幅度
单作麦类	1 100 ~ 1 260	265 ~ 305	365 ~ 405	470 ~ 610	—
单作蚕豆	1 280 ~ 1 440	245 ~ 285	375 ~ 415	660 ~ 800	—
麦豆间作	1 780 ~ 1 980	225 ~ 255	415 ~ 455	1 080 ~ 1 280	36% ~ 47%

2.4 技术简便易操作, 适配性与推广性强

技术操作流程符合当地传统种植习惯, 投入成本低, 无需新增农业设施, 所用作物品种均为当地主栽品种, 肥水管理、病虫害防控等措施与农户常规生产操作相辅相成, 农户不需要经过复杂专业的培训即可上手, 适合散户种植与规模化经营主体推广。

3 问题与建议

一是常态化开展间作栽培技术培训与田间指导。基层农技部门结合小春农事时节, 围绕麦豆间作行比设置、播期调节、水肥管理、病虫分类防控等关键技术开展培训, 农技人员下沉田间开展实操指导, 纠正农户沿用单作农田管理方式的习惯。

二是推广基于养分诊断的精准肥水管理技术。依托便携式土壤速测仪器、作物叶色诊断卡判断田间养分状况, 结合地块肥力差异合理调配肥料用量, 推行减量配方施肥。同时引导农户科学选用低毒农药, 根据间作田病虫害发生规律开展适时防控。

三是改造推广带状间作专用小型农机。麦豆带状间作田块行距交错, 大型农机作业通行困难, 可引进改良分行式播种机具, 配套中耕、追肥功能, 缓解人工劳作量大的问题。同时落实农机购置补贴政策, 扶持合作社与种植大户配备小型耕作机械。

四是建设示范样板田开展辐射推广。在隆阳区小春主产区设置麦豆间作示范田, 设立间作与单作对照试验区, 观测长势、产量及土壤变化情况, 通过

现场观摩、效益对比带动周边农户规范种植。

4 技术关键点讨论与应用潜力分析

4.1 田间关键风险与管控要点

麦豆带状间作是云南省常年推广的小春多样性种植模式, 具有培肥地力、减肥控害的作用。大麦与蚕豆生长习性差异较大, 共生期易出现资源竞争、群体结构失衡、田间小气候改变等问题, 是栽培管理中需要重点把控的环节。

4.1.1 共生期水肥竞争易造成大麦苗期长势偏弱。大麦与蚕豆播期相近, 苗期根系同步生长。蚕豆根系吸收水肥能力更强, 易与大麦争夺浅层土壤养分与水分。滇西冬春干旱、墒情不稳, 若沿用单作一次性施肥方式, 易出现蚕豆旺长、大麦分蘖不足、苗势偏弱的情况。生产中可分期调控氮肥施用时间, 在大麦分蘖期适时补水追肥, 协调两类作物养分供给, 缓解种间竞争^[9]。

4.1.2 蚕豆株型偏高易对大麦产生遮光胁迫。蚕豆植株高大、分枝较多, 冠层郁闭度高, 行比设置不当会对两侧大麦形成侧向遮阴, 造成大麦下部叶片光照不足、通风不畅。保山坝区冬春多雾高湿, 郁闭环境易引发大麦基部叶片早衰, 影响养分积累。生产上多采用宽窄行带状种植, 合理控制蚕豆密度, 适时疏除下部老叶, 改善田间通风透光条件。

4.1.3 间作农田小气候改变, 病虫害防控方式需调整。间作农田植被覆盖度高、湿度偏大, 病虫寄主更

为复杂。大麦锈病、白粉病、蚜虫与蚕豆赤斑病、斑潜蝇可在两类作物间交替侵染,发生规律与单作田存在差异,不宜直接套用常规防治方案。结合多样性种植植保研究成果,可通过种子包衣减少种传病害,根据田间病虫发生动态开展分期精准防控,减轻交叉危害。

4.2 技术应用潜力分析

麦豆间作模式适配滇西小春生产条件,适宜在保山隆阳区、施甸县等粮油产区推广。该模式无需改造基础设施,农户只需调整种植行比与管理节点即可应用,便于示范推广。

该模式可利用蚕豆根瘤固氮减少化肥用量,依靠作物多样性压低病虫基数,逐步缓解长期连作带来的土壤板结、地力退化问题,契合化肥农药减量与耕地质量提升的农业发展要求。在妥善管控水肥竞争、遮光影响、病虫交叉侵染等问题后,能够实现稳产增收、生态改良的综合效益,在滇西小春种植区具备较好的推广应用前景^[5]。

5 结论

麦豆间作作物栽培模式,以绿色高效为发展目标,集成品种优化、科学肥水、绿色防控等成套技术,可实现病虫害轻发、化肥农药减量、作物提质增

产、农田生态改善的多重生产目标。该技术贴合当地实际生产需要、操作简便、见效快,符合保山及滇西相似生态区小春作物生产需求,对推动小春农业转型升级、保障区域粮食安全、促进农户增收、保护农业生态环境具有重要的现实意义。后续应持续完善技术体系、强化示范推广力度、推进机械化与标准化生产,让麦豆间作技术惠及更多农户,助力区域农业高质量可持续发展。

参考文献:

- [1] 李洪谨,陈国华,周惠萍,等. 昆明地区蚕豆小麦间作控制南美斑潜蝇危害的研究[J]. 云南农业大学学报,2006,21(6): 721–724.
- [2] 李 隆. 间套作强化农田生态系统服务功能的研究进展与应用展望[J]. 中国生态农业学报,2016,24(4):403–415.
- [3] 肖焱波,李 隆,张福锁. 小麦/蚕豆间作体系中的种间相互作用及氮转移研究[J]. 中国农业科学,2005,38(5):965–973.
- [4] 刘振洋,吴鑫雨,汤 利,等. 小麦蚕豆间作体系氮素吸收累积动态及其种间氮素竞争关系[J]. 植物营养与肥料学报,2020,26(7):1284–1294.
- [5] 杨进成,安正云,陈向东,等. 利用物种多样性持续控制小春作物病虫害应用研究[J]. 云南农业科技,2006(增刊):53–55.

Key Points and Application Results of Green and Efficient Cultivation Techniques of Wheat–faba bean Intercropping in Baoshan

Yin Pengxi

(Baoshan Agricultural Environmental Protection Monitoring and Rural Energy Workstation, Baoshan 678000, China)

Abstract: Monoculture has long dominated winter-spring crop production in Baoshan, Yunnan. While this system simplifies field management and ensures short-term yields, prolonged monoculture leads to progressive yield decline, agroecosystem degradation, frequent disease and pest outbreaks, and reduced economic returns. To advance sustainable, high-quality, and efficient winter-spring crop production, this study evaluated wheat-faba bean intercropping based on local agronomic traditions, climatic conditions, and soil properties. Field results demonstrated that this intercropping system effectively suppressed disease and pest pressure, reduced agrochemical inputs, improved crop yield and quality, and enhanced soil microecology. Faba bean root nodules fixed 75–90 kg N/hm² annually, reducing nitrogen fertilizer application by 20%–25%. Continuous monitoring of demonstration fields in Longyang District over 2–3 years showed that intercropping increased soil organic matter by >14%, alkali-hydrolyzable nitrogen by 11%–22%, and soil microbial diversity, while reducing wilt disease pathogens by 32%–48%. These changes alleviated red soil compaction and fertility decline and improved the rhizosphere microenvironment. Characterized by simple operation, easy adoption by farmers, and low input costs, this technology is readily scalable across Baoshan and analogous agroecological zones in western Yunnan, providing practical support for the sustainable development of winter-spring crops.

Key Words: Winter-spring crops; Wheat-faba bean intercropping; Effective prevention and control; Cultivation techniques; Baoshan City

王倩倩,崔 岭,周 萍,等. 响水县鲜食玉米产业发展路径探析——基于产业短板补齐和全链质效双增的发展思考[JOL]. 大麦与谷类科学,2026,43(4):44–47(2026-07-10). DOI:10.14069/j.cnki.32-1769/s.2026.04.008.

响水县鲜食玉米产业发展路径探析 ——基于产业短板补齐和全链质效双增的发展思考

王倩倩¹,崔 岭¹,周 萍¹,孔令杰²,崔亚坤²

(1. 响水县粮油作物栽培技术指导站,江苏 盐城 224600;2. 江苏省农业科学院种质资源与生物技术研究所,江苏 南京 210014)

摘要:鲜食玉米是江苏省响水县特色农业产业的重要组成部分,对促进农业增效、农民增收、助推乡村振兴作用显著。本文结合响水县鲜食玉米产业发展实际,指出了产业发展定位不明确、高质量发展技术待提升、产业化程度待加强等问题。通过调研,提出:打通政策通道、明晰产业定位、激活区位优势;强化品种选育、推广标准化栽培技术;健全联农机制、培育多元主体、延伸加工链条、拓展消费场景等发展路径。旨在推动响水县鲜食玉米产业提质增效、高质量可持续发展,为地方特色农业发展与乡村振兴提供借鉴。

关键词:鲜食玉米;产业发展;路径探析

中图分类号:S513

文献标志码:B

文章编号:1673-6486-20260046

我国是鲜食玉米生产与消费第一大国,产业规模大,增速快。目前鲜食玉米全国种植面积超167万 hm^2 ,年消费量达570亿穗^[1];产业布局呈现产区集聚、品种多样特征,逐渐形成了“南方甜玉米、北方糯玉米”的格局^[2],主产区集中在东北、京津冀、长三角、珠三角和西南等地区。鲜食玉米具备较为显著的经济效益,属于典型的高附加值作物。随着鲜食玉米产业规模扩大,加工体系逐步完善,已形成速冻、真空包装、罐头等多元化产品类型。在我国农业转型升级与乡村振兴战略深入推进的背景下,鲜食玉米凭借独特经济价值、市场潜力与优化种植结构,已成为特色农业发展的重要路径。

江苏省在我国鲜食玉米产业中占据重要地位,种植面积长期稳定在10万 hm^2 左右^[3-4],鲜食糯(甜糯)玉米种植面积占总面积的90%~95%。经过多年发展,种植区域已由以南京和南通地区为主发展到全省各个区域,初步形成了苏南农旅产业、苏中特色产业、苏北新兴产业的格局^[5]。近年来,苏北各地深耕鲜食玉米特色产业,盐城市响水县依托独特水土资源禀赋和区位优势实现了鲜食玉米产业跨越式发展,其产业成长路径、全链条发展模式与联农带农机制在苏北县域中极具代表性及典型性,可为

区域特色产业升级提供重要参考。本文以响水县鲜食玉米产业发展为例,分析鲜食玉米产业“从无到有、从有到优”的发展现状和特点,总结现有产业发展问题及未来产业发展方向和路径。

1 响水县鲜食玉米产业发展现状

1.1 一年两季错峰种植,集约高效利用土地

响水县鲜食玉米种植主要推行早春覆膜滴灌+晚秋露天机械双季种植模式,早春覆膜滴灌、水肥一体化促早上市。该模式以育苗移栽、有机肥+生物菌肥培肥地力,起垄覆膜、精量点播等集成技术提质增效,一年双季鲜食玉米-冬菜模式,鲜食玉米年收获约6000穗/667 m^2 ,按批发价0.8元/穗,年种植收益为4800元/667 m^2 ,较单季鲜食玉米种植增加800~1200元/667 m^2 ,冬菜年收益400~2000元/667 m^2 ,周年收益增加1200元/667 m^2 以上,鲜食玉米产品供应周期拉长30~40d,显著提升土地复种指数与周年产出,破解单季种植效率低、供应周期短难题。

1.2 精深加工丰富品类,全链提升产品附加值

以锁鲜加工+标准化生产延伸价值链,鲜棒2h内进入挑选、剥皮、清洗、蒸煮、冷冻流水线,采用国际领先高温灭菌与锁鲜技术,实现零添加、无污染,保质期12个月。依托龙头企业技改与冷库仓

收稿日期:2026-04-27;修回日期:2026-06-11。

作者简介:王倩倩(1999—),女,硕士,助理农艺师,主要从事粮油作物研究与推广。Email:1198898609@qq.com。

储,构建种植、冷藏、保鲜、分拣、加工、销售一体化体系,从价值构成来看,鲜食玉米全链条产值中,前端种植环节占比约35%,以鲜穗出售为主、增值空间有限;初级清洗分拣、冷链仓储等初加工环节占比约25%;高温灭菌、真空锁鲜、预制化调理等精深加工环节占比约30%,附加值较鲜穗提升2~3倍;剩余10%来自品牌运营、渠道销售等环节增值。目前响水县鲜食玉米产业链年产值突破5亿元,实现“种得好”向“卖得好”转变。

1.3 品牌强农塑造特色,构建区域竞争优势

实施品牌引领+多元营销战略,注册“响垦臻品”“志禾农业”等品牌^⑥,建立全程质量管控体系,打造绿色认证产品;创新“全员营销+专员营销”,依托直播、电商等拓展渠道,产品畅销长三角等地。以区域公共品牌与企业品牌协同,强化品质提升与数字化传播,提升市场占有率,将产品优势转化为品牌竞争力。

1.4 产学研深度融合,全链条协同优化升级

深化“校地企”合作,联合江苏省农业科学院、南京农业大学、扬州大学等共建产业研究院、亚夫工作站、智慧农业科技小院等,聚焦品种选育、全程机械化、保鲜加工等技术研发,合作集成省主推技术“鲜食玉米机械化轻简高效栽培技术”、盐城市地方标准“鲜食玉米膜下滴灌栽培技术规程”等,选用新品种“苏科糯232”开展高产攻关,鲜穗带苞叶产量实现18450 kg/hm²。推行“合作社+基地+农户”组织模式,集成应用绿色防控、生物防治、精准水肥等技术,建成江苏最大鲜食玉米机械化种植基地,形成科技成果快速转化、产业链闭环高效的可持续发展格局。

2 响水县鲜食玉米产业发展问题

2.1 产业发展定位不明确

尽管当地对鲜食玉米产业的政策支持不断加大,但产业发展定位模糊的问题日益凸显,这已成为制约产业升级发展的瓶颈。响水县地处长三角都市圈,该区域人口密集、消费能力强,对鲜食玉米的需求量大,市场供应缺口显著,具备扩大种植规模的优越条件。但由于产业定位不清晰,规模化、标准化和品牌化的发展方向仍然模糊,导致种植规模与市场需求不相匹配,产业发展潜力还未能得到完全释放。如农户跟风改种后出现品种混乱、上市时间

扎堆,部分农户优质玉米只能低价批发,出现市场供需错配情形。

2.2 高质量发展技术待提升

生产技术水平不足是影响响水县鲜食玉米产品品质和产量的核心因素,主要体现在品种选育筛选、种植栽培管理和机械采收三个方面。当地与科研院所已建立合作,但在新品种自主培育方面仍然薄弱,主要依赖引进外地品种,部分品种适配性不强,存在口感不佳、抗病性弱、耐储运性差等问题,难以满足市场对新鲜优质的要求,也无法形成具有地域特色的品种优势。

在种植栽培技术方面,多数种植户仍采用传统粗放式管理模式,缺乏科学的种植指导,在播种时间、水肥管理、病虫害绿色防控等环节操作不规范,不仅导致产量不稳定,还可能因过度使用化肥农药影响产品品质,以致商品穗率低,降低市场竞争力。如2025年在运河镇种植基地采用防鸟保苗措施后,保苗率由83%提高至95%,保苗成效显著。此外,机械采收覆盖度偏低,除龙头企业种植基地外,其他小型经营主体和散户种植仍以人工采收为主,这不仅增加劳动成本,还会因采收不及时导致玉米新鲜度下降,降低产品商品性,甚至陷入“优质不优价”的困局,制约产业规模化发展。以当地龙头企业江苏志禾农业发展有限公司为例,应用全程机械化和水肥一体化技术可节约人工成本3000元/hm²。

2.3 产业化程度待加强

响水县鲜食玉米产业化水平不高,产业链条仍待加强,难以实现产业价值最大化。全县仅有江苏志禾农业科技有限公司和响水响垦臻品农业科技有限公司两家鲜食玉米龙头企业,龙头企业规模大,加工技术装备对产业链的整合能力强,对县域鲜食玉米产业发展有较强的拉动作用,但“企业+合作社+农户”的联动模式未能充分发挥功能,利益联结机制松散、权责不对等、服务不到位,导致模式空转、带动效能偏弱,还未有效带动周围农户实现标准化种植和规模化发展。

当前县域鲜食玉米产业市场集中度偏高,发展资源与产能高度依赖两家企业主体,经营结构单一,抗市场波动与经营风险能力薄弱;一旦企业出现经营波动,将直接影响整个鲜食玉米产业的稳定发展。鲜食玉米产品仍以鲜穗、简易真空包装穗为主,玉米粉、玉米汁、休闲食品、功能性配料等精深加工开发不足,产业链条短、增值空间有限,整体效

益偏低,亟须探索多元化产业发展路径,提升产品附加值。

3 响水县鲜食玉米产业发展路径分析

3.1 打通政策扶持通道,明晰产业定位

从顶层设计上解决响水鲜食玉米产业的瓶颈制约,一方面以政策集成创新让产业发展有支撑、有保障;另一方面以精准定位锚定市场,让资源优势转化为竞争优势,为产业规模化、标准化和品牌化发展奠定基础。

3.1.1 打通政策扶持通道。响水县政府紧扣大健康时代消费需求,将鲜食玉米确立为农业结构调整的优势作物、农民增收的优势特色产业,纳入重点培育范畴,建议精准对接国家农业产业强镇、乡村产业融合示范等专项政策,争取省级特色农业产业集群、高标准农田建设、设施农业贷款贴息等财政扶持资金,落实鲜食玉米种植保险、初加工税费减免等惠企惠农政策,量身定制县级鲜食玉米规模化种植奖补、标准化基地建设、冷链仓储配套补助等专项举措,强化县域产业规划与扶持政策。

3.1.2 实施差异化定位发展。立足长三角消费区位优势,确立“高端鲜食+订单农业”核心定位,划定千亩核心示范基地专供上海、南京等高端商超、精品生鲜平台;推行错峰上市规划,按早、中、晚熟品种分区种植,避开集中上市期,精准匹配高端市场“优质、错峰、精品”需求,杜绝低价批发、供需错配。

3.2 强化技术攻坚,补齐生产短板

针对产业发展中技术标准不统一、规范化种植体系不完善等痛点,政府主动担当“产学研用”桥梁纽带,与科研院校建立稳定合作关系,搭建创新平台,有效促进科技成果落地转化,为产业高质量发展提供科技支撑。

3.2.1 打造当地特色品种。联合江苏省农业科学院、扬州大学等科研院校建立鲜食玉米品种选育示范基地,每年筛选出3—5个优质品种开展当地试种,重点培育口感佳、抗病强、耐储运的高产优质品种;建立品种准入负面清单,淘汰劣质品种,逐渐形成响水专属品种优势。

3.2.2 推广标准化栽培技术。在已集成的鲜食玉米种植技术规程的基础上,由县农业农村局牵头,编制适合当地的鲜食玉米标准化种植手册,在生产关键时间节点联合高校院所开展田间培训观摩,全面

推广精量播种、水肥一体化、绿色病虫害防控技术;逐渐普及防鸟保苗、数字化田间监测等轻简技术,将科学种植技术应用于生产实践,实现产量品质双提升。

3.2.3 加快全程机械化应用。出台机械购置叠加补贴政策,对小型主体、散户购置采收机、剥皮机等专用机械给予额外补助;建议依托江苏志禾农业有限公司等龙头企业建立农机服务中心,为周边农户提供机械化播种、采收等服务,可以提高鲜穗采收效率并节约成本,保障玉米新鲜度与商品性。

3.3 健全联农机制,培育多元主体、延伸产业链条

深化产学研融合,构建“企业主体、市场导向、研产衔接”的技术创新体系,健全联农机制,丰富多元经营主体,逐步打造区域鲜食玉米产业核心区。树立“品牌即竞争力”的理念,注册区域品牌,主动参与绿色食品、有机产品认证申报,强化全程质量管控,以精深加工提升产品附加值,创新拓展销售模式和渠道,以品牌溢价和标准化生产提升市场竞争力^[7]。

3.3.1 建立联农带农利益联结机制。推行“保底收购+按利分红+全程服务”紧密型联结模式,企业与合作社、农户签订标准化种植订单,提供种苗、技术指导,承诺保价收购;建立权责对等考核机制,将技术服务、保价收购、质量管控列入企业考核指标;把组织管理、生产统筹、社员服务列入合作社考核内容;将种植规范、田间管理、产品交售等列入农户考核内容,依据考核结果落实奖惩举措,杜绝模式空转,确保企业按承诺收购,合作社强化生产服务,农户加强田间管理,共同助推产业高质量发展。

3.3.2 培育多元经营主体。实施中小主体培育计划,扶持5—8家专业合作社、家庭农场做大做强,打破单一龙头企业依赖格局;小农户作为一线生产主体,通过加入合作社,实现组织化生产,有效破解单户经营信息不对称、议价能力弱、抗风险能力差等难题,降低市场波动带来的损失。

3.3.3 丰富产品类型,拓展消费场景。支持龙头企业建设精深加工生产线,突破鲜穗、简易真空包装等初级产品形态,研发速冻玉米粒、玉米汁、玉米脆、功能性玉米粉等深加工产品;覆盖生鲜、零食、烘焙辅料、预制食材等多种品类,适配不同群体消费偏好,推动产业链从前端向后端延伸,实现产品附加值大幅提升。主动对接市场消费新趋势,摆脱传统农贸批发、线下商超的基础销售渠道局限,积

极开拓社区团购、生鲜电商、餐饮供应链、企业集采等消费场景，真正将区位优势转化为产业竞争优势，助力产业高质量发展。

4 小结

响水县鲜食玉米产业依托独特的水土资源与区位优势，通过发展全链条加工、打造区域品牌、深化产学研合作，已实现产业跨越式发展，形成了集约化生产、标准化加工、品牌化塑造的发展态势，成为助力乡村振兴的特色支柱产业。为进一步推动产业升级，可通过畅通政策扶持渠道，明晰产业定位；强化品种选育、推广标准化栽培技术；健全联农机制、培育多元主体、延伸加工链条、拓展消费场景等路径增强产业核心竞争力，为县域特色农业可持续发展提供实践参考。

参考文献：

- [1] 原诗琪,都君,马超,等. 鲜食玉米全产业链协同发展模式研究[J]. 玉米科学,2025,33(3):109–116,126.
- [2] 佟屏亚. 中国发展蔬果玉米要走高端路线[J]. 种子科技,2021,39(6):1.
- [3] 吴嘉点,薛林,胡加如,等. 鲜食糯玉米食味品质性状相关分析及优质新品种筛选[J]. 金陵科技学院学报,2019,35(2): 57–60.
- [4] 纪从亮. 江苏鲜食玉米产业化开发的实践与启示[J]. 江苏农村经济,2015(8):26–28.
- [5] 赵赫,赵文明,崔亚坤,等. 江苏省鲜食玉米产业发展现状调研与分析[J]. 大麦与谷类科学,2024,41(6):1–7.
- [6] 张梅. 响水县鲜食玉米产业发展现状及建议[J]. 上海农业科技,2025(4):18–21.
- [7] 甘伟铭,曹斌. 农产品区域公用品牌溢价效应研究: 基于电子商务平台数据的实证[J]. 南京农业大学学报(社会科学版),2025,25(6):176–187.

