

孙果丽,薛紫妍,何苏南,等. 粉垄耕作对江苏滨海盐碱地小麦农艺性状、光合特性和产量的影响[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(6):1-8 (2025-12-26). <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.06.001>.

粉垄耕作对江苏滨海盐碱地小麦农艺性状、 光合特性和产量的影响

孙果丽¹,薛紫妍²,何苏南¹,陈环宇¹,郁凯¹,贺亭亭¹,朱小梅¹,董静¹,邢锦城^{1*}

(1. 江苏沿海地区农业科学研究所,江苏盐城 224002;2. 淮阴工学院,江苏淮安 223003)

摘要:为探究粉垄耕作模式对江苏滨海盐碱地小麦种植系统的增产潜力,试验设置免耕(NT)、耕深 20 cm 的旋耕(RT)和耕深 40 cm 的粉垄(FT)3 种耕作模式。结果表明,相较免耕和旋耕模式,粉垄耕作显著提升了土壤储肥能力,土壤全氮含量分别增加 37.86%、16.39%,全磷含量分别增加 3.70%、2.75%,全钾含量分别增加 2.86%、2.49%,土壤有机质含量分别增加 20.64%、7.61%;粉垄耕作显著增加了小麦各生育期的株高、茎粗、SPAD 值和叶面积等农艺性状,小麦各器官干物质质量显著提升,特别是根部干物质质量分别显著增加 164.62%、86.96%;粉垄耕作下小麦叶片光合生理显著改善,其中胞间 CO₂ 浓度(C_i)分别提升 14.91%、11.06%,蒸腾速率(T_r)分别提升 154.65%、70.92%,气孔导度(G_s)分别增加 254.18%、87.09%,粉垄耕作下小麦籽粒产量分别显著增加 44.02%、20.19%,小麦产量和植株干物质、光合生理等呈现显著正相关。因此,在江苏滨海盐碱地小麦种植系统中,应用粉垄耕作技术可作为农田提质增产的有效措施。

关键词:粉垄;干物质质量;光合速率;产量

中图分类号:S512.1

文献标志码:A

文章编号:1673-6486-20250108

江苏滨海农区因滩涂泥沙淤积形成,成土母质差、盐碱障碍严重,养分先天不足^[1]。此外,由于后天粗犷的耕作、施肥等田间管理措施,进一步降低了土壤质量,严重制约着该地区作物产能的提升,不利于国家“藏粮于地,藏粮于技”战略实施^[2]。因此,保障江苏滨海农区中低产田作物高效生产,需要制定适配有效的田间管理模式。

耕作是农事操作中的重要环节,在保证作物生长发育和产量形成中发挥重要作用。耕作方式往往通过土壤理化性状改善和作物养分循环调控直接影响作物产量形成,而不同耕作方式因其对土壤扰动程度和田间作业深度的差异,显著改变作物对土壤中养分的吸收与转化^[3]。传统旋耕是一种高效但不长效的耕作方式,长期连年使用易导致土壤板结形成犁底层,不利于土壤结构营建和养分积累^[4-5]。免耕作为一种保

护性耕作方式,减少了农资投入和土壤扰动,配合有机物料等添加可以显著改善土壤质量,提升农田生产力^[6]。对于气候湿润地区的许多排水不良的细质地农业土壤来说,免耕也存在提高土壤容重、提升土壤压实风险和肥料利用率降低等弊端^[7]。

粉垄耕作是一种新型耕作方式,其工作原理是利用机械钻头通过横向切割垂直深松土壤,在不改变土壤耕层的情况下一次性完成土壤耕层自然悬浮成垄^[8]。粉垄耕作可以有效消除土壤板结,促进犁底层下移并加厚耕层,促进作物根系生长进而实现作物增产^[9-11]。但在一些干旱地区应用粉垄耕作同样可能存在水肥流失、耕层破坏等风险^[12]。因此,针对江苏滨海盐碱耕地土质特征和农作模式,有必要对不同耕作方式下土壤养分及小麦田间生长特征和产量进行比较,探索适应于江苏滨海农区小麦种植系统的耕作配套措施,为该地区耕作模式升级配套提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2023 年在盐城市大丰区草庙镇东灶村

收稿日期:2025-10-22;修回日期:2025-12-08。

基金项目:盐城市基础研究计划青年基金(YCBK2024014);亚夫科技服务项目[KF(24)1219];农业农村部沿海盐碱地科学观测实验站开放课题暨所基金(YHS202302)。

作者简介:孙果丽(1989—),女,博士,助理研究员,主要从事耐盐作物和盐碱地改良研究。Email: 20211818@jaas.ac.cn。

* 通信作者:邢锦城(1983—),男,硕士,副研究员,主要从事盐土农业相关研究。Email: sdauxxx@163.com。

(120°49'E、32°59'N)开展,该地区土壤质地为砂质黏土,土壤0~20 cm土层基本性质为全氮含量(质量分数,下同)1.24 g/kg、碱解氮含量48.15 mg/kg、速效磷含量56.46 mg/kg、速效钾含量147.28 mg/kg、水溶性盐含量1.57 g/kg、有机质含量14.28 g/kg,pH值为8.24。

1.2 试验材料

试验选用冬小麦品种镇麦10号,该品种为当地常见栽培种。小麦全生育期施尿素(质量分数以N 46%计)20 kg/667 m²,施磷肥(质量分数以P₂O₅ 12%计)8 kg/667 m²。化肥分基肥、拔节肥、穗肥3次施用,施用比例依次为40%、30%、20%。

粉垄耕作机械购自徐州农丰机械公司,由7个独立钻头组成耕作器件,钻头上带有螺旋状旋刀,在工作过程中由拖拉机牵引带动履带电机实现钻头垂直高速旋转,从而带动钻头上旋刀旋切破碎土壤,钻头长度为70 cm,可深松土层40 cm以上,在不改变土壤层次的同时实现土壤深松破碎。

1.3 试验设计

试验以江苏滨海地区中低产田的冬小麦栽培为研究对象,设置免耕(NT)处理作为对照,耕深20 cm的旋耕(RT)处理和耕深40 cm的粉垄(FT)处理3种耕作方式开展田间试验。小麦采用机械直播方式,播种行距为30 cm左右。试验中每个小区设为一个处理,面积为60 m²,3次重复。其他田间管理按照当地传统方式进行。

1.4 田间样品采集测定

试验在小麦孕穗期(2024年4月2日)、开花期(2024年4月28日)和成熟期(2024年5月25日)进行田间取样调查,对各生育期的小麦株高、茎粗、旗叶SPAD值和叶面积进行测定,各小区按照五点取样法随机选取5株小麦,每个处理各取样15株,将随机选取的5株小麦带回实验室分离根、茎、叶和穗,置烘箱烘干后测定各部位干物质质量;在小麦开花期利用CIRAS-4便携式光合仪,选择晴朗天气9:00—12:00,将空气流量设定为750 μmol/s,光照强度设定为1 000 μmol/(m²·s),空气温度为25℃,CO₂浓度为400 μmol/mol,通过开放式气路测定小麦旗叶叶片的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和胞间CO₂浓度(C_i);在小麦成熟期随机选取3个1 m²的样方进行田间测产,并测定样方有效穗数、千粒质量,随机选取20株小麦测定单穗粒数。

在作物收获期取表层土壤(0~20 cm)至实验室阴干后过筛,采用H₂SO₄消煮-凯氏定氮法测定全氮,碱解-扩散法测定土壤碱解氮,采用H₂SO₄-

HClO₄消煮,钼锑抗比色法测定全磷;采用NaHCO₃浸提,钼锑抗比色法测定速效磷,H₂SO₄消煮-火焰光度法测定全钾含量、醋酸铵浸提-火焰光度法测定速效钾含量、重铬酸钾氧化-外加热法测定有机质含量^[3]。

1.5 数据处理分析

采用Office 2010进行数据整理和表格制作,采用SPSS 21.0进行数据处理和单因素方差分析,采用邓肯新复极差法进行差异性检验,以P<0.05表示差异具统计学意义。采用Origin 2021制图和进行相关性数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同耕作方式对冬小麦土壤肥力的影响

表1列示了3种不同耕作方式对小麦种植系统土壤肥力的影响。相较于RT、NT处理,FT处理的土壤全氮含量(质量分数,下同)分别增加16.39%、37.86%,全磷含量分别增加2.75%、3.70%,全钾含量分别增加2.49%、2.86%,差异均具统计学意义。在速效养分方面,FT处理的碱解氮、速效磷含量分别较RT处理增加2.44%、2.06%,但差异均无统计学意义,速效钾含量则较RT显著增加10.47%。与NT处理相比,FT处理的土壤速效养分含量均显著增加,碱解氮、速效磷、速效钾含量增幅分别为9.08%、40.41%、15.03%。土壤有机质是土壤中作物可利用肥力的直接表征指标。本研究FT处理的土壤有机质含量为15.55 g/kg,较RT、NT处理分别增加7.61%、20.64%,差异均具统计学意义。

2.2 不同耕作方式对冬小麦农艺性状的影响

2.2.1 叶片SPAD值。如图1所示,不同耕作方式下小麦不同生育期叶片SPAD值存在明显差异。相较于NT处理,RT、FT处理的叶片SPAD值在小麦孕穗期分别显著增加25.36%、31.92%,开花期叶片SPAD值分别显著增加29.95%、40.53%。RT、FT处理二者相比,在小麦孕穗期叶片SPAD值差异无统计学意义,在开花期FT处理叶片SPAD值较RT处理显著增加8.14%。在小麦成熟期,植株叶面黄化。**2.2.2 株高。**如图1所示,在小麦孕穗期,RT、FT处理的小麦株高较NT处理分别显著增加20.62%、28.35%,但二者相比差异无统计学意义;在小麦开花期和成熟期,与NT处理相比,RT处理的植株株高分别增加20.39%、14.89%,FT处理的植株株高分别增加30.36%、28.76%,差异与NT处理间均具统计学意

