

大麦与谷类科学

DAMAI YU GULEI KEXUE

(双月刊)

2025 年 第 42 卷 第 3 期 (总第 180 期)

本刊顾问: 张 京 黄剑华

主 编: 孙明法

副主编: 郭刚刚 张国平 陈守军 仰海洲

徐中兵 洪立洲 沈会权 朱国永

刘兴华(常务)

委 员(按姓氏笔划为序):

王才林 王志龙 王志伟 王建武

王树杰 方维明 包奇军 叶凌凤

冯国华 冯宗云 吕仲昱 任喜峰

向 莉 刘猛道 齐军仓 许如根

孙苏阳 李国强 杨 力 杨 平

吴纪中 吴昆仑 谷 春 汪军妹

张 扬 张玉红 张想平 陆 健

陆瑞菊 陈 峰 陈剑平 季昌好

周 军 郝德荣 秦丹丹 唐亚伟

徐启来 高德荣 郭呈宇 黄金堂

银永安 曾亚文 曾兴权 樊继伟

编辑部主任: 刘兴华

责任编辑: 刘艳艳 丁 颖

编 务: 潘宗瑾

封面设计: 李春霞

主管单位: 江苏省农业科学院

主办单位: 江苏沿海地区农业科学研究所

编辑出版: 《大麦与谷类科学》杂志编辑部

地 址: 江苏省盐城市开放大道北路 9 号

邮政编码: 224002

电 话: 0515-88330625

投稿网址: <http://dmkx.cbpt.cnki.net>

微信公众号: damkx1984

电子信箱: damkx@163.com

QQ 群: 258784863

印 刷: 盐城市创新印务有限公司

连续出版物号: ISSN 1673-6486

CN 32-1769/S

创刊时间: 1984 年

出版日期: 2025 年 06 月 28 日

目 次

·综述与报告·

生态因子对稻米品质影响的综合探究与改良策略·····

·····张志鹏,林 参,李 菁,等(1)

粒型调控基因 *GL7*、*GS3*、*gw5*、*LGY3*、*tgw6* 在粳、籼稻品种资源中的分

布及效应分析·····李 凡,郭新亚,陈 春,等(7)

·育种与栽培·

新疆不同生态区啤用大麦品种(系)适应性鉴定与综合评价·····

·····向 莉,董裕生,王 仙,等(17)

长江中下游地区不同小麦品种籽粒灌浆特性及脱水速率探究·····

·····辛海滨,刘翠莲,唐建鹏,等(22)

西藏冬青稞品种的产量、产量构成因素及生育期差异分析·····

·····扎 次,次旦卓嘎,错 色,等(28)

云南省主要青稞资源穗发芽抗性评价·····

·····刘 列,王志伟,乔祥梅,等(35)

大理州饲料大麦新品系(种)综合性状比较分析·····

·····陈艳春,刘 帆,蔡秋华,等(42)

·土肥与植保·

腐熟牛粪氮不同比例替代化肥氮对膜下滴灌水稻产量、品质及氮肥

利用率的影响·····唐文雪,马忠明,薛 亮,等(47)

玉米上桃蛀螟的危害以及防治研究进展·····

·····唐艺婷,陈澄宇,赵云霞,等(57)

江苏淮安地区玉米主要病虫害及绿色防控策略·····

·····陈亚丽,唐艺婷,张 军,等(62)

·种业创新·

丰产早熟落芒型饲用大麦新品种龙饲麦 5 号的选育及栽培技术·····

·····王月超,孙 丹,尚佳薇,等(69)

抗旱节水高产小麦新品种洛旱 33 选育及产量性状分析·····

·····冯伟森,张学品,丁志强,等(72)

·简讯与信息·

欢迎订阅 2025 年《大麦与谷类科学》·····(21)

本刊加入有关数据库的特别声明·····(46)

本刊常用计量单位符号简介·····(79)

BARLEY AND CEREAL SCIENCES

(Bimonthly, Started in 1984)
Vol. 42, No. 3, Jun. 2025, Sum No. 180

Administrated by:

Jiangsu Academy of Agricultural
Sciences

Sponsored by:

Jiangsu Coastal Area Institute of
Agricultural Sciences

Chief Editor:

SUN Mingfa

Edited & Published by:

Editorial Department of Barley
and Cereal Sciences

Address:

No.9 Kaifang Avenue North,
Yancheng, Jiangsu, China

Postcode:

224002

Tel:

0515-88330625

Website:

<http://dmkx.cbpt.cnki.net>

WeChat Official Accounts:

damkx1984

Email:

damkx@163.com

QQ Group:

258784863

Subscription:

Editorial Department of Barley
and Cereal Sciences

Printed by:

Yancheng Innovation Printing
Co.,Ltd.

Distribution range:

Worldwide

CONTENTS

Comprehensive Exploration of Impacts of Ecological Factors on Rice Quality and Improvement Strategies.....	ZHANG Zhipeng, LIN Shen, LI Jing,et al (1)
Distribution and Effect Analysis of Grain Size Genes <i>GL7</i> , <i>GS3</i> , <i>gw5</i> , <i>LGY3</i> and <i>tgw6</i> in Indica and Geng Rice Varieties.....	 LI Fan, GUO Xinya, CHEN Chun,et al (7)
Adaptability Identification and Comprehensive Evaluation of Different Beer Barley Varieties (Lines).....	XIANG Li, DONG Yusheng, WANG Xian,et al (17)
Exploration on Grain Filling Characteristics and Dehydration Rate of Different Wheat Varieties in Middle and Lower Reaches of Yangtze River.....	 XIN Haibin, LIU Cuilian, TANG Jianpeng,et al (22)
Analysis of Yield,Yield Components and Growth Period Differences in Xizang Winter Barley Varieties.....	Zhaci, Cidan Zhuoga, Cuose,et al (28)
Evaluation of Pre-harvest Sprouting Resistance of Major Barley Resources in Yunnan Province.....	LIU Lie, WANG Zhiwei, QIAO Xiangmei,et al (35)
Comparative Analysis of Comprehensive Traits of New Forage Barley Lines (Varieties) in Dali Prefecture.....	CHEN Yanchun, LIU Fan, CAI Qiuhua,et al (42)
Effects of Different Proportions of Substituting Chemical Fertilizer Nitrogen with Decomposed Cow Dung Nitrogen on Rice Yield, Quality and Nitrogen Use Efficiency Under Mulched Drip Irrigation.....	TANG Wenxue, MA Zhongming, XUE Liang,et al (47)
Research Progress in Damage and Control of <i>Conogethes Punctiferalis</i> on Maize.....	 TANG Yiting, CHEN Chengyu, ZHAO Yunxia,et al (57)
Main Diseases and Pests and Green Control Strategies of Maize in Huai'an City, Jiangsu Province.....	CHEN Yali, TANG Yiting, ZHANG Jun,et al (62)
Breeding and Cultivation Techniques of New High-yield, Early-maturing, Awn-falling Forage Barley Variety Longsimai No.5.....	 WANG Yuechao, SUN Dan, SHANG Jiawei,et al (69)
Breeding and Yield Trait Analysis of New Wheat Variety Luohan 33 with Drought Resistance, Water Saving and High Yield.....	 FENG Weisen, ZHANG Xuepin, DING Zhiqiang,et al (72)

张志鹏,林 参,李 菁,等.生态因子对稻米品质影响的综合探究与改良策略[J/OL].大麦与谷类科学,2025,42(3):1–6,16(2025–05–20).
https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.03.001.

生态因子对稻米品质影响的综合探究与改良策略

张志鹏^{1,2},林 参^{1,2},李 菁¹,齐 江²,沈 娟²,王兴龙²,严卫古^{1,2},朱明超^{1,2*}

(1.江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所,江苏 淮安 223001;2.江苏天丰种业有限公司,江苏 淮安 223001)

摘要:水稻作为全球重要的粮食作物之一,其品质改良是应对消费升级与产业转型的核心议题。综述了气候、土壤、水分3类生态因子对稻米品质的影响机制及交互效应,提出环境调控(灌溉优化、田间布局)与农艺措施(精准施肥、适期收获)相结合的品质改良策略,指明聚焦多因子互作的品质维持机制及生态适配品种定向选育的未来研究方向,为优质稻米生产提供理论支撑。

关键词:水稻;品质;生态因子;定向选育

中图分类号:S511

文献标志码:A

文章编号:1673–6486–20250033

水稻(*Oryza sativa* L.)是我国重要的粮食作物,也是维系全球粮食安全的核心作物之一。随着生产力的发展,我国居民对稻米的需求逐渐从“饱腹型”转向“品质型”,对其品质改良是应对消费升级与产业转型的关键议题^[1–3]。稻米的外观、食味、营养及加工特性是评价其商品价值的核心指标^[4]。生态因子通过调控植株生理生化过程与物质代谢路径,对稻米品质形成产生多维度的影响^[4–6]。

气候因子在水稻灌浆结实期的动态组合直接影响品质形成的关键进程。温度通过调控淀粉合成酶活性影响垩白形成,研究表明,灌浆期日均温超过30℃时,垩白度显著升高且蛋白质含量异常波动^[7–9];光照强度与时长则通过光合作用效率调控干物质积累,进而影响整精米率与垩白率^[10]。土壤环境作为根系生长的物质基础,其质地、养分平衡及pH值通过影响矿质元素吸收与根系发育,间接影响稻米营养品质。砂壤土凭借适宜的黏砂配比(20%~40%黏粒),通过优化根系微环境促进低垩白率、高透明度稻米形成;而酸性土壤(pH≤5.0)易导致重金属活性增强,威胁稻米食用安全^[6,11]。水分管理

的效应则体现在灌溉水源与水层调控:地表水因水温适宜、矿物质丰富,较井水更利于籽粒灌浆;灌浆期干湿交替灌溉可显著提升整精米率并改善淀粉糊化特性^[12–13]。

值得关注的是,生态因子间存在显著的交互作用与区域分异特征。在南方高温高湿地区,土壤酸性与灌溉水质协同影响镉等重金属的迁移转化,进而加剧稻米安全风险^[14];北方干旱、半干旱区则因井水低温与土壤保水能力不足,导致籽粒充实度下降与垩白增加^[15]。全球气候变化背景下,极端温度事件频发、降水模式改变进一步加剧了品质形成的不确定性^[16],而优质稻米生产对环境适配性品种与精准栽培技术的需求愈发迫切^[17]。

基于上述研究现状,尤其在气候变化背景下,不同生态区(如南北气候带、酸碱土壤区)的多因子协同效应及其品质形成差异仍缺乏系统性数据支撑^[16–17]。本文系统梳理气候、土壤、水分因子及其交互作用对稻米品质的影响机制,解析不同生态区品质形成的关键限制因子,提出种植环境优化与农艺措施改良策略,以期构建生态适配的优质稻米生产技术体系提供理论支撑。

1 生态因子对稻米品质的影响

1.1 气候类生态因子

气候类生态因子包括温度、光照、湿度、风况等多个方面,它们在水稻生长的各阶段,尤其是灌浆结实期,对稻米品质的诸多方面如外观、蒸煮食味、营养品质等产生不同程度的影响^[2–3]。

收稿日期:2025–03–25;修回日期:2025–04–27。

基金项目:淮安市自然科学研究计划(HAB2024092);淮安市基础研究计划(联合专项)项目(HABL2023060);江苏省重点研发计划(BE2021323);江苏省种业振兴“揭榜挂帅”项目(JBCS[2021]042)。

作者简介:张志鹏(1994—),男,硕士,助理研究员,主要从事水稻育种研究。Email: 1774826986@qq.com。

*通信作者:朱明超(1973—),男,硕士,副研究员,主要从事农作物新品种选育和推广工作。Email: 574937902@qq.com。

温度是影响稻米品质的关键气候因素之一。在水稻灌浆结实期,若日均气温超过 30 ℃时,高温抑制淀粉的正常合成与积累过程,导致淀粉颗粒排列不规则,进而导致垩白现象加重。同时,高温还可能导致蛋白质含量异常升高,对稻米的食味品质产生口感变差等负面影响。而灌浆期低温(< 18 ℃)显著抑制水稻光合作用及碳代谢过程,干物质积累减缓,造成垩白增加,并可能导致籽粒充实度下降,影响整精米率,最终使稻米的整体品质降低^[5,7]。

光照强度和时长也是影响稻米品质的重要因素。光照充足可使水稻光合作用更高效,为稻米各类物质的合成提供充足能量与物质基础。在灌浆结实期,光照强且日照时间适宜有利于稻米积累更多的干物质,从而提高整精米率,降低垩白率和垩白度,使稻米外观品质更佳。同时,充足的光照还能使蛋白质、氨基酸等营养物质的含量处于一个较为合理的水平,进而提升稻米的营养品质^[7]。若光照不足,如长时间的阴雨天气,使得水稻光合作用受限,淀粉等物质合成不足,造成稻米籽粒不够饱满,外观不够晶莹剔透,同时蒸煮食味品质也会下降,如胶稠度变差、米饭口感变得生硬^[10]。

湿度主要通过影响水稻的蒸腾作用及病虫害发生情况等来间接影响稻米品质。在湿度适宜的环境下,水稻的生理活动能够有序进行,水分吸收和养分运输顺畅,有助于良好品质的形成。但如果湿度过高,一方面会更容易滋生病虫害,如稻瘟病、纹枯病等病害的发生概率增加,这些病虫害会侵蚀水稻植株,影响水稻的正常生长和灌浆过程,导致稻米品质下降,病斑粒率、碎米率分别增加 10%、15%;另一方面,过高的湿度导致水稻植株处于一种相对“水涝”的状态,根系呼吸受阻,影响养分吸收,进而影响稻米中营养成分的积累和外观品质。相反,湿度过低会造成水稻缺水,生长受抑制,籽粒发育不良,同样会降低稻米的整精米率等品质指标^[15-16]。

微风(风速 1~3 m/s)可提升田间 CO₂ 浓度 10%~15%,促进光合效率提升,同时降低冠层湿度 8%~12%,抑制病害滋生^[17]。微风能够促进田间空气流通,调节田间湿度和温度,利于水稻进行光合作用和呼吸作用等生理活动,帮助水稻健康生长,为优质稻米的形成创造良好条件。例如在灌浆期,良好的通风可以使田间温湿度更均匀,减少因局部温湿度过高或过低带来的不良影响。然而,强风尤其是在水稻生长后期遭遇大风天气,则容易造成水

稻倒伏,进而严重影响水稻的光合作用和养分运输,使籽粒不能正常灌浆充实,导致稻米的饱满度下降,垩白度增加,整精米率大幅降低,对稻米的外观、加工以及蒸煮食味等品质方面均产生极为不利的影响。

1.2 土壤类生态因子

土壤作为水稻生长的基础条件,其包含的众多生态因子对稻米品质具有关键影响,这些因子涵盖土壤质地、养分含量(如氮、磷、钾等元素含量)、pH 值、耕层厚度等方面。

在土壤质地与耕层结构层面,耕层深厚、具有良好通气性与保水保肥能力的土壤环境,是水稻实现高产优质的重要基础。以砂壤土为例,其黏粒含量(质量分数,下同)20%~40%,既具备适宜的孔隙度以保障根系氧气供应,又能通过胶体吸附作用维持养分有效性,为水稻根系发育及籽粒灌浆提供稳定的微环境,进而促进稻米外观品质(如低垩白率)与加工品质(如高整精米率)的协同提升^[12-13]。相较之下,耕层浅薄(< 15 cm)、结构紧实或黏粒含量过高(> 40%)的土壤,易导致水稻根系扩展受限与缺氧胁迫,加剧养分流失风险;而砂质含量过高(> 60%)的土壤则因保水保肥能力不足,造成水稻生长中后期脱肥早衰,最终导致稻米垩白度升高、蛋白质含量异常及整精米率下降^[12,18]。此类土壤理化性状的缺陷,通过干扰植株碳氮代谢与干物质积累过程,对稻米品质形成产生显著负向效应^[4]。

土壤养分含量与肥力水平对稻米品质形成具有决定性影响。水稻 80%~90%的矿质营养依赖土壤供给,其养分丰缺及均衡状况通过调控植株生理代谢与物质合成路径直接影响稻米的加工、外观及营养品质^[12]。研究表明,土壤有机质含量(质量分数)≥20 g/kg 且氮、磷、钾养分平衡(N、P₂O₅、K₂O 质量比 1:0.5:1)的田块,水稻产量可提升 10%~15%,同时垩白度降低 12%~18%,蛋白质与氨基酸组分更趋优化^[12,22]。氮素作为影响稻米蛋白质含量的关键因子,通过调控谷氨酰胺合成酶活性参与氮素同化,适度氮素供应(150~200 kg/hm² 纯氮)可使蛋白质含量维持在 8%~10%的适食区间,过高则导致食味品质下降^[22-23]。磷素通过促进光合产物转运与淀粉合成酶活性,影响籽粒充实度与整精米率;钾素则通过调节气孔导度与细胞渗透压,改善稻米蒸煮特性(如胶稠度、糊化温度)^[24]。此外,钙、镁等中量元素及铁、锌等微量元素的协同作用,对稻米矿物

质营养强化及外观透明度提升具有正向效应^[12,25]。此类养分效应的发挥依赖于土壤养分的有效性与供给模式,当土壤出现氮素过剩($> 250 \text{ kg/hm}^2$)或磷钾亏缺($< 50 \text{ kg/hm}^2$)时,易导致碳氮代谢失衡,加剧茭白形成并降低食味值^[22,24]。因此,土壤养分的精准调控是协调水稻产量与品质的核心农艺措施。

土壤 pH 值是稻米品质形成的关键调控因子,适宜范围为 5.5 ~ 6.5。在此区间内,根系对氮、磷、钾的吸收效率提升 25% ~ 30%^[12]。当土壤 $\text{pH} \leq 5$ 时,酸性胁迫通过双重机制显著影响水稻产量与品质:其一,抑制根系生理功能与物质代谢,过量活性铝离子(Al^{3+})破坏根系细胞原生质膜,导致根系表面积减少 35% ~ 45%,硝酸还原酶活性下降 28% ~ 35%,进而抑制氮素吸收与光合作用,使水稻分蘖数减少 18% ~ 22%、穗粒数降低 12% ~ 16%,最终造成 25% ~ 30% 的产量损失^[9,18]。其二,提升重金属生物有效性,酸性条件下镉(Cd^{2+})、铅(Pb^{2+})等重金属的交换态比例增加 2 ~ 3 倍,显著促进其向稻米籽粒迁移。例如,在 $\text{pH} \leq 5$ 的南方红壤稻田中,稻米镉含量可达 0.35 ~ 0.50 mg/kg,超出食品安全国家标准(GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》)限值(0.2 mg/kg)的 1.75 ~ 2.50 倍,同时伴随茭白度升高 15% ~ 20%、蛋白质空间结构改变等品质劣变现象^[10,19]。此类胁迫效应的强度与土壤酸化程度呈显著正相关,当 pH 值从 6.0 降至 4.5 时,稻米重金属超标风险指数(HRI)从 1.2 升至 3.8,严重威胁食用安全性^[12,19]。

耕层厚度方面,较厚的耕层能为水稻根系提供更广阔的生长空间,利于根系更好地吸收水分和养分,有助于稻米在生长过程中积累更多的干物质,进而提升稻米品质;耕层浅薄($< 15 \text{ cm}$)显著制约根系三维扩展及养分高效吸收,不利于稻米品质的提高^[13]。耕层 $\geq 20 \text{ cm}$ 时,水稻深层根系($> 20 \text{ cm}$)占比达 45%,较耕层 $< 15 \text{ cm}$ 处理高 28%,显著提升养分吸收效率^[13]。除气候因子外,土壤与水分环境通过根系微生物与物质代谢路径,对稻米品质形成起基础支撑作用。

1.3 水分相关生态因子

水分相关生态因子主要涵盖灌溉用水的水源、水质以及稻田水层管理等方面,它们对稻米品质有着不容忽视的影响。

在水源方面,常见的灌溉水源包括地表水(如江、河、湖等地表水)、井水等。不同水源对稻米品质

影响各异,如地表水(江河湖泊水)灌溉,其水温适宜($20 \sim 24^\circ\text{C}$)且矿物质丰富,通常显著提升梗稻加工品质与食味特性。这是因为江、河、湖等地表水通常温度相对较高,更接近水稻生长的适宜水温条件,有助于水稻生长过程中的生理活动;同时,这类地表水所含的矿物质元素含量也较为丰富,像钾、钙、镁等元素可以为水稻的生长提供必要的养分,利于稻米中各类物质的合成与积累,进而提升稻米品质^[14]。而井水水温一般较低,在灌溉时若不采取增温措施,容易使水稻受到低温影响,抑制其生理活动,如光合作用、养分吸收等,最终对稻米品质产生不利影响^[14]。

水质也是影响稻米品质的关键因素之一,其主要体现在含盐量或矿物质元素含量等方面。适宜的矿物质元素含量对稻米品质有积极作用,例如适量的铁、锰等微量元素可以促进水稻体内一些酶的活性,参与稻米中淀粉、蛋白质等物质的合成过程,有助于改善稻米的营养品质和外观品质。但如果某些矿物质元素含量超标,同样会对水稻产生毒害作用,损害稻米品质。例如,灌溉水中铁(Fe^{2+})质量浓度 $\geq 5 \text{ mg/L}$ 或锰(Mn^{2+})质量浓度 $\geq 3 \text{ mg/L}$ 时,易导致稻米重金属富集^[14]。

稻田水层管理情况在水稻不同生育期发挥着重要作用。在幼穗分化期、抽穗期和灌浆期,浅水灌溉较为适宜,该措施能保证水稻根系有良好的通气条件,利于根系吸收养分以及植株的光合作用等生理活动顺利进行,为稻米品质的形成奠定基础。到了灌浆成熟期,做到干湿适宜很关键,灌浆期干湿交替灌溉(土壤水势 $-20 \sim -30 \text{ kPa}$)可显著提高光合产物向籽粒转运的效率,使籽粒更好地灌浆充实,提高整精米率;而在黄熟期,排水晒田则有利于促进水稻成熟,使稻米的含水量等指标达到适宜水平,提升稻米品质。收割时,田间应保持无水状态,避免因水分过多造成稻米发霉、变质等情况,确保收获的稻米品质优良^[15-16]。

2 不同生态因子间的交互作用对稻米品质的影响

2.1 气候与土壤因子交互作用

在农田生态系统中,气候因子与土壤因子往往存在交互作用,共同调控稻米品质的形成过程。如典型温带季风气候区具有夏季高温多雨、冬季寒冷干燥的水热特征,在此类气候背景下,不同土壤类

型条件下的稻米品质表现出明显分异。

以2种常见土壤类型黑土和潮土为例,黑土通常具有深厚的耕层、丰富的有机质以及良好的保水保肥能力,土壤酸碱度呈中性至微酸性,适宜水稻生长。温带季风气候区夏季高温多雨,黑土凭借深厚耕层(> 20 cm)与强保水能力(田间持水量> 35%),确保水稻在雨季获得稳定水分供应,避免阶段性干旱或涝渍胁迫^[13,18];同时,其丰富的有机质和适宜的酸碱度,有利于土壤微生物的活动,促进养分的分解与释放,为水稻生长提供充足且平衡的营养供应。在这样的土壤与气候配合下,水稻生长健壮,光合作用充分,积累的干物质丰富,产出的稻米往往具有较高的整精米率,垩白率与垩白度较低,外观品质优良,蒸煮食味品质也较好,米饭食味品质优良(胶稠度 ≥ 70 mm、硬度1.5~2.0 N)^[17]。

而潮土虽然通气性较好,但保水保肥能力相对较弱,在同样的高温多雨季节里,容易出现养分随雨水流失的情况。如遇到连续的强降雨,土壤积水后影响水稻根系的呼吸作用,进而抑制根系对养分的吸收,导致水稻生长发育受阻。即便在气候条件提供了充足的热量和光照等情况下,由于土壤肥力保持方面的不足,水稻积累的干物质有限,最终产出的稻米可能整精米率较低,垩白现象相对严重,蒸煮后米饭的口感和风味也欠佳^[17-18]。

再比如在亚热带地区,土壤酸碱度可能偏酸性,当遇到高温且湿度较大的气候条件时,酸性土壤中的某些养分有效性会发生变化,如铁、铝等元素的活性可能增强,过量时甚至会对水稻产生毒害作用,影响水稻的正常生理代谢,导致稻米品质下降。但如果土壤经过合理改良,调节了酸碱度,即便在高温高湿的气候环境下,也能在一定程度上减轻这些不利影响,保障稻米品质^[19]。

由此可见,气候与土壤因子的交互作用对稻米品质有着复杂且重要的影响,在水稻种植过程中,需要综合考虑两者的特点,采取相应的管理措施优化稻米品质。

2.2 气候与水分因子交互作用

在农田系统中,气候与水分因子之间存在着紧密的交互作用,它们相互配合、相互影响,共同对稻米品质产生综合影响。以我国南方湿润地区为例,降水充沛、空气湿度较大是该地区常见的气候特点,在此气候背景下,不同的灌溉方式与水层管理策略结合当地降雨情况,会使稻米品质呈现出不同

的变化情况。

在湿润地区的水稻生长季节,如果采用长期深水灌溉的方式,即便当地降水不足,也可能会带来一些负面效果。过多的水分导致田间始终处于水层较深的状态,一方面会抑制水稻根系的呼吸作用,因为根系长时间浸泡在水中,无法获取充足的氧气进行有氧呼吸,进而影响根系对养分的吸收和运输,导致水稻生长过程中营养物质供应不足,使得稻米在形成过程中干物质积累受限,最终影响整精米率等品质指标,产出的稻米可能籽粒不够饱满,垩白现象也相对严重。另一方面,深水环境容易滋生各类病虫害,像纹枯病等在这种高湿度的条件下发病概率会显著增加,病虫害侵蚀水稻植株,干扰水稻正常的生长和灌浆过程,致使稻米出现病斑粒、碎米等问题,严重降低稻米的外观品质以及加工品质^[14-16]。

在北方干旱、半干旱稻作区,降水匮乏导致灌溉水源类型与水分调控策略成为品质形成的关键限制因子^[20]。以井水为主要灌溉水源时,若未采取水温提升措施,其低温特性(通常较地表水温低3~5℃)易对水稻产生冷害胁迫,尤其在拔节期至灌浆期遭遇低温时段(日均温 ≤ 18 ℃),低温灌溉会显著抑制光合作用(光合速率下降15%~20%)与根系ATPase活性(降低25%~30%),导致氮、磷吸收效率分别下降20%和18%^[14,20]。这种生理抑制进而引发干物质积累速率降低(较适温处理减少12%~15%),导致籽粒充实度不足(千粒质量下降5%~8%)、垩白面积扩大(垩白度升高10%~15%),同时蛋白质与直链淀粉比例失衡,蒸煮食味品质(RVA谱特征值)显著劣变^[14,18]。相较之下,通过引入地表水(如水库水、河流径流)进行混灌,或采用管道预热、晒水池增温等措施(使灌溉水温提升至20~24℃),并结合生育期精准水分调控(分蘖期湿润灌溉、灌浆期干湿交替),可有效缓解低温胁迫。研究表明,适温水灌溉使水稻根系活力提升30%~40%,光合产物向籽粒转运的效率提高25%,最终实现整精米率提升8%~10%、垩白度降低12%~18%,且胶稠度、糊化温度等食味指标更趋优质区间^[14,20]。该调控效应在 ≥ 10 ℃积温2 800~3 200℃·d的区域尤为显著,显示出灌溉水源优化与水层管理在干旱区稻米品质改良中的关键作用^[20]。

2.3 土壤与水分因子交互作用

土壤和水分作为水稻生长过程中的2个关键

生态因子,它们之间相互作用,共同对稻米品质产生不可忽视的影响^[21]。

一方面,土壤的保水保肥能力、排水条件等特性会影响水分在土壤中的留存、渗透以及与水稻根系的接触情况。例如,具有良好保水保肥能力的土壤,如壤土或黏土成分较多的土壤类型,在灌溉后能够较长时间地保持适宜的水分含量,为水稻生长持续提供稳定的水分供应,利于水稻根系充分吸收水分及溶解在其中的养分,进而保障稻米在形成过程中各类物质的合成与积累,使稻米的营养品质、外观品质等都能维持在较高水平。相反,如果土壤的保水能力差,如砂质土壤,水分容易快速下渗流失,即便进行充足灌溉,也可能出现水稻生长过程中阶段性缺水的情况,影响水稻的正常生理活动,导致干物质积累受限,最终影响稻米的饱满度、整精米率等品质指标,产出的稻米可能品质下降^[21-22]。

另一方面,灌溉水源、水质以及稻田水层管理等水分因子也会反作用于土壤环境,进而影响稻米品质。不同的灌溉水源,其水温、所含矿物质元素等各不相同。例如,采用河水灌溉时,河水通常水温适宜,且富含多种对水稻生长有益的矿物质元素,在灌溉过程中,不仅能为水稻提供良好的水分条件,还能补充土壤中的养分,优化土壤的肥力状况,促进土壤微生物的活动,使土壤中养分的分解与转化更加顺畅,有利于水稻吸收利用,最终提升稻米品质。而井水灌溉时,若水温过低且未采取增温措施,不仅会使水稻受到低温刺激,抑制其生长,同时也可能改变土壤的温度环境,影响土壤中微生物的活性以及养分的有效性,间接对稻米品质产生负面影响^[23]。

由此可见,土壤与水分因子的交互作用对稻米品质有着多方面、深层次的影响,在水稻种植实践中,需要综合考虑二者的特点及相互关系,采取科学合理的土壤改良和水分管理措施,以实现稻米品质的优化提升。

3 基于生态因子影响的稻米品质改良策略探讨

3.1 种植环境选择与调控策略

在水稻种植区域的生态适配性选择中,需系统地评估地域气候、海拔梯度^[8]及微环境条件对品质的综合影响^[13,21]。温带稻区(如东北平原, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $2\,500\sim 3\,200^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)昼夜温差达 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$,利于光合产物积累与淀粉有序排列,使垩白度降低 $15\%\sim 20\%$ 、整精米率提升 $8\%\sim 12\%$ ^[14];亚热带稻区(如长

江流域)水热资源丰富,但灌浆期高温高湿(日均气温 $\geq 28^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $> 85\%$)易致病虫害(病斑粒率 $10\%\sim 18\%$)和垩白面积扩大($20\%\sim 25\%$)^[10,21]。海拔通过温光垂直变化塑造品质:高海拔($> 800\text{ m}$)日均气温 $18\sim 22^{\circ}\text{C}$ 、温差 $> 12^{\circ}\text{C}$,灌浆期延长 $15\sim 20\text{ d}$,形成垩白度 $< 5\%$ 、胶稠度 $> 70\text{ mm}$ 的优质特性^[8];低海拔($< 200\text{ m}$)夏季高温($\geq 30^{\circ}\text{C}$ 超 10 d)导致垩白度升至 $15\%\sim 20\%$ 、整精米率降 $10\%\sim 15\%$ ^[21]。气候因子调控是品质核心:灌浆期最适温度 $22\sim 26^{\circ}\text{C}$,持续高温($> 30^{\circ}\text{C}$)或低温($< 18^{\circ}\text{C}$)分别导致垩白率提升 $30\%\sim 40\%$ 、干物质积累下降 $20\%\sim 25\%$ ^[5];光照需 $\geq 6\text{ h/d}$ 以保障加工与营养品质,遮光 $< 4\text{ h/d}$ 可致整精米率下降 12% ^[10];湿度 $65\%\sim 75\%$ 时病虫害发生率降低 $20\%\sim 30\%$,降低籽粒空壳率^[8]。上述因子协同适配性为产区规划提供科学依据。

3.2 农艺措施优化策略

在施肥方面,其种类、施用量以及施肥时间等对稻米品质影响显著。不同种类的肥料可为水稻生长提供不同的养分^[24],例如氮肥可影响稻米的蛋白质含量,合理控制氮肥施用量有助于形成适宜蛋白质含量的优质稻米;磷肥、钾肥等元素在水稻的生理活动以及物质合成等过程中发挥着不可或缺的作用,进而影响稻米的外观、蒸煮食味等品质表现。施肥量需依据不同地力水平和气候条件合理安排,地力肥沃、气候适宜的区域可适当减少施肥量,避免养分过剩造成徒长等问题影响稻米品质;而在地力较差的地区,则应适当增加施肥量,但也要防止施肥过量对土壤及稻米品质带来的负面影响。施肥时间的选择同样关键,如幼穗分化期、抽穗期等关键生育期,合理追施肥料能保障水稻生长过程中有充足的养分供应,利于稻米品质的形成;施肥时间不当,如在后期过量施用氮肥,易导致稻米蛋白质含量异常升高,影响食味品质^[24-25]。

收获时期与方法对稻米品质有着直接影响^[26]。水稻齐穗后,籽粒灌浆需经过乳熟期、蜡熟期、完熟期和枯熟期,一般在黄熟期谷壳变黄,米粒水分减少,干物质量达定值,籽粒变硬,不易破碎,此时是收获的最佳时期。过早收获,籽粒尚未充分成熟,会造成稻米的千粒质量、整精米率等指标偏低,营养成分积累不足;而过晚收获,可能因天气变化、病虫害等因素导致稻米发霉、变质,或出现自然落粒等问题,影响产量和品质。收获方法上,应尽量采用机械化收割等较为规范的方式,减少机械损伤,保证收获的稻米颗粒完整^[27]。

4 总结与展望

本文系统揭示了气候、土壤、水分 3 类生态因子对稻米品质的多维度影响机制：灌浆结实期，温度通过调控淀粉合成酶活性影响垩白形成与蛋白质代谢（日均气温 $>30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，垩白度升高 25% ~ 30%），光照通过光合作用效率调控物质积累进而影响加工品质（光照 $\geq 6\text{ h/d}$ 时，整精米率提升 10% ~ 15%），湿度与风况通过田间微环境影响病虫害发生与物质转运等生理功能；土壤质地（砂壤土最优）、养分平衡（N、P₂O₅、K₂O 质量比 1 : 0.5 : 1）及 pH 值（5.5 ~ 6.5）通过根系发育与矿质元素吸收奠定品质基础，其中酸性土壤（pH ≤ 5.0 ）显著提升重金属生物有效性（如镉含量超标 1.75 ~ 2.50 倍），威胁食用安全；地表水灌溉因水温与矿物质优势（较井水增温 3 ~ 5 $^{\circ}\text{C}$ ）优于地下水，全生育期水层管理（如灌浆期干湿交替）是品质形成的关键调控措施，可提高整精米率 8% ~ 12%。生态因子交互作用呈现显著区域性差异，如南方高温高湿区土壤酸性与灌溉水质协同加剧重金属迁移风险，北方干旱区井水低温与土壤保水不足导致垩白增加。气候与土壤、气候与水分、土壤与水分的互作效应共同塑造了不同生态区的稻米品质特征。

面对全球气候变化加剧与消费需求升级的双重挑战，未来研究需聚焦复杂环境下多因子互作的品质维持机制，解析极端气候事件、土壤退化及水质变化等多重胁迫对稻米品质形成的生理生化与分子调控路径具有重要意义，构建多因子动态模拟模型以指导环境适应性栽培技术研发。同时，应强化基于生态因子响应的良种定向选育，结合不同区域气候、土壤与水分条件，利用基于全基因组关联分析（GWAS）的品质性状定位与 CRISPR/Cas9 基因编辑精准定位品质相关关键基因，培育具有温光钝感、养分高效利用及重金属低积累特性的生态适配品种，推动“环境 - 品种 - 管理”协同优化，为水稻产业提质增效提供理论与技术支撑。

参考文献

[1] 谷 月,李新宇,包劲松. 稻米陈化过程中品质及淀粉精细结构变化研究进展[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2024,50(3):317-328.
[2] 全国明,章家恩,许荣宝,等. 环境生态因子对稻米品质的影响研究进展[J]. 中国农学通报,2006,22(2):158-162.

[3] 王云霞,杨连新. 水稻品质对主要气候变化因子的响应[J]. 农业环境科学学报,2020,39(4):822-833.
[4] 彭春瑞,王书华,涂田华,等. 优质稻优质丰产协同栽培技术策略[J]. 江西农业学报,2020,32(1):1-6.
[5] 张桂莲,廖 斌,汤 平,等. 灌浆结实期高温对水稻剑叶生理特性和稻米品质的影响[J]. 中国农业气象,2014,35(6):650-655.
[6] 夏建国,邓良基,谭 宏,等. 影响稻米品质的主要土壤生态因子研究[J]. 四川农业大学学报,2000,18(4):343-347.
[7] 张国发,王绍华,尤 娟,等. 结实期不同时段高温对稻米品质的影响[J]. 作物学报,2006,32(2):283-287.
[8] 张文香,王成媛,王伯伦,等. 寒冷地区温度、光照对水稻产量及品质的影响[J]. 吉林农业科学,2006,31(1):16-20.
[9] 易亚科,周志波,陈光辉. 土壤酸碱度对水稻生长及稻米镉含量的影响[J]. 农业环境科学学报,2017,36(3):428-436.
[10] 闫萌萌,闫 平,吕守义,等. 遮光对水稻生长发育及稻米品质的影响[J]. 农学学报,2019,9(4):22-25.
[11] 曲红岩. 不同灌溉条件下水稻产量和稻米品质·食味的变化研究[D]. 天津:天津农学院,2016:4-5.
[12] 邢素林,马凡凡,吴蔚君,等. 水分管理对水稻产量、品质及氮磷流失的影响研究综述[J]. 中国稻米,2018,24(3):16-20.
[13] 王昌华,张燕之,郑文静,等. 北方旱作水稻研究现状及发展前景[J]. 北方水稻,2007,37(6):13-18.
[14] 张洪程,胡雅杰,杨建昌,等. 中国特色水稻栽培学发展与展望[J]. 中国农业科学,2021,54(7):1301-1321.
[15] 张 蕾,王 颖. 环境相对湿度对大米品质的影响研究[J]. 包装世界,2006(6):38-42.
[16] 周立宏. 稻田微气候及其对水稻产量和品质的影响[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2016:16-17.
[17] 卢碧林. 不同环境条件对稻米品质形成的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2002:21.
[18] 刘柏林,邢茂娟. 不同水层深度对水稻产量的影响[J]. 黑龙江水利科技,2004,32(2):176.
[19] YANG Y,CHEN J,HUANG Q,et al. Can liming reduce cadmium (Cd) accumulation in rice (*Oryza sativa*) in slightly acidic soils A contradictory dynamic equilibrium between Cd uptake capacity of roots and Cd immobilisation in soils [J]. Chemosphere,2017,193:547-556.
[20] 陈梦云. 不同土壤类型下灌溉方式对水稻产量形成、根系形态和品质的影响[D]. 扬州:扬州大学,2017:10.
[21] 王云霞,杨连新. 水稻品质对主要气候变化因子的响应[J]. 农业环境科学学报,2020,39(4):822-833.
[22] 李国生,王志琴,袁莉民,等. 结实期土壤水分和氮素营养对水稻产量与品质的交互影响[J]. 中国水稻科学,2008,22(2):161-166.
[23] 高 捷,李思宇,成大宇,等. 缓控释肥对水稻产量与品质影响的研究进展[J]. 作物杂志,2022,38(3):20-26.

(下转第 16 页)

李 凡,郭新亚,陈 春,等. 粒型调控基因 *GL7*、*GS3*、*gw5*、*LGY3*、*tgw6* 在粳、籼稻品种资源中的分布及效应分析[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(3):7-16(2025-06-23). <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.03.002>.

粒型调控基因 *GL7*、*GS3*、*gw5*、*LGY3*、*tgw6* 在粳、籼稻品种资源中的分布及效应分析

李 凡,郭新亚,陈 春,王飞飞,陈卫军*

(江苏省农业科学院宿迁农科所,江苏 宿迁 223800)

摘要:粒型是影响水稻产量及稻米品质的关键因素之一。为明确不同粒型调控基因在粳稻和籼稻品种中的分布情况及其对粒型的调控效应,对 90 个粳稻品种及 50 个籼稻品种的 *GL7*、*GS3*、*GW5*、*lgy3*、*TGW6* 共 5 个粒型调控基因进行分子标记检测,并对携带不同基因型的水稻粒长、粒宽等进行测量及分析。结果表明, *GL7* 长粒基因型在粳稻中存在比例为 4.4%,在籼稻中存在比例为 18.0%; *GL7* 长粒基因型对粳稻和籼稻的粒长和长宽比均有显著提升作用,但同时粒宽有缩短作用; *GS3* 长粒基因型在粳稻中存在比例为 2.2%,而在籼稻中存在比例为 94.0%, *GS3* 长粒基因型对籼稻的粒型有增长效果,但差异无统计学意义; *GW5* 宽粒基因型在粳稻中存在比例为 87.8%,而在籼稻参试品种中未检测到(检测到 *gw5* 为 100%), *GW5* 宽粒基因型对粳稻粒宽有显著提升作用,但同时对其粒长和长宽比有显著缩短作用; *lgy3* 长粒基因型在参试粳稻品种和籼稻品种中均未检测到(均检测到 *LGY3* 为 100%); *TGW6* 长粒基因型在参试籼稻品种中存在比例为 4.0%,在参试粳稻品种中未检测到(检测到 *lgw6* 为 100%)。

关键词:粒型调控基因; 籼稻; 粳稻; 分布; 调控效应

中图分类号: S511

文献标志码: A

文章编号: 1673-6486-20250026

水稻 (*Oryza sativa* L.) 是世界上重要的粮食作物之一,是全球超过 50% 人口的主要食物来源^[1]。粒型直接影响水稻单株产量、外观品质及加工特性,是水稻重要的农艺性状^[2]。籼稻与粳稻是亚洲栽培稻的两大亚种,其粒型存在明显差异。籼稻的粒型主要表现为长粒和窄粒的细长型,而粳稻的粒型主要表现为短粒和宽粒的短圆型。这种差异的形成宏观上取决于长期的自然选择和人为选育,微观上则与粒型关键调控基因的分化差异有关^[3]。

水稻粒型相关性状多为数量遗传性状,受到多类基因的共同调控^[4]。近年来,随着分子生物学与基因组学等技术的快速发展,科学家已成功克隆并解析了多个调控水稻粒型的基因^[5],包括 *GL7*^[6]、*GS3*^[7-8]、*GW5*^[9]、*lgy3*^[10-11]、*TGW6*^[12] 等。 *GL7* 是控制水稻粒长的半显性基因,位于水稻第 7 号染色体,负责调控水稻细胞的纵向延伸。 *GL7* 长粒基因型中突变插入一

段 17.1 kb 的串联重复片段,这种变异增加了 *GL7* 功能区域在基因组中的拷贝数量和表达量,从而进一步促进水稻细胞的纵向伸长,实现水稻粒长的提升^[6]。 *GS3* 是最早克隆到的调控水稻粒长的主效基因,位于水稻第 3 号染色体上,其编码蛋白对水稻粒长起到负调控作用。 *GS3* 长粒基因型第 2 个外显子编码区 +165 位点发生 C-A 碱基突变,导致其编码蛋白因提前终止翻译而缺失负调控功能,从而实现水稻籽粒变长^[7-8]。 *GW5* 是调控水稻粒宽的主效基因,位于水稻第 5 号染色体上。 *GW5* 长粒基因型编码序列上游 5 kb 区域存在 1 212 bp 的序列缺失突变,通过调控水稻颖壳细胞数目增多实现籽粒变宽^[9]。 *lgy3* 基因位于水稻第 3 号染色体,其编码的 OsMADS1 可作为转录因子参与水稻粒长调控。 *lgy3* 长粒基因型分别在第 8 内含子和第 9 外显子处存在 15 bp 的片段缺失和 13 bp 的片段插入突变,产生新的可变剪切蛋白,从而实现水稻粒长的增加^[10-11]。 *TGW6* 基因位于水稻第 6 号染色体,编码吡哆乙酸-葡萄糖水解酶,是调控水稻粒长的重要基因。 *TGW6* 长粒基因型较 *tgw6* 短粒基因型在 313 位点缺失 1 个碱基,导致翻译提前终止,吡哆乙酸-葡萄糖水解酶功能缺失,进而造成籽粒细胞数量增加、粒型增长^[12]。

收稿日期: 2025-03-09; 修回日期: 2025-06-20。

基金项目: 宿迁市科技计划(K202216)。

作者简介: 李 凡(1992—),男,博士,助理研究员,主要从事水稻分子育种研究。Email: Lifan92102@163.com。

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

尽管 *GL7*、*GS3*、*GW5* 等基因的功能已逐步明确,但对其在不同亚种和地理来源的水稻种质资源中的等位基因型分布情况及对粒型的综合调控效应尚未进行系统评价。本研究以不同地理来源的粳、籼稻品种为材料,探明 *GL7*、*GS3*、*GW5*、*lgy3*、*TGW6* 等粒型调控基因的不同基因型在粳稻和籼稻中分布特征及其对粒型的调控效应,可为水稻优势粒型调控基因资源与种质资源高效利用提供理论依据,助力高产优质新品种的选育。

1 材料与方法

1.1 供试材料

从安徽、河南、辽宁、江苏、天津等地引进的粳稻品种资源 90 份,从广东、湖北、江西、广西、湖南等地引进的籼稻品种资源 50 份。

1.2 粒型调控基因检测

所有水稻材料 2024 年 6—10 月种植于江苏省农业科学院宿迁农科所三庄水稻基地 (118°40' E、

33°49' N),取幼嫩叶片利用 TPS 法 (Tris Buffered Potassium Saline)进行基因组 DNA 提取^[13]。参照前人报道^[5,14-16],分别设计能够扩增 *GL7*、*GS3*、*GW5*、*lgy3*、*TGW6* 粒型调控基因的特异性分子标记引物 (表 1),引物由南京擎科生物科技有限公司制备。

PCR 反应体系:PCR 酶 1.0 μ L,PCR Buffer (含 Mg^{2+} 、dNTP plus)25.0 μ L,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 Tks GflexTM DNA Polymerase。PCR 反应程序:94 $^{\circ}$ C 预变性 10 s,98 $^{\circ}$ C 变性 10 s,60 $^{\circ}$ C 退火 15 s,68 $^{\circ}$ C 延伸 1 min,35 个循环。4 $^{\circ}$ C 保存。

TGW6 扩增产物需进行 BssH II 酶切,反应体系:PCR 产物 10.0 μ L,BssH II 内切酶 1.0 μ L,10 $\times$ Buffer 2.0 μ L,ddH₂O 7.0 μ L。50 $^{\circ}$ C 水浴反应 1 h,加入 10 $\times$ Loading Buffer 2.0 μ L 终止反应。

电泳检测:取反应产物 5.0 μ L,加入 6 $\times$ Loading Buffer 1.0 μ L,混匀后点入 1%琼脂糖凝胶孔,电压 120 V 电泳 40 min,使用凝胶成像系统进行电泳条带检测。

表 1 水稻粒型调控基因相关分子标记

基因名称	标记引物	引物序列(5'→3')	靶标片段形态	差异位点描述
<i>GL7</i>	<i>GL7</i> -F	TGACACGCCACAGTCCAAGACGAGCAGT	1 421 bp/-	17.1 kb 基因组拷贝数变异
	<i>GL7</i> -R	AAGGGAGTTGAGAGTAGAAAAAA		
<i>GS3</i>	M- <i>GS3</i> -In	GCAGGCTGGCTTACTTCTT	720 bp+308 bp/720 bp	第 2 外显子上 +165 位置 C→A 单碱基替换
	M- <i>GS3</i> -F	ATTGGCTTGATTTCCTGTGC		
	M- <i>GS3</i> -R	TTGCTCTTACGGGAGGACAC		
<i>GW5</i>	<i>GW5</i> -In3F	TCCATGCAGTACTTGGTTTCC	2 150 bp/938 bp	1 212 bp 缺失
	<i>GW5</i> -In3R	AGATCTGAGCGGTAACCTTCTC		
<i>lgy3</i>	<i>lgy3</i> -F	CCTGACAATAATTCGCCCAATA	392 bp/-	第 8 外显子、第 9 内含子 间插入、缺失
	<i>lgy3</i> -R	CGTAAGAGAGCACGCACGTA		
<i>TGW6</i>	<i>TGW6</i> -F	CCACAGCCACAACGAGAAT	590 bp/327 bp +217 bp	第 1 外显子 +313 位置 G 碱基缺失
	<i>TGW6</i> -R	ACCGTTCCGGTAGGTTATGT		

1.3 粒型检测及数据分析

待上述水稻品种资源完全成熟后收取主穗谷粒。随机挑选籽粒灌浆饱满的谷粒 50 颗,使用水稻粒型扫描仪(Nikon)测量粒长和粒宽,并以“长宽比=粒长/粒宽”公式计算长宽比,每个品种分别独立取样测量 3 次。使用 SPSS 26.0 分析软件对不同基因型粒型数据进行独立 *t* 检验分析($P \leq 0.05$ 视为差异具统计学意义)。