Exploration of Development Path of Fresh Edible Corn Industry in Xiangshui: Development Strategies for Addressing Industry Gaps and Enhancing Whole-chain Quality and Efficiency

Wang Qianqian¹, Cui Ling¹, Zhou Ping¹, Kong Lingjie², Cui Yakun²

(1. Xiangshui Technical Guidance Station for Grain and Oil Crop Cultivation, Yancheng 224600, China; 2. Institute of Germplasm Resources and Biotechnology, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: Fresh edible corn is an important component of the distinctive agricultural sector in Xiangshui County, substantially contributing to agricultural efficiency, farmers' income, and rural revitalization. Based on the current status of the fresh corn industry in Xiangshui, this study identifies key challenges, including ambiguous industrial positioning, insufficient technological support for high-quality development, and a low level of industrialization. Accordingly, we propose the following strategies: streamlining policy coordination, clarifying industrial positioning, and leveraging regional advantages; strengthening variety breeding and promoting standardized cultivation techniques; improving farmer-industry linkage mechanisms, cultivating diversified market entities, extending processing chains, and expanding market channels. These measures aim to improve the quality and efficiency of the fresh corn industry and foster its sustainable development in Xiangshui, providing a reference for regional agricultural development and rural revitalization.

Key Words: Fresh edible corn; Industrial development; Path analysis

郭 涛,郝海云,孙 蕾,等. 早熟优质香稻新品种科润 1896 的选育及栽培技术[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(4):48–52,57(2026–08–18). DOI:10.14069/j.cnki.32–1769/s.2026.04.009.

早熟优质香稻新品种科润 1896 的选育及栽培技术

郭 涛¹,郝海云²,孙 蕾³,王海凤¹,薛 芳¹,房文文¹,姜艳芳¹,张士永^{1*}

(1. 山东省农业科学院湿地农业与生态研究所/湿地生态农业山东省工程研究中心/山东省基因组修饰技术与种质创新重点实验室, 山东 济南 250100;2. 博兴县振兴农业发展集团有限公司,山东 滨州 256500;3. 滨州市博兴县庞家镇人民政府,山东 滨州 256500)

摘要:科润 1896 是以圣稻 18 为母本、淮香粳 15 号为父本配制杂交组合,并用圣稻 18 回交 3 次后系谱法选育而成的早熟优质香稻新品种。该品种具有适宜轻简化种植、矮秆大穗、品质优、产量高等优点,2024 年生产试验该品种全生育期 150.5 d,比对照润农 11 早熟 1.3 d,株高 87.9 cm,每穗总粒数 144.3 粒,结实率 89.6%,千粒质量 24.9 g。科润 1896 的平均产量 623.2 kg/667 m²,比对照增产 8.27%。经专业机构检测,该品种稻米整精米率 69.1%、垩白度 1.1%、透明度 2 级、胶稠度 75 mm、碱消值 7.0、直链淀粉含量 18.3%、粒长 5.0 mm、长宽比 1.8、爆米花香,香味值 77 分,符合优质二级米标准。2022—2023 年该品种经天津市农业科学院植物保护研究所鉴定,稻瘟病综合抗性指数分别为 3.0 和 1.8,穗颈瘟损失率最高级均为 1 级,条纹叶枯病抗性等级 3 级。2025 年 7 月该品种通过山东省品种审定(审定编号:鲁审稻 20256007),适宜在鲁南、鲁西南、苏北、皖北及沿黄稻区种植利用。

关键词:早熟;优质;香稻;科润 1896;栽培技术

中图分类号:S511

文献标志码:B

文章编号:1673–6486–20260032

水稻是我国主要的粮食作物之一,年种植面积约 3 000 万 hm²,总产量达 2 亿 t 左右,为保障国家粮食安全奠定了坚实基础(国家统计局 2024 年公告)。其中,黄淮稻区是我国优质粳稻的重要产区,水稻年种植面积在 100 万 hm² 左右^[1]。随着人们生活水平的提高,稻米消费结构发生了很大变化,开始由“吃得饱”向“吃得好、吃得健康”转变。香米是我国城乡居民喜爱的一种美食,因其带有浓郁香味能增强人们的食欲,且营养价值和经济价值都很高,历来受到人们欢迎。因此,培育高产、优质、多抗香稻品种,完善绿色生产技术,对黄淮地区水稻产业增产提质、带动农民增收具有重要意义^[2–5]。

香味是水稻核心品质性状之一,香米在蒸煮过程中会释放出具有芳香气味的挥发性物质,能够显著提升食欲;同时,香米富含蛋白质、氨基酸、维生素 B 族、维生素 C 等多种人体必需营养成分,营养

价值突出^[6–7]。常规育种一般根据经验依据表型进行后代选择,随机性较强,准确性低且易受环境影响。传统的咀嚼法鉴别香稻品种易受环境和主观因素影响而难以快速鉴定,费时费力,结果可信度低,且无法区分杂合基因型和纯合基因型,增加了选育香稻品种的难度。利用分子技术可从 DNA 水平上鉴定样品基因型,从而显著提高了选择效率和准确性^[8]。香稻品种的香味物质主要成分为 2-乙酰基-1-吡咯啉(2-acetyl-pyrroline, 2-AP),由水稻中编码甜菜碱脱氢酶基因 *BADH2* 控制^[8–9]。香味基因位于水稻第 8 号染色体上,基因全长 1 509 个碱基,由 15 个外显子和 14 个内含子组成,编码的蛋白含有 503 个氨基酸;该基因为隐性突变类型,突变造成的功能缺失会引起酶的催化底物 2-AP 的积累,使水稻的叶片和稻谷产生香味^[8–9]。

高分辨率熔解曲线(high-resolution melting curve analysis, HRM)技术具有分辨率高、高效、快速、操作简单、安全等优点,是一种在作物分子标记分析中很有应用前景的技术^[10]。本研究分析了香稻品种淮香粳 15 号 *BADH2* 基因的序列信息(参考基因序列为来自国家水稻数据中心的日本晴序列),根据基因的突变位点开发了一对用于 HRM 检测方法的分子标记(*frg-F*、*frg-R*)。通过 HRM 基因分型技术在后代群体中跟踪香味基因,快速选育出适合黄淮地

收稿日期:2026–03–18;修回日期:2026–07–08。

基金项目:山东省重点研发计划(乡村振兴科技提振行动计划)(2022TZXD0040);山东省农业良种工程(2024LZGC009);济南市揭榜挂帅项目。

作者简介:郭 涛(1982—),男,博士,副研究员,主要从事水稻种质资源研究。Email: guotaorice@163.com。

* 通信作者:张士永(1969—),男,研究员,主要从事水稻遗传育种研究。Email: 13305371992@163.com。

区种植的早熟、优质、高产香稻新品种——科润 1896,2025 年 7 月该品种通过山东省审定(审定编号:鲁审稻 20256007)。科润 1896 的育成为黄淮稻区生产优质香米、打造中高端大米品牌提供新品种,具有广阔的应用前景。

1 科润 1896 亲本来源及品种选育过程

1.1 母本

圣稻 18 是山东省农业科学院湿地农业与生态研究所圣稻 14 为母本、中间材料 06134 为父本杂交后系统选育而成的优质粳稻品种,2016 年通过国家审定(审定编号:国审稻 2016048)。在黄淮粳稻区种植,该品种全生育期 160.1 d,比对照徐稻 3 号晚熟 2 d;平均产量 642.4 kg/667 m²,比徐稻 3 号增产 3.58%。圣稻 18 抗稻瘟病,2 年接菌鉴定穗颈瘟损失率最高级均为 1 级,条纹叶枯病抗性 3 级。米质优,各项指标达到优质三级稻谷标准^[1]。

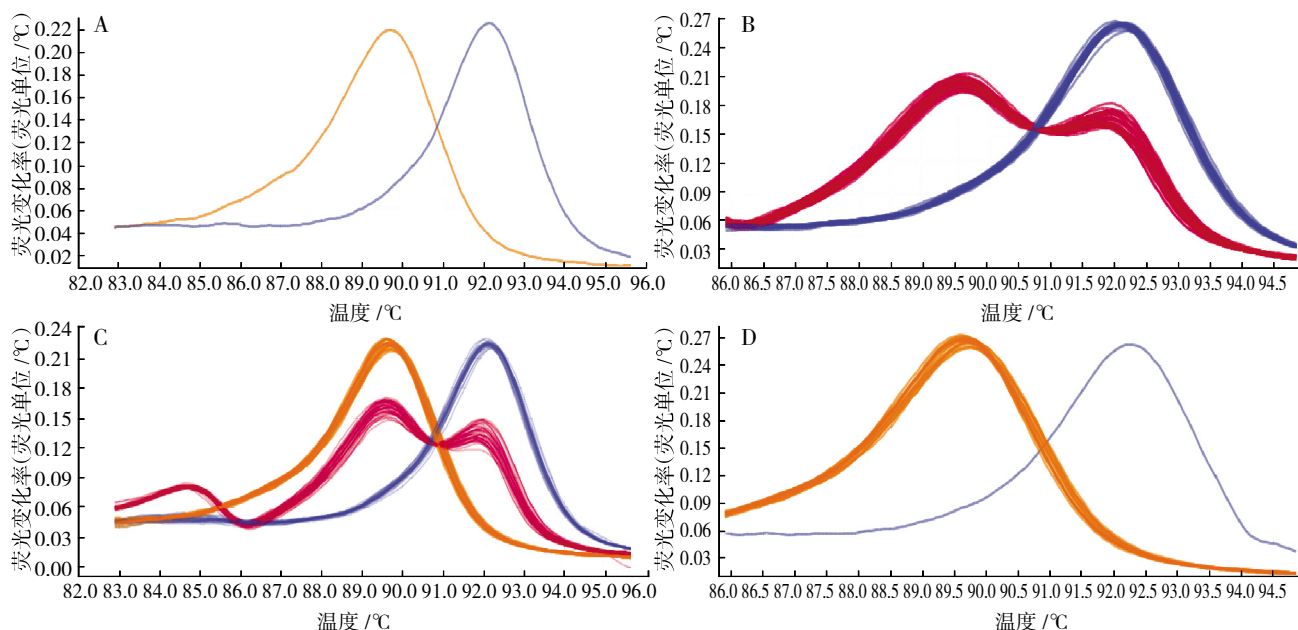
1.2 父本

淮香粳 15 号是由江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所银玉 2239 为母本、淮 238 为父本杂交后系统选育而成的迟熟中粳水稻品种,2014 年通过江苏省审定(审定编号:苏审稻 201414)。在江苏沿江及苏南地区作迟播种植,该品种全生育期 149.6 d,比对照武运粳 23 早 2 d;平均产量 693.9 kg/667 m²,比徐稻 3 号增产 6.0%;株高 114.4 cm,每穗总粒数

140.0 粒,结实率 94.5%,千粒质量 28.3 g;米质达到国标二级优质稻谷标准^[12-14]。

1.3 选育过程

科润 1896 是以圣稻 18 为受体亲本,淮香粳 15 号为香味基因供体亲本,借助 HRM 分子标记辅助选择技术定向导入香味基因,经多代系统选育培育而成的早熟优质香稻新品种。2014 年夏季在山东济宁以圣稻 18 为母本、淮香粳 15 号为父本配制杂交组合;2014 年海南种植杂交种,并以圣稻 18 为父本回交;2015 年正季种植 BC₁F₁,经分子标记检测,以带有香味基因的杂交种为母本,以圣稻 18 为父本回交;2015 年海南种植 BC₂F₁,经分子标记检测,以带有香味基因的杂交种为母本,以圣稻 18 为父本回交;2016 年正季种植 BC₃F₁,经分子标记检测,挑选带有香味基因的单株,按单株收获;2016 年海南种植多个 BC₃F₂ 小群体,比较田间抗性,考察农艺性状,经分子标记检测,收获带有香味基因的单株(HRM 基因分型部分检测结果如图 1 所示);2017 年正季种植 BC₃F₃ 家系,分子标记验证香味基因,按单株收获;2018 年正季种植 BC₃F₄ 家系,考察生育期、株高、产量等性状,去杂后株系混收;2019—2021 年正季种植观察和品比材料;2022 年定名为科润 1896,2022—2023 年参加山东省特殊用途水稻品种区域试验;2024 年参加山东省特殊用途水稻品种生产试验。2025 年该品种通过山东省审定,审定编号:鲁审稻 20256007。其选育过程如图 2 所示。



A.分子标记在亲本间多态性验证; B.回交杂交种香味基因检测; C.BC₃F₂ 群体单株香味基因检测; D.BC₃F₃ 家系香味基因验证。黄色红色线条代表亲本淮香粳 15 号和香味基因纯合单株,蓝色线条代表亲本圣稻 18 和无香味基因单株;红色线条代表香味基因杂合单株

图 1 HRM 检测香味基因

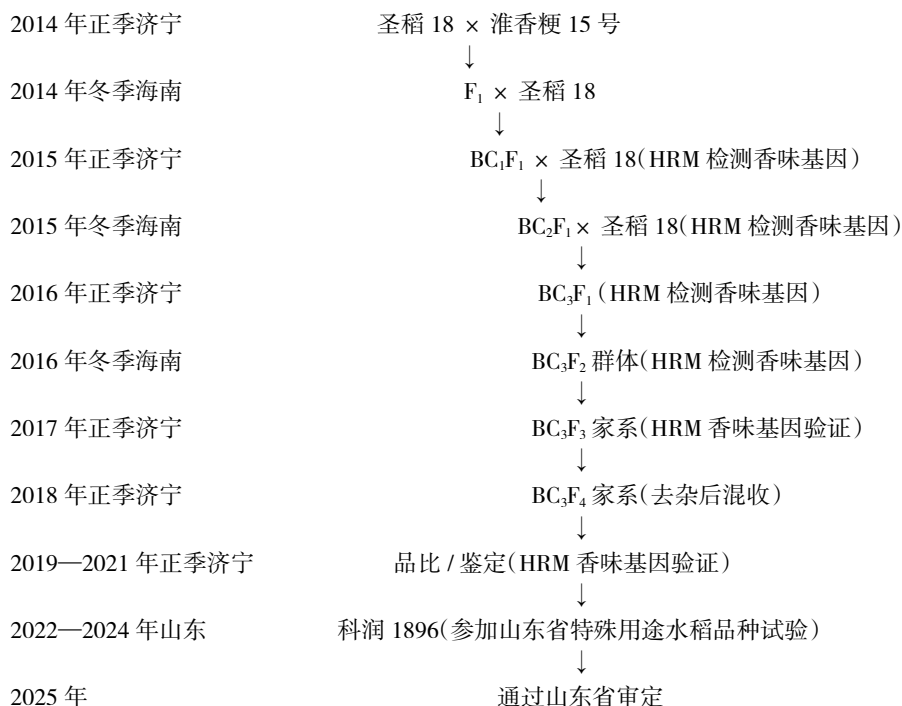


图 2 科润 1896 选育过程

2 科润 1896 品种特征特性

2.1 主要农艺性状

科润 1896 属中早熟梗香稻品种,株型紧凑,穗型直立。该品种区域试验 2 年主要农艺性状表现:全生育期平均为 152.3 d, 比对照润农 11 晚熟 0.1 d;平均有效穗数 22.0 万个 /667 m²,成穗率 84.1%,株高

86.0 cm,穗长 15.8 cm,穗实粒数 123.3 粒 / 穗,结实率 89.4%,千粒质量 24.7 g。2024 年进行生产试验,科润 1896 全生育期为 150.5 d,比对照润农 11 早熟 1.3 d,有效穗数为 22.9 万个 /667 m²,成穗率 84.7%,株高 87.9 cm,穗长 17.4 cm,穗实粒数 129.3 粒 / 穗,结实率 89.6%,千粒质量 24.9 g(表 1)。

表 1 科润 1896 农艺性状与产量表现

品种	年份	生育期 / d	比 CK 增 / d	有效穗数 / (万个 /667 m ²)	成穗率 / %	株高 / cm	穗长 / cm	总粒数 / (粒 / 穗)	实粒数 / (粒 / 穗)	结实率 / %	千粒质量 / g
科润 1896	2022	153.4	1.8	19.8	83.2	85.2	14.8	130.5	119.5	91.5	24.7
	2023	151.2	-1.6	24.1	84.9	86.8	16.7	147.6	127.1	87.2	24.7
	平均	152.3	0.1	22.0	84.1	86.0	15.8	139.0	123.3	89.4	24.7
	2024	150.5	-1.3	22.9	84.7	87.9	17.4	144.3	129.3	89.6	24.9
润农 11(CK)	2022	151.6	—	21.2	80.1	83.9	14.4	125.5	113.3	90.3	26.3
	2023	152.8	—	21.8	81.4	91.9	15.3	141.1	123.5	87.5	25.8
	平均	152.2	—	21.5	80.8	87.9	14.9	133.3	118.4	88.9	26.1
	2024	151.8	—	20.6	78.8	94.2	16.7	143.3	131.5	91.6	25.6

2.2 产量表现

2022 年初试科润 1896 平均产量 615.4 kg/667 m²,比对照润农 11 增产 7.09%,增产点比例 80%。2023 年续试,科润 1896 平均产量 672.0 kg/667 m²,比对照润农 11 增产 5.30%,增产点比例 100%。2024 年生

产试验该品种平均产量 623.2 kg/667 m²,比对照润农 11 增产 8.27%,增产点比例 100%。

2.3 稻米品质

2022—2023 年,经农业农村部食品质量监督检验测试中心(杭州)测试,科润 1896 的 2 年平均品

质表现:稻谷出糙率 83.7%,整精米率 69.1%,垩白度 1.1%,透明度 2 级,碱消值 7.0 级,胶稠度 75 mm,直链淀粉含量 18.3%,精米率 74.1%,粒长 5.0 mm,长宽比 1.8,垩白粒率 6%,爆米花香,2 年检测香味值分别为 72 和 82 分,平均香味值 77 分,均达到优质二等食用粳稻标准(表 2)。

2.4 抗性鉴定

2022—2023 年,经天津市农业科学院植物保护研究所接菌鉴定,科润 1896 稻瘟病抗性综合指数分别为 3.0 和 1.8,穗颈瘟损失率最高级均为 1 级。条纹叶枯病抗性鉴定 3 级,抗病(表 3)。

表 2 科润 1896 品质表现

年份	出糙率 / %	整精米率 / %	垩白度 / %	透明度 / 级	碱消值 / 级	胶稠度 / mm	直链淀粉 含量 /%	长宽比	精米率 / %	粒长 / mm	垩白粒率 / %	香味 / 分	等级
2022	83.4	69.6	1.3	1	7.0	80	17.9	1.8	73.4	5.1	7	爆米花香, 72 分	优质二等
2023	84.0	68.6	0.8	2	7.0	70	18.6	1.7	74.7	4.8	5	爆米花香, 82 分	优质二等
平均	83.7	69.1	1.1	2	7.0	75	18.3	1.8	74.1	5.0	6	爆米花香, 77 分	优质二等

表 3 科润 1896 稻瘟病和条纹叶枯病抗性鉴定结果

年份	苗、叶瘟平		穗颈瘟				综合评价			条纹叶枯病抗性	
	均病级 / 级	发病率 /%	病级 / 级	损失率 /%	病级 / 级	综合指数	损失率最高 级 / 级	抗性		病级 / 级	抗性
2022	1	52.4	9	2.6	1	3.0	1	MR	—	—	—
2023	0	11.8	5	0.6	1	1.8	1	R	3	R	R

注:稻瘟病抗性鉴定分级按 NY/T 2646—2014《水稻品种试验稻瘟病抗性鉴定与评价技术规程》标准执行。

3 科润 1896 栽培技术要点

3.1 适期播种,培育壮秧

在山东济宁、临沂等地作麦茬稻种植,5 月中上旬播种,盘育机插秧适宜播期为 5 月中下旬。济南、东营沿黄春稻区 4 月中下旬播种。播前晒种 2~3 d,严格药剂浸种,防治恶苗病、根尖线虫等病害。可选用 80%乙蒜素可湿性粉剂 200~400 倍液浸种,也可选用 25 g/L 咯菌腈悬浮种衣剂 400~600 mL/667 m²,对水 1 000~2 000 倍液,种子包衣。

适当降低播量,培育壮秧。大田秧板育秧 50~60 g/m²(干种计算);盘育秧单盘播种量 120~135 g(干种计算),大田用 25~30 盘/667 m²。播种前秧田施复合肥(N、P₂O₅、K₂O 的质量比为 15:15:15) 15~20 kg/667 m² 作基肥。2 叶 1 心期,施尿素 5 kg/667 m²,移栽前 3 d 施尿素 5 kg/667 m²。3 叶期前保持秧板湿润,3 叶期后可建立水层。

注意防治病虫害。秧苗 1 叶 1 心期,用 30%甲霜·噁霉灵水剂苗床喷雾,防治立枯病。飞虱迁入秧田时,用 50%吡蚜酮水分散粒剂 12~20 g/667 m²,或 30%噻虫嗪悬浮剂 8~16 mL/667 m²,对水 40~50 L/667 m²,苗床喷雾。同时防治蓟马等害虫。

3.2 适时移栽,合理密植

人工插秧秧龄应控制在 40 d 左右,机插秧秧龄控制在 30 d 以内。鲁南、鲁西南麦茬稻在小麦收获后 6 月中下旬抢时插秧;济南、东营沿黄稻区 5 月中下旬移栽,适时早插。人工插秧行距 25 cm,株距 15 cm 左右,每穴 4~5 苗,基本苗数 6 万~8 万株/667 m²;机插秧行距 30 cm,株距 14~16 cm,每穴 5~6 苗,基本苗数 7 万~8 万株/667 m²。

3.3 合理施肥,科学灌溉

科学合理确定品种的最佳施肥量是获得高产、优质的前提。秧苗生出新根后施尿素 7~8 kg/667 m² 作返青肥,7~10 d 后施尿素 12~15 kg/667 m² 作分

蘖肥。分蘖期及灌浆期可喷施 0.2%~0.3%磷酸二氢钾水溶液作叶面肥^[15]。

插秧后保持浅水层以促进分蘖,活棵后浅水勤灌,以水调肥、以气促根,实现早生快发。根据群体生长状况确定烤田时间,一般在 7 月下旬开始,7 月底 8 月初复水。抽穗扬花期不能缺水,扬花后干湿交替,水稻收获前 7~10 d 停水。

3.4 病虫害防治

在水稻破口期和齐穗期防治稻瘟病和纹枯病,可选用 75%三环唑水分散粒剂或 40%稻瘟灵乳油等,对水喷雾,兼防稻曲病。合理保护利用天敌,可在田埂种植芝麻、大豆等显花植物,保护和提高青蛙、蜘蛛、隐翅虫等捕食性天敌和寄生性天敌的控害能力。在二化螟、稻纵卷叶螟蛾始盛期每隔 3~5 d 释放 1 次赤眼蜂,均匀放置 5~8 个点/667 m²,每次放蜂 1 万头/667 m²,防治螟虫。

及时清除稻田及周边杂草,减少杂草种子来源。利用翻耕、旋耕等措施,将杂草打碎,控制杂草。化学除草剂选择应符合绿色生产要求,可选用 40%丁噻乳油 180~200 mL/667 m² 结合返青肥施用,保持 3~5 cm 水层 5~7 d。如果封闭后仍有杂草,可在杂草 2~5 叶期进行茎叶处理,以禾本科杂草为主的田块,可选用 10%氰氟草酯乳油 50~70 mL/667 m²,或二氯喹啉酸可湿性粉剂 30~50 g/667 m²;以阔叶草为主的田块,可选用 480 g/L 灭草松水剂 150~200 mL/667 m²,或 200 g/L 氯氟吡氧乙酸乳油 65~75 mL/667 m²,对水 50 L/667 m² 喷雾^[6]。

3.5 适时收获

科润 1896 的收获时间通常在 10 月中下旬,当稻谷黄熟、谷粒变黄比例达到 95%以上时,结合天气情况适时收割。收获后及时脱粒晾晒,保证籽粒产量稳定和品质优良。

参考文献:

[1] 高国良,高发瑞,张巧玲,等. 2013—2022 年黄淮稻区国审

水稻品种的特征特性分析[J]. 中国农学通报,2024,40(21): 1-11.