义。与NT处理相比,RT和FT处理的株高在各生育期均显著提升,平均增幅分别为18.63%、29.16%。

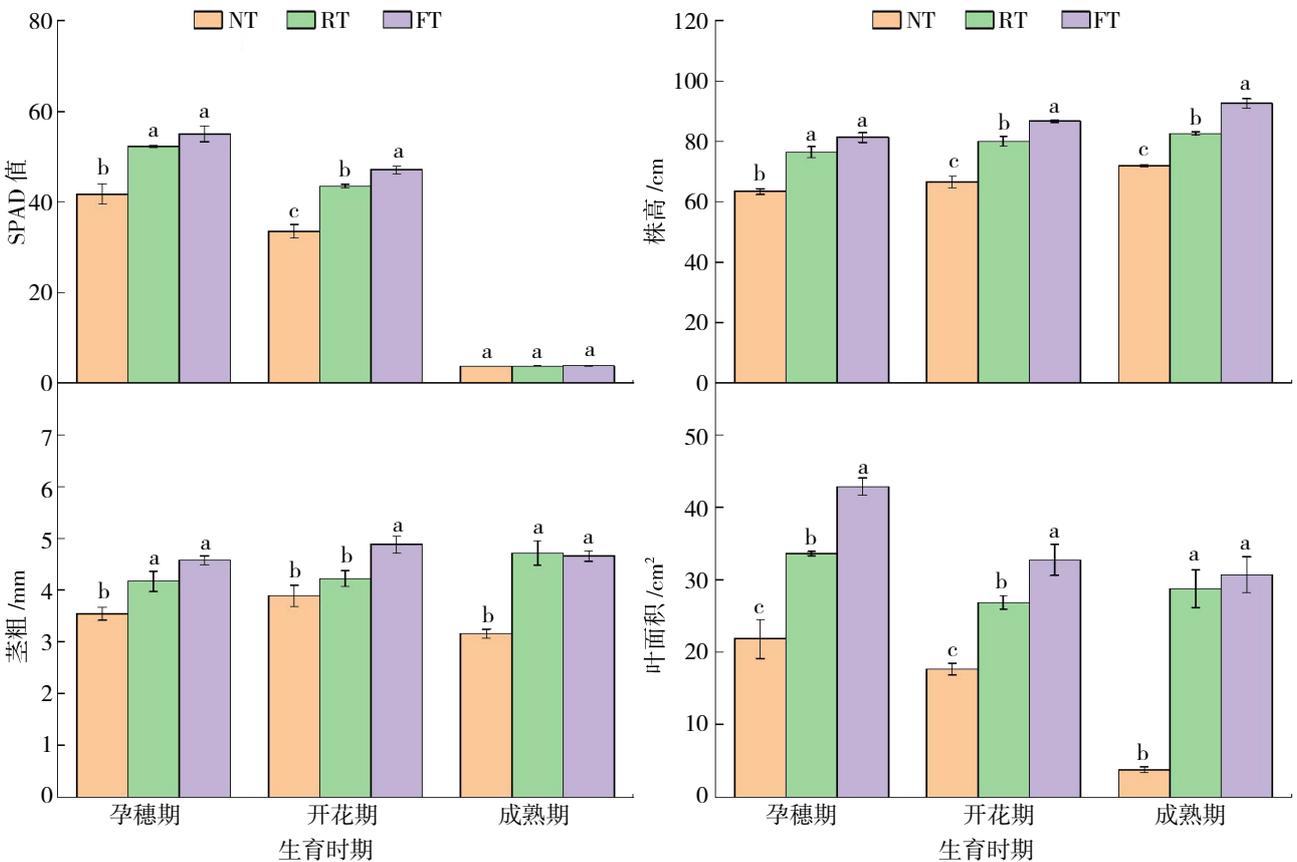
2.2.3 茎粗。如图1所示,小麦孕穗期,RT、FT处理的茎粗较NT处理分别显著增加17.69%、29.07%;在小麦开花期,RT处理植株茎粗较NT处理增加8.57%,差异无统计学意义,FT处理则较NT处理显著增加25.45%;小麦成熟期,RT、FT处理间植株茎粗的差异无统计学意义,但均较NT处理显著增加,增幅分别为49.42%、47.62%。

2.2.4 叶面积。如图1所示,在小麦孕穗期和开花期,RT处理的叶面积均较NT处理显著增加,增幅分别为53.85%、51.97%,FT处理的叶面积则较NT处理分别增加96.20%、85.15%,差异均具统计学意义。在小麦成熟期,NT处理的叶面积仅为3.78 cm²,较RT、FT处理均显著降低。RT、FT处理二者相比,在小麦成熟期叶面积差异无统计学意义,在孕穗期和开花期,FT处理的叶面积较RT处理显著增加,增幅分别为27.53%、21.84%。

表1 不同耕作模式对小麦土壤各肥力指标的影响

类别	粉垄耕作(FT)	旋耕耕作(RT)	免耕耕作(NT)
全氮含量/(g/kg)	1.42 ± 0.07 a	1.22 ± 0.09 b	1.03 ± 0.05 c
全磷含量/(g/kg)	1.12 ± 0.01 a	1.09 ± 0.02 b	1.08 ± 0.03 b
全钾含量/(g/kg)	16.90 ± 0.06 a	16.49 ± 0.11 b	16.43 ± 0.05 c
碱解氮含量/(mg/kg)	112.89 ± 3.54 a	110.20 ± 2.62 a	103.49 ± 1.21 b
速效磷含量/(mg/kg)	69.25 ± 2.27 a	67.85 ± 2.68 a	49.32 ± 1.57 b
速效钾含量/(mg/kg)	149.51 ± 0.97 a	135.33 ± 1.81 b	129.97 ± 0.47 c
有机质含量/(g/kg)	15.55 ± 0.08 a	14.45 ± 0.49 b	12.89 ± 0.30 c

注:表中含量为质量分数;数据为平均值±标准误。同行数据后不同小写字母表示各处理间差异具统计学意义(P<0.05)。表2、表3同。



同一柱形图上不同小写字母表示同一时期不同处理间差异具统计学意义(P<0.05)

图1 不同耕作方式对小麦各生育期植株生长特征的影响

2.3 不同耕作方式对小麦干物质质量的影响

由表 2 可知,不同耕作显著改变了小麦植株各生育期干物质分配特征。与 NT 处理相比,RT、FT 处理植株的根干物质质量在孕穗期、开花期、成熟期均显著增加,增幅分别为 66.92%、31.88%、68.12%、164.62%、103.13%、86.96%,且 RT 和 FT 处理差异具统计学意义。RT 处理的茎干物质质量在小麦成熟期较 NT 处理显著增加 24.30%,RT 和 NT 处理的茎干物质质量在孕穗期和开花期差异则无统计学意义;与 NT 处理相比,FT 处理的茎干物质质量在小麦孕穗

期、开花期和成熟期均显著增加,增幅分别为 67.32%、53.89%、57.94%。与 NT 处理相比,RT 和 FT 处理的叶、穗干物质质量与茎干物质变化特征相似,在小麦各生育期均显著改善,小麦成熟期平均增幅分别为 47.37%、13.68%、52.63%、24.21%。从整株干物质质量来看,RT、FT 处理在小麦各生育期均较 NT 处理提升,小麦成熟期平均增幅分别为 27.72%、45.60%;与 RT 处理相比,FT 处理的整株干物质质量在小麦孕穗期、开花期和成熟期分别提升 42.23%、42.54%、14.00%,差异均具统计学意义。

表 2 不同处理各生育期植物器官干物质质量

类型	处理	孕穗期	开花期	成熟期
根干物质质量 /g	NT	1.30 ± 0.04 c	1.60 ± 0.11 c	0.69 ± 0.03 c
	RT	2.17 ± 0.15 b	2.11 ± 0.06 b	1.16 ± 0.03 b
	FT	3.44 ± 0.27 a	3.25 ± 0.06 a	1.29 ± 0.05 a
茎干物质质量 /g	NT	1.53 ± 0.12 b	1.67 ± 0.06 b	1.07 ± 0.07 c
	RT	2.03 ± 0.16 ab	1.84 ± 0.07 b	1.33 ± 0.05 b
	FT	2.56 ± 0.26 a	2.57 ± 0.03 a	1.69 ± 0.04 a
叶干物质质量 /g	NT	0.33 ± 0.04 b	0.43 ± 0.02 c	0.19 ± 0.01 b
	RT	0.41 ± 0.01 b	0.52 ± 0.03 b	0.28 ± 0.02 a
	FT	0.55 ± 0.05 a	0.65 ± 0.02 a	0.29 ± 0.01 a
穗干物质质量 /g	NT	0.29 ± 0.02 b	0.28 ± 0.01 c	1.90 ± 0.04 c
	RT	0.40 ± 0.01 b	0.42 ± 0.06 b	2.16 ± 0.01 b
	FT	0.57 ± 0.04 a	0.49 ± 0.01 a	2.36 ± 0.05 a
整株干物质质量 /g	NT	3.46 ± 0.08 c	3.98 ± 0.14 c	3.86 ± 0.06 c
	RT	5.02 ± 0.31 b	4.89 ± 0.05 b	4.93 ± 0.05 b
	FT	7.14 ± 0.41 a	6.97 ± 0.05 a	5.62 ± 0.08 a

2.4 不同耕作方式对冬小麦叶片光合特性的影响

如图 2 所示,不同耕作方式对植株叶片光合生理指标影响显著。相较于 NT 处理,RT、FT 处理的叶片净光合速率(P_n)显著增加,增幅分别为 24.02%、35.63%。FT 处理的蒸腾速率(T_r)较 NT 处理显著提升 154.65%,较 RT 处理则显著提升 70.92%。不同耕作方式对植株叶片气孔导度(G_s)的影响差异具统计学意义,其中 FT 处理的叶片气孔导度为 2 016.09 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,较 NT、RT 处理分别显著增加