2 结果与分析

2.1 *GL7* 基因型分析

通过 *GL7* 分子标记引物进行 PCR 扩增,*GL7* 长粒基因型含有 17.1 kb 的串联重复片段,可扩增得到 1.4 kb 的产物,*gl7* 短粒基因型则无法扩增出任何条带,从而实现不同基因型的区分,代表性电泳结果见图 1。

表 2 90 个粳稻品种粒型及基因型检测

序号	品种名称	粒型调控基因					粒型		
		GL7	GS3	GW5	lgy3	TGW6	粒长 / mm	粒宽 / mm	长宽比
1	华端稻 1 号	-	-	+	-	-	7.3	3.2	2.3
2	迁香软 1 号	+	-	+	-	-	7.8	3.1	2.5
3	日本晴	-	-	+	-	-	7.3	3.0	2.4
4	绥梗 18	-	-	+	-	-	6.8	3.1	2.2
5	空育 131	-	-	-	-	-	7.1	2.9	2.7
6	长白 9 号	-	-	+	-	-	6.3	2.4	2.8
7	泗稻 17 号	-	-	+	-	-	7.5	3.4	2.2
8	辽星 1 号	-	-	-	-	-	7.5	2.9	2.6
9	吉梗 88	-	-	+	-	-	7.2	3.1	2.3
10	泗稻 22	-	-	+	-	-	7.4	3.3	2.3
11	迁梗 25	-	-	-	-	-	7.9	2.9	2.8
12	圣稻 16	-	-	+	-	-	7.4	3.2	2.3
13	圣稻 13	-	-	+	-	-	7.2	3.2	2.3
14	郑早 2 号	-	-	+	-	-	6.8	3.4	2.0
15	郑早 6 号	-	-	+	-	-	7.1	3.2	2.2
16	郑稻 1 号	-	-	+	-	-	7.1	3.3	2.2
17	台湾 50	-	-	+	-	-	7.2	3.1	2.3
18	豫梗 6 号	-	-	+	-	-	7.4	3.3	2.3
19	宁梗 4 号	-	-	+	-	-	7.2	3.1	2.3
20	中稻 1 号	-	-	+	-	-	6.9	3.3	2.1
21	农垦 58	-	-	+	-	-	7.3	3.5	2.1
22	徐稻 10 号	+	-	+	-	-	8.6	3.2	2.7
23	中科盐 1 号	-	-	+	-	-	7.4	3.4	2.2
46	华梗 8 号	-	-	+	-	-	7.4	3.2	2.3
47	盐梗 15 号	-	-	+	-	-	7.3	3.4	2.1
48	淮 119	-	-	+	-	-	7.5	3.3	2.3
49	盐稻 83006	-	-	-	-	-	7.3	3.2	2.3
50	淮稻 18	-	-	+	-	-	7.3	3.3	2.2
51	武运梗 11	-	-	+	-	-	7.1	3.3	2.2
52	盐稻 9 号	-	-	+	-	-	7.1	3.2	2.2
53	淮稻 9 号	-	-	+	-	-	7.4	3.1	2.4
54	扬辐梗 8 号	-	-	+	-	-	7.3	3.2	2.3
55	淮稻 10 号	-	-	+	-	-	6.4	3.3	1.9
56	盐梗 9 号	-	-	+	-	-	6.7	3.1	2.2
57	迁梗 26 号	-	-	+	-	-	7.6	3.2	2.3
58	皖稻 32	-	-	+	-	-	7.5	3.5	2.2
59	南梗 45	-	-	+	-	-	7.0	3.2	2.2
60	武陵梗 1 号	-	-	+	-	-	6.9	3.3	2.1
61	华梗 7 号	-	-	+	-	-	6.8	3.2	2.1
62	宁梗 5 号	-	-	+	-	-	7.3	3.0	2.4
63	皖垦梗 1514	-	-	+	-	-	7.2	3.2	2.2
64	扬育梗 2 号	-	-	+	-	-	7.2	3.2	2.2
65	南梗 9108	-	-	+	-	-	7.3	3.3	2.2
66	盐稻 12 号	-	-	+	-	-	7.1	3.1	2.3
67	扬梗 805	-	-	+	-	-	7.4	3.3	2.3
68	南梗 52	-	-	+	-	-	7.7	3.4	2.3

(续表)

序号		品种名称	粒型调控基因					粒型		粒型调控基因					粒型	
			GL7	GS3	GW5	lgy3	TGW6	粒长 / mm	粒宽 / mm	GL7	GS3	GW5	lgy3	TGW6	粒长 / mm	粒宽 / mm
24	新稻 18		-	-	+	-	-	7.2	3.3	-	-	+	-	-	7.2	3.2
25	徽梗 719		-	-	+	-	-	7.2	3.2	-	-	+	-	-	7.3	3.2
26	台湾 65		-	-	+	-	-	6.9	3.3	-	-	+	-	-	6.9	3.2
27	淮稻 13		-	-	+	-	-	7.6	3.2	-	-	+	-	-	7.7	3.5
28	皖皇梗 11036		-	-	-	-	-	8.0	3.1	-	-	+	-	-	6.7	3.2
29	皖皇糯 2 号		-	-	+	-	-	6.6	3.3	+	-	+	-	-	8.3	3.2
30	津原 85		-	-	+	-	-	7.2	3.3	-	-	+	-	-	7.0	3.3
31	镇稻 88		-	-	+	-	-	7.3	3.2	-	-	+	-	-	7.3	3.3
32	扬梗 687		-	-	+	-	-	7.3	3.4	-	-	+	-	-	6.7	3.1
33	华梗 2 号		-	-	+	-	-	7.4	3.1	-	-	+	-	-	7.1	2.8
34	盐稻 8 号		-	-	+	-	-	7.1	3.2	-	-	+	-	-	7.1	2.8
35	华梗 6 号		-	-	+	-	-	7.2	3.4	-	-	+	-	-	6.9	3.4
36	连梗 4 号		-	-	+	-	-	7.2	3.2	-	-	+	-	-	6.8	2.9
37	盐梗 11		-	-	-	-	-	7.4	3.2	-	-	+	-	-	7.1	3.5
38	连梗 15 号		-	-	+	-	-	6.6	3.3	-	-	+	-	-	7.3	3.5
39	南梗 5718		-	-	+	-	-	7.5	3.6	-	-	+	-	-	7.3	3.4
40	润扬优香梗		-	-	-	-	-	7.6	3.0	-	-	+	-	-	7.1	3.5
41	扬农梗 1030		+	-	-	-	-	8.6	2.7	-	+	-	-	-	7.6	2.9
42	扬香玉 1 号		-	-	+	-	-	7.2	3.4	-	-	-	-	-	7.4	3.2
43	镇稻 99		-	-	+	-	-	7.0	3.2	-	-	+	-	-	7.3	3.4
44	武运梗 27		-	-	-	-	-	7.3	3.2	-	-	+	-	-	7.5	3.3
45	盐丰 2 号		-	-	+	-	-	7.1	3.3	-	+	+	-	-	7.4	3.3

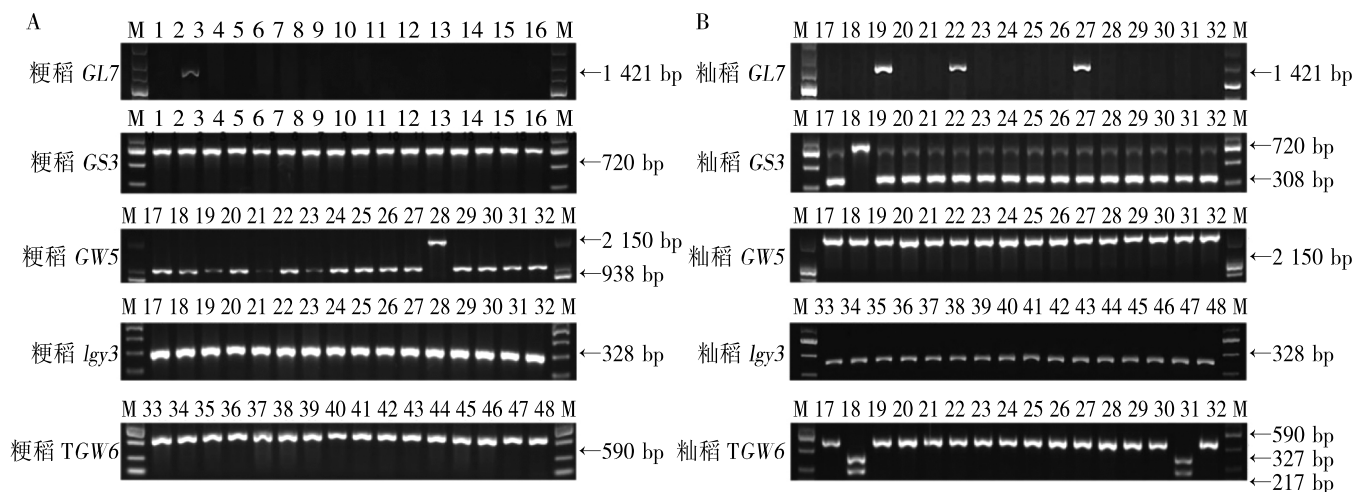
注：“+”表示对应水稻品种携带该基因型，“-”表示对应水稻品种未携带该基因型。表 3 同。

表 3 50 个籼稻品种粒型及基因型检测

序号	品种名称	粒型调控基因					粒型		品种名称	粒型调控基因					粒型	
		GL7	GS3	GW5	lgy3	TGW6	粒长 / mm	粒宽 / mm		GL7	GS3	GW5	lgy3	TGW6	粒长 / mm	粒宽 / mm
1	洁田 1 号	-	+	-	-	-	9.0	2.4	成恢 727	-	+	-	-	-	10.6	2.8
2	五山丝苗	-	+	-	-	-	8.8	2.3	R19 香	+	+	-	-	-	10.5	2.1
3	J1127	-	+	-	-	-	9.8	2.5	1607R	-	+	-	-	-	8.7	2.5
4	合赢丝苗	-	+	-	-	-	9.4	2.2	R 丝苗	-	+	-	-	-	8.8	2.5
5	香油占	+	+	-	-	-	10.3	2.1	R4245	-	+	-	-	-	9.7	2.8
6	鄂香丝苗	-	+	-	-	-	9.8	2.3	华占	-	+	-	-	+	8.7	2.1
7	鄂丰丝苗	-	+	-	-	-	9.2	2.1	R1212	-	+	-	-	-	9.0	2.4
8	茎晶丝苗	-	+	-	-	-	8.9	2.2	粤莉占	-	+	-	-	-	11.1	2.2
9	玉占	+	+	-	-	-	11.0	2.4	多系 1 号	-	-	-	-	-	8.6	2.5
10	R8612	-	+	-	-	-	9.5	2.5	金桂占	-	+	-	-	-	10.1	2.2
11	J153	-	+	-	-	-	8.7	2.3	粤农丝苗	+	+	-	-	-	8.4	2.3
12	早恢 3 号	-	+	-	-	-	9.6	2.7	粤油丝苗	-	+	-	-	-	9.0	2.3
13	晶 4155S	-	+	-	-	-	9.6	2.8	美香占 2 号	-	+	-	-	-	9.0	2.3
14	R1308	-	+	-	-	-	9.6	2.6	和美丝苗	-	+	-	-	-	8.5	2.5
15	R985	-	-	-	-	-	9.1	2.3	固金占	-	+	-	-	-	9.0	2.4
16	R 香占	+	+	-	-	-	10.6	2.1	合美丝苗	-	+	-	-	-	9.1	2.4
17	R535	-	+	-	-	-	8.5	2.5	合莉新占	-	+	-	-	-	8.7	2.4
18	卡萨拉斯	-	-	-	-	+	8.8	2.5	广超 1713	-	+	-	-	-	9.3	2.6
19	南品新占	+	+	-	-	-	11.0	2.1	广超 1721	-	+	-	-	-	9.4	2.5
20	中作恢	-	+	-	-	-	8.9	2.2	广超 1724	-	+	-	-	-	9.4	2.6
21	箴 9311S	-	+	-	-	-	9.8	2.9	合丰油占	-	+	-	-	-	8.9	2.4
22	R8459	+	+	-	-	-	9.7	2.2	广晶农占	-	+	-	-	-	9.2	2.6
23	R967	-	+	-	-	-	9.3	2.3	广晶新占	-	+	-	-	-	9.9	2.4
24	R1607	-	+	-	-	-	8.8	2.5	万香红	+	+	-	-	-	10.6	2.1
25	R1127	-	+	-	-	-	9.2	2.6	秀香占	+	+	-	-	-	10.5	2.0

检测发现,90 份粳稻品种中,携带 *GL7* 长粒基因型的品种有 4 个,分别为迁香软 1 号、徐稻 10 号、扬农粳 1030、扬辐粳 11,携带 *gl7* 短粒基因型的品种有 86 个(表 2),*GL7* 长粒基因型在粳稻中占比 4.4%(图 2-A),表明 *GL7* 长粒基因型在粳稻中存在比例

较低。在 50 份籼稻品种中,携带 *GL7* 长粒基因型的品种有 9 个,携带 *gl7* 短粒基因型的品种有 41 个(表 3),*GL7* 长粒基因型品种在籼稻中占比 18.0%(图 2-A)。表明 *GL7* 长粒基因型在籼稻中整体存在比例也较低,但比粳稻中 *GL7* 长粒基因型的存在比例要高。



M—Marker; 图中序号与表 2、表 3 一致

图 1 部分粳稻、籼稻品种粒型调控基因分子标记检测结果

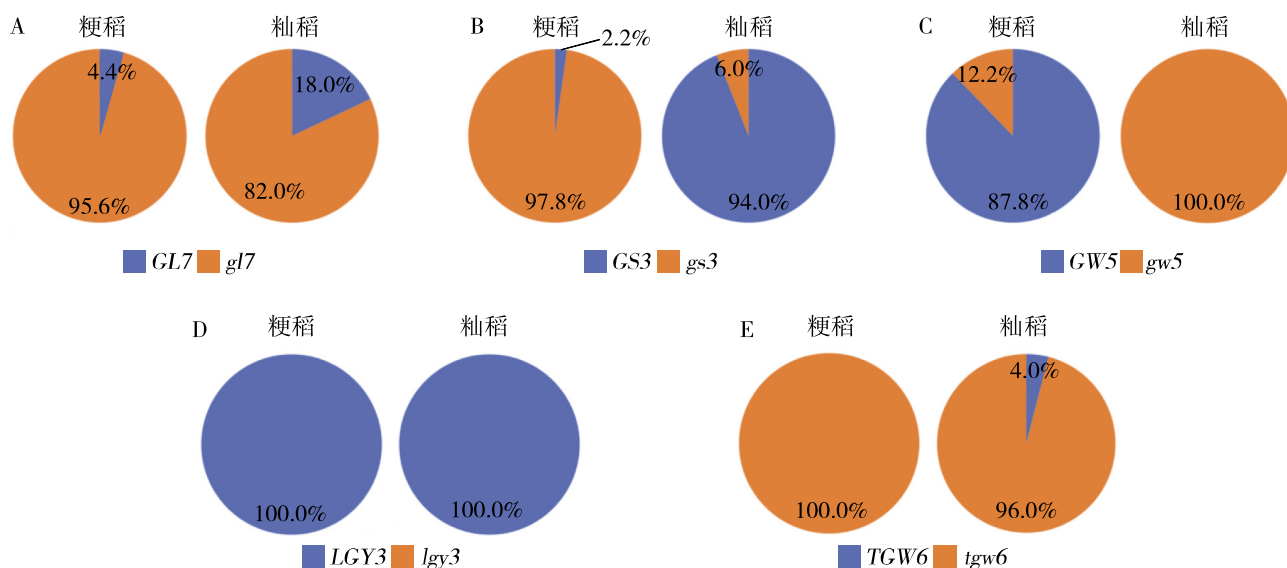


图 2 粒型调控基因不同基因型在粳、籼稻品种资源中的分布

由表 4 可知,携带 *GL7* 长粒基因型粳稻品种的平均粒长为 8.23 mm,显著高于携带 *gl7* 短粒基因型粳稻品种的平均粒长为 7.16 mm($P=0.042$)。携带 *GL7* 长粒基因型粳稻品种的平均粒宽为 3.17 mm,短于携带 *gl7* 短粒基因型粳稻品种的平均粒宽为 3.24 mm,但差异不具统计学意义($P=0.125$)。携带 *GL7* 长粒基因型粳稻品种的平均长宽比为 2.60,显著高于携带 *gl7* 短粒基因

型品种的平均长宽比为 2.22($P=0.017$)。

由表 5 可知,携带 *GL7* 长粒基因型籼稻品种的平均粒长为 10.29 mm,显著高于携带 *gl7* 短粒基因型籼稻品种的平均粒长为 9.26 mm($P=0.011$)。携带 *GL7* 长粒基因型的籼稻品种平均粒宽为 2.16 mm,显著短于携带 *gl7* 短粒基因型品种的平均粒宽为 2.44 mm($P=0$)。携带 *GL7* 长粒基因型的籼稻品种的平均长宽比为 4.76,显著高

于携带 *gl7* 短粒基因型品种的 3.81 ($P=0.001$)。结果表明,携带 *GL7* 长粒基因型的粳稻和籼稻

的粒长和长宽比均有显著提升作用,但同时携带粒宽有显著缩短作用。

表 4 粳稻品种 *GL7* 不同基因型粒型比较

基因型	粒长 /mm	<i>P</i> 值	粒宽 /mm	<i>P</i> 值	长宽比	<i>P</i> 值
<i>GL7</i>	8.23 ± 0.23 *	0.042	3.17 ± 0.03	0.125	2.60 ± 0.06 **	0.017
<i>gl7</i>	7.16 ± 0.03		3.24 ± 0.02		2.22 ± 0.02	

注:* 表示差异具统计学意义 ($P<0.05$),** 表示差异具高度统计学意义 ($P<0.01$)。表 5、表 7 同。

表 5 籼稻品种 *GL7* 不同基因型粒型比较

基因型	粒长 /mm	<i>P</i> 值	粒宽 /mm	<i>P</i> 值	长宽比	<i>P</i> 值
<i>GL7</i>	10.29 ± 0.30 *	0.011	2.16 ± 0.05 **	0	4.76 ± 0.19 **	0.001
<i>gl7</i>	9.26 ± 0.09		2.44 ± 0.03		3.81 ± 0.06	

2.2 *GS3* 基因型分析

根据 *GS3* 基因突变开发分子标记,*GS3* 长粒基因型通过 PCR 反应可以扩增出 720、308 bp 2 种产物,*gs3* 短粒基因型只能扩增出 720 bp 的产物,从而实现基因型的区分^[14],代表性电泳结果见图 1。

通过分子标记检测发现,粳稻中携带 *GS3* 长粒基因型的品种仅有 2 个,携带 *gs3* 短粒基因型的品种有 88 个(表 2),*GS3* 长粒基因型品种占比 2.2% (图 2-B)。籼稻中携带 *GS3* 长粒基因型的品种有 47 个,携带 *gs3* 短粒基因型的品种有 3 个(表 3),*GS3* 长粒基因型品种占比 94.0%(图 2-B)。表明 *GS3* 长粒基因型在籼稻中存在较为普遍,在粳稻中较少存在。

由于粳稻中携带 *GS3* 长粒基因型的品种数量较少,无法开展 *t*-test 数据分析,因此仅对携带 *GS3*

和 *gs3* 基因型的籼稻品种的粒长、粒宽及长宽比数据进行比较分析。结果(表 6)表明,携带 *GS3* 长粒基因型的籼稻品种平均粒长为 9.30 mm,虽高于携带 *gs3* 短粒基因型籼稻品种的 8.83 mm,但差异无统计学意义 ($P=0.056$);携带 *GS3* 长粒基因型的籼稻品种平均粒宽为 2.44 mm,与携带 *gs3* 短粒基因型籼稻品种的 2.43 mm 差异无统计学意义 ($P=0.929$);携带 *GS3* 长粒基因型的籼稻品种平均长宽比为 3.82,虽高于携带 *gs3* 短粒基因型籼稻品种的 3.63,但差异无统计学意义 ($P=0.324$)。以上结果表明 *GS3* 长粒基因型对粳稻的粒型增长效果可能不明显,也可能与携带 *GS3* 基因型的粳稻品种数量较少有关;籼稻 *GS3*、*gs3* 则对粒长的影响无明显差异。

表 6 籼稻品种 *GS3* 不同基因型粒型比较

基因型	粒长 /mm	<i>P</i> 值	粒宽 /mm	<i>P</i> 值	长宽比	<i>P</i> 值
<i>GS3</i>	9.30 ± 0.09	0.056	2.44 ± 0.03	0.929	3.82 ± 0.06	0.324
<i>gs3</i>	8.83 ± 0.15		2.43 ± 0.07		3.63 ± 0.15	

2.3 *gw5* 基因型分析

在 1 212 bp 片段上下游设计分子标记,*GW5* 宽粒基因型因片段缺失,扩增产物大小为 938 bp,而 *gw5* 窄粒基因型因含有 1 212 bp 序列,扩增产物大小为 2 150 bp^[15],代表性电泳结果见图 1。

通过分子标记检测发现,粳稻中携带 *GW5* 宽粒基因型的品种有 79 个,携带 *gw5* 窄粒基因型的品种有 11 个(表 2),*GW5* 宽粒基因型占比 87.8% (图 2-C)。而籼稻中未检测到携带 *GW5* 宽粒型的品种,50 个品种均携带 *gw5* 窄粒基因型(表 3)。说

明 *GW5* 宽粒基因型在粳稻中存在较为普遍,而在籼稻中则普遍存在 *gw5* 窄粒基因型。

由于籼稻中未检测到携带 *GW5* 宽粒基因型的品种,因此仅对携带 *GW5* 和 *gw5* 基因型的粳稻品种的粒长、粒宽及长宽比数据进行比较分析。在其他 4 个基因型背景一致的情况下,对携带 *GW5* 和 *gw5* 基因型的粳稻的粒长、粒宽及长宽比进行比较分析(表 7)发现,携带 *GW5* 宽粒基因型的粳稻品种平均粒长为 7.16 mm,显著低于携带 *gw5* 窄粒基因型粳稻品种的 7.50 mm ($P=0.008$);携带 *GW5* 宽粒基

因型的粳稻品种平均粒宽为 3.24 mm,显著高于携带 *gw5* 窄粒基因型粳稻品种的 3.07 mm ($P=0.006$);携带 *GW5* 宽粒基因型的粳稻品种平均长宽比为 2.22, 显著低于携带 *gw5* 窄粒基因型粳稻品种的 2.49($P=0.003$)。表明 *GW5* 宽粒基因型对粳稻粒宽有显著提升作用,但同时粒长和长宽比有显著缩短作用;*gw5* 窄粒基因型对粳稻粒长有显著提升作用,并使长宽比显著增加。

2.4 *LGY3* 基因型分析

针对突变位点设计分子标记, 未发生突变的

LGY3 短粒基因型 PCR 扩增产物为 392 bp 的片段。发生突变的 *lgy3* 长粒基因型在 PCR 反应中无法扩增出条带,从而实现不同基因型的区分^[16],代表性电泳结果见图 1。通过分子标记检测发现,90 个参试粳稻品种(表 2)和 50 个参试籼稻品种(表 3)均携带 *LGY3* 短粒基因型,可能表明 *LGY3* 短粒基因型对粳、籼稻粒型差异不具有明显影响;*lgy3* 长粒基因型在参试粳、籼稻品种中检出比例均为 0%(图 2-D),说明 *lgy3* 长粒基因型在粳稻和籼稻中均极为少见。

表 7 粳稻品种 *GW5* 不同基因型粒型比较

基因型	粒长 /mm	<i>P</i> 值	粒宽 /mm	<i>P</i> 值	长宽比	<i>P</i> 值
<i>GW5</i>	7.16 ± 0.03 **	0.008	3.24 ± 0.02 *	0.006	2.22 ± 0.02 **	0.003
<i>gw5</i>	7.50 ± 0.10		3.07 ± 0.05		2.49 ± 0.07	

2.5 *tgw6* 基因型分析

根据该突变位点设计引物进行 PCR 扩增, *TGW6* 长粒基因型的 PCR 产物经过 *Bss*H II 酶切后生成 327、217 bp 2 个片段, *tgw6* 短粒基因型不存在该酶切位点,酶切后只有 590 bp 的 1 个片段^[17],代表性电泳结果见图 1。通过分子标记检测发现,90 个参试粳稻品种均不携带 *TGW6* 长粒基因型(表 2),籼稻中仅有 2 个品种携带 *TGW6* 长粒基因型(表 3),剩余 48 个品种均携带 *tgw6* 短粒基因型, *TGW6* 长粒基因型占比 4.0%(图 2-E)。结果表明 *TGW6* 长粒基因型在粳稻和籼稻中均较为少见,而粳、籼稻常见的 *tgw6* 短粒基因型可能对粳、籼稻粒型差异影响较小。

3 讨论与结论

粒型是水稻产量性状的重要组成部分,同时也是水稻谷粒主要的外观品质性状,培育大粒型水稻品种是提升水稻产量和品质的有效途径^[18]。粳稻和籼稻在粒型上存在明显差异,这可能与粒型调控基因在粳、籼稻中的分化和功能差异密切相关。明确不同粒型调控基因在粳、籼稻中的分布情况及调控效应,对粳、籼稻粒型优势互补和基因资源高效利用具有重要意义。

本研究发现, *GL7* 长粒基因型在粳稻和籼稻中均存在,但存在比例均较低。 *GL7* 长粒型对粳稻和籼稻的粒长均有明显的提升作用,但同时粒宽有缩短效应,表明其对粒型的调控具有多效性,在育

种应用时可尝试聚合粒宽基因实现大粒型品种创制。 *GL7* 作为半显性基因,杂合体依然具备一定的粒型增长作用^[5,17],因此可以应用于杂交水稻的粒型改良。 *GS3* 长粒基因型在粳稻中占比较低,仅有 2 个品种携带长粒基因型,而在籼稻中占比较高。 *GS3* 长粒基因型最早在籼稻品种中挖掘鉴定到^[8],表明其可能是在杂交选育过程中由籼稻引入粳稻,且在粳稻粒型改良上还有较大应用空间。携带 *GS3* 长粒基因型籼稻的粒型均值长于携带 *gs3* 短粒基因型的籼稻,但 *t*-test 检验差异无统计学意义。为对结果进行进一步校正,对携带 *GS3* 和 *gs3* 基因型品种的粒长进行 pearson 相关性分析,分析结果表明二者相关性差异不显著,这可能与携带 *gs3* 短粒基因型的籼稻品种样本数仅有 3 个而导致误差较大有关。后续需收集更多携带 *gs3* 基因型的籼稻材料进行粒型检测及分析。本研究参试粳稻中携带 *GW5* 宽粒基因型的品种比例较高,而在参试籼稻中未检测到携带宽粒基因型的品种。 *GW5* 长粒基因型在对粳稻粒宽有促进作用的同时,对粒长有缩短效应,这与 *GL7* 对粒型的调控效应恰好相反。后续育种工作中需进一步探究 *GW5* 与 *GL7* 对粒型的协同调控作用,评估双基因聚合的育种价值。 *lgy3* 长粒基因型在参试粳稻和籼稻中均未检测到,这与周雷等的报道^[16]相一致。 *lgy3* 长粒基因型最早在美国粳稻材料 L204 中克隆到^[19],目前我国水稻品种中的分布可能较少。国外优质特色品种资源的引进与利用可能是助力我国水稻大粒型品种创制的有效手段。 *TGW6* 长

粒基因型在粳稻参试品种中未检测到,在籼稻品种中占比也仅有 4.0%。由于长粒基因型样本量过少,无法进行其对粒型的调控效应分析,后续需进一步搜集粒型存在较大差异的种质资源开展分子标记检测与调控效应分析,或通过基因编辑及构建不同基因型材料近等基因系等手段进一步开展 *TGW6* 对粒型的调控效应分析。本研究表明,粳稻和籼稻中各粒型调控基因型分布差异明显。借助分子标记辅助选择,将籼稻中存在但粳稻中不存在的长粒基因型精准导入到粳稻中,从而实现粳稻粒型的加长改良,或将粳稻中存在但籼稻中不存在的宽粒基因型精准导入到籼稻中,从而实现籼稻粒型的加宽改良,可加快大粒型水稻品种创制的精度和效率。另外,不同基因对粒型的调控效应也存在明显差异和多效应,利用多基因聚合实现多个粒型调控基因的互补或累加^[9],可作为水稻优质新品种培育研究的新路径。

参考文献:

- [1] HU H, LV W K, LI Q L, et al. Characterization of main effects, epistatic effects and genetic background effects in QTL for yield related traits by two sets of reciprocal introgression lines in rice (*Oryza sativa*) [J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2018, 20(9): 2125–2132.
- [2] 龚成云, 朱裕敬, 桂金鑫, 等. 水稻粒型全基因组关联分析[J]. 农业生物技术学报, 2024, 32(11): 2447–2461.
- [3] 吴宇, 杨义强, 徐鹏, 等. 利用籼粳重组自交系定位水稻粒型的主效 QTL[J]. 分子植物育种, 1–16 (2024–11–27) [2025–03–09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20241126.1825.007.html>.
- [4] 田颖, 于雪然, 杜怀东, 等. 水稻粒形基因的遗传研究进展[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(21): 16–26.
- [5] 段宇轩, 崔京南, 徐善斌, 等. 粳稻粒型相关性状全基因组关联分析及候选基因挖掘[J]. 华北农学报, 2023, 38(5): 19–28.
- [6] WANG Y X, XIONG G S, HU J, et al. Copy number variation at the *GL7* locus contributes to grain size diversity in rice [J]. Nature Genetics, 2015, 47(8): 944–948.
- [7] MAO H L, SUN S Y, YAO J L, et al. Linking differential domain functions of the *GS3* protein to natural variation of grain size in rice [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2010, 107(45): 19579–19584.
- [8] FAN C C, XING Y Z, MAO H L, et al. *GS3*, a major QTL for grain length and weight and minor QTL for grain width and thickness in rice, encodes a putative transmembrane protein [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2006, 112(6): 1164–1171.
- [9] LIU J F, CHEN J, ZHENG X M, et al. *GW5* acts in the brassinosteroid signalling pathway to regulate grain width and weight in rice [J]. Nature Plants, 2017, 3: 17043.
- [10] LIU Q, HAN R X, WU K, et al. G-protein $\beta\gamma$ subunits determine grain size through interaction with MADS-domain transcription factors in rice [J]. Nature Communications, 2018, 9(1): 852.
- [11] YU J P, MIAO J L, ZHANG Z Y, et al. Alternative splicing of *OsLG3b* controls grain length and yield in japonica rice [J]. Plant Biotechnology Journal, 2018, 16(9): 1667–1678.
- [12] ISHIMARU K, HIROTSU N, MADOKA Y, et al. Loss of function of the IAA-glucose hydrolase gene *TGW6* enhances rice grain weight and increases yield [J]. Nature Genetics, 2013, 45(6): 707–711.
- [13] 金素奎, 国倩倩, 刘巧泉, 等. 一种水稻叶片基因组 DNA 简易提取方法 [J]. 生物技术通报, 2025, 41(1): 74–84.
- [14] 伍豪, 高利军, 黄娟, 等. 水稻粒长粒重主效基因 *GS3* 的功能标记开发与利用 [J]. 西南农业学报, 2019, 32(6): 1211–1215.
- [15] 龚柯, 薛炮, 温小霞, 等. 水稻特大粒种质 BG1 和优质恢复系华占的粒形基因研究及相关功能标记开发 [J]. 中国水稻科学, 2021, 35(6): 543–553.
- [16] 周雷, 李二敬, 徐华山, 等. 利用分子标记鉴定优质籼稻粒形相关基因的基因型 [J]. 分子植物育种, 2022, 20(7): 2326–2334.
- [17] 王军, 杨杰, 徐祥, 等. 水稻千粒重基因 *TGW6* 功能标记的开发与利用 [J]. 中国水稻科学, 2014, 28(5): 473–478.
- [18] 李堂, 曹华盛, 熊亮, 等. 水稻粒型调控基因功能研究进展 [J]. 广东农业科学, 2023, 50(12): 12–28.
- [19] GAO X Y, ZHANG X J, LAN H X, et al. The additive effects of *GS3* and *qGL3* on rice grain length regulation revealed by genetic and transcriptome comparisons [J]. BMC Plant Biology, 2015, 15(1): 156.

Distribution and Effect Analysis of Grain Size Genes *GL7*, *GS3*, *gw5*, *LGY3* and *tgw6* in Indica and Geng Rice Varieties

LI Fan, GUO Xinya, CHEN Chun, WANG Feifei, CHEN Weijun

(Suqian Institute of Agricultural Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Suqian 223800, China)

Abstract: Grain size of rice is an important determinant of rice yield and quality. In order to clarify the distribution and regulating effects of different grain size genes in japonica and indica rice varieties, five genes (*GS3*, *GL7*, *GW5*, *lgy3* and *TGW6*) in 90 geng rice varieties and 50 indica rice varieties were detected with molecular markers. The grain length and grain width of rice varieties with different gene types were measured and analyzed. The results showed that the *GL7* long-grain genotype existed in both geng and indica rice with 4.4% and 18.0%. *GL7* long-grain genotype significantly increased grain length and length-width ratio of geng rice and indica rice, but shortened the grain width at the same time. *GS3* long-grain genotype existed in geng rice with a proportion of 2.2%, but existed in indica rice with 94.0%. *GS3* long-grain genotype increased grain length ratio of indica rice, but the difference was not statistically significant. *GW5* wide-grain genotype was common in geng rice with 87.8%, but not detected in indica rice. *GW5* wide grain genotype significantly increased grain width, but shortened grain length and length-to-width ratio significantly. *lgy3* long-grain genotype was not detected in neither geng and indica rice varieties. *TGW6* long-grain genotype existed in indica rice varieties with a small proportion of 4.0%, but was not detected in tested geng rice varieties.

Key Words: Grain size gene; Indica rice; Geng rice; Distribution; Regulating effect

(上接第 6 页)

[24] 李冠男. 施肥及微量元素调控对盐碱地水稻品质的影响[D]. 长春:吉林农业大学,2019:2-5.

[25] 张振宇,党 姝,林秀华,等. 不同收获时间和方式对水稻外观品质及加工品质的影响[J]. 黑龙江农业科学,2010(2):

22-24.

[26] 苗得雨,魏玉光,贺海生. 不同收获时期和收获方式对水稻碾米品质和产量的影响[J]. 北方水稻,2007,37(4):25-27.

Comprehensive Exploration of Impacts of Ecological Factors on Rice Quality and Improvement Strategies

ZHANG Zhipeng^{1,2}, LIN Shen^{1,2}, LI Jing¹, QI Jiang², SHEN Juan², WANG Xinglong²,
YAN Weigu^{1,2}, ZHU Mingchao^{1,2}

(1.Jiangsu Xuhuai Area Huaiyin Institute of Agricultural Sciences, Huai'an 223001, China;

2. Jiangsu Tianfeng Seed Industry Co., Ltd., Huai'an 223001, China)

Abstract: Rice is one of the most important food crops in the world, and the quality improvement is the core issue to cope with consumption upgrading and industrial transformation. In this study, the influence mechanism and interaction effect of climate, soil and water on rice quality were reviewed, and the quality improvement strategy combining environmental regulation (irrigation optimization, field layout) and agronomic measures (precision fertilization, appropriate harvest) was proposed. The future research direction of quality maintenance mechanism focusing on multi-factor interaction and directional breeding of ecological adaptation varieties was pointed out, which can provide theoretical support for high-quality rice production.

Key Words: Rice; Quality; Ecological factor; Directional breeding

向 莉,董裕生,王 仙,等. 新疆不同生态区啤用大麦品种(系)适应性鉴定与综合评价[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(3):17-21 (2025-06-10). <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.03.003>.

新疆不同生态区啤用大麦品种(系)适应性鉴定与综合评价

向 莉,董裕生,王 仙,陈翠霞,陈智军,苗 雨*

(新疆维吾尔自治区农业科学院作物研究所,新疆 乌鲁木齐 830091)

摘要:为了筛选出适宜新疆(高海拔、干旱)地区种植的大麦新品种,以 10 份大麦品种(系)为试验材料,在新疆不同生态区进行适应性鉴定试验,调查记录出苗期、抽穗期、成熟期、株高、穗长、主穗粒数、千粒质量,对各品种(系)在农艺性状、抗逆性、产量等方面进行比较。结果表明,各参试品种(系)间存在显著性差异,产量为 390.09 ~ 465.81 kg/667 m²,其中,新啤 106 产量最高,比新啤 081、新啤 202 分别高 70.84、75.72 kg/667 m²,比对照甘啤 8 号增产 5.08%。

关键词:大麦;品种;适应性;鉴定;综合评价

中图分类号:S512.3

文献标志码:A

文章编号:1673-6486-20240120

大麦是禾本科大麦属植物,作为最早被驯化的作物之一,栽培历史悠久,种植区域广阔,可食用、饲用和酿酒等^[1-2]。世界上种植大麦的国家较多,种植面积相对较大,仅次于水稻、小麦、玉米等作物^[3]。我国大麦种植范围较广,在大多数地区均有种植,种植区主要集中在青藏高原、长江流域和黄河流域。新疆在大麦种植方面优势显著,其气候独特,通过灌溉农业可克服干燥少雨的气候环境,北疆及东疆多地区适宜种植大麦^[4-5]。

为了鉴定新疆维吾尔自治区农业科学院作物研究所选育的大麦新品种在新疆不同生态区域的适应性,从中筛选出适宜新疆种植的优质、高产、广适、高抗的大麦新品种,为大面积示范推广种植提供科学依据^[6]。

1 材料与方法

1.1 供试材料

参试材料共 10 份,分别为新啤 102、新啤 081、新啤 095、新啤 106、新啤 211、新啤 214、新啤 216、新啤 226、新啤 202、甘啤 8 号,其中甘啤 8 号作为

对照品种,所有品种均由新疆农业科学院奇台麦类试验站提供。

1.2 试验方法

试验采用随机区组试验设计,小区长 7.5 m、宽 1.8 m,面积 13.5 m²,行距 0.20 m,3 次重复。播种方式采用人工开沟条播,播量为 25 万粒/667 m²。试验于 2022 年在奇台、塔城、巴里坤 3 个试验点进行,其中奇台试验点地处天山北麓准噶尔盆地南缘(89°12'E、43°13'N),海拔 823.0 m,土质为草甸黑壤土,肥力水平中上,前茬为小麦;塔城试验点地处准噶尔盆地西北边缘(83°42'E、46°33'N),海拔 547 m,土质为潮土,前茬作物为玉米;巴里坤试验点地处天山东段北麓(84°54'E、40°54'N),海拔 1 600 m,土质为砂土,肥力水平中上,前茬为小麦。

1.3 数据分析

数据处理采用 Excel 2013 和 DPS 7.05 软件进行统计分析,GraphPad Prism 9.5.0 作图,主要分析不同大麦品种产量差异水平。

2 结果与分析

2.1 供试大麦品种(系)生育进程

由表 1 可见,各参试品种(系)的生育期为 71.0 ~ 97.0 d,平均生育期为 88.1 d。其中,新啤 081 平均生育期最短,生育期为 71.0 ~ 93.0 d;新啤 226 和新啤 202 平均生育期最长,生育期均为 81.0 ~ 96.0 d。故不同试点间大麦生育期有较大差异。其中,奇台的大麦平均生育期最短,各品种(系)大麦

收稿日期:2024-12-07;修回日期:2025-04-22。

基金项目:国家大麦青稞产业技术体系(CARS-05-020B)。

作者简介:向 莉(1984—),女,硕士,高级农艺师,主要从事啤酒大麦、青稞新品种选育及栽培技术研究工作。
Email: 44340471@qq.com。

* 通信作者:苗 雨(1978—),男,高级农艺师,主要从事大麦遗传育种与栽培研究工作。Email: 13653542@qq.com。

生育期为 71.0 ~ 81.0 d, 平均为 76.8 d; 塔城的大麦 93.8 d, 2 地平均生育期相差 17.0 d。各参试大麦品种平均生育期最长, 生育期为 93.0 ~ 94.0 d, 平均为 (系) 的生育期在各参试点基本适应, 都能正常成熟。

表 1 各参试大麦品种(系)生育进程

	生育时期	新啤 102	新啤 081	新啤 095	新啤 106	新啤 211	新啤 214	新啤 216	新啤 226	新啤 202	甘啤 8 号(CK)
奇 台	出苗期(月-日)	04-02	04-02	04-02	04-02	04-02	04-02	04-02	04-02	04-02	04-02
	抽穗期(月-日)	06-04	06-03	06-04	05-28	06-05	06-05	06-05	06-05	06-05	06-05
	成熟期(月-日)	07-04	06-29	06-29	07-01	07-04	07-05	07-03	07-07	07-07	07-06
	生育期/d	77.0	71.0	71.0	74.0	78.0	79.0	77.0	81.0	81.0	79.0
塔 城	出苗期(月-日)	04-05	04-05	04-05	04-05	04-05	04-05	04-05	04-05	04-05	04-05
	抽穗期(月-日)	06-06	06-06	06-08	06-08	06-09	06-09	06-09	06-10	06-10	06-10
	成熟期(月-日)	07-16	07-16	07-18	07-18	07-19	07-19	07-19	07-20	07-20	07-20
	生育期/d	93.0	93.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0	94.0
巴 里 坤	出苗期(月-日)	04-15	04-15	04-15	04-15	04-15	04-15	04-15	04-15	04-15	04-15
	抽穗期(月-日)	06-23	06-21	06-21	06-21	06-21	06-21	06-24	06-24	06-24	06-23
	成熟期(月-日)	08-13	08-10	08-10	08-10	08-10	08-10	08-12	08-12	08-12	08-11
	生育期/d	97.0	91.0	91.0	91.0	91.0	91.0	96.0	96.0	96.0	96.0
	平均生育期/d	89.0	85.0	85.3	86.3	87.7	88.0	89.0	90.3	90.3	89.7

2.2 供试大麦品种(系)农艺性状

从主要农艺性状结果(表 2)来看, 各参试品种(系)间基本苗数、成穗数、株高、穗长性状间差异存在统计学意义($P < 0.05$), 主穗粒数、千粒质量各品种间差异无统计学意义。其中, 新啤 102、新啤 211 的基本苗数比对照品种甘啤 8 号分别多 1.81 万、1.78 万株/667 m²; 新啤 102 的成穗数比对照品种甘啤 8 号多 4.35 万穗/667 m²; 新啤 095 在各参试品种中株高最高, 为 79.55 cm, 比最低的品种新啤 211 高 8.99 cm ($P < 0.05$); 各参试品种穗长均比对照品

种甘啤 8 号短, 但只有新啤 081 的穗长与对照甘啤 8 号间的差异具统计学意义($P < 0.05$); 新啤 102 千粒质量为 55.07 g, 比对照品种甘啤 8 号高 3.19 g, 其余新啤 211、新啤 214、新啤 226、新啤 202 分别比对照品种甘啤 8 号高 2.25、2.09、0.83、0.47 g, 但各参试品种间千粒质量与对照品种甘啤 8 号差异均无统计学意义。本结果表明, 各参试品种间的差异主要表现在基本苗、成穗数、株高、穗长这些性状上, 其中成穗数是产量组成要素之一, 主要决定了参试品种间的差异。

表 2 各参试大麦品种(系)主要农艺性状

品种(系)	基本苗数/(万株/667 m ²)	成穗数/(万穗/667 m ²)	株高/cm	穗长/cm	主穗粒数/(粒/穗)	千粒质量/g
新啤 102	25.00 ± 3.05 a	52.27 ± 5.06 a	72.88 ± 3.83 ab	8.82 ± 0.05 ab	23.77 ± 1.01 a	55.07 ± 4.47 a
新啤 081	23.95 ± 2.5 ab	41.71 ± 3.47 b	77.99 ± 5.97 ab	7.75 ± 0.22 b	22.43 ± 1.34 a	51.17 ± 3.28 a
新啤 095	23.55 ± 1.96 ab	42.87 ± 3.47 b	79.55 ± 5.31 a	8.67 ± 0.38 ab	23.88 ± 0.46 a	51.34 ± 4.40 a
新啤 106	24.16 ± 1.94 ab	47.17 ± 4.95 ab	76.39 ± 5.13 ab	8.82 ± 0.12 ab	23.94 ± 0.48 a	52.78 ± 3.82 a
新啤 211	24.97 ± 2.60 a	41.47 ± 5.47 b	70.56 ± 3.82 b	8.47 ± 0.22 ab	22.44 ± 0.18 a	54.13 ± 3.66 a
新啤 214	21.31 ± 1.67 b	45.43 ± 6.65 ab	75.03 ± 4.56 ab	9.26 ± 0.47 a	24.30 ± 1.25 a	53.97 ± 3.13 a
新啤 216	22.75 ± 1.30 ab	44.88 ± 5.00 b	76.22 ± 6.67 ab	9.12 ± 0.68 a	23.08 ± 0.45 a	51.17 ± 0.87 a
新啤 226	23.40 ± 2.54 ab	48.69 ± 8.90 ab	79.52 ± 7.75 a	8.95 ± 0.80 a	22.96 ± 1.17 a	52.71 ± 4.98 a
新啤 202	24.20 ± 3.06 ab	42.76 ± 3.20 b	73.90 ± 6.93 ab	8.70 ± 0.25 ab	22.98 ± 1.46 a	52.35 ± 5.57 a
甘啤 8 号(CK)	23.19 ± 1.89 ab	47.92 ± 9.32 ab	75.44 ± 6.11 ab	9.27 ± 0.45 a	24.25 ± 0.71 a	51.88 ± 1.82 a

注: 同列数据后不同小写字母表示品种间差异有统计学意义($P < 0.05$)。

2.3 供试品种(系)产量及与各供试品种(系)农艺性状相关性分析

由表 3 可知,各参试品种(系)平均产量与对照甘啤 8 号均存在一定的差异,平均产量为 390.09 ~ 465.81 kg/667 m², 2 个品种(系)产量高于对照,其中,新啤 106 产量最高,比对照甘啤 8 号增产 5.08%,新啤 102 产量第 2,比对照甘啤 8 号增产

3.11%,其余品种与对照相比均有不同程度减产。新啤 102 与新啤 202 间的产量差异具有统计学意义,与其他品种差异没有统计学意义。

对各参试大麦品种(系)农艺性状与各试点平均产量进行相关性分析,如图 1 所示,各参试品种(系)的产量与基本苗数、成穗数、穗长、主穗粒数、千粒质量呈正相关,与株高呈负相关。

表 3 各地各参试大麦品种(系)产量

品种(系)	奇台		塔城		巴里坤		平均	
	产量 /	比对照增 /	产量 /	比对照增 /	产量 /	比对照增 /	产量 /	比对照增 /
	(kg/667 m ²)	%	(kg/667 m ²)	%	(kg/667 m ²)	%	(kg/667 m ²)	%
新啤 102	449.08	2.87	311.13	-15.60	611.08	16.48	457.10 ab	3.11
新啤 081	415.00	-4.94	300.02	-18.62	469.89	-10.44	394.97 bc	-10.90
新啤 095	402.16	-7.88	333.35	-9.58	468.73	-10.66	401.41 abc	-9.45
新啤 106	433.11	-0.79	355.57	-3.55	608.76	16.03	465.81 a	5.08
新啤 211	407.26	-6.71	322.24	-12.59	577.90	10.15	435.80 abc	-1.69
新啤 214	418.62	-4.11	266.68	-27.66	556.50	6.07	413.93 abc	-6.62
新啤 216	415.16	-4.90	344.46	-6.56	515.68	-1.71	425.10 abc	-4.10
新啤 226	418.95	-4.04	277.79	-24.65	527.13	0.47	407.96 abc	-7.97
新啤 202	444.80	1.89	222.23	-39.72	503.24	-4.08	390.09 c	-12.00
甘啤 8 号(CK)	436.57	—	368.65	—	524.64	—	443.29 abc	—

注:同列数据后不同小写字母表示品种间差异有统计学意义($P < 0.05$)。

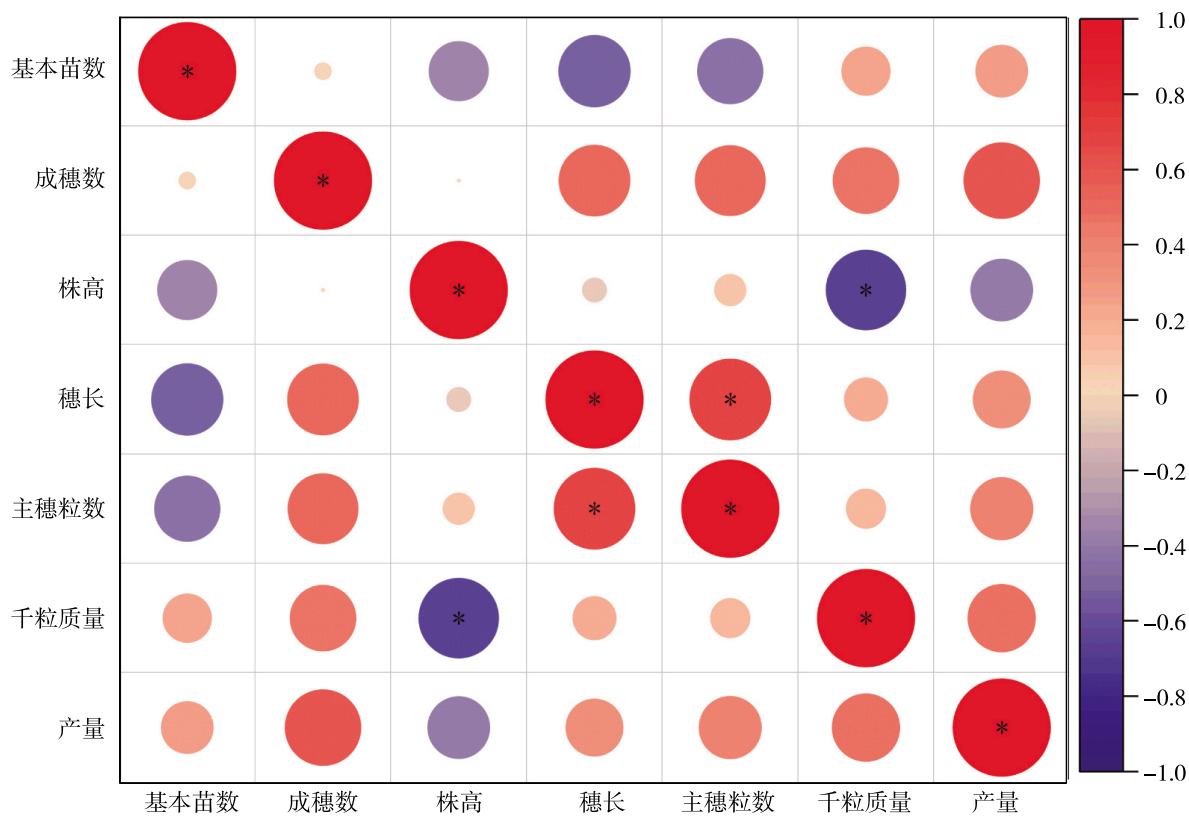


图 1 参试啤酒大麦产量与农艺性状相关性分析

3 讨论与结论

气候条件、生态因素以及种植技术等因素对作物生育期有重要影响,生育期能够反映作物对外界环境的适应性^[7-8]。本研究各参试大麦品种(系)中,奇台点的大麦生育期最短,各品种(系)平均生育期为76.8 d,塔城点的生育期最长,各参试品种(系)平均生育期为93.8 d;2地平均生育期相差17.0 d。各参试品种(系)的平均生育期为88.1 d。其中:新啤081平均生育期最短,为85.0 d;新啤202和新啤226平均生育期最长,为90.3 d。本试验种植所有品种均能正常成熟,说明这些品种能够适应当地气候条件,但因地理位置的差异,使得各试点生育期相差较大。

通过对不同农艺性状的研究,可以明确作物优良性状。各参试大麦品种(系)中新啤102、新啤211的基本苗数比对照品种甘啤8号分别多1.81万、1.78万株/667 m²,但无统计学意义;新啤102的成穗数比对照品种甘啤8号多4.35万株/667 m²。株高能够反映植物生长发育状况,从而间接地反映作物的生产性能^[9]。新啤095在各参试品种中最高,为79.55 cm,比新啤211高8.99 cm($P < 0.05$);各参试品种穗长均比对照品种甘啤8号短,尤其是新啤081显著较短;各参试大麦品种主穗粒数、千粒质量均与对照品种甘啤8号差异无统计学意义。在本试验中,从各参试品种(系)的农艺性状来看,新啤102表现较好。

产量是作物基本苗、成穗数、株高、千粒质量等农艺性状的综合体现,是品种筛选中的一项关键指标,也是在作物生产中需要达到的最终目标^[10]。通过对产量和各农艺性状进行相关性分析,发现产量与基本苗数、成穗数、穗长、主穗粒数、千粒质量呈正相关,成穗数对产量贡献率最高。各参试品种(系)平均产量与对照甘啤8号均存在一定的差异,产量

为390.09~465.81 kg/667 m²,其中,新啤106平均产量最高,比对照增产5.08%,比新啤095、新啤081、新啤202分别高64.40、70.84、75.72 kg/667 m²。各参试品种(系)间产量幅度较稳定,但各参试品种(系)在试点间表现出较大的差异性。在生产中表现出了显著的生态适应性,在不同地区对大麦产量影响较大,尤其是影响了参试品种的成穗数。

综上所述,新啤106、新啤102、甘啤8号田间综合性状表现较好,适宜在新疆大麦产区推广种植。

参考文献:

- [1] HAAS M, SCHREIBER M, MASCHER M. Domestication and crop evolution of wheat and barley: genes, genomics, and future directions[J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2019, 61(3): 204–225.
- [2] 热西旦·阿木提. 新疆大麦生产的现状和发展前景分析[J]. *南方农业*, 2016, 10(3): 150–151.
- [3] 王树杰, 翟德昌, 朱统泉, 等. 驻马店市大麦生产现状、存在问题及发展对策[J]. *大麦科学*, 2003, 20(4): 8–11.
- [4] 陈俊杰. 新疆大麦的生产现状和发展前景[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2013: 4.
- [5] 孔建平, 李培玲, 俞天胜, 等. 新疆啤酒大麦生产的现状与对策[J]. *大麦与谷类科学*, 2011(3): 65–68.
- [6] 骆颖俊, 成春, 杨芬, 等. 2005年至2006年优质啤酒大麦品种比较试验[J]. *云南农业科技*, 2007(2): 54–56.
- [7] 高旭, 冯周, 丁延庆, 等. 257份高粱种质资源农艺性状的遗传多样性[J]. *西南农业学报*, 2023, 36(1): 1–10.
- [8] 赵欣蕊, 任根增, 韩永亮, 等. 高粱株型表型性状精准鉴定及综合评价[J]. *植物遗传资源学报*, 2022, 23(6): 1644–1659.
- [9] GUDEN B, ERDURMUS C, YOL E, et al. Evaluation of a *Sorghum* germplasm for plant height characteristic by using molecular markers[J]. *Journal of Biotechnology*, 2014, 185: S30.
- [10] ZHANG L Y, DING Y Q, XU J X, et al. Selection signatures in Chinese *Sorghum* reveals its unique liquor-making properties[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 923734.