[2] 张来桐,杨 乐,刘 洪,等. 水稻香味物质的研究进展[J]. 中国水稻科学,2025,39(2):171-186.

[3] 郭 韬,余 泓,邱 杰,等. 中国水稻遗传学研究进展与分子设计育种[J]. 中国科学:生命科学,2019,49(10):1185-1212.

[4] 殷春渊,黄金华,刘贺梅,等. 施氮量对粳型香稻香味、食味品质的影响及优质优味香稻基因型筛选[J]. 江苏农业科学,2025,53(21):110-116.

[5] 刘梅英,罗昊文,蒲小娟,等. 破口期喷施谷氨酸对香稻生理特性和产量的影响[J]. 中国稻米,2025,31(3):70-74.

[6] 张倩倩,殷春渊,刘贺梅,等. 48 份水稻骨干材料香味及 *Badh2* 变异类型的鉴定[J]. 种子,2024,43(1):107-113.

[7] 宁 敏,刘俊雄,暴亚冲,等. 水稻种质资源香味基因 *Badh2* 的分子鉴定及香稻筛选[J]. 分子植物育种,2021,19(15):5017-5029.

[8] Chen S H,Yang Y,Shi W W,et al. *Badh2*,encoding betaine aldehyde dehydrogenase,inhibits the biosynthesis of 2-acetyl-1-pyrroline, a major component in rice fragrance[J]. The Plant Cell,2008,20(7):1850-1861.

[9] Bradbury L M T,Gillies S A,Brushett D J,et al. Inactivation of an aminoaldehyde dehydrogenase is responsible for fragrance in rice[J]. Plant Molecular Biology,2008,68(4):439-449.

[10] 赵均良,张少红,刘 斌. 应用高分辨率溶解曲线技术分析水稻分子标记基因型[J]. 中国农业科学,2011,44(18): 3701-3708.

[11] 朱文银,徐凤文,姜明松,等. 优质高产抗病水稻新品种圣稻 18 的选育及栽培技术[J]. 中国稻米,2014,20(2):78-79.

[12] 李 刚,袁彩勇,王 健,等. 粳稻新品种淮香粳 15 号选育及其高效栽培技术[J]. 南方农业学报,2016,47(1):13-17.

[13] 王 健,袁彩勇,孔宪旺,等. 中粳稻新品种淮香粳 15 号的选育及利用[J]. 中国稻米,2016,22(1):112-113.

[14] 王 健,袁彩勇,孔宪旺,等. 不同栽培措施对“淮香粳 15 号”产量的影响[J]. 上海农业科技,2015(6):50,52.

[15] 郭 涛,王海凤,徐 美,等. 适宜轻简化优质高产香稻新品种矮丰 80 的选育及栽培技术[J]. 大麦与谷类科学,2023, 40(3):58-61.

(下转第 57 页)

朱俊凯,刘晓斌,朱艳港,等. 高产、多抗水稻金扬软玉的选育及栽培要点[JOL]. 大麦与谷类科学,2026,43(4):53–57 (2026–07–10). DOI:10.14069/j.cnki.32–1769/s.2026.04.010.

高产、多抗水稻金扬软玉的选育及栽培要点

朱俊凯^{1,3}, 刘晓斌^{1,2*}, 朱艳港¹, 曹金霞¹, 朱莹¹, 季一鸣¹, 丁睿¹, 张艳琼¹, 王长宏¹, 杨建春^{1,2}, 姚立志^{1,2}

(1. 江苏金土地种业有限公司, 江苏 扬州 225100; 2. 江苏里下河地区农业科学研究所, 江苏 扬州 225007;

3. 扬州市现代种业研究院, 江苏 扬州 225200)

摘要:金扬软玉(参试名金粳稻 8332)是以抗纹枯病品种淮稻 18 号的辐射诱变当代株系为母本、优良食味中间材料软玉 2 号为父本进行杂交,经多代系谱选择鉴定选育而成的优质高产早熟晚粳水稻新品种。在江苏省水稻新品种审定试验中该品种表现出产量高、适口性好、综合抗性强等优点,区域试验 2 年平均产量为 684.5 kg/667 m²,较对照品种武运粳 23 号增产 4.52%,增产点次率达 100%。2023 年该品种通过江苏省审定(审定编号:苏审稻 20230020),适宜在江苏省沿江及苏南地区推广种植,具有较高的推广应用价值。

关键词: 高产; 多抗; 金扬软玉; 栽培要点

中图分类号: S511

文献标志码: B

文章编号: 1673–6486–20260036

水稻是我国主要粮食作物之一,根据国家统计局官方网站数据库(2025 年)发布的数据,其种植面积约 2 900 万 hm²,而江苏作为南方最大的粳稻生产省份,水稻单产与总产水平均处于全国主产省前列,常年种植面积 200 万 hm² 左右,是保障我国“口粮绝对安全”的重要支撑^[1]。近年来,随着国家农业供给侧结构性改革的不断深入和居民消费水平的不断提高,市场对高品质稻米的需求不断上升,水稻生产供给矛盾逐步加剧^[2]。江苏省委、省政府对粮食生产给予高度关注,积极推动优质稻米产业链的提档升级^[3]。近年来,育种单位利用低直链淀粉含量基因选育了一系列如南粳 9108、金香玉 1 号、宁香粳 9 号等半糯“软米”品种^[4–7],该类型品种普遍具有产量潜力大、米饭口感柔软顺滑、冷后不回生等特点,深受市场欢迎。因此,选育并推广种植高产优质半糯水稻新品种是促进农业增效、农民增收的有效途径之一。

金扬软玉是由江苏金土地种业有限公司自主选育的半糯型水稻新品种,具备产量潜力高、食味品质优、后期转色佳及综合抗性较强等特性,于

2023 年 6 月通过江苏省农作物品种审定委员会审定(审定编号:苏审稻 20230020),适宜种植推广区域为江苏省沿江及苏南地区,2025 年 11 月成功获得植物新品种权证书(品种权号:CNA20231004422)。

1 金扬软玉选育过程

2015 年春季南繁,在海南省三亚市以 ⁶⁰Co 辐射诱变淮稻 18 号的当代材料为母本,引进的武进软米材料软玉 2 号为父本,配制杂交组合,收获杂交种子 18 粒。2015 年正季在扬州市江都小纪科研基地种植杂种 F₁ 并混收 4 株 F₁ 植株种子。2016 年春在三亚南繁基地种植 F₂ 群体 800 株左右,田间根据农艺性状选择 80 个单株,室内考察糙米外观,最终获得半糯类型的 30 个优良单株。2016 年秋至 2017 年春连续于扬州、海南两地加代,农艺性状选择的同时进行稻瘟病抗性鉴定,至 F₅ 世代获得 6 个农艺性状稳定的优良株系,根据产量水平选择一个迟熟株系(17T–283)。2018 年正季,在江苏扬州、泰州及镇江等地开展多点鉴定(田间编号为 18GT–332);孕穗期采用江苏省农业科学院植物保护研究所提供的稻瘟病生理小种混合菌液进行人工接种,以鉴定穗颈瘟抗性^[8];小区收获后,分别进行稻米外观品质分析鉴定与食味品尝鉴定。该株系在多点鉴定中综合性状表现较为突出,2019 年推荐其参加江苏省早熟晚粳组预备试验,暂定名为金粳稻 8332;2020 年晋级该组一年区域试验,2021 年晋级二年区域试

收稿日期:2026–04–07;修回日期:2026–06–25。

基金项目:扬州市现代农业项目(YZ2025066)。

作者简介:朱俊凯(1986—),男,硕士,农艺师,主要从事作物育种及品种推广。Email: zjkzyqt@163.com。

* 通信作者:刘晓斌(1972—),男,硕士,副研究员,主要从事作物栽培与遗传育种。Email: 693517921@qq.com。

验;2022 年,顺利晋级该组生产试验。2023 年 6 月,该品种成功通过江苏省农作物品种审定委员会审

定(审定编号:苏审稻 20230020),正式定名为金扬软玉,具体选育流程见图 1。

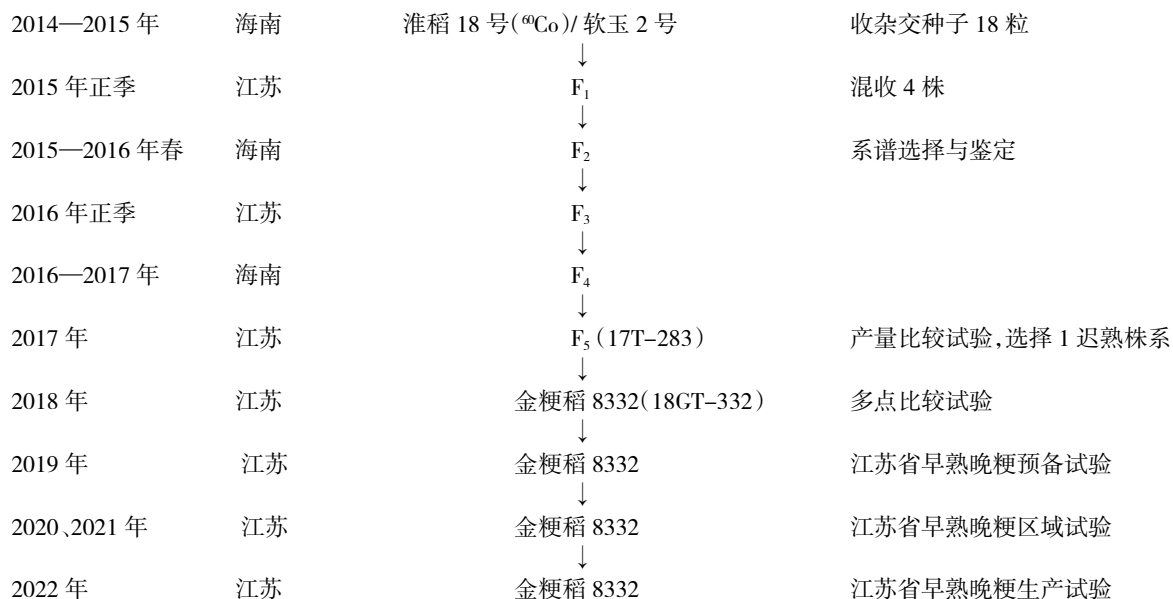


图 1 金扬软玉选育流程

2 金扬软玉特征特性

2.1 主要农艺性状及产量构成

金扬软玉苗期叶片呈淡绿色,田间表现叶姿较挺,分蘖能力较强;抽穗之后植株叶片上举,株型偏紧凑,长势长相较于清秀,穗型大;后期籽粒灌浆速度快,转色顺畅,秆青籽黄,熟相佳。2020—2021 年

该品种连续两年参加江苏省早熟晚粳组区域试验,区域试验平均结果表明,金扬软玉熟期相对偏早,全生育期为 156.0 d,比对照品种武运粳 23 号早熟 2.3 d,利于机插或直播等轻简栽培模式;株高 106.3 cm,株高适中,抗倒伏性较强,群体穗粒结构协调,一般有效穗数 20.5 万个/667 m²,每穗总粒数 140 粒左右,结实率 94.0%,千粒质量 27.5 g(表 1)。

表 1 金扬软玉主要农艺性状与产量构成

试验组别	全生育期 /d	株高 /cm	有效穗数 /(万个 /667 m ²)	每穗总粒数 /粒	结实率 /%	千粒质量 /g
2020 年区域试验	155.3	104.5	20.2	138.0	94.8	28.1
2021 年区域试验	156.6	108.1	20.7	142.7	93.1	26.9
平均	156.0	106.3	20.5	140.4	94.0	27.5
2022 年生产试验	157.6	95.2	21.2	126.3	95.3	27.4

2.2 产量表现

2020 年金扬软玉参加江苏省早熟晚粳组区域试验第一年,平均产量为 676.4 kg/667 m²,较对照品种武运粳 23 号增产 3.16%,增产幅度较大,且 10 个试点均增产。2021 年顺利晋级区域试验第二年,结果显示金扬软玉平均产量为 692.5 kg/667 m²,较对照增产 5.89%,增产幅度极为明显,7 个试点均表现增产,区域试验两年表现出了良好的适应性。2022 年,金扬软玉晋级江苏省早熟晚粳组生产试验,平均产

量达 677.0 kg/667 m²,较对照增产 4.83%,在所有参试品种中位列第一名(表 2)。该品种在中间试验中增产幅度明显,增产点次率为 100%,表明其在生产上具有较好的高产和稳产潜力。

2.3 稻米品质

2020—2022 年,经江苏省种子管理站统一抽样,由农业农村部稻米及制品质量监督检验测试中心(武汉)进行检测,金扬软玉主要品质指标如下:出糙率 82.8%~84.3%,整精米率 70.5%~74.7%,

长宽比 1.7, 垩白粒率 35% ~ 50%, 垩白度 7.5% ~ 15.0%, 直链淀粉质量分数 10.9% ~ 11.7%, 胶稠度 63 ~ 82 mm, 碱消值 6.2 ~ 6.5(表 3)。2020 年经江苏省种子管理站统一送样评鉴, 该品种食味品尝分为 -0.1, 略低于对照品种南粳 9108 评分(对照为 0.00), 符合半糯粳稻品种审定标准, 米饭总体表现软滑、富有弹性、冷饭不回生、适口性较好。

2.4 主要病害综合抗性

由江苏省种子管理站统一组织, 经江苏省农业科学院植物保护研究所鉴定, 结果表明金扬软玉对稻瘟病及纹枯病的抗性水平较好。由表 4 可知, 金扬软玉穗颈瘟损失指数最高级为 3 级, 稻瘟病综合

抗性指数为 2.50 ~ 4.25, 总体稻瘟病抗性评价为中抗 - 中感; 白叶枯病病级为 5 级, 抗性评价为中感, 对白叶枯病 4 个生理小种浙 173、KS-6-6、PX079、JS-49-6 鉴定结果分别为 5、3、3、3 级; 稻曲病抗性病级为 3 ~ 4 级; 条纹叶枯病病级为 3 ~ 5 级, 抗性评价为抗 - 中感; 纹枯病抗性较好, 表现为高抗 - 抗。2018 年江苏金土地种业有限公司组织多点鉴定时进行稻瘟病菌液接种, 金扬软玉综合抗性指数为 3.00 ~ 4.25, 发病较轻。同时, 该品种于 2018—2022 年连续多年在连云港市赣榆区塔山镇稻瘟病病圃中进行自然诱发鉴定, 穗颈瘟极少发生。

表 2 金扬软玉中间试验产量表现

试验组别	平均产量 / (kg/667 m ²)	对照产量 / (kg/667 m ²)	较对照增产 / %	增 / 减产点次	产量排名
2020 年区域试验	676.4	655.7	3.16	10/0	10
2021 年区域试验	692.5	654.0	5.89	7/0	7
平均	684.5	654.9	4.52		
2022 年生产试验	677.0	645.8	4.83	7/0	1

表 3 金扬软玉主要品质指标

试验组别	出糙率 / %	整精米率 / %	长宽比	垩白粒率 / %	垩白度 / %	直链淀粉质量分数 / %	胶稠度 / mm	碱消值
2020 年区域试验	83.8	72.4	1.7	35	7.5	11.3	75	6.5
2021 年区域试验	84.3	70.5	1.7	50	15.0	11.7	63	6.2
2022 年生产试验	82.8	74.7	1.7	50	13.4	10.9	82	6.5

表 4 金扬软玉主要病害抗性鉴定结果

区域试验	穗颈瘟损失指数病级 / 级	稻瘟病综合抗性指数	稻瘟病抗性评价	白叶枯病病级 / 级	纹枯病抗性评价	稻曲病病级 / 级	条纹叶枯病病级 / 级
2020 年	1	2.50	MR	5	R	3	5
2021 年	3	4.25	MS	5	HR	4	3

注: 稻瘟病参照江苏省地方标准 DB32/T 1123—2007《水稻品种(系)抗稻瘟病鉴定方法与抗性评价技术规程》; 白叶枯病参照江苏省地方标准 DB32/T 1122—2007《水稻品种(系)抗白叶枯病鉴定方法与抗性评价技术规程》; 纹枯病参照江苏省农业科学院植物保护研究所制定的《水稻品种(系)抗水稻纹枯病鉴定方法与抗性评价技术规程》; 稻曲病参照江苏省地方标准 DB32/T 1506—2009《水稻品种(系)抗稻曲病鉴定方法与抗性评价技术规程》; 条纹叶枯病参照江苏省地方标准 DB32/T 1289—2008《水稻品种抗条纹叶枯病鉴定技术规范》。

3 金扬软玉栽培技术要点

3.1 适期播种, 培育壮秧

培育壮秧是水稻取得丰产丰收的前提, 根据江苏省沿江及苏南地区温光条件及上茬作物腾茬情况, 金扬软玉一般选择在 5 月中下旬播种, 6 月中旬

栽插, 从而确保最佳抽穗扬花期在 8 月下旬。该品种机插秧用种量 4 ~ 5 kg/667 m², 单个塑盘播种量 120 ~ 130 g, 湿润育秧净秧板播种量 25 ~ 30 kg/667 m², 旱育秧净秧板播种量 35 ~ 40 kg/667 m²。

3.2 适时移栽, 合理密植

金扬软玉一般可安排在 6 月中下旬进行移栽,

手插秧秧龄一般为30~35 d,栽插密度以1.8万~2.0万穴/667 m²为宜,每穴2~3苗,确保基本苗6万~7万株/667 m²。机插秧秧龄一般为18~20 d,栽插密度以1.6万~1.8万穴/667 m²为宜,每穴4~6苗,栽足基本苗,一般控制在7万~8万株/667 m²。栽插后应及时进行田间检查,发现有漏穴、缺苗或断行现象,应立即组织人工补苗,确保基本苗。

3.3 科学肥水统筹

金扬软玉全生育期总施氮量宜控制在15~20 kg/667 m²,并注重磷、钾肥的合理搭配施用,氮、磷、钾质量比例一般为2:1:1。肥料运筹遵循“前重、中稳、后补”的原则,基肥与穗肥的质量比例以7:4为宜。水浆管理方面,前期要求浅水插秧、寸水活棵、薄水促分蘖,并适时晒田。当茎蘖数达预定有效穗80%时即可分次轻搁田,直至全田土壤沉实不陷脚,叶色落黄褪淡;抽穗扬花时须保持浅水层;生育后期以“前水不断,后水不续”为原则,保持田间干湿交替,达到强秆壮根的目的,收割前一周断水,防止早衰。

3.4 病虫害综合防治

在水稻整个生长周期中,应根据当地植保部门的虫情预测与病虫害的实际发生情况,制定科学的防治措施,做到“以防为主,防治结合”。播种前必须采取药剂浸种措施,用氰烯菌酯与杀螟乙蒜素等药剂浸种48 h,以防治恶苗病、干尖线虫病等种传性病害;秧田期及大田前期应及时注意防控灰飞虱和稻蓟马的发生,减轻其为害;大田中后期需综合防控纹枯病、稻瘟病、螟虫、飞虱等病虫害,破口期尤应加强对稻瘟病和稻曲病的防治,以保障水稻正常生长。

3.5 适期收获

适期收获是确保金扬软玉产量、稻米营养、食味品质的重要措施之一,蜡熟末期至完熟初期,籽粒含水量在20%~25%为最适收获期。收获后,可采用低温均匀干燥技术,精确控制稻谷含水量,减少断米、“爆腰”比例,提高整精米率等商品性。

4 金扬软玉应用前景

“十三五”以来,江苏省优良食味粳稻新品种选

育取得了重大成就,特别是以江苏省农业科学院粮食作物所选育的南粳系列软米品种为代表,广受种子企业、种植户和消费者的青睐。目前,科研院所、高校及种企以市场上主推的南粳系列软米品种为骨干亲本或直接利用低直链淀粉含量相关基因培育了一大批优质软米新品种,如早香粳1号、金香玉1号、扬香玉1号、沪软1212等。

金扬软玉除食味品质优良外,兼具早熟、高产、综合抗性好等特点。该品种比武运粳23号早熟2.3 d,利于后茬小麦及时播种,能有效提高稻麦周年效益;一般产量可达650 kg/667 m²,高产田块可达700 kg/667 m²;田间纹枯病和稻瘟病发生极轻,符合当前优质、绿色、高效的现代农业发展要求,克服了软米品种“优质不抗病”“抗病不优质”的产业难题。目前,南粳46、南粳5055仍然为江苏省沿江及苏南地区优良食味粳稻主推品种,金扬软玉的选育则进一步丰富了该生态区对优良食味粳稻品种的种植需求,具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 徐瑶,孙昕.推动江苏现代种业强省建设的路径和政策研究[J].中国种业,2024(4):6-12.
- [2] 李杰,杨洪建,邓建平.江苏水稻生产现状和新形势下绿色可持续发展的技术对策[J].中国稻米,2017,23(2):41-44.
- [3] 蔡跃,季红娟,肖宁,等.优质抗病粳稻新品种扬香玉200的选育与应用[J].安徽农业科学,2023,51(20):32-35.
- [4] 王才林,张亚东,朱镇,等.优良食味粳稻新品种南粳9108的选育与利用[J].江苏农业科学,2013,41(9):86-88.
- [5] 戴伟峰,韩瑞,朱松华,等.超高产特优粳稻宁香粳9号及其绿色高效栽培技术[J].中国种业,2023(8):112-114.
- [6] 季红娟,张小祥,张耗,等.优良食味粳稻品种金香玉1号产量与品质对播期的响应[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2023,44(4):24-30.
- [7] 陈智慧,王芳权,许扬,等.软米基因Wx-mp在部分粳稻品种资源中的分布[J].植物遗传资源学报,2019,20(4):975-981.
- [8] 赵庆勇,朱镇,陈涛,等.优质高产糯稻新品种南粳糯3号的选育与特征特性[J].大麦与谷类科学,2024,41(6):63-68.