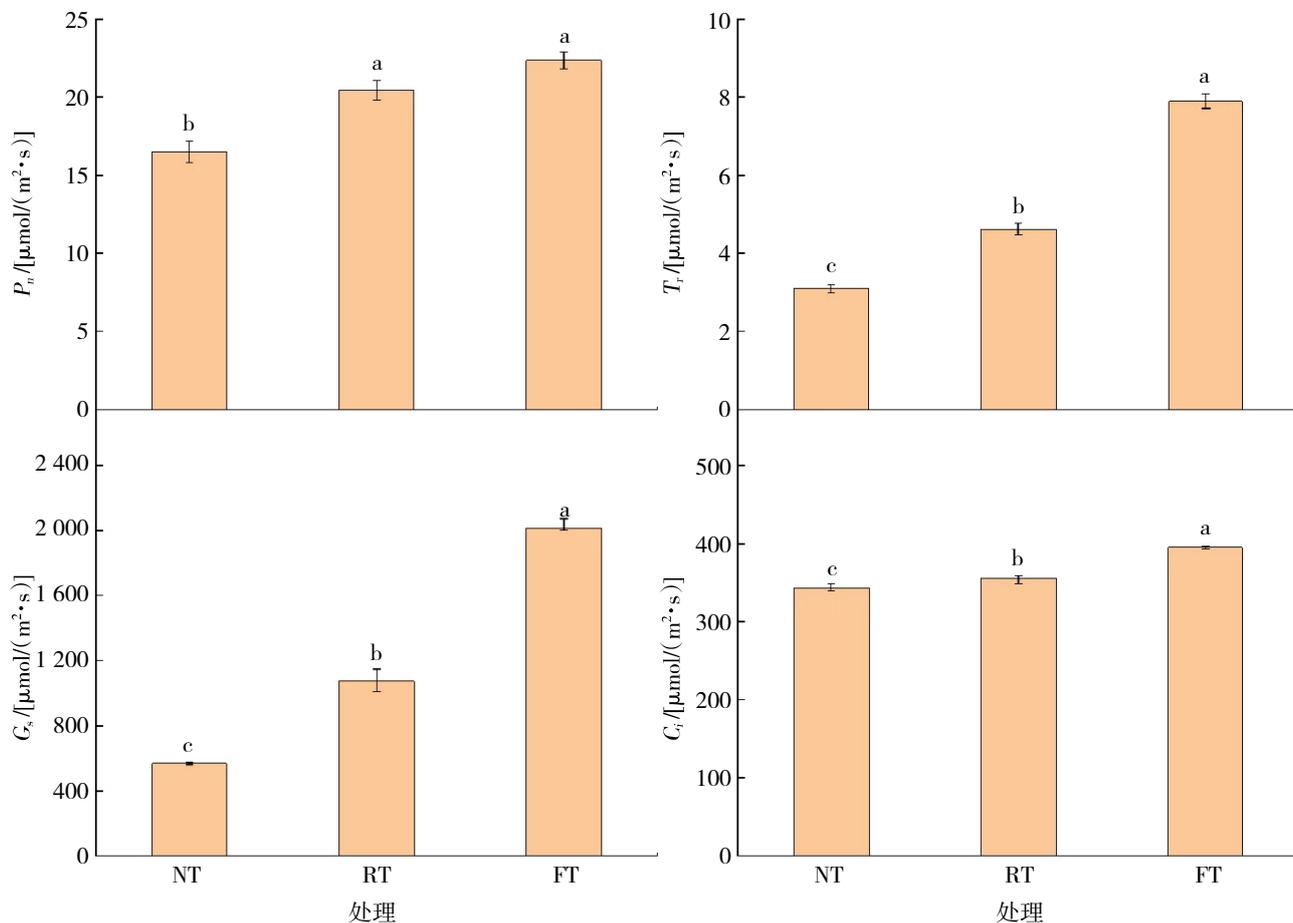
254.18%、87.09%。与 NT 处理相比,RT、FT 处理植株叶片的胞间 CO_2 浓度(C_i)均显著提升,增幅分别为 11.06%、14.91%。

2.5 不同耕作方式对冬小麦产量的影响

由表 3 可以看出,不同耕作对小麦产量及其构成因素影响的差异明显。FT 处理的小麦产量最高,显著高于 RT 和 NT 处理,增幅分别为 19.83%、44.02%。产量构成的差异主要来源于有效穗数和单穗粒数,3 种不同的耕作方式在千粒质量上差异并

无统计学意义。相较于 NT 处理,RT 和 FT 处理的小麦有效穗数分别增加 9.42%、23.32%,差异均具统计学意义。RT 和 FT 处理的小麦单穗粒数差异并无

统计学意义,并均相较 NT 显著增加,增幅分别为 8.47%、12.79%。



同一柱形图上不同小写字母表示处理间差异具统计学意义($P < 0.05$)

图 2 不同耕作方式对小麦叶片光合生理的影响

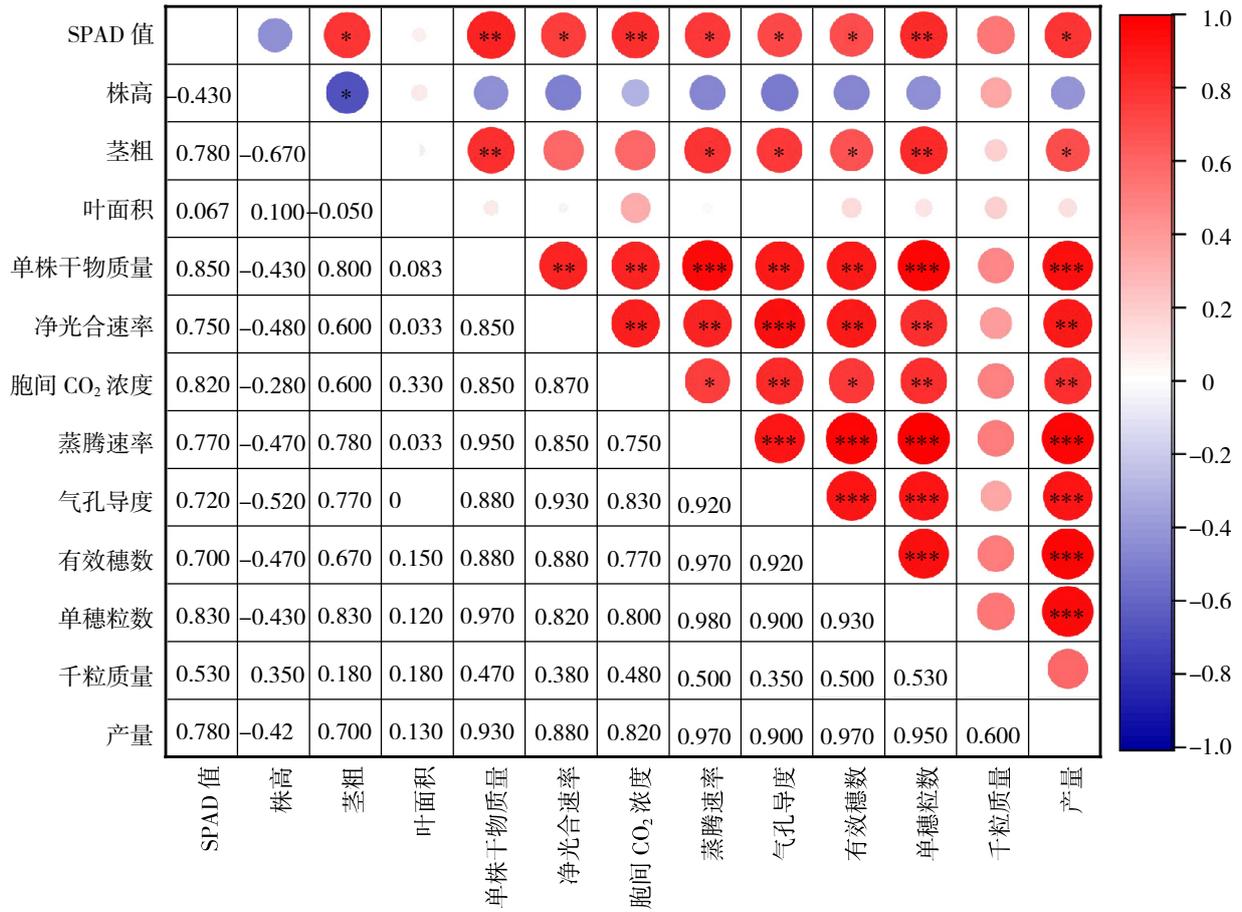
表 3 不同耕作方式下小麦产量及其构成因素

处理	有效穗数/(万穗/667 m ²)	穗粒数/(粒/穗)	千粒质量/g	产量/(kg/667 m ²)
NT	40.78 ± 0.35 c	24.32 ± 0.39 b	38.55 ± 0.28 a	362.44 ± 13.14 c
RT	44.62 ± 0.63 b	26.38 ± 0.25 a	38.42 ± 0.30 a	435.61 ± 8.75 b
FT	50.29 ± 0.48 a	27.43 ± 0.29 a	39.84 ± 0.64 a	521.98 ± 8.77 a

2.6 相关性分析

相关性分析(图 3)表明,小麦产量和植株叶片蒸腾速率(0.970)、有效穗数(0.970)、单穗粒数(0.950)、单株干质量(0.930)以及气孔导度(0.900)均呈显著正相关,相关系数 ≥ 0.900 。产量和株高则

呈负相关,尽管负相关系数处在较低水平。与此同时,株高和茎粗存在显著的负相关关系。植株叶片的 SPAD 值则与植株光合生理指标均呈显著正相关。



*、**、*** 分别表示在 $P \leq 0.05$ 、 $P \leq 0.01$ 、 $P \leq 0.001$ 上显著相关

图3 小麦产量与各指标间的相关性分析

3 讨论

在农业生产中,系统地测量和分析作物的生长特征与物质积累,是进行精准诊断和科学管理的根本依据。本研究针对小麦孕穗期、开花期及成熟期主要作物生长特征指标进行监测,总体来看,小麦生长生育特征呈现粉垄 > 旋耕 > 免耕的结果。3种耕作方式对小麦株高、茎粗、SPAD值和叶面积影响差异明显,这主要在于不同耕作方式下作物生境影响不同,导致植物对养分吸收和利用效率发生变化^[14-15]。与旋耕和免耕相比,粉垄耕作显著提升了小麦干物质积累,特别是增加了小麦根部干物质质量。这和前人的研究^[16]具有一致性。粉垄耕作通过增强作物对水肥的吸收利用效率,使得作物往往表现出长势迅速、优质的特点^[17]。

作物的光合特性往往和产量表达呈现显著的相关性,直观表征着作物对外界生境的适宜能力。相较于常规耕作,粉垄耕作模式能显著改善作物叶片的光合特性^[18]。本研究中,相较于免耕和旋耕处