Adaptability Identification and Comprehensive Evaluation of Different Beer Barley Varieties (Lines)

XIANG Li, DONG Yusheng, WANG Xian, CHEN Cuixia, CHEN Zhijun, MIAO Yu

(Institute of Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract: To screen out new barley varieties suitable for cultivation in Xinjiang (high altitude and arid) regions, 10 barley varieties (lines) were used as experimental materials for adaptability evaluation in different ecological zones of Xinjiang. The emergence period, heading period, maturity period, plant height, spike length, grain number of main spike and 1 000-grain weight were investigated and recorded. The agronomic traits and yield of each variety (line) were compared and analyzed. The results showed that there were significant differences among the tested varieties (lines). The yield ranged from 390.09 kg/667 m² to 465.81 kg/667 m². Among them, Xinpi 106 had the highest yield, which was 70.84 kg/667 m² and 75.72 kg/667 m² higher than that of Xinpi 081 and Xinpi 202, respectively, and 5.08% higher than that of the control Ganpi No.8.

Key Words: Barley; Variety; Adaptability; Identification; Comprehensive evaluation

欢迎订阅 2025 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 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

辛海滨,刘翠莲,唐建鹏,等. 长江中下游地区不同小麦品种籽粒灌浆特性及脱水速率探究[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(3): 22–27,56(2025–05–13). <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.03.004>.

长江中下游地区不同小麦品种籽粒灌浆特性及脱水速率探究

辛海滨¹,刘翠莲¹,唐建鹏²,徐瑞衡¹,张彦¹,范晓凯¹,杨绪清^{1*}

(1. 扬州市江都区农业技术综合服务中心,江苏 扬州 225200;2. 扬州市农业技术综合服务中心,江苏 扬州 225100)

摘要:在大田环境下,选取7个小麦品种为供试材料,研究不同小麦品种间产量及其构成因素的差异,对籽粒灌浆过程采用Richards方程进行拟合,通过相关性分析对小麦籽粒灌浆参数与籽粒质量关系进行探究。结果表明:7个品种中,扬江麦1820的产量最高,为8 779.95 kg/hm²,扬麦28最低,产量为7 479.60 kg/hm²;籽粒灌浆过程中扬江麦1820千粒质量最高,成熟期千粒质量达到49.35 g,扬麦28的千粒质量最低,为41.73 g;各品种间籽粒灌浆速率存在明显差异。不同小麦品种籽粒灌浆过程均呈“S”型变化,因品种不同,灌浆参数也有所不同,但 R^2 均达到0.99以上。相关性分析表明,平均灌浆速率与千粒质量呈显著正相关,与其余参数呈不显著正相关;平均灌浆速率与快增期灌浆速率、缓增期灌浆速率均呈极显著正相关,与渐增期灌浆速率呈不显著正相关;可见灌浆速率尤其快增期灌浆速率是决定千粒质量的主要因素,这一时期应改善小麦叶片光合功能来提高灌浆速率,从而增加千粒质量。研究还发现,7个品种在花后35 d及此后籽粒含水率、脱水速率均存在差异,扬江麦1820、农麦77、扬麦23等在花后35~42 d以较高的速率快速脱水;在长江中下游地区,为了避免小麦生产后期受高温逼熟、干热风的影响,可以优先选择具有快速脱水特性的品种。

关键词:江都区;小麦;灌浆特性;相关性分析;产量;脱水速率

中图分类号:S512.1

文献标志码:A

文章编号:1673–6486–20250024

小麦产量和品质的形成主要是通过灌浆期籽粒发育并不断合成和积累淀粉、蛋白质、脂类等物质实现^[1]。不同品种、或是同一品种在不同生产区域、不同年份的产量均有差异,小麦的产量由有效穗数、每穗粒数、千粒质量构成,三者对产量的贡献率不同^[2]。国内外学者对小麦籽粒灌浆特性与产量之间的关系进行了诸多研究,有研究表明,小麦千粒质量对产量影响最大,生产中已有部分新育成小麦品种千粒质量超过45 g,显示出较强的产量潜力^[3–4]。刘红杰等研究发现,籽粒灌浆速率是籽粒质量的决定因素^[5];张耀兰等研究认为,灌浆速率和灌浆持续时间显著影响籽粒质量^[6];刘源霞等研究发现,平均灌浆速率对小麦千粒质量影响最大^[7];蔡庆生等研究表明,平均灌浆速率与小麦千粒质量呈极显著正相关,与灌浆持续时间相关性不显著^[8];韩占江等研究认为,平均灌浆速率和灌浆持续天数对千粒质量起决定作用,二者对籽粒质量的影响呈现乘积关系^[9]。关于

小麦籽粒质量与灌浆期各相关参数间的关系,前人研究并不一致。小麦籽粒脱水特性对小麦安全收获和储存至关重要,籽粒脱水快则提前收获,提早腾茬,同时减少晾晒或烘干时间。鉴于此,本试验拟通过分析7个品种间的产量结构、籽粒灌浆特性、脱水率等差异,以期为长江中下游冬麦区小麦栽培和育种提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试7个小麦品种分别为扬辐麦4号、扬麦23、扬麦28、扬麦33、镇麦15、农麦77、扬江麦1820。试验田土质为砂壤土,有机质含量(质量分数,下同)为26.75 g/kg,全氮含量为1.67 g/kg,速效磷含量为27.4 mg/kg,速效钾含量为60.0 mg/kg,pH值7.16。常年小麦产量6 750 kg/hm²以上,前茬为水稻。播种前基施N 156 kg/hm²、P₂O₅ 72 kg/hm²、K₂O 72 kg/hm²,分蘖肥追施N 69 kg/hm²,拔节期追施N 90 kg/hm²、K₂O 24 kg/hm²。其他田间管理措施同常规大田。

1.2 试验设计

试验地点位于江苏省扬州市江都区宜陵镇大陈村江苏现代农业(稻麦)产业技术体系扬州江都基地(119°40′54″E、32°27′32″N,海拔17.6 m)。采用随

收稿日期:2025–03–06;修回日期:2025–05–07。

基金项目:江苏省现代农业发展专项资金(扬财农[2023]18号)。

作者简介:辛海滨(1986—),男,硕士,高级农艺师,从事基层农业技术推广工作。Email: 474806284@qq.com。

* 通信作者:杨绪清(1988—),女,硕士,高级农艺师,从事基层农业技术推广工作。Email: 446974519@qq.com。

机排列,大区种植,播种日期为 2023 年 11 月 8 日,播种方式为机条播,行距 22.7 cm,播种量为 187.5 kg/hm²。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 籽粒灌浆进程。选择开花期在同一天、长势相当、叶数相当、无病虫害的麦穗挂牌标记,挂牌后第 7 d 开始取样,以后每隔 7 d 取样 1 次,直至成熟。每次选 20 穗,剥取籽粒并计数,鲜粒在鼓风干燥箱 105 ℃杀青 1 h,然后在 80 ℃条件下烘至恒质量,折合成千粒质量。

1.3.2 籽粒脱水速率测定。于花后 35、42 d 及收获前进行 3 次取样,每次随机选取 20 个单穗,快速剥粒,称鲜质量,杀青、烘干后称干质量,计算籽粒含水率=(籽粒鲜质量-籽粒干质量)/籽粒鲜质量×100%,脱水速率(%)=(前一次籽粒含水率-后一次籽粒含水率)/相隔天数。

1.3.3 产量及考种。小麦成熟时期,每个品种选取 3 个具有代表性的点,每个点实收 1 m²,合计 3 m²。采取人工收割、脱粒,籽粒经晒干后称质量,折合 13% 含水率计算产量。每个品种随机选取 10 株进行考种,按照常规方法调查有效穗数、每穗粒数、千粒质量。

1.4 数据统计与分析

采用 Richards 方程 $W=A/(1+Be^{-Kt})^{1/N}$ 拟合小麦籽粒灌浆过程,式中:W 为千粒质量(g);A 为千粒质量终值(g);N 为环境充分系数;B 和 K 为方程参数。对方程进行一阶求导,可得小麦籽粒灌浆速率(G)方程: $G=AKBe^{-Kt}/N(1+Be^{-Kt})^{(N+1)/N}$ 。根据 Richards 方程和灌浆速率方程可计算出一些参数用于描述籽粒灌浆特征:从开花到达到最大灌浆速率的天数 $T_{max} \cdot G=(\ln B-\ln N)/k$,最大灌浆速率 $G_{max}=KB/4$,平均灌浆速率 $G=AK/2(N+2)$ 和有效灌浆期持续天数 $T=2(N+2)/K$ 。对灌浆速率方程进行一阶求导,可得方程的 2 个拐点,此在 t 坐标上的值为 t_1 和 t_2 ;令 t_3

为达到最高千粒质量 96%时的时间,得出 $T_1(t_1-0)$ 为渐增期持续天数, $T_2(t_2-t_1)$ 为快增期持续天数, $T_3(t_3-t_2)$ 为缓增期持续天数,并分别计算各阶段的灌浆速率(G_1 、 G_2 、 G_3)和灌浆比率(P_1 、 P_2 、 P_3)。

通过 Excel 2003 和 SPSS 19.0 软件进行数据处理和方差分析。

2 结果与分析

2.1 产量构成因素分析

从产量(表 1)上看,扬江麦 1820 产量为 8 779.95 kg/hm²,居第 1 位,其次是扬麦 33,农麦 77 产量排第 3 位,三者与其他品种产量差异具统计学意义。扬江麦 1820 有效穗数偏多,达 498.15 万个/hm²,扬辐麦 4 号有效穗数偏少,仅为 425.70 万个/hm²,两者的差异具统计学意义($P<0.05$)。从单穗粒数上看,扬辐麦 4 号最多,显著高于镇麦 15、扬江麦 1820、扬麦 23 和农麦 77,其中镇麦 15 最少。千粒质量方面,在 $P<0.05$ 水平下,7 个品种可划分为 4 组:第 1 组为扬江麦 1820 和镇麦 15,千粒质量较高,超过 49.00 g;第 2 组为农麦 77 和扬麦 33;第 3 组为扬麦 23 和扬辐麦 4 号;第 4 组为扬麦 28,千粒质量最低,仅为 41.73 g。

对产量及其构成因素进行相关性分析(表 2),结果表明千粒质量与产量的相关系数为 0.840,呈极显著正相关;有效穗数与产量的相关系数为 0.460,呈显著正相关;穗粒数与产量的相关系数为 -0.340,不显著;同时发现有效穗数和穗粒数呈极显著负相关,千粒质量和穗粒数呈显著负相关。这与生产中发现足穗情况下,提高千粒质量更容易获得高产,以及田间穗数过多难以形成大穗多粒现象比较吻合。但产量各因素间可能存在着复杂的关系,同时受环境因素影响,不同年份下产量的决定因素及其影响系数可能会有所不同。

表 1 不同小麦品种产量及其构成因素

品种	产量/(kg/hm ²)	有效穗数/(万个/hm ²)	穗粒数/(粒/穗)	千粒质量/g
扬辐麦 4 号	7 763.10 bc	425.70 c	44.34 a	43.93 c
扬江麦 1820	8 779.95 a	498.15 a	38.05 c	49.35 a
扬麦 23	7 771.20 bc	477.15 ab	40.89 bc	42.59 cd
扬麦 28	7 479.60 c	449.70 bc	43.08 ab	41.73 d
扬麦 33	8 670.60 a	452.85 bc	43.47 ab	47.37 b
农麦 77	8 652.15 a	466.20 abc	41.05 bc	48.72 ab
镇麦 15	8 119.20 b	470.10 abc	38.01 c	49.01 a

注:同列数据后不同小写字母代表处理间差异具统计学意义($P<0.05$)。

表 2 产量结构与产量的相关性分析

	有效穗数	穗粒数	千粒质量	产量
有效穗数	1			
穗粒数	-0.849**	1		
千粒质量	0.437*	-0.513*	1	
产量	0.460*	-0.340	0.840**	1

注: *、** 分别表示显著相关($P < 0.05$)、极显著相关($P < 0.01$)。表 5 同。

2.2 籽粒质量及灌浆速率变化

图 1 显示, 7 个小麦品种灌浆过程均符合“S”型生长曲线, 即“慢-快-慢”的趋势。随着灌浆时间的延长, 不同品种小麦籽粒千粒质量存在差异。花后 35 d 至收获期间, 镇麦 15、扬江麦 1820、农麦 77、扬麦 33 千粒质量明显高于其他 3 个品种, 这 4 个品种最终籽粒千粒质量都超过 50 g。不同小麦品种间, 籽粒平均灌浆速率存在明显差异, 但均存在“慢-快-慢”的变化趋势, 如图 2 所示。在花后 28 d 左右, 各品种均达到灌浆高峰期, 其中镇麦 15

最高, 农麦 77 和扬麦 33 其次, 扬麦 28 最低; 花后 35 ~ 42 d 期间, 除镇麦 15 外其余品种平均灌浆速率显著降低, 可能镇麦 15 有持续灌浆特点; 花后 42 d 至收获期间, 扬辐麦 4 号、扬麦 23、扬麦 33、农麦 77 平均灌浆速率反向增加, 镇麦 15 仍以较高的速率灌浆。在灌浆过程中不同品种间灌浆速率存在波动性, 灌浆高峰持续时间有所不同, 如镇麦 15 灌浆速率波动大, 达到峰值后快速下降, 而扬麦 28 灌浆速率峰值不高、持续时间相对较长, 这些差异可能对最终的产量产生影响。

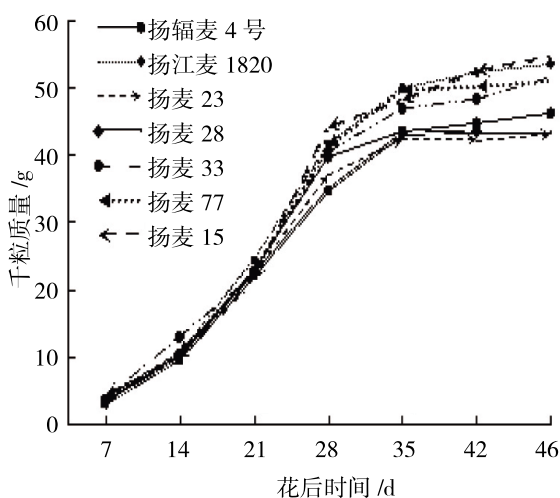


图 1 不同品种花后籽粒千粒质量变化

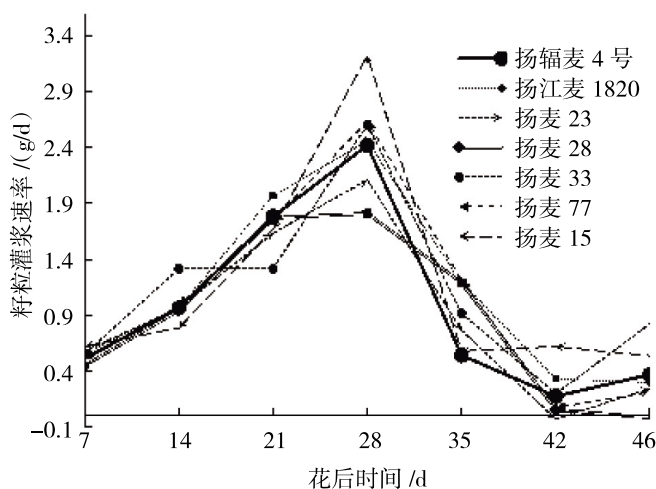


图 2 不同品种籽粒灌浆速率变化

2.3 籽粒灌浆特征参数与千粒质量的相关性

从表 3 拟合参数可以看出, 各品种的拟合程度好, 决定系数 R^2 范围在 0.994 ~ 0.999, 说明该方程可以反映不同小麦品种籽粒灌浆进程。由表 4 可知, 7 个品种的有效灌浆期持续天数(T)差异较大, 范围在 36.40 ~ 43.27 d, 说明大部分品种在花后 42 d 基本完成灌浆; 其中扬辐麦 4 号和扬麦 23 的有效灌浆期持续天数较短, 扬江麦 1820 的有效灌浆期持续天数最长, 差异近 7 d。灌浆速率上看, 品种间平均灌浆速率(G)变幅在 1.42 ~ 1.92 mg/d, 最大灌浆速率($G_{\max}$)品种间有差异, 变幅在 22.03 ~

24.08 mg/d; 其中镇麦 15 的平均灌浆速率和最大灌浆速率均列首位, 扬麦 28 均处末位, 这与品种特性相关。从达到最大灌浆速率的天数上($T_{\max} \cdot G$)看, 7 个品种均在 2 d 以上; 镇麦 15 最长, 为 2.99 d, 扬麦 28 最短。整个籽粒灌浆过程的 3 个时期, 82% 以上在渐增期和快增期, 其中快增期均占 50% 以上; 3 个时期灌浆速率均是镇麦 15、农麦 77 较高, 扬麦 28 最低, 均表现为 $G_2 > G_1 > G_3$, G_2 的平均值分别是 G_1 的 2.53 倍、 G_3 的 3.41 倍, 由此可见快增期是小麦籽粒灌浆的主要阶段。

表 3 不同小麦品种籽粒灌浆方程参数

品种	A/g	B	K	E	$W=A/(1+Be^{-Kt})^{1/E}$	R^2
扬辐麦 4 号	45.167	4 830.500	0.334	2.516	$W=45.167/(1+4 830.500e^{-0.334t})^{1/2.516}$	0.994
扬江麦 1820	53.287	243.579	0.224	1.516	$W=53.287/(1+243.579e^{-0.224t})^{1/1.516}$	0.997
扬麦 23	42.797	5 483.600	0.332	2.796	$W=42.797/(1+5 483.600e^{-0.332t})^{1/2.796}$	0.995
扬麦 28	44.057	242.338	0.229	1.551	$W=44.057/(1+242.338e^{-0.229t})^{1/1.551}$	0.999
扬麦 33	50.097	820.222	0.254	2.146	$W=50.097/(1+820.222e^{-0.254t})^{1/2.146}$	0.999
农麦 77	50.711	6 500.700	0.325	2.602	$W=50.711/(1+6 500.700e^{-0.325t})^{1/2.602}$	0.996
镇麦 15	52.588	5 581.900	0.322	2.404	$W=52.588/(1+5 581.900e^{-0.322t})^{1/2.404}$	0.997

注: A 为生长终值, B 为环境充分系数, K 、 E 为模型参数, R^2 为决定系数。

表 4 不同小麦品种的灌浆参数

品种	T/d	R_0	$G/$ (mg/d)	$T_{max} \cdot G/d$	$G_{max}/$ (mg/d)	渐增期			快增期			缓增期		
						T_1/d	$G_1/$ (mg/d)	$P_1/\%$	T_2/d	$G_2/$ (mg/d)	$P_2/\%$	T_3/d	$G_3/$ (mg/d)	$P_3/\%$
扬辐麦 4 号	36.40	0.13	1.67	2.60	22.66	17.64	0.89	34.99	10.03	2.30	51.63	8.73	0.69	13.38
扬江麦 1820	43.27	0.15	1.69	2.58	22.73	16.22	0.87	26.76	13.02	2.27	55.95	14.04	0.65	17.29
扬麦 23	36.63	0.12	1.48	2.32	22.82	17.63	0.89	36.90	10.39	2.06	50.53	8.61	0.62	12.58
扬麦 28	42.06	0.15	1.42	2.17	22.03	15.65	0.76	27.09	12.76	1.91	55.79	13.65	0.55	17.12
扬麦 33	41.54	0.12	1.53	2.37	23.45	17.15	0.93	32.22	12.60	2.09	53.17	11.80	0.61	14.61
农麦 77	38.14	0.13	1.79	2.80	24.04	18.85	0.95	35.59	10.39	2.48	51.29	8.90	0.74	13.12
镇麦 15	38.34	0.13	1.92	2.99	24.08	18.95	0.94	34.18	10.26	2.64	52.09	9.13	0.78	13.73
平均	39.48	0.13	1.64	2.55	23.12	17.44	0.89	32.53	11.35	2.25	52.92	10.69	0.66	14.55

注: T 为有效灌浆期持续天数, R_0 为起始生长势, G 为平均灌浆速率, $T_{max} \cdot G$ 为达到最大灌浆速率的天数, G_{max} 为最大灌浆速率, T_1 、 T_2 、 T_3 分别为渐增期、快增期和缓增期持续天数, G_1 、 G_2 、 G_3 分别为 3 个时期的灌浆速率, P_1 、 P_2 、 P_3 分别为 3 个时期的灌浆比率。表 5 同。

籽粒灌浆参数与千粒质量的相关分析 (表 5) 表明, 平均灌浆速率与千粒质量呈显著正相关, 其余参数呈正相关, 但不显著。表明小麦整个灌浆期速率是影响籽粒质量的灌浆因素, 而灌浆持续时间长短对粒质量影响相对较小。平均灌浆速率 (G) 与快增期灌浆速率 (G_2)、缓增期灌浆速率 (G_3) 呈极显著正相关, 与渐增期灌浆速率 (G_1) 呈正相关, 但不显著。快增期灌浆速率 G_2 变化范围为 1.91 ~ 2.64 mg/d, 缓增期 G_3 变化范围为 0.55 ~ 0.78 mg/d (表 4), 说明快增期灌浆速率 G_2 对平均灌浆速率 G 的影响更大, 进而影响千粒质量增加的幅度。所以, 平均灌浆速率是千粒质量的主要决定性因素, 尤其是快增期灌浆速率。

2.4 籽粒含水率和脱水速率比较

由表 6 可知, 在花后 35 d, 不同品种籽粒含水率有差异, 变幅在 37.01% ~ 45.51%, 之后开始降低;

在花后 42 d, 扬江麦 1820、扬麦 23、农麦 77 含水率降至 20% 以下; 至收获期 7 个品种的含水率均小于谷物临时储存水分标准 (18%), 其中扬麦 23 含水率最低, 为 12.82%, 不需要烘干或晾晒, 可直接入库。从脱水速率上看, 从花后 35 d 至收获阶段的平均脱水速率均在 2%/d 以上, 其中扬江麦 1820、扬麦 23、扬麦 28、农麦 77 在花后 35 ~ 42 d 明显高于花后 42 d 至收获阶段, 扬麦 33 脱水速率相反, 扬辐麦 4 号、镇麦 15 的 2 个阶段脱水速率基本相当, 持续快速脱水。籽粒含水率是在固定时间点测得, 但对于整个脱水阶段含水率是不断变化的, 在不同温度、湿度、风速下脱水速率可能不同, 从而带来含水率的波动, 在籽粒脱水期间遇到降雨、低温、大风等天气会对脱水干燥造成较大影响。

表 5 灌浆参数与千粒质量的相关系数

	W_G	T	R_0	G	$T_{\max} \cdot G$	$G_{\max}$	T_1	G_1	T_2	G_2	T_3	G_3
W_G	1	0.309	0.029	0.765*	0.731	0.706	0.378	0.617	0.109	0.717	0.100	0.625
T		1	0.650	-0.257	-0.332	-0.288	-0.713	-0.435	0.968**	-0.356	0.966**	-0.490
R_0			1	-0.057	-0.132	-0.518	-0.639	-0.700	0.573	-0.152	0.747	-0.260
G				1	0.996**	0.764*	0.740	0.670	-0.481	0.993**	-0.402	0.965**
$T_{\max} \cdot G$					1	0.794*	0.795*	0.711	-0.547	1.000**	-0.478	0.984**
$G_{\max}$						1	0.870*	0.897**	-0.449	0.799*	-0.521	0.806*
T_1							1	0.849*	-0.831*	0.810*	-0.860*	0.877**
G_1								1	-0.529	0.720	-0.634	0.757*
T_2									1	-0.568	0.971**	-0.682
G_2										1	-0.501	0.988**
T_3											1	-0.625
G_3												1

注: W_G 为千粒质量。

表 6 不同小麦品种含水率和脱水速率比较

品种	含水率 /%			脱水速率 /(%/d)		
	花后 35 d	花后 42 d	收获期	平均脱水速率	花后 35 ~ 42 d	花后 42 d—收获
扬辐麦 4 号	42.84	27.47	15.66	2.47	2.20	2.95
扬江麦 1820	42.83	15.64	14.16	2.61	3.88	0.37
扬麦 23	37.01	14.04	12.82	2.20	3.28	0.31
扬麦 28	41.30	20.28	16.27	2.28	3.00	1.00
扬麦 33	41.69	31.29	17.64	2.19	1.49	3.41
农麦 77	45.51	19.87	14.42	2.83	3.66	1.36
镇麦 15	44.85	26.73	15.71	2.65	2.59	2.76
平均	42.29	22.19	15.24	2.46	2.87	1.74

3 讨论与结论

小麦的产量由有效穗数、穗粒数和千粒质量构成,不同品种影响其产量构成的关键因素不尽相同^[9]。本试验通过对 7 个品种的产量及其构成因素进行分析,发现千粒质量与产量呈极显著正相关,与王

丽娜等的研究结果^[10]不同,同时发现千粒质量对产量的影响比有效穗数大,这指导我们在实际生产中要更注重千粒质量,并非有效穗数越多产量就越高;在相同有效穗数和穗粒数条件下,增加籽粒质量可显著提高产量。千粒质量和穗粒数呈显著负相关,在有效穗数形成之后若要籽粒饱满,穗粒数要有所控

制。在小麦生产中,产量构成 3 因素要协调,提倡适宜的播种量、快速分蘖达到适宜有效穗数,而后提供足够养分在孕穗期内尽早形成大穗多粒、在灌浆期内持续增加千粒质量,从而获得高产稳产。

7 个品种的灌浆进程符合 Richards 方程。相关性表明,平均灌浆速率(G)与千粒质量相关性为显著性正相关,最大灌浆速率($G_{\max}$)、达到最大灌浆速率天数($T_{\max} \cdot G$)与千粒质量正相关但不显著,有效灌浆期持续天数(T)、渐增期持续天数(T_1)、快增期持续天数(T_2)、缓增期持续天数(T_3)均与千粒质量无显著相关,说明延长灌浆时间并不明显增加千粒质量,这与蔡庆生等的研究结果^[8,11]一致,与韩占江等研究认为灌浆持续天数与千粒质量呈显著正相关的结果^[9]不一致。可能与供试品种差异有关,也可能是在不同温、光、水等资源条件下小麦植株生长状态变化对籽粒灌浆时间及灌浆速率造成影响所致。

籽粒灌浆完成后进入脱水阶段,本研究发现不同品种在花后 35 d 及此后籽粒含水率、脱水速率均存在差异。在长江中下游地区,为了避免小麦生产后期受高温逼熟、干热风的影响,可以优先选择具有快速脱水特性的品种,本试验中扬江麦 1820、农麦 77、扬麦 23 等在花后 35 ~ 42 d 以较高的速率快速脱水,快速达到谷物临时储存安全水分,可直接收获入库,少(免)烘干晾晒。脱水速率受环境条件影响较大,同一品种在不同年份间有所差异,且品种间差异明显,朱冬梅等研究认为生理成熟期后籽粒平均脱水速率可作为衡量小麦品种脱水快慢的选择指标^[12]。

苗永杰等研究认为,小麦千粒质量和灌浆速率参数主要受品种基因型控制,灌浆持续时间受环境影响较大,如果在小麦灌浆期受到高温、干旱和干热风的影响,会使籽粒不饱满、粒质量下降,造成产量损失^[4]。丁位华等从不同穗型小麦籽粒灌浆等特性分析发现,干物质积累平均速率是产量的最主要影响因素,干物质积累最大的品种表现为快增期持续时间长,进入干物质积累盛期快,干物质积累平均速率和最高速率高^[13]。因此在小麦生产上应加强

水肥等田间管理措施,如在灌浆期喷施含氮叶面肥(1%尿素配施 0.3%磷酸二氢钾)可显著提高灌浆速率^[14],适当延长快增期持续天数,实现千粒质量最大化,最终达到小麦增产增收。

参考文献:

- [1] DALE E M, HOUSLEY T L. Sucrose synthase activity in developing wheat endosperms differing in maximum weight[J]. *Plant Physiology*, 1986, 82(1): 7-10.
- [2] 王建武, 王进强, 陆加荣, 等. 不同类型小麦品种产量构成因子分析[J]. *种子科技*, 2001, 19(5): 35-36.
- [3] 姜丽娜, 张雅雯, 朱娅林, 等. 不同小麦品种籽粒灌浆特性及产量研究[J]. *华北农学报*, 2019, 34(3): 96-101.
- [4] 苗永杰, 阎俊, 赵德辉, 等. 黄淮麦区小麦主栽品种粒重与籽粒灌浆特性的关系[J]. *作物学报*, 2018, 44(2): 260-267.
- [5] 刘红杰, 倪永静, 任德超, 等. 不同基因型冬小麦籽粒灌浆特征及其与千粒重的关系[J]. *中国农业气象*, 2019, 40(10): 630-636.
- [6] 张耀兰, 曹承富, 杜世州, 等. 淮北地区高产小麦籽粒灌浆特性分析[J]. *华北农学报*, 2010, 25(S2): 84-87.
- [7] 刘源霞, 王文文, 张保望, 等. 小麦籽粒灌浆特性与千粒重的相关性分析[J]. *东北农业大学学报*, 2014, 45(4): 12-17.
- [8] 蔡庆生, 吴兆苏. 小麦籽粒生长各阶段干物质积累量与粒重的关系[J]. *南京农业大学学报*, 1993, 16(1): 27-32.
- [9] 韩占江, 郝庆炉, 吴玉娥, 等. 小麦籽粒灌浆参数变异及与粒重的相关性分析[J]. *种子*, 2008, 27(6): 27-30.
- [10] 王丽娜, 韩玉林, 邹少奎, 等. 不同小麦品种粒重与籽粒灌浆特性探究[J]. *山东农业科学*, 2019, 51(10): 40-44.
- [11] 赵洪亮, 刘恩才, 马瑞崑, 等. 冬小麦籽粒灌浆特性参数分析[J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(8): 1560-1562.
- [12] 朱冬梅, 王慧, 刘大同, 等. 小麦籽粒灌浆与脱水特性[J]. *中国农业科学*, 2019, 52(23): 4251-4261.
- [13] 丁位华, 冯素伟, 王丹, 等. 不同穗型小麦籽粒灌浆、干物质积累与转运特性及其与产量的关系[J]. *河南农业科学*, 2018, 47(6): 13-17, 97.
- [14] 屈磊, 程敦公, 赵楠, 等. 灌浆期喷施叶面肥对优质强筋小麦产量和品质的调控[J]. *山东农业科学*, 2022, 54(1): 68-73.

(下转第 56 页)

扎次,次旦卓嘎,错色,等. 西藏冬青稞品种的产量、产量构成因素及生育期差异分析[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(3):28–34 (2025–06–18). <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.03.005>.

西藏冬青稞品种的产量、产量构成因素及生育期差异分析

扎次^{1,4},次旦卓嘎²,错色³,贡桑¹,旦增曲宗¹,尼玛卓嘎¹,次仁旺堆¹,次仁央宗¹,拉珍¹,达瓦顿珠^{4*},卓嘎^{1*}

(1.西藏农牧学院植物科学学院,西藏林芝 860000;2.西藏自治区日喀则市农牧业科学研究推广中心,西藏日喀则 857000;

3. 西藏大学,西藏拉萨 850000,4. 省部共建青稞和牦牛种质资源与遗传改良国家重点实验室,西藏拉萨 850032)

摘要:为探究西藏冬青稞不同品种的生育期、产量及产量构成因素之间的相互作用和整体表现,以西藏 10 个冬青稞品种为研究材料,对生育期、产量、穗数、穗粒数、千粒质量等产量构成因素进行分析。结果得出,所有统计性状中单株穗数的变异系数最大,为 38.14%;生育期最小,为 2.16%;变异系数 > 20% 的性状依次为单株穗数、穗粒质量、产量、有效穗数、穗长。相关性分析表明,生育期与株高呈极显著正相关;产量除了与单株穗数和穗粒质量呈负相关外,与其他性状均呈正相关,且与有效穗数呈显著正相关;产量构成三要素中有效穗数与千粒质量呈显著负相关,与穗粒数呈不显著的负相关;穗粒数与株高、穗长、穗粒质量呈极显著正相关,千粒质量与穗粒质量、穗粒数均呈显著正相关。因此,参试品种的主要变异来源为单株穗数、穗粒质量、产量、有效穗数、穗长等方面。产量主要受有效穗数的影响,有效穗数对千粒质量和穗粒数具有制约作用,而穗粒数与千粒质量之间是相互促进的,并共同受穗粒质量的正面影响。

关键词:西藏;冬青稞;产量;产量构成因素;生育期

中图分类号:S512.3

文献标志码:A

文章编号:1673–6486–20250001

青稞(*Hordeum vulgare* var. *coeleste* L.)隶属于禾本科大麦属,是大麦的一个变种,因其籽粒内外稃与颖果分离,籽粒裸露,又称为裸大麦,米麦、元麦等均是它的别称^[1]。我国的青稞栽培地区主要分布在西藏、青海、云南的迪庆州、四川的甘孜州和阿坝州、甘肃的甘南藏族自治州等高海拔、高寒地区^[2],总种植面积达 25.28 万 hm^2 ^[3]。其中,西藏是世界上最早且唯一大面积集中种植青稞的地区,青稞占整个西藏农作物种植面积的 60%^[1,4]。青稞也是藏区的重要保健食品之一,具有三高两低(高蛋白、高纤维、高维生素、低脂肪、低糖)的特点,对于辅助治疗人体的肥胖、高血糖、高血压、高血脂以及癌症等疾病均有积极作用^[5]。随着人们生活水平的提高,青稞

产业迅速发展,但是,在有限的耕地资源条件下,要满足居民对青稞产量的需求,主要措施是提高青稞单产,在未来相当长的一段时间里,青稞产业发展的首要目标仍然是提高单产^[6]。西藏青稞产量的稳定与提升,直接关系到西藏农牧民的生计与致富之路。提高青稞的产量对于增加西藏农牧民的经济收入和加强民族团结具有重要意义^[7]。在西藏,春青稞的种植占据主导地位,但冬青稞的种植历史同样源远流长。相较于春青稞,冬青稞在产量和生态环保方面展现出显著的优势。研究发现,冬青稞品种“冬青 18 号”的产量可高出春青稞约 50 $\text{kg}/667 \text{ m}^2$ ^[8]。在西藏的低海拔地区,种植冬青稞使得复种一季饲草成为现实,实现了年收 2 季的目标,这不仅满足了粮食供应的需求,也兼顾了饲草的生产,同时增加了冬季的植被覆盖。因此,在新品种更新换代相对较慢的西藏,研究已育成的冬青稞品种产量潜力、生育进程特点,对推动冬青稞种植区域农业发展和维护生态平衡具有重要作用。

青稞等麦类作物的产量 3 要素为穗粒数、千粒质量、有效穗数,其中任意一个要素的优劣对产量影响显著。有研究发现,千粒质量对产量的贡献度最大,在青稞高产育种时应放在主攻方向,穗粒数次之,有效穗数对产量提升有制约作用,应尽可能

收稿日期:2025–01–02;修回日期:2025–06–02。

基金项目:西藏自治区科技厅自然科学基金(XZ2019ZRG–59);中央支持地方项目(藏财预指 2023–1 号);乡村振兴视角下林周县青稞复种潜力研究及推广。

作者简介:扎次(1995—),男,硕士研究生,主要从事高原作物高产高效可持续发展及青稞种质资源研究。
Email: 18898091283@139.com。

* 通信作者:卓嘎(1971—),女,教授,主要从事高原作物高产高效可持续发展及青稞种质资源研究,Email: slzhuoga@163.com;达瓦顿珠(1983—),男,博士,副研究员,主要从事青稞遗传育种研究,Email: dwdunzhu@126.com。

减少^[9]。也有研究发现,在青稞高产育种时应把有效穗数放在第 1 位,同时产量三要素需协调发展^[10]。张亚静等研究发现,青稞品种的穗数、穗粒数、千粒质量与产量的相关性均为正值,其穗数的相关性大于穗粒数、千粒质量^[11]。邵慧等在小麦产量构成因素研究中表明,产量构成三要素之间存在相互矛盾、相互补偿的关系,只有产量构成三要素达到协调才能获得理想产量^[12]。此外,金彦龙等研究发现,青稞籽粒产量与生育期之间呈显著负相关,并推测可能是由于高原地区无霜期短、积温不足,生育期拉长不利于茎叶积累的营养物质在成熟后期向籽粒转运,这种现象与内地的情况刚好相反^[13]。韦泽秀等研究发现,产量较低的品种具有生育期短的优势^[14]。综合前人研究发现,提高青稞产量的关键不仅在于单产,更在于如何实现产量构成三要素的协调发展,同时,挑选出适应性好、生育周期合适的品种显得尤为关键。

西藏青稞的生育期、产量及产量构成因素分析的研究大多集中在春青稞品种的研究中,相关西藏冬青稞的研究鲜有报道。因此,本研究以 10 个西藏冬青稞品种为研究对象,对生育期、产量及产量构成因素性状进行分析,以期对冬青稞的高产育种和栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验在西藏农牧学院实习农场(94.34°E、29.67°N,海拔 2 998 m)进行,试验地属于高原温带季风半湿润区,土壤类型为砂壤土,土壤有机质含量(质量分数,下同)18.00 g/kg、速效钾含量 0.03 g/kg、速效磷含量 0.04 g/kg、全氮含量 0.6 g/kg、全钾含量 1.50 g/kg,pH 值为 5.69。

1.2 试验材料

本研究材料为 10 个西藏冬青稞品种,其中:果洛为西藏林芝地区代表性品种,经西藏自治区农牧科学院系统选育,也是目前冬青稞区域试验对照品种;冬青 1 号是从西藏亚东县收集的当地品种,来源于不丹,也叫不丹白青稞,后经西藏自治区农牧科学院系统选育定名为冬青 1 号,是目前西藏冬青稞中最早熟的品种;其余品种均为西藏自治区农牧科学院培育的冬青稞品种。本试验材料大体上能够

反映西藏冬青稞品种的多样性,供试品种信息见表 1。

表 1 供试冬青稞品种信息

试验编号	品种	试验编号	品种
GL	果洛	D15	冬青 15 号
D1	冬青 1 号	D16	冬青 16 号
D8	冬青 8 号	D17	冬青 17 号
D11	冬青 11 号	D18	冬青 18 号
D12	冬青 12 号	D19	冬青 19 号

1.3 试验设计与管理

试验采用单因素随机区组排列,重复 3 次。小区面积为 12 m²(6 m × 2 m),南北行向,行距 20 cm,小区间距 45 cm。用人工划行器条播,播种量 225 kg/hm²,基肥为尿素 75 kg/hm²,复合肥 150 kg/hm²。结合返青水追施返青肥尿素 72 kg/hm²,拔节肥追施尿素 72 kg/hm²。其他管理同一般冬青稞大田。

1.4 项目测定与方法

1.4.1 生育期记录。观测不同品种的出苗期、拔节期、孕穗期、抽穗期、成熟期。记载标准为当田间有 50%以上的植株出现某生育期特征时,记载该生育时期的日期。

1.4.2 考种和测产。成熟期每个小区随机取样 10 株材料,每个品种有 3 次重复,共取 30 株,性状的测定包括株高、穗长、单株穗数、穗粒数、千粒质量等重要的农艺性状,测定方法同一般青稞育种常规方法。有效穗数和产量的测定方法如下:从每小区选取一块长势均匀且能代表该小区整体长势的 1 m²样区,完成样区内有效穗数的调查后,进行单独的收割、脱粒、晒干以及称质量,最终的数据结果换算成 1 hm²。

1.5 数据处理

采用 Excel 2019 进行数据的汇总整理,采用 SPSS 20.0 进行数据统计和多重比较,采用 Origin 2024 进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 西藏不同冬青稞品种主要生育时期差异分析

由表 2 可以看出,参试品种的播种期至出苗期

除了 D16 品种为 14 d 外,其他品种均为 12 d,出苗期分别为 11 月 9 日和 11 月 7 日;出苗期至拔节期为 142~151 d,拔节期最早的为 D1,最晚的为 D17,拔节期分别为 3 月 28 日和 4 月 6 日;拔节期至孕穗期为 12~23 d,孕穗期最早的为 D1,最晚的为 GL 和 D18,孕穗期分别为 4 月 9 日和 4 月 23 日;孕穗期至抽穗期为 12~21 d,抽穗期最早的为 D1 品种,最晚的为 D16,抽穗期分别为 4 月 21 日和 5 月 12

日;抽穗期至成熟期为 52~63 d,成熟期最早的为 D1,最晚的为 D18,成熟期分别为 6 月 15 日和 7 月 3 日。10 个冬青稞品种的生育期在 233~251 d。通过比较不同品种的生育期发现,较早熟品种 D1 在拔节期至抽穗期的生长阶段所需时间均少于其他品种,说明本研究条件下早熟品种是通过中后期生育进程来体现。而其他品种的生育阶段长短则没有明显的规律。

表 2 西藏冬青稞品种的主要生育期差异

试验 编号	生育期(月-日)					生育阶段时间/d					生育期 时间/d
	出苗期	拔节期	孕穗期	抽穗期	成熟期	播种—出苗	出苗—拔节	拔节—孕穗	孕穗—抽穗	抽穗—成熟	
GL	11-07	03-31	04-23	05-08	06-29	12	145	23	15	52	247
D1	11-07	03-28	04-09	04-21	06-15	12	142	12	12	55	233
D8	11-07	03-29	04-17	04-29	06-23	12	143	19	12	56	241
D11	11-07	03-29	04-14	04-27	06-29	12	143	16	13	63	247
D12	11-07	03-29	04-12	04-26	06-23	12	143	14	14	58	241
D15	11-07	03-29	04-12	04-27	06-23	12	143	14	15	57	241
D16	11-09	04-04	04-21	05-12	07-02	14	145	17	21	51	248
D17	11-07	04-06	04-21	05-05	06-29	12	151	15	14	55	247
D18	11-07	04-04	04-23	05-12	07-03	12	149	19	19	52	251
D19	11-07	03-29	04-17	04-29	06-23	12	143	19	12	55	241

2.2 西藏不同冬青稞品种产量及产量构成因素差异分析

由表 3 可以看出,参试品种中,穗粒数以 D11 高于其他品种,为 71.40 粒/穗,而 D15 的穗粒数最低,为 40.80 粒/穗;千粒质量以 GL 最高,为 41.76 g,而 D15 千粒质量最低,为 31.29 g;单位面积有效穗数在不同品种之间,除了 GL、D1 和 D17 外,其他品种间差异均具统计学意义,D12 显著高于其他品种,为 668.03 万穗/hm²,而 D16 显著低于其他品种,为 285.01 万穗/hm²;产量以 D11 和 D18 高于其他品种,分别为 5 362.23、5 315.09 kg/hm²,而 D16 产量低于其他品种,为 3 001.48 kg/hm²。可以发现,在所有参试品种中,D16 品种的实际产量和有效穗数均处于最低水平,这表明 D16 品种产量不高的原因可能与有效穗数少有关。而 D11 品种的产量和穗粒数均高于其他品种。