Breeding and Key Cultivation Techniques of High-yield and Multi-resistant Rice Variety Jinyangruanyu

Zhu Junkai^{1,3}, Liu Xiaobin^{1,2}, Zhu Yangang¹, Cao Jinxia¹, Zhu Ying¹, Ji Yiming¹, Ding Rui¹, Zhang Yanqiong¹, Wang Changhong¹, Yang Jianchun^{1,2}, Yao Lizhi^{1,2}

(1. Jiangsu Kingearth Seed Co., Ltd., Yangzhou 225100, China; 2. Jiangsu Lixiahe Institute of Agricultural Sciences, Yangzhou 225007, China; 3. Yangzhou Research Institute for Modern Seed Industry, Yangzhou 225200, China)

Abstract: Jinyangruanyu (test name: Jingengdao 8332) is a high-quality, high-yield, early-maturing late geng (*japonica*) rice cultivar. It was developed by crossing an M0 radiation-induced mutant line derived from the sheath blight-resistant cultivar Huaidao No.18 (maternal parent) with the intermediate breeding line Ruanyu No.2 (paternal parent), which exhibits excellent eating quality, followed by multi-generational pedigree selection. In the Jiangsu provincial variety approval trials, Jinyangruanyu demonstrated high yield, good palatability, and strong comprehensive resistance. Across two years of regional trials, it achieved an average yield of 684.5 kg per 667 m², representing a 4.52% increase over the control Wuyungeng No.23, with yield increases observed at all trial sites. This cultivar was approved by the Jiangsu Provincial Crop Variety Approval Committee in 2023 (Su Shen Dao 20230020) and is recommended for cultivation along the Yangtze River and in southern Jiangsu, showing high potential for widespread adoption.

Key Words: High yield; Multiple resistance; Jinyangruanyu; Key cultivation techniques

(上接第 52 页)

Breeding and Cultivation Techniques of New Early-maturing and High-quality Aromatic Rice Variety Kerun 1896

Guo Tao¹, Hao Haiyun², Sun Lei³, Wang Haifeng¹, Xue Fang¹, Fang Wenwen¹, Jiang Yanfang¹, Zhang Shiyong¹

(1. Institute of Wetland Agriculture and Ecology, Shandong Academy of Agricultural Sciences / Shandong Engineering Research Center of Wetland Ecological Agriculture/Shandong Key Laboratory of Genome Modification Technology and Germplasm Innovation, Ji'nan 250100, China; 2. Boxing Zhenxing Agricultural Development Group Co., Ltd., Binzhou 256500, China; 3. People's Government of Pangjia Town, Boxing County, Binzhou 256500, China)

Abstract: Kerun 1896 is a new early-maturing, high-quality aromatic rice variety developed by crossing Shengdao 18 (maternal) with Huaixianggeng 15 (paternal), followed by three backcrosses to Shengdao 18 and subsequent pedigree selection. This variety is characterized by short stature, large panicles, good grain quality, high yield, and suitability for light-simplified cultivation. In the 2024 production trial, it exhibited a growth duration of 150.5 days (1.3 days earlier than the control Runnong 11), a plant height of 87.9 cm, 144.3 grains per panicle, a seed setting rate of 89.6%, and a 1 000-grain weight of 24.9 g, with an average yield of 623.2 kg per 667 m² (8.27% higher than the control). Grain quality assessment showed a head rice rate of 69.6%, chalkiness degree of 1.3%, transparency of grade 1, gel consistency of 80 mm, alkali spreading value of 7.0, amylose content of 17.9%, grain length of 5.1 mm, length-width ratio of 1.8, and a popcorn-like aroma with a fragrance score of 72, meeting the national standard for Grade II high-quality rice. From 2022 to 2023, the comprehensive resistance index to rice blast was 3.0 and 1.8, respectively; the highest grade of panicle neck blast damage was 1; and stripe leaf blight resistance was rated grade 3, as evaluated by the Institute of Plant Protection, Tianjin Academy of Agricultural Sciences. This variety was approved by the Shandong Provincial Crop Variety Approval Committee in July 2025 (Lu Shen Dao 20256007) and is suitable for cultivation in southern and southwestern Shandong, northern Jiangsu, northern Anhui, and the rice areas along the Yellow River.

Key Words: Early maturity; High quality; Aromatic rice; Kerun 1896; Cultivation techniques

马 惠,李广贤,信彩云,等. 优质绿色圣稻 138 的选育与栽培技术[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(4):58–62(2026-07-27). DOI: 10.14069/j.cnki.32-1769/s.2026.04.011.

优质绿色圣稻 138 的选育与栽培技术

马 惠^{1,3,4},李广贤^{1,4*},信彩云^{1,4},周学标^{1,4},李襄良²

(1. 山东省农业科学院湿地农业与生态研究所,山东 济南 250100;2. 济南科海有限公司,山东 济南 250100;

3. 山东省农业有害生物绿色防控重点实验室,山东 济南 250100;4. 湿地生态农业山东省工程研究中心,山东 济南 250100)

摘要:常规粳稻圣稻 138 是山东省农业科学院以金诺 6 号为母本、圣稻 18 为父本杂交后以系谱法育成的常规粳稻品种。该品种具有早熟、高产、优质、高抗稻瘟病、耐盐等多种优良特性,2020 年育成,2023 年通过山东省农作物品种审定委员会审定(鲁审稻 20230005),2024 年 4 月 12 日获国家植物新品种权(CNA20201000084)。圣稻 138 株型紧凑,叶片绿色,穗型直立,无芒,谷粒椭圆形;全生育期 147 d,平均有效穗数 24.1 万个/667 m²,成穗率 87.3%,株高 91.6 cm,穗长 16.8 cm,穗实粒数 137.3 粒/穗,结实率 87.5%,千粒质量 24.5 g。圣稻 138 适宜在鲁南、鲁西南及沿黄稻区人工插秧及机插秧、直播等轻简化生产应用,同时也适合在黄河三角洲含盐量(质量分数)0.3%盐碱地作一季春稻种植,应用前景广阔。

关键词:粳稻;圣稻 138;品种选育;栽培技术

中图分类号:S511.2+2

文献标志码:B

文章编号:1673-6486-20260048

黄淮海稻区是我国重要的水稻产区,包括山东、苏北、豫北、皖北等稻区,面积约 100 万 hm²,水稻以种植优质粳稻为主。山东省水稻属华北单季稻作带,主要集中在鲁南、鲁西南和沿黄等低洼易涝或盐碱地区^[1],长期以来不仅是高产高效特色粮食作物,而且是重要的生态、抗逆作物,在沿河、湖、库等涝洼盐碱地区的粮食生产中发挥了不可替代的增产增效作用。山东省内各稻区自然条件差异较大,种植模式多样,以稻麦两熟(滨湖、库灌和沿黄稻区)和一季春稻(盐碱稻区)为主^[2]。山东省审定了不少高产优质水稻品种,但长期以来,缺乏能同时适应各稻区不同种植模式的主栽品种^[3],尤其缺少能支撑盐碱地大规模“以种适地”发展的水稻品种^[4]。

圣稻 138 于 2020、2021 年相继参加山东省水稻品种中早熟组区域试验,2022 年参加生产试验,

2023 年通过山东审定(审定编号:鲁审稻 20230005),2024 年 4 月 12 日获国家植物新品种权(授权品种权号:CNA20201000084)。圣稻 138 适应性广,适宜山东鲁南、鲁西南及沿黄稻区人工插秧及机插秧、直播等轻简化生产应用,同时也适合在黄河三角洲 0.3% (含盐量)盐碱地作一季春稻种植。

1 圣稻 138 选育经过

圣稻 138 是以合肥信达高科农科所有限公司育成的金诺 6 号(2014 年参加了国家北方黄淮粳稻区域试验)为母本、山东省水稻研究所育成的圣稻 18 (国审稻 2016048)为父本有性杂交后以系谱法育成。

2014 年正季在济宁以金诺 6 号为母本、圣稻 18 为父本配制杂交组合“金诺 6 号/圣稻 18”。为加快育种进程,选育采用山东正季和海南加代种植相结合的方式,后代 F₂—F₃ 选育均采用混合法,以扩大遗传变异群体,提高育种选择概率;F₄—F₈ 采用优良单株或株系筛选,以加速纯合、促进定向选择,提高育种效率。2014 年南繁种植 F₁,编号为 14HN11,混收;2015 年正季济宁种植 F₂,编号为 15F223,混收;2015 年南繁种植 F₃,编号为 15HN354,混收;2016 年正季济宁种植 F₄,编号为 16F411,选择优良单株 12 个;2016 年南繁种植 F₅,编号为 16HN981,选择优良株系 6 个;2017 年正季济宁种植 F₆ 株系,

收稿日期:2026-04-28;修回日期:2026-07-10。

基金项目:山东省重点研发计划(科技型中小企业创新能力提升工程)项目(2024TSGC0205);2025 年山东省农业重大技术协同推广计划(SDNYXTTG-2025-35);山东省现代农业产业技术体系-水稻产业创新团队建设(SDAIT-17-01);山东省农业科学院农业科技创新工程项目(GXGC2026A07)。

作者简介:马 惠(1981—),女,博士,副研究员,主要从事水稻植保与栽培技术研究。Email: 18538758@qq.com。

* 通信作者:李广贤(1974—),女,博士,研究员,主要从事水稻遗传育种研究。Email: lgxrice@126.com。

编号为 17F638,进行株系筛选并选择优良单株 8 个;2017 年南繁种植 F₇,编号为 17HN653,株系筛选,选择优良株系 5 个;2018 年和 2019 年将入选的 5 个

株系进行品比试验,其中编号为 P138 的品系综合表现良好,故申请将参试品种命名为圣稻 138。选育流程见表 1。

表 1 圣稻 138 选育流程

年份	地点	世代	选育内容
2014 年正季	山东济宁	F ₀	金诺 6 号和圣稻 18 配制杂交组合,获得杂交种
2014 年冬	海南	F ₁	14HN11,种植单株,混收种子
2015 年正季	山东济宁	F ₂	15F223,混收
2015 年冬	海南	F ₃	15HN354,混收
2016 正季	山东济宁	F ₄	16F411,选择优良单株
2016 年冬	海南	F ₅	16HN981,优良株系选择
2017 年正季	山东济宁	F ₆	17F638,株系及单株选择
2017 年冬	海南	F ₇	17HN653,优良株系选择
2018 年正季	山东济宁	P138	混收,株系品比试验
2019 年正季	山东济宁	P138	混收,株系品比试验
2020 年	—	—	山东省水稻品种中早熟组区域试验
2021 年	—	—	山东省水稻品种中早熟组区域试验
2022 年	—	—	生产试验
2023 年	—	—	山东省审定,审定编号:鲁审稻 20230005

2 圣稻 138 特征特性

圣稻 138 属中早熟粳稻常规品种,该品种株型紧凑,叶片绿色,穗型直立,无芒,谷粒椭圆形。区域试验结果:圣稻 138 全生育期 147 d,熟期比对照润农 11 早熟 3 d;平均有效穗数 24.1 万个/667 m²,成穗率 87.3%,株高 91.6 cm,穗长 16.8 cm,穗实粒数 137.3 粒/穗,结实率 87.5%,千粒质量 24.5 g。该品种米质综合评价达 1 级,稻瘟病抗性综合指数均为 2.3,穗瘟损失率最高级 1 级。

3 圣稻 138 试验示范表现

3.1 产量表现

由表 2 可知,2018 年品比试验,圣稻 138 平均产量 680.9 kg/667 m²,比对照润农 11 增产 5.2%;2019 年品比试验,平均产量 682.8 kg/667 m²,比对照润农 11 增产 4.9%。2020 年参加山东省水稻品种中早熟组区域试验,圣稻 138 平均产量 591.5 kg/667 m²,与对照润农 11 产量相当。2021 年参加山东省水稻品

种中早熟组区域试验,该品种平均产量 624.0 kg/667 m²,比对照润农 11 增产 7.8%。2022 年生产试验该品种平均产量 586.7 kg/667 m²,比对照润农 11 增产 2.4%。2023 年圣稻 138 在山东省莒县示范种植显示,其抗倒性好、口感佳,平均产量约 550 kg/667 m²。同年,圣稻 138 在黄河三角洲盐碱地适生水稻品种筛选中,不同处理的平均产量均超过 600 kg/667 m²,展示了良好的适应性。山东省农作物种质资源库根据 NY/T 3692—2020《水稻耐盐性鉴定技术规程》^[9]对圣稻 138 进行了耐盐鉴定,鉴定结果表明,圣稻 138 综合评价耐盐性 2 级(表 3),是 2025 年入选山东省第一批耐盐农作物种质资源共享目录的品种。

3.2 抗病性鉴定结果

2020—2021 年,经天津市农业科学院植物保护研究所接种及自然诱发抗病性鉴定,圣稻 138 稻瘟病抗性综合指数均为 2.3,穗瘟损失率最高级 1 级(表 4)。抗病性综合评价:圣稻 138 中抗稻瘟病;田间无白叶枯病发生,条纹叶枯病、稻曲病、纹枯病发生轻。

表 2 圣稻 138 在各类别试验中的产量

年份	品种	试验类别	平均产量 /(kg/667 m ²)	较对照增产 /%
2018	圣稻 138	品比试验	680.9	5.2
	润农 11(CK)		647.2	—
2019	圣稻 138	品比试验	682.8	4.9
	润农 11(CK)		650.9	—
2020	圣稻 138	中早熟组区域试验	591.5	0.8
	润农 11(CK)		586.7	—
2021	圣稻 138	中早熟组区域试验	624.0	7.8
	润农 11(CK)		578.8	—
2022	圣稻 138	生产试验	586.7	2.4
	润农 11(CK)		572.9	—

表 3 圣稻 138 耐盐鉴定结果

耐盐鉴定时期	2024 年		2025 年		2024—2025 年	综合评价级别 / 级
	耐盐级别 / 级	相对盐害率 (RSD) 或盐害指数 (SDI)	耐盐级别 / 级	相对盐害率 (RSD) 或盐害指数 (SDI)	耐盐级别 / 级	
发芽期	1	8.34%(RSD)	1	5.37%(RSD)	1	2
苗期至分蘖期	3	0.23(SDI)	3	0.19(SDI)	3	

注:耐盐评价级别参考 NY/T 3692—2020《水稻耐盐性鉴定技术规程》^[9]中水稻发芽期和分蘖期耐盐评价标准。

表 4 2020—2021 年抗病性鉴定结果

年份	品种名称	稻瘟病(ZB17、ZC3、ZD1)综合评价			白叶枯病	条纹叶枯病 病株率 /%	稻曲病	纹枯病
		评价综合指数	稻瘟损失率最高级 / 级	抗性				
2020	润农 11(CK)	2.8	1	MR	无	0.5	无	中
	圣稻 138	2.3	1	MR	无	0.7	无	中
2021	润农 11(CK)	4.3	3	MS	无	0.9	轻	轻
	圣稻 138	2.3	1	MR	无	0.6	轻	轻

注:MR 表示中抗,MS 表示中感。评价方法参照“国家水稻新品种试验稻瘟病抗性鉴定与评价”执行。

3.3 米质分析结果

2020—2021 年经农业农村部稻米及制品质量监督检验测试中心(杭州)对米质进行测试分析,结果表明:圣稻 138 在 2020、2021 年两年的测定值

中,糙米率、垩白度、碱消值、胶稠度、直链淀粉质量分数指标均达部标优质稻谷 1 级;整精米率与透明度在 2020 年达部标优质稻谷 1 级,2021 年达 2 级(表 5)。

表 5 圣稻 138 稻米品质分析结果

项目名称	2020 年测定值	2021 年测定值	标准(NY/T 593—2013《食用稻品种品质》 ^[6])		
			一级	二级	三级
糙米率 /%	84.8	84.3	≥83	≥81	≥79
整精米率 /%	71.6	67.0	≥69	≥66	≥63
垩白粒率 /%	>3.0	10.0	—	—	—
垩白度 /%	0.4	0.9	≤1	≤3	≤5
长宽比	2.0	2.0	—	—	—
透明度 / 级	1	2	≤1	≤2	≤2
碱消值 / 级	7.0	7.0	≥7.0	≥7.0	≥6.0
胶稠度 /mm	80.0	76.0	≥70	≥70	≥60
直链淀粉质量分数 /%	17.6	17.2	13.0~18.0	13.0~19.0	13.0~20.0
综合评价 / 级	1	2	—	—	—

注:垩白粒率和长宽比未列入部标分级,不作为本品质定级的关键限制指标。

4 圣稻 138 栽培技术

圣稻 138 栽培关键环节为适时播插、保证基本苗,底肥以分蘖肥为主、酌情追穗肥,水分管理深水护苗、浅水分蘖、抽穗保水、灌浆干湿交替,并防治蓟马螟虫。盐碱地大规模“以种适地”的配套技术措施主要包括灌水洗盐压碱使耕层含盐 $\leq 0.3\%$,冬耕春旋激光平整,建单排单灌系统;低盐苗床育壮秧,适当增密,增施有机肥及磷钾底肥,分次追氮;全生育期浅水与间歇灌溉结合以水抑盐,并化学除草及统防统治。具体操作规程如下。

4.1 播种及育秧

播种前晒种 2 d,选用 35%噻虫·咪鲜胺悬浮种衣剂 2 mL/kg(种子)进行包衣处理,预防稻飞虱、稻蓟马、稻瘰蚊和恶苗病等病虫害。

麦茬稻一般 5 月播种,其中人工插秧播种时间为 5 月中上旬,机插播种期略迟,播种时间一般在 5 月中下旬,也可根据移栽期确定播种期。按秧田、大田的面积比 1:10 安排秧田面积,其中湿润育秧大田用种量 45~60 kg/hm²,旱育秧大田用种量 60~75 kg/hm²。播种后选用 40%苄嘧·丙草胺可湿性粉剂 60 g/667 m² 防控一年生杂草。

秧田期保持田间湿润,控水促蘖促根,培育壮秧。期间喷施 20%呋虫胺悬浮剂 30 g/667 m² 防控稻飞虱、稻蓟马等害虫。秧苗 2 叶 1 心期,追施尿素 8 kg/667 m²;移栽前 3 d,追施尿素 5 kg/667 m² 作送嫁肥。

4.2 适龄移栽,合理密植

人工移栽,秧龄一般在 30~35 d,栽插规格为 17 cm×23 cm,栽植约 25.6 万穴/hm²,2~3 苗/穴。机械插秧,宜小苗移栽,一般将秧龄控制在 20~25 d,栽插规格为 14 cm×25 cm,栽植约 28.5 万穴/hm²,3~4 苗/穴^[8]。

4.3 大田肥水管理

移栽前 2~3 d 随地块耕耙施入 45%三元平衡复合肥或高效缓释肥 600 kg/hm²。移栽缓苗后施尿素 112.5 kg/hm²。移栽后 10 d 左右,施尿素 150.0 kg/hm²,促早发分蘖。待主茎穗剑叶全部抽出后施氯化钾 75 kg/hm² 或硫酸钾 90 kg/hm² 作穗肥。适量施用硅肥,增强水稻的抗倒性、抗病性,提高产量,改善品质。

根据水稻生长需水特性进行科学管水,总原则为“浅水栽插,薄水分蘖,够苗搁田,孕穗保水,湿润

灌浆”。水稻插秧后,需保持浅水层 3~5 cm,利于缓苗;分蘖期浅水勤灌或保持 3 cm 水层,利于分蘖;分蘖后期至穗分化前,搁田 3~5 d,控制无效分蘖,促进根系生长,防止倒伏;孕穗期至抽穗扬花期,保持 5~8 cm 水层,增强光合效率,减少空秕率,增加粒数;灌浆结实期,干湿交替,养根、保叶、增加粒质量;收割前 7 d 断水,延长功能叶寿命,防止断水过早造成植株早衰而影响产量和品质。

4.4 大田病虫害防控

移栽田于插秧后 5~7 d(水稻缓苗后)施药,选用 60%苄嘧·苯噻酰 90 g/667 m² 拌土或拌肥撒施,施药后保持 5~7 cm 水层 5~7 d。

病虫害重点防治对象有纹枯病、稻瘟病、稻曲病、螟虫、稻飞虱等。重点关注纹枯病发生情况,在水稻分蘖盛期到末期开始发生侵染时,喷施 20%井冈霉素可湿性粉剂 50.0~62.5 g/667 m² 1~2 次。稻瘟病以预防为主,用药适期为孕穗末期至破口初期,药剂可选用 20%三环唑可湿性粉剂 75 g/667 m² 对水喷雾。螟虫防治时期主要在水稻分蘖期和孕穗期,施药适期为卵孵化始盛期至低龄幼虫高峰期,药剂可选用 2%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐微乳剂 10 mL/667 m²、20%氯虫苯甲酰胺悬浮剂(康宽) 10 mL/667 m² 喷施。稻飞虱防治时期在水稻生长中后期,孕穗期百丛虫量 1 000 头、抽穗后百丛虫量 1 500 头以上的稻田需施药,药剂可选用 20%呋虫胺悬浮剂 30 g/667 m²、50%吡蚜酮水分散粒剂 16 g/667 m²、25%噻虫嗪水分散粒剂 4 g/667 m² 对水喷施^[9]。

以上农药和肥料用量是基于当地试验得出的推荐值。在不同土壤肥力或气候条件下,具体用药量和施肥量可根据当地植保部门建议及土壤检测结果适当调整。

5 圣稻 138 应用前景

圣稻 138 集早熟、高产、优质、高抗稻瘟病、耐盐等性状于一体,未来应用前景较为广阔。圣稻 138 在黄河三角洲盐碱地示范种植中产量超过 600 kg/667 m²,表现出一定的耐盐性和适应性,其早熟特性有利于盐碱地轮作和土壤改良。在黄河三角洲农业高新技术产业示范区等区域,该品种作为滨海盐碱地水稻种植的可选品种之一可继续用于“以稻治碱”的生产实践。对于环渤海地区,该品种的综

合性状可能适合向河北乃至江苏北部等相似生态区引种,早熟有利于茬口衔接,既可尝试用于降低表层土壤盐分,也可作为常规口粮作物,为盐碱地综合利用提供一种可行选项。同时,圣稻 138 已入选山东省耐盐种质资源目录,其推广对盐碱地粮食稳产和种业创新具有一定参考价值,可为盐碱地耕地扩容和产能提升积累经验,其应用对滨海盐碱区粮食稳产也有一定促进作用。但该品种在不同生态区的具体表现仍需进一步试验验证。

参考文献:

- [1] 吴 修,杨连群,陈 峰,等. 山东省水稻生产现状及发展对策[J]. 山东农业科学,2013,45(5):119–125.
- [2] 崔太昌,陈 峰,李华东,等. 山东省水稻产业发展现状与科技需求分析[J]. 山东农业工程学院学报,2015,32(6):24–26.
- [3] 张 萍,俞江徽,杜天雨,等. 山东省水稻生产区域特点和品种应用分析[J]. 中国水稻科学,1–18(2026–03–20)[2026–04–28] <https://link.cnki.net/urlid/33.1146.S.20260319.1851.012>.
- [4] 何艳芳,郎丽娜,王文良,等. 山东省盐碱地种业发展现状、问题与对策[J]. 中国种业,2026(2):6–8,16.
- [5] NY/T 3692—2020 水稻耐盐性鉴定技术规程[S].
- [6] NY/T 593—2013 食用稻品种品质[S].
- [7] 侯恒军,崔海英,周学标,等. 粳稻新品种圣稻 258 的选育与栽培技术[J]. 北方水稻,2023,53(2):45–47.
- [8] 董县中,杨习文,温玉转. 豫西南山前稻区水稻优质高产栽培技术规程[J]. 农业科技通讯,2021(4):226–228.
- [9] 马 惠. 山东稻区农药减施增效技术集成理论与应用[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2023:122–125.