理,粉垄耕作下小麦叶片净光合速率分别提升35.63%、9.37%,胞间CO₂浓度分别显著提升14.91%、11.06%,蒸腾速率分别显著提升154.65%、70.92%,气孔导度分别显著增加254.18%、87.09%,这和聂胜委等的研究结果^[19]类似。粉垄耕作加强了土壤犁底层改造,有利于作物养分吸收转运,增强作物后期旗叶的光合性能^[20]。针对粉垄耕作下小麦叶片具体的光合变化规律还需要进一步研究。

土壤肥力指标通常反映土壤为作物生长提供必需养分、水分和良好根系环境的能力,其改善效果关系作物产量提升潜力。在本研究中,相较于NT、RT处理,FT处理的土壤全氮含量分别增加37.86%、16.39%,全磷含量分别增加3.70%、2.75%,全钾含量分别增加2.86%、2.49%,土壤有机质含量分别增加20.64%、7.61%,这表明粉垄耕作显著改善了耕地土壤质量,提升了土壤肥力。崔烜玮等研究表明,粉垄耕作可以扩大土壤储肥空间,综合养分含量得到提高,土壤养分相比旋耕更能被有效利用^[2]。石伟业等在粉垄耕作在水稻栽培上的研究同样表

明,粉垄耕作可以改善土壤耕层状况,提升土壤养分库,改善土壤的透水透气能力及养分利用效率^[21]。杨佳鹤等研究发现,粉垄耕作可以通过促进作物根系的发育和酶的分泌,增加土壤中酶活性的来源,显著提高土壤脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶和碱性磷酸酶的含量,有利于促进土壤养分的合成^[22]。因此,粉垄耕作通过提升土壤养分库,增加土壤储肥能力,为作物提供有利的生长环境,从而激发农田系统提质增产的潜力。

本研究中,与免耕和旋耕相比,粉垄耕作下小麦籽粒产量分别显著增加 44.02%、19.83%,这主要源于小麦土壤肥力和农艺性状的显著改善。本研究同样表明,小麦产量和叶片光合特性及干物质量等指标呈显著正相关,粉垄耕作显著改善了土壤深层孔隙结构,促进了植株对水肥利用效率提高,实现了作物增产^[23-24]。也有研究表明,粉垄耕作可以显著提升土壤肥力,降低土壤容重,增加土壤大团聚体比例,有效解决盐碱地耕层浅化问题^[25-26]。与此同时,耕作模式的采用往往与水肥优化、轮作等同时开展。目前大量研究表明,将粉垄耕作和绿肥^[27]、有机菌肥^[28]、间套作^[29]、覆膜^[30]等配套使用,作物提质增产效果更为明显。因此,为实现江苏滨海盐碱地的高效可持续利用,还需要继续探析粉垄耕作下作物增产潜力的机制,也需要对粉垄耕作下农田提质路径进行综合配套。

4 结论

1) 在江苏滨海盐碱农区冬小麦种植系统,相较于旋耕和免耕处理,粉垄耕作可以显著增加小麦籽粒产量,小麦单位面积产量可提升 19.83%以上,但其增长潜力往往受土壤基础性质、作物品种、天气特征等影响。

2) 粉垄耕作可以通过提升土壤有机质和氮磷钾含量等养分指标,改善小麦各生育期株高、茎粗、SPAD 值和叶面积等农艺性状,提升小麦叶片光合速率,以实现其提质增产目的。

参考文献:

[1] 王志旺,王世航,徐灵颖,等. 江苏东台盐碱耕地综合肥力特征及其影响因素[J]. 土壤,2025,57(2):265-274.
[2] 王菊英,李振华,乔仁桂,等. 盐碱地利用农艺措施研究及应用进展[J]. 农业与技术,2025,45(9):106-108.

[3] 卜容燕,程文龙,武 际,等. 有机肥无机肥配施结合深耕提升稻油轮作系统生产力和养分利用效率[J]. 中国农业科学,2025,58(16):3178-3189.
[4] 方保停,李友军,闫广轩,等. 耕作方式对旱作区麦-玉轮作体系小麦产量、氮素利用和土壤硝态氮残留的影响[J]. 河南师范大学学报(自然科学版),2024,52(5):1-9.
[5] 陈海情,张 凯,黄 超,等. 耕作方式和生物炭用量对冬小麦产量、土壤氮碳的影响[J]. 麦类作物学报,2025,45(2):224-233.
[6] 武 斌,曹永刚,胡发龙,等. 免耕轮作对减氮小麦产量下降的补偿效果[J]. 作物学报,2025,51(7):1959-1968.
[7] LAL R. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015,70(3):55A-62A.
[8] 洪立洲,邢锦城,乔干群,等. 滨海盐碱地绿肥粉垄耕作耦合对土壤有机碳积累及组分的影响[J]. 江苏农业学报,2025,41(1):61-67.
[9] 刘 威,陈小龙,白梦茹,等. 粉垄耕作对植烟土壤耕层特性及烤烟生长发育的影响[J]. 江苏农业科学,2025,53(19):156-162.
[10] 王本龙,周春生,李利荣,等. 耕作方式与灌溉定额对苏打盐碱土理化性质和玉米生长的影响[J/OL]. 南京农业大学学报,2025:1-15 (2025-06-03) [2025-10-22]. <https://link.cnki.net/urlid/32.1148.S.20250530.1451.004>.
[11] 王志丹,刘吉利,吴 娜. 粉垄耕作对甜高粱光合生理特性及产量的影响[J]. 中国农业科技导报,2022,24(1):148-156.
[12] 崔烜玮,何进宇,杨佳鹤,等. 粉垄耕作对作物生境、产量及品质影响研究现状与展望[J]. 江苏农业科学,2024,52(7):10-16.
[13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000:30-84.
[14] 李月琪,麻仲花,刘威帆,等. 垂直深旋耕配施有机肥对盐碱地玉米叶片衰老特性及产量的影响[J/OL]. 植物生态学报,2015:1-16(2025-09-03) [2025-10-22]. <https://link.cnki.net/urlid/11.3397.Q.20250903.1125.002>.
[15] 田 琨,杨彩红,吴建东,等. 免耕对不同麦玉轮作农田土壤碳组分及理化性质的影响[J]. 土壤,2024,56(2):342-349.
[16] SHAN F K, LI D F, ZHU J X, et al. Effects of vertical smashing rotary tillage on root growth characteristics and yield of broccoli[J]. Agriculture, 2022,12(7):928-928.
[17] 何进宇,石伟业,刘飞杨,等. 粉垄耕作深度对旱区土壤关键物理性质的影响[J]. 干旱地区农业研究,2023,41(3):195-201,228.
[18] 聂胜委,张巧萍,许纪东,等. 不同耕作方式和施肥水平对小麦叶片光合特性的影响[J]. 山西农业科学,2023,51(7):728-734.
[19] 聂胜委,张玉亭,汤丰收,等. 粉垄耕作对潮土冬小麦生长

- 及产量的影响初探[J]. 河南农业科学,2015,44(2):19–21,43.
- [20] 何苏南,陈环宇,郁凯,等. 有机无机肥配施对江苏滨海盐碱土农田生产力和碳库的影响[J]. 南京农业大学学报,2024,47(2):274–283.
- [21] 石伟业,何文寿,李惠霞,等. 粉垄耕作对土壤理化性质和水稻生长及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(1):232–238.
- [22] 杨佳鹤,何进宇,石伟业,等. 粉垄耕作对土壤养分及酶活性的影响[J]. 中国农业大学学报,2024,29(12):237–253.
- [23] 陈萍,罗园园,马玲芳,等. 不同粉垄深度对常年稻田土壤理化性状及产量的影响[J]. 宁夏农林科技,2024,65(9):60–62,66.
- [24] 盛勇创,王释苇,张硕,等. 不同粉垄深度对甘蔗地土壤孔隙结构的影响[J]. 中国土壤与肥料,2023(9):12–19.
- [25] 鄂继芳,杨树青,张万锋,等. 耕作模式对苏打盐碱土结构稳定性与玉米产量的影响[J]. 农业工程学报,2025,41(6):98–106.
- [26] 刘洪光,李智杰,李玲,等. 粉垄深松深耕改善南疆重度盐碱土理化性质和棉花产量及其后效[J]. 农业工程学报,2024,40(13):45–57.
- [27] 周灵芝,周佳,李艳英,等. 耕作方式和绿肥还田对甘蔗土壤细菌群落结构及功能的影响[J]. 作物杂志,2025(4):214–223.
- [28] 丁晓涛,马青山,陈萍,等. 盐碱地粉垄耕作及有机肥配施菌剂对水稻生长及产量的影响[J]. 现代农业科技,2024(18):15–18,26.
- [29] 劳承英,黄渝岚,李艳英,等. 粉垄耕作深度和间作大豆对木薯产量及效益的影响[J]. 江西农业大学学报,2023,45(1):28–36.
- [30] 王本龙,周春生,李利荣,等. 粉垄耕作与覆膜对西辽河平原盐碱地改良及玉米增产效应[J]. 华北农学报,2025,40(5):74–86.

Effects of Fenlong Tillage on Agronomic Traits, Photosynthetic Characteristics and Yield of Wheat in Jiangsu Coastal Saline–alkali Cultivated Land

SUN Guoli¹, XUE Ziyang², HE Sunan¹, CHEN Huanyu¹, YU Kai¹, HE Tingting¹, ZHU Xiaomei¹, DONG Jing¹, XING Jincheng¹

(1. Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences, Yancheng 224002, China;

2. Huaiyin Institute of Technology, Huaiyin 223003, China)

Abstract: To investigate the yield-promoting potential of Fenlong tillage in wheat production within saline-alkali soils of Jiangsu Province, a field experiment was carried out with three tillage regimes: no-tillage (NT), rotary tillage at 20 cm depth (RT), and Fenlong tillage at 40 cm depth (FT). The results showed that, compared with NT and RT, FT significantly improved soil nutrient retention capacity, with total nitrogen content increased by 37.86% and 16.39%, total phosphorus by 3.70% and 2.75%, total potassium by 2.86% and 2.49%, and soil organic matter by 20.64% and 7.61%, respectively. FT notably increased wheat plant height, stem diameter, SPAD values and leaf area across all growth stages, while substantially boosting dry matter accumulation in all plant organs. Specifically, root dry matter mass under FT was 164.62% and 86.96% higher than that under NT and RT, respectively. Moreover, FT markedly enhanced the photosynthetic physiological performance of wheat leaves: intercellular CO₂ concentration (*C_i*) was elevated by 14.91% and 11.06%, transpiration rate (*T_r*) by 154.65% and 70.92%, and stomatal conductance (*G_s*) by 254.18% and 87.09% relative to NT and RT, respectively. Additionally, wheat grain yield under FT increased significantly by 44.02% and 20.19% compared with NT and RT, and a significant positive correlation was observed among grain yield, dry matter accumulation and photosynthetic parameters. Therefore, Fenlong tillage can be recommended as an effective practice to improve wheat yield and quality in the coastal saline-alkali farmlands of Jiangsu Province.