由表 4 可以看出,不同品种的株高、穗长、穗粒质量、单株有效穗数均存在差异。其中 D18 的株高显著高于其他品种,为 118.09 cm,而 D1 株高低于其他品种,仅为 81.97 cm;穗长则以 D11 高于其他品种,为 8.91 cm,而 D15 低于其他品种,为 5.70 cm;GL、D11 单株穗数相同并高于其他品种,均为 8.44 穗/株,而 D19 的单株穗数低于其他品种,为 4.56 穗/株;D19 的穗粒质量显著高于其他品种,为 3.92 g/穗,而 D15 品种穗粒质量最小,仅为 1.79 g/穗。可以发现,D11 品种的穗长和单株穗数优于其他品种,而 D15 的穗长和穗粒质量低于其他品种。结合表 3 结果可以发现,参试品种中产量位居首位的 D11 品种不仅穗粒数出众,其穗长和单株穗数也均高于其他品种。说明穗粒数、单株穗数和穗长是决定 D11 品种产量优势的关键因素。

表 3 西藏不同冬青稞品种产量及产量构成因素的差异

试验编号	穗粒数 /(粒 / 穗)	千粒质量 /g	有效穗数 /(万穗 /hm ²)	产量 /(kg/hm ²)
GL	46.80 ± 11.33 cd	41.76 ± 4.21 a	389.52 ± 9.19 g	3 270.10 ± 1 054.81 bc
D1	56.40 ± 8.70 bc	40.47 ± 2.17 ab	378.02 ± 5.59 g	3 971.97 ± 1 191.21 abc
D8	63.00 ± 9.80 ab	37.59 ± 0.91 abcd	515.03 ± 25.52 d	4 116.44 ± 1 133.89 abc
D11	71.40 ± 10.28 a	36.72 ± 0.62 bcd	629.03 ± 14.73 b	5 362.23 ± 637.38 a
D12	59.63 ± 15.67 ab	34.46 ± 1.81 de	668.03 ± 5.66 a	3 949.63 ± 933.46 abc
D15	40.80 ± 15.76 d	31.29 ± 1.80 e	544.69 ± 4.93 c	3 504.38 ± 383.95 bc
D16	60.60 ± 11.38 ab	40.96 ± 0.40 ab	285.01 ± 7.07 h	3 001.48 ± 696.93 c
D17	60.33 ± 12.04 ab	35.87 ± 1.29 cd	366.02 ± 2.83 g	3 214.93 ± 1 149.17 bc
D18	61.67 ± 13.00 ab	33.72 ± 2.48 de	445.02 ± 4.24 f	5 315.09 ± 206.00 a
D19	66.33 ± 9.06 ab	40.01 ± 2.64 abc	469.36 ± 2.52 e	4 865.71 ± 849.81 ab

注:同列数据后不同小写字母表示同一指标在不同品种间差异存在统计学意义($P < 0.05$)。表 4 同。

表 4 西藏不同冬青稞品种植株表型性状差异

试验编号	株高 /cm	穗长 /cm	单株穗数 /(穗 / 株)	穗粒质量 /(g/ 穗)
GL	90.79 ± 5.48 d	6.08 ± 0.87 cd	8.44 ± 2.80 a	2.11 ± 0.69 cde
D1	81.97 ± 8.32 e	7.03 ± 1.39 bcd	5.30 ± 1.42 bc	2.36 ± 0.88 bcde
D8	91.09 ± 3.76 d	8.13 ± 1.17 ab	5.43 ± 1.62 bc	2.67 ± 1.03 bcde
D11	96.52 ± 8.21 cd	8.91 ± 0.99 a	8.44 ± 2.30 a	2.73 ± 0.62 bcd
D12	106.30 ± 10.49 b	7.57 ± 2.49 abc	7.83 ± 2.86 ab	2.55 ± 0.83 bcde
D15	87.80 ± 5.12 de	5.70 ± 1.67 d	8.25 ± 2.75 a	1.79 ± 0.69 e
D16	89.83 ± 4.42 de	7.63 ± 1.38 ab	8.30 ± 2.71 a	3.05 ± 0.76 b
D17	103.10 ± 14.04 bc	6.95 ± 0.98 bcd	6.13 ± 1.96 abc	2.93 ± 0.93 bc
D18	118.09 ± 3.65 a	7.73 ± 1.39 ab	6.00 ± 2.20 abc	1.95 ± 0.50 de
D19	93.49 ± 6.75 d	8.50 ± 1.00 ab	4.56 ± 1.42 c	3.92 ± 0.82 a

2.3 西藏冬青稞品种的生育期、产量和产量构成因素分析

从表 5 可以看出,不同品种产量、产量构成因素性状的变异系数大小为单株穗数 > 穗粒质量 > 产量 > 有效穗数 > 穗长 > 穗粒数 > 株高 > 千粒质量 > 生育期。其中,单株穗数的平均值为 6.76 穗 / 株,变化幅度为 3.00 ~ 13.00 穗 / 株,变异系数为 38.14%。生育期变异系数为 2.16%,平均值为 243.24 d,变化幅度为 233.00 ~ 251.00 d。有效穗数的平均值为 468.79 万穗 /hm²,变异系数为 25.28%,变化幅度为 280.00 万 ~ 678.00 万穗 /hm²,在产量构成的 3 个关键因素中,变异系数最高,说明参试品种间的产量差异可能是由有效穗数的多少所决定。穗粒数的平均值为 58.99 粒 / 穗,变化幅度为 32.00 ~ 80.00 粒 / 穗,变异系数为 14.48%,在影响产量构成三要素中,穗

粒数的变异系数仅次于有效穗数,这表明参试品种的产量差异同样受到穗粒数的影响。千粒质量的平均值为 37.40 g,变化幅度为 29.00 ~ 45.00 g,变异系数为 9.24%,说明参试品种的千粒质量差异较小,也说明产量三要素中,千粒质量对产量的影响最小。

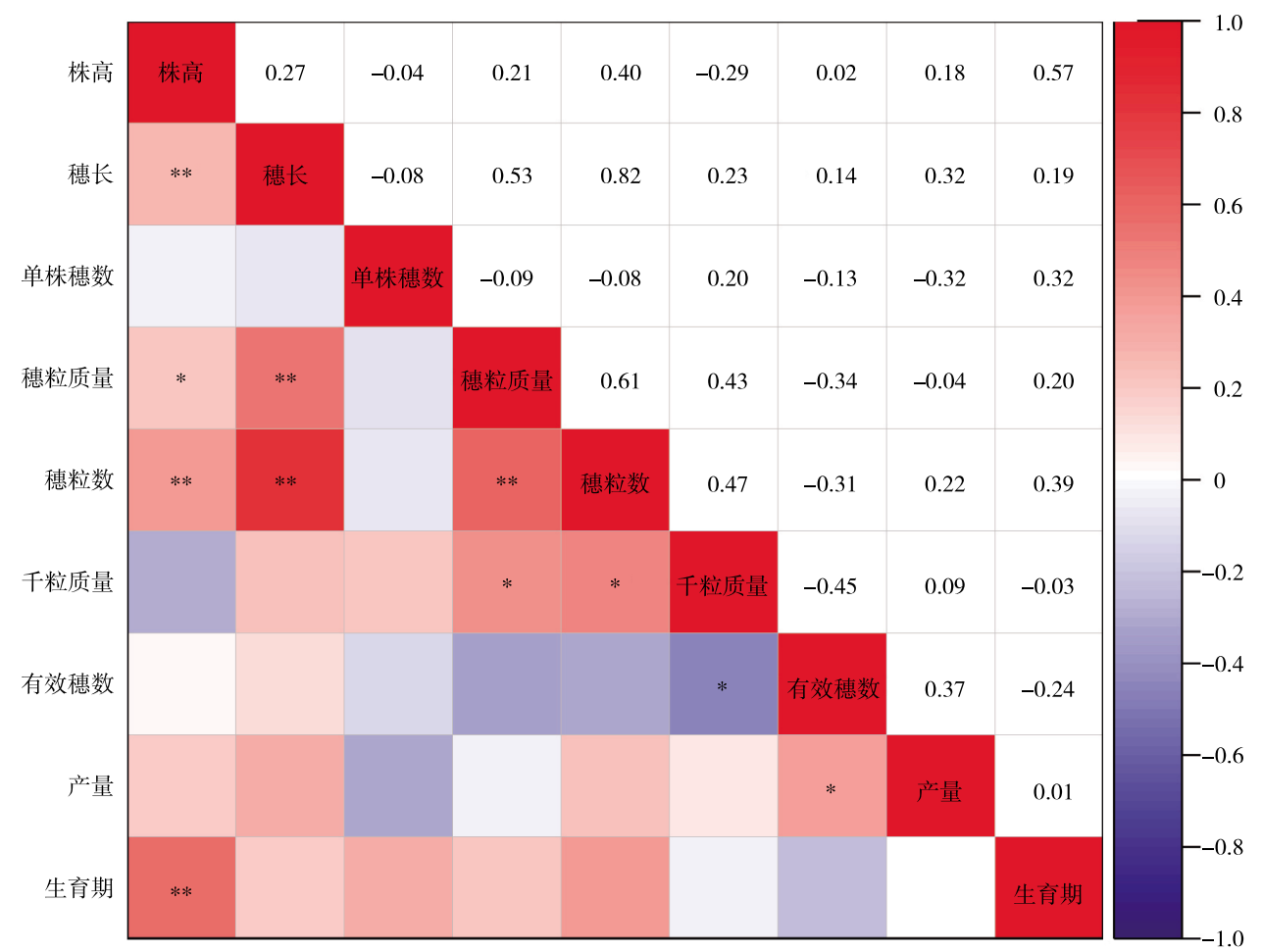
2.4 西藏冬青稞品种生育期、产量和产量构成因素相关性分析

从图 1 可以看出,参试品种的生育期与有效穗数及千粒质量呈负相关,而与其余性状均表现出正相关性,特别是与株高存在极显著的正相关。说明在参试品种中,生育期较长的品种在株高方面具有优势。产量除了与穗粒质量和单株穗数呈负相关外,与其他性状均呈正相关,且与有效穗数呈显著正相关。产量构成三要素中,有效穗数与千粒质量呈显著负相关,与穗粒数呈负相关。说明参试品种的

产量主要受有效穗数的影响,而有效穗数对千粒质量和穗粒数有制约作用。其次,穗粒数与株高、穗长、穗粒质量呈极显著正相关。千粒质量与穗粒数和穗粒质量呈显著正相关,说明穗粒数与千粒质量之间是相互促进的,并共同受到穗粒质量的正面影响。

表 5 西藏冬青稞品种生育期、产量和产量构成因素的分析

统计项目	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数 /%
单株穗数 /(穗 / 株)	3.00	13.00	6.76	2.58	38.14
穗粒质量 /(g / 穗)	1.00	5.00	2.68	0.98	36.49
产量 /(kg/hm ²)	2 118.00	5 999.00	4 057.20	1 110.42	27.37
有效穗数 /(万穗 /hm ²)	280.00	678.00	468.79	118.50	25.28
穗长 /cm	4.00	15.00	7.66	1.93	25.18
穗粒数 /(粒 / 穗)	32.00	80.00	58.99	8.54	14.48
株高 /cm	67.00	124.00	95.86	12.55	13.09
千粒质量 /g	29.00	45.00	37.40	3.46	9.24
生育期 /d	233.00	251.00	243.24	5.25	2.16



* 表示在 0.05 水平上相关显著,** 表示在 0.01 水平上相关极显著

图 1 冬青稞品种的生育期、产量和产量构成因素的相关性分析

3 讨论

西藏的冬青稞适宜在海拔 3 700 m 以下种植,播种时间一般在 10 月上旬至中旬,成熟期通常在次年的 6—7 月,比西藏春青稞的成熟时间要早 1~2 个月。因此,在冬青稞收割后,可充分利用 8—10 月雨热同期的有利气候条件复种一季饲草^[8],从而显著提高农田的经济收益,尤其是对于早熟型冬青稞品种,其综合经济效益的提升更为显著^[15]。本试验中,参试冬青稞品种的平均生育期为 243.24 d,在所有统计性状中变异系数最小(2.16%)。其中,生育期最短的品种为 D1,为 233 d,成熟期为 6 月 15 日;生育期最长的品种为 D18,为 251 d,成熟期为 7 月 3 日。由此可见,在本试验条件下,所有冬青稞品种均可作为复种饲草的前茬作物。此外,D1 品种在拔节期至抽穗期的生长阶段所需时间均少于其他品种,说明早熟品种可能主要通过缩短这一阶段的生育进程来实现早熟。相关性分析表明,冬青稞的生育期与株高呈极显著正相关,这一结果与前人研究^[8,16]一致。进一步分析发现,D1 品种的生育期(233 d)和株高(81.97 cm)在所有参试品种中均为最低,而 D18 品种的生育期(251 d)和株高(118.09 cm)则为最高。这进一步证实了冬青稞生育期的长短直接决定了株高的高低,并反映了早熟冬青稞品种秸秆产量相对较低的可能。

通过对参试品种产量及其构成因素的变异系数分析发现,单株穗数、穗粒质量、产量、有效穗数和穗长性状的变异系数均超过 20%,表明这些性状是决定参试品种多样性的主要因素。此外,在参试品种中,D11 品种的产量达到了 5 362.23 kg/hm²,单株穗数为 8.44 穗/株,穗粒数为 71.40 粒/穗,穗长为 8.91 cm,上述各项指标均在所有参试品种中位居首位。相比之下,D16 品种的产量和有效穗数均低于其他品种,分别为 3 001.48 kg/hm² 和 285.01 万穗/hm²,这一结果进一步凸显了品种间的主要差异所在。此外,D18 品种作为目前在西藏地区推广面积最广的冬青稞育成品种,其产量表现较为出色,位居第 2 位,为 5 315.09 kg/hm²。这一结果不仅反映了 D18 品种较高的产量水平,也进一步证实了其在不同环境条件下的广泛适应性和稳定性。

在对产量及其构成因素进行相关性分析时发现,产量与穗粒质量和单株穗数呈负相关,与株高、

穗长和千粒质量呈正相关,且与有效穗数呈显著正相关,这表明参试品种在单位面积有效穗数显著增加时,虽能促进产量提升,但可能导致单株穗数的生长潜力受限,并进一步制约穗粒质量的提升。该现象揭示出群体构建策略存在优化空间,因此,后期可通过播种密度等栽培措施来平衡群体与个体之间的关系。此外,上述结论体现出:参试品种的产量构成三要素(有效穗数、千粒质量和穗粒数)中,任何单一因素的提升均能有效促进产量的增长,尤其是有效穗数对产量的影响最为显著。刘国一等研究表明,青稞产量构成要素的影响大小依次为成穗数>穗粒数>千粒质量^[17],这一结论与本研究结果相似。其次,本研究还发现有效穗数与千粒质量、穗粒数之间存在负相关性,这与王恒良等的研究结论^[8,16]一致。然而,也有研究指出,在产量构成因素中,生育期、株高与产量呈不显著的负相关,而穗粒数、千粒质量与产量呈不显著的正相关^[18],这与本研究结果存在一定差异。这种差异可能源于不同试验材料、环境气候条件以及栽培措施等因素的综合作用。在本试验条件下,有效穗数对千粒质量和穗粒数的增长具有一定的制约作用,这反映了参试品种有效穗数与千粒质量、穗粒数之间的复杂关系。研究重点应着力在稳定有效穗数基础上突破千粒质量提升与穗粒数增长的技术路径,优化实现产量要素的协同增效;同时应建立配套栽培技术体系,基于品种生物学特性,实施合理密植策略,精准调控水肥供给;推进遥感监测、智能传感等现代农业科技与传统农艺的充分融合,从而形成冬青稞高效育种和栽培技术集成方案,这将对实现冬青稞的稳产和增产发挥积极的推动作用。

4 结论

参试 10 个冬青稞品种的生育期的变异系数幅度较小,而主要变异来源为单株穗数、穗粒质量、产量、有效穗数和穗长。参试品种的产量主要受有效穗数的影响,有效穗数对千粒质量和穗粒数具有制约作用,而穗粒数与千粒质量之间相互促进,并共同受穗粒质量的正面影响。因此,在西藏冬青稞高产育种及栽培技术体系构建中,需科学统筹协调单位面积有效穗数与千粒质量和穗粒数之间的关系。

参考文献:

- [1] 王建林. 西藏高原作物栽培学[M]. 北京:中国农业出版社, 2012:114–177.
- [2] 次仁央宗. 浅谈青稞的成分研究进展及其开发利用现状[J]. 西藏科技,2020(9):11–12.
- [3] YAO X H, WU K L, YAO Y H, et al. The response mechanism of the *HVA1* gene in hulless barley under drought stress[J]. Italian Journal of Agronomy, 2017, 12(4):357–363.
- [4] 李 萍. 西藏青稞优良新品种推广模式研究:以喜马拉雅 22 号和藏青 2000 推广为例[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2018:1–2.
- [5] 陆 培, 安明哲, 李 茂, 等. 青稞营养成分研究进展及其应用现状[J]. 酿酒科技, 2022(7):110–116.
- [6] 吴昆仑, 姚晓华, 姚有华, 等. 多元化用途背景下青稞品种选育的思考与实践[J]. 西藏农业科技, 2018, 40(增刊 1):1–2.
- [7] 魏 然, 梁 昕. 藏区青稞产业发展策略研究[J]. 农村经济与科技, 2022, 33(6):48–50.
- [8] 果 珍. 冬青稞区域试验品种综合评价[J]. 农业与技术, 2020, 40(18):95–98.
- [9] 王恒良, 栾运芳. 西藏林芝地区青稞产量构成因素的相关和通径分析[J]. 大麦与谷类科学, 2007, 24(3):10–13.
- [10] 宋志剑, 刘仁建, 雄奴塔巴, 等. 拉萨地区春青稞产量构成因素相关性和通径分析[J]. 西藏农业科技, 2008, 30(4):11–14.
- [11] 张亚静, 蒋礼玲, 吴昆仑, 等. 不同类型青稞产量构成因素及其对产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(5):119–122.
- [12] 邵 慧, 夏中华, 金彦刚, 等. 江苏淮北地区 13 个主导小麦品种产量构成因素分析[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(8):91–93.
- [13] 金彦龙, 吴文雪, 叶正荣, 等. 青稞品种的专用化鉴定与综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2023, 24(2):483–492.
- [14] 韦泽秀, 卓 玛, 曲 航, 等. 海拔与积温梯度对春青稞生长的影响[J]. 西藏农业科技, 2018, 40(增刊 1): 11–15.
- [15] 宋国英. 西藏主要农区复种饲草经济效益分析[D]. 北京:中国农业科学院, 2013:18–21.
- [16] 于振文. 作物栽培学各论:北方本[M]. 2 版. 北京:中国农业出版社, 2003:13–14.
- [17] 刘国一, 谢永春, 普布贵吉, 等. 西藏隆子黑青稞产量与农艺性状灰色关联度分析[J]. 大麦与谷类科学, 2019, 36(2): 11–16.
- [18] 颜昌兰. 青稞品种稳定性、适应性及主要农艺性状的评价与分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2015:28–29.

Analysis of Yield, Yield Components and Growth Period Differences in Xizang Winter Barley Varieties

Zhaci^{1,4}, Cidanzhuoga², Cuose³, Gongsang¹, Dazengquzong¹, Nimazhuoga¹, Cirenwangdui¹, Cirenyangzong¹, Lazhen¹, Dawadunzhu⁴, Zhuoga¹

(1. College of Plant Sciences, Xizang Agricultural and Animal Husbandry University, Linzhi 860000, China; 2. Shigatse Agriculture and Animal Husbandry Science Research and Promotion Center, Shigatse 857000, China; 3. Xizang University, Lhasa 850000, China; 4. State Key Laboratory of Hulless Barley and Yak Germplasm Resources and Genetic Improvement, Lhasa 850032, China)

Abstract: To explore the interactions and overall performance among the growth period, yield, and yield components of different varieties of winter barley (Qingke) in Xizang, 10 winter barley varieties from Xizang were used as research materials to analyze growth period, yield, number of spikes per plant, number of grains per spike, and thousand-grain weight. The results showed that among all the statistical traits, the trait with the largest coefficient of variation (CV) was the number of spikes per plant, with a CV of 38.14%, while the smallest CV was for the growth period, at 2.16%. The order of traits with a CV greater than 20% was number of spikes per plant, spike weight, yield, number of effective spikes and spike length. Correlation analysis indicated that the growth period was extremely significantly positively correlated with plant height. Yield was negatively correlated with the number of spikes per plant and spike weight, but positively correlated with all other traits, and it was significantly positively correlated with the number of effective spikes. Among the three yield components, the number of effective spikes was significantly negatively correlated with thousand-grain weight, and it had an insignificant negative correlation with the number of grains per spike. The number of grains per spike was extremely significantly positively correlated with plant height, spike length, and spike weight. Thousand-grain weight was significantly positively correlated with spike weight and the number of grains per spike. In conclusion, the main sources of variation among the tested varieties were the number of spikes per plant, spike weight, yield, number of effective spikes, and spike length. Yield was mainly influenced by the number of effective spikes, which had a restrictive effect on thousand-grain weight and the number of grains per spike. The number of grains per spike and thousand-grain weight had a mutually promoting relationship and were both positively affected by spike weight.

Key Words: Xizang; Winter barley; Yield; Yield components; Growth period

刘 列,王志伟,乔祥梅,等. 云南省主要青稞资源穗发芽抗性评价[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(3):35–41(2025–06–11). <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.03.006>.

云南省主要青稞资源穗发芽抗性评价

刘 列,王志伟,乔祥梅,程加省,黄廷芝,程 耿,王志龙*

(云南省农业科学院粮食作物研究所,云南 昆明 650205)

摘要:为鉴定和筛选云南省抗穗发芽青稞种质资源,对 36 份青稞资源进行整穗发芽试验、籽粒发芽试验和休眠期鉴定等相关研究,采用穗发芽抗性分级、平均隶属函数和聚类分析等数据分析方法进行穗发芽抗性评价。在整穗发芽试验中,36 份青稞材料在穗发芽率和穗发芽度上均表现出差异,穗发芽率变化范围在 4.17%~100.00%,穗发芽度变化范围在 2.50%~88.94%;籽粒发芽率变异幅度在 4.00%~100.00%,隶属函数平均值在 0.087 6~0.800 0;综合评价结果表明,参试的 36 份青稞材料中共筛选出 13 份抗性较好的材料,包括高抗 1 份(云青 602)、抗 3 份(云稞 4 号、川 12259、20QK-97)、中抗 9 份(云大麦 12 号、滇青 1 号、滇青 2 号、滇青 3 号、迪青 6 号、中甸短白青稞、15YD-3、20QK-5、20QK-3),为云南青稞抗穗发芽育种提供了宝贵的材料,也为后续的青稞抗性资源筛选提供了参考方法。

关键词:青稞;穗发芽指数;穗发芽;抗性评价

中图分类号:S512.3;S359

文献标志码:B

文章编号:1673-6486-20250015

大麦(*Hordeum vulgare* L.)是禾本科大麦属 1 年生草本植物,是世界第四大粮食作物。根据籽粒是否带颖壳分为皮大麦和裸大麦 2 种类型,其中种植在藏区的裸大麦又被称为青稞(*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* hook f.)。青稞营养丰富,是一种极好的保健型食用作物^[1-2],它富含多种人体必需氨基酸(精氨酸、组氨酸、赖氨酸、色氨酸)、膳食纤维及 β -葡聚糖^[3],是我国藏区居民主要食粮、燃料和饲料,也是啤酒、医药和保健品生产的原料。

穗发芽是成熟作物种子收获前,遇连续阴雨或高温潮湿天气,在植株穗上萌发出芽的现象^[4]。发生穗发芽时, α -淀粉酶等多种水解酶含量升高、活性增强,使胚乳中淀粉和蛋白质等物质快速降解,造成籽粒组分变化;同时穗发芽更易引发种子霉变,严重影响青稞的食用加工品质,降低饲用价值^[5]。在实际生产中,不同品种间的穗发芽程度差异较大,因此选用穗发芽抗性较强的种质是解决穗发芽危

害的重要途径。

近年来云南大麦种植面积约 20 万 hm^2 ,是我国大麦主产区^[6-7]和具有生态优势的种植区域,其海拔梯度(800~2 500 m)与立体气候为不同品种提供了适宜的生长环境^[8]。其中青稞种植面积 1.3 万 hm^2 ^[9],主要种植在云南西北部的迪庆、丽江等地,冬青稞一般在 5—6 月收获,春青稞一般在 8—9 月收获。在云南 5—10 月为雨季,占全年降水的 85%,由于青稞成熟收获期正逢高温雨季,雨热同期极易发生穗发芽现象,导致产量损失和品质下降,给青稞生产造成了严重影响^[10]。

在云南,已经有学者对小麦^[11]、铁壳麦^[12-13]、藜麦^[14]等作物进行了穗发芽的相关研究,未见青稞穗发芽相关报道。本研究以云南省近年主推品种、通过国家和省登记的品种、地方品种及新选育的品系为研究对象进行青稞资源的穗发芽抗性评价,以期筛选出穗发芽抗性较强的青稞种质资源^[15],为云南青稞生产和揭示青稞穗发芽抗性机理提供支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料共计 36 份,其中包含 14 份主推和通过登记的品种、8 份地方资源和 14 份新品系,均由云南省农业科学院粮食作物研究所收集,供试材料

收稿日期:2025-02-05;修回日期:2025-05-08。

基金项目:云南省财政重大专项(530000210000000013809);云南省重大科技专项(202102AE090014);云南省现代农业麦类产业技术体系(云农办科 2020-40)。

作者简介:刘 列(1994—),女,硕士,助理研究员,主要从事大麦新品种遗传与改良研究。Email: 1040486742@qq.com。

* 通信作者:王志龙(1988—),男,硕士,助理研究员,主要从事大麦新品种遗传与改良研究。Email: wzl@yaas.org.cn。

详细信息见表 1。试验材料于 2019—2020 年种植于云南省农业科学院嵩明科研基地(103°02'E、25°21'N,海拔 1 900 m)。田间设计采用双行种植,

随机排列,其余同大田管理。田间正常成熟时,取穗存放于 -20 ℃ 的冰箱内,以保持其休眠性^[1]。

表 1 供试材料信息

序号	品种名称	品种来源	序号	品种名称	品种来源
1	云大麦 12 号	云南省农业科学院粮食作物研究所	19	临沧青稞	临沧市地方品种
2	云青 602	云南省农业科学院粮食作物研究所	20	保山隆丰青稞 1	保山市地方品种
3	云青 605	云南省农业科学院粮食作物研究所	21	保山隆丰青稞 4	保山市地方品种
4	云青 606	云南省农业科学院粮食作物研究所	22	保山隆丰青稞 10	保山市地方品种
5	云青 609	云南省农业科学院粮食作物研究所	23	15YD-3	云南省农业科学院粮食作物研究所新品系
6	云青 4 号	云南省农业科学院质量标准与检测技术研究所	24	16YD-5	云南省农业科学院粮食作物研究所新品系
7	云稞 4 号	云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所	25	16YD-27	云南省农业科学院粮食作物研究所新品系
8	云稞 5 号	云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所	26	20QK-9	云南省农业科学院粮食作物研究所新品系
9	滇青 1 号	云南农业大学	27	20QK-6	云南省农业科学院粮食作物研究所新品系
10	滇青 2 号	云南农业大学	28	20QK-5	云南省农业科学院粮食作物研究所新品系
11	滇青 3 号	云南农业大学	29	20QK-3	云南省农业科学院粮食作物研究所新品系
12	迪青 5 号	迪庆藏族自治州农业科学研究院	30	20QK-2	云南省农业科学院粮食作物研究所新品系
13	迪青 6 号	迪庆藏族自治州农业科学研究院	31	20QK-17	云南省农业科学院粮食作物研究所新品系
14	川 12259	四川省农业科学院	32	20QK-14	云南省农业科学院粮食作物研究所新品系
15	中甸短白青稞	迪庆藏族自治州地方品种	33	20QK-13	云南省农业科学院粮食作物研究所新品系
16	维西青稞-4	迪庆藏族自治州地方品种	34	20QK-12	云南省农业科学院粮食作物研究所新品系
17	临沧穗扁青稞	临沧市地方品种	35	20QK-11	云南省农业科学院粮食作物研究所新品系
18	临沧选二曲青稞	临沧市地方品种	36	20QK-1	云南省农业科学院粮食作物研究所新品系

1.2 试验方法

1.2.1 整穗发芽试验。穗底部保留约 3 cm 麦秆,竖直均匀随机插入发芽板中(间隔 2 cm × 3 cm),每穗为 1 重复,设置 3 次重复,置于发芽盆内,盆底部加蒸馏水,上部盖透明保鲜膜,期间不定时喷水,以保持穗部湿润,试验过程均在室温下进行,第 7 天参照 10 级标准剥穗统计籽粒发芽度^[1](1 级:种子未发芽;2 级:胚根露出长度 < 2 mm;3 级:露白,胚芽鞘出现;4 级:胚芽鞘长 1~2 mm;5 级:胚芽鞘长 > 2~3 mm;6 级:胚芽鞘长 > 3~10 mm;7 级:胚芽鞘长 > 10~20 mm;8 级:胚芽鞘长 > 20~30 mm;9 级:胚芽鞘长 > 30~40 mm;10 级:胚芽鞘长 > 40 mm,进入 1 叶期)。

1.2.2 籽粒发芽试验。选取大小整齐一致的籽粒,胚面向上均匀整齐摆放于加有 2 层滤纸、直径为 9 cm 的培养皿中,第 1 次加 4 mL 蒸馏水。每个培养皿 50 粒,3 次重复,期间每天不定时加蒸馏水以保

持滤纸湿润,第 7 天参照 10 级标准剥穗统计籽粒发芽情况。

1.2.3 籽粒休眠期测定。对各项籽粒发芽试验结束的品种,不再放回冰箱,常温存放,在直径 9 cm 的培养皿中覆盖 1 层滤纸,胚面向上均匀整齐摆放于滤纸上,第 1 次加 4 mL 蒸馏水。每个培养皿 50 粒,3 次重复。每天统计发芽数,以发芽率 > 80%作为打破休眠的标准,计算休眠天数。

1.3 统计方法

发芽率以胚根突破种皮为发芽标准。发芽率 = 7 d 种子发芽数 / 试验种子数 × 100%;

穗发芽度 = $[1 - (1 \text{ 级粒数} \times 10 + 2 \text{ 级粒数} \times 9 + \dots + 10 \text{ 级粒数} \times 1) / (\text{总粒数} \times 10)] \times 100\%$;

籽粒发芽指数 = $(\text{第 1 天发芽数} \times 7 + \text{第 2 天发芽数} \times 6 + \dots + \text{第 7 天发芽数} \times 1) / (\text{总粒数} \times 7) \times 100\%$;

休眠期以籽粒发芽率达到 80%作为打破休眠

的标准,计算休眠天数。

参考 Yang 等的方法^[16]进行改良调整,对穗发芽抗性进行分级,穗发芽度 < 5% 定为高抗, 5% ≤ 穗发芽度 < 20% 定为抗, 20% ≤ 穗发芽度 < 40% 定为中抗, 40% ≤ 穗发芽度 < 60% 定为中感, 穗发芽度 ≥ 60% 定为高感。

隶属函数计算公式为:

$$x_i = \frac{1}{n} \sum x_{ij}, x_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{jmin}}{x_{jmax} - x_{jmin}} \circ$$

式中: x_i 表示 i 品种抗性指标隶属函数值的平均值; x_{ij} 表示 i 品种 j 指标的隶属函数值; x_{jmax} 和 x_{jmin} 分别表示为 j 指标的最大值和最小值。

通过整穗发芽率、整穗发芽指数、籽粒发芽率、籽粒发芽指数、休眠期以及对应的隶属函数值,计算出各青稞材料的平均隶属函数值,综合上述各指标对参试青稞材料进行聚类分析和相关性分析。所有数据统计方法均利用 Excel 2010 和 SPSS 22.0 进行。

2 结果与分析

2.1 整穗发芽法评价结果

由表 2 可知,整穗发芽试验中,36 份青稞材料在穗发芽率和穗发芽度上均表现出差异,穗发芽率变化范围在 4.17% ~ 100.00%,其中云青 602 穗发芽率最低,为 4.17%;云青 609 和云青 4 号穗发芽率均达 100.00%。穗发芽度变化范围在 2.50% ~ 88.94%,最低为云青 602,最高是云青 4 号。对参试的 36 份青稞材料抗性分级,其中高抗 1 份(云青 602),占比仅 2.78%;抗 3 份(云青 4 号、川 12259、20QK-9),占比为 8.33%;中抗 9 份(云大麦 12 号、滇青 1 号、滇青 2 号、滇青 3 号、迪青 6 号、中甸短白青稞、15YD-3、20QK-5、20QK-3),占比为 25.00%,其余 7 份中感,16 份高感。值得注意的是,云大麦 12 号穗发芽率高达 89.74%,但穗发芽度相对较低,为 29.77%,综合评价抗性表现为中抗。

表 2 36 份供试青稞材料穗发芽评价、粒发芽评价及隶属函数分析结果

序号	穗发芽率 / %	穗发芽度 / %	籽粒发芽率 / %	籽粒发芽指数 / %	休眠时间 / d	平均隶属函数	排名	抗性评价
1	89.74 ab	29.77 ijklm	100.00 b	99.00 ab	1.00 l	0.637 0	19	中抗
2	4.17 h	2.50 m	63.00 gh	70.00 hij	12.50 hi	0.256 3	35	高抗
3	64.07 bcdefghijk	51.74 bcdefghijk	26.65 lm	76.00 ghi	46.00 d	0.532 2	25	中感
4	86.44 ab	54.98 bcdefghij	94.00 b	88.00 bcdef	4.50 kl	0.650 5	16	中感
5	100.00 a	83.90 ab	68.00 efgh	83.00 cdefg	42.50 de	0.781 0	2	高感
6	100.00 a	88.94 a	100.00 b	100.00 a	1.00 l	0.800 0	1	高感
7	21.63 gh	17.09 lm	4.00 n	64.00 jk	74.00 a	0.353 1	32	抗
8	98.04 a	67.91 abcde	100.00 b	99.00 ab	1.00 l	0.745 4	5	高感
9	49.40 bcdefg	32.02 fghijklm	61.00 hi	88.00 bcdef	10.50 ij	0.468 3	27	中抗
10	28.94 fgh	20.30 klm	30.00 klm	76.00 ghi	63.50 b	0.440 5	28	中抗
11	39.61 defgh	31.71 ghijklm	35.00 klm	64.00 jk	29.00 f	0.363 4	29	中抗
12	95.24 a	51.81 bcdefghijk	100.00 b	99.00 ab	1.00 l	0.699 9	11	中感
13	43.03 cdefgh	20.91 klm	100.00 b	98.00 ab	1.00 l	0.518 1	26	中抗
14	16.95 gh	6.18 m	9.00 n	39.00 l	16.00 h	0.087 6	36	抗
15	49.33 bcdefgh	39.65 efghijkl	40.00 jk	96.00 ab	51.00 c	0.578 8	24	中抗
16	83.33 abc	63.09 abcdefg	79.00 cde	82.00 defg	8.50 ijk	0.623 4	20	高感
17	91.18 abcdef	77.90 bcdefghi	115.71 a	93.00 abcd	2.00 l	0.767 1	3	高感
18	97.62 abcdef	43.23 hijklm	81.00 cd	83.00 cdefg	8.50 ijk	0.614 0	21	中感
19	83.77 abc	63.98 abcdef	100.00 b	100.00 a	1.00 l	0.708 4	9	高感
20	95.65 abcde	44.47 defghijk	100.00 b	98.00 ab	1.00 l	0.682 4	13	中感
21	93.26 a	78.12 ab	100.00 b	100.00 a	1.00 l	0.760 9	4	高感

(续表)

序号	穗发芽率 / %	穗发芽度 / %	籽粒 发芽率 /%	籽粒 发芽指数 /%	休眠时间 / d	平均隶属 函数	排名	抗性评价
22	95.22 a	62.18 abcdefgh	98.00 b	94.00 abc	1.50 l	0.705 9	10	高感
23	54.40 efgh	34.42 jklm	36.00 kl	66.00 ij	10.00 ij	0.358 7	30	中抗
24	93.09 abcde	73.05 bcdefghi	89.00 bc	95.00 ab	1.50 l	0.710 0	8	高感
25	87.85 abcdef	66.09 cdefghijk	73.00 defg	88.00 bcdef	42.50 de	0.740 6	6	高感
26	12.52 gh	7.86 m	24.00 m	54.00 k	52.00 e	0.259 7	34	抗
27	91.05 ab	65.96 abcde	67.00 fgh	83.00 cdefg	41.00 e	0.714 4	7	高感
28	36.67 efgh	28.15 ijklm	66.00 fgh	63.00 jk	8.50 ijk	0.354 4	31	中抗
29	33.86 efgh	25.37 ijklm	50.00 ij	62.00 jk	21.00 g	0.341 2	33	中抗
30	79.17abcd	56.42 bcdefghi	77.00 def	81.00 defgh	8.00 ijk	0.591 8	23	中感
31	72.90 abcde	54.96 bcdefghij	100.00 b	100.00 a	1.00 l	0.664 8	14	中感
32	90.00 ab	77.57 abc	68.00 efgh	79.00 fgh	9.00 ijk	0.638 2	18	高感
33	93.33 a	76.61 abcd	64.00 gh	79.00 fgh	11.00 ij	0.641 2	17	高感
34	81.47 abcd	70.16 abcde	90.42 bc	92.00 abcde	8.50 ijk	0.693 7	12	高感
35	98.92 a	82.92 ab	68.00 efgh	78.00 fgh	7.50 jk	0.663 3	15	高感
36	81.79 abc	66.02 abcde	65.00 gh	81.00 efgh	9.00 ijk	0.595 4	22	高感

注:同列数据后不同小写字母表示品种间差异具有统计学意义($P < 0.05$)。

2.2 籽粒发芽法评价结果

由表 2 可知,36 份参试材料在籽粒发芽试验中表现出较大差异,籽粒发芽率变异幅度在 4.00%~100.00%,其中云稷 4 号籽粒发芽率最低(4.00%);发芽率达到 100.00%的有 9 份,分别为云大麦 12 号、云青 4 号、云稷 5 号、迪青 5 号、迪青 6 号、临沧青稞、保山隆丰青稞 1、保山隆丰青稞 4 和保山隆丰青稞 10。籽粒发芽指数范围为 39.00%~100.00%,籽粒发芽指数最低的是川 12259(39.00%);籽粒发芽指数达到 100.00%的有 4 份,分别为云青 4 号、临沧青稞、保山隆丰青稞 4 和 20QK-17。

2.3 休眠期测定结果

由表 2 可知,休眠期表现出较强的差异,变异幅度在 1.00~74.00 d,休眠期在 5 d 以下的有 13 份材料,占 36.1%;休眠期在 5~10 d 的有 9 份,占 25.0%;>10~20 d 的有 4 份,占 11.1%;20 d 以上的有 10 份,占 27.8%。其中休眠期仅有 1.00 d 的有 9 份,分别为云大麦 12 号、云青 4 号、云稷 5 号、迪青 5 号、迪青 6 号、临沧青稞、保山隆丰种业 1、保山隆丰种业 4、20QK-17;云稷 4 号表现出最长的休眠期,达到了 74.00 d。

2.4 隶属函数综合评价及相关性分析

通过对 36 份青稞材料的穗发芽率、穗发芽度、

籽粒发芽率、籽粒发芽指数、休眠时间进行综合分析,计算隶属函数平均值(表 2),隶属函数平均值在 0.087 6~0.800 0,隶属函数平均值越低即隶属函数平均值排名越高,说明该材料的穗发芽抗性越高。参试的 36 份青稞材料穗发芽抗性排名为(以品种名称为排名顺序)川 12259>云青 602>20QK-9>20QK-3>20QK-6>云稷 4 号>20QK-5>15YD-3>滇青 3 号>滇青 2 号>滇青 1 号>迪青 6 号>云青 605>中甸短白青稞>20QK-2>20QK-1>临沧选二曲青稞>维西青稞-4>云大麦 12 号>20QK-14>20QK-13>云青 606>20QK-11>20QK-17>保山隆丰青稞 1>20QK-12>迪青 5 号>保山隆丰青稞 10>临沧青稞>16YD-5>20QK-6>16YD-27>云稷 5 号>保山隆丰青稞 4>临沧穗扁青稞>云青 609>云青 4 号。

相关性分析结果(表 3)表明,各指标之间均表现出显著相关,穗发芽度与穗发芽率呈极显著正相关;籽粒发芽率与穗发芽率、穗发芽度均呈极显著正相关;籽粒发芽指数与穗发芽率、穗发芽度、籽粒发芽率均呈极显著正相关;休眠天数与穗发芽度呈显著负相关,与其他指标呈极显著负相关;平均隶属函数与休眠天数呈显著负相关,与其他指标均呈极显著正相关。

表 3 青稞穗发芽评价各指标相关性分析

指标	穗发芽率	穗发芽度	籽粒发芽率	籽粒发芽指数	休眠时间	平均隶属函数
穗发芽率	1					
穗发芽度	0.885**	1				
籽粒发芽率	0.720**	0.568**	1			
籽粒发芽指数	0.705**	0.573**	0.834**	1		
休眠时间	-0.484**	-0.343*	-0.761**	-0.448**	1	
平均隶属函数	0.925**	0.877**	0.771**	0.857**	-0.350*	1

注:* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关,** 表示在 0.01 水平(双侧)上极显著相关。

2.5 供试材料聚类分析

通过聚类分析结果可以看出(图 1),当欧式距离为 15 的时候,可以将 36 份青稞材料划分为 2 类:第 1 类序号为 2、11、23、29、28、9、15、3、14、7、26、10,该类的 12 个材料中除 3 为中感外,其余

11 个品种都对穗发芽表现出较好的抗性,在穗发芽抗性鉴定中都表现为中抗及以上,是穗发芽抗性较高的材料。其余为第 2 类,除 1 和 13 为中抗外,其余 22 份材料均在穗发芽抗性试验中表现为中感或高感。

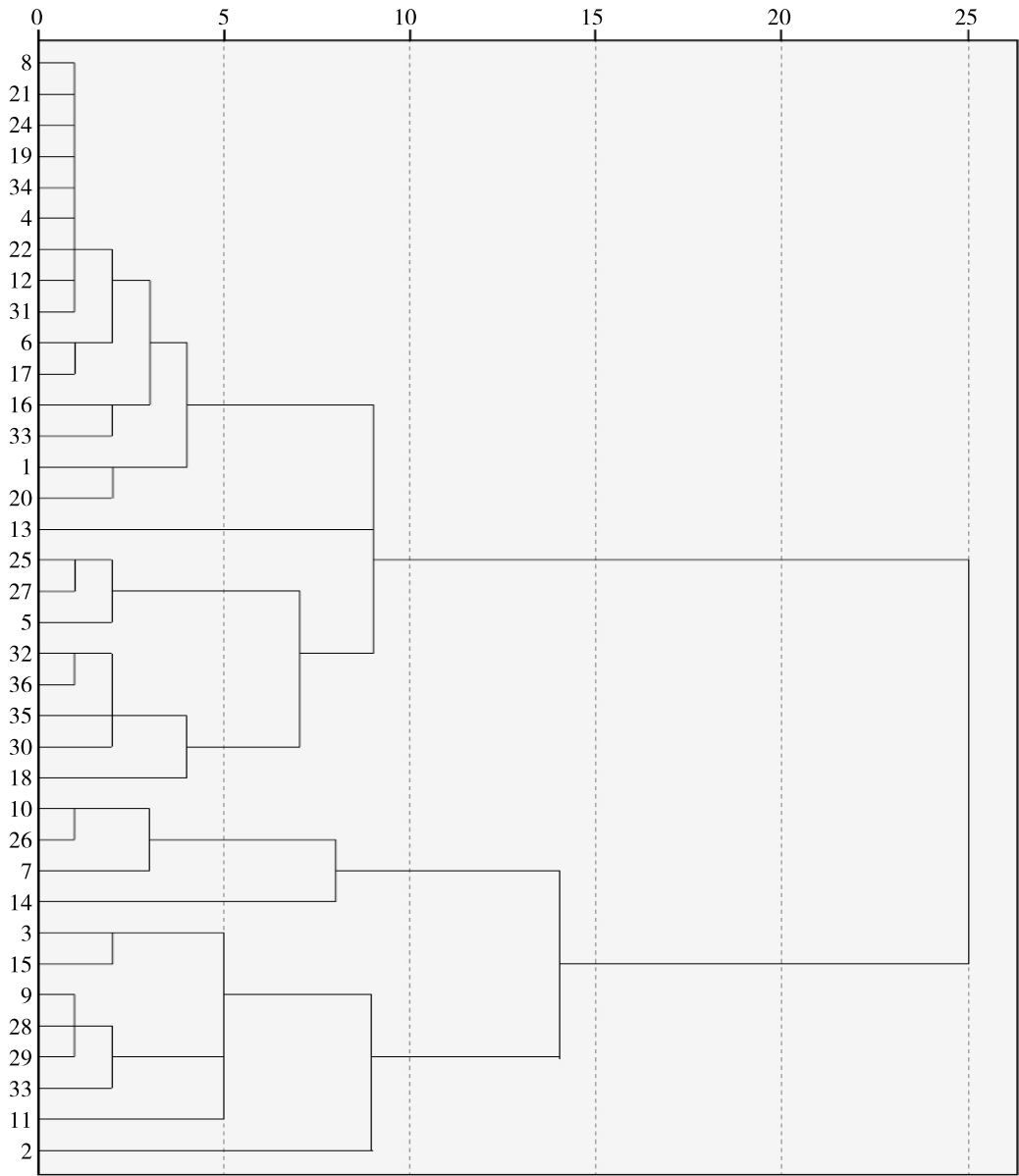


图 1 36 份供试青稞材料的聚类分析

3 讨论与结论

穗发芽率是指作物在收获前遇到连续高温高湿天气,籽粒在穗上发芽的比例。穗发芽会导致产量和质量显著下降^[7]。本研究中参试的36份青稞资源穗发芽率之间差异明显,也证明穗发芽与品种特性密切相关。穗发芽指数是通过动态监测发芽速率与活力,反映种子在特定环境下的萌发能力。其计算结合了每日发芽数与发芽时间的权重,比单纯的发芽率或发芽势更灵敏,能揭示种子早期劣变或抗逆性差异,是衡量种子发芽抗性的重要指标之一^[5]。一般来说,穗发芽指数高的种子活力也较高,反之则低^[18]。种子休眠期是指种子在成熟后,在适宜的萌发条件下不萌发,需经过一定的时间后才能萌发的现象,通常发芽指数越高,其休眠期越短^[19-20]。

本研究通过整穗发芽度、整穗发芽率、籽粒发芽率、籽粒发芽指数和隶属函数综合评价等相关方法对参试青稞材料分别进行了抗性分析评价,其中云青602、云稞4号、川12259均表现出较好的穗发芽抗性,可以作为抗穗发芽材料进一步研究和利用。在今后的推广应用中,建议优先选用云青602、云稞4号等抗性品种,适期早播,抽穗后控水并停施氮肥,蜡熟末期抢收,及时晾晒或烘干。

相关性分析结果表明,穗发芽率与籽粒发芽率、籽粒发芽指数、休眠时间均呈极显著相关,说明籽粒发芽和休眠期鉴定可以作为穗发芽抗性的依据。休眠时间与穗发芽度呈显著负相关,与其他指标呈极显著负相关。一般来说,种子休眠期越长,穗发芽各相关指标会越低,穗发芽抗性越强^[12]。本研究中参试的36份青稞资源休眠时间之间差异明显,其中云大麦12号和迪青6号的休眠时间为1.00 d,但云大麦12号的穗发芽度为29.77%,迪青6号的穗发芽度为20.91%,对比其他几份休眠期短的材料,这2份材料的穗发芽度相对较低,抗性评价结果表明这2个品种的穗发芽抗性均为中抗,可能是因为这2份材料颖壳中含有抑制发芽的物质或颖壳包裹较紧,导致整穗具有短期的穗发芽抗性。云青605虽然在聚类分析中为抗性较好的第1类,但在抗性评价中表现为中感,该材料穗发芽度较高,为51.74%,但休眠时间也较高,为46.00 d,可能与该材料的种皮结构或胚乳有关,青稞休眠与穗发芽的负相关性本质上可能是内源激素、种皮透性限制、酶活性动态及基因表达网络共同作用的结果^[21]。

通过穗发芽研究对比,发现青稞的抗性机制具有显著特异性。已有研究表明,青稞种子萌发对光质的敏感度呈现海拔梯度分化,而小麦普遍依赖红光特征,表明青稞的抗性机制更适应高原特殊环境^[22]。通过调控激素水平、改良种皮透性(如包衣技术)或基因编辑,可有效降低穗发芽损失^[23]。

穗发芽抗性主要受品种和自然因素的影响,在实际生产中应优先选择具有短生育期、耐寒性强且穗部结构紧密的品种^[15],或采用含赤霉素(GA3)和玉米素(ZT)的微生物菌剂进行种子包膜处理,既可调节萌发激素平衡,又能通过保水材料控制种子吸水速率^[24]。合理调整种植技术和田间管理也可提高穗发芽抗性,如适期早播、合理密植与轮作、精准把握收获期、适当调整灌溉策略等^[25]。本研究筛选出的云青602、云稞4号、川12259、20QK-9、云大麦12号、滇青1号、滇青2号、滇青3号、迪青6号、中甸短白青稞、15YD-3、20QK-5、20QK-3,这13份材料穗发芽抗性评价和平均隶属函数排名都表现出较强的穗发芽抗性,且在聚类分析中也属同一分类,说明本研究采用的抗性评价标准较为合理,这为云南省今后的青稞抗穗发芽育种提供了宝贵的材料,也为后续的抗性资源筛选提供了参考方法。但由于本研究仅进行了1年试验,在后续的推广应用工作中将会在不同种植区继续对试验结果加以验证。

参考文献:

- [1] 江春艳,严冬,谭进,等. 青稞的研究进展及应用现状[J]. 西藏科技,2010(2):14-16.
- [2] 夏虎,晏熙玥,卢利聃,等. 青稞的营养功能及其高值化利用研究进展[J]. 食品工业科技,2022,43(20):403-413.
- [3] 王昕慧,刘娟,李俏,等. 大麦/青稞 β -葡聚糖研究进展[J]. 应用与环境生物学报,2024,30(6):1176-1188.
- [4] 张会杰,翟荣荣,叶胜海,等. 水稻穗发芽及其调控机制研究进展[J]. 分子植物育种,2018,16(12):4106-4111.
- [5] 郭爱奎. 大麦种质资源穗发芽抗性鉴定及全基因组关联分析[D]. 北京:中国农业科学院,2022:1-7.
- [6] 曾亚文,张京,普晓英,等. 云南大麦产业发展综合研究与利用[J]. 浙江农业学报,2011,23(3):455-464.
- [7] 王志龙,王志伟,乔祥梅,等. 饲料大麦品种云大麦10号的选育[J]. 中国种业,2023(8):110-111.
- [8] 杨砚斌,杨晓梦,卢映吉,等. 播种季节和割苗期对大麦苗粉营养成分的影响[J]. 麦类作物学报,2023,43(8):1013-1019.
- [9] 王志龙,王志伟,乔祥梅,等. 密度和氮肥对青稞“云大麦12号”品质的影响[J]. 中国农学通报,2023,39(16):1-6.