Breeding and Cultivation Techniques of High-quality Green Rice Variety Shengdao 138

Ma Hui^{1,3,4}, Li Guangxian^{1,4}, Xin Caiyun^{1,4}, Zhou Xuebiao^{1,4}, Li Xiangliang²

(1. Institute of Wetland Agriculture and Ecology, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Ji, nan 250100, China; 2. Ji'nan Kehai Co., Ltd., Ji'nan 250100, China; 3. Shandong Key Laboratory for Green Prevention and Control of Agricultural Pests, Ji'nan 250100, China; 4. Shandong Engineering Research Center of Wetland Ecological Agriculture, Ji'nan 250100, China)

Abstract: Shengdao 138 is a conventional geng (*japonica*) rice cultivar developed by the Shandong Academy of Agricultural Sciences through pedigree selection from the cross Jinnuo No.6 (maternal) × Shengdao 18 (paternal). Characterized by early maturity, high yield, superior grain quality, strong resistance to rice blast, and salt tolerance, this variety was bred in 2020 and approved by the Shandong Provincial Crop Variety Approval Committee in 2023 (Lu Shen Dao 20230005). It was granted national plant variety protection on April 12, 2024(CNA20201000084). Shengdao 138 exhibits a compact plant type with green leaves, upright panicles, awnless elliptical grains, a growth duration of 147 days, an average of 241 000 effective panicles per 667 m², a productive tiller rate of 87.3%, a plant height of 91.6 cm, a panicle length of 16.8 cm, 137.3 filled grains per panicle, a seed setting rate of 87.5%, and a 1 000-grain weight of 24.5 g. This cultivar is suitable for light-simplified production systems, including manual transplanting, mechanical transplanting, and direct seeding, in rice-growing regions of southern and southwestern Shandong and along the Yellow River. It is also adapted to single-season spring rice cultivation in saline-alkali soils with 0.3% salinity in the Yellow River Delta, demonstrating broad application prospects.

Key Words: Geng rice; Shengdao 138; Variety breeding; Cultivation techniques

陈 春,李 凡,郭新亚,等. 早熟、优质水稻新品种泗稻 33 号的选育与栽培[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(4):63–67,74(2026–08–19). DOI:10.14069/j.cnki.32–1769/s.2026.04.012.

早熟、优质水稻新品种泗稻 33 号的选育与栽培

陈 春,李 凡,郭新亚,陈卫军
(江苏省农业科学院宿迁农科所,江苏 宿迁 223800)

摘要:泗稻 33 号(审定编号:苏审稻 20240011)是江苏省农业科学院宿迁农科所通过复交和分子标记辅助选择相结合的方法,以自主培育的泗稻 140229(南粳 9108/泗稻 22 号杂交的 F_1)为母本、泗稻 14BY15(苏秀 867/泗稻 12 号杂交选育的中间材料)为父本进行杂交选育的中长粒型、适合轻简化栽培的中粳早熟型水稻品种,适合江苏淮北地区轻简化栽培种植。该品种全生育期 141.1 d,较对照苏秀 867 早熟 4.6 d,株高 89.3 cm,有效穗数 22.5 万个/667 m²,每穗总粒数 140.5 粒,结实率 88.3%,千粒质量 24.9 g;整精米率 75%,长宽比 2.0,垩白度 1.6%,米质指标达农业行业《食用稻品种品质》(NY/T 593—2021)优 2 级。该品种中感稻瘟病、感纹枯病、中抗条纹叶枯病。

关键词:水稻;早熟;优质;直播

中图分类号:S511

文献标志码:B

文章编号:1673–6486–20260054

水稻 (*Oryza sativa*) 是全球重要的主粮作物之一,为全球近 40% 的人口提供碳水化合物^[1–2]。江苏作为长江中下游地区重要的商品粮生产区域,同时也是稻米消费大省,稻米年消费量占口粮总量的 80% 左右。随着我国经济社会的持续发展和居民生活水平的不断提升,现阶段水稻育种的主要目标已由产量提升转变为质量优化。2003 年,江苏省出台了 16 个主导产业发展规划,优质稻米产业居首位^[3]。截至 2025 年,江苏省优质食味稻种植面积约占全省水稻总面积的 85%,优质化已成为“江苏大米”的显著特征。稻麦轮作是江苏主要的生产模式,近年来小麦单产水平显著提升,曾经水稻效益优先、小麦次之的局面逐步转变为追求稻麦周年丰产。因此,培育生育期适中的稻麦品种是实现周年丰产的重要举措。然而,江苏省优质稻代表性品种南粳 9108^[4]、泗稻 301、徐稻 9 号^[5]等生育期均超过 150 d,严重挤压小麦的安全生育期(半冬性小麦品种 225 ~ 230 d,春性小麦 210 ~ 220 d);此外水稻生育期减少会压缩灌浆期,导致淀粉粒排列疏松,外观品质一般,难以保障稻米品质。因此培育早熟、优质的水稻品种是破解稻麦茬口矛盾,实现产量、质量同步提升的必然选择。江苏省农业科学院宿迁农科所选育的泗

稻 33 号具有早熟、优质、抗倒伏能力强、出米率高等优点,适合淮北稻区轻简化种植。本文介绍了泗稻 33 号的育种思路、育种过程、栽培技术要点等,以期今后的品种培育提供参考。

淮北稻区是江苏粳稻生产的重要组成部分,种植面积约 100 hm²^[6]。该地区水稻种植以轻简化(直播、机条播)栽培为主,需求生育期短、灌浆速度快、抗倒伏能力强的粳稻品种。稻米消费偏好高透明、低垩白度、口感柔韧适中的常规优质米。因此选育生育期短、外观品质优良的食味稻品种符合淮北稻区的市场需求。稻米的外观品质是衡量稻米商品性的重要指标,并且与籽粒的垩白度密切相关^[7];垩白的形成以遗传控制为主,与粒型性状密切相关^[8];粒长变长、长宽比增加,稻米的垩白粒率降低、垩白度减少,外观品质得到明显改善^[9]。考虑到粒长增加与稻米的整精米率呈显著的负相关,粒长的增加应控制在合理的范围内。马雷等参考美国对稻米粒型的划分标准,将精米长度在 5.9 ~ 6.1 mm、宽度 2.5 ~ 2.8 mm、长宽比 ≥ 2.0 的粳稻定义成中长粒型粳稻^[10]。这类粳稻品种通过粒型改良降低垩白度,提升外观品质,同时保留粳稻高出米率的优点。笔者所在的团队应用中长粒型种质资源,培育出多个长宽比约 2.0,米质指标达农业行业《食用稻品种品质》(NY/T 593—2021)标准 2 级的优质食味稻新品种:泗稻 301(苏审稻 20200016)、泗稻 20 号(苏审稻 20200043)等。

泗稻 33 号(参试名称泗稻 1933)是江苏省农业

收稿日期:2026–05–08;修回日期:2026–07–13。

基金项目:2024 年宿迁市自主创新项目(1001)。

作者简介:陈 春(1985—),男,硕士,助理研究员,主要从事水稻遗传育种工作。Email: chenchun021385@126.com。

科学院宿迁农科所培育的中长粒型、早熟类型的食味稻新品种,该品种以丰产性好、抗性强的泗稻 140229 作为母本材料,利用早熟(含抽穗期基因 *Hd1*)、中长粒型的泗稻 14BY15 作为父本材料,通过系谱法和分子标记辅助选择的方法选育而成,2024 年通过江苏省农作物品种审定委员会审定(审定编号:苏审稻 20240011),定名为泗稻 33 号。

1 材料与方法

1.1 试验材料

母本泗稻 140229(南粳 9108/泗稻 22 号的杂交 F_1);父本材料泗稻 14BY15(苏秀 867/泗稻 12 号杂交选育的中间材料)携带 *Hd1* 早熟基因,父、母本材料均由江苏省农业科学院宿迁农科所自主培育。

1.2 分子标记辅助选择

生育期基因 *Hd1* 的分子标记序列见表 1,其携带日本迟熟粳稻品种 Ginbouzu^[1]的强功能基因型, *Hd1* 可扩增出长度为 150 bp 的 PCR 产物,具有短生育期效应 Type D 基因型, *hd1* 因缺失 43 bp 碱基,可扩增出长度为 107 bp 的 PCR 产物^[2]。

表 1 水稻 *Hd1* 分子标记引物

引物名称	引物序列(5'→3')
<i>Hd1D-F</i>	GCAGAGAAGGAAGGGAGCGAG
<i>Hd1D-R</i>	GCTGTTGCTGATGGAATCTG

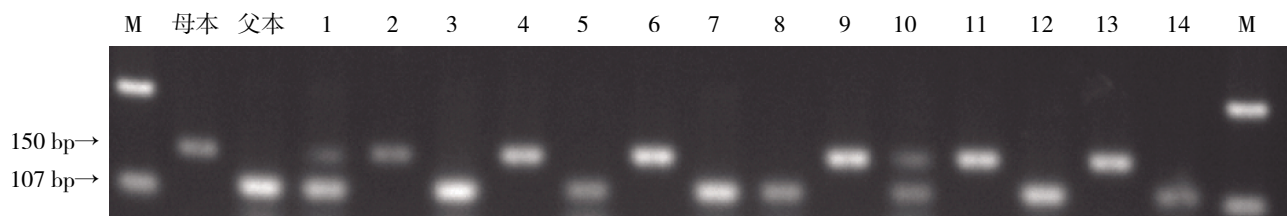
PCR 反应体系:PCR 酶 1.0 μ L, 2 $\times$ PCR Buffer (含 Mg^{2+} 、dNTP plus)25.0 μ L, 上、下游引物各 1.0 μ L, DNA 模板 1.0 μ L, ddH₂O 21.0 μ L, PCR 反应试剂盒为 TksGflexTM DNA Polymerase。PCR 反应程序:94 $^{\circ}$ C 预变性 1 min, 98 $^{\circ}$ C 变性 10 s, 60 $^{\circ}$ C 退火 15 s, 68 $^{\circ}$ C 延

伸 30 s, 35 个循环。

2 泗稻 33 号选育过程

2014 年冬在三亚基地以泗稻 140229 作为母本材料、泗稻 14BY15 作为父本材料(含 *Hd1*)进行杂交配组。2015 年编号 0120, 在泗阳正季种植 4 株 F_1 , 成熟后混收。2015 年冬编号 2053, 在海南种植 F_2 分离群体 410 个单株, 利用 *Hd1* 标记对 F_2 材料进行检测(图 1), 结合农艺性状鉴定, 保留 5 株 *Hd1* 基因纯合、株型良好、粒型较长的优良单株。

2016—2018 年在三亚、泗阳基地分单株种植 F_3 — F_6 种子, 利用分子标记辅助选择、系谱法选育, 继续进行世代选育, 2017 年冬, F_7 田间表现基本稳定、整齐度一致, 通过农艺性状鉴定, 收获 16 个单株, 采用分子标记鉴定, 获得含有 *Hd1* 基因纯合型株系 6 个, 2018 年将 6 个株系(编号:18-117、18-118、18-119、18-120、18-121、18-122)扩大种植, 每个株系种植 150 株, 从中随机筛选 10 株, 鉴定始穗期、全生育期、株高、千粒质量、稻米外观品质等农艺性状。根据鉴定结果(表 2), 株系 18-120 始穗期 8 月 15 日, 全生育期 141 d, 株高 90.5 cm, 千粒质量 25.0 g, 胶稠度 70 mm, 中长粒型, 长宽比为 2.0, 综合性状表现优良。2018 年冬编号 1014, 海南扩繁种植, 收种 0.6 kg; 2019 年度进行小区(面积 13.3 m²)品比试验, 编号品 33, 群体整齐度一致、生育期短, 表现良好, 收种 13.26 kg, 比对照苏秀 867(产量 12.42 kg)增产 6.76%。2020 年定名为泗稻 1933, 推荐参加江苏省中熟中粳预备试验, 2021—2023 年参加江苏省中熟中粳早熟组区域试验和生产试验, 2024 年通过江苏省农作物品种审定委员会审定, 审定名称: 泗稻 33 号(图 2)。



图中 1—14 为 F_2 单株, 扩增出 107 bp 条带表示对应单株携带 *Hd1* 基因的 Type D 型(基因型缺失 43 bp, 具有短生育期效应), 未扩增出 107 bp 条带表明不携带 *Hd1* type D 基因型; 扩增出 150 bp 条带表明对应单株携带 *Hd1* 强功能基因型, 未扩增出 150 bp 条带表明单株不携带 *Hd1* 的强功能基因型; 同时存在 150、107 bp 条带表明对应单株的 *Hd1* 基因型为杂合。M: DNA Marker

图 1 *Hd1* 分子标记鉴定 F_2 单株部分结果

表 2 各株系基本农艺性状

编号	始穗期(月-日)	全生育期 /d	株高 /cm	千粒质量 /g	胶稠度 /mm	长宽比	Hd1
18-117	08-15	142	91.3	24.1	70	1.9	+
18-118	08-15	142	91.1	23.8	68	2.0	+
18-119	08-16	142	90.4	23.7	70	2.0	+
18-120	08-15	141	90.5	25.0	70	2.0	+
18-121	08-15	141	90.2	24.1	69	1.9	+
18-122	08-16	142	92.0	22.7	68	1.9	+

2014 年	三亚	泗稻 140229 × 泗稻 14BY15
2015 年	宿迁	↓ F ₁ 编号 0120, 穗大, 丰产性好
2015 年	三亚	↓ F ₂ 编号 2053, 种植 410 株, 利用 Hd1 检测, 筛选 5 个 Hd1 纯合型、农艺性状良好单株
2016 年	宿迁	↓ F ₃ 编号 2474, 种植 670 株, 继续开展世代选育
2016 年	三亚	↓ F ₄ 编号 2810, 田间表现优, 千粒质量 27 g, 选单株 3 株
2017 年	宿迁	↓ F ₅ 编号 1186, 始齐穗 8/22-25, 千粒质量 27 g, 米优, 选单株 5 株加代
2017 年	三亚	↓ F ₆ 编号 1605, 表现综合性状好, 收种参加下年度品比鉴定
2018 年	宿迁	↓ F ₇ 编号(18-117、18-118、18-119、18-120、18-121、18-122), 种植 6 个株系, 开展主要农艺性状鉴定, 米质检测, 筛选 18-120 株系, 南繁种植
2018 年	三亚	↓ F ₈ 编号 1014, 整齐度一致, 混收种子 0.6 kg, 进入下一年度品比试验
2019 年	宿迁	↓ F ₉ 编号品 33, 表现优, 早熟, 抗性好, 小区产量 13.26 kg, 比对照苏秀 867 增产 6.76%, 推荐参加试验
2020—2023 年		↓ 2020 年定名泗稻 1933 参加江苏省中熟中梗预备试验, 2021—2023 年参加区域试验、生产试验
2024 年		通过江苏省水稻新品种审定, 审定名称为泗稻 33 号

图 2 泗稻 33 号选育系谱

3 泗稻 33 号特征特性

3.1 主要农艺性状

泗稻 33 号苗期长势旺盛、早生快发, 根系发达; 分蘖能力强, 成穗率高, 植株健壮, 株高适中, 株型紧凑, 叶姿挺, 茎秆韧性好, 抗倒伏能力强, 穗层整齐度好, 熟期转色快, 熟相好。2021—2022 年江苏省中梗早熟组区域试验: 该品种株高 89.3 cm, 全生育期 141.1 d, 有效穗数 22.6 万个 /667 m², 总粒数 140.6 粒 / 穗, 实粒数 124.1 粒 / 穗, 结实率 88.3%, 千粒质量 24.9 g(表 3)。

3.2 产量性状

泗稻 33 号于 2021 年参加江苏省中梗早熟组区域试验, 8 个试验点均增产, 平均产量 656.6 kg/667 m²,

位列同组 11 个参试品种第 1 名, 比对照苏秀 867 增产 6.07%; 2022 年第 2 年区域试验, 9 个试验点中 8 个点增产, 平均产量 640.9 kg/667 m², 位列同组 14 个试验品种 11 位, 比对照苏秀 867 增产 5.36%。2023 年该品种参加生产试验, 7 个试验点全部增产, 位列同组第 3 名, 平均产量 680.3 kg/667 m², 较对照苏秀 867 增产 5.75%(表 4)。2024—2025 年在泗阳、睢宁、东海、涟水等地示范种植, 该品种表现出植株健壮、分蘖能力强, 高产稳产性好的特点, 适合机条播、机插秧等轻简化栽培种植。

3.3 抗性表现

江苏省农业科学院植物保护研究所在 2 年区域试验中对泗稻 33 号主要病害进行鉴定(按照发病最重年份统计), 结果(表 5)表明: 泗稻 33 号苗瘟

和叶瘟均为 2 级,穗颈瘟损失率最高级 5 级,稻瘟病综合抗性指数 4.75,中感稻瘟病;对白叶枯病 4 个强致病菌株(浙 173、KS-6-6、PX079、JS-49-6)抗性表现分别为 5、3、3、5 级;高感纹枯病;2 年区域试验条纹叶枯病发病率均为 13.79%,抗性等级 3 级,鉴定为中抗水平。

3.4 稻米品质

根据农业农村部食品质量监督检验检测中心(武汉)鉴定结果(表 6)显示:2022 年泗稻 33 号糙

米率 84.0%,整精米率 75.0%,垩白粒率 11.0%,垩白度 1.6%,籽粒长宽比 2.0,透明度 1 级,直链淀粉含量 17.3%,胶稠度 70 mm,米质指标达农业行业 NY/T 593—2021《食用稻品种品质》优质 2 级(米质指标以 3 年检测最优结果为审定指标)。泗稻 33 号长宽比达 2.0,是中长粒型的粳稻品种,垩白度和垩白粒率较低,透明度好,连续 3 年检测均达 1 级,直链淀粉含量适中,胶稠度较高,是一个外观品质优良、食味口感较好的优质米品种。

表 3 泗稻 33 号主要农艺性状

区域试验	品种	株高 / cm	全生育期 / d	有效穗数 / (万个 /667 m ²)	总粒数 / (粒 / 穗)	实粒数 / (粒 / 穗)	结实率 / %	千粒质量 / g
2021 年	泗稻 33 号	89.8	140.4	22.7	137.1	122.0	89.0	24.5
	苏秀 867(CK)	90.9	145.4	21.8	140.3	130.1	84.3	25.5
2022 年	泗稻 33 号	88.8	141.8	22.4	144.0	126.2	87.6	25.2
	苏秀 867(CK)	89.3	146.0	22.8	134.0	121.3	90.4	25.6
平均		89.3	141.1	22.6	140.6	124.1	88.3	24.9

表 4 泗稻 33 号在区域试验中产量表现

年份	产量 /(kg/667 m ²)			较对照(苏秀 867) 增产 /%	产量 位次	增产点数 / 个	减产点数 / 个
	最高产量	最低产量	平均产量				
2021	710.0	596.0	656.6	6.07	1	8	0
2022	505.2	737.0	640.9	5.36	11	8	1
2023	772.4	638.2	680.3	5.75	3	7	0

表 5 泗稻 33 号主要病害抗性鉴定结果

年份	稻瘟病				白叶枯病 / 级				纹枯病 抗性	条纹叶枯病	
	苗瘟 / 级	叶瘟 / 级	穗颈瘟损失 率最高级 / 级	综合 指数	浙 173	KS-6-6	PX079	JS-49-6		发病率 / %	抗性水平 / 级
2021	2	2	3	4.25	3	3	3	3	HS	13.79	3
2022	2	2	5	4.75	5	3	3	5	S	13.79	3

注:病害抗性鉴定参考 NY/T 2646—2014《水稻品种试验稻瘟病抗性鉴定与评价技术规程》。

表 6 泗稻 33 号稻米品质鉴定结果

年份	糙米率 / %	整精米率 / %	垩白粒率 / %	垩白度 / %	长宽比	透明度 / 级	直链淀粉 含量 /%	胶稠度 / mm	碱消值 / 级	等级
2021	80.6	64.7	21.0	5.0	1.9	1	14.0	70	6.2	优 3
2022	84.0	75.0	11.0	1.6	2.0	1	17.3	70	7.0	优 2
2023	84.2	74.3	21.0	5.4	1.9	1	16.3	63	6.6	普通

4 泗稻33号栽培技术要点

泗稻33号属于中梗早熟类型的优质米品种,适合淮北稻区采用机条播、直播的种植方式。为充分发挥该品种早熟、稳产、抗倒伏能力强的优势,为取得高产,在种植过程中应采取播足基本苗,重视水稻“搁田”,防止高峰苗生长过旺,减少无效分蘖,在满足单位面积有效穗数的基础上,通过提高穗粒数,重视籽粒灌浆结实、提高千粒质量和结实率,实现高产。

4.1 种子前期处理

为有效防治恶苗病、线虫病等种传病害的发生,在播种前利用17%杀螟·乙蒜素200倍剂量可湿性粉剂浸种48h,浸种结束后及时清洗。然后用30~35℃温水浸泡,放入温室催芽,80%以上种子破胸露白后停止催芽。