Key Words: Fenlong tillage; Dry matter accumulation; Photosynthetic rate; Yield

葛兆建,许涛,张俊喜,等. 麦田特殊旱情调研与应对策略探究[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(6):9-15,53 (2025-12-10). <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.06.002>.

麦田特殊旱情调研与应对策略探究

葛兆建¹,许涛²,张俊喜¹,黄成裕³,顾春荣²,胡积祥¹,蒋颖洁¹

(1.江苏沿海地区农业科学研究所,江苏盐城 224002;2.盐城农业科技职业学院,江苏盐城 224051;

3.盐城市盐都区气象局,江苏盐都 224005)

摘要:针对2024年冬季至2025年春季盐城地区麦田的持续旱情,通过文献与实地调研分析,探讨干旱对小麦生长发育各阶段的影响及应对策略。结果表明,长时间干旱不利于小麦生长发育,主要导致小麦出苗不齐、分蘖减少、穗粒数下降。从抗旱效果看,灌水时间以小麦拔节期为最佳,方式优先顺序为喷灌>浇灌>沟灌>漫灌>浸灌,水量控制在40~60 mm为宜。该项调研可为盐城地区或同类生态地区的麦田抗旱提供借鉴。

关键词:麦田干旱;生长影响;灌水策略;盐城地区

中图分类号:S512.1+1

文献标志码:B

文章编号:1673-6486-20250092

2023年联合国粮食及农业组织(FAO)发布的《灾害对农业和粮食安全的影响:通过韧性投资避免和减少损失》指出,灾害(尤其是气象灾害)的频率和强度显著增加,20世纪70年代每年约100起,近20年已升至每年约400起,其中干旱、洪水等极端天气事件是主要类型;气候变化致使全球干旱频发,小麦作为主要雨养作物深受影响;1991—2021年干旱是导致全球谷物损失的首要因素^[1]。

我国是小麦生产大国,小麦产量位居世界第一,江苏是全国小麦主产省份之一,盐城是江苏小麦主产区。小麦作为盐城市第一大夏粮作物,常年贡献盐城粮食总产的35%左右,由于对特殊旱情认知不足,2025年4月中旬前农业生产很少提及麦田抗旱具体应对措施,以致2024—2025年冬春连旱对小麦生产造成了较大影响。因此,本文结合当地气象数据、通过文献与实地调研及典型分析,针对盐城不同土壤类别及小麦生产重点区域20余乡镇农户代表性案例,聚焦旱情对小麦生长与产量的影响,以及对关键因素(如灌水情况、播种时间、用种量、小麦品种等)与产量之间的关系进行分析,提出一些科学适用的应对策略,以期尽可能降低持续旱情对小麦生产的影响,为今后小麦稳产高产提供

借鉴。

1 干旱对小麦生长的影响

1.1 出苗及分蘖期

小麦生长季节出现气象干旱,如不进行灌水抗旱,一般情况下,势必造成麦田干旱。土壤墒情不足会影响小麦种子的发芽和出苗率,导致出苗不齐。在分蘖期,干旱抑制小麦分蘖的发生和生长,使有效分蘖数减少,导致群体结构不合理,最终影响后期产量形成。穗数减少是小麦减产的主要因素。从植物生理机制看,干旱胁迫下,小麦叶片气孔关闭,光合速率下降,同时减少水分散失,导致碳水化合物合成不足,影响分蘖数、穗分化与最终产量形成。干旱诱导脱落酸(ABA)合成增加,抑制细胞分裂和伸长,使分蘖减少、茎秆变细、株高降低。徐龙等报道,在江苏海安,沟灌可显著增加穗数(增加103.2%),实收产量比对照增加157.5%,每穗粒数比对照增加7.2%,粒质量增加不显著^[2]。

1.2 拔节孕穗期

拔节孕穗期为小麦生长的关键时期,对大穗形成至关重要,对水分需求较大。持续干旱导致小麦茎秆生长受阻变细,节间缩短,株高降低,影响穗分化,使穗粒数减少;同时干旱还会影响小花的发育,增加不孕小花数量,降低结实率。朱成立等报道,小麦拔节—灌浆期的需水量占小麦一生的61.5%,拔节水尤为重要,其次为抽穗灌浆水和冬灌水^[3]。聂志

收稿日期:2025-09-11;修回日期:2025-11-27。

作者简介:葛兆建(1971—),男,硕士,研究员,主要从事农业资源与环境研究,Email: yekjnjcc@163.com;许涛(1972—),男,副教授,主要研究方向为农业农村经济和教育管理,Email: 2369645182@qq.com。许涛为共同第一作者。

刚等报道,籽粒产量以分蘖—拔节期灌水处理在灌水量(一次灌水量小于60 mm)相同时最高,随后开始下降^[4]。

刘丽平等研究明确,拔节期灌水是小麦获得较高穗数的基础,可以提高成穗率,增加最终成穗数^[5]。盛坤等报道,在小麦苗基数不足的情况下,拔节水可显著提高穗数并获得较高的产量,穗粒数、千粒质量均下降^[6]。安学军等报道,减少开花水和拔节水后,小麦产量及其构成三要素均极显著降低^[7]。申孝军等报道,拔节—抽穗前期水分胁迫对冬小麦生长的抑制作用最明显,其他时期水分胁迫对冬小麦生长、产量及品质的负面影响不明显^[8]。薛丽华等报道,晚播冬小麦春季灌1水(拔节水)可以促进根系深扎,增加深土层的根系分布量,提高对深层土壤贮水的吸收利用量,有利于实现节水与高产的统一^[9]。张德奇等报道,在底墒充足的基础上浇好拔节水,可以确保小麦高产稳产^[10]。

因水肥而导致田间茎蘖数严重不足时,在拔节初期适宜的肥水耦合仍可增加田间成穗数,因此拔节初期也是决定穗数的重要时期。李彦彬等报道,拔节期旱后复水耦合施氮量(小于200 kg/hm²)可显著提升冬小麦最终穗数与单个穗质量,从而提高产量^[11]。文廷刚等报道,苏北平原稻茬麦的节氮高产栽培,施氮量在180 kg/hm²,浇灌拔节水比不灌水增产37.2%,浇灌拔节和孕穗水比不灌水增产68.1%^[12]。

1.3 抽穗扬花期

干旱胁迫下,小麦抽穗困难,抽穗时间推迟且不整齐。在扬花期,干旱导致花粉活力下降,授粉受精不良,影响籽粒形成,易出现瘪粒、空粒现象。张

振等报道,在小麦拔节期和开花期将0~40 cm土层土壤相对含水量补灌至75%时其最终产量最高,水分过多产量反而下降^[13]。

1.4 灌浆期

灌浆期是决定小麦粒质量的关键时期。干旱会直接“灼伤”功能叶,使得小麦灌浆速度减缓,灌浆持续时间缩短,导致千粒质量降低,严重影响小麦产量和品质。此阶段为小麦一生中耗水高峰期,干旱胁迫将加速小麦植株后期衰老进程,绿叶数减少,降低光合能力,改变光合产物流向,并最终导致产量下降。石岩等报道,小麦开花后14 d为膜脂过氧化作用加重的转折点,水分胁迫对小麦产生的影响更加严重^[14]。王晨阳等报道,在花前限量灌水(135 mm)条件下,花后灌水(45~90 mm)可显著提高小麦籽粒产量及蛋白质产量,小麦籽粒产量的70%以上源于花后光合产物的积累,小麦开花至成熟阶段,随气温升高及植株生理代谢加强,耗水量增大,此时干旱胁迫将加速小麦植株后期衰老进程,降低光合能力,并最终导致产量下降,麦田中后期适度灌溉是提高小麦粒质量和产量的重要途径之一^[15]。而李彦彬等认为灌浆期内旱后灌水会显著降低冬小麦产量^[11]。赵广才等研究显示,在干旱情况下,灌水时期对产量的影响很大;在供试品种中,没有只需灌水1次就达最高产的小麦品种,灌4次水才获高产的小麦品种最多,干旱年份灌水可提高大多数小麦的产量,因而春季在关键生育期灌3水(每次40 mm)以保证产量、千粒质量和容重是必要的^[16]。干旱对小麦不同生育期的主要影响见表1。

表1 干旱对小麦各生育期的影响

生长阶段	干旱影响	产量要素变化
出苗及分蘖期	出苗不齐,分蘖少	穗数减少
拔节孕穗期	光合速率慢,穗分化受阻,茎秆变细	穗数、穗粒数减少
抽穗扬花期	抽穗不整齐,授粉不良	实粒数减少
灌浆期	灌浆速度减缓	粒质量减少

2 2025年实地调研分析

2.1 气象干旱情况

2024—2025年冬春盐城中北部地区出现轻度至中度气象干旱,南部地区出现重度气象干旱、局部特旱。盐都区从2024年秋季11月开始,旱情持续发展,贯穿整个冬春季节,直至2025年5月7日,

旱情仍未得到缓解。2024年12月—2025年4月盐都区共降水66.6 mm,常年同期降水为198.2 mm,比常年同期减少66.4%;其中2024年12月、2025年1月比常年同期减少95%以上,2025年2月比常年同期减少84.0%,3个月共降水7.1 mm,2025年3月比常年同期减少11.5%(降水主要集中在3月2—4日),2025年4月比常年同期减少74.9%。2025年