- [10] LIU C X, DING F, HAO F H, et al. Reprogramming of seed metabolism facilitates pre-harvest sprouting resistance of wheat[J]. Scientific Reports, 2016, 6: 20593.
- [11] 王志龙, 于亚雄, 王志伟, 等. 小麦穗发芽抗性鉴定及机制分析[J]. 西南农业学报, 2016, 29(11): 2513–2519.
- [12] 杨金华, 于亚雄, 程加省, 等. 云南铁壳麦穗发芽抗性及成因初步研究[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(4): 747–752.
- [13] 周国雁, 陈 丹, 隆文杰, 等. 云南铁壳麦的穗发芽抗性鉴定与分析[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(3): 310–319.
- [14] 杨招娣, 郭凤根, 王仕玉, 等. 植物生长抑制剂对藜麦农艺性状和穗发芽抗性的影响[J]. 中国农业科技导报, 2024, 26(5): 44–51.
- [15] 赵 桃, 刘英华, 邓光兵, 等. 青稞穗发芽抗性测定方法的评价[J]. 应用与环境生物学报, 2009, 15(3): 380–384.
- [16] YANG Y, ZHAO X L, XIA L Q, et al. Development and validation of a *Viviparous-1* STS marker for pre-harvest sprouting tolerance in Chinese wheats [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2007, 115(7): 971–980.
- [17] 高东尧, 许纪发, 李 臻, 等. 小麦穗发芽研究进展[J]. 湖南农业科学, 2024(11): 107–112.
- [18] 陈 杰, 张星宇, 白 冬, 等. 黄淮麦区(南片)小麦穗发芽抗性评价及其等位基因检测[J]. 分子植物育种, 2023, 21(14): 4694–4701.
- [19] 邹文雄, 吴 伟, 关亚静, 等. 水稻种子休眠调控技术研究进展[J]. 浙江农业学报, 2021, 33(2): 369–379.
- [20] 朱美荣. 贮藏时间和温度对小麦穗粒发芽率与 α -淀粉酶活性的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2011: 13–25.
- [21] 蒋国梁, 陈兆夏, 刘世家, 等. 白皮小麦收获前穗发芽及品种抗性机制探讨[J]. 作物学报, 1998, 24(6): 793–798.
- [22] 苏 斌, 方睿霞, 高 婷, 等. 不同波长光照处理对青稞种子萌发的影响[J]. 种子科技, 2022, 40(1): 8–10.
- [23] 蔡文杰. 高寒地区青稞种植技术要点[J]. 农业工程技术, 2024, 44(13): 79–80.
- [24] 谢 婉, 刘 磊, 蒋姣姣, 等. PEG-6000 模拟干旱胁迫对不同品种青稞发芽的影响[J]. 西藏科技, 2020(10): 3–6, 10.
- [25] 张玉娥, 王 岩, 胡卫国, 等. 黄淮南片育成小麦品种(系)的穗发芽抗性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2024, 42(6): 1–7, 18.

Evaluation of Pre-harvest Sprouting Resistance of Major Barley Resources in Yunnan Province

LIU Lie, WANG Zhiwei, QIAO Xiangmei, CHENG Jiasheng, HUANG Tingzhi, CHENG Geng, WANG Zhilong
(Institute of Food Crops, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China)

Abstract: To identify and screen the highland barley germplasm resources with resistance to pre-harvest sprouting in Yunnan Province, this study conducted whole-spike germination tests, seed germination tests and dormancy period identification on 36 highland barley resources. Data analysis methods such as pre-harvest sprouting resistance grading, average membership function and cluster analysis were used to evaluate the pre-harvest sprouting resistance. In the spike germination resistance classification experiment and whole-spike germination test, the 36 hulless barley (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum*) materials exhibited significant variations in both spike germination rate (ranging from 4.17% to 100.00%) and spike germination degree (2.50% to 88.94%). The grain germination rate displayed a similar broad variability spectrum (4.00% to 100.00%). The membership function average values for comprehensive evaluation of sprouting resistance ranged from 0.087 6 to 0.800 0. The comprehensive evaluation results showed that among the 36 highland barley materials tested, 13 materials with better resistance were screened out, including 1 highly resistant material (Yunqing 602), 3 resistant materials (Yunke No.4, Chuan 12259, 20QK-97), and 9 moderately resistant materials (Yundamai No.12, Dianqing No.1, Dianqing No.2, Dianqing No.3, Diqing No.6, Zhongdian short white highland barley, 15YD-3, 20QK-5, 20QK-3), which can provide valuable materials for future highland barley pre-harvest sprouting resistance breeding in Yunnan Province and a reference method for subsequent screening of resistant resources.

Key Words: Highland barley; Pre-harvest sprouting index; Pre-harvest sprouting; Resistance evaluation

陈艳春,刘 帆,蔡秋华,等. 大理州饲料大麦新品系(种)综合性状比较分析[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(3):42–46(2025–04–25).
https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.03.007.

大理州饲料大麦新品系(种)综合性状比较分析

陈艳春,刘 帆,蔡秋华,李国强*,尹明芳,张 睿,王 艳

(云南大理白族自治州农业科学推广研究院,云南 大理 671005)

摘要:为筛选出优质、高产、适应性广、抗逆性强、综合性状优良的饲料大麦品种,2023—2024 年度在大理白族自治州农业科学推广研究院粮食作物研究所试验基地对选育的饲料大麦新品系进行了综合性状比较分析。结果表明:这 11 个新品系的产量较对照 V43 增产具高度统计学意义($P < 0.01$),增幅在 20.21%~49.52%。有效穗数、穗粒数、千粒质量是大麦籽粒产量的三要素,11 个新品系中,凤 2312、凤 2305、凤 2211、凤 2310、凤 2218、凤 2307 共 6 个新品系的丰产性、适应性、抗逆性、抗病性、农艺性状综合表现优良,具备较好的应用前景。本文表明有效穗数对这 6 个新品系的丰产性影响较大,生产中可通过提高品系的有效穗数、保证合适的穗粒数和千粒质量实现丰产。

关键词:饲料大麦;新品系;综合性状;三因素

中图分类号:S512.3

文献标志码:B

文章编号:1673-6486-20250027

大麦(*Hordeum vulgare* L.)是禾本科大麦属的 1 年生或多年生草本植物,是世界上最早被驯化的“多元”作物之一,集啤用、饲用、食用、保健等功能于一身^[1-3];在全世界的种植面积仅次于水稻、玉米、小麦,是世界第四大粮食作物,具有早熟、丰产、抗逆性强、适应性广等特点^[4-6]。大麦是大理州的特色优势产业,对优化该州农业产业结构、提高粮食综合生产能力、实现农民增收、企业增效、促进全州全年粮经饲协同发展具有重要意义^[7]。大麦籽粒中蛋白质、氨基酸、微量元素和维生素的含量均高于玉米,是畜牧渔业的优良饲料^[8]。张融等研究表明,大麦具有优良的饲用价值,我国现存在玉米增产有限、进口受限的问题,开发大麦的饲用价值,使其成为玉米的补充,是缓解我国饲料粮短缺的可行方法^[9]。

1 材料与方法

1.1 参试品系

参试新品系共 11 个,分别为凤 2211、凤 2216、

凤 2218、凤 2301、凤 2302、凤 2305、凤 2307、凤 2308、凤 2310、凤 2312、凤 2314,均由大理白族自治州农业科学推广研究院粮食作物研究所杂交选育而成,对照品种为 V43(CK)。

1.2 试验地概况

试验安排在大理白族自治州农业科学推广研究院粮食作物研究所试验基地(100°18'E、25°35'N),海拔 1 990 m,年平均气温 15.1℃,年降水量 1 078.9 mm。前作为水稻,土壤为粉砂土。2019 年的土壤检测结果表明,土壤有机质含量(质量分数,下同)283.2 g/kg、铵态氮(NH_4^+-N)含量 50.58 mg/kg、硝态氮(NO_3^--N)含量 119.43 mg/kg、有效磷(P_2O_5)含量 108.96 mg/kg、速效钾(K_2O)含量 126.97 mg/kg,田块土地平整,肥力中等,四周通风,透光性好,能灌能排。

1.3 试验设计

试验采用随机区组排列,重复 3 次,小区面积 6.67 m²(小区长、宽分别约为 3.33、2.00 m),每小区播 6 行,播种方式为条播,播 20 万粒/667 m²能发芽种子(每小区播 2 000 粒,定基本苗 20 万苗/667 m²),种肥和种子用量按要求称到行,分蘖肥定量到小区。

1.4 田间管理技术及措施

试验田采用机犁机耙,犁田前施腐熟农家肥 2 000 kg/667 m²作底肥,试验小区采用人工划线开墒处理。该试验田于 2023 年 11 月 1 日犁田,11 月 7 日耙田,11 月 8 日划小区,11 月 9 日开沟平墒,11 月 10 日

收稿日期:2025-03-10;修回日期:2025-04-17。

基金项目:国家大麦青稞产业技术体系大理综合试验站专项经费(CARS-05-12B);云南省技术创新人才培养对象项目(202205AD160056)。

作者简介:陈艳春(1996—),女,硕士,助理农艺师,主要从事大麦新品种选育研究。Email: lqhclucky@163.com。

* 通信作者:李国强(1967—),男,研究员,主要从事麦类新品种选育及配套技术研究。Email: lqgd1777@163.com。

整田,11月11日播种。播种时施尿素 15 kg/667 m² 和普钙 30 kg/667 m² 作种肥,11月12日灌出苗水,11月21日出苗,12月6日结合灌水追施分蘖肥尿素 10 kg/667 m²。苗期 (2.5~3.0 叶龄)12月5日用“好施乐”麦田除草组合 75 g/667 m² 对水喷雾化学除草 1 次,中期 2024 年 3 月 26 日人工除草 1 次。全生育期田间灌水共 5 次:2023 年 11 月 11 日灌出苗水 1 次,2023 年 12 月 6 日分蘖期灌水 1 次,2024 年 1 月 4 日拔节期灌水 1 次,2024 年 2 月 22 日抽穗期灌水 1 次,2024 年 3 月 19 日灌浆期灌水 1 次。主要虫害为蚜虫,全生育期共防治 3 次:2024 年 2 月 2 日,用氟啶虫胺胍 3 g/667 m² 对水喷施 1 次;2024 年 2 月 20 日,用烯啶吡蚜酮 20~25 g/667 m² 对水喷施 1 次;2024 年 3 月 18 日,用氟啶虫胺胍 9 g/667 m² 对水喷施 1 次。试验于 2023 年 4 月 22 日收获。生育期间不进行病害防治,病害统计以发病高峰期记录为最终记载,病害级别记载参照《大理州大麦品种区域试验记载标准(试行)》(地方初拟标准)。

1.5 数据处理与统计

数据采用 WPS Office 12.1.0.20305 中的表格和 DPS V20.15 高级版软件进行统计分析,不同品系间综合性状的差异显著性检验采用邓肯法 ($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。

2 结果与分析

2.1 产量

由表 1 可知,对照品种 V43 产量为 332.60 kg/667 m²,参试的 11 个新品系均较对照 V43 增产,增幅在 20.21%~49.52%,增幅较大,均与对照 V43 产量间的差异具高度统计学意义($P<0.01$)。产量居前三位的分别是凤 2312、凤 2305 和凤 2211,其中:凤 2312 产量为 497.30 kg/667 m²,较对照增产 49.52%;凤 2305 产量为 460.60 kg/667 m²,较对照增产 38.48%;凤 2211 产量为 452.94 kg/667 m²,较对照增产 36.18%。产量居第 4~11 位的依次是凤 2310、凤 2218、凤 2307、凤 2314、凤 2302、凤 2301、凤 2216 和凤 2308,产量在 399.82~444.39 kg/667 m²。

表 1 参试大麦品系(种)产量及产量差异方差分析结果

品系(种)	小区平均产量 /kg	产量 /(kg/667 m ²)	较对照增产 /%	产量位次	5%显著水平	1%极显著水平
凤 2211	4.53	452.94	36.18	3	abc	AB
凤 2216	4.01	400.46	20.40	10	c	B
凤 2218	4.38	438.03	31.70	5	bc	AB
凤 2301	4.17	416.99	25.37	9	bc	B
凤 2302	4.26	425.88	28.05	8	bc	AB
凤 2305	4.61	460.60	38.48	2	ab	AB
凤 2307	4.37	436.91	31.36	6	bc	AB
凤 2308	4.00	399.82	20.21	11	c	B
凤 2310	4.45	444.39	33.61	4	bc	AB
凤 2312	4.98	497.30	49.52	1	a	A
凤 2314	4.36	435.99	31.09	7	bc	AB
V43(CK)	3.33	332.60	—	12	d	C

2.2 参试大麦品系(种)的主要农艺性状

对参试大麦品系(种)的主要农艺性状进行统计比较(表 2),具体结果如下。

参试品系(种)基本苗数在 13.35 万~17.31 万株/667 m²,最高的是 V43,最低的是凤 2307;最高茎蘖数在 63.75 万~74.49 万个/667 m²,最高的是凤 2308,最低的是对照 V43。

有效穗数在 25.71 万~37.72 万个/667 m²,最高的是凤 2312,最低的是凤 2301,对照 V43 有效穗数为 26.31 万个/667 m²,其余品系有效穗数在 27.15 万~33.50 万个/667 m²。凤 2312 的成穗率最高,为 57.03%;凤 2308 的成穗率最低,为 36.45%;其余品系成穗率在 38.69%~50.60%。

穗粒数在 38.3~58.1 粒/穗,品系间差异较大,

对照 V43 的穗粒数为 38.3 粒 / 穗, 所有品系穗粒数均高于对照。风 2301 的穗粒数最高, 为 58.1 粒 / 穗, 其余品系穗粒数在 43.8 ~ 54.1 粒 / 穗。

千粒质量在 30.6 ~ 44.8 g, 对照 V43 的千粒质量为 43.6 g, 最高的是风 2218, 最低的是风 2302, 其余品系千粒质量在 30.9 ~ 40.5 g。

株高 90 ~ 104 cm, 风 2218 最高, 风 2307 最低, 对照 V43 株高 97 cm, 其余品系株高 92 ~ 103 cm。

参试品系穗长 3.5 ~ 5.9 cm, 风 2301 最长, 风

2314 最短, 其余品系穗长 3.6 ~ 5.5 cm。

2.3 参试大麦品系的生育期

由表 3 可知, 所有参试品系于 2023 年 11 月 11 日同时播种, 均于 2023 年 11 月 21 日出苗。抽穗期最早的品系是风 2216 和风 2307, 于 2024 年 2 月 19 日抽穗, 其余品系较对照 V43 同期或晚抽穗 1 ~ 3 d。对照品种 V43 生育期为 146 d, 风 2308、风 2310、风 2312、风 2314 与对照同期成熟, 其他品系较对照早熟 2 ~ 10 d。

表 2 参试大麦品系(种)的主要农艺性状

品系(种)	基本苗数 / (万株 /667 m ²)	最高茎蘖数 / (万个 /667 m ²)	有效穗数 / (万个 /667 m ²)	成穗率 / %	株高 / cm	穗长 / cm	穗粒数 / (粒 / 穗)	千粒质量 / g
风 2211	14.71	64.17	28.89	45.02	103	4.9	51.2	35.8
风 2216	14.87	66.39	29.25	44.05	100	5.4	54.1	37.5
风 2218	16.35	64.89	29.93	46.12	104	3.6	44.1	44.8
风 2301	13.47	66.45	25.71	38.69	95	5.9	58.1	32.7
风 2302	14.77	68.91	31.33	45.46	96	5.5	51.6	30.6
风 2305	14.23	68.49	32.21	47.02	98	4.7	50.5	35.1
风 2307	13.35	66.21	33.50	50.60	90	5.1	50.4	32.2
风 2308	15.99	74.49	27.15	36.45	97	4.5	45.7	36.0
风 2310	14.41	63.99	29.43	45.99	100	5.0	49.6	34.7
风 2312	13.83	66.15	37.72	57.03	92	5.2	48.3	30.9
风 2314	15.33	66.99	29.15	43.51	103	3.5	43.8	40.5
V43(CK)	17.31	63.75	26.31	41.27	97	4.2	38.3	43.6

表 3 参试大麦品系(种)的生育期

品系(种)	播种期(月 - 日)	出苗期(月 - 日)	抽穗期(月 - 日)	成熟期(月 - 日)	生育期 /d	较对照增 /d
风 2211	11-11	11-21	02-20	04-09	140	-6
风 2216	11-11	11-21	02-19	04-09	140	-6
风 2218	11-11	11-21	02-22	04-05	136	-10
风 2301	11-11	11-21	02-21	04-10	141	-5
风 2302	11-11	11-21	02-22	04-11	142	-4
风 2305	11-11	11-21	02-22	04-13	144	-2
风 2307	11-11	11-21	02-19	04-09	140	-6
风 2308	11-11	11-21	02-23	04-15	146	0
风 2310	11-11	11-21	02-22	04-15	146	0
风 2312	11-11	11-21	02-21	04-15	146	0
风 2314	11-11	11-21	02-22	04-15	146	0
V43(CK)	11-11	11-21	02-20	04-15	146	—

2.4 参试大麦品系的抗病性和抗逆性

由表 4 可知,所有品系(种)抗寒性、抗旱性均为高抗;除品系风 2216、风 2305 发生零星倒伏外,其余品系抗倒伏性均为高抗。风 2308 高抗白粉病,

V43 中抗白粉病,其余品系未发现白粉病;风 2302 高抗网斑病,V43 中抗网斑病,其余品系未发现网斑病;所有品系(种)未发生锈病、条纹病。

表 4 参试大麦品系(种)的抗病性和抗逆性

品系(种)	病害					抗逆性		
	白粉病	网斑病	锈病	条纹病	其他病害	抗寒性	抗旱性	抗倒伏性
风 2211	1	1	1	1	无	1	1	1
风 2216	1	1	1	1	无	1	1	2
风 2218	1	1	1	1	无	1	1	1
风 2301	1	1	1	1	无	1	1	1
风 2302	1	2	1	1	无	1	1	1
风 2305	1	1	1	1	无	1	1	2
风 2307	1	1	1	1	无	1	1	1
风 2308	2	1	1	1	无	1	1	1
风 2310	1	1	1	1	无	1	1	1
风 2312	1	1	1	1	无	1	1	1
风 2314	1	1	1	1	无	1	1	1
V43	3	3	1	1	无	1	1	1

注:大麦品种的抗病性强弱分级为 1 免疫,2 高抗,3 中抗,4 中感,5 高感;抗逆性强弱分级为 1 高抗,2 抗,3 中抗,4 不抗,5 极不抗。

3 讨论与结论

参试的 11 个新品系均较对照 V43 增产,增幅在 20.21%~49.52%,增幅较大,均与对照 V43 产量差异具高度统计学意义($P<0.01$)。有效穗数、千粒质量、穗粒数是大麦籽粒产量的三要素,但对大麦产量的作用程度不一致^[10-11]。三要素对大麦产量作用的程度是穗粒数>有效穗数>千粒质量^[11],或是有效穗数>千粒质量>穗粒数^[12-13],又或是穗粒数>千粒质量>有效穗数^[14]。11 个品系中,风 2312、风 2305、风 2211、风 2310、风 2218、风 2307 共 6 个新品系的丰产性、适应性、抗逆性、抗病性、农艺性状综合表现优良,具备较好的应用前景。其中:风 2312 产量最高,虽然穗粒数和千粒质量偏低,但有效穗数最高,推测该品系的丰产性主要受有效穗数影响;风 2305 产量位居第 2 位,有效穗数较高,穗粒数中等,千粒质量中等偏低,推测该品系的丰产性主要受有效穗数和穗粒数影响;风 2211 产量位居

第 3 位,有效穗数偏低,穗粒数和千粒质量中等,推测该品系的丰产性主要受穗粒数和千粒质量影响;风 2310 产量位居第 4 位,有效穗数中等,穗粒数和千粒质量中等偏低,推测该品系的丰产性主要受有效穗数影响;风 2218 产量位居第 5 位,有效穗数中等,穗粒数偏低,千粒质量最高,推测该品系的丰产性主要受千粒质量和有效穗数影响;风 2307 产量位居第 6 位,有效穗数较高,穗粒数中等,千粒质量偏低,推测该品系的丰产性主要受有效穗数和穗粒数影响。由此可以看出,三要素中有效穗数对产量位居前 6 位的品系作用程度较大,生产中可以通过提高品系的有效穗数,保证适宜的穗粒数和千粒质量而实现丰产。产量位居前 6 名的品系均未发生任何病害、冻害、旱害和倒伏,说明这 6 个品系具有较强的抗病性和抗逆性,后续将对这 6 个品系开展区域试验,通过多年多点试验进一步筛选出丰产性、适应性、抗逆性、抗病性、农艺性状综合表现的广适品系。

参考文献:

- [1] 卢良恕. 中国大麦学[M]. 北京:中国农业出版社,1996:1.
- [2] 刘亚楠. 大麦种质资源遗传多样性研究及种质的评价与筛选[D]. 扬州:扬州大学,2017:1-4.
- [3] 王志龙,乔祥梅,刘 列,等. 中国大麦品种登记现状及分析[J]. 中国种业,2025(1):9-14.
- [4] 蔡秋华,刘 帆,杨俊青,等. 大理州 11 个大麦新品系综合性状的比较分析[J]. 大麦与谷类科学,2017,34(4):35-39.
- [5] 付正波,许金波,赵加涛,等. 高产优质饲料大麦新品种保饲麦 30 号的选育及栽培技术[J]. 大麦与谷类科学,2024,41(3):54-57.
- [6] 郑家文,张中平. 云南饲料大麦栽培技术[J]. 大麦与谷类科学,2015,32(1):16-20.
- [7] 李国强,吴显成,李 江,等. 发挥优势强化创新实现大理州大麦产业可持续发展[J]. 云南农业科技,2008(增刊 3):11-13.
- [8] 杨建明,沈秋泉,杨文新,等. 浙江省饲料大麦的开发利用与育种展望[J]. 大麦科学,2000,17(1):1-3.
- [9] 张 融,李先德. 饲料大麦的应用价值及开发前景[J]. 中国食物与营养,2015,21(7):27-31.
- [10] 贾巧君,汪军妹,朱靖环,等. 大麦产量相关性状 QTL 热点区域研究[J]. 浙江农业学报,2013,25(3):443-444,446-449.
- [11] 冯 辉,王树杰,邵战宁,等. 大麦品种驻大麦 4 号产量构成因素的通径分析[J]. 种子,2017,36(7):76-77,81.
- [12] 刘 帆,杨俊青,蔡秋华,等. 凤大麦 7 号产量构成因素及其相关性和通径分析[J]. 中国种业,2017(10):47-49.
- [13] 赵加涛,刘猛道,杨向红,等. 保大麦 20 号高产稳产性及产量构成因素分析[J]. 安徽农业科学,2020,48(16):30-32.
- [14] 赵加涛,刘猛道,付正波. 保大麦 25 号高产稳产性及产量构成因素分析[J]. 安徽农业科学,2024,52(13):19-21.

Comparative Analysis of Comprehensive Traits of New Forage Barley Lines (Varieties) in Dali Prefecture

CHEN Yanchun, LIU Fan, CAI Qiuhua, LI Guoqiang, YIN Mingfang, ZHANG Rui, WANG Yan
(Dali Bai Autonomous Prefecture Academy of Agricultural Sciences and Technology Extension, Dali 671005, China)

Abstract: In order to screen out the forage barley varieties with high quality, high yield, wide adaptability, strong stress resistance and excellent comprehensive traits, the comparative analysis of comprehensive traits of the new forage barley lines selected by Dali Bai Autonomous Prefecture Academy of Agricultural Sciences and Technology Extension was studied at the experimental base of the Institute of Food Crops during 2023—2024. The results showed that compared with the control V43, the yield of these 11 new lines increased extremely significantly ($P < 0.01$), and the increase was between 20.21% and 49.52%. Effective spike, grains per spike and thousand-grain weight are the three factors that affect the grain yield of barley. Among the 11 new lines, Feng 2312, Feng 2305, Feng 2211, Feng 2310, Feng 2218, Feng 2307, a total of 6 new lines have excellent comprehensive performance in terms of high yield, adaptability, stress resistance, disease resistance, and agronomic traits. They possess good application prospect. The results showed that effective spike had a great effect on the yield of these 6 new strains, and the high yield could be achieved by increasing the effective spike and combining the proper grains per spike and thousand-grain weight.

Key Words: Forage barley; New line; Comprehensive traits; Three factors

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

唐文雪,马忠明,薛 亮,等. 腐熟牛粪氮不同比例替代化肥氮对膜下滴灌水稻产量、品质及氮肥利用率的影响[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(3):47–56(2025–04–25). <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.03.008>.

腐熟牛粪氮不同比例替代化肥氮对膜下滴灌水稻产量、品质及氮肥利用率的影响

唐文雪¹,马忠明²,薛 亮¹,连彩云¹,王智琦¹,罗双龙¹,段 誉^{2*}

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所,甘肃 兰州 730070;2. 甘肃省农业科学院,甘肃 兰州 730070)

摘要:探索膜下滴灌水稻栽培适宜的有机氮替代化肥氮水平,为河西绿洲灌区水稻的高产优质施肥提供技术支撑。2022 年在张掖市甘州区张掖节水农业试验站进行田间试验,设置不施氮肥对照(CK)、单施化肥(0%ON)和有机肥氮替代化肥氮 25%(25%ON)、50%(50%ON)、75%(75%ON)、100%(100%ON)6 个处理,研究有机氮配施对水稻产量、稻米品质及氮素利用率的影响。结果表明:在 225 kg/hm² 施氮水平下,有机氮配施能有效提高水稻产量和氮肥利用率,对稻米品质的提升效果尤为显著。有机肥配施处理幼苗成活率比单施化肥显著提高 6.36%~17.76%,产量比不施肥处理显著提高 17.30%~34.21%。与单施化肥相比,25%ON、50%ON 处理产量仅分别降低 1.45%、5.74%,并且 25%ON 处理氮肥利用率差异不具有统计学意义,有机氮配施处理显著降低稻米蛋白质含量 0.74%~5.93%、直链淀粉含量 1.14%~5.14%,提高水稻的整精米率 1.92%~4.22%、食味值 0.61%~1.83%。25%ON、50%ON 处理垩白粒率分别显著降低 5.26%、13.16%、垩白度分别显著降低 11.76%、17.65%。兼顾产量、氮肥利用率及稻米食味品质等综合品质,确定有机氮替代化肥氮 25%~50%比例是河西绿洲灌区实现水稻高产、品质提升的最佳比例。

关键词:膜下滴灌水稻;有机无机氮肥配施;产量;品质;氮肥利用率

中图分类号:S511

文献标志码:A

文章编号:1673-6486-20250011

水稻是我国重要的粮食作物之一,其播种面积约占粮食作物总面积的 27%,稻谷产量占谷物总产的 40%以上^[1]。随着社会经济的发展和消费需求的升级,稻米市场逐渐从追求产量向注重品质转变,尤其是食味品质优异的稻米备受关注^[2-3]。在水稻生产中,产量和品质的形成受多重因素调控,包括生态环境、遗传特性及栽培管理措施等^[4]。其中,氮素作为水稻生长所需的核心营养元素,其施用方式与效率直接影响产量潜力的发挥和稻米品质的提升^[5]。然而,传统的高量化肥投入模式虽短期内提高了产量,却引发了一系列问题:长期过量施用氮肥不仅导致生产成本增加、病虫害加剧,还会降低稻米加工品质和食味值^[6-7];此外,氮肥利用率低下造成的资源浪费和面源污染已成为限制农业可持续发展的瓶颈^[8]。

在此背景下,有机肥与化肥配施技术逐渐成为优化氮素管理的重要方向。有机肥具有养分释放平稳、改良土壤结构等优势,长期施用可提升土壤肥力并降低环境风险^[9]。研究表明,有机肥的合理施用能显著提高稻米整精米率,降低垩白粒率,同时适度调控蛋白质和直链淀粉含量,从而改善稻米的外观、加工及蒸煮品质^[10-11]。然而,有机肥养分含量低且矿化缓慢的特性,使其单独施用难以满足水稻生育前期对速效养分的需求^[12]。因此,探索有机肥与化肥的优化配比模式,成为平衡高产、优质与资源高效利用的关键。

近年来,国内外学者围绕有机无机氮肥配施比例开展了大量研究。例如,唐丽等提出 8:2 的有机无机氮配比可实现水稻产量与环境效益的协同提升^[13];汪吉东等基于鸡粪氮替代试验,发现 25%~50%的替代比例可显著提高土壤肥力和水稻产量^[14];周江明进一步指出,20%~40%的有机氮替代比例在改善稻米品质方面效果显著^[15]。周运陆等提出 25%有机肥氮替代化肥氮显著提高了水稻的氮肥吸收利用率^[16]。田发祥等研究表明,减氮 30%的有机肥无机肥配施处理促进水稻 N 素养分吸收,降低资源浪费^[17]。然而,这些研究多集中于传统水田栽培模

收稿日期:2025-01-19;修回日期:2025-04-13。

基金项目:国家重点研发计划(2023YFD2301100);甘肃省科技计划(21YF5NA145)。

作者简介:唐文雪(1967—),女,研究员,主要从事作物高水效研究。Email: gstw@163.com。

* 通信作者:段 誉(1989—),男,助理研究员,主要从事水资源高效利用及设施农业栽培技术研究。Email: 809126841@qq.com。

式,且不同区域因气候、土壤及管理措施的差异,适宜配比可能存在较大变异^[18]。

河西走廊地处西北干旱区,光热资源丰富,是我国重要的商品粮生产基地,并且灌区畜牧业生产规模不断扩大,畜禽粪便资源化利用也得到快速发展。据统计,甘肃省每年产出畜禽粪便 8 000 万 t^[19],为农业生产提供了优质廉价的有机肥资源,可以用来增补土壤有机质、提高土地肥力、改良土壤结构,从而提高作物产量^[20-21]。因此肥料化是有机废弃物资源化利用的重点发展方向之一。水稻膜下滴灌技术是新疆天业集团近年来研发的一种创新型栽培技术,该技术改变了水稻传统种植的淹灌式,将机械播种、地膜覆盖、滴灌技术、随水施肥等技术有机结合,是水稻生产中节水效果最明显的技术,比传统水稻栽培方式节水 60%以上^[22]。适时、适量的随水滴肥精准施肥技术,将肥料利用率提高了 10%以上^[23]。近年来,膜下滴灌技术因其节水增效的优势,逐渐成为该区域水稻栽培的创新模式^[24]。然而,现有研究多聚焦于化肥的优化施用,对有机、无机氮肥配施在滴灌水稻中的效应仍缺乏系统探索。尤其在干旱区特殊的水肥耦合条件下,有机肥的矿化速率、养分释放规律及其对水稻产量和品质的影响机制尚不明确。因此,本研究在前期膜下滴灌水稻化肥优化方案(N 225 kg/hm²,分 4 次施用)^[24]的基础上,设置不同有机氮替代比例处理,系统分析其对水稻产量、稻米品质及氮肥利用率的影响,旨在明确干旱绿洲灌区膜下滴灌水稻的有机、无机氮肥最佳配施比例,为区域水稻绿色高产优质栽培提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

张掖节水农业试验站(100°26'E、38°56'N)地处甘肃省甘州区小满镇,位于河西走廊中部,黑河

中上游。该区域地势平坦、交通便利、灌溉方便,基础设施较为完善,为农业科研和试验提供了良好的条件。该区域年降水量不足 130 mm,年蒸发量高达 2 075 mm。光热资源丰富,年均气温 7.38 ℃,日照时数高达 2 932 ~ 3 085 h,属于典型的没有灌溉就没有农业的区域。

试验于 2022 年 4—9 月开展。试验地土壤属灌漠土,播前 0 ~ 20 cm 土壤全氮含量(质量分数,下同)0.77 g/kg、速效钾含量 82.0 mg/kg、有效磷含量 24.7 mg/kg、有机质含量 7.9 g/kg、全盐含量 1.744 g/kg、pH 值为 8.22。

1.2 试验设计

试验设 6 个处理:不施氮肥、单施化肥(优化施氮量)及 25%、50%、75%、100%有机肥氮替代相应化肥氮,以上处理代码分别为 CK、0%ON、25%ON、50%ON、75%ON、100%ON。除 CK 外,各处理 N、P₂O₅、K₂O 采用等量原则,施入量分别为 225、90、150 kg/hm²,牛粪施用量以 N 总量的比例计算,牛粪有机肥带入的 P₂O₅、K₂O 养分在化肥投入量中减除。牛粪、磷肥和钾肥播前整地时作为基肥施入,化肥氮分基肥、分蘖肥、穗肥、粒肥施入,比例分别为 15%、30%、40%、15%。试验采用随机区组设计,小区面积 33 m²,3 次重复。试验过程中严格控制其他变量,确保试验结果的可靠性。小区间以 50 cm 的分隔行隔开。各处理化肥和有机肥具体投入量见表 1。

供试水稻为“乌江黑芒稻”品种。氮肥为尿素[w(N)=46.4%],由奎屯锦疆化工有限公司生产。磷肥为重过磷酸钙[w(P₂O₅)=46%],由云南省昆明市海口宏宝磷肥厂生产。钾肥为硫酸钾[w(K₂O)=50%],由国投新疆罗布泊钾盐有限公司生产。有机肥为甘肃省前进牧业科技有限责任公司提供的发酵腐熟牛粪,其有机质含量(质量分数,下同)31.1%、全氮含量 1.87%、全磷(P₂O₅)含量 0.35%、全钾(K₂O)含量 1.13%(以干基计)。

表 1 有机肥和化肥养分投入量

处理	有机肥料/(kg/hm ²)			化肥/(kg/hm ²)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	0	0	0	0	90.00	150.0
0%ON	0	0	0	225.00	90.00	150.0
25%ON	56.25	10.53	33.9	168.75	79.47	116.1
50%ON	112.50	21.06	67.8	112.50	68.94	82.2
75%ON	168.75	31.58	101.7	56.25	58.42	48.3
100%ON	225.00	42.11	135.6	0	47.89	14.4

1.3 栽培模式

播种采用一膜两管八行模式,即 1 幅宽度 145 cm 地膜,铺设 2 条滴灌带,种植 8 行水稻,带幅宽为 165 cm,穴距 10 cm。选用专用播种机覆膜、播种,宽窄行种植,种植密度 48.5 万穴/hm²,穴播种子 6~8 粒,播种深度 2.5~3.0 cm。采用水肥一体机在生育期灌水 9 000 m³/hm²。在 2022 年 5 月 5 日播种,9 月 28 日收获。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 测定水稻幼苗成活率。幼苗成活率=幼苗成活株数/出苗株数×100%。

1.4.2 监测水稻茎蘖动态。在水稻 3 叶期前,在每个试验小区随机选取 3 个(1.65 m×1.00 m)样方,调查单位面积基本苗数,并在滴灌带同侧距离 13、23 cm 位置选取均匀度、大小等具有代表性的连续 10 穴稻株,并作好标记。在水稻分蘖开始后,每 10 d 调查茎蘖数 1 次。

1.4.3 测定地上部干物质量。在分蘖、拔节、抽穗、灌浆及成熟期,每区随机选取有代表性的连续 6 穴水稻,并连根挖出清洗去根装袋,带回实验室在烘箱(105 ℃)杀青 30 min,并烘干(80 ℃)至恒质量后称质量记载。

1.4.4 测定植株全氮。收获期从非测产区随机选取 3 穴,秸秆和籽粒分别粉碎并过 2 mm 筛备用。植株样品全氮含量(质量分数)测定采用凯氏定氮法。

1.4.5 测定稻米品质及食味指标^[25]。将水稻籽粒风干干燥,待理化性质稳定后(一般为 3 个月后)进行测定。按照 GB/T 17891—1999《优质稻谷》的方法测定稻米的整精米率、垩白度、垩白粒率等。采用丹麦 FOSS 生产的多功能品质分析仪(NIRS DS2500)测定稻米的直链淀粉及蛋白质含量。

采用日本佐竹公司生产的米饭食味计(STA1A)测定米饭的完整性、色泽、光泽、气味、口感的综合评分值。

1.4.6 测产和考种。收获期随机取样测产,测产面积为 16.5 m²(5.0 m×3.3 m)。先调查有效穴数,然后收获测定籽粒产量、秸秆产量。同时非测产区随机选取连续的 10 穴水稻,测定有效穗数、千粒质量等考种指标。

1.5 计算方法

采用下列方法计算氮素相关指标^[26-27]:

水稻氮素累积量(kg/hm²)=籽粒产量(kg/hm²)×籽粒含氮量(%) + 秸秆产量(kg/hm²)×秸秆含氮量(%);

氮素吸收利用率=[施氮区作物吸氮量(kg/hm²) - 不施氮区作物吸氮量(kg/hm²)]/施氮量(kg/hm²)×100%;

氮肥农学利用率(kg/kg)=[施氮区籽粒产量(kg/hm²) - 不施氮区籽粒产量(kg/hm²)]/施氮量(kg/hm²);

氮肥偏生产力(kg/kg)=施氮区籽粒产量(kg/hm²)/施氮量(kg/hm²);

土壤氮素依存率=不施氮区作物吸氮量(kg/hm²)/施氮区作物吸氮量(kg/hm²)×100%。

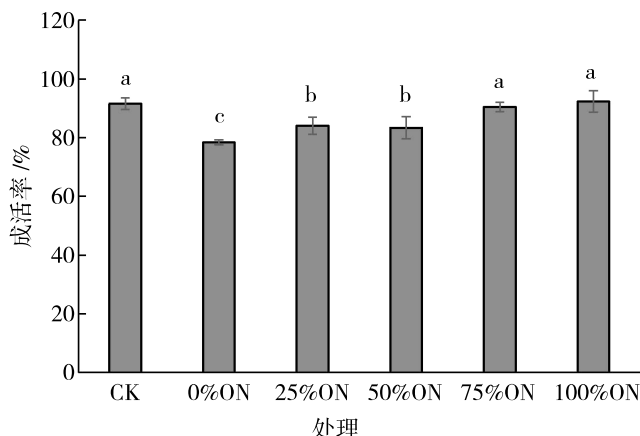
1.6 数据处理及分析方法

采用 SPSS 18.0 和 Excel 2019 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 有机、无机氮肥配比比例对膜下滴灌水稻生长发育的影响

2.1.1 不同处理对水稻幼苗成活率的影响。膜下滴灌条件下,水稻幼苗成活受土壤盐分影响较大,供试土壤全盐含量 1.74 g/kg,盐分处于轻度盐渍化水平,可在一定程度上制约幼苗成活率。如图 1 所示,有机肥配施可显著影响膜下水稻幼苗成活率,随有机氮配施比例的增加幼苗成活率呈增加趋势。与单施化肥(0%ON)处理相比,有机氮配施处理幼苗成活率分别显著提高 7.23%、6.36%、15.46%、17.76%。与不施肥 CK 相比,单施化肥(0%ON)处理显著降低 14.40%,25%ON、50%ON 处理分别显著降低 8.21%、8.96%,75%ON 仅降低 1.16%,100%ON 反而增加 0.80%。以上结果说明配施有机肥可有效缓解土壤盐渍化对水稻幼苗的危害。

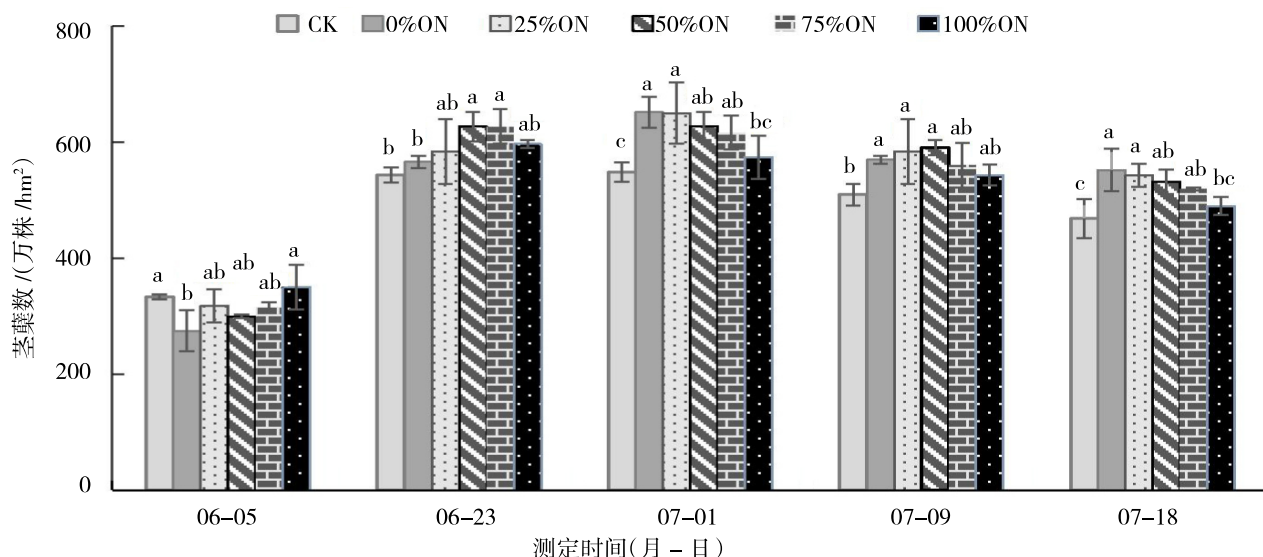


不同小写字母表示处理间差异具有统计学意义($P < 0.05$)

图 1 不同配施比例下水稻幼苗成活率

2.1.2 不同处理对水稻分蘖发育的影响。田间观测数据显示,不同处理水稻分蘖进程呈现显著时序差异($P<0.05$)。如图 2 所示,水稻播后 30 d 时,单施化肥(0%ON)处理水稻茎蘖数为 274.79 万株/hm²,显著低于不施肥 CK 及 100%ON 处理,并且随有机氮配比增加,水稻茎蘖数有增加趋势。播后 48、56 d 调查结果显示,随有机氮配比增加,有机肥配施

处理茎蘖数先增加后减少。与 30 d CK 茎蘖数相比,播后 48 d 的有机氮配施处理茎蘖数增幅为 75.31%~88.28%,播后 56 d 增幅为 72.33%~95.23%。播后 48、56 d 是分蘖的快速发生期,是水稻适宜群体形成的关键时期。播后 56 d 水稻茎蘖数达到最大,达 547.94 万~651.46 万株/hm²,之后水稻茎蘖数总体呈降低趋势。



同一测定时间不同小写字母表示处理间差异具有统计学意义($P<0.05$)。图 3 同

图 2 不同配施比例的膜下滴灌水稻茎蘖动态变化

2.1.3 水稻干物质积累的动态分析。如图 3 所示,随水稻生育进程推进,水稻地上部干物质积累呈现“慢-快-慢”,即分蘖期、成熟期两头慢,中间拔节、抽穗、灌浆期快的特点,在成熟期干物质质量达到最大。从各生育期看,有机氮配施处理均可显著提高干物质质量的积累。与 CK 相比,分蘖期有机肥配施处理 25%ON、50%ON、75%ON、100%ON 干物质质量增幅分别为 30.59%、28.82%、21.89%、18.04%,各处理间干物质质量

差异均无统计学意义;在成熟期有机肥配施处理干物质质量增幅分别为 28.16%、28.03%、23.34%、14.85%,处理间差异增大。分蘖期后,化肥(0%ON)处理干物质积累量在拔节期、抽穗期、成熟期最大,呈现干物质积累量随有机氮比例的增加而降低的趋势,并且随生育时期推进,有机氮配施处理间差异增大。以上分析说明增加施氮量可显著提高干物质积累量,但有机氮配施比例过高对生物量积累有负效应。

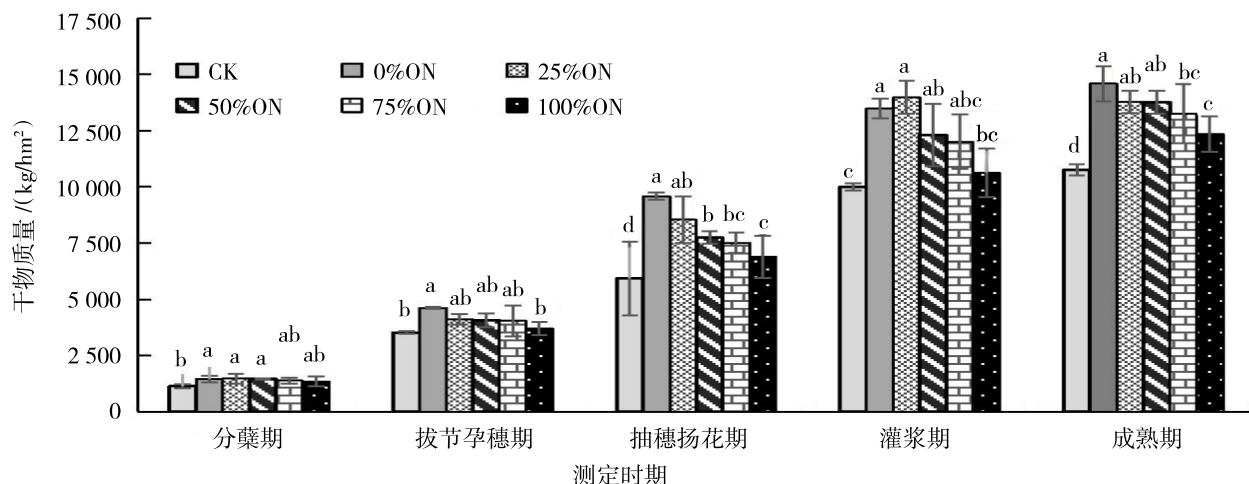


图 3 不同配施比例的膜下滴灌水稻地上部干物质质量动态变化

2.2 有机、无机氮肥配施对膜下滴灌水稻产量及产量构成因子的影响

有效穗数、穗粒数、千粒质量是水稻主要产量因子。如表 2 所示,有机氮肥配施可显著提高水稻产量。单施化肥(0%ON)处理水稻产量最高,随有机氮配施比例增加,水稻产量呈降低趋势。与化肥(0%ON)处理产量相比,有机氮替代 25%、50%时产量仅分别降低 1.45%、5.74%,三者间的产量差异无统计学意义;但有机氮替代比为 75%、100%时,水稻产量分别显著降低 10.10%、13.86%。表明等氮量替代条件下,有机氮替代化肥氮比例小于 50%能够保证水稻产量,替代比例超过 50%不利于水稻高产,因为高比例有机肥中的养分释放速度过慢,影响水稻产量的形成。