4.2 适量播种

在淮北稻区泗稻33号适宜播种期为6月10—20日,如遭遇极端高温可适当推迟播种期,机条播用种量8~12 kg/667 m²,直播用种量10~15 kg/667 m²。通过均匀撒播、机条播等方式,保证群体的生长发育一致。

4.3 合理肥水管理

肥料的使用遵循“前足、中稳、后补”的原则,在各生育阶段有针对性施肥,在施足基肥的基础上,分次、早施分蘖肥,促早分蘖争足穗,中期控肥减少无效分蘖,在拔节期施钾肥以促进壮秆,提高抗倒伏能力,穗期重施促花肥攻大穗争粒重。基肥与穗肥施氮量比为6:4至7:3为宜。直播15d后,用68%吡啶苯噻60.0 g/667 m²加尿素10.0 kg/667 m²除草促早发;再隔5~6d施尿素7.5 kg/667 m²作二次分蘖肥;7月31日施氯化钾7.5~10.0 kg/667 m²作拔节孕穗肥;8月15日左右施尿素5.0 kg/667 m²作穗肥。

泗稻33号播种后到二叶期,土壤保持湿润状态,有利于促进根的发育。三叶期后保持“浅水促蘖、干干湿湿、间隙灌溉”,四叶期浅水施肥,促进分蘖。在7月25日前后,达到高峰苗后(30万~32万个/667 m²)进行搁田,减少无效分蘖,通过轻搁、勤搁的方式达到强秆、壮根、提高抗倒伏能力的目的。在水稻灌浆期遭遇极端高温,有条件的地方可采用白天灌深水、傍晚排出的方式,调节田间气候,避免高温造成的结实率下降、空秕粒增多引起的减产。后期水浆管理做到干湿交替,养根保叶、活熟到老,在收割前

15d左右适时断水。

4.4 精准防治病虫害

遵循生态种植、绿色植保的理念,病虫害防治采取预防为主、防治结合的策略,对症用药、一喷多防、精准施药,科学轮换用药。推广低毒低残留复配新型农药及生物农药,在7月中旬用5%己唑醇80 mL/667 m²和20%三环唑100 g/667 m²防治纹枯病与苗期稻瘟病两次,8月底至9月初用30%苯甲·丙环唑20 g/667 m²+20%咪鲜胺100 mL/667 m²+毒死蜱200 mL/667 m²防治稻曲病、纹枯病、稻瘟病以及三代三化螟和稻纵卷叶螟等病虫害。

5 小结

本文针对淮北稻区在水稻生产过程中急需早熟、优质的水稻新品种,通过系统性评价种质资源,筛选核心亲本材料,杂交配组结合系谱法选育,在前期研究*Hd1*基因各等位类型的基础上,利用具有短生育期效应Type D型开发标记进行鉴定。选育的泗稻33号具有早熟、优质的特征,全生育期141.1 d,较对照苏秀867早熟4.6 d;米质指标达农业行业《食用稻品种品质》(NY/T 593—2021)优2级,该品种显著缩短全生育期,有效缓解目前稻麦茬口的矛盾;外观品质好,满足江苏省优质稻米产业发展需求。目前淮北稻区直播种植、机条播种植面积较大,对抗除草剂品种需求旺盛。为更好地适应生产需求,下一步将对泗稻33号进行抗除草剂性状改良,以期更符合目前淮北稻区的生产需求。

参考文献:

- [1] 唐成,陈露,安敏敏,等. 稻瘟病诱导水稻幼苗叶片氧化还原系统的特征谱变化[J]. 江苏农业科学,2014,42(12):141-144.
- [2] 黎东升,曾靖. 经济新常态下我国粮食安全面临的挑战[J]. 农业经济问题,2015,36(5):42-47,110.
- [3] 王才林. 江苏省优良食味粳稻品种培育的发展与启示[J]. 中国稻米,2022,28(5):82-91,106.
- [4] 王才林,张亚东,朱镇,等. 优良食味粳稻新品种南粳9108的选育与利用[J]. 江苏农业科学,2013,41(9):86-88.
- [5] 吴玉玲,王健康,王友霜,等. 优良食味粳稻新品种徐稻9号的选育及高产栽培技术[J]. 北方水稻,2017,47(6):60-61.
- [6] 许方甫,卞金龙,韩超,等. 淮北地区优质食味粳稻温光适应性和最佳播种期[J]. 中国农业科学,2021,54(7):1365-1381.

(下转第74页)

李 龙,袁章龙,侍 超,等. 多抗高产玉米新品种江玉 303 的选育与适配栽培技术[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(4):68–74(2026-08-07). DOI:10.14069/j.cnki.32-1769/s.2026.04.013.

多抗高产玉米新品种江玉 303 的选育与适配栽培技术

李 龙,袁章龙,侍 超,刘志勇
(宿迁中江种业有限公司,江苏 宿迁 223800)

摘要:江玉 303 是宿迁中江种业有限公司以自交系 ZFS100 为母本、FS9 为父本组配育成的玉米新品种,2025 年通过国家审定(审定编号:国审玉 20253298)。该品种 2022—2023 年国家区域试验两年平均产量 10 511.0 kg/hm²,较对照郑单 958 平均增产 6.5%;2024 年生产试验平均产量 10 255.5 kg/hm²,增产 6.5%;经综合鉴定其抗茎腐病、穗腐病、小斑病、南方锈病四大主流病害,区域试验其平均倒伏倒折率仅 2.7%。在黄淮海地区多年多点试验中,江玉 303 表现出抗病、抗倒、高产稳产、适应性强、商品性好的优良特性。基于江玉 303 的选育过程及产量表现,本文系统总结了其高产适配栽培技术,旨在为该品种的推广应用提供技术支撑。

关键词:江玉 303;多抗广适;高产稳产;品种选育;栽培技术

中图分类号:S513

文献标志码:B

文章编号:1673-6486-20260058

玉米兼具粮、饲、经、能多元利用价值,其生产稳定性对保障国家粮食安全、推动畜牧业发展具有核心作用^[1-2]。黄淮海夏玉米区是我国玉米主产区,播种面积约占全国总面积的 1/3,常年稳定在 750 万 hm² 左右,是我国夏玉米生产的核心阵地^[3-4]。但该区域玉米生产长期面临多重制约:一是品种同质化严重,耐高温、抗病优质种质稀缺,品种抗逆性不足导致田间倒伏率超 15%;二是粗放种植管理普遍,密度失衡、施肥不合理问题突出,叠加抗灾技术覆盖率低,加剧产量年际波动;三是机械化生产瓶颈显著,部分品种籽粒脱水慢、抗倒性差,配合播种质量低、秸秆还田效果不佳等问题,导致机械作业效率下降 30%,籽粒破碎率和霉变风险大幅增加^[5-9]。

研究表明,优良品种对玉米增产的贡献率可达 40%~50%,培育高产、多抗、广适、宜机化的玉米新品种,是破解黄淮海夏玉米区生产痛点、提升玉米单产的关键举措^[10-11]。当前我国玉米育种核心目标已从单纯追求产量向高产、稳产、多抗、广适协同转变,2025 年中央一号文件也明确指出,将加快培育重大突破性农作物品种列为农业农村领域重点任务。基于上述产业与政策背景,宿迁中江种业有限公司以高产、稳产、多抗、耐密为核心育种目标,经多年多点试验鉴定,成功育成玉米新品种江玉 303,

该品种于 2025 年通过国家黄淮海夏玉米区域审定,通过核心种质改良与杂种优势模式优化,实现了丰产性与抗逆性的协同提升,同时适配研发精准栽培技术,为黄淮海夏玉米区粮食产能提升提供了品种与技术双重支撑。

1 江玉 303 育种目标与选育策略

针对黄淮海夏玉米区高温热害、病虫害频发,品种抗逆性差、适应性弱,以及生产投入高、增产不增效等突出问题^[12-13],本研究锚定高产稳产、多抗广适、适宜机械化收获三大核心育种目标,开展玉米新品种江玉 303 定向选育。

1.1 选育目标

依托精准表型鉴定与多区域异地抗性试验,筛选聚合抗锈病、抗小斑病、抗茎腐病、抗穗腐病、籽粒快速脱水等优良性状的玉米亲本,融合美国种质高产、强抗逆优异基因,优化杂种优势利用模式,搭建适配黄淮海生态区的玉米核心种质群体。在高产、抗逆定向选育的基础上,同步改良株型构型、籽粒均匀度及品质,提升品种机械化适配性能,实现玉米高产、抗逆、广适性与全程机械化特性协同提质,选育适配黄淮海夏玉米产区规模化生产的突破性新品种。

1.2 选育策略

江玉 303 是以自交系 ZFS100 为母本、FS9 为父本人工组配育成的玉米单交种。母本 ZFS100、父本

收稿日期:2026-05-27;修回日期:2026-08-03。

作者简介:李 龙(1988—),男,硕士,农艺师,主要研究方向为作物新品种选育和高产试验示范。Email: 2430919921@qq.com。

FS9 均为 2015—2018 年通过传统选育方法结合分子标记选育而成的优异自交系,选育过程中融合黄淮海地区矮秆抗倒、广适性好、结实封顶好的自选自交系 Y24-1S3、W5,与蠡玉 16、登海 618 抗倒抗逆、综合抗性强、籽粒品质优的温热材料,经海南与黄淮海当地穿梭选育,最终获得兼具广适性好、综合抗性强的“双热型”父母本自交系。江玉 303 具体选育流程为:2018 年冬季完成 ZFS100 与 FS9 的杂交组配;2019 年开展当地夏播杂交种初级鉴定,综合性状表现突出;2020—2021 年连续两年黄淮海跨区域、多地多点品比试验,综合抗性、丰产性、稳产性突出;2022—2024 年参加国家黄淮海夏玉米区区域试验与生产试验,最终通过国家审定(审定编号:国审玉 20253298)。江玉 303 具体选育过程如图 1。

1.2.1 母本 ZFS100 特征特性。该品种出苗速率快、

幼苗长势旺盛;叶鞘紫色,子叶呈椭圆形;株型偏紧凑,茎秆粗壮韧性强,叶色浓绿,叶缘绿色,成熟时茎叶持绿性好;株高 180 cm,穗位高 90 cm,全生育期总叶片 18~19 片;果穗筒型,穗长 18 cm,穗粗 4.5 cm,穗行数 16~18 行/穗,行粒数 35 粒/行;籽粒黄色、半硬粒型,穗轴白色。该品种雄穗分枝 8~10 个,花药紫色,花丝粉红色;当地夏播全生育期约 95 d。

1.2.2 父本 FS9 特征特性。该品种出苗快、苗期长势强劲,叶鞘紫色,子叶椭圆形;株型紧凑,叶片窄、叶色深绿,活秆成熟;株高 165 cm,穗位高 60 cm,总叶片 18~19 片;果穗长度 16 cm,穗行数 16~18 行/穗,白轴,籽粒黄色半硬粒型;雄穗分枝 8~10 个,花药紫色,花丝粉红色;当地夏播生育期 95 d。



图 1 江玉 303 系谱与选育过程

2 江玉 303 特征特性

2.1 生物学性状

江玉 303 在黄淮海夏玉米组种植,生育期 103.1 d,与对照郑单 958 相当,熟期适中,适配黄淮海夏玉米区小麦-玉米一年两熟制种植模式。该品种幼苗叶鞘紫色,花丝浅紫色,花药浅紫色,颖壳紫色,苗期长势健壮;株型半紧凑,株高 253.5 cm,穗位

高 97.0 cm,成株叶片数 19 片,抗倒性突出;果穗长筒型,穗长 17.1 cm,穗行数 14~20 行/穗,穗轴白色,籽粒黄色、半硬粒型,千粒质量 337 g,耐高温能力强,结实封顶性好,空秆率仅 0.4%(图 2)。与对照郑单 958 相比,江玉 303 株高、穗位更低,倒伏倒折率之和仅 2.7%(对照郑单 958 为 6.8%),倒伏倒折率 $\geq 10\%$ 试点比例仅 8.7%(对照郑单 958 为 19.8%),群体生长稳定性明显提升(表 1)。

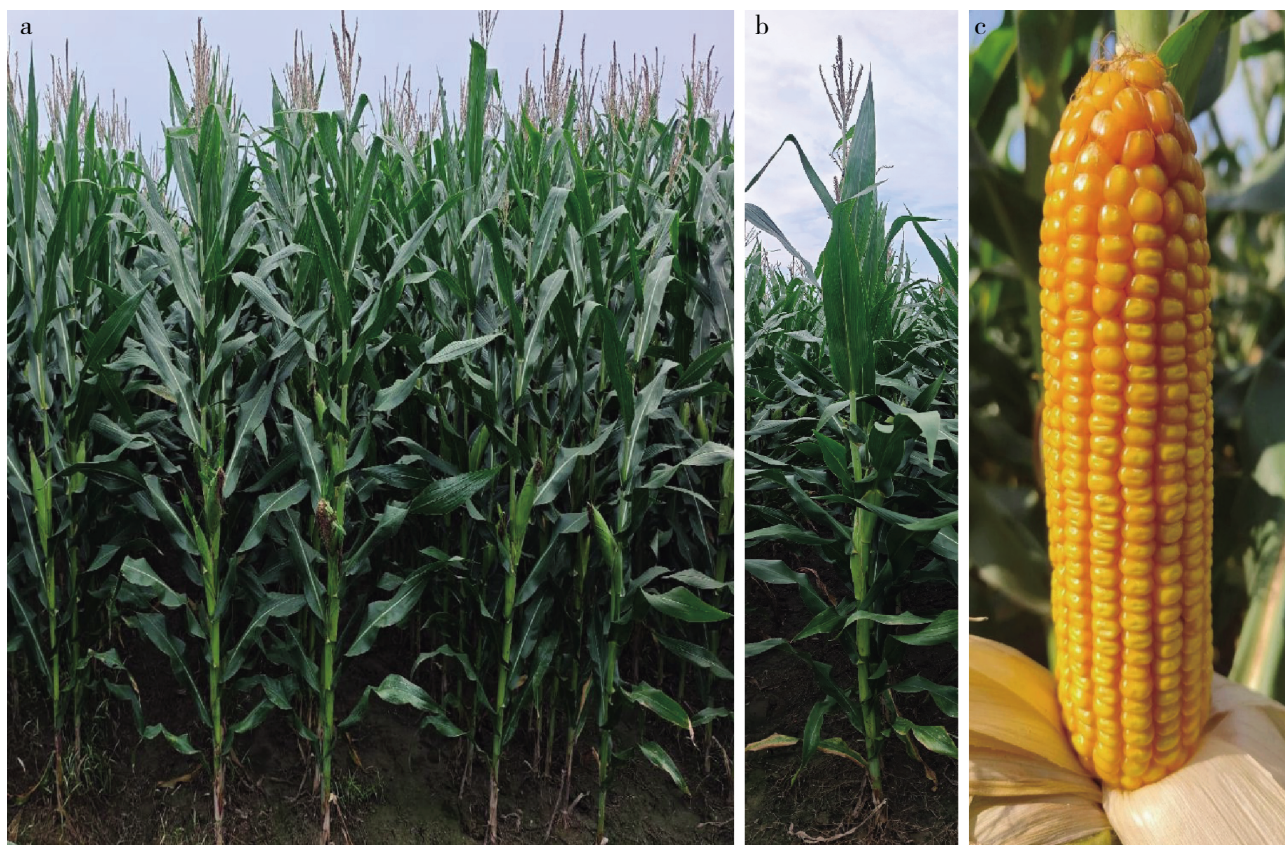


图2 江玉 303 群体(a)、单株(b)与果穗(c)

表 1 2022—2023 年江玉 303 黄淮海夏玉米区域主要性状

品种名称	年份	生育期 / d	株高 / cm	穗位高 / cm	空秆率 / %	穗长 / cm	秃尖长 / cm	穗行数 / 行	千粒质量 / g	倒伏倒折 率之和 /%	倒伏倒折率之和≥ 10%试点比例 /%
江玉 303	2022	103.8	255.7	97.3	0.5	17.3	0.4	14—20	324	1.3	4.9
	2023	102.3	251.3	96.7	0.2	16.9	0.4	14—20	350	4.0	12.5
	平均	103.1	253.5	97.0	0.4	17.1	0.4	14—20	337	2.7	8.7
郑单 958 (CK)	2022	104.6	264.4	116.0	0.6	16.8	0.4	12—18	347	4.2	14.6
	2023	102.5	255.8	109.2	0.1	16.8	0.3	12—18	327	9.4	25.0
	平均	103.6	260.1	112.6	0.4	16.8	0.4	12—18	337	6.8	19.8

2.2 综合抗病性

2022—2023 年经全国农技中心组织河北省农林科学院植物保护研究所、河南农业大学连续 2 年多点抗病性鉴定,鉴定方法与标准分述如下。

2.2.1 茎腐病。调查时期:收获前 0~3 d。调查方法:采用手捏法调查。茎基部变软、空松,能用手捏动植株判定为发病株。调查测产行发病株数、总株数,计算发病株数占总株数的百分率(%)。具体标准:在 0~5.0%为高抗(HR),5.1%~10.0%为抗(R),10.1%~30.0%为中抗(MR),30.1%~40.0%为感(S),

40.1%~100.0%为高感(HS)。

2.2.2 镰孢穗腐病。调查时期:收获时。调查方法:采用目测法调查测产行中所有果穗。逐穗调查霉变(发病)籽粒占果穗总粒数的比例,计算平均籽粒霉变(发病)率。具体标准:1.5%(含)以下为 1 级,高抗(HR);1.6%~3.5%为 3 级,抗(R);3.6%~5.5%为 5 级;5.6%~7.5%为 7 级;7.6%~9.0%为 9 级。

2.2.3 小斑病。调查时期:收获前 10~15 d。调查方法:采用目测法调查测产行中植株群体的发病状况。重点调查“棒三叶”(穗位叶、穗下第 1 叶和穗上

第 1 叶)。病情级别划分标准:1 级,整株无病斑或仅有零星病斑,整株病斑占总叶面积 $\leq 5\%$;3 级,棒三叶上有少量病斑,病斑占叶面积的 $6\% \sim 10\%$;5 级,棒三叶病斑较多,病斑占叶面积的 $11\% \sim 30\%$;7 级,棒三叶有大量病斑,病斑相连,病斑占叶面积的 $31\% \sim 70\%$;9 级,整株叶片基本为病斑覆盖,叶片枯死。

2.2.4 南方锈病。目测每份材料群体的发病情况,并依据下列标准定级。1 级,叶片上无病斑或仅有无孢子堆的过敏性反应;3 级,叶片上有少量孢子堆,占叶面积 $\leq 25\%$;5 级,叶片上有中量孢子堆,占叶面积 $26\% \sim 50\%$;7 级,叶片上有大量孢子堆,占叶面积 $51\% \sim 75\%$;9 级,叶片上有大量孢子堆,占叶面积 $76\% \sim 100\%$,叶片枯死。

2.2.5 弯孢叶斑病。调查时期:收获前 10~15 d。调查方法:采用目测法调查测产行中植株群体的发病状况。重点调查玉米穗位叶及其上方 3 个叶片。病情级别划分标准:1 级,穗位叶及上部 3 叶无病斑或

仅有零星病斑,病斑占叶面积 $\leq 5\%$;3 级,穗位叶及上部 3 叶有少量病斑,病斑占叶面积的 $6\% \sim 10\%$;5 级,穗位叶及上部 3 叶有较多病斑,病斑占叶面积的 $11\% \sim 30\%$;7 级,穗位叶及上部 3 叶有大量病斑,病斑相连,病斑占叶面积的 $31\% \sim 70\%$;9 级,穗位叶及上部 3 叶基本为病斑覆盖,叶片枯死。

2.2.6 瘤黑粉病。每份材料进行逐株调查,长有菌瘿的植株即为发病株,统计发病株数、总株数,按照公式计算发病株率,病株率=(发病株数/总株数) $\times 100\%$ 。具体标准:发病率在 $0 \sim 5.0\%$ 为 1 级,高抗(HR); $5.1\% \sim 10.0\%$ 为 3 级,抗(R); $10.1\% \sim 20.0\%$ 为 5 级,中抗(MR); $20.1\% \sim 40.0\%$ 为 7 级,感(S); $40.1\% \sim 100.0\%$ 为高感(HS)。

经鉴定,江玉 303 抗茎腐病、镰孢穗腐病、小斑病、南方锈病,感弯孢叶斑病,高感瘤黑粉病。综合抗病性在 2025 年国家审定的黄淮海区域 180 个玉米品种中表现突出(表 2)。

表 2 2022—2023 年江玉 303 黄淮海夏玉米区域抗病性鉴定结果

年份	鉴定地区	小斑病		弯孢叶斑病		南方锈病		瘤黑粉病		茎腐病		镰孢穗腐病	
		病级 / 级	抗性评价	病级 / 级	抗性评价	病级 / 级	抗性评价	发病率 / %	抗性评价	发病率 / %	抗性评价	发病率 / %	抗性评价
2022	河北	1	HR	5	MR	3	R	60.0	HS	2.9	HR	3.4	R
	河南	3	R	7	S	1	HR	12.0	MR	6.3	R	3.2	R
	汇总	3	R	7	S	3	R	60.0	HS	6.3	R	3.4	R
2023	河北	3	R	3	R	3	R	81.8	HS	3.2	HR	2.8	R
	河南	3	R	5	MR	1	HR	0	HR	0	HR	2.0	R
	汇总	3	R	5	MR	3	R	81.8	HS	3.2	HR	2.8	R
综合		3	R	7	S	3	R	81.8	HS	6.3	R	3.4	R

注:HR 为高抗,R 为抗,MR 为中抗,S 为感,HS 为高感。

2.3 籽粒品质

经农业农村部谷物品质监督检验测试中心(哈尔滨)检测,江玉 303 籽粒容重 776 g/L ,粗淀粉(干基)质量分数 72.50% ,粗蛋白(干基)质量分数 10.73% ,粗脂肪(干基)质量分数 5.46% ,赖氨酸(干基)质量分数 0.27% 。该品种籽粒容重、粗蛋白及粗脂肪含量均表现较高,商品性好,既可满足籽粒粮用需求,也可适配饲用玉米品质要求。

3 江玉 303 产量表现

江玉 303 在 2022—2023 年黄淮海夏玉米国家区域试验及 2024 年生产试验中,整体增产优势突出,增产覆盖面广且产量表现稳定。2022 年区域试验中,该品种平均产量达 $9\,972.9 \text{ kg/hm}^2$,较对照品种郑单 958 增产 5.6% ;2023 年续试平均产量 $11\,049.0 \text{ kg/hm}^2$,增产幅度提升至 7.3% 。两年区域试验