春季降水偏少的同时,气温偏高,3—5月气温持续高于常年平均,且3月最高气温创下3月历史极值

(2025年3月26日盐都最高气温达32.6℃),加剧了旱情对小麦生长的危害(表2)。

表2 2024年11月—2025年5月盐都区降水、气温统计*

日期 (年-月)	实际降水/ mm	常年平均降水/ mm	较常年降水量 减少/%	10 mm 以上降水日 (月-日)	实际平均气温/ ℃	常年平均气温/ ℃
2024-11	29.5	53.3	44.7	11-01	12.1	10.8
2024-12	0.4	30.1	98.7	—	3.8	4.3
2025-01	1.4	31.9	95.6	—	3.2	2.0
2025-02	5.3	33.2	84.0	—	3.5	4.0
2025-03	47.0	53.1	11.5	03-02、03-03、03-04	10.6	8.3
2025-04	12.5	49.9	74.9	—	17.2	14.2
2025-05	76.1	78.0	2.4	05-08、05-09、05-16	21.0	19.8
合计	172.2	329.5	—	—	—	—

注:* 数据来源于盐都区气象局。

2.2 土壤干旱情况

土壤干旱是气象干旱与水文干旱(地表/地下水资源供给不足)协同作用的结果。2025年调研的小麦种植户中(表3),超一半位于里下河农业区(盐都区)的土壤均属于黏土区,另约一半均位于沿海农业区(亭湖、射阳、上海农场等地)的土壤均属于壤土区,不同土区土壤均显示不同程度的干旱状况。根据布点踏查与研判,盐城黏土区麦田4月下旬5~10cm土壤墒情适宜小麦生长的比例仅在10%左右,重、极旱(土壤相对含水量<50%)比例合计占30%左右。土壤旱情可通过地表补水加以缓解。调研结果显示,不同的农户对土壤灌水频次与时间均有所不同:黏土区一直未灌水的有4块麦田(3户),灌1次水的有5块麦田(3户),灌2次水的没有,灌3次的有5块麦田(5户),大部分农户灌水时间是在春节(2025年1月29日)后;壤土区一直未灌水的有6块麦田(5户),灌1次水的有6块麦田(6户),灌2次水及以上的均没有。相较于黏土区农户,壤土区有6户仅对土壤灌了1次水,相对于土壤干旱与作物需求来说,供水均不足。

2.3 小麦受旱情况

气象干旱与土壤干旱协同必然会造成农业干旱。经查相关历史数据,2024—2025年冬春盐城地区出现了1961年以来最严重的冬春连旱,不少地区的小麦由于缺水出现卷叶现象,生育进程也受到了严重影响,二类苗与三类苗数量剧增,因此,2024—2025年冬春连旱对区域小麦生产造成了较大影响。从黏土区农户的调查情况来看,其种植的

小麦品种为扬麦系列(扬麦23、25、34、39)、盐麦系列(盐麦5号、10号)及镇麦18号等,小麦播种日期最早为2024年11月4日,最迟至11月21日;用种量最少的为262.5 kg/hm²,最多的为375.0 kg/hm²,平均为332.8 kg/hm²;小麦株高高的达88.00 cm,矮的为67.00 cm,平均为73.90 cm;穗长长的为7.40 cm,短的为5.80 cm,平均为6.65 cm;有效穗数最多的为583.5万穗/hm²,最少的为385.6万穗/hm²,平均为461.4万穗/hm²;产量最高的为9465.0 kg/hm²,最低的为4890.0 kg/hm²,平均为7000.2 kg/hm²。从壤土区农户的调查情况来看,其种植的小麦品种有扬麦系列(扬麦23、25、34)、周麦系列(周麦27、47)、镇麦12、伟隆169、西农979等,小麦播种日期最早为2024年10月28日,最迟至12月2日,时间跨度较黏土区大,用种量跨度也大,为150.0~487.5 kg/hm²;小麦株高平均为80.96 cm,穗长7.80 cm;小麦有效穗数525.00万~600.00万穗/hm²,平均为526.50万穗/hm²,较黏土区的有效穗数多14.10%;产量最高达10237.5 kg/hm²,最低的为6000.0 kg/hm²,平均8515.0 kg/hm²,较黏土区的小麦产量高21.64%。小麦优良品种和高效栽培技术是小麦产量最主要的决定因素,合理栽培管理能够使得小麦品种的优良遗传特性得到充分发挥。严重旱情导致小麦产量不同程度的下降,下降幅度因管理措施(尤其是灌水)而异。调研结果表明,未适期播种、用种量少、在4月上旬前未灌水抗旱的黏土稻茬麦田减产较多(表4)。

表3 2025年调研种植小麦农户

农户	地点	土壤类别	灌水 / 次(日期)	播种日期 (年-月-日)	用种量 / (kg/hm ²)	小麦品种	株高 / cm	穗长 / cm	有效穗数 / (万穗 / hm ²)	产量 / (kg/hm ²)	2024年产量 / (kg/hm ²)
1	城南新都	黏土	3(2025-01-02)	—	—	—	82.00	—	—	6 847.5	—
2	姜堰三水	黏土	1(2025-02)	2024-11-13	—	扬麦 34	—	—	—	5 317.5	8 675.0
3	盐都秦南富康	黏土	0	2024-11-09	375.0	扬麦 25	71.00	7.00	—	7 650.0	8 775.0
4	盐都秦南富康	黏土	3	—	375.0	—	75.00	—	—	8 400.0	9 000.0
5	盐都盐龙北港	黏土	1(2025-04)	2024-11-21	337.5	盐麦 10 号	74.00	6.90	465.3	8 062.5	9 375.0
		黏土	1(2025-04, 浸灌 10 h)	2024-11-21	337.5	盐麦 10 号	67.00	6.10	425.0	6 457.5	9 375.0
		黏土	0	2024-11-21	337.5	盐麦 5 号	67.00	5.80	385.6	5 925.0	9 375.0
		黏土	1(2025-04)	2024-11-21	337.5	盐麦 5 号	75.00	7.40	480.6	9 465.0	9 375.0
		黏土	0	2024-11-04	262.5	镇麦 18 号	—	—	—	7 125.0	9 375.0
6	盐都盐龙大李	黏土	3(2025-02-04)	2024-11-15	300.0	扬麦 39	67.00	6.70	428.6	4 890.0	7 777.5
7	盐都盐龙大李	黏土	3(2025-01-02)	—	—	—	80.00	—	—	—	—
8	盐都盐龙大李	黏土	1(2025-02)	—	—	—	67.00	—	—	—	—
9	盐都盐龙大李	黏土	3(2025-01-02)	—	—	—	88.00	—	583.5	—	—
10	盐都郭猛	黏土	0	2024-11-17	—	扬麦 23	—	—	—	6 862.5	8 775.0
11	上海农场	壤土	1(2024-12)	2024-10-28	150.0~187.5	镇麦 12 扬麦 23	—	—	—	7 875.0	8 550.0
12	射阳海河	壤土	0	2024-11-09	300.0	周麦 47	—	—	—	9 000.0	8 625.0
13	射阳海河	壤土	0	2024-11-24—12-02	435.0~487.5	扬麦 34	—	—	—	8 250.0	8 100.0
14	射阳海河	壤土	1(2025-01)	—	—	—	—	—	—	9 675.0	8 250.0
15	射阳洋马	壤土	0	2024-11-10	—	镇麦 12	—	—	—	6 000.0	9 375.0
	亭湖黄尖	壤土	1(2025-02)	2024-11-10	—	伟隆 169	—	—	600.0	9 000.0	8 625.0
	亭湖黄尖	壤土	0	2024-11-10	225.0~300.0	西农 979	—	—	525.0	7 875.0	8 550.0
16	亭湖黄尖	壤土	1(2025-04)(漫灌)	—	—	—	—	—	—	8 235.0	8 625.0
17	亭湖南洋青墩	壤土	0	—	—	—	—	—	—	9 000.0	9 750.0
18	亭湖南洋正东	壤土	1(2025-02)	2024-11-04—11-12	300.0	扬麦 25 周麦 27	—	—	—	9 750.0	10 500.0
19	亭湖南洋正东	壤土	1(2025-02)	2024-11-12	300.0	扬麦 25 周麦 27	—	—	—	9 000.0	10 125.0
20	沿海所试验场*	壤土	0	2024-11-03 前	—	扬麦 25 等 12 个品种	—	—	—	8 475.0~10 237.5	—

注:表中“—”为未收集到数据。* 江苏沿海地区农业科学研究所南洋试验场。

表4 2025年调查不同土壤类别区域农户小麦种植情况

类别	小麦品种	播种日期 (年-月-日)	用种量/ (kg/hm ²)	平均 株高/cm	平均 穗长/cm	平均有效穗数/ (万穗/hm ²)	平均产量/ (kg/hm ²)	2024年产量/ (kg/hm ²)
黏土	扬麦23、扬麦25、扬麦34、 扬麦39、盐麦5号、盐麦10号 及镇麦18等	2024-11-04— 2024-11-21	262.5~375.0	73.90	6.65	461.4	7000.2	8987.8
壤土	扬麦23、扬麦25、扬麦34、 周麦27、周麦47、镇麦12、 伟隆169、西农979等	2024-10-28— 2024-12-02	150.0~487.5	80.96	7.80	526.5	8515.0	9006.8

2.4 土壤类别分析

干旱状况下土壤类别是影响小麦产量的最显著因素,黏土区极易出现不同程度的减产,而壤土区出现较多高产纪录,壤土区小麦平均产量大幅高于黏土区:黏土区平均产量为7000.2 kg/hm²(4890.0~9465.0 kg/hm²),壤土区平均产量为8515.0 kg/hm²(6000.0~10237.5 kg/hm²)。尽管黏土的保水保肥力优于壤土,但其透气性和耕作性差,干时坚硬田间开裂严重,田间大的缝隙宽度达5 cm左右,水分更易蒸腾散失;壤土通气透水性适中,干旱时未见田间开裂,结构更疏松,干旱年份比黏土更有利于小麦生长。另从东台市溱东镇(黏土区)了解到,少部分未抗旱农户麦田产量是2024年产量的六到七成,也印证了黏土区较壤土区抗干旱胁迫能力更弱。