随有机氮配施比例增加水稻有效穗数呈下降趋势。与水稻有效穗数最高的单施化肥相比,25%ON、50%ON 处理有效穗数仅分别降低 2.28%、10.52%,但 75%ON、100%ON 处理分别显著降低 18.63%、19.67%。有机氮配施对结实率、穗实粒数、千粒质量等因子也有显著影响。与单施化肥相比,25%ON、50%ON、75%ON 处理的实粒数及各有机氮配施处理千粒质量降幅均较小,差异无统计学意义。以上分析说明,有机氮与化肥氮配施可显著影响水稻

有效穗数,进而显著影响膜下滴灌水稻产量。

2.3 有机、无机氮肥配施对膜下滴灌水稻品质的影响

由表 3 可知,有机氮配施对膜下滴灌水稻品质具有显著影响,随有机氮替代化肥氮比例增加,稻米出糙率、整精米率、食味值总体呈上升趋势,而直链淀粉、蛋白质含量总体呈下降趋势,垩白粒率、垩白度呈先下降后上升趋势。与单施化肥(0%ON)处理相比,有机氮配施处理稻谷整精米率、食味值明显提升,增幅分别为 1.92%~4.22%、0.61%~1.83%,但有机氮配施处理间差异无统计学意义;有机氮配施处理直链淀粉、蛋白质含量显著下降,降幅分别为 1.14%~5.14%、0.74%~5.93%。有机氮配施垩白粒率及垩白度显著降低,其中 25%ON、50%ON 处理垩白粒率及垩白度最小,与单施化肥(0%ON)处理相比,垩白粒率降幅分别为 5.26%、13.16%,垩白度降幅分别为 11.76%、17.65%。以上分析说明,有机无机氮肥配施有利于提高稻米品质,在产量不减的情况下,用 25%、50%有机肥配施处理能显著提高稻米整精米率、食味值,降低直链淀粉、蛋白质含量,并且稻米垩白粒率、垩白度达到最低,稻米加工、外观、食味等整体品质较好。

表 2 不同配施比例对水稻产量及产量构成因子的影响

处理	成穗率 / %	有效穗数 / (万个 / hm ²)	实粒数 / (粒 / 穗)	结实率 / %	千粒质量 / g	产量 / (kg/hm ²)
CK	78.53 ± 3.09 bc	458.96 ± 40.50 c	35.18 ± 0.58 b	64.27 ± 1.16 b	20.61 ± 1.66 b	4 163.23 ± 112.99 d
0%ON	83.73 ± 2.26 ab	591.75 ± 15.59 a	41.26 ± 2.52 a	69.49 ± 1.71 a	24.15 ± 0.46 a	5 669.49 ± 256.61 a
25%ON	86.66 ± 3.64 a	578.25 ± 80.53 a	39.81 ± 3.12 a	70.96 ± 1.75 a	23.83 ± 0.45 a	5 587.42 ± 373.81 a
50%ON	83.58 ± 2.10 ab	529.50 ± 17.86 ab	39.40 ± 0.21 a	69.57 ± 5.44 a	23.89 ± 0.81 a	5 344.00 ± 116.32 ab
75%ON	76.35 ± 4.82 c	481.50 ± 85.47 bc	39.65 ± 1.65 a	66.38 ± 1.43 ab	23.44 ± 0.09 a	5 096.84 ± 13.53 bc
100%ON	75.22 ± 2.03 c	475.34 ± 32.06 bc	38.18 ± 1.64 ab	63.00 ± 0.89 b	25.01 ± 1.89 a	4 883.56 ± 370.34 c

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异具有统计学意义($P < 0.05$)。表 3 同。

表 3 不同配施比例对水稻品质的影响

处理	加工品质		外观品质		蒸煮与食味品质		营养品质
	出糙率 / %	整精米率 / %	垩白粒率 / %	垩白度 / %	直链淀粉含量 / %	食味值	蛋白质含量 / %
CK	81.7 ± 0.3 b	52.3 ± 0.1 c	20.5 ± 0.5 a	1.8 ± 0.2 a	17.4 ± 0.2 a	83.5 ± 0.5 a	12.6 ± 0.1 c
0%ON	83.1 ± 0.8 ab	52.1 ± 0.5 c	19.0 ± 1.0 b	1.7 ± 0.1 ab	17.5 ± 0.5 a	82.0 ± 0 cd	13.5 ± 0.7 a
25%ON	82.3 ± 0.7 ab	53.5 ± 0.3 ab	18.0 ± 1.0 bc	1.5 ± 0.3 bc	17.3 ± 0.1 ab	82.5 ± 0.5 abc	13.2 ± 0 abc
50%ON	83.4 ± 0.2 ab	53.1 ± 0.3 ab	16.5 ± 0.5 c	1.4 ± 0 c	17.0 ± 0.6 ab	83.0 ± 0 ab	13.4 ± 0.3 ab
75%ON	82.8 ± 1.8 ab	54.0 ± 0.2 ab	19.0 ± 0 b	1.6 ± 0.1 bc	17.1 ± 0.4 ab	83.5 ± 0.5 a	12.9 ± 0.2 abc
100%ON	84.1 ± 1.6 a	54.3 ± 0.2 a	20.0 ± 0 ab	1.7 ± 0.1 ab	16.6 ± 0.4 b	83.5 ± 0.5 a	12.7 ± 0.5 bc

2.4 单位面积有机质质量对稻米食味值等品质的影响

如图 4 所示,等氮量条件下,有机肥带入土壤有机质质量对稻米品质有显著影响。稻米整精米率、食味值与有机质量呈线性正相关关系,而稻米直链淀粉含量、蛋白质含量与有机质量呈线性负相

关关系。稻米垩白粒率随有机质质量增加先下降后上升,呈开口向上的抛物线关系。从以上函数相关关系综合分析可得出,有机肥带入土壤有机质质量为 933、1 866 kg/hm² 时稻米垩白米率达到较低水平,并且稻米加工、营养、食味等整体品质较好。

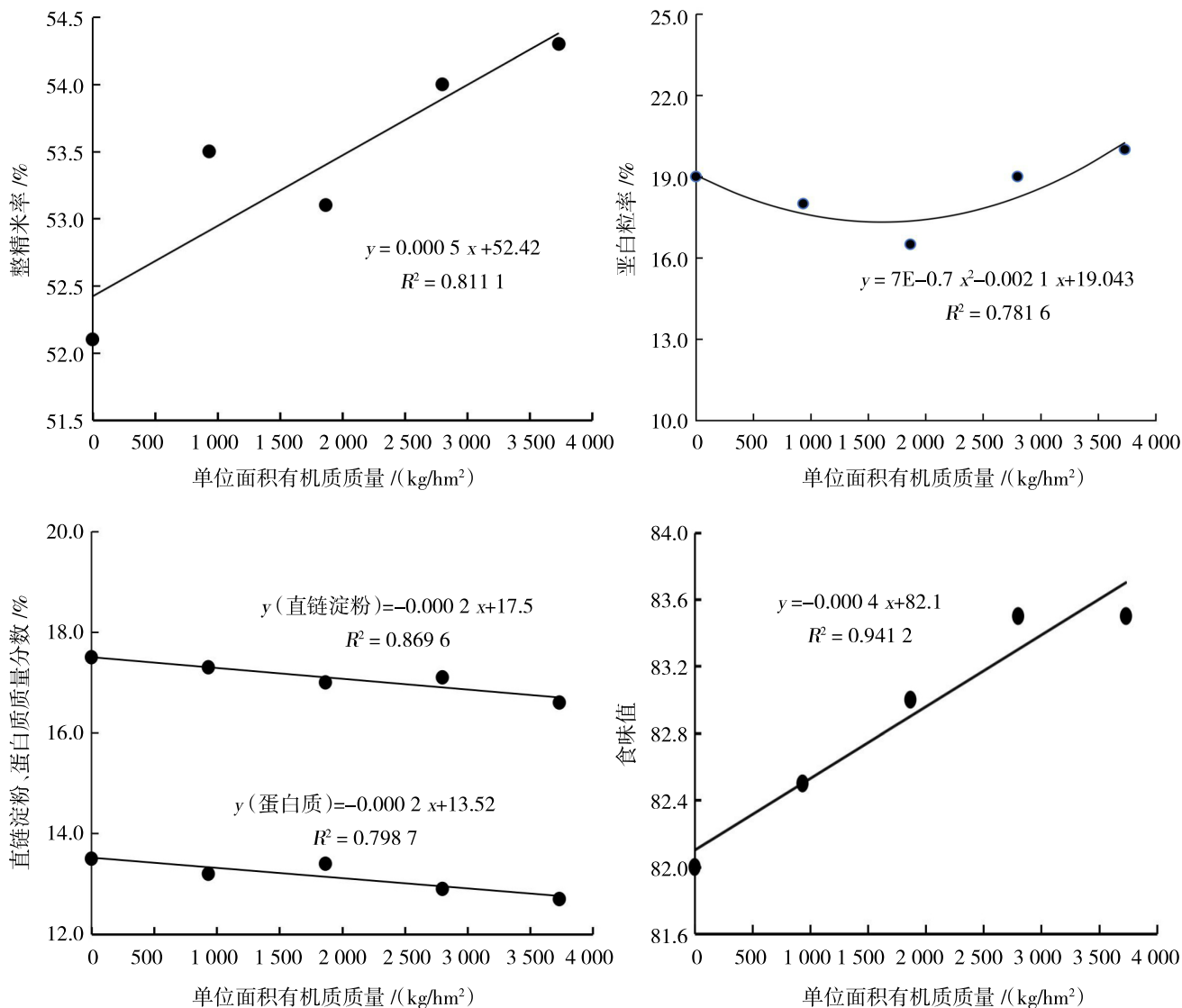


图 4 有机质对稻米整精米率、垩白粒率、直链淀粉质量分数、蛋白质质量分数及食味值的影响

2.5 有机、无机氮肥配施对膜下滴灌水稻氮肥利用率的影响

通过对氮肥吸收利用率各项指标的分析,从侧面反映出有机氮替代化学氮的吸收利用、增产效应、经济效益、氮素流失情况,可综合评价氮肥的使用效果。由表 4 可知,随有机氮替代比例增加,水稻氮肥农学利用率、氮肥吸收利用率、氮肥偏生产力均呈线性降低趋势。产量最高的化肥(0%ON)处理

氮肥吸收利用率为 38.71%,每 kg 氮肥可生产 25.20 kg 稻谷、可提高 6.69 kg 产量,均显著高于 75%ON、100%ON 处理,但与 25%ON 处理差异无统计学意义。单施化肥(0%ON)处理土壤氮依存率最低,施用有机肥可提高土壤氮依存率 2.03% ~ 23.19%。说明配施有机肥可提高水稻对土壤氮素的吸收利用效果,降低对环境的负面影响。

表 4 不同配施比例对水稻氮肥利用率的影响

处理	作物吸氮量 / (kg/hm ²)	氮肥农学利用率 / (kg/kg)	氮肥吸收利用率 / %	氮肥偏生产力 / (kg/kg)	土壤氮依存率 / %
CK	139.32 ± 2.49 d				
0%ON	226.42 ± 1.92 a	6.69 ± 1.27 a	38.71 ± 1.88 a	25.20 ± 1.14 a	61.53 ± 1.57 c
25%ON	221.93 ± 7.21 a	6.33 ± 1.27 a	36.72 ± 3.43 ab	24.83 ± 1.66 a	62.78 ± 2.33 bc
50%ON	211.99 ± 4.02 ab	5.25 ± 0.86 ab	32.30 ± 1.66 bc	23.75 ± 0.52 ab	65.72 ± 1.30 bc
75%ON	206.06 ± 6.28 b	4.15 ± 0.56 bc	29.66 ± 2.32 c	22.65 ± 0.06 bc	67.61 ± 1.68 b
100%ON	183.81 ± 13.48 c	3.20 ± 1.54 c	19.77 ± 4.98 d	21.70 ± 1.65 c	75.80 ± 4.30 a

3 讨论

3.1 有机、无机氮肥配施对水稻有效穗数及产量的影响

郭庆人等研究提出,有效分蘖数是提高膜下滴灌水稻产量的重要因子^[23],而施氮量可显著提高水稻有效穗数及产量^[24,28]。张文学等在长江中下游的红壤双季稻研究提出,双季稻产量则随着有机肥配施比例升高而递减,有机肥配施比例 $\leq 50\%$ 时,产量与单施化肥持平, $> 50\%$ 时表现为减产^[29]。本研究中,较不施肥 CK,有机肥配施处理能显著提高水稻产量达 17.30% ~ 34.21%。较单施化肥处理,有机肥配施比例为 25%、50%时,水稻产量略降低,降幅仅分别为 1.45%、5.74%。有机肥配施比例为 75%、100%时,水稻产量分别显著降低 10.10%、13.86%。说明有机氮取代比例超过 50%,由于有机肥中的养分释放速率缓慢,难以满足水稻生长前期对养分的大量需求,而分蘖期氮素不足影响了水稻有效分蘖,显著降低了水稻有效穗数。因此,本试验中 75%ON、100%ON 有机肥替代化肥处理水稻产量较单施化肥处理显著下降。该结论与以上研究结论一致。而李先等研究提出,施 20%沼肥及 10%、20%的猪粪型生物有机肥代替等量化学氮肥处理的水稻产量较高,较纯化肥处理分别提高了 19.02%、23.77%和 38.67%^[30]。本研究与该结论不一致,可能与栽培方式、有机肥种类、施用时期、作物品种不同有关,在实际应用中,应根据具体土壤条件和有机肥资源情况,优化配施比例,以实现最佳的增产效果。

3.2 有机、无机氮肥配施及有机肥施入土壤后有机质质量对稻米品质的影响

稻米品质的评价指标主要包含食味、加工、营养及外观等方面的品质,其中,提高食味品质是改良稻米品质的最重要目标之一^[31]。适宜的直链淀粉

含量、蛋白质含量的高低及质量的优劣是评价优质稻米的重要指标。研究表明,直链淀粉含量的高低直接影响稻米在蒸煮过程中水分的吸收、体积的扩张及饭粒的散裂,改变稻米的食味品质,一般表现为直链淀粉含量越高,食味越差^[32]。稻米蛋白质含量与米饭食味品质之间存在显著负相关^[33],稻米籽粒中蛋白质含量较低,精米中蛋白质含量变异范围为 4.5% ~ 14.3%^[34],而蛋白质含量超过 9%的品种食味不佳^[35]。苏瑞芳等研究提出,施用有机肥可以降低稻米垩白度和垩白粒率,提升稻米外观品质和稻米适口性^[36]。刘猷红等研究提出,化肥配施有机物料能明显提高加工品质,食味评分升高,蛋白质含量下降^[37]。李先等研究提出,用 30%猪粪型有机肥代替等量化学氮可降低稻米直链淀粉含量和垩白度,提高稻米胶稠度^[30]。国内外报道普遍认为,施用有机肥料可提高土壤有机质含量^[38],长期施用还能使有机质含量保持在相对稳定的水平^[39]。而土壤有机质可提高作物产量,改善果实品质^[40-42]。在本研究中,施用有机肥的各处理由于增加土壤有机质,因而明显提高了水稻的整精米率,降低稻米蛋白质、直链淀粉含量,提高了稻米食味值,综合改善了稻米的外观品质、加工品质、蒸煮品质及营养品质。本研究还提出与 CK 相比,25%ON、50%ON 处理均显著降低了稻米垩白粒率、垩白度,而单施化肥及 100%ON 处理稻米垩白粒率、垩白度则较高。这是因为氮素穗肥施用量过高或过低,都会引起米粒胚乳部淀粉体排列疏松,体积差异增大,导致米粒垩白增加,稻米的外观品质劣化^[43]。

3.3 有机、无机氮肥配施对氮肥利用率的影响

关于有机、无机氮肥配合施用对水稻氮肥利用效果已有大量研究。李先等研究显示,采用 10%猪粪型生物有机肥替代时,氮肥利用率比纯化肥处理提高 1.04%;当替代比例提升至20%时,氮肥利用率

达到最高值 32.64%，较纯化肥处理提升 2.66%^[30]。刘红江等在稻田试验中发现，50%有机肥替代化肥的条件下，水稻的氮肥农学利用率、吸收利用率和偏生产力均显著提高，表明该比例在稻田系统中具有优化氮肥利用的综合效益^[44]。魏静等针对水稻的研究进一步表明，当有机肥氮替代比例达到 80% 时，氮素农学效率（21.0 kg/kg）、氮肥吸收利用率（51.8%）和贡献率（76.9%）均达到峰值，验证了高比例替代在水稻生产中的潜力^[45]。本研究提出，有机肥、无机肥配施比例对氮肥利用率具有显著影响。单施化肥（0%ON）处理氮肥吸收利用率、氮肥农学利用率、氮肥偏生产力最大，显著高于 75%ON、100%ON 处理，但与 25%ON 处理差异无统计学意义；该结论与以上研究结果并不一致，这可能与该试验单施化肥处理氮肥运筹方案为优化方案^[24]，氮肥利用效率水平较高，并且该试验研究周期短，有机肥的缓释性导致当季利用率偏低，影响水稻产量的提高^[10]有关。下一步需延长试验周期，研究有机肥长期施用的累积效用。

4 结论

1) 在 225 kg/hm² 等氮量投入条件下，有机氮配施有利于提高膜下滴灌水稻产量，其产量比不施氮 CK 提高 17.30% ~ 34.21%。与单施化肥（0%ON）处理相比，25%ON、50%ON 处理产量仅分别降低 1.45%、5.74%，但 75%ON、100%ON 处理分别显著降低 10.10%、13.86%。说明过高的有机氮配施比例不利于水稻高产。

2) 单施化肥（0%ON）处理氮肥农学利用率、氮肥吸收利用率、氮肥偏生产力最大，与 25%ON 处理差异无统计学意义，但显著高于 75%ON、100%ON 处理。有机配施可提高土壤氮依存率 2.03% ~ 23.19%。

3) 与单施化肥相比，有机氮配施处理可显著降低稻米蛋白质含量 0.74% ~ 5.93%、直链淀粉含量 1.14% ~ 5.14%，提高水稻的整精米率 1.92% ~ 4.22%、食味值 0.61% ~ 1.83%。25%ON、50%ON 处理稻米垩白粒率、垩白度含量最低，比单施化肥分别显著降低 5.26%、13.16% 和 11.76%、17.65%。

在本试验条件下，综合考虑有机氮配施对水稻产量、品质及氮肥利用率的影响，提出河西绿洲灌区膜下滴灌水稻有机氮配施适宜比例为 25% ~ 50%。

参考文献：

- [1] 宋 健. 在国际水稻大会开幕式上的致辞[J]. 中国稻米, 2002,8(6):7.
- [2] BIAN J L, REN G L, XU F F, et al. Comparison of grain yield and quality of different types of japonica rice cultivars in the northern Jiangsu plain, China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021,20(8):2065–2076.
- [3] ZHOU N B, ZHANG J, FANG S L, et al. Effects of temperature and solar radiation on yield of good eating-quality rice in the lower reaches of the Huai River Basin, China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021,20(7):1762–1774.
- [4] 莫幼连. 绿色无公害水稻高产栽培技术[J]. 新农业, 2022(3): 5–6.
- [5] 包和平, 刘士彪, 王晓波, 等. N、P、K 三要素对水稻产量的效应分析[J]. 吉林农业大学学报, 2001,23(2):5–8.
- [6] 张 军, 张洪程, 段祥茂, 等. 地力与施氮量对超级稻产量、品质及氮素利用率的影响[J]. 作物学报, 2011,37(11):2020–2029.
- [7] 魏海燕, 王亚江, 孟天瑶, 等. 机插超级梗稻产量、品质及氮肥利用率对氮肥的响应[J]. 应用生态学报, 2014,25(2):488–496.
- [8] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008,45(5):915–924.
- [9] 李燕青, 温延臣, 林治安, 等. 不同有机肥与化肥配施对氮素利用率和土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(10):1669–1678.
- [10] 赵秀哲, 王成媛, 赵 磊, 等. 不同生育时期追施有机肥对有机水稻产量及品质的影响[J]. 吉林农业科学, 2015,40 (6):13–16,112.
- [11] 赫 臣, 陈立强, 赵海成, 等. 化肥减量配施不同类型腐植酸有机肥对盐碱地水稻产量和品质的影响[J]. 河南农业科学, 2019,48(5):16–21.
- [12] 鲁伟丹, 李俊华, 罗 彤, 等. 连续三年不同有机肥替代率对小麦产量及土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2021,27(8):1330–1338.
- [13] 唐 丽, 谢 勇, 荣湘民, 等. 有机肥不同比例替代化肥氮对水稻产量、氮素吸收与流失风险的影响[J]. 中国农业科技导报, 2020,22(9):132–142.
- [14] 汪吉东, 张 辉, 张永春, 等. 连续施用不同比例鸡粪氮对水稻土有机质积累及土壤酸化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014,20(5):1178–1185.
- [15] 周江明. 有机–无机肥配施对水稻产量、品质及氮素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012,18(1):234–240.
- [16] 周运陆, 张永发, 陈仕迁, 等. 有机–无机肥配施对水稻氮素吸收利用率的影响[J]. 热带农业科学, 2021,41(11):1–6.
- [17] 田发祥, 纪雄辉, 石丽红, 等. 不同缓控释肥料减氮对洞庭湖区双季稻田氮流失与作物吸收的影响[J]. 农业现代化

- 研究,2010,31(2):220–223.
- [18] 徐明岗,卢昌艾,张文菊,等. 我国耕地质量状况与提升对策[J]. 中国农业资源与区划,2016,37(7):8–14.
- [19] 赵欣楠,车宗贤,杨君林,等. 甘肃省有机肥和化肥生产利用现状及对策[J]. 甘肃农业科技,2018,49(10):77–80.
- [20] 关兴照,李成泰. 秸秆直接还田试验应用效果研究[J]. 杂粮作物,2002,22(5):309–310.
- [21] 李 红,周连第,张有山,等. 秸秆还田对土壤蓄水保肥及作物产量的影响[J]. 中国农村水利水电,2002(1):36–38.
- [22] 陈 林,银永安. 膜下滴灌水稻创新与实践[M]. 北京:中国农业出版社,2016:22–28.
- [23] 郭庆人,陈 林. 水稻膜下滴灌栽培技术在我国发展的优势及前景分析[J]. 中国稻米,2012,18(4):36–39.
- [24] 唐文雪,马忠明,陈 娟,等. 氮肥运筹对河西绿洲灌区膜下滴灌水稻产量、氮肥利用率的影响[J]. 灌溉排水学报,2022,41(增刊 2):1–8.
- [25] 张海鹏,陈志青,王 锐,等. 氮肥配施纳米镁对水稻产量、品质和氮肥利用率的影响[J]. 作物杂志,2022(4):255–261.
- [26] 王海琪,黄艺华,蒋桂英,等. 氮肥基追比例对滴灌春小麦氮代谢及氮肥利用率的影响[J]. 水土保持学报,2022,36(1):297–306,315.
- [27] 巨晓棠,刘学军,张福锁. 冬小麦与夏玉米轮作体系中氮肥效应及氮素平衡研究[J]. 中国农业科学,2002,35(11):1361–1368.
- [28] 朱齐超,危常州,李美宁,等. 氮肥运筹对膜下滴灌水稻生长和产量的影响[J]. 中国水稻科学,2013,27(4):440–446.
- [29] 张文学,王少先,金 伟,等. 有机无机氮肥比例对稻田土壤肥力和作物产量的短期效应[J]. 植物营养与肥料学报,2023,29(7):1300–1312.
- [30] 李 先,刘 强,荣湘民,等. 有机肥对水稻产量和品质及氮肥利用率的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2010,36(3):258–262.
- [31] 彭 波,孙艳芳,庞瑞华,等. 水稻种子蛋白质含量遗传研究进展[J]. 南方农业学报,2017,48(3):401–407.
- [32] LENG Y J,XUE D W,YANG Y L,et al. Mapping of QTLs for eating and cooking quality-related traits in rice (*Oryza sativa* L.)[J]. Euphytica,2014,197(1):99–108.
- [33] 石 吕,张新月,孙惠艳,等. 不同类型水稻品种稻米蛋白质含量与蒸煮食味品质的关系及后期氮肥的效应[J]. 中国水稻科学,2019,33(6):541–552.
- [34] JULIAO B O. Physicochemical properties of starch and protein in relation to grain quality and nutritional value of rice[J]. IRRI Rice Breeding,1972,5:389–405.
- [35] 吴长明,孙传清,付秀林,等. 稻米品质性状与产量性状及籼粳分化度的相互关系研究[J]. 作物学报,2003,29(6):822–828.
- [36] 苏瑞芳,李秀玲,张婉英,等. 商品有机肥对水稻生长、产量及稻米品质影响[J]. 上海农业学报,2008,24(4):127–130.
- [37] 刘猷红,孟 英,唐 傲,等. 化肥配施有机物料对盐碱地水稻产量和品质的影响[J]. 黑龙江农业科学,2022(8):19–24.
- [38] 伍从成,姜海波,赵静文,等. 连续 5 年施用生物有机肥对梨树根系形态及分布的影响[J]. 南京农业大学学报,2017,40(3):473–480.
- [39] 王立刚,李维炯,邱建军,等. 生物有机肥对作物生长、土壤肥力及产量的效应研究[J]. 土壤肥料,2004(5):12–16.
- [40] 刘松忠,张 强,赵昌杰,等. 果园土壤有机质对土壤特性与果实品质的影响[J]. 安徽农业科学,2010,38(36):21104–21106.
- [41] 张 兰,班雁华,龙智翔,等. 不同有机肥料对有机稻米品质的影响[J]. 安徽农业科学,2013,41(22):9287–9289.
- [42] 张 欣,施利利,刘晓宇,等. 不同施肥处理对水稻产量、食味品质及蛋白质组分的影响[J]. 中国农学通报,2010,26(4):104–108.
- [43] 王 岩,王 旺,蔡嘉鑫,等. 氮肥对稻米淀粉结构及理化性质影响的研究进展[J]. 中国稻米,2023,29(4):1–8.
- [44] 刘红江,蒋华伟,孙国峰,等. 有机–无机肥不同配施比例对水稻氮素吸收利用率的影响[J]. 中国土壤与肥料,2017(5):61–66.
- [45] 魏 静,郭树芳,翟丽梅,等. 有机无机肥配施对水稻 氮素利用率与氮流失风险的影响[J]. 土壤,2018,50(5):874–880.

Effects of Different Proportions of Substituting Chemical Fertilizer Nitrogen with Decomposed Cow Dung Nitrogen on Rice Yield, Quality and Nitrogen Use Efficiency Under Mulched Drip Irrigation

TANG Wenxue¹, MA Zhongming², XUE Liang¹, LIAN Caiyun¹, WANG Zhiqi¹, LUO Shuanglong¹, DUAN Yu²

(1. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China;

2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

Abstract: This study investigates the optimal substitution levels of organic nitrogen for chemical nitrogen of rice cultivation under mulched drip irrigation, aiming to support high-yielding and high-quality rice cultivation technology in the Hexi Oasis irrigation region. Field trials were conducted in 2022 at the Zhangye Water-Saving Agriculture Experimental Station, Ganzhou District, Zhangye City. The treatments included no-fertilizer control (CK), chemical fertilizer only (0%ON), and organic nitrogen substituting 25% (25%ON), 50% (50%ON), 75% (75%ON), and 100% (100%ON) of chemical nitrogen. The impact of these treatments on rice yield, grain quality, and nitrogen use efficiency (NUE) was assessed. The results showed that at a nitrogen application rate of 225 kg/hm², integrating organic nitrogen significantly enhanced both yield and NUE, with a particularly notable improvement in grain quality. The treatment with organic fertilizers increased seedling survival rates by 6.36% to 17.76% compared to chemical fertilizer alone, and yields by 17.30% to 34.21% compared to the unfertilized control. Compared with the single application of chemical fertilizer, the yield of 25% ON and 50% ON treatments was only reduced by 1.45% and 5.74%, and there was no significant difference in nitrogen use efficiency between 25% ON and 25% ON. Organic nitrogen treatments significantly reduced protein content in rice by 0.74% to 5.93% and amylose content by 1.14% to 5.14%, while head rice rate and taste value increased by 1.92% to 4.22% and 0.61% to 1.83%. Furthermore, the rate of chalky grains and degree of chalkiness were significantly reduced in the 25% ON and 50% ON treatments by 5.26%, 13.16%, 11.76% and 17.65%, respectively. Considering the comprehensive results of yield, NUE, and grain taste, the substitution ratio of 25% to 50% organic nitrogen is identified as the optimal range for achieving high yield and improving quality in rice cultivation in the Hexi Oasis irrigation region.

Key Words: Rice under mulched drip irrigation; Combined application of organic fertilization and inorganic nitrogen fertilizer; Yield; Quality; Nitrogen use efficiency

(上接第 27 页)

Exploration on Grain Filling Characteristics and Dehydration Rate of Different Wheat Varieties in Middle and Lower Reaches of Yangtze River

XIN Haibin¹, LIU Cuilian¹, TANG Jianpeng², XU Ruiheng¹, ZHANG Yan¹, FAN Xiaokai¹, YANG Xuqing¹

(1. Yangzhou Jiangdu District Agricultural Technology Comprehensive Service Center, Yangzhou 225200, China;

2. Yangzhou Agricultural Technology Comprehensive Service Center, Yangzhou 225100, China)

Abstract: Seven wheat varieties were selected as test materials in a field environment to study the differences in yield and its components among different wheat varieties. The Richards equation was used to fit the grain filling process, and correlation analysis was conducted to explore the relationship between wheat grain filling parameters and grain quality. The results showed that among the 7 varieties, Yangjiangmai 1820 had the highest yield of 8 779.95 kg/hm², while Yangmai 28 had the lowest yield of 7 479.60 kg/hm². During the grain filling process, Yangmai 1820 had the highest thousand-grain weight, reaching 49.35 g at maturity, while Yangmai 28 had the lowest thousand-grain weight (41.73 g). There were significant differences in grain filling rates among different varieties. The grain filling process of different wheat varieties shows an “S” shape change, and the filling parameters vary among different varieties, but the R^2 value of all varieties is above 0.99. Correlation analysis shows that the average grain filling rate is significantly positively correlated with thousand-grain weight, while not significantly positively correlated with other parameters. The average filling rate is significantly positively correlated with both the rapid and gradual filling rates, but not significantly positively correlated with the gradual filling rate. The filling rate is the main factor determining thousand-grain weight, especially during the rapid filling period. During this period, the photosynthetic function of wheat leaves should be improved to increase the filling rate and thus increase thousand-grain weight. The study also found that there were differences in grain moisture content and dehydration rate among seven varieties 35 days after flowering and thereafter. Yangjiangmai 1820, Nongmai 77, Yangmai 23, etc. dehydrated rapidly at a higher rate during 35-42 days after flowering. In the middle and lower reaches of the Yangtze River, in order to avoid the effect of high temperature forced ripening and dry hot air on wheat production at the later stage, the varieties with rapid dehydration characteristics can be prioritized.

Key Words: Jiangdu District; Wheat; Grain filling characteristics; Correlation analysis; Yield; Dehydration rate

唐艺婷,陈澄宇,赵云霞,等. 玉米上桃蛀螟的危害以及防治研究进展[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(3):57–61,68(2025–06–11).
https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.03.009.

玉米上桃蛀螟的危害以及防治研究进展

唐艺婷,陈澄宇,赵云霞,张学峰,张 凯,付佑胜*

(江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所/国家农业科学淮安观测实验站,江苏 淮安 223001)

摘要:桃蛀螟是一种多食性害虫,可为害玉米等多种农作物。20 世纪 90 年代我国种植结构调整,玉米种植面积扩增,桃蛀螟对玉米的危害日益加重。本文重点阐述了桃蛀螟对玉米的危害,同时介绍了桃蛀螟的其他寄主植物;对桃蛀螟越冬方式、发生规律进行了总结;综述了桃蛀螟目前的防治方式,主要包括化学防治、农业防治、物理防治和生物防治,供科研和生产应用参考。

关键词:玉米;桃蛀螟;为害;发生规律

中图分类号:S435.132

文献标志码:B

文章编号:1673-6486-20250005

桃蛀螟[*Conogethes punctiferalis*(Guenée)]属鳞翅目(Lepidoptera)草螟科(Crambidae)害虫,又称蛀心虫,在我国大部分省市均有发生,其幼虫具有多食性,可取食玉米、桃、苹果、板栗等多种农作物和果树^[1-5]。桃蛀螟以幼虫取食桃、李等果肉,损坏果实。近年来,全球气候变暖,我国农业种植结构也在不断调整,在此背景下,我国玉米产区桃蛀螟的发生频率和为害程度呈上升趋势^[1,6]。玉米是我国的三大经济作物之一,在我国的粮食安全保障中占有重要地位。桃蛀螟幼虫以玉米籽粒为食,对玉米雌穗造成损害,致使玉米穗部腐烂,同时加剧玉米穗腐病的发生^[1,7-9];幼虫还会蛀茎,使植株形成空心,导致茎秆折倒,对玉米产量和品质产生严重影响^[7,10]。近年来,在部分地区,桃蛀螟对玉米的危害程度显著增加,甚至超过了玉米螟(*Ostrinia furnacalis*),成为玉米穗期的主要害虫^[11]。为了更深入地洞悉桃蛀螟的发生规律,进而切实有效地控制该害虫对玉米所造成的损失,本文针对桃蛀螟对玉米的为害情况以及防治方法展开了全方位的回顾与展望。

收稿日期:2025-01-13;修回日期:2025-06-03。

基金项目:江苏省自然科学基金青年基金(BK20230290);江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(23)3008);江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所基金(HNY202220);江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所高层次人才引进人才基金(0152020009B)。

作者简介:唐艺婷(1995—),女,硕士,助理研究员,主要从事害虫绿色防控工作,Email: tyt0417@163.com;陈澄宇(1989—),男,博士,助理研究员,主要从事害虫绿色防控工作,Email: chenchengyu@126.com。

* 通信作者:付佑胜(1980—),男,硕士,副研究员,主要从事病虫害绿色防控工作。Email: youshengfu@163.com。

1 桃蛀螟危害

1.1 桃蛀螟识别特征

桃蛀螟是一种钻蛀性害虫,个体发育为完全变态:经过卵、幼虫、蛹和成虫 4 个阶段(图 1)。其成虫体色主要为黄色,身体和翅的表面具有许多黑色斑点,雄性胸腹第 9 节末端黑色,雌性不明显;所产的卵为椭圆形,初产时乳白色,渐变橘黄色,孵化前红褐色;幼虫体色主要为暗粉色,头壳呈现暗褐色,前胸盾片为褐色,各体节毛片颜色突出呈现褐色;蛹腹末臀棘细长,末端有 6 根曲刺,蛹外被灰白色薄茧^[12](图 1)。

1.2 桃蛀螟寄主及对玉米的危害

桃蛀螟是一种多食性害虫,其可取食的植物种类繁多,主要涵盖芸香科的柑橘(*Citrus reticulata*),壳斗科的板栗(*Castanea mollissima*),蔷薇科的苹果(*Malus pumila*)、桃(*Prunus persica*)、李(*Prunus salicina*)、山楂(*Crataegus pinnatifida*)、梨(*Pyrus spp*),禾本科的玉米(*Zea mays*)、高粱(*Sorghum bicolor*),葫芦科的佛手瓜(*Sechium edule*),菊科的向日葵(*Helianthus annuus*),胡桃科的核桃(*Juglans regia*),豆科的皂荚(*Gleditsia sinensis*),锦葵科的木棉(*Bombax ceiba*),松科的松树(*Pinus*),柏科的杉木(*Cunninghamia lanceolata*)^[13-19]。目前国内对桃蛀螟的研究报道可追溯至 20 世纪 50 年代,当时桃蛀螟主要为害板栗、桃树、苹果等果树^[20-21]。20 世纪 90 年代以来,国内种植结构逐步调整,玉米种植面积持续扩增。在此背景下,桃蛀螟在国内多地的为害程度逐年攀升,已演变成为影响多种农作物及果树生长的

关键害虫。尤其是在玉米主产区,桃蛀螟造成的损害愈发严重,极大地威胁到农作物的产量与质量^[9]。

桃蛀螟第 2 代幼虫开始为害玉米,首先由第 1 代成虫迁入玉米地,在玉米植株叶鞘、花丝、雌穗、雄穗等部位产卵,孵化后的幼虫会钻蛀进入玉米茎秆和雌穗^[16,22-23]。幼虫从玉米雌穗顶端钻入,蛀食籽粒,对雌穗造成严重破坏,常诱发穗腐病,致使玉米穗部出现大面积腐烂;幼虫还会蛀蚀茎秆,造成玉米茎秆内部逐渐被掏空,形成空心状态,极易在风雨等外力作用下发生倒折。无论是雌穗受损还是茎秆倒折,最终都会对玉米的产量和品质产生极为不利的影响。

1.3 桃蛀螟发生规律

桃蛀螟分布范围广泛,但由于南北地区的温度、光照条件、种植作物种类等方面的差异,桃蛀螟

发生规律和发生时间呈现差异^[24]。不同省份桃蛀螟发生时间和代数见表 1。桃蛀螟越冬方式主要以老熟幼虫形态在田间杂草、自然落果、枯枝落叶以及地缝等地方越冬。越冬后桃蛀螟第 1 代幼虫主要为害桃,而第 2 代幼虫主要为害夏玉米以及苹果、桃、李等果树,第 3 代幼虫和第 4 代幼虫主要在玉米收获时期为害,此时如果田间环境合适,桃蛀螟易大规模暴发。桃蛀螟倾向于选择潮湿的环境,其发生情况一般与当年的降水量及湿度紧密相连,在多雨的季节里,桃蛀螟更易大规模暴发,而在干旱少雨的年份,发生概率则相对较低。本团队于 2023 和 2024 年夏季在苏北地区玉米田间调查发现,桃蛀螟对玉米的危害远超过玉米螟、草地贪夜蛾以及棉铃虫等害虫,对玉米的株为害率高达 90%以上,田间调查时在 1 株玉米茎秆内甚至发现约 20 头桃蛀螟。

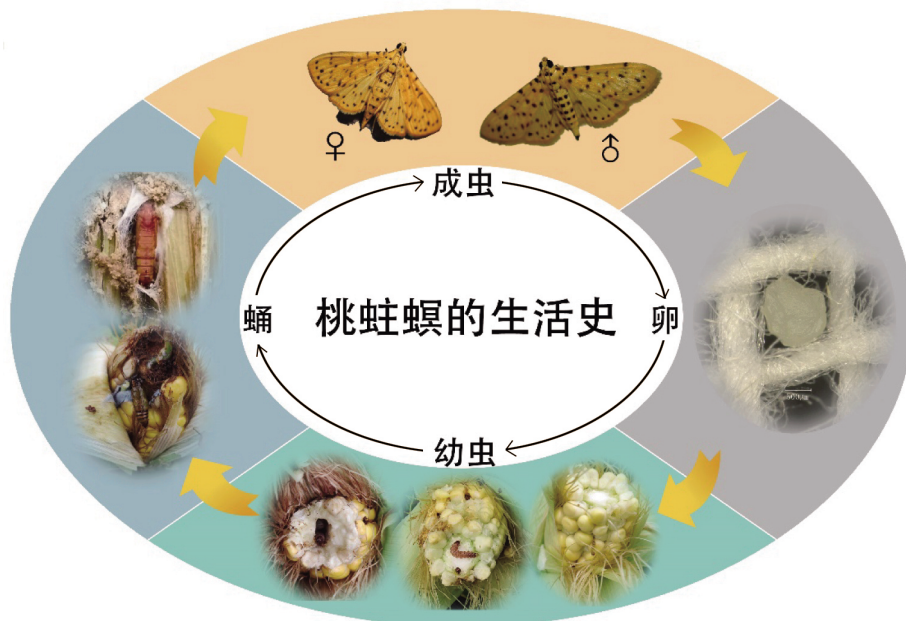


图 1 桃蛀螟的生活史

表 1 桃蛀螟各地区发生代数 and 成虫发生时间

地区	发生代数 / 代	成虫发生时期	参考文献
河南	3	4 月上旬—10 月上旬	[25]
河北	3	4 月下旬—9 月下旬	[26-27]
江苏	3~4	4 月下旬—10 月下旬	[28-30]
山东	3~4	4 月下旬—10 月中旬	[31]
广东	5	3 月中旬—11 月中旬	[32]
重庆	4~5	5 月下旬—10 月中旬	[33]
陕西	3	5 月上中旬—9 月中旬	[34]
浙江	4	4 月中旬—10 月下旬	[35]
贵州	3	5 月中下旬—10 月中旬	[36]
甘肃	2~3	5 月下旬—10 月上旬	[14]

1.4 桃蛀螟饲养方式

饲养昆虫是研究昆虫的基础,只有具有稳定的虫源,才能开展相关试验。开展桃蛀螟人工饲料相关研究对于进一步了解桃蛀螟具有积极意义。国外科研人员报道了桃蛀螟的幼虫期人工饲养配方,其主要成分为大豆粉、干木粉、维生素C、琼脂、抗菌剂、苹果汁、水,使用该配方饲养的桃蛀螟幼虫成活率为39.4%^[37]。相较而言,国内在桃蛀螟的人工饲养技术与人工饲料研发领域的起步较为迟缓。2011年徐丽荣发明了3种适用于桃蛀螟幼虫的人工饲料配方,结果表明,3种人工饲料饲养的桃蛀螟均能化蛹、羽化以及产卵,但是化蛹率、产卵量均不高^[38]。而后,耿亚玲等新研制了一种桃蛀螟的人工饲料配方,其主要成分为玉米粉、玉米叶粉、大豆粉、麦麸、酵母粉、琼脂、蔗糖、玉米油、维生素C、复合维生素B、山梨酸钾、无菌水,该饲料配方显著提高了桃蛀螟的化蛹率和产卵量,利用该饲料饲养桃蛀螟化蛹率在70%以上,平均产卵量为248粒^[39]。静大鹏等发明了桃蛀螟人工饲料配方,其主要成分为大豆粉、玉米粉、酵母粉、豆蔻粉、干酪素、胆固醇、抗坏血酸、蔗糖、对羟基苯甲酸甲酯、山梨酸、复合维生素、琼脂、纯净水,人工饲料的饲养效果与甜玉米饲养效果没有显著性差异,利用他们所发明的饲料,桃蛀螟的幼虫存活率、成虫羽化率和卵孵化率均可达到80%以上^[40-41]。温度对昆虫的饲养与食物同样重要,有研究显示,在21~30℃,桃蛀螟可正常生长发育,且随着温度的升高,发育历期缩短,其中在24~27℃下的桃蛀螟存活率高,繁殖力强^[24],因此建议在24~27℃饲养桃蛀螟。

2 桃蛀螟防控技术

桃蛀螟作为一种钻蛀性害虫,一旦钻入玉米穗内部,就难以防治,正是这一特性增加了桃蛀螟的防治难度,因此防治桃蛀螟的关键是精准把握好防治时期,应在其钻芯之前采取有效的防治措施。目前在实际生产中,防治桃蛀螟的方式是以化学防治为主的综合防治措施。

2.1 化学防治

化学防治因其成本低廉和效果迅速等优势,在桃蛀螟的综合治理策略中占据着举足轻重的地位,被广泛应用于多种桃蛀螟寄主植物,包括大田作物,如玉米、高粱等以及各类果树。对桃蛀螟这种为

害严重的钻蛀性害虫,需选择既高效又低毒的杀虫剂来控制其为害。目前生产中常用的杀虫剂包括溴氰虫酰胺、氯虫苯甲酰胺、甲维盐、氢氟虫脒、高效氯氟氰菊酯、三氟甲吡醚等。近年来,通过对桃蛀螟杀虫剂田间试验,筛选出对桃蛀螟防治效果显著的药剂。例如,王荣成等通过室内试验和玉米田间药效试验发现,20%氯虫苯甲酰胺5000~6000倍液对玉米田桃蛀螟防效高于84%^[42];周丹等通过田间试验筛选了桃蛀螟的化学药剂,研究表明20%的氯虫苯甲酰胺和5.7%的甲维盐水分散粒剂防治效果最佳^[43],防效达100%;Kim等通过连续2年的飞防试验,比较了5%的氟啶脲和10%的噻虫啉,发现5%的氟啶脲对桃蛀螟的防治效果优于10%的噻虫啉^[44]。化学防治措施可以迅速降低桃蛀螟的虫量,对保护作物避免被进一步为害具有重要意义。在选择化学农药时,应该依据桃蛀螟的发生时期、桃蛀螟的龄期、作物的类型以及天气,选用恰当的化学药剂(如双酰胺类、菊酯类、苯甲酰脲类)进行适时防治,但应避免过量使用农药导致桃蛀螟产生抗药性,并再次暴发,同时农药亦会残留在作物中,造成对人类的危害。

2.2 农业防治

农业防治是一种系统全面的防治策略,它要求对害虫特性、作物生长规律以及周边环境要素展开综合剖析,在此基础上,针对性地采取一系列科学合理的技术手段,如合理密植、适时灌溉、精准施肥、及时清理田园等。这些措施旨在巧妙地干扰害虫的栖息、取食、繁殖等生存环境条件,进而有效控制害虫的种群数量增长,抑制其繁殖速度,从根源上降低害虫对农作物的为害程度。

2.2.1 粉碎秸秆,降低虫口基数。桃蛀螟越冬幼虫喜藏匿在玉米秸秆中越冬,利用机器粉碎玉米秸秆,从而杀死越冬幼虫,降低第2年桃蛀螟虫源基数^[45]。

2.2.2 改变种植模式,切断传统途径。在种植玉米的周边区域,尽量减少或者不种植桃、李等果树,因为桃蛀螟第1代发生在果树上,第2代就迁入玉米地,通过此种方法有效减少桃蛀螟的转移为害^[41]。

2.2.3 加强田间管理,减少虫害发生。在农业生产中,合理密植、适时灌溉、精准施肥等措施对田间进行管理,让玉米保持良好的生长环境,可减少桃蛀螟对作物的危害。种植者要密切关注作物的生长进程,同时结合天气变化、土壤墒情等实际情况,准确

把握灌溉、施肥的时机,为农作物的茁壮成长提供稳定且适宜的生长环境。

2.3 物理防治

物理防治主要针对成虫,主要方式包括性诱剂、种植诱杀植物、糖醋酒液、黑光灯诱集、频振式杀虫灯、太阳能杀虫灯等^[16,22]。

2.3.1 性诱剂诱集。性诱剂是通过释放雌性信息素,诱集雄成虫。陈万斌等筛选了不同配比和不同剂量下性诱剂对黄淮海地区玉米上桃蛀螟成虫的诱集效果,结果表明桃蛀螟性信息素成分顺反比,即顺-10-十六碳烯醛(*Z*)和反-10-十六碳烯醛(*E*)的摩尔比为1:9,剂量为100 μg的诱芯对桃蛀螟雄蛾的诱蛾效果显著高于其他比例的信息素^[49]。

2.3.2 糖醋酒液诱集。翟浩等研究了糖醋酒液诱捕器悬挂高度对桃蛀螟的诱捕效果,结果显示高度为2.5 m的糖醋酒液诱捕桃蛀螟成虫的效果显著高于其他糖醋酒液诱捕器悬挂高度^[47]。

2.3.3 黑光灯和诱杀植物诱集。王建华开展了桃蛀螟的防控技术研究,该研究认为向日葵+黑光灯+性诱剂组合对桃蛀螟的防效(71.66%)显著高于其他组合,向日葵可诱集成虫产卵,进行集中防治,黑光灯可诱集成虫,性诱剂释放性信息素,致使雄成虫迷向,从而无法与雌成虫进行交配,三者结合防控,降低了桃蛀螟成虫数量,降低了下一代桃蛀螟的危害^[48]。

2.4 生物防治

生物防治是绿色防控中重要的一部分,在害虫防治过程中主要是以虫治虫、以菌治虫。

2.4.1 以虫治虫。目前报道的防治桃蛀螟的天敌昆虫主要包括赤眼蜂(*Trichogramma* sp.)、绒茧蜂(*Apanteles* sp.)、广大腿小蜂(*Brachymeria lasus*)、抱缘姬蜂(*Temelucha* sp.)、卷叶螟甲腹茧蜂(*Chelonus blackburni*)、红腹脊柄小蜂(*Epitranus erythrogaster*)、蠋蝽(*Arma chinensis*)等^[49-51]。其中,陈万斌等通过室内试验研究了3种赤眼蜂松毛虫赤眼蜂(*Trichogramma dendrolimi*)、玉米螟赤眼蜂(*Trichogramma ostrinae*)和螟黄赤眼蜂(*Trichogramma chilonis*)对桃蛀螟的防控效果,结果表明玉米螟赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂对桃蛀螟的防治效果较好^[53]。沈茹丹研究了蠋蝽对桃蛀螟捕食能力,结果表明蠋蝽对桃蛀螟幼虫具有较好的捕食作用,1头蠋蝽雌成虫1 d可捕食10头左右桃蛀螟5龄幼虫或者17头桃蛀螟3龄幼虫^[54]。

2.4.2 以菌治虫。目前已报道防治桃蛀螟的生物菌剂包括苏云金芽孢杆菌(*Bacillus thuringiensis*)、白

僵菌(*Beauveria bassiana*)。李少华利用白僵菌侵染桃蛀螟,发现每头桃蛀螟幼虫注射 2×10^6 个/mL分生孢子,感染72 h后全部死亡^[55]。

3 展望

随着我国农业结构性调整和土地流转规模的进一步扩大,大面积机械化种植单一农作物将成为发展趋势。桃蛀螟作为一种多食性害虫,可对多农作物造成危害,迫切需要建立桃蛀螟的监测预警及绿色防控技术。具体建议如下:1)通过灯光、性诱等监测技术确定桃蛀螟的种群动态,在适当的时期选择低毒化学药剂进行防治;2)在虫害发生区,推广生物防治,释放寄生蜂、捕食性天敌昆虫或者生防菌(白僵菌、苏云金芽孢杆菌等);3)通过农艺措施(间作、轮作)改善田间生态环境,减少桃蛀螟发生。

参考文献:

- [1] 王振营,何康来,石洁,等. 桃蛀螟在玉米上危害加重原因与控制对策[J]. 植物保护,2006,32(2):67-69.
- [2] 鹿金秋,王振营,何康来,等. 桃蛀螟研究的历史、现状与展望[J]. 植物保护,2010,36(2):31-38.
- [3] XIAO W, MATSUYAMA S, ANDO T, et al. Unsaturated cuticular hydrocarbons synergize responses to sex attractant pheromone in the yellow peach moth, *Conogethes punctiferalis* [J]. Journal of Chemical Ecology, 2012, 38(9):1143-1150.
- [4] LI D Y, AI P P, DU Y L, et al. Effects of different host plants on the development and reproduction of yellow peach moth, *Conogethes punctiferalis* (guenée, 1854) (Lepidoptera: Crambidae) [J]. Austral Entomology, 2015, 54(2):149-153.
- [5] HONDA H, KANEKO J I, KONNO Y, et al. A simple method for mass-rearing of the yellow peach moth, *Dichocrocis punctiferalis* GUENEE (Lepidoptera: Pyralidae), on an artificial diet [J]. Applied Entomology and Zoology, 1979, 14(4):464-468.
- [6] 赵士文,陈秀琳,陈丽慧,等. 陕西省关中夏玉米后期钻蛀性害虫的发生及不同玉米品种的抗虫性调查[J]. 植物保护, 2017, 43(5):164-168.
- [7] 石洁,王振营,何康来. 黄淮海地区夏玉米病虫害发生趋势与原因分析[J]. 植物保护, 2005, 31(5):63-65.
- [8] 刘玥,李荣荣,何康来,等. 桃蛀螟为害对春玉米镰孢穗腐病发生及产量损失的影响[J]. 昆虫学报, 2017, 60(5):576-581.
- [9] 宋海燕,张晴晴,李丽莉,等. 亚洲玉米螟和桃蛀螟危害对玉米产量损失的影响[J]. 山东农业科学, 2019, 51(6):135-138.
- [10] 杨硕,石洁,张海剑,等. 桃蛀螟为害夏玉米果穗对产量的影响[J]. 植物保护学报, 2015, 42(6):991-996.