江玉 303 综合平均产量 10 511 kg/hm²,平均增产 6.5%,平均增产点比例达 87.7%。2024 年生产试验结果进一步验证了该品种优势,其平均产量 10 255.5 kg/hm²,较

郑单 958 增产 6.5%,增产点率高达 90.5%。综合多年多点试验结果,江玉 303 在黄淮海夏玉米不同生态种植区域均展现出优良且稳定的高产性能(表 3)。

表 3 江玉 303 黄淮海夏玉米试验产量汇总

年份	试验类别	江玉 303 平均产量 / (kg/hm ²)	郑单 958(CK)平均产量 / (kg/hm ²)	比 CK 增 /%	增产点率 /%	产量位次
2022	区域试验第一年	9 972.9	9 446.9	5.6	87.8	2
2023	区域试验第二年	11 049.0	10 294.5	7.3	87.5	2
2024	生产试验	10 255.5	9 631.5	6.5	90.5	2

4 江玉 303 高产栽培技术要点

结合江玉 303 的品种特性及黄淮海夏玉米区的生态、生产特点,集成精准播种、科学水肥、绿色防控、适时晚收的高产适配栽培技术,深挖品种增产潜力,实现良种良法配套。

4.1 适期播种与合理密植

4.1.1 种子处理。玉米播种前采用种衣剂拌种预处理,针对蛴螬、地老虎等地下害虫及苗期纹枯病、粗缩病起到双重防护作用,提升田间出苗效率,保障幼苗齐整、苗匀、苗壮。

4.1.2 适期播种。江玉 303 适配黄淮海夏玉米区小麦-玉米一年两熟制,适宜播期为 6 月 15—25 日,小麦收获后及时灭茬整地,控制麦茬留茬高度,使麦草均匀分布,避免秸秆堆积影响播种质量。

4.1.3 播种方式。采用玉米精量播种机,实现种肥同播,常规播种深度 3~5 cm;土壤干旱、墒情不足地块,播深可调至 4~6 cm 保墒。

4.1.4 合理密植。江玉 303 耐密性较好,适宜种植密度为 6.0 万~7.5 万株/hm²;针对水肥充足、田间管理规范的优质地块,可适度提高种植密度,优化田间群体结构,为玉米高产、稳产筑牢基础。

4.1.5 田间定苗。出苗后做好查苗补苗工作,缺苗较多地块于 3 叶前带土移栽,移栽后浇足水分保证成活;5 叶阶段完成定苗,拔除弱苗、病苗、杂苗,保留壮苗,确保田间苗势均衡整齐。

4.2 科学水肥管理

4.2.1 施肥管理。遵循玉米“前低后高”的需肥规律,采用底肥+追肥分次施肥方式,播种时可施控释肥(氮、磷、钾比例为 20:10:15)750 kg/hm²作底肥,实行种肥分离,肥料于种植行侧边深施 10~15 cm,肥种严格分离防止烧苗;玉米大喇叭口期至吐丝期,追施尿素 300~375 kg/hm²,促进果穗分化与籽

粒发育,提高穗粒数和千粒质量。

4.2.2 水管理。结合玉米生育期需水特点按需灌溉,实现水肥耦合增效。若土壤墒情不足,播种后及时浇水,保证种子顺利萌发,实现苗齐、苗匀、苗壮^[14];玉米苗期适当控水,促进根系下扎,培育壮苗,提高植株抗倒性;苗期至拔节期玉米耐涝性差,遇强降雨及时排除田间积水,防止根系缺氧腐烂;大喇叭口期、开花吐丝期和灌浆期是玉米需水临界期,此阶段若发生干旱易导致穗粒数减少、籽粒灌浆不足,应结合土壤墒情与降水情况适时灌溉,防止“卡脖旱”,保障玉米正常生长发育^[15]。

4.3 病虫草害综合防治

4.3.1 草害防治。采用苗前封闭预处理+苗后靶向补防的分段防控模式。玉米播种后出苗前,喷施 200~250 mL/667 m² 的 41%草甘膦异丙胺盐水剂,对田间实施全覆盖喷雾,实现前期杂草封杀。针对苗前防除不彻底的杂草,可在玉米 3~5 叶期开展苗后补防,搭配施用 10%硝磺草酮水剂 100 mL/667 m²+33%烟嘧·特丁津复配剂(有效成分为 5%烟嘧磺隆、28%特丁津)100 mL/667 m² 进行定向喷雾处理。注意:使用药剂时请严格遵守当地农药管理规定,并注意轮换用药以延缓抗性产生;药剂喷施需规避清晨结露及正午高温时段,有效规避玉米药害风险。

4.3.2 虫害防治。玉米出苗后密切监测田间虫害动态,若发现心叶有虫食现象,使用 10%氯虫苯·虱螨脲 30 mL/667 m² 整株喷雾,防治青虫、草地贪夜蛾等苗期害虫;玉米拔节至抽雄末期,使用 20%氯虫苯甲酰胺·茚虫威 30 g/667 m² 茎叶喷施,防控玉米螟、斜纹夜蛾等穗期主要害虫,减轻其对果穗的危害。

4.3.3 病害防治。玉米大喇叭口期是病害防控关键期,在此阶段统一开展病虫害综合防治,可显著降低后期病害流行程度。选用 12.5%广谱杀菌剂氟环唑可湿性粉剂 50 mL/667 m² 进行整株喷施,预防玉

米大斑病、小斑病、锈病等病害。

4.4 适时晚收与科学储存

玉米生理成熟的标志为苞叶变黄、籽粒乳线消失、籽粒基部出现黑层^[16],此时玉米籽粒千粒质量达到最大值,是最佳收获期。江玉 303 籽粒灌浆速度快,成熟时植株保持秆青叶绿,适当晚收可延长籽粒灌浆时间,提高光热资源利用率,增加千粒质量,同时降低籽粒含水量,提升籽粒品质和商品性。收获过早,玉米籽粒未完全成熟,千粒质量降低,影响产量,且籽粒含水量较高,收获后易霉变、破碎;收获过晚,易发生茎秆倒伏、果穗脱落,增加收获损失。收获后及时脱粒、晾晒,待籽粒含水量降至贮藏标准后入仓储存,储存期间做好通风、防潮、防虫处理,防止籽粒霉变、虫蛀,保持籽粒高容重和优良品质。

5 结论

本研究选育的玉米新品种江玉 303 于 2025 年通过黄淮海夏玉米国家审定,熟期适中、抗倒丰产、综合抗病性优异,有效解决区域品种抗逆不均衡、同质化问题。配套集成适栽培技术,实现良种良法协同,可充分挖掘增产潜力。后续将持续完善绿色轻简化配套技术,推进良种、良法、良机融合推广,并深化种质创新,培育优质宜机玉米新种质,为保障粮食安全、推进农业现代化提供支撑。

参考文献:

[1] 刘玉清. 玉米高产种植技术的应用实践及科学防治病虫害的有效策略[J]. 种子世界,2025(3):27-29.

- [2] 段秀坤. 杂交玉米高产栽培技术要点[J]. 世界热带农业信息,2024(7):35-37.
- [3] 杨久涛,刘光亚,韩 伟,等. 黄淮海夏玉米密植精准调控高产技术[J]. 农业知识,2025(1):35-36,38.
- [4] 李 美,高兴祥,李 健,等. 夏玉米田“农艺控草+科学用药”杂草治理技术[J]. 农业知识,2025(2):54-56.
- [5] 李少昆,赵久然,董树亭,等. 中国玉米栽培研究进展与展望[J]. 中国农业科学,2017,50(11):1941-1959.
- [6] 王克如,李璐璐,高 尚,等. 中国玉米机械粒收质量主要指标分析[J]. 作物学报,2021,47(12):2440-2449.
- [7] 王元东,赵久然,张华生,等. 玉米宜粒收品种的选育及种质创新策略[J]. 分子植物育种,2020,18(10):3455-3460.
- [8] 王向峰,才 卓. 中国种业科技创新的智能时代:“玉米育种 4.0”[J]. 玉米科学,2019,27(1):1-9.
- [9] 赵久然,王 帅,李 明,等. 玉米育种行业创新现状与发展趋势[J]. 植物遗传资源学报,2018,19(3):435-446.
- [10] 刘世梦倪,宋 敏. 品种改良对玉米单产的贡献率分析[J]. 河南农业大学学报,2021,55(2):364-371.
- [11] 白 岩,高婷婷,卢 实,等. 近四十年来我国玉米大品种的历史沿革与发展趋势[J]. 作物学报,2023,49(8):2064-2076.
- [12] 陈永强,王雅菲,谢惠玲,等. 黄淮海地区夏玉米育种目标与策略[J]. 作物学报,2024,50(12):2917-2924.
- [13] 陈 翔,鲍杨俊,李 庆,等. 黄淮海夏玉米花期高温发生特点、危害机理与防控措施综述[J]. 安徽农业大学学报,2020,47(2):304-308.
- [14] 马俊峰,马 毅,魏 锋,等. 高产优质耐密宜机收玉米新品种新单 58 的选育[J]. 河南农业科学,2020,49(9):27-32.
- [15] 杨慧珍,任志强,肖建红,等. 玉米新品种和世利 1601 的选育与栽培技术研究[J]. 安徽农业科学,2019,47(7):44-45,48.
- [16] 段民孝,赵久然,王元东,等. 国审玉米新品种京科 688 选育与制种及生产技术[J]. 中国种业,2023(10):120-124.

本刊常用计量单位符号简介

为执行国务院发布的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》的规定,根据中华人民共和国“量和单位”系列国家标准(GB3100—1993、GB/T3101—1993 和 GB/T3102.1~3102.13—1993),现将本刊常用的计量单位符号介绍如下,希广大作者遵照执行。

时间:日(天)—d;表格中(月/日)应用(月-日),如 2/30 应用 02-30;时—h;分—min;秒—s。质量:吨—t;公斤(千克)—kg;克—g;毫克—mg;微克— μg ;纳克—ng。体积:升—L;毫升—mL;微升— μL 。浓度:通常指物质的量浓度,克分子浓度(M)废用,改为 mol/L;当量浓度(N)废用,换算成相应的 mol/L;质量浓度单位为 kg/L;质量摩尔浓度单位为 mol/kg;ppm 换算为相应的 mg/kg (质量分数)、 $\mu\text{L/L}$ (体积分数)、 $\mu\text{mol/mol}$ (摩尔分数)等。面积:亩—667 m^2 ,万亩换算为万 hm^2 等。

Breeding and Cultivation Techniques of the New Multi-resistant, High-yield Maize Hybrid Jiangyu 303

Li Long, Yuan Zhanglong, Shi Chao, Liu Zhiyong
(Suqian Zhongjiang Seed Industry Co., Ltd., Suqian 223800, China)

Abstract: Jiangyu 303 is a new maize hybrid developed by Suqian Zhongjiang Seed Industry Co., Ltd., through crossing inbred line ZFS100 (maternal) with FS9 (paternal). It was approved at the national level in 2025 (National Approval No. Guoshenyu 20253298). In national regional trials during 2022-2023, the two-year average grain yield reached 10 511.0 kg/hm², representing a 6.5% increase over the control Zhengdan 958. In the 2024 national production trial, the average yield was 10 255.5 kg/hm², also with a 6.5% yield advantage. Comprehensive resistance evaluation indicated strong resistance to four major maize diseases: stalk rot, ear rot, southern leaf blight, and southern corn rust. The average lodging and stalk breakage rate in regional trials was 2.7%. Multi-location trials across the Huang-Huai-Hai Plain over multiple years confirmed its outstanding performance, including multi-disease resistance, strong lodging tolerance, high and stable yield, wide adaptability, and superior grain quality. This paper describes the breeding process and yield performance of Jiangyu 303 and summarizes its adaptive high-yield cultivation techniques, providing technical guidance for the commercial deployment of this hybrid.

Key Words: Jiangyu 303; Multiple resistance and wide adaptability; High and stable yield; Variety breeding; Cultivation techniques

(上接第 67 页)

- [7] 许玮珂,李 爽,寇佩雯,等. 基于表型性状和 SSR 标记的半夏遗传多样性分析及分子身份证构建[J]. 中国实验方剂学杂志,2024,30(5):134-142.
- [8] 陈 涛,赵庆勇,朱 镇,等. 中粒粒优质早熟高产粳稻新品种南梗晴谷的选育及机插栽培技术[J]. 江苏农业科学,2022,50(21):98-101.
- [9] 潘国庆,范 松,盛光聪,等. 江淮常规粳米粒形与品质性状的典型相关分析[J]. 江苏农业科学,2010,38(3):84-85.
- [10] 马 雷,王友华. 美国稻米标准与标准化生产研究[J]. 中国粮油学报,2007,22(6):169-174,184.
- [11] Takahashi Y, Teshima K M, Yokoi S, et al. Variations in Hd1 proteins, Hd3a promoters, and Ehd1 expression levels contribute to diversity of flowering time in cultivated rice [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(11):4555-4560.
- [12] 李 凡,陈 春,郭新亚,等. 黄淮稻区水稻抽穗期基因 *Hd1* 多态性分析及关键位点分子标记开发[J]. 大麦与谷类科学, 2025, 42(4):1-9.

Breeding and Cultivation Techniques of New Early-maturing and High-quality Rice Variety Sidao No.33

Chen Chun, Li Fan, Guo Xinya, Chen Weijun
(Suqian Institute of Agricultural Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Suqian 223800, China)

Abstract: Sidao No.33 (approved as Su Shen Dao 20240011) is a medium-to-long grain, early-maturing medium geng (*japonica*) rice cultivar developed by Suqian Institute of Agricultural Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences. It was bred through complex crossing combined with marker-assisted selection, using Sidao 140229 [F_1 of Nangeng 9108 $\times$ Sidao No.22] as the maternal parent and Sidao 14BY15 [an intermediate line derived from Suxiu 867 $\times$ Sidao No.12] as the paternal parent. This cultivar is suitable for light-simplified cultivation in the Huaibei region of Jiangsu Province. It has a growth duration of 141.1 days, 4.6 days earlier than the control Suxiu 867. Key agronomic traits include a plant height of 89.3 cm, 225 000 effective panicles per 667 m², 140.5 grains per panicle, a seed setting rate of 88.3%, and a 1 000-grain weight of 24.9 g. Grain quality assessment showed a head rice rate of 75%, a length-to-width ratio of 2.0, and a chalkiness degree of 1.6%, meeting Grade 2 standards for high-quality rice specified in NY/T 593-2021. In terms of disease resistance, it is moderately susceptible to rice blast, susceptible to sheath blight, and moderately resistant to rice stripe virus.

Key Words: Rice; Early maturity; High quality; Direct seeding

辛 娟,虎芳芳,刘 龙,等. 旱地抗锈丰产冬小麦宁冬 24 号的选育及栽培技术[J/OL]. 大麦与谷类科学,2026,43(4):75–80(2026–08–10). DOI:10.14069/j.cnki.32–1769/s.2026.04.014.

旱地抗锈丰产冬小麦宁冬 24 号的选育及栽培技术

辛 娟¹,虎芳芳¹,刘 龙¹,陈 龙¹,王南骁²,王 峰^{1*}

(1. 宁夏固原市种子管理站,宁夏 固原 756000;2. 宁夏金润园农业科技有限公司,宁夏 银川 750000)

摘要:宁冬 24 号是固原市种子管理站和宁夏金润园农业科技有限公司用陇原 031/ 新麦 21 号杂交,通过系谱法选育而成的抗旱、抗锈、抗寒、丰产冬小麦新品种,2025 年通过宁夏审定(审定编号:宁审麦 20250002)。该品种早熟,中秆,株型紧凑,抗倒伏;分蘖成穗率高,叶功能期长,灌浆速度快,落黄好;长方形穗,长芒,白粒;聚合了 Yr9、Yr18、Yr28、Yr30 等抗条锈基因,条锈病和叶锈病免疫。宁冬 24 号含有 By8、By9、Dx5、Bx7 等优质蛋白亚基基因,籽粒粗蛋白(干基)含量(质量分数,下同)17.82%,湿面筋(以 14%水分计)含量 43.0%,吸水量 627 mL/kg,面团形成时间 3.5 min,稳定时间 1.5 min。2 年区域试验该品种平均产量 5 091.8 kg/hm²,较对照宁冬 16 号增产 13.1%,适于宁夏南部山区及甘肃、山西等省生态相似地区旱地种植。

关键词:旱地;抗锈;丰产;冬小麦;品种;宁冬 24 号

中图分类号:S512.1+1

文献标志码:B

文章编号:1673–6486–20260061

旱作冬小麦是宁夏种植面积最大的口粮作物^[1],主要分布于中、南部黄土高原残塬沟壑区^[2]。该区属我国冬小麦北部边缘地带,小麦锈病的重点越冬区、新小种的发源地;干旱、低温冷冻频发;种质资源匮乏,优新品种缺乏,种植技术落后,多因素叠加导致宁夏旱作冬小麦产量长期低而不稳、品质不优^[3]。因此创制优异种质,选育多抗、优质、高产品种,集成推广配套优新技术是迫切需要。固原市种子管理站联合宁夏金润园农业科技有限公司从引进的国内外种质资源中,鉴定优势互补亲本,经过多年水旱异地穿梭育种,培育出冬小麦新品种宁冬 24 号(系谱号 WF11–249),2025 年 6 月该品种通过宁夏回族自治区农作物品种审定委员会审定(审定编号:宁审麦 20250002)。

1 宁冬 24 号亲本及来源

冬小麦新品种宁冬 24 号选用的母本陇原 031 源于甘肃省农业科学院小麦研究所,主要特点是抗旱、抗寒性强,早熟,分蘖力强,叶功能期长,植株较

高,高抗条锈病,落黄较好,丰产广适^[4–5]。父本新麦 21 号引自河南省新乡市农业科学院,主要特点是幼苗健壮,叶短宽直立,分蘖力中等偏强,成穗数较多;旗叶短、厚、上冲,穗层整齐,穗多穗匀,结实性好;茎秆弹性好,抗倒伏能力强;耐冬寒抗春冻,后期根系活力强,有一定耐旱性,耐后期高温,叶功能好,灌浆顺畅,熟相好^[6]。其亲本来源及系谱见图 1。

2 宁冬 24 号选育方法和经过

2.1 选育方法

后代选育采用不同生态区异地穿梭选育法^[7–9]。F₁ 水地点播种植,使组合的超亲优势得以充分显现和获得更多杂种后代种子。F₂、F₃ 种植于旱地,确保从分离世代各种基因表现型中最大量选择抗旱、抗寒、抗锈、丰产基因综合体。F₄ 及后续各世代入选的单株,经分子标记检测和室内考种鉴定后,分别异地种植于水、旱地两种生境条件同时或交叉选育,对出圃稳定系进行产量、抗性、品质及农艺性状精准鉴定。其中,旱地条件下对参试品系的抗旱性、抗寒性、丰产性进行考察鉴定;水地条件下测定参试品系的抗病性、抗倒性、节水性和高产潜力;水、旱地两种条件下综合考察其抗旱、抗寒、抗病、丰产及适应性。采用田间选择和室内鉴定相结合的方法评鉴入选单株,田间着重对单株的株叶型结构、结实性、熟相、抗逆性等综合农艺性状进行选择;室内着

收稿日期:2026–06–03;修回日期:2026–07–31。

基金项目:宁夏回族自治区青年拔尖人才培养项目。

作者简介:辛 娟(1980—),女,高级农艺师,主要从事小麦育种及推广工作。Email: 814804476@qq.com。

* 通信作者:王 峰(1967—),男,研究员,主要从事小麦育种及栽培方面的研究工作。Email: nxgywf666@163.com。

重考察单株茎秆的坚实度、籽粒商品性,综合评鉴单株的田间综合农艺性状和籽粒商品性。选择多抗、丰产、综合性状好的品系参加异地多点品种比

较试验,进一步从中选择抗旱抗寒能力强、丰产稳产性好、抗病品质优、适应性广的品系参加区域试验。

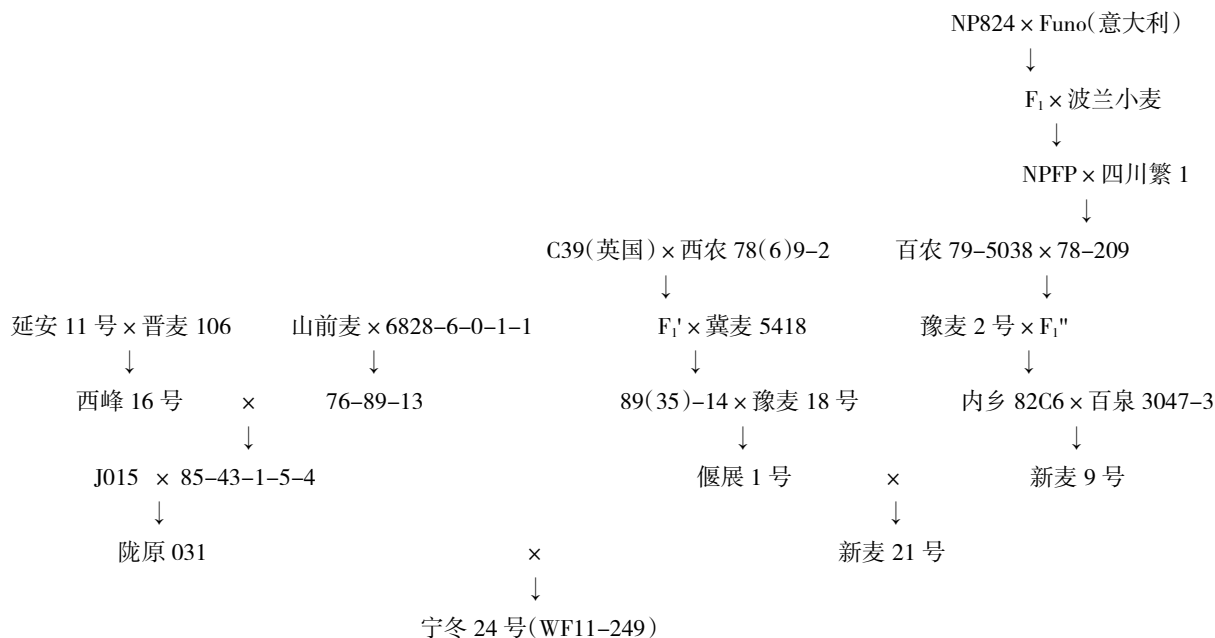


图 1 宁冬 24 号系谱图

2.2 选育经过

2011 年以陇原 031 为母本、新麦 21 号为父本配制杂交组合, F_1 种植在水地, 表现出强大的杂种优势, 株高适中、株叶型结构好, 抗病力强、落黄好、产量高, 被确定为重点关注组合, 当年种子全部收获。 F_2 种在旱地, 对其抗旱性、抗寒性和丰产性进行选择鉴定, 依照农艺性状选择 15 个优良单株, 经室内对单株和籽粒综合评鉴后, 入选 8 个单株。 F_3 继续种在旱地, 并在选种圃四周种植条锈病诱发材料, 条锈病发病充分, 感病压力大^[9], 对其抗病性和丰产性进行选择及综合评价, 从而选出优良单株。 F_4 开展分子标记辅助选择, 精准鉴别优质、抗病、抗逆关键基因的优良单株, 对入选的单株于室内对其茎秆坚实度和籽粒商品性进一步综合选择后, 在异地水、旱地两种环境条件下同时或交叉种植。 F_5 出圃 5 个稳定品系的同时, 水地选种圃入选单株 6 个, 旱地选种圃入选单株 9 个。 F_6 出圃 4 个稳定新品系(水、旱地均出圃 2 个)。 2017—2019 年度进行异地水旱品系鉴定试验, 并于 2019—2021 年选择优良品系进行异地多点品种比较试验, 从中选出新品系 11-249-10-2-3-3-2-1, 其抗旱、抗寒、抗锈、分蘖成穗数高、叶功能强, 丰产性好。 2021—2023 年参加宁夏南部山区冬小麦品种旱地组区域试验, 2023—