- [11] 王振营,王晓鸣. 我国玉米病虫害发生现状、趋势与防控对策[J]. 植物保护,2019,45(1):1-11.
- [12] 静大鹏,黄晓丹,高祖鹏,等. 桃蛀螟与松蛀螟两个近缘种的形态学和分子生物学特征比较[J]. 应用昆虫学报,2022,59(3): 489-498.
- [13] 许彦,刘露,杨易昆,等. 桃蛀螟为害佛手调查初报[J]. 中国植保导刊,2021,41(7):53-54.
- [14] 任晋萱,王开新,马丽. 甘肃河西:带果园食心虫种类调查初报[J]. 西北园艺(果树),2021(2):43-44.
- [15] SINGH S,KAUR G,ONKARA NAIL S,et al. The shoot and fruit borer, *Conogethes punctiferalis*(guenée):an important pest of tropical and subtropical fruit crops[M]//The Black spotted, Yellow Borer, *Conogethes punctiferalis* Guenée and Allied Species. Singapore:Springer Singapore,2018:165-191.
- [16] 黄建荣,李国平,黄博,等. 田间玉米植株上桃蛀螟卵的空间分布[J]. 植物保护,2018,44(3):177-181.
- [17] SHASHANK P R,DODDABASAPPA B,KAMMAR V,et al. Molecular characterization and management of shoot and fruit borer *Conogethes punctiferalis* guenée (Crambidae:Lepidoptera) populations infesting cardamom, *Castor* and other hosts [M]//New Horizons in Insect Science:Towards Sustainable Pest Management. New Delhi:Springer India,2015:207-227.
- [18] 陈公敏. 六种食物对桃蛀螟生长发育和繁殖的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2018:2-3.
- [19] ZHOU J,CHEN L L,ZHU Y T,et al. Volatiles of the trap crop sunflowers:effects on the behaviour of adult female *Conogethes punctiferalis* moths[J]. Journal of Applied Entomology,2023,147(10):924-930.
- [20] 魏鸿钧. 向日葵的大害虫:桃蛀螟[J]. 昆虫知识,1956(2):78.
- [21] 赵忠仁,尹纯寿,王元珪. 板栗桃蛀螟发生规律及防治研究[J]. 山东农业科学,1964(1):29-33.
- [22] 汤金荣,董少奇,李为争,等. 寄主植物对桃蛀螟生长发育及产卵选择行为的影响[J]. 生态学报,2020,40(5):1759-1765.
- [23] 王荣成. 桃蛀螟为害夏玉米的损失估计与经济阈值研究[D]. 泰安:山东农业大学,2020:2-4.
- [24] 庞允舜,李少华,王荣成,等. 温度对取食玉米籽粒桃蛀螟生长发育、存活和生殖的影响[J]. 应用生态学报,2022,33(6):1652-1660.
- [25] 侯艳红,杜梦园,陈琦,等. 2010—2021年河南漯河玉米螟和桃蛀螟种群动态演变[J]. 中国植保导刊,2023,43(7): 39-43.
- [26] 张大鹏. 夏玉米田桃蛀螟发生为害与气象条件关系调查[J]. 基层农技推广,2023,11(10):16-19.
- [27] 梁艳青,赵树旺. 丰南区玉米桃蛀螟的发生与综合防治[J]. 现代农村科技,2021(7):30.
- [28] 李志鹏,周丹,朱龙粉. 常州市武进区桃树主要病虫害发生动态监测[J]. 现代农业科技,2020(22):91-93.
- [29] 杨鹤同,程嘉倩,熊凯凡,等. 句容市桃园桃蛀螟成虫的种群动态研究[J]. 安徽农学通报,2020,26(8):75-76.
- [30] 吴立民,陆化森. 玉米田桃蛀螟发生规律的研究[J]. 昆虫知识,1995,32(4):207-210.
- [31] 田洪平,卢国彩,田洪霞,等. 山东潍坊玉米田桃蛀螟种群动态监测及性诱效果评价[J]. 中国植保导刊,2022,42(12): 29-31.
- [32] 董易之,徐淑,陈炳旭,等. 广东桃蛀螟发生分布与种群动态[J]. 环境昆虫学报,2014,36(4):624-628.
- [33] 冯春刚,黄国祥,邬美洪. 三峡库区桃蛀螟对柚树的为害及防治对策[J]. 植物医生,2013,26(4):7-9.
- [34] 王琨,王辉. 勉县桃蛀螟发生规律与综合防治[J]. 西北园艺(果树),2018(6):30-31.
- [35] 王芳,付红梅,胡松余,等. 油茶桃蛀螟生物学特性及灯光诱杀技术研究[J]. 浙江林业科技,2020,40(4):54-59.
- [36] 周光萍. 黔北地区柑桔桔果虫的发生危害规律与综合防治技术[J]. 北方园艺,2012(22):147-150.
- [37] HONDA H,KANEKO J,KONNO Y,et al. A simple method for mass-rearing of the yellow peach moth, *Dichocrocis punctiferalis* GUENEE (Lepidoptera:Pyralidae),on an artificial diet[J]. Applied Entomology and Zoology,1979,14(4):464-468.
- [38] 徐丽荣. 桃蛀螟人工饲养和滞育诱导特性及抗寒性研究[D]. 北京:中国农业科学院,2011:8-12.
- [39] 耿亚玲,石洁,张海剑,等. 一种桃蛀螟人工饲料及其制备方法和应用:201810099303.1[P]. 2018-05-18.
- [40] 静大鹏,王振营,何康来,等. 一种桃蛀螟的人工饲料及其制备方法和应用:201810977624.7[P]. 2018-11-16.
- [41] 李国平,姬婷婕,黄建荣,等. 桃蛀螟幼虫人工饲料、其制备方法及桃蛀螟饲养方法:201810508190.6[P]. 2021-10-29.
- [42] 王荣成,刘家魁,朱晓颖,等. 防治玉米田桃蛀螟幼虫杀虫剂的筛选[J]. 农药科学与管理,2020,41(6):42-47,53.
- [43] 周丹,朱龙粉,李志鹏,等. 薄壳山核桃蛀果害虫药剂筛选试验初探[J]. 现代农药,2022,21(1):72-75.
- [44] KIM K,BAEK S,KIM M J,et al. Efficiency of chemical and organic pesticides for *Conogethes punctiferalis* (Lepidoptera: Crambidae) in commercial chestnut and walnut fields [J]. Journal of Asia-Pacific Entomology,2022,25(2):101897.
- [45] 农业农村部. 2024年玉米重大病虫害防控技术方案[R/OL]. (2024-03-08)[2025-01-13]. https://www.moa.gov.cn/ztzl/2024_cg/jszd_29651/202403/t20240308_6450963.htm.
- [46] 陈万斌,杨宸,黄晓丹,等. 桃蛀螟性诱剂的筛选及其在黄淮海夏玉米区种群动态监测中的应用[J]. 植物保护, 2022,48(1):211-219.
- [47] 翟浩,王丹,马亚男,等. 糖醋酒液对桃园和苹果园中桃蛀螟的诱捕效果分析[J]. 植物保护学报,2019,46(4):894-901.
- [48] 王建华. 板栗红蜘蛛和桃蛀螟防控技术研究及不同板栗品种(系)抗性评价[D]. 秦皇岛:河北科技师范学院,2023:38-43.

(下转第68页)

陈亚丽,唐艺婷,张 军,等. 江苏淮安地区玉米主要病虫害及绿色防控策略[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(3):62–68(2025–06–11).
https://doi.org/10.14069/j.cnki.32–1769/s.2025.03.010.

江苏淮安地区玉米主要病虫害及绿色防控策略

陈亚丽¹,唐艺婷¹,张 军²,李春梅²,钱 新¹,李美霞¹,周长勇¹,付佑胜^{1*}

(1. 江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所 / 国家农业科学淮安观测实验站,江苏 淮安 223001;

2. 淮安市植保植检站,江苏 淮安 223001)

摘要:玉米作为淮安地区重要的农作物之一,其病虫害的发生是制约产量和品质的重要因素,为促进玉米生产的可持续发展,统计了 2020—2024 年淮安地区玉米主要病虫害的发生和为害情况,并阐述了绿色防控策略。发生的病害主要有玉米小斑病(玉蜀黍平脐蠕孢)、玉米叶斑病(嘴突凸脐蠕孢)、弯孢霉叶斑病、玉米青枯病、玉米南方锈病、玉米瘤黑粉、玉米纹枯病 7 种;虫害主要有草地贪夜蛾、甜菜夜蛾、桃蛀螟、玉米黏虫、玉米螟、玉米蚜虫 6 种,对玉米生长和产量影响比较大的是草地贪夜蛾、桃蛀螟、甜菜夜蛾、玉米小斑病、玉米锈病和玉米青枯病。近年来通过对玉米病虫监测及绿色防控示范,积累了丰富的病虫害绿色防控技术,制定了适合淮安地区玉米病虫害绿色防控技术体系,为玉米病虫害防治的绿色、科学和可持续提供了技术支撑。

关键词:玉米;病虫害;绿色防控;综合防治

中图分类号:S513

文献标志码:B

文章编号:1673–6486–20250021

淮安市地处江苏中北部,在我国暖温带和亚热带分界线上,兼有南北气候特征,气候条件适宜多种农作物种植^[1]。全市总播种面积 81.59 万 hm²,其中玉米播种面积 2.3 万 hm²,产量为 355.0 kg/667 m²,总产量为 122 618 t^[2]。玉米作为高产、稳产的粮食和饲料作物^[3],对于保障淮安地区的粮食安全具有重要意义,不仅丰富了当地的粮食资源,还带动了相关产业的发展,促进了农民增产增收。

随着农业科技的不断进步和市场需求的变化,玉米产量和品质将面临新的机遇和挑战^[4]。玉米病虫害是制约玉米健康发展的重要因素^[3–4]。本文从 2020—2024 年持续 5 年探究淮安地区玉米病虫害的发生种类和程度,为淮安地区玉米病虫害综合治理提供依据,为不断提高病虫害的监测预警引进新理念、新技术、新模式,为提高玉米病虫害的预防效果提供数据支撑。

1 淮安地区玉米病虫害统计

1.1 主要病害

1.1.1 玉米蠕孢类叶斑病。玉米蠕孢类叶斑病主要是由玉蜀黍平脐蠕孢(*Bipolaris maydis*)侵染引起的玉米小斑病和嘴突凸脐蠕孢(*Exserohilum rostratum*)侵染引起的玉米叶斑病^[5–6]。玉米小斑病主要为害玉米叶片,也可害叶鞘和苞叶,从玉米下部叶片开始发病,逐渐向上扩展。发病初期玉米叶片出现褪绿斑点,随着病害的发展,逐渐形成椭圆形病斑^[5–6]。玉米叶斑病初期症状为浅黄色斑点,随着病斑的扩展,逐渐延伸为边缘黄褐色、中间灰白色的纺锤形或椭圆形病斑^[6]。病原菌通过气流传播,侵入玉米植株后,产生分生孢子通过气流进行再侵染,玉米收获后病原菌通过病残体在土壤中越冬^[6–8]。玉米蠕孢类叶斑病近 5 年总体发生情况为轻度或中等程度(表 1、图 1–A、图 1–B)。

1.1.2 玉米弯孢霉叶斑病。玉米弯孢霉叶斑病由新月弯孢霉(*Curvularia lunata* Boedijn)侵染引起^[9–10],发病初期叶片上出现褪绿小斑,随着病情的发展,逐渐扩展为中心黄褐色,有黄色晕圈的透明圆形至椭圆形斑^[9–10]。病原菌以菌丝或分生孢子在玉米病残体中或其他禾本科植物中越冬,在合适的条件下分生孢子萌发,通过气流或雨水传播,并在田间扩散^[9–10]。玉米弯孢霉叶斑病近 5 年总体发生情况为轻度,主要发生在夏玉米(表 1、图 1–C)。

收稿日期:2025–02–24;修回日期:2025–05–30。

基金项目:江苏农业科技自主创新资金项目[CX(23)3008];淮安市农业科学研究院科技发展基金(HNY202205);淮安市农业科学研究院高层次引进人才科研启动发展基金(0152021010B)。

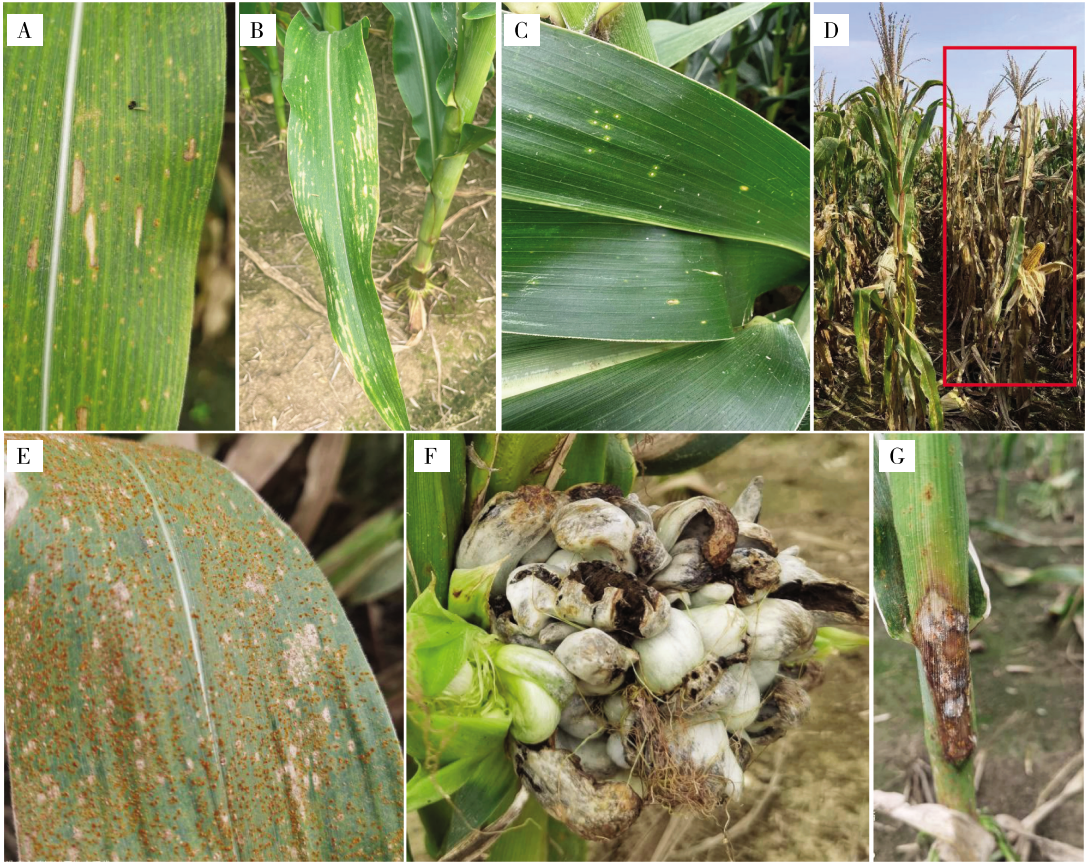
作者简介:陈亚丽(1993—),女,硕士,助理研究员,主要从事农作物病害绿色化学防控研究。Email:chenyali1231@163.com。

* 通信作者:付佑胜(1980—),男,硕士,副研究员,主要从事农田杂草抗性治理及农药减施喷施技术研究。Email:youshengfu@163.com。

表 1 2020—2024 年淮安地区玉米病虫害发生程度

病虫害名称	发生程度 / 级					主要为害时期
	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年	2024 年	
玉米小斑病(玉蜀黍平脐蠕孢)	1	1	1	1	2	小喇叭口期至乳熟期
玉米叶斑病(嘴突凸脐蠕孢)	0	0	0	0	1	大喇叭口期至乳熟期
弯孢霉叶斑病	0	0	0	1	1	抽雄后
玉米青枯病	0	0	0	0	1	乳熟后期
玉米南方锈病	2	3	2	2	2	结穗至采收期
玉米瘤黑粉	1	0	1	0	1	抽雄期后为高峰期
玉米纹枯病	1	1	1	1	1	抽穗至灌浆期
草地贪夜蛾	3	3	1	1	1	玉米苗期至大喇叭口期
甜菜夜蛾	2	2	2	1	1	苗期和穗期
桃蛀螟	3	3	3	3	3	穗期
玉米黏虫	1	1	1	1	1	苗期和穗期
玉米螟	1	1	1	1	1	新叶期、抽雄期和穗期
玉米蚜虫	1	2	1	1	1	苗期和穗期

注:病害的病叶(株)率(%)分级标准:15.0%~20.0%为1级,20.1%~40.0%为2级,40.1%~60.0%为3级,60.1%~80.0%为4级,>80.0%为5级。虫害的被害株率(%)分级标准:15.0%~20.0%为1级,20.1%~40.0%为2级,40.1%~60.0%为3级,60.1%~80.0%为4级,>80.0%为5级。单株蚜量(头)分级标准:100~200头为1级(轻发生),201~400头为2级(偏轻发生),401~700头为3级(中等发生),701~1000头为4级(偏重发生),>1000头为5级(大发生)。



A. 玉米小斑病(玉蜀黍平脐蠕孢);B. 玉米叶斑病(嘴突凸脐蠕孢);C. 弯孢霉叶斑病;D. 玉米青枯病;
E. 玉米南方锈病;F. 玉米瘤黑粉;G. 玉米纹枯病

图 1 江苏淮安地区玉米主要病害

1.1.3 玉米青枯病。玉米青枯病也称茎基腐病、根腐等,由镰刀菌属和腐霉菌属复合侵染引起^[11],症状为玉米植株突然萎蔫,整株叶片呈现水烫状干枯,根部和茎基部呈现水浸状,苞叶干枯,果穗下垂,最终玉米整株倒伏枯死^[12-13]。玉米青枯病是玉米上重要的土传病害,镰刀菌以分生孢子或者菌丝体、腐霉菌以卵孢子随病残体在土壤内越冬,带菌种子是主要的侵染源,潜育期较长,潜入后通过根茎部伤口或直接侵入到玉米植株并进入茎节。病菌通过风雨、农事操作、昆虫携带等传播^[11-13]。玉米青枯病近5年总体发生情况为轻度(表1、图1-D)。

1.1.4 玉米南方锈病。玉米南方锈病由多堆柄锈菌(*Puccinia polysora* Underw.)侵染引起^[14],主要为害玉米叶片和叶鞘,发病初期叶片形成褪绿斑点,斑点扩展为橘黄色的疱斑(夏孢子堆)。发生严重时,夏孢子堆连成片,导致叶片干枯死亡^[14-16]。玉米南方锈病为典型的气传病害,病原菌为专性寄生菌,夏孢子堆可以随着气流进行远距离的传播,条件适宜时该菌可以多次产生夏孢子,不断造成再侵染;条件不适宜时南方锈菌产生冬孢子越冬,冬孢子产生的担孢子成为翌年的初侵染源^[14-16]。玉米锈病近5年总体发生情况为偏轻到中等(表1、图1-E)。

1.1.5 玉米瘤黑粉。玉米瘤黑粉,又称黑粉病、黑穗病,由玉米黑粉菌[*Ustilago maydis* (DC) Corda.]侵染引起^[17-18],在玉米的各个生长阶段均可感染,一般在抽雄后显著增加。玉米的侵染部位会形成菌瘿,在菌瘿初期外层被一层浅色薄膜包裹,随着黑粉菌的大量增殖,菌瘿的颜色会逐渐加深,菌瘿的内部也会由白色转成黑色,成熟后薄膜破裂散出大量的黑色粉末,即为冬孢子;若菌瘿发育受阻时会变得小而硬,会产生很少或者不产生冬孢子^[17-18]。玉米瘤黑粉是局部侵染性病害,病原菌在病残体或土壤中越冬,也可在种子或未腐熟的肥料中越冬;担孢子随着风雨或农事操作传播,直接或通过伤口侵入玉米组织,入侵后形成的冬孢子随着风雨进行再次侵染^[17-18]。玉米瘤黑粉病近5年零星发生,发生程度较轻,主要发生在夏玉米(表1、图1-F)。

1.1.6 玉米纹枯病。玉米纹枯病由立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)侵染引起^[19],主要为害玉米叶鞘,叶片、果穗和苞叶也会受到危害。发病初期,茎基部叶鞘感病,出现水浸状灰绿色病斑,随着病情发展,病斑变成红褐色云纹状,严重时茎秆上形成黑褐色下陷的斑块;湿度较大或后期,病菌产生菌核,初为白色,后成为褐色^[20-21]。玉米纹枯病为土传病害,菌

核或菌丝在土壤或病残体中越冬,条件合适时菌核萌发产生菌丝或者存货的菌丝通过表皮、气孔和自然孔口侵入玉米茎基部,接着向上蔓延为害茎秆;湿度大时,病斑产生担孢子,担孢子随风雨传播造成再次侵染^[19-22]。玉米纹枯病近5年每年都有发生,发生程度较轻(表1、图1-G)。

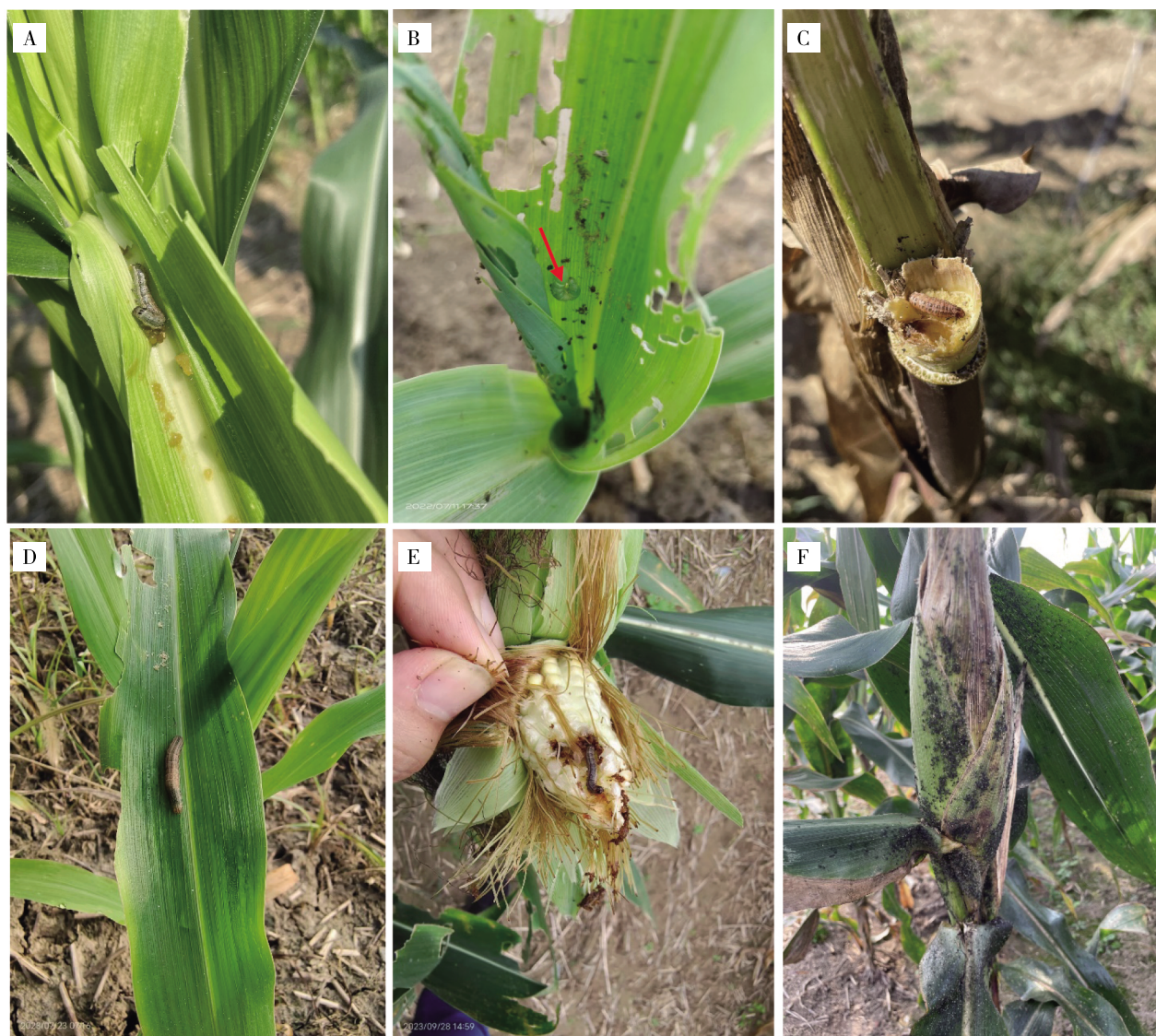
1.2 主要虫害

1.2.1 鳞翅目害虫。淮安地区玉米田主要发生的鳞翅目害虫有草地贪夜蛾、甜菜夜蛾、桃柱螟、玉米黏虫、玉米螟。1)草地贪夜蛾:幼虫取食非常广泛,主要为害玉米叶片、心叶和玉米穗部,叶片被取食后形成半透明的“窗孔”,咬食的心叶呈破烂状。幼虫的典型特征为头部有倒“Y”型斑^[23-26]。近5年发生情况:2020—2022年为中等程度发生,近2年为轻度发生(表1、图2-A)。2)甜菜夜蛾:抗药性较强的杂食性害虫,主要表现为取食叶肉和钻蛀行为,啃食叶片后形成空洞或缺刻,严重时将玉米叶片吃光仅留叶脉。幼虫的典型特征为腹部气门下线有明显的黄白色棕带^[26-27]。近5年发生情况:2020—2023年为偏轻发生,2024年发生较轻(表1、图2-B)。3)桃柱螟:杂食性害虫,主要表现为钻蛀玉米茎秆和蛀食籽粒。幼虫的典型特征为体色主要是粉红色,背部各体节有黑褐色毛片^[28-29]。近5年发生情况:中等程度发生(表1、图2-C)。4)玉米黏虫:群聚性、暴食性、迁飞性的害虫,主要表现为取食玉米叶片,叶片呈缺刻状,严重时将叶片吃光。幼虫的典型特征为头部有“八”字黑纹,身上有5条背线^[30]。近5年发生情况:较轻发生(表1、图2-D)。5)玉米螟:多食性害虫,主要表现为取食叶片后,叶片上呈现整齐的虫孔,钻柱茎秆和穗部,常有大量的粪便。幼虫的典型特征为背部有明显的毛片,有纵线3条^[31-34]。近5年发生较轻(表1、图2-E)。

1.2.2 玉米蚜虫。对玉米的危害主要体现为吸食玉米叶片汁液、影响授粉,使植株衰弱、果穗瘦小、籽粒不饱满^[35-36]。近5年发生情况:轻发生,2022年为偏轻发生(表1、图2-F)。

1.3 淮安地区玉米病虫害年度统计

淮安地区玉米主要种植县区为淮安市、盱眙县、涟水县,表2为2020—2024年主要种植区病虫害年度统计,其中2021年和2024年病虫害发生较为严重,发生面积分别为1.92万、1.49万hm²,防治面积分别为2.19万、1.84万hm²,实际损失分别为1392.0、708.0t,挽回损失分别为7860.0、8150.0t。



A. 草地贪夜蛾; B. 甜菜夜蛾; C. 桃蛀螟; D. 玉米黏虫; E. 玉米螟; F. 玉米蚜虫

图 2 江苏淮安地区玉米主要虫害

表 2 2020—2024 年淮安地区玉米病虫害年度统计表

年份	发生面积 / 万 hm^2	防治面积 / 万 hm^2	实际损失 / t	挽回损失 / t
2020	0.50	0.86	128.0	1 860.0
2021	1.92	2.19	1 392.0	7 860.0
2022	0.64	0.80	156.6	2 338.0
2023	0.93	1.87	188.0	2 820.0
2024	1.49	1.84	708.0	8 150.0

2 淮安地区玉米主要病虫害绿色防控技术

2.1 监测预警

病虫害监测作为病虫害管理的重要组成部分,其意义不仅在于预防和控制病虫害,更在于农业生产

的可持续性发展。监测不仅是针对病虫害的监测,也包括对天敌昆虫等有益生物的观察^[37],为制定更为精准的病虫害防治提供科学依据。

2.2 农业防治

1) 选用适合淮安地区种植的抗病品种苏科糯

10 号、苏科糯 12、苏科糯 1505、苏玉 42、苏科玉 076、黄金粮 MY73、淮玉 1606、瑞华玉 288、江玉 87 等。2)加强田间管理,在播种前清理农田杂草及深翻土地,降低田间菌源和虫卵基数。3)适当轮作,采用套种或与非禾本科作物轮作,改变土壤微生物群落结构,以减少虫源和病源^[8,29,38-40]。4)根据病虫害暴发规律选择合适的播期,以解决病虫害暴发期和玉米生长期重叠问题。

2.3 物理防治

1)从防控鳞翅目害虫角度,可用性诱、灯诱、食诱来诱杀鳞翅目害虫,通常安装诱集装置 2~3 个/hm²,如设置黑光灯、频振式杀虫灯或者性诱剂等诱杀。2)从防控蚜虫的角度来讲,可利用黄斑诱杀蚜虫,安装涂油黄板约 300 块/hm²,高度与玉米接近。这些措施都可以降低虫口数量,减少化学药剂的使用^[37-40]。

2.4 生物防治

生物防治通常结合物理防治和农业防治综合防控病虫害,具有绿色、环保、可持续等优势。采用“以虫治虫”或“以菌治虫”来达到防虫治虫的目的,例如:通过释放赤眼蜂,其卵能寄生在玉米螟虫体内,进而有效防控虫害,通常每次投放赤眼蜂 1 万只/667 m²;利用苏云金芽孢杆菌、绿僵菌、白僵菌等生物制剂防治草地贪夜蛾,以使用苏云金杆菌为例,施用 8 000 IU/mg 的苏云金杆菌 500~600 mL/667 m²。江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所植保研究中心田间试验表明,喷施生物菌剂(哈茨木霉或者春雷霉素等)能有效防治玉米叶部病害^[8,29,38-40]。

2.5 化学防治

为实现绿色防控目标,轮换使用不同类型低毒、绿色药剂,以减少用药量和降低抗药性,并联合

农业和物理防治等技术提高效果。在玉米生长中后期预防叶部病害可用 19%丙环唑·嘧菌酯悬浮剂 50~70 mL/667 m²、17%吡唑醚菌酯悬浮剂 40~60 mL/667 m²、30%唑醚·戊唑醇悬浮剂 25~45 mL/667 m²等,选用 15%氯虫苯甲酰胺悬浮剂 16~20 mL/667 m²、14%氯虫·高氯氟微囊悬浮-悬浮剂 15~20 mL/667 m²、10%甲维·高氯氟微囊悬浮-悬浮剂 4~6 mL/667 m²、10%氟苯虫酰胺悬浮剂 20~30 mL/667 m²等来防治草地贪夜蛾、甜菜夜蛾、黏虫、桃蛀螟等^[8,29,38-40]。

3 总结

综上所述,江苏省淮安地区玉米发生的病害主要有玉米小斑病、玉米南方锈病、玉米瘤黑粉、玉米青枯病、弯孢霉叶斑病、玉米叶斑病、玉米纹枯病 7 种;虫害主要有草地贪夜蛾、玉米螟、桃蛀螟、甜菜夜蛾、玉米黏虫、玉米蚜虫 6 种,对玉米生长和产量影响比较大的是草地贪夜蛾、桃蛀螟、甜菜夜蛾、玉米小斑病、玉米锈病和玉米青枯病。

玉米病虫害绿色防控技术是提高玉米产量和质量的重要手段之一,近年来江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所植保研究中心通过对玉米病虫害监测及绿色防控示范,积累了丰富的病虫害绿色防控技术,进一步加强了科研与生产的结合。江苏淮安地区玉米病虫害防治逐渐形成了从品种选择到收获的全生育期病虫害绿色防控技术体系(表 3),根据病虫害发生发展规律,针对玉米不同生育期的主控对象灵活运用生物防治和化学防控,并提高监测预警,为淮安地区玉米产业的可持续发展提供技术支持。

表 3 淮安地区玉米病虫害绿色防控技术实施简表

月	6	7		8			9		10
旬	下	上	下	上	中	下	上	下	上
生育期	播种期		出苗期	拔节期	小喇叭口期	抽雄期	吐丝期	成熟期	
主控对象	玉米青枯病、瘤黑粉			蠕孢类叶斑病、锈病、青枯病、瘤黑粉、纹枯病					
				草地贪夜蛾、玉米黏虫			甜菜夜蛾、桃柱螟、玉米黏虫、玉米螟、蚜虫		
防治措施	抗病品种 + 种子处理		物理防治 + 生物防治 + 化学防治						
备注	抗病品种:选用抗病品种推荐苏科糯 10 号、苏科糯 12、苏科糯 1505、苏玉 42、苏科玉 076、淮玉 1606 等审定品种。								
	种子处理:精选种子,并用药剂拌种,可选用咯菌腈、精甲霜灵、噻菌酯等拌种。								
	理化诱控:利用害虫的趋光性和趋化性,田间设置性诱剂、杀虫灯等诱杀害虫。								
	释放赤眼蜂:提前预测预报玉米螟的发生情况,在卵期释放赤眼蜂,兼治桃蛀螟。								
	化学防控:防治玉米蠕孢类叶斑病和锈病可用丙环唑·噻菌酯、苯甲·丙环唑、吡唑醚菌酯、唑醚·戊唑醇等,防治纹枯病可选用苯甲·丙环唑、苯甲·醚菌酯、戊唑醇、己唑醇、噻呋酰胺等,防治鳞翅目害虫可使用氯虫苯甲酰胺、高效氯氟氰菊酯、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、虫螨腈以及甲氧虫酰胺 + 茚虫威等复配制剂。								

参考文献:

- [1] 潘丽媛,傅蒙蒙,王永军,等. 新形势下国家商品粮基地发展为重要优质粮供应地路径初探:以江苏省淮安市 5 个县区为例[J]. 安徽农业科学,2022,50(1):228-233.
- [2] 淮安市统计局. 淮安统计年鉴 2024[EB/OL]. (2025-01-22) [2025-02-24]. <http://tjj.huaian.gov.cn/tjnj/content/17356608/17375117994016Gxnz7JR.html>.
- [3] 陈亚丽,唐艺婷,张学峰,等. 4 种生物制剂对玉米 2 种病害的田间防治效果[J]. 安徽农业科学,2024,52(20):115-117.
- [4] 岳云先. 创新优化玉米种植技术和病虫害综合防治实施探讨[J]. 种子世界,2024(12):42-44.
- [5] CHEN Y L,MAO X W,WANG J X,et al. Activity of the dinitroaniline fungicide fluazinam against *Bipolaris maydis*[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology,2018,148:8-15.
- [6] 王丽虹. 山西省玉米嘴突凸脐腐抱叶斑病菌的鉴定与室内药剂筛选[D]. 太谷:山西农业大学,2023:6-12.
- [7] VANLALHURUAIA,MAHAPATRA S,DAS S. Evaluation of fungicides,botanicals and biocontrol agents for management of southern leaf blight of maize (*Bipolaris maydis*) with effective benefit cost ratio[J]. International Journal of Bio-Resource and Stress Management,2022,13(11):1252-1260.
- [8] 王朝霞,李 燕. 德州市玉米病虫害的发生情况及绿色防控策略[J]. 现代农村科技,2024(4):60-62.
- [9] 游朋朋. 玉米弯孢霉叶斑病抗病品系及有效药剂筛选[D]. 泰安:山东农业大学,2020:1-7.
- [10] 刘 群. 玉米小斑病菌和弯孢霉叶斑病菌生物学特性及有效药剂和生防菌株的筛选[D]. 泰安:山东农业大学,2015:11-19.
- [11] 吴小龙. 玉米青枯病菌的鉴定、生物学特性及生物防治研究[D]. 雅安:四川农业大学,2010:5-11.
- [12] 李红磊. 玉米青枯病生防菌筛选及其应用技术研究[D]. 郑州:河南农业大学,2010:1-7.
- [13] 刘 新,任凤山,徐晓辉,等. 山东省玉米青枯病主要致病菌的分离鉴定及优势致病菌的致病性测定[J]. 山东农业科学,2021,53(9):100-104.
- [14] 张小利. 玉米对大斑病和南方锈病抗病性研究[D]. 北京:中国农业科学院,2013:7-9.
- [15] 曹顺实. 玉米南方锈病抗性品种鉴定和抗性 QTL 定位[D]. 泰安:山东农业大学,2023:1-7.
- [16] 王子伟,鲍 丽,宛 琼,等. 不同药剂及施药技术对玉米南方锈病的防效研究[J]. 植物保护,2024,50(4):368-375.
- [17] 刘小迪. 玉米瘤黑粉病菌遗传多样性及玉米品种抗性分析[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2019:5-9.
- [18] 李昕洋. 瘤黑粉菌侵染对玉米苗期叶片组织细胞及光合特性的影响[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2022:5-7.
- [19] 梁冠宇. U-box 类 E3 泛素连接酶基因 *ZmPUB19* 调控玉米纹枯病抗性的机理研究[D]. 泰安:山东农业大学,2024:3-5.
- [20] 刘 博,任启峰,贺 妍,等. 玉米纹枯病菌菌核形成相关基因 *CYP450* 表达特性分析[J]. 延安大学学报(自然科学版),2024,43(4):1-6.
- [21] 孟红绪. 纹枯病菌致病力相关 miRNAs 的鉴定及其对玉米靶基因的调控[D]. 泰安:山东农业大学,2021:1-5.
- [22] 章慧敏,宋旭东,周广飞,等. 玉米纹枯病研究进展[J]. 江苏农业科学,2022,50(2):8-14.
- [23] 陆晨艳,万 鹏,尹海辰,等. 香加皮乙醇提取物对草地贪夜蛾生殖行为的影响[J]. 应用昆虫学报,2024,61(5):1018-1025.
- [24] 李云飞,马丽华,宁锦程,等. 3 种生物杀虫剂防治草地贪夜蛾田间药效试验[J]. 云南农业科技,2024(增刊 1):93-96.
- [25] 郭井菲,静大鹏,太红坤,等. 草地贪夜蛾形态特征及与 3 种玉米田为害特征和形态相近鳞翅目昆虫的比较[J]. 植物保护,2019,45(2):7-12.
- [26] 吴钰薇,郑林浩,高 鹏,等. 异色瓢虫对甜菜夜蛾和草地贪夜蛾的捕食潜能[J]. 植物保护,2024,50(5):171-179.
- [27] 罗礼智,曹雅忠,江幸福. 甜菜夜蛾发生危害特点及其趋势分析[J]. 植物保护,2000,26(3):37-39.
- [28] 徐姗姗,刘娟娟,李铁钢,等. 桃蛀螟发生规律及防治方法[J]. 河北果树,2016(1):48.
- [29] 王振营,王晓鸣. 我国玉米病虫害发生现状、趋势与防控对策[J]. 植物保护,2019,45(1):1-11.
- [30] 杨 灿,母银林,王 洁,等. 黏虫生物防治研究进展[J]. 安徽农业科学,2021,49(4):10-15.
- [31] 常玉明,张正坤,赵 宇,等. 玉米大豆间作对玉米主要病虫害发生及其产量的影响[J]. 植物保护学报,2021,48(2):332-339.
- [32] 彭 炎. 亚洲玉米螟种群演化及环境适应性的研究[D]. 武汉:华中农业大学,2024:3-6.
- [33] 李学海. ABC 转运蛋白调控亚洲玉米螟 (*Ostrinia furnacalis*) 对 Cry1Ab 毒蛋白抗性 & 功能分析[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2023:5-6.
- [34] 高晋丽,杨丽莉,刘 瑶,等. 亚洲玉米螟发生和防治研究进展[J]. 中国植保导刊,2024,44(10):22-28,40.
- [35] 陈梅兰,韦琪琳,莫丹妮,等. 黄斑盘瓢虫和六斑月瓢虫对玉米蚜的捕食作用[J]. 植物医学,2024,3(4):58-66.
- [36] 刘 峰. 玉米蚜虫和螟虫的发生与防治[J]. 种子科技,2023,41(24):82-84.
- [37] 王 苹,张海波,周 晨,等. 江苏省农作物重大病虫害数字化监测预警系统建设现状及对策[J]. 现代化农业,2024(3):27-29.
- [38] 宋 坤. 绿色防控技术在玉米病虫害防治中的应用优势及高效策略[J]. 种子世界,2024(10):120-122.
- [39] 刘晓虹. 玉米病虫害综合绿色防控技术[J]. 河南农业,2024(23):47.
- [40] 刘晓明. 玉米病虫害防治技术[J]. 农业技术与装备,2024(10):91-92,95.

Main Diseases and Pests and Green Control Strategies of Maize in Huai'an City, Jiangsu Province

CHEN Yali¹, TANG Yiting¹, ZHANG Jun², LI Chunmei², QIAN Xin¹, LI Meixia¹, ZHOU Changyong¹, FU Yousheng¹

(1. Jiangsu Xuhuai Area Huaiyin Institute of Agricultural Sciences / National Agricultural Science Observation and Experiment Station of Huai'an, Huai'an 223001, China; 2. Huai'an Plant Protection and Quarantine Station, Huai'an 223001, China)

Abstract: As one of the most important crops in Huai'an, maize faces significant challenges from diseases and insect pests, which critically constrain its yield and quality. To enhance the sustainable development of maize production, this paper summarizes the occurrence and damage status of major maize diseases and insect pests, and elaborates on green control strategies in Huai'an from 2020 to 2024. The main diseases that occurred include corn southern leaf blight, corn southern rust, maize smut, stem of corn, curvularia leaf spot, corn leaf spot disease (*Exserohilum rostratum*), and corn sheath blight, totaling seven bacteria disease. The main pests include six insects: *Spodoptera frugiperda*, *Ostrinia furnacalis*, *Dichocrocis punctiferalis*, *Spodoptera exigua*, *Mythimna separata* (Walker) and *Rhopalosiphum maidis* (Fitch). Among them, *Spodoptera frugiperda*, *Dichocrocis punctiferalis*, *Spodoptera exigua*, corn southern leaf blight, corn southern rust and stem of corn, have a relatively significant impact on the growth and yield of corn. In recent years, through the monitoring of corn diseases and pests and the demonstration of green control, rich green control technologies for diseases and pests have been accumulated. Green prevention and control technologies suitable for corn diseases and pests in Huai'an area have been formulated, providing a basis for the green, scientific and sustainable prevention and control of corn diseases and pests.

Key Words: Maize; Diseases and pests; Green control; Integrated control

(上接第 61 页)

[49] 徐建平, 吴利平, 洪旗, 等. 苏云金杆菌防治板栗桃蛀螟试验[J]. 江苏林业科技, 2002, 29(5): 31–32.

[50] 杨俊华. 白僵菌防治桃蛀螟试验[J]. 江西林业科技, 2005 (4): 26–27.

[51] CHOO H Y, KIM H H, LEE D W, et al. Practical utilization of entomopathogenic nematodes, *Steinernema carpocapsae* pocheon strain and *Heterorhabditis bacteriophora* hamyang strain for control of chestnut insect pests[J]. Korean Journal of Applied Entomology, 2001, 40(1): 69–76.

[52] STANLEY J, CHANDRASEKARAN S, PREETHA G.

Conogethes punctiferalis (Lepidoptera: Pyralidae) its biology and field parasitization[J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2009, 79(11): 906–909.

[53] 陈万斌, 何康来, 王勤英, 等. 不同品系赤眼蜂对桃蛀螟卵的寄生选择性[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(2): 167–172.

[54] 沈茹丹. 蠋蛾对板栗害虫桃蛀螟的捕食作用及其对 5 种杀虫剂的敏感性评价[D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2023: 20–23.

[55] 李少华. 桃蛀螟免疫防御球孢白僵菌侵染的组学研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022: 32–33.

Research Progress in Damage and Control of *Conogethes Punctiferalis* on Maize

TANG Yiting, CHEN Chengyu, ZHAO Yunxia, ZHANG Xuefeng, ZHANG Kai, FU Yousheng

(Jiangsu Xuhuai Area Huaiyin Institute of Agricultural Sciences / National Agricultural Science Observation and Experiment Station of Huai'an, Huai'an 223001, China)

Abstract: *Conogethes punctiferalis* is a polyphagous pest that can damage various crops such as corn. In the 1990s, China adjusted its planting structure, expanded the planting area of corn, and the damage of *C. punctiferalis* to corn became increasingly serious. This paper focuses on elaborating the damage of *C. punctiferalis* to corn, and simultaneously introduces other host plants of this pest. This paper elaborates the damage of *C. punctiferalis* to corn, introduces other host plants of *C. punctiferalis*, summarizes the overwintering patterns and occurrence patterns of *C. punctiferalis*, and reviews the current control methods for this pest, mainly including chemical control, agricultural control, physical control, and biological control, providing references for scientific research and production applications.

Key Words: Maize; *Conogethes punctiferalis*; Damage; Occurrence pattern

王月超,孙 丹,尚佳薇,等. 丰产早熟落芒型饲用大麦新品种龙饲麦 5 号的选育及栽培技术[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(3): 69–71,79(2025–05–13). <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.03.011>.

丰产早熟落芒型饲用大麦新品种龙饲麦 5 号的选育及栽培技术

王月超,孙 丹,尚佳薇,刘广阳,王秀君,刁鹤楠,刁艳玲*

(黑龙江省农业科学院,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:龙饲麦 5 号是黑龙江省农业科学院作物资源研究所以垦啤麦 7 号作母本,与父本龙 16D299 进行有性杂交后,利用系谱法选育而成的适口性好的黑龙江省第 1 个丰产早熟落芒型饲用大麦新品种。2020—2021 年,龙饲麦 5 号在黑龙江省、内蒙古东北部地区完成品种适应性试验,结果显示,该品种 2 年平均产量 4 196.3 kg/hm²,较对照品种垦啤麦 10 号平均增产达 7.2%。龙饲麦 5 号于 2024 年 4 月通过国家非主要农作物品种登记,登记号为 GPD 大麦(青稞)(2024)230007。

关键词:大麦;饲用;龙饲麦 5 号;品种选育

中图分类号:S512.3

文献标志码:B

文章编号:1673-6486-20240091

畜牧业作为黑龙江省农业经济的第二大产业,随着牲畜扩群增量、存栏数量快速增长,人畜争粮的矛盾日益突出^[1]。发展新的优质饲料资源成为解决该问题的主要途径之一。大麦是世界上主要的禾谷类作物之一,全球年平均播种面积和平均产量仅次于玉米、小麦和水稻,位居第 4^[2]。作为一种古老且广泛种植的作物,大麦不仅是重要的粮食作物,在饲草领域也占据着重要地位^[3]。它具有出色的环境适应性,能在多种气候和土壤条件下生长,且大麦的生长周期相对较短,具有熟期早、适应性广、抗逆性强等特点,这为饲草快速供应创造了条件^[4]。大麦在全生育期均可作为饲料使用^[5-6],且不同的饲料制作方式均能满足畜牧业在不同时期对饲料的不同需求。从营养价值上看,大麦作为饲料主要营养成分为粗蛋白、碳水化合物以及矿物质和维生素,相较于其他常见饲草如玉米秸秆等,大麦具有相对较高的粗蛋白含量,这使得它能够较好地满足家畜生长发育过程中对蛋白质的需求^[7];大麦中丰富的碳水化合物能够为家畜提供能量,维持其日常的生理活动。大麦中的纤

维素在促进肠道蠕动、维持肠道微生物区系平衡等方面发挥着重要作用。大麦还含有多种矿物质及一定量的 B 族维生素等,可满足畜牧业对优质饲料的需求^[8-9]。因此,选育优质饲用大麦新品种,无论是对我国畜牧业的发展还是对我国粮食安全都具有十分深远的意义。黑龙江省农业科学院作物资源研究所 2024 年选育了适口性好的黑龙江省第 1 个早熟落芒型饲用大麦新品种——龙饲麦 5 号。

1 龙饲麦 5 号选育过程

龙饲麦 5 号是以分蘖力强、穗层齐、千粒质量高、容重高的垦啤麦 7 号为母本,与生物产量高、抗倒伏、落芒性好的父本龙 16D299 进行杂交,采用系谱法选育的适口性好的黑龙江省第 1 个早熟落芒型饲用大麦新品种。选育过程如图 1 所示。

2 龙饲麦 5 号主要特征特性

2.1 农艺性状

由表 1、表 2 可知,龙饲麦 5 号全生育期 71.0 ~ 79.0 d,属早熟型春性大麦品种,株高 94.2 cm 左右,穗长 6.2 ~ 8.0 cm,二棱,单株穗数 4.0 ~ 6.0 个,穗粒数 22 ~ 38 粒/穗,单株粒质量 4.0 ~ 5.0 g,千粒质量 38.6 ~ 52.0 g;籽粒大小中等,颜色白色,粒形长圆形。龙饲麦 5 号在成熟之前具有长、直、齿芒,至成熟期穗芒脱落,具有分蘖能力强、长势繁茂、植株剪强度高、茎秆强度强等特点。

收稿日期:2024-09-15;修回日期:2025-04-16。

基金项目:国家大麦青稞产业技术体系(CARS-05);黑龙江省农业科技创新跨越工程农业关键技术科技创新重点攻关项目(CX23GG03);黑龙江省现代农业产业技术肉牛协同创新推广体系。

作者简介:王月超(1998—),男,硕士,研究实习员,从事麦类遗传育种工作。Email: yuechaowang206@163.com。

* 通信作者:刁艳玲(1965—),女,研究员,从事麦类遗传育种工作。Email: diaoyanling0310@163.com。

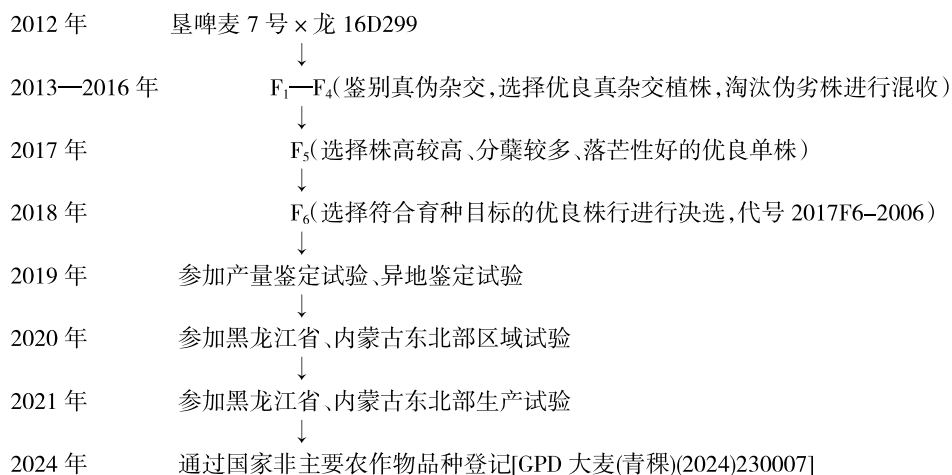


图 1 龙饲麦 5 号品种选育系谱图

表 1 2020—2021 年龙饲麦 5 号适应性鉴定试验生育期对照表

地点	播种期(月—日)		出苗期(月—日)		成熟期(月—日)		全生育期/d	
	2020 年	2021 年	2020 年	2021 年	2020 年	2021 年	2020 年	2021 年
哈尔滨市民主乡	03—28	04—02	05—01	05—02	07—11	07—12	76.0	77.0
嫩江县九三局	04—17	04—23	05—15	05—08	07—29	07—24	76.0	77.0
齐齐哈尔克山县	04—06	04—04	04—27	04—24	07—11	07—10	75.0	77.0
额尔古纳市上库力科技站	05—19	05—28	05—28	06—07	08—14	08—18	79.0	72.0
呼伦贝尔市牙克石农林试验站	05—19	05—21	05—28	06—03	08—13	08—17	77.0	76.0
额尔古纳市拉布大林农林试验站	05—06	05—06	05—16	05—17	07—27	07—27	72.0	71.0
平均							75.8	75.0
2 年平均								75.4

2.2 产量

由表 2 可知, 龙饲麦 5 号在 2020 年第 1 年适应性试验平均产量 4 620.8 kg/hm², 比对照垦啤麦 10 号增产 6.2%; 2021 年第 2 年适应性试验平均产量 3 771.7 kg/hm², 比对照垦啤麦 10 号增产 8.1%。2 年适应性试验龙饲麦 5 号平均产量 4 196.3 kg/hm², 较对照平均增产 7.2%, 说明该品种具有较高的丰产性及稳产性。

2.3 品质分析

2021 年经农业农村部谷物及制品质量监督检验测试中心(哈尔滨)检测, 龙饲麦 5 号籽粒蛋白质(干基, 下同)含量(质量分数, 下同)为 13.65%, 籽粒淀粉含量为 59.41%, 籽粒脂肪含量为 2.55%, 籽粒氨基酸总含量为 11.94%; 2022 年经中国食品发酵工业研究院酿酒技术中心检测, 该品种籽粒蛋白质含量为 14.7%, β -葡聚糖含量为 3.71%。

2.4 抗病性

2022 年经中国农业科学院植物保护研究所鉴

定, 结果显示: 龙饲麦 5 号中抗条纹病(MR)、赤霉病(MR)、黄矮病(MR), 中感根腐病(MS)。在区域试验及各地试验示范中均未出现条纹病、黄矮病、根腐病严重危害的情况。

3 龙饲麦 5 号栽培技术要点

3.1 适种区域

龙饲麦 5 号适宜在黑龙江省及内蒙古东北部春播地区种植, 宜肥力中等偏上地块种植。

3.2 整地施肥

整地最好采取秋整地, 耕地深度 22 ~ 28 cm, 随后耙平保墒, 确保土壤细碎平整。采取秋季整地施加底肥或播种时施种肥方式施足基肥, 施肥 18.5 ~ 22.5 kg/667 m², 以磷酸二铵 10 ~ 12 kg/667 m²、尿素 6 ~ 8 kg/667 m²、钾肥 2.5 kg/667 m² 为宜; 生长期可根据幼苗生长情况, 结合除草或防病追施叶面肥。

表 2 2020—2021 年龙饲麦 5 号适应性鉴定试验农艺性状对照表

地点	株高 /cm		穗长 /cm		主穗粒数 /(粒 / 穗)		千粒质量 /g		产量 /(kg/hm ²)		对照产量 /(kg/hm ²)		增产率 /%	
	2020 年	2021 年	2020 年	2021 年	2020 年	2021 年	2020 年	2021 年	2020 年	2021 年	2020 年	2021 年	2020 年	2021 年
哈尔滨市民主乡	95.3	98.5	7.0	7.5	24.0	24.0	47.5	47.5	4 727.4	4 927.5	4 457.8	4 227.1	6.0	16.6
嫩江县九三局	84.0	102.0	8.0	6.2	27.0	23.6	52.0	43.4	3 379.5	3 835.3	3 123.8	3 668.2	8.2	4.6
齐齐哈尔克山县	101.5	100.2	7.5	8.0	22.3	24.0	49.8	48.6	4 752.4	4 583.5	4 455.7	4 250.6	6.7	7.8
额尔古纳市 上库力科技站	64.5	88.0	7.4	7.5	26.0	25.0	47.6	38.9	3 860.1	1 711.5	3 546.8	1 564.4	8.8	9.4
呼伦贝尔市牙克 石农林试验站	90.0	114.0	7.0	6.3	25.0	24.0	52.0	38.6	6 422.0	3 864.3	6 163.1	3 679.1	4.2	5.0
额尔古纳市拉布 大林农林试验站	84.8	107.7	6.9	7.0	37.8	22.2	44.2	43.7	4 583.6	3 707.9	4 433.6	3 523.3	3.4	5.2
平均	86.7	101.7	7.3	7.1	27.0	23.8	48.9	43.5	4 620.8	3 771.7	4 363.5	3 485.5	6.2	8.1
2 年平均	94.2		7.2		25.4		46.2		4 196.3		3 924.5		7.2	

3.3 种子处理及播种

在实际生产中,播种前最好先清除种子中的秕粒及杂质,再用 3% 苯醚甲环唑悬浮种衣剂拌种后采取条播方式播种,确保播种密度、深度一致,保苗 30 万 ~ 35 万株 /667 m² 为宜。前茬作物以马铃薯、豆类、油菜等为宜,应避免与麦类作物重茬迎茬。

3.4 田间管理

播种后应根据土壤墒情及幼苗长势,3 ~ 4 叶期压青苗,保墒促分蘖、增加根冠比,提高幼苗抗逆性。在大麦 3 叶期,根据不同杂草群落采用不同除草剂,通常用苯磺隆 6 ~ 8 g /667 m²+ 2,4-D 异辛酯 35 mL/667 m² 防除苋菜、灰菜等阔叶杂草,用唑啉草酯或精喹啉禾草灵 80 mL/667 m² 灭杂草野燕麦、稗草等禾本科杂草。结合田间发生规律选择合适药剂进行病虫草害防治,注意施用剂量以及不同药剂合理轮换施用。

3.5 适时收获

龙饲麦 5 号在全生育期均可作为饲料使用,在抽穗期之前可将新鲜收割的植株切碎后作青饲利用;在乳熟期到蜡熟期经过切碎、压实、密封等处理,在厌氧条件下发酵制成青贮饲料;当大麦成熟后,收割并通过晾晒、烘干等方式,使大麦植株的水分降低到一定程度,并制作成便于储存和运输的干草;在完熟期收获籽粒。同时注意收获前避免雨淋,收获后注意籽粒晾晒并入库保存,保证品质。

参考文献:

- [1] 雷 丽. 深谋远虑促发展“畜”势勃发正当时:黑龙江省畜牧业产业化发展路径探究[J]. 统计与咨询,2024(2):13-16.
- [2] 李 静,张述伟,周龙华,等. 基于 HS-SPME-GC-MS 法分析大麦幼苗中的挥发性成分[J]. 食品研究与开发,2021,42(10):148-153.
- [3] 吕二锁,巴 图,郭呈宇,等. 内蒙古东部旱区大麦新品种蒙啤麦 5 号播期与密度效应分析[J]. 大麦与谷类科学,2018,35(6):17-20.
- [4] 付正波,许金波,赵加涛,等. 高产优质饲料大麦新品种保饲麦 30 号的选育及栽培技术[J]. 大麦与谷类科学,2024,41(3):54-57.
- [5] 田 静,谢昭良,刘家杏,等. 冬闲田种植大麦不同生育期的营养价值和青贮品质[J]. 草业科学,2017,34(4):753-760.
- [6] 匡崇义,薛世明,徐 驰,等. 大麦的饲用栽培技术[J]. 农村实用技术,2017(6):27-28.
- [7] 李振翼,万发春,沈维军,等. 非玉米青贮在养牛业中的应用研究进展[J]. 中国牛业科学,2021,47(1):48-53.
- [8] 韩秀秀,王军民,张文珍,等. 中稻-再生稻-饲用大麦一年三熟栽培技术[J]. 耕作与栽培,2023,43(2):130-131.
- [9] 尚佳薇,刘 英,刁艳玲,等. 丰产抗病广适饲用大麦品种龙饲麦 1 号高产栽培技术[J]. 中国种业,2024(5):147-149.
- [10] 梁全玲. 3%敌麦丹悬浮种衣剂防治大麦病害药效研究[J]. 现代农业科技,2012(16):135,141.

(下转第 79 页)

冯伟森,张学品,丁志强,等. 抗旱节水高产小麦新品种洛旱 33 选育及产量性状分析[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(3):72–79 (2025–06–11). <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.03.012>.

抗旱节水高产小麦新品种洛旱 33 选育及产量性状分析

冯伟森,张学品,丁志强,赵 严,杨 莉,高海涛,吴少辉*

(洛阳市农林科学院,河南 洛阳 471022)

摘要:为培育干旱年份少减产、平水年份能增产、丰水年份创高产的小麦新品种,洛阳市农林科学院以洛旱 7 号为母本、周麦 18 为父本杂交,成功培育出了旱地小麦新品种洛旱 33,并于 2023 年通过河南省农作物品种审定委员会审定(审定编号:豫审麦 20230025)。2019—2021 年洛旱 33 参加河南省旱地组小麦区域试验,平均产量为 6 007.1 kg/hm²,2 年度比对照洛旱 7 号平均增产 7.6%,增产极显著;2021—2022 年度该品种参加河南省旱地组小麦生产试验,平均产量 6 577.8 kg/hm²,比对照洛旱 7 号平均增产 6.1%。3 年 25 个试验点洛旱 33 全部增产,增产点率 100.0%,增产≥2%的试点率为 92.0%。综合评价得出,洛旱 33 为抗旱高产、抗寒性好、产量三要素协调的旱地优良品种,适宜在河南省旱作麦区推广种植。

关键词:小麦;洛旱 33;选育;产量;性状分析

中图分类号:S512.1

文献标志码:B

文章编号:1673–6486–20250029

小麦作为全球三大粮食作物之一,在我国粮食安全体系中占据战略地位。据统计,我国约 60% 的小麦种植分布于干旱、半干旱地区,季节性干旱频发导致平均产量损失达 20%~30%^[1–3]。随着全球气候变化加剧及水资源短缺问题日益严峻,培育抗旱节水与高产协同提升的小麦新品种已成为保障粮食安全、实现农业可持续发展的迫切需求。传统小麦育种往往面临抗旱性与产量性状间的负相关难题。已有研究表明,普通品种虽能在水分胁迫下维持生存,但生物量积累和籽粒灌浆能力显著受限;而高产栽培品种对水分条件敏感,在干旱环境下易出现产量断崖式下降^[4–6]。因此,突破抗旱与高产性状的遗传拮抗,构建水分高效利用与产量形成协同提升的育种新策略,是当前小麦遗传改良的核心挑战。因此,为实现小麦早年保收、丰年高产的目标,我们采用“水旱协调选择混合法”,结合全生育期抗旱性综合鉴定技术等多种方法,育成了抗旱节水、高产稳产的小麦新品种洛旱 33(审定编号:豫审麦

20230025)。这不仅解决了小麦生产中抗旱与丰产性难以结合的矛盾,而且为河南省旱地小麦生产提供了重要的品种支撑;同时因其具有广泛的推广应用前景,将进一步拓展农民增收空间,实现农业增效,促进社会经济效益显著增加。同时,洛旱 33 的成功选育也为抗旱节水小麦新品种的育种技术提供了技术和资源支撑。

1 洛旱 33 选育过程

母本洛旱 7 号系洛阳市农林科学院选育,2007 年同时通过国家和河南省农作物品种审定委员会审定。因其稳定的抗旱性和广泛适应性,2010 年被确定为国家黄淮冬麦区旱肥组和河南省旱地组区域试验对照品种,同时对其进行深入分析,发现其携带促进根系发育基因 *TaVSR1-B*、*TaMOR-B* 和 *TaGSNE* 的优异单倍型^[7]。该品种抗旱、高产、稳产、结实性好、抗寒性强。

父本周麦 18 系周口市农业科学院小麦研究所选育,2004、2005 年分别通过国家和河南省农作物品种审定委员会审定,是国家黄淮南片及河南省冬水组区域试验对照品种^[8]。该品种具有综合抗病、抗倒能力强、成穗率高、耐渍及后期高温等优点,是优良的亲本资源。

洛旱 33 是洛阳市农林科学院小麦团队于 2010 年 4 月以旱地小麦品种洛旱 7 号为母本,以水

收稿日期:2025–03–17;修回日期:2025–06–03。

基金项目:国家小麦产业技术体系(CARS–03–76);河南省农业(小麦)良种联合攻关项目(2022010101);洛阳市核心技术攻关公益类专项(2302034A)。

作者简介:冯伟森(1980—),男,硕士,副研究员,主要从事旱地小麦新品种选育研究。Email:lynkyfws@126.com。

* 通信作者:吴少辉(1972—),女,研究员,主要从事旱地小麦新品种选育研究。Email:lywushaohui@126.com。

地小麦品种周麦 18 为父本配制杂交组合,采用“水旱协调选择混合法”选育而成的抗旱高产、抗寒、抗干热风、适应性广的旱地小麦新品种洛早 33。当年收获杂交籽粒 200 粒。2010—2011 年将收获的籽粒即 F_1 种于旱地,该组合表现出了较强的杂种优势,分蘖力强,繁茂度好,长势旺,成穗率高,抗旱性好,抗病性强,综合性状优,定为重点组合。2011—2012 年(F_2)在高水肥地稀播种植,株距 20 cm,选择优良单株 107 株,每株取 1 穗混合脱粒;2012—2013 年(F_3)旱地稀播种植,选择单株 123 株,该组合表现突出,单株收获脱粒,提前进入株行鉴定;2013—2014 年(F_4)在旱地稀播种植,选择优良单株 131 株,分单株脱粒;2014—2015 年(F_5)将上年收获的单株在旱地进行株行鉴定,其中第 34 株表现优异,提升鉴定试验;2015—2016 年度参加新品系平行鉴定试验(旱肥、旱薄 2 种环境)的同时继续进行株行鉴定,其中第 4 株表现突出;2016—2017 年度参加小麦新品系产量比较试验(高水肥、旱肥 2 种环境);2017—2018 年参加新品系多点鉴定试验(分布于河南、山西、陕西、甘肃等地),定名为洛早 33。2018—2019 年参加河南省旱地小麦品种比较试验;2019—2021 年参加

河南省旱地小麦区域试验;2021—2022 年度参加河南省旱地小麦生产试验(图 1、图 2)。

2 试验设计及数据来源

为客观、公正、科学地鉴定新育成小麦品种在河南省旱地麦区的耐旱性、丰产稳产性、适应性及利用价值,加速优良小麦品种的示范推广,为小麦品种审定及合理利用提供科学依据,设置本组试验。2019—2022 年河南省小麦区域试验采用统一田间试验设计,设 3 次重复,随机区组排列,小区面积 12 ~ 15 m²,收获计产面积不低于 12 m²。各试点试验选取有代表性的地点作为试点,试验地宝丰、济源试点前茬为大豆,灵宝、嵩县、镇平试点为玉米,林州、洛阳、三门峡试点为晒旱,试点播种前口墒好(土壤表层墒好),出苗质量好,各试点播期在 10 月 12—30 日。播种底肥采用一次性施足,统一管理,各生育时期不再追肥、浇水。各试点均按照当地生产实际进行田间管理,及时做好虫害防治工作,但不做病害防治。



图 1 洛早 33 选育流程图

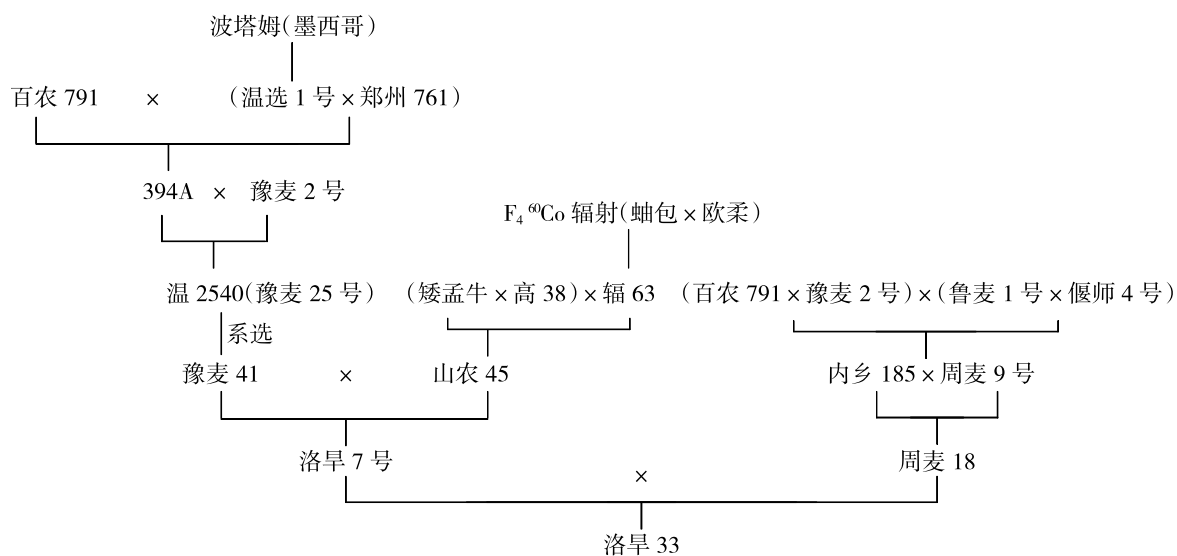


图 2 洛早 33 系谱图

试验的产量数据采用中国农业大学和全国农技推广服务中心联合研制的《作物品种区域试验统计分析系统》进行分析,其他农艺性状采用平均数法统计;抗旱性评价主要依据洛阳市农林科学院抗旱性鉴定结果;冬春性评价主要依据洛阳市农林科学院鉴定结果;抗病性评价主要依据河南省农业科学院小麦研究所的抗病性鉴定结果,并参考各试点田间实际发病情况进行评价;品质性状主要依据郑州品质监督检验测试中心化验分析结果。

3 洛早 33 品种特征特性

3.1 生物学特性

洛早 33 属半冬性中熟品种,全生育期 221.0 ~ 232.6 d;幼苗半匍匐,苗期长势健壮,苗叶深绿,较宽,具有较强的分蘖力,返青早,起身快,成熟期株型较紧凑,旗叶上冲,株高 86.0 cm。该品种茎秆有蜡质,穗层略厚,茎秆弹性较好,穗长方型,长芒、白壳、白粒、半角质,熟相中等;穗数 32.7 万穗 /667 m²,穗粒数 34.1 粒 /穗,千粒质量 48.7 g。

3.2 抗逆性

2018—2020 年经河南省农业科学院植物保护研究所人工接菌鉴定:2018—2019 年度,洛早 33 中抗叶锈病,中感条锈病、白粉病、纹枯病,高感赤霉病;2019—2020 年度,洛早 33 中感条锈病、叶锈病、白粉病,高感纹枯病、赤霉病。经洛阳市农林科学院抗旱性鉴定:2018—2019 年度洛早 33 抗旱指数为 0.911,抗旱性达 3 级;2019—2020 年度抗旱指数为

0.920,抗旱性达 3 级,其抗旱性与对照相当,具有较好的抗旱性。经洛阳市农林科学院抗寒性和冬春性鉴定:2018—2019 年度洛早 33 抗寒性级别为 1 级,抗寒性好,冬春性鉴定为半冬性。

3.3 籽粒品质

农业农村部谷物品质监督检验测试中心(北京)委托农业农村部农产品质量监督检验测试中心(郑州)对河南省区试小麦(洛早 33)混合样进行品质测定,洛早 33 在 2018—2020 年 2 年度的容重分别为 804、778 g/L,蛋白质含量(质量分数,下同)分别为 13.4%、12.6%,湿面筋含量分别为 28.8%、30.6%,吸水量分别为 58.6、61.5 mL/100 g,稳定时间分别为 2.1、2.3 min。

4 洛早 33 产量表现

4.1 河南省旱地小麦试验

2019—2021 年河南省旱地组小麦区域试验,共有 8 个试点,由表 1 可以看出,2 年度各试点区域试验误差变异系数基本接近,反映出各试点试验误差的变化基本一致。其中相对最小显著差数值越小,说明该点试验的品种比较精度越高,鉴别差异的能力越强,从 2 年均值来看,试点精度基本一致。再者,品种间遗传变异系数充分暴露品种特性,分辨出品种优劣,2 年均值表明了年度间试验的精确性,进而说明鉴定品种优劣分布的准确性。

由表 2、表 3 可知,洛早 33 参加 2019—2020 年河南省旱地组小麦区域试验,平均产量 5 984.1 kg/hm²,

较对照种洛早 7 号(5 436.4kg/hm²)增产 10.0%,增产极显著,产量居所有参试品种第 1 位;8 个试验点洛早 33 的产量较对照洛早 7 号全部增产,增产点率 100.0%,增产≥2%的试点率为 87.5%,其中洛阳试验点增幅最大,比对照洛早 7 号显著增产 25.5%,镇平试验点较对照增幅最小,比对照洛早 7 号增产 1.9%。2020—2021 年洛早 33 继续参加河南省旱地组小麦区域试验,平均产量 6 030.0 kg/hm²,较对照种洛早 7 号(5 731.5 kg/hm²)增产 5.1%,增产极显著,产量居所有参试品种第 6 位;8 个试验点洛早 33 的产量较对照洛早 7 号全部增产,增产点率100.0%,增

产≥2%的试点率为 100.0%,其中林州和宝丰试验点增幅最大,均比对照洛早 7 号显著增产 7.7%,嵩县试验点较对照增幅最小,比对照洛早 7 号增产 2.1%。

由表 2、表 3 可知,洛早 33 参加 2021—2022 年河南省旱地组小麦生产试验,平均产量 6 577.8 kg/hm²,较对照种洛早 7 号(6 200.8 kg/hm²)增产 6.1%,产量居所有参试品种第 3 位;9 个试验点洛早 33 的产量较对照洛早 7 号全部增产,增产点率 100.0%,增产≥2%的试点率为 88.9%,其中三门峡农科院试验点增幅最大,比对照洛早 7 号显著增产 12.6%,镇平试验点较对照增幅最小,比对照洛早 7 号增产 0.8%。

表 1 2019—2021 年河南省旱地小麦区域试验点平均试验精确度分析

试点年度	试点均产 / (kg/hm ²)	误差变异系数(CV) 均值 /%	相对最小显著差数 (RLSD _{0.05})均值 /%	遗传变异系数(GCV) 均值 /%
2019—2020	5 664.38	4.70	7.94	4.88
2020—2021	6 007.88	4.19	7.04	3.41

表 2 洛早 33 参加河南省旱地组试验产量表现(各试点)

试验点	2019—2020 年度(区域试验)			2020—2021 年度(区域试验)			2021—2022 年度(生产试验)		
	洛早 33 产量 / (kg/hm ²)	CK 产量 / (kg/hm ²)	比 CK 增产 /%	洛早 33 产 量 / (kg/hm ²)	CK 产量 / (kg/hm ²)	比 CK 增产 /%	洛早 33 产量 / (kg/hm ²)	CK 产量 / (kg/hm ²)	比 CK 增产 /%
镇平	5 073.0	4 980.0	1.9	5 599.5	5 479.5	2.2	6 709.5	6 657.0	0.8
嵩县	5 958.0	5 712.0	4.3	5 952.0	5 827.5	2.1	6 552.0	6 249.0	4.8
宝丰	5 854.5	5 733.0	2.1	7 830.0	7 270.5	7.7	7 042.5	6 721.5	4.8
林州	6 942.0	5 940.0	16.9	6 421.5	5 962.5	7.7	5 113.5	4 833.0	5.8
洛阳	6 744.0	5 374.5	25.5	4 969.5	4 791.0	3.7	6 168.0	6 013.5	2.6
济源	5 508.0	5 251.5	4.9	—	—	—	—	—	—
三门峡农科院	5 356.5	4 969.5	7.8	6 060.0	5 668.5	6.9	6 723.0	5 970.0	12.6
灵宝	6 436.5	5 530.5	16.4	5 191.5	4 863.0	6.8	6 756.0	6 244.5	8.2
三门峡种子站	—	—	—	6 216.0	5 989.5	3.8	5 485.5	5 245.5	4.6
汝州	—	—	—	—	—	—	8 650.5	7 873.5	9.9
平均	5 984.1	5 436.4	10.0	6 030.0	5 731.5	5.1	6 577.8	6 200.8	6.1

注:表中 CK 为对照种洛早 7 号。“—”表示未设试点。

表 3 洛早 33 参加河南省旱地组试验产量表现

年度	试验组别	平均产量 /(kg/hm ²)	试验位次	较对照增产 /%	增产点数 / 个	增产点率 /%
2019—2020	区域试验	5 984.1**	1	10.1	8	100.0
2020—2021	区域试验	6 030.0**	6	5.2	8	100.0
2021—2022	生产试验	6 577.8	3	6.1	9	100.0

注:** 表示较对照增产极显著($P < 0.01$)。

4.2 洛早 33 稳产和适应性分析

4.2.1 稳产性分析。产量变异系数(CV)值反映品种在不同环境中的产量变化情况,其值大小反映品种产量稳定性好与差^[9-11]。由表 4 可知,洛早 33 的产量

变异系数平均值为 12.871%,虽略高于对照洛早 7 号的平均值(10.707%),但差异不明显,说明洛早 33 产量特性和对照一样,在 8 个区域试验试点中产量稳定性较好。

表 4 洛早 33 稳产性和适应性分析

品种名称	试验年度	变异系数 /%	高稳系数 /%	适应度 /%
洛早 33	2019—2020	10.516	10.455	37.500
	2020—2021	13.685	17.445	50.000
	2021—2022	14.412	17.462	55.555
	均值	12.871	15.121	47.685
洛早 7 号 (CK)	2019—2020	6.138	14.671	50.000
	2020—2021	12.648	20.589	50.000
	2021—2022	13.335	21.213	55.555
	均值	10.707	18.824	51.852

高稳系数(HSC)值反映品种在不同环境中的稳产性情况,其值大小反映品种稳产性好与差^[9-11]。由表 4 可知,洛早 33 3 年高稳系数的平均值为 15.121%,明显低于对照品种的高稳系数平均值(18.824%),其值差异较明显,并且在 3 年的区域试验结果中均低于对照品种相应年份,进而说明通过多年多点试验证明了洛早 33 高产稳产性突出。

4.2.2 适应性分析。品种的适应性,往往采用增产值中超过平均值的数量占总体产量数量的比值来反映,用适应度值来表述其适应性,值越大,品种的适应性越好^[9-11]。由表 4 可知,3 年试验中洛早 33 的适应度平均值为 47.685%,与对照洛早 7 号的适应度(平均值为 51.852%)基本相当,表明洛早 33 和国家对照品种洛早 7 号同样具有广泛的适应性。

4.3 产量构成因素分析

小麦产量的构成要素是单位面积穗数、穗粒数和千粒质量,三要素协调是小麦获得高产的关键^[12-14]。对洛早 33 参加河南省旱地区域试验及生产试验的产量三要素统计分析(表 5),洛早 33 有效穗数为 490.5 万穗/hm²,变化幅度为 484.5 万~499.5 万穗/hm²,说明该品种不同年份、不同气候条件下单位面积穗数变化幅度不大。洛早 33 穗粒数变化幅度为 32.4~35.3 粒/穗,平均穗粒数 34.1 粒/穗,比对照品种洛早 7 号多 2.8 粒/穗。说明该品种在穗粒数上具有较强的可调节性,可以通过一定的栽培措施增加穗粒数实现高产。千粒质量在 3 年试验中平均为 48.7 g,比对照品种洛早 7 号高 0.7 g,变化幅度为 46.7~51.1 g,后期可以通过一喷三防等措施,延长灌浆时间,提高千粒质量。

表 5 洛早 33 产量构成因素统计

品种名称	年度	生育期 / d	株高 / cm	基本苗数 / (万株/hm ²)	最高群体 / (万个/hm ²)	有效穗数 / (万穗/hm ²)	穗粒数 / (粒/穗)	千粒质量 / g	成穗率 / %
洛早 33	2019—2020	221.4	86.7	274.5	1 504.5	499.5	32.4	46.7	33.2
	2020—2021	232.6	89.2	250.5	1 230.0	486.0	34.5	48.4	39.5
	2021—2022	221.0	82.2	262.5	1 230.0	484.5	35.3	51.1	39.4
	平均	225.0	86.0	262.5	1 321.5	490.5	34.1	48.7	37.1
洛早 7 号 (CK)	2019—2020	220.8	83.9	277.5	1 728.0	525.0	30.2	45.8	30.4
	2020—2021	232.6	86.8	259.5	1 381.5	489.0	31.0	48.1	35.4
	2021—2022	220.9	80.1	273.0	1 254.0	474.0	32.6	50.1	37.8
	平均	224.8	83.6	270.0	1 455.0	496.5	31.3	48.0	34.1

对产量三要素进行分析发现,洛旱33属于大穗、大粒型品种,适宜在河南省旱作麦区推广种植,通过相应栽培措施的配套,3年多点平均产量可达 $5\,985.0 \sim 6\,577.5\text{ kg/hm}^2$,最高可达 $8\,650.5\text{ kg/hm}^2$,在极端气候条件下仍可达到 $4\,969.5\text{ kg/hm}^2$ 左右,具有稳产性好、高产潜力大的特点。生产上可通过一定的管理措施,增加穗粒数和千粒质量,实现高产稳产。

5 育种思考与讨论

5.1 育种目标要适应小麦生产需求

黄淮冬麦区是我国最大的小麦主产区,种植面积占全国小麦种植面积的58.5%,产量占全国小麦产量的67.6%。其中,黄淮旱地小麦面积约667万 hm^2 ,该区小麦产量的高低对于国家粮食安全至关重要^[15-18]。然而,近年来随着气候因素的不断变化,黄淮麦区干旱程度不断加剧,降水量不均,是造成该区小麦产量波动的主要因素。面对日益严重的干旱问题,迫切需要培育抗旱节水小麦新品种以应对干旱灾害的发生。因此,随着近年来生产水平的不断提高,育种目标的确立需要配套的育种技术相匹配,针对抗旱性采用水旱协调选择混合法,兼顾抗旱与高产相协调;抗病性选择采用人工接种和育种早代早播,在抗纹枯病、锈病等方面成效显著;在品种适应性方面采用多点鉴定技术最为可靠,在产量比较世代进行多点鉴定选择,更能有效地表现出品种的丰产性和高产适应性。紧贴生产需求,保障粮食丰产,确保粮食安全,选育集“抗旱、抗寒、抗病、抗倒、抗干热风”5抗与高产为一体的优良品种,是每位小麦育种工作者追求的育种目标。

5.2 选用丰富的种质资源

种质资源是改良小麦抗旱性的物质基础,也是实现新品种选育的先决条件,亲本材料的选择直接决定了育种的成功率及后代品种的抗旱性和产量,抗旱小麦亲本的引进筛选鉴定和新品种的选育都离不开丰富的种质资源^[19-23]。我们可以选用生产上大面积推广的品种作为骨干亲本,筛选出抗旱性突出的材料或自己创制优异的中间材料做亲本进行杂交,这样的亲本材料可以提高亲本之间的亲和力,从而获得优缺点互补的育种材料。洛旱33具有高产稳产、抗旱广适等优良特性,源于亲本丰富的遗传背景和优良基因。

5.3 育种目标明确

据农业农村部网站消息(中新网2011年2月16日),初春时节河北、山西、江苏、安徽、山东、河南、陕西、甘肃8省冬小麦受旱面积670.6万 hm^2 ,其中严重受旱面积121.5万 hm^2 (<https://www.chinanews.com.cn/gn/2011/02-16/2847253.shtml>)。据统计,在我国黄淮冬麦区旱作区域干旱年份中河南、山东和河北等8省小麦受旱面积约占其冬小麦种植面积的40%;另外,随着全球气候变化,我国黄淮冬麦区和北部冬麦区的干旱形势仍将持续加剧^[24]。因此要根据不同生态条件、生产水平和社会生产需求来制定育种目标。当前河南省气候条件复杂多变,自然灾害频发,降水量分布严重不均,抗旱小麦育种在小麦育种中的地位与分量不可忽视,在保证粮食安全上具有重要意义。应对气候变化旱地小麦育种应以高产稳产为目标,重点提高抗旱性、抗寒性、抗倒性、抗病性和抗干热风能力,选择抗逆性好、适应性广的旱地小麦新品种,做到干旱保收、丰年高产且适应气候和生产发展的目标需求。

5.4 多种育种方法并用

除了传统的系谱法选育,采用“水×旱”的杂交组配模式,即选用丰产广适的水地品种和抗旱高产的旱地品种杂交,可以大大提高杂种后代遗传变异幅度,融合水、旱不同生态类型的优异种质资源与分子育种相结合,将种质、基因和表型数据信息资源有机整合,提高后代优良性状结合概率,为作物生产力的提升提供重要理论支撑^[25]。育种早代采用水旱交叉选择,最大限度保存组合的遗传多样性。 F_1 、 F_3 、 F_5 在旱地种植,全生育期不浇水,筛选抗旱性、抗寒性、抗干热风的单株, F_2 、 F_4 在水地种植,选择丰产性好、抗病性强、抗倒性好的单株。稳定品系水旱平行鉴定、异地选择、多点鉴定等手段,提高品种的抗逆性与适应性。在抗旱性筛选方面,育种早代利用近红外全光谱仪扫描籽粒快速鉴定单株抗旱性^[26-27];稳定世代按照2007年颁布的国家标准GB/T 21127—2007《小麦抗旱性鉴定评价技术规范》,利用干旱棚进行全生育期抗旱性鉴定。洛旱33小麦新品种采用了水旱交替选择,多抗广适鉴定、全程抗旱性评价、稳定世代多点鉴定等方法育成抗旱节水、高产稳产、水旱两用型小麦新品种。此外,利用分子标记辅助育种技术可以提高抗旱品系筛选的准确性,加快传统育种进程,提高育种效率。

参考文献:

- [1] 韩一军. 我国小麦产业发展现状分析及未来展望[J]. 农业展望, 2010, 6(11): 25–28.
- [2] 何中虎, 庄巧生, 程顺和, 等. 中国小麦产业发展与科技进步[J]. 农学学报, 2018, 8(1): 99–106.
- [3] 李 龙, 毛新国, 王景一, 等. 小麦抗旱性研究进展与展望[J]. 干旱地区农业研究, 2023, 41(3): 11–20.
- [4] 张学品, 赵 严, 丁志强, 等. 黄淮南片冬小麦品种节水丰产性鉴定研究[J]. 农业科学, 2023, 13(10): 896–909.
- [5] 张丽华, 张经廷, 董志强, 等. 不同降水年型水分运筹对冬小麦产量及其构成的影响[J]. 作物学报, 2023, 49(9): 2539–2551.
- [6] 刘朋召, 周 栋, 郭星宇, 等. 不同降雨年型旱地冬小麦水分利用及产量对施氮量的响应[J]. 中国农业科学, 2021, 54(14): 3065–3076.
- [7] WANG J Y, LI L, LI C N, et al. A transposon in the vacuolar sorting receptor gene TaVSR1–B promoter region is associated with wheat root depth at booting stage[J]. Plant Biotechnology Journal, 2021, 19(7): 1456–1467.
- [8] 郑祥博, 白昕晨, 王伟伟, 等. 两个小麦品种的抗旱性鉴定与评价[J]. 西北农业学报, 2024, 33(4): 573–584.
- [9] 朱昌涛, 吕元丰, 王 刚, 等. 小麦新品种平安 7 号丰产性、稳定性及适应性分析[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(11): 19–21.
- [10] 王伟伟, 耿若飞, 常鸿杰, 等. 国审小麦新品种平麦 16 的选育及产量结构分析[J]. 作物研究, 2024, 38(3): 218–221, 229.
- [11] 刘新月, 裴 磊, 卫云宗, 等. 气温变化背景下中国黄淮旱地冬小麦农艺性状的变化特征: 以山西临汾为例[J]. 中国农业科学, 2015, 48(10): 1942–1954.
- [12] 孟 雨, 田文仲, 温鹏飞, 等. 基于不同发育阶段协同的小麦品种抗旱性综合评判[J]. 作物学报, 2023, 49(2): 570–582.
- [13] 王福玉, 陈贵菊, 高秋荣, 等. 抗旱节水高产稳产小麦新品种“济儒麦 25”的选育及性状分析[J]. 农学学报, 2024, 14(7): 6–11.
- [14] 常云龙, 宋秀珍, 刘 丽, 等. 抗旱高产冬小麦新品种“长麦 6197”选育研究[J]. 农学学报, 2019, 9(5): 1–4.
- [15] 毕红园, 赵智勇, 曹梦琳, 等. 11 个小麦品种对干旱胁迫的响应及抗旱性评价[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(20): 85–92.
- [16] 尤燕聪, 文卿琳. 小麦芽期抗旱性表型鉴定与分析[J]. 农业与技术, 2022, 42(21): 12–16.
- [17] XIAO J, LIU B, YAO Y Y, et al. Wheat genomic study for genetic improvement of traits in China[J]. Science China Life Sciences, 2022, 65(9): 1718–1775.
- [18] LIU J X, ZHANG J W, ZHU G R, et al. Effects of water deficit and high N fertilization on wheat storage protein synthesis, gluten secondary structure, and breadmaking quality[J]. The Crop Journal, 2022, 10(1): 216–223.
- [19] 王晓鸣, 邱丽娟, 景蕊莲, 等. 作物种质资源表型性状鉴定评价: 现状与趋势[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(1): 12–20.
- [20] 李 龙, 毛新国, 王景一, 等. 小麦种质资源抗旱性鉴定评价[J]. 作物学报, 2018, 44(7): 988–999.
- [21] 郭鹏燕, 权宝全, 赵吉平, 等. 冬小麦种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(19): 109–115.
- [22] 汪 强, 沈会权, 徐 肖, 等. 小麦种质资源性状分析及遗传多样性评价[J]. 大麦与谷类科学, 2024, 41(3): 8–13, 18.
- [23] 潘丽媛, 王永军, 李海军, 等. 江苏淮北地区小麦种质资源的多性状评价及相关性分析[J]. 大麦与谷类科学, 2023, 40(5): 18–23, 44.
- [24] LIU X D, LIU B H, HENDERSON M, et al. Observed changes in dry day frequency and prolonged dry episodes in Northeast China[J]. International Journal of Climatology, 2015, 35(2): 196–214.
- [25] CRAVERO A, BUSTAMANTE A, NEGRIER M, et al. Agricultural big data architectures in the context of climate change: a systematic literature review[J]. Sustainability, 2022, 14(13): 7855.
- [26] FENG W S, WU S H, GU Y H, et al. Rapid identification for drought resistance of wheat using near-infrared diffuse reflectance spectroscopy[J]. Agricultural Science & Technology, 2012, 13(12): 2615–2619.
- [27] WU S H, FENG W S, GU Y H, et al. The study of using near-infrared diffuse reflectance spectroscopy rapid identify wheat drought resistance– II [J]. Agricultural Science & Technology, 2013, 14(10): 1507–1512.

Breeding and Yield Trait Analysis of New Wheat Variety Luohan 33 with Drought Resistance, Water Saving and High Yield

FENG Weisen, ZHANG Xuepin, DING Zhiqiang, ZHAO Yan, YANG Li, GAO Haitao, WU Shaohui
(Luoyang Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Luoyang 471022, China)

Abstract: In order to cultivate a new wheat variety with less yield reduction in dry years, high yield in normal years and higher yield in wet years, a new dryland wheat variety Luohan 33 bred by Luoyang Academy of Agricultural And Forestry Sciences successfully with Luohan No.7 as maternal parent and Zhoumai 18 as paternal parent. It was approved by Henan Crop Variety Approval Committee in 2023 (Approval Number: Yushenmai 20230025). From 2019 to 2021, it participated in the regional test of dry land group wheat in Henan Province, and the average yield was 6 007.1 kg/hm², which was 7.6% higher than that of the control Luohan No.7, with an extremely significant increase. From 2021 to 2022, it participated in the wheat production test of dry land group in Henan Province, and the average yield was 6 577.8 kg/hm², which was 6.1% higher than the control Luohan No.7. In three years, the yield of the variety increased at all 25 test site, and the increase rate of yield was 100.0%. The site rate with increase rate of yield $\geq 2\%$ was 92.0%. Comprehensive analysis showed that Luohan 33 was a good dry land variety with drought resistance, high yield, good cold resistance and yield coordination, which was suitable for planting in dryland wheat-growing areas of Henan Province.

Key Words: Wheat; Luohan 33; Breeding; Yield; Trait Analysis

(上接第 71 页)

Breeding and Cultivation Techniques of New High-yield, Early-maturing, Awn-falling Forage Barley Variety Longsimai No.5

WANG Yuechao, SUN Dan, SHANG Jiawei, LIU Guangyang, WANG Xiujuan, DIAO He'nan, DIAO Yanling
(Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: Longsimai No.5 is the first high-yield, early-maturing, awn-falling forage barley variety with good palatability in Heilongjiang Province. It was bred by Crop Resources Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences using Kenpimai No.7 as the maternal parent and Long 16D299 as the paternal parent through sexual hybridization and pedigree method. From 2020 to 2021, the variety adaptability experiment was completed in Heilongjiang Province and the northeastern part of Inner Mongolia. The results showed that the average yield of this variety in two years was 4 196.3 kg/hm², with an average increase of 7.2% compared to the control variety Kenpimai No.10. In April 2024, it passed the national non-major crop variety registration, and the registration number is GPD Barley (Highland Barley) (2024) 230007.

Key Words: Barley; Forage; Longsimai No.5; Variety breeding

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 m², 万亩换算为万 hm² 等。

《大麦与谷类科学》广告简则

《大麦与谷类科学》杂志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技术性期刊,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、燕麦等禾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、品种介绍、现代大农业、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开发的科技人员、农技推广与农业管理人员、农业企业与农场专业技术人员以及农业大中专院校师生等。本刊国内外公开发行人,中国标准连续出版物号:CN32-1769/S(国内),ISSN 1673-6486(国际)。本刊长期开展广告业务,四封及插页均可刊登广告,欢迎来电来函商洽。

广告范围:农作物品种、农作物育种技术、种植技术、农药、化肥、农用激素、农业机械、农业图书资料、农业加工品及副产品等。

广告要求:广告内容必须真实可信,客户应对所宣传的产品质量负责,符合《中华人民共和国广告法》要求。客户须附上《营业执照》和产品技术鉴定证书的复印件,其中《营业执照》复印件必须加盖相应市场监管部门的专用红章。使用商标、标明获奖和获得专利的广告,应用注册商标、颁奖部门及专利局的证书复印件,专利产品应注明专利号。经营肥料、农药、种子的广告,须持有省级主管部门出具的合法有效证明。本刊对广告内容有提出质疑及与客户商榷的权限,泄露国家机密的广告不予刊登。

广告收费:本刊 2025 年每期封面封底暂不接受广告,封二 4500 元,封三 3500 元,彩色整版插页 2500 元;正文刊登广告插页,整版 1200 元,半版 600 元,名片大小 300 元。本刊对连续刊登同一企业、单位及个人的广告在 2 次以上者,酌情优惠。

广告贴士:广告费须在广告刊出前一次付清,否则不予刊登。广告刊出后,按期寄送样刊 3 册。超过 3 册的,可来函或致电提出,本刊将酌情赠送。

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:协作费或技术服务费