2024 年度参加宁夏南部山区冬小麦品种旱地生产试验。选育流程见图 2。

3 宁冬 24 号产量表现

3.1 品系鉴定

2017—2019 年参加固原市种子管理站原州点(水地)和彭阳点(旱地)品系鉴定试验, 宁冬 24 号水地两年平均折合产量 $7\,479.9\text{ kg/hm}^2$, 较对照品种宁冬 16 号增产 20.6%, 居 107 个参试品系第 4 位; 旱地两年平均折合产量 $5\,426.1\text{ kg/hm}^2$, 较对照品种宁冬 16 号增产 16.0%, 居 86 个参试品系第 2 位。 2 年水、旱地该品种平均折合产量 $6\,453.0\text{ kg/hm}^2$, 较对照品种宁冬 16 号增产 18.3%(表 1)。

3.2 品种比较

2019—2021 年在固原市种子管理站原州点(水地)和彭阳点(旱地)进行品种比较试验, 2019—2020 年两地宁冬 24 号平均折合产量 $6\,804.0\text{ kg/hm}^2$, 较对照品种宁冬 16 号增产 10.6%, 居 11 个参试品种第 2 位; 2020—2021 年两地平均折合产量 $6\,381.0\text{ kg/hm}^2$, 较对照品种宁冬 16 号增产 12.3%, 居 9 个参试品种第 1 位; 2 年平均产量 $6\,592.5\text{ kg/hm}^2$, 较对照品种宁冬 16 号增产 11.5%(表 1)。

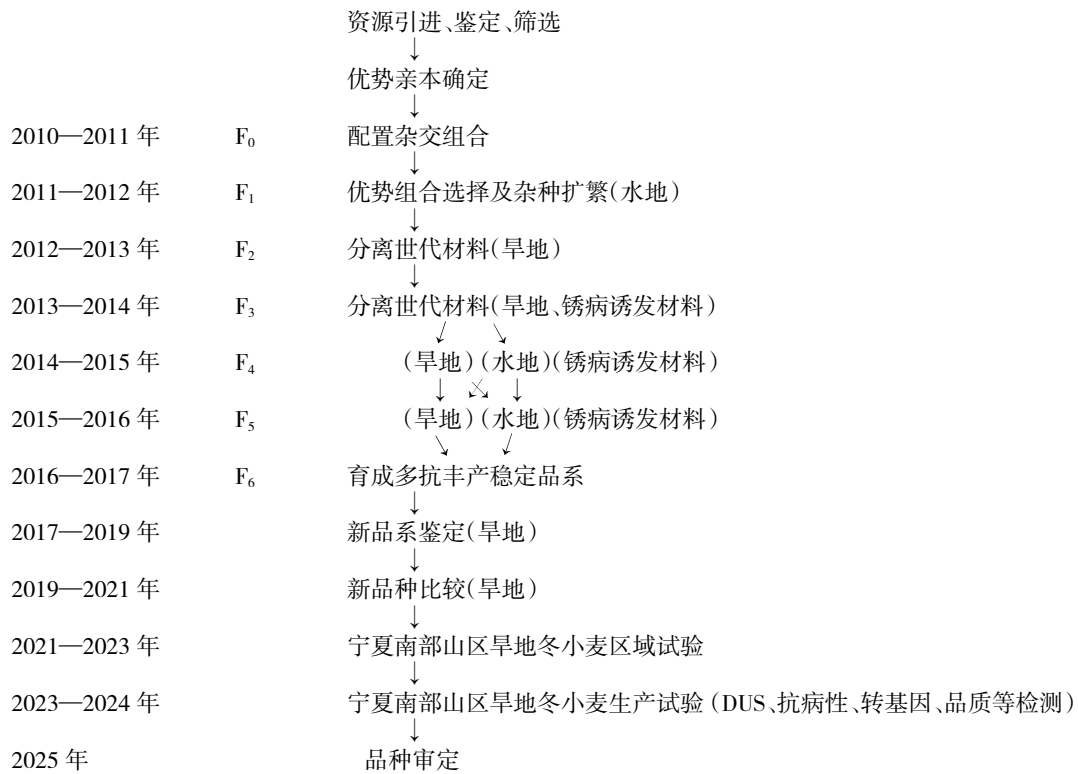


图 2 宁冬 24 号世代水旱胁迫交替选择流程

表 1 2017—2021 年品系及品种比较试验产量表现

试验组别	试验年度	原州点(水地)			彭阳点(旱地)			2 年平均		
		产量 / (kg/hm ²)	较对照(宁冬 16 号)增产 /%	位次	产量 / (kg/hm ²)	较对照(宁冬 16 号)增产 /%	位次	产量 / (kg/hm ²)	较对照(宁冬 16 号)增产 /%	位次
品系比较试验	2017—2018	6 895.3	16.5	5	5 036.4	13.8	3	5 965.9	15.2	3
	2018—2019	8 064.5	24.7	3	5 815.8	18.2	2	6 940.2	21.5	2
	平均	7 479.9	20.6	4	5 426.1	16.0	2	6 453.0	18.3	2
品种比较试验	2019—2020	7 335.2	8.7	2	6 272.8	12.5	1	6 804.0	10.6	2
	2020—2021	6 689.7	11.9	1	6 072.3	12.7	1	6 381.0	12.3	1
	平均	6 381.0	12.3	1	5 426.1	18.3	1	6 592.5	11.5	1

3.3 区域试验

2021—2023 年宁冬 24 号参加宁夏南部山区旱地冬小麦区域试验,其中:2021—2022 年 5 点均增产,增产点率 100%,平均折合产量 6 053.7 kg/hm²,较对照品种宁冬 16 号增产 11.3%,增产极显著,居 8 个参试品种第 1 位;2022—2023 年区域试验 4 点均增产,增产点率 100%,平均折合产量 4 129.9 kg/hm²,较对照品种宁冬 16 号增产 14.9%,增产极显著,居 13 个参试品种第 1 位。2 年区域试验该品种平均产量 5 091.8 kg/hm²,较对照品种宁冬 16 号增产 13.1%(表 2)。

3.4 生产试验

2023—2024 年宁冬 24 号参加宁夏南部山区旱

地冬小麦生产试验,4 点均增产,增产点率 100%,平均折合产量 4 636.5 kg/hm²,较对照宁冬 16 号增产 8.5%。

3.5 国家北部冬麦旱地区试

2024—2025 年参加国家北部冬麦区旱地组区域试验,宁冬 24 号在经历冷冬—倒春寒—苗期干旱—后期高温高湿等不利气候条件下,在山西(4 个点)、甘肃(5 个)、宁夏(2 个)三省 11 个试点中,平均折合产量 4 399.5 kg/hm²,较对照品种长 6878 增产 8.08%,比对照增产 ≥ 2.0% 点次 9 个,比对照增产 ≥ 2.0% 点率 81.8%,增产极显著,居 11 个参试品种第 1 位(表 3)。

表 2 2021—2023 年宁夏南部山区旱地冬小麦区域试验产量表现

试验年度	试验地点	平均折合产量 /(kg/hm ²)		增产率 /%	位次
		宁冬 24 号	宁冬 16 号(CK)		
2021—2022	原州区彭堡	6 156.0 A	5 656.5 BC	8.8	1
	泾源县泾河源	5 781.0 A	4 966.5 CD	16.4	1
	隆德县沙塘	5 856.0 a	5 325.0 ab	10.0	1
	彭阳县长城	5 794.5 A	5 244.0 B	10.5	2
	西吉县将台堡	6 681.0 A	5 992.5 CD	11.5	1
	平均	6 053.7 A	5 436.9 CD	11.3	1
2022—2023	原州区彭堡	4 734.0 A	3 949.5 D	19.8	1
	泾源县泾河源	3 870.0 A	3 156.0 D	22.6	1
	隆德县沙塘	4 353.0 a	3 987.0 abc	9.2	2
	彭阳县长城	3 562.5 ab	3289.5 bc	8.3	3
	平均	4 129.9 A	3 595.5 BCDE	14.9	1
2 年平均		5 091.8 A	4 516.2 CD	13.1	

注:运用 DPS 20.05 软件对产量数据进行 LSR 测验。同行数据后不同大写字母表示试点产量平均数差异具高度统计学意义($P<0.01$),不同小写字母表示试点产量平均数差异具统计学意义($P<0.05$)。

表 3 2024—2025 年国家北部冬麦区旱地组区域试验产量表现

试验地点	平均折合产量 /(kg/hm ²)		增产率 /%	位次
	宁冬 24 号	长 6878(CK)		
山西汾阳市	4 537.5	3 988.5	13.76	1
山西长治市	2 836.5	2 638.5	7.50	4
山西长子县	2 721.0	2 488.5	9.34	2
山西高平市	2 581.5	2 374.5	8.72	4
甘肃西峰市	5 157.0	4 323.0	19.29	1
甘肃镇原县	5 152.5	5 122.5	0.59	2
甘肃泾川县	6 544.5	6 159.0	6.26	1
甘肃庄浪县	5 392.5	4 630.5	16.46	1
甘肃定西市	4 372.5	5 239.5	-16.55	8
宁夏固原市	5 295.0	4 807.5	10.14	2
宁夏隆德县	3 805.5	3 006.0	26.60	1
平均	4 399.5 A	4 071.0 BC	8.08	1

4 宁冬 24 号特征特性

4.1 生物学特性

宁冬 24 号冬性,全生育期 282 d,较对照宁冬 16 号晚熟 2 d,属中早熟品种;幼苗半匍匐,叶片绿色;该品种分蘖力强,成穗数高;株型紧凑,穗层整齐,株高 83 cm;茎、叶、穗蜡质中等,茎秆黄色(成熟

期)(图 3)。该品种穗长方形,平均穗长 8.5 cm,小穗着生密,结实性好,芒浅黄色,颖黄色;护颖长圆形,颖肩斜肩,护颖短,籽粒长圆形,白粒,半角质;平均成穗数 561.0 万个 /hm²,平均穗粒数 30.3 粒 /穗,平均千粒质量 39.3 g(图 3、表 4)。

4.2 品质

2023 年农业农村部谷物及制品质量监督检验测试中心(哈尔滨)测定:宁冬 24 号容重 753 g/L,粗蛋白(干基)含量(质量分数,下同)17.82%,湿面筋(以 14%水分计)含量 43.0%;吸水量 627 mL/kg,面团形成时间 3.5 min,面团稳定时间 1.5 min,最大拉伸阻力 116 E.U.,延伸性 219 mm,能量 39 cm²;弱化度 170 U.F,粉质质量指数 42 mm,最大拉伸比例 0.5(表 4)。2025 年甘肃省农业科学院小麦研究所小麦品质性状相关的优质蛋白亚基基因分子标记检测结果表明,宁冬 24 号含有 By8、By9、Dx5、Bx7 等优质蛋白亚基基因。

4.3 抗病性

2023—2024 年度中国农业科学院植物保护研究所人工接种宁冬 24 号条锈病、叶锈病表现免疫,中感黄矮病、高感白粉病(表 5)。2025 年甘肃省农业科学院小麦研究所小麦抗条锈病基因分子标记检测结果表明,宁冬 24 号含有 Yr9、Yr18、Yr28、Yr30 等抗锈基因(表 6)。

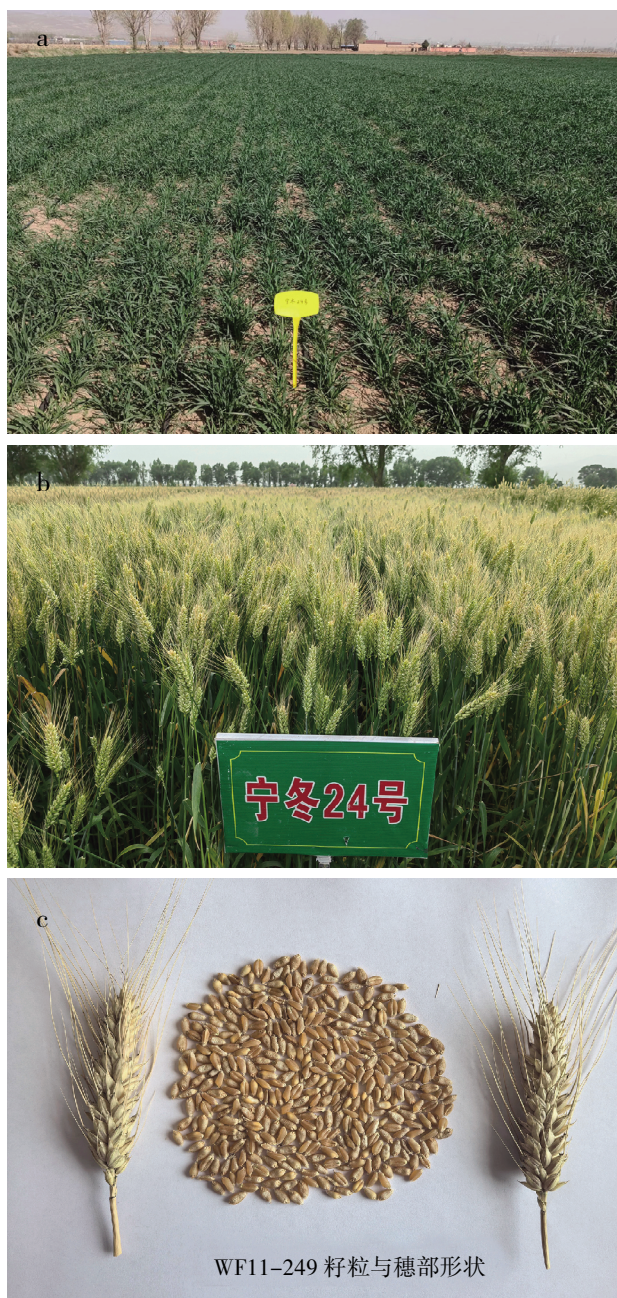


图 3 宁冬 24 号(WF11-249)幼苗(a)、穗层(b)及籽粒与穗部性状(c)

4.4 抗旱性

2024—2025 年度在河南省洛阳市农林科学院进行的抗旱性鉴定结果表明,宁冬 24 号的抗旱性特别突出,其抗旱指数 1.176,抗旱级别为 2 级,抗旱性评价较强,抗旱性优于对照品种西峰 20 号(表 5)。

4.5 抗寒性

2024—2025 年度由山西农业大学承担开展的国家北部旱地冬小麦抗寒性鉴定试验表明,宁冬 24 号抗寒性级别为 1 级,表现好(表 5)。

5 宁冬 24 号适种地区

宁冬 24 号适宜宁夏南部山区旱地及甘肃、山西等省生态类似地区旱地种植。

6 宁冬 24 号栽培技术要点

上茬作物收获后及时机械深耕 25 ~ 30 cm,以纳雨水、晒垡、熟化土壤,雨后耙耱收墒。整地前施腐熟农家肥 30.0 ~ 45.0 t/hm² 或商品有机肥 2.25 ~ 4.50 t/hm²、尿素 112.5 ~ 150.0 kg/hm²、磷酸二铵 300 ~ 375 kg/hm²,返青期视苗情深施尿素 120.0 ~ 150.0 kg/hm²。宁夏南部山区山旱地 9 月中、下旬播种,川旱地 9 月下旬至 10 月上旬播种;播种量 187.5 ~ 225.0 kg/hm²。推荐采用机械宽窄行垄沟种植方式,开沟深度 8 ~ 10 cm,起垄高度 4 ~ 5 cm,宽行 20 ~ 25 cm,窄行 10 ~ 12 cm,化肥施于沟底,种子播在沟底两侧 3 ~ 4 cm 湿土中,达到抗旱保墒、苗全苗壮目的。返青后至拔节前视麦田杂草适时喷药防除。抽穗至灌浆中期叶面喷施磷酸二氢钾 1 ~ 2 kg/hm²,可添加杀虫剂、杀菌剂、生物调节剂等,达到“一喷三防”效果。成熟后及时收获,以避免阴雨天气造成产量损失。

表 4 宁冬 24 号生物学特性及品质表现

试验组别	试验年度	生育期 / d	株高 / cm	穗数 / (万个 / hm ²)	穗粒数 / (粒 / 穗)	千粒质量 / g	容重 / (g/L)	籽粒粗蛋白含量(干基) / %	湿面筋(14%水分)含量 / %	吸水量 / (mL/kg)	稳定时间 / min
宁夏南部山区区域试验	2021—2023	282	83	561.0	30.3	39.3	753	17.82	43.0	627	1.5
国家北部冬麦旱地组区域试验	2024—2025	269	75	496.5	32.6	40.6	763	14.20	36.5	560	1.2

表 5 宁冬 24 号抗病性及抗逆性表现

鉴定年度	条锈病	叶锈病	白粉病	抗旱指数	抗旱级别 / 级	抗旱评价	抗寒性级别 / 级	抗寒性评价
2023—2024	免疫	免疫	高感	1.155	2	较强	1	好
2024—2025	近免疫	慢锈	高感	1.176	2	较强	1	好

注:抗病性评价执行 NY/T 1443—2007《小麦抗病虫性评价技术规范》、NY/T 2953—2016《小麦区域试验品种抗条锈病鉴定技术规程》;抗旱性评价执行 GB/T 21127—2007《小麦抗旱性鉴定评价技术规范》;抗寒性评价执行《2024 年国家级小麦品种审定标准》。

表 6 宁冬 24 号品质及抗锈基因分子标记

品种	品质基因					抗锈基因				
	<i>By8</i>	<i>By9</i>	<i>Dx5</i>	<i>Bx14</i>	<i>Bx7</i>	<i>Yr9</i>	<i>Yr18</i>	<i>Yr28</i>	<i>YrZH22</i>	<i>Yr30</i>
宁冬 24 号	+	+	+	—	+	+	+	+	—	+

注:品质基因执行 NY/T 2859—2015《主要农作物品种真实性 SSR 分子标记检测 普通小麦》;抗锈基因执行 GB/T 45211.1—2025《小麦抗病虫性评价技术规程 第 1 部分:条锈病》、GB/T 45211.2—2025《小麦抗病虫性评价技术规程 第 2 部分:叶锈病》。“+”表示含有该基因,“—”表示不含该基因。

参考文献:

- [1] 王 峰,辛 娟,虎芳芳,等. 1990—2025 年宁夏南部山区冬小麦主要性状演变及相关分析[J]. 西北农业学报,2026, 35(3):409—417.
- [2] 辛 娟,王 峰,周 刚,等. 旱地抗条锈冬小麦新品种宁冬 19 号选育报告[J]. 寒旱农业科学,2022,1(12):221—223.
- [3] 陈东升. 宁夏冬小麦生产调研报告[J]. 宁夏农林科技,2019, 60(9):87,89.
- [4] 周 刚,鲁清林,张礼军,等. 旱地冬小麦新品种兰天 32 号选育报告[J]. 甘肃农业科技,2015(1):17—19.
- [5] 干志峰,苟义华,张月琴. 2004—2006 年甘肃省陇东片冬小麦区试灵台试点结果[J]. 甘肃农业科技,2007(6):9—11.
- [6] 朱红彩,范永胜,赵 娟,等. 国审小麦新品种新麦 21 的选育[J]. 河南农业科学,2011,40(2):54—56.
- [7] 杜久元,周祥椿,杨俊海,等. 丰产优质多抗冬小麦新品种兰天 10 选育报告[J]. 甘肃农业科技,2000(9):10—13.
- [8] 任根深,王亚翠. 冬小麦新品种陇麦 671 的选育及思考[J]. 寒旱农业科学,2024,3(6):547—551.
- [9] 任根深. 利用矮败基因源育成抗旱冬小麦平凉 42 号[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(4):1—5.
- [10] 周 刚,鲁清林,白玉龙,等. 抗锈丰产冬小麦新品种兰天 33 号选育报告[J]. 甘肃农业科技,2016(3):1—2.

Breeding and Cultivation Techniques of Rust-resistant and High-yield Dryland Winter Wheat Variety Ningdong No.24

Xin Juan¹, Hu Fangfang¹, Liu Long¹, Chen Long¹, Wang Nanxiao², Wang Feng¹

(1. Guyuan Seed Management Station, Guyuan 756000, China; 2. Ningxia Jinrunyuan Agricultural Science and Technology Co., Ltd., Yinchuan 750000, China)

Abstract: Ningdong No.24 is a drought-resistant, rust-resistant, cold-tolerant and high-yielding winter wheat variety bred for dryland cultivation, developed by Guyuan Seed Management Station and Ningxia Jinrunyuan Agricultural Science and Technology Co., Ltd. from the cross between Longyuan 031 and Xinmai No.21 via pedigree selection, and was approved by Ningxia in 2025 (Approval Number: Ningshenmai 20250002). This variety is early-maturing, with medium plant height, a compact plant type, and lodging resistance. It exhibits a high spike-bearing tiller rate, a long leaf functional period, a fast grain-filling rate, and good senescence. The spike is oblong with long awns and white grain. It aggregates resistance genes such as *Yr9*, *Yr18*, *Yr28* and *Yr30*, conferring immunity to both stripe rust and leaf rust, as well as high-quality protein subunit genes including *By8*, *By9*, *Dx5*, and *Bx7*. Grain quality analysis showed a crude protein content (dry basis) of 17.82%, wet gluten content (14% moisture basis) of 43.0%, water absorption of 627 mL/kg, dough development time of 3.5 min, and dough stability time of 1.5 min. Across two years of regional trials, the average yield was 5 091.8 kg/hm², representing a 13.1% increase over the control Ningdong No.16. Ningdong No.24 is recommended for dryland cultivation in the mountainous region of southern Ningxia and in ecologically similar areas of Gansu, Shanxi, and adjacent provinces.

Key Words: Dryland; Rust resistance; High yield; Winter wheat; Variety breeding; Ningdong No.24