2.5 灌水分析

灌水是影响小麦产量的主要因素之一,但其效果受土壤类别和灌水方式影响较大。数据表明,在干旱情况下,黏土地小麦适时灌水能显著提升产量,农户5种植的盐麦5号未灌水抗旱产量达5925.0 kg/hm²,而在拔节期(4月2日)灌水抗旱产量高达9465.0 kg/hm²,灌水使产量增加3540.0 kg/hm²(增59.7%),有效穗数从385.6万穗/hm²增至480.6万穗/hm²,每穗实粒数从31.1粒增至40.5粒,株高、穗长也同步增长;而农户5种植的盐麦10号漫灌(速灌速排)产量8062.5 kg/hm²,漫灌浸水达10 h的田块产量为6457.5 kg/hm²,效果较差,表明灌水方式(漫灌与浸灌)影响小麦产量。从灌水时机的把握看,农户5在拔节期灌水1次取得了显著优于农户6灌水3次(返青、拔节、灌浆)的效果(黏土排水差极易引发渍害)。有农户仅在灌浆期灌1次水(5月1日),从田间表现看小麦长势未有改善,也说明灌水过晚无法有效缓解旱情给小麦产量造成的损失。黏土区麦田科学灌水可增产30%左右。

壤土区农户16孕穗期漫灌抗旱1次引发局部返盐导致比周边未抗旱农户减产的情况。壤土地农户14越冬期喷灌抗旱1次取得了积极效果,收成好于2024年。射阳县农民称当地土壤为“夜潮土”,特殊的土壤质地环境导致“夜潮”,为缓解麦田旱情起到了非常积极的作用。灌水时机、方式、水量的不同可造成不同的抗旱效果。

就灌水效益而言,灌水成本包括水、设备、人工三部分,一次灌水40 mm水量,水价0.4元/m³,水的费用约需160.2元/hm²,设备折旧(按使用5年计算)约120元/hm²,人工费约225元/hm²,合计约505.2元/hm²;在盐城黏土区适时精准灌水抗旱可增收小麦产量2250 kg/hm²以上,产出投入比大于10。

2.6 播种日期分析

播种日期在一定程度上影响小麦生长发育,最终影响产量,适期播种很重要。盐城地区小麦播种一般要求在11月5日前结束,2024年10月盐城地区降水是常年的3倍多(盐都区10月常年平均降水48.1 mm,2024年10月降水达158.6 mm),水稻因雨推迟收割,以致不少农户稻茬小麦播种推迟至11月15日左右,随即遭遇严重干旱。调研数据显示,早播种的产量高于迟播种的,一方面是由于早播生育期长有利于生物量的积累;另一方面早播赶墒利于出苗齐苗,利于根系发育增强抗逆性,增加覆盖减少土表水分蒸发。

2.7 用种量分析

在干旱年份,提高播种量也是提高产量的措施之一。农户3在同块田仅采用不同用种量,其他所有措施保持一致的情况下,撒播375.0 kg/hm²种子地段小麦产量达7650 kg/hm²;而撒播112.5 kg/hm²种子地段小麦出苗少、分蘖差、株高矮、减产严重。壤土区农户13小麦播种期推迟,采取加大播种量措施,最终也取得较高产量。

2.8 品种分析

从调研信息看,不同品种在旱情下表现不一,盐麦系列的表现相对较好,在壤土区适期播种未抗旱情况下,盐 18123 产量达 10 237.5 kg/hm²、盐 17094 产量达 9 637.5 kg/hm²、盐 19186 产量达 9 487.5 kg/hm²。黏土区盐麦 5 号在拔节期灌水支持下产量最高(9 465.0 kg/hm²),抗旱性强,穗部性状(穗长 7.40 cm)、株高(75.00 cm)优于无灌水情况。扬麦系列抗旱性表现一般;盐麦系列在黏土区表现优,白麦品种在壤土区潜力大。

2.9 其他因素分析

调研中了解到,从播种方式看,采取条播要优于撒播,条播用种量较撒播少,可同步深施肥料,减少后期追肥投入,长期看肥料利用率更高;撒播在干旱情形下可能导致出苗不齐、不匀。适时适量追肥有利于保墒、分蘖、增粒,进而影响产量的形成。临海农场高产攻关田进行科学喷浇灌结合补施肥实现了江苏省小麦最高单产(12 322.5 kg/hm²)。另外,高标准农田条件好,利于农艺措施的及时落实,有利于取得高产。

3 讨论

3.1 积极主动应对特殊旱情

干旱使小麦分蘖数减少、株高降低、茎秆变细、穗粒数不足进而导致穗数下降、生物量减少、千粒质量降低,其中未适期播种、用种量小、在 4 月上旬前未灌水抗旱的黏土稻茬麦田减产较多。正常年份,盐城地区降水基本能满足小麦正常生长发育水分需求,无需灌水抗旱。丰焕平等报道,小麦全生育期需求有效土壤水分分为 460 mm 以上^[7]。盐都区 2024 年 11 月—2025 年 5 月共降水 172.2 mm,比常年降水(329.5 mm)少 47.7%。小麦怕水不耐水,多数人认为春季“尺麦怕寸水”,小麦抗旱技术储备不足,只注重清沟理墒防渍害,不提及如何灌水抗旱,不当灌水可造成小麦毁灭性危害。一些农户犹豫不决等天降雨,到 4 月中下旬小麦有效穗数已成定数,此时抗旱作用显著减弱。各级政府给予抗旱财力支持,大力保障水源供给,气象部门实施人工增雨(如盐都区 2025 年 5 月 1 日、5 月 5 日实施人工增雨)、抗旱器具畅通保供,在农技部门的统一指导下,种植农户根据实际情况开展抗旱行动,这些措施对缓解局部旱情起到积极作用,直至 5 月 8—9 日盐

城各地降水 50 mm 左右,旱情方得缓解。因此,针对旱情来袭,不能靠等,要积极主动应对。

3.2 针对土壤类别差异采用适宜的抗旱策略

壤土(盐碱复合区)麦田很多人没有主动灌水抗旱,必要时只浇(喷)水抗旱,且水量控制在 60 mm 以下,这是农谚“麦要浇苗”的智慧体现。一方面怕土壤返盐碱影响麦子根系活力造成早衰、枯黄与倒伏;另一方面灌水或大量浇(喷)水易造成氮素的淋溶损失。抗旱实践证明壤土(盐碱复合区)灌水抗旱要谨慎,可在拔节前喷灌或浇灌,拔节后谨慎抗旱;黏土区稻茬麦田抗旱要以拔节前为主,尽量避免漫灌和浸灌。灌水抗旱不当也会引发风险,如遇连阴雨天气易造成渍害,遇高温易造成青枯死苗,冬前灌水抗旱易发生“凌抬、凌截”现象。

3.3 用种量、品种等对小麦抗旱的影响

干旱年份提高小麦用种量的确可取得较高产量,但在雨水正常年份增加用种量可导致田间茎蘖数增加,加之历史同期 3、4、5 月各月降水可达 50 mm,易造成小麦中后期倒伏风险,增加小麦植株中下层小穗数量,反而造成减产。调研中发现不同小麦品种产量表现有差异,对干旱的胁迫影响不同;靠近麦田河道水位高低对小麦长势也有影响;条播麦田长势优于撒播麦田。不同小麦品种、地下水位高低、不同播种方式对干旱的抗性影响程度需进一步试验确认。

3.4 不同灌溉方式抗旱的比较

盐城地区麦田在干旱年份需在适当时期、采取适当方式进行控量抗旱,抗旱时间以拔节期为最优,灌溉方式优先顺序为喷灌 > 浇灌 > 沟灌 > 漫灌 > 浸灌,喷灌、浇灌或沟灌单次水量控制在 40 ~ 60 mm 为宜,不建议漫灌和浸灌。

4 结论与展望

4.1 结论

旱灾年份黏土区麦田需积极抗旱,壤土(盐碱复合区)麦田应谨慎科学抗旱,对于盐城及周边地区冬小麦实现稳产高产具有重要作用。适期播种争足苗,越冬期间水肥协同、因苗施策,搭建丰产群体,对迟播弱苗、墒情不足的田块,采用“黏土区沟灌补水、壤土(盐碱区)喷(浇)水 + 补肥(施尿素)”措施,促进群体生长;分蘖拔节期及时疏通沟系,确保雨止田干;黏土区干旱麦田可小水(慢水流)沟

灌,群体过大的避开大风天浇水,以防倒伏;灌浆期土壤相对含水量维持70%即可,过于干旱时小水沟灌或喷灌。

4.2 展望

2024—2025年盐城旱情是气候变化背景下江淮麦区极端气候事件的缩影。未来抗旱工作必须摒弃“靠天等雨”思维,转向“主动防御、精准施策、系统治理”的新模式,持续强化抗逆品种定向选育与布局,加快构建区域化旱情精准预警与智能决策系统,加强推广节水高效智能灌溉装备,创新农艺保墒与栽培调控体系及完善政策激励与风险分担机制,通过“品种突破、技术升级、设施保障、政策托底”四轮驱动,将小麦因旱灾损失率控制在10%以内,实现冬小麦生产从“救灾”到“减灾”再到“适应性稳产”的跨越,为保障区域粮食安全提供坚实科技支撑。

参考文献:

- [1] 联合国粮食及农业组织. 2023年灾害对农业和粮食安全的影响:通过韧性投资避免和减少损失[M/OL]. 罗马. 2023:1-24[2025-12-28]. <https://doi.org/10.4060/cc7900zh>.
- [2] 徐龙,王昌枝,张宝南,等. 麦田播后沟灌的抗旱效果简报[J]. 作物杂志,1990(2):13-14.
- [3] 朱成立,彭世彰,孙景生. 冬小麦节水高效优化灌溉制度模型应用研究[J]. 灌溉排水学报,2003,22(5):77-80.
- [4] 聂志刚,任新庄,李广,等. 旱地小麦产量及其构成因素灌溉效应的模拟分析[J]. 干旱地区农业研究,2019,37(3):117-122.
- [5] 刘丽平,欧阳竹,武兰芳,等. 灌溉模式对不同密度小麦群体质量和产量的影响[J]. 麦类作物学报,2011,31(6):1116-1122.
- [6] 盛坤,杨丽娟,蒋志凯,等. 不同灌水处理对强筋小麦新麦19产量及品质的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(5):42-47.
- [7] 安学军,李晓静,安浩军,等. 灌水次数对冀中北麦区冬性中筋和强筋小麦光合特性和产量的影响[J]. 安徽农业科学,2024,52(15):34-37,58.
- [8] 申孝军,孙景生,刘祖贵,等. 灌水控制下限对冬小麦产量和品质的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(12):58-65.
- [9] 薛丽华,段俊杰,王志敏,等. 不同水分条件对冬小麦根系时空分布、土壤水利用和产量的影响[J]. 生态学报,2010,30(19):5296-5305.
- [10] 张德奇,季书勤,李向东,等. 水分调控对冬小麦根系与叶片生理特性及产量和品质的影响[J]. 华北农学报,2012,27(1):124-127.
- [11] 李彦彬,王晓猛,高世凯,等. 不同施氮水平下旱后复水对冬小麦叶片光合特性和产量的影响[J]. 排灌机械工程学报,2025,43(4):404-413.
- [12] 文廷刚,贾艳艳,顾大路,等. 氮水运筹对苏北平原稻茬麦干物质积累、产量和氮肥利用的影响[J]. 麦类作物学报,2023,43(3):321-331.
- [13] 张振,石玉,张永丽,等. 土壤水分含量对小麦耗水特性和旗叶/根系衰老特性的影响[J]. 作物学报,2023,49(7):1895-1905.
- [14] 石岩,于振文,位东斌,等. 土壤水分胁迫对小麦根系与旗叶衰老的影响[J]. 西北植物学报,1998,18(2):196-201.
- [15] 王晨阳,郭天财,彭羽,等. 花后灌水对小麦籽粒品质性状及产量的影响[J]. 作物学报,2004,30(10):1031-1035.
- [16] 赵广才,常旭虹,刘利华,等. 不同灌水处理对强筋小麦籽粒产量和蛋白质组分含量的影响[J]. 作物学报,2007,33(11):1828-1833.
- [17] 丰焕平,谭秀山,毕建杰. 不同土壤水分条件下冬小麦根系分布及根冠特性的研究[J]. 安徽农业科学,2013,41(35):13465-13467,13471.

(下转第53页)

本刊常用计量单位符号简介

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

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

孙兰平,高九春. 盐城大麦产业发展现状与展望[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(6):16-20(2025-12-18). <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.06.003>.

盐城大麦产业发展现状与展望

孙兰平,高九春

(盐城市盐都区楼王镇农村工作办公室,江苏 盐都 224031)

摘要:盐城在江苏大麦产业版图中地位关键,其发展动态直接牵动区域农业转型升级与粮食供给保障。盐城大麦产业整体呈现产区加速向沿海优势地带迁移、专用良种全面铺开、机械作业能力显著提升的三大特征,持续夯实产业增效根基。如今,盐城已打造出“双核驱动、多元并进”的产业生态,啤酒麦芽与大麦仁构成主力板块,青贮饲料和大麦若叶形成特色增长极。然而,产业仍面临上游种植效益偏低、中游加工增值环节有限、下游市场竞争激烈等问题。因此,未来应从稳定种植、延伸链条、拓展空间三方面入手,构建集优质原料供给、精深加工与品牌建设于一体的现代大麦产业体系,带动提升盐城大麦产业向高质量、高效率、高效益方向发展。

关键词:大麦;盐城;产业现状;高质量发展

中图分类号:S512.3

文献标志码:A

文章编号:1673-6486-20250109

大麦(*Hordeum vulgare* L.)是仅次于小麦、水稻、玉米的世界第四大谷物,既是啤酒酿造的关键原料,也是饲料、食品及功能性健康产品的重要原料^[1]。盐城地处江苏沿海滩涂与里下河平原交汇地带,生态条件优越,具备生产优质大麦的独特自然优势,是江苏乃至全国的大麦优势产区^[2]。近年来,随着农业结构调整和消费需求升级,盐城大麦产业在品种选育、机械化生产、产业链延伸和市场拓展等方面取得了显著进展,逐步形成以啤酒麦芽、大麦仁为主导,青贮饲料与大麦若叶为补充的多元化发展格局^[3-4]。但是,在农业现代化以及农业市场竞争日益激烈的今天,大麦产业仍然面临种植效益低、加工增值环节有限、市场竞争压力大等挑战。为此,本文全面梳理盐城大麦产业的发展现状,系统剖析其面临的主要发展挑战,进而提出未来的发展方向,以期对盐城乃至江苏的大麦产业提质增效提供参考与借鉴。

1 盐城大麦产业发展现状

1.1 自然条件与生产种植情况

盐城位于亚热带与暖温带交接地带,四季分明、光照充足、雨热同期的季风气候,确保了大麦从秋播到夏收的顺利生长^[5]。土壤方面,尽管以滨海盐

渍土为主,但大麦自身具备较强的耐盐碱特性,使其能够适应沿海地区的土壤环境,并通过后续治理,大麦种植已成为盐碱地综合利用的成功模式^[6-7]。同时,盐城河网密布、水利设施发达,构成了高效的灌溉与排涝系统,为规模化、标准化生产奠定了坚实基础^[8]。目前,盐城大麦种植面积约 1.8 万 hm^2 ^[9],分布在东台、大丰、射阳等沿海地区,这些区域都是典型的滨海盐渍土环境,大麦在盐碱地改良和综合利用方面发挥了重要作用,形成了“以种促改、种养结合”的良性循环,将自然劣势转化为产业优势,最终铸就了其在江苏乃至全国大麦产业中不可忽视的地位。

由表 1 可知,2014—2023 年盐城大麦种植规模呈逐年下降趋势。种植面积从 2014 年的约 8 万 hm^2 减少至 2023 年的约 1.8 万 hm^2 ,累计下降了约 77%。总产量由 2014 年的 47.34 万 t 降至 2023 年的 10.21 万 t,降幅约 78%。单位面积产量尽管在一定程度上有所波动,但整体保持相对稳定,十年间始终维持在 5 476 ~ 5 855 kg/hm^2 的较高水平。

从区域分布(表 2)来看,2014—2023 年盐城大麦生产逐渐由多点分散逐步向少数优势区集中。2014 年,射阳县、大丰区、滨海县和东台市是主要产区,分别达 1.97 万、1.23 万、1.43 万和 1.04 万 hm^2 。自 2016 年农业部出台《全国种植业结构调整规划(2016—2020 年)》以来,在“保口粮、保谷物”的战略导向下,盐城大麦种植规模迅速压缩,特别是射阳县种植面积由 2016 年的 1.27 万 hm^2 骤降至 2017 年的

收稿日期:2025-10-23;修回日期:2025-12-02。

作者简介:孙兰平(1995—),女,硕士,助理农艺师,主要从事农业技术推广工作。Email: 1037108734@qq.com。

0.33 万 hm^2 。同时,盐城大麦产区内部部分化趋势明显,大丰区等沿海县区仍保持相对较高的种植面积,而开发区、城南新区等则基本退出大麦生产。这

一变化不仅反映了国家产业政策对地方种植结构的深刻影响,也体现了城镇化与产业转型对耕地利用格局的再塑造。

表 1 2014—2023 年盐城大麦种植面积和产量

年份	种植面积 / 万 hm^2	单位面积产量 / (kg/hm^2)	总产量 / 万 t
2014	8.08	5 855	47.34
2015	7.37	5 791	42.67
2016	6.55	5 476	35.89
2017	4.21	5 608	23.62
2018	2.70	5 537	14.95
2019	2.49	5 537	13.78
2020	2.49	5 572	13.88
2021	2.41	5 572	13.41
2022	1.90	5 630	10.70
2023	1.82	5 619	10.21

注:数据来源于 2015—2024 年《盐城统计年鉴》。表 2 同。

表 2 2014—2023 年盐城大麦种植区域分布

年份	开发区 / 万 hm^2	城南新区 / 万 hm^2	亭湖区 / 万 hm^2	盐都区 / 万 hm^2	大丰区 / 万 hm^2	响水县 / 万 hm^2	滨海县 / 万 hm^2	阜宁县 / 万 hm^2	射阳县 / 万 hm^2	建湖县 / 万 hm^2	东台市 / 万 hm^2
2014	0.22	0.007	0.72	0.26	1.23	0.61	1.43	0.39	1.97	0.21	1.04
2015	0.22	0.007	0.67	0.26	1.16	0.61	1.40	0.39	1.44	0.21	1.01
2016	0.20	0.007	0.47	0.16	1.15	0.56	1.16	0.39	1.27	0.23	0.96
2017	0.20	0.007	0.33	0.18	0.81	0.24	0.97	0.38	0.33	0.23	0.52
2018	0.02	0.003	0.21	0.10	0.55	0.08	0.38	0.35	0.33	0.23	0.45
2019	0.05	0.003	0.22	0.05	0.69	0.06	0.30	0.31	0.20	0.16	0.45
2020	0.06	0	0.21	0.05	0.69	0.06	0.30	0.31	0.20	0.16	0.46
2021	0.02	0	0.21	0.05	0.69	0.07	0.28	0.31	0.19	0.16	0.43
2022	0.02	0	0.13	0.05	0.58	0.05	0.24	0.28	0.17	0.16	0.23
2023	0.02	0	0.12	0.05	0.58	0.05	0.22	0.28	0.15	0.16	0.20

总的来看,盐城大麦产业格局呈现“规模压缩、区域集中”的特点,这不仅是地方农业适应国家战略、顺应市场变化的必然结果,也反映出农业结构优化和资源高效配置的趋势,为后续产业链整合与结构优化奠定了现实基础。

1.2 品种资源与生产技术情况

近年来,随着盐城的大麦品种资源和生产技术方面的突破,大麦产业逐渐发展成为地方特色产业之一^[10]。在优质品种上,盐城培育出了一批适应性强、高产高效的优质大麦新品种,特别是在耐盐碱

大麦品种的选育上取得了重要突破。江苏沿海地区农业科学研究所通过长期的盐碱地综合利用研究,选育出一批适合盐碱地种植的品种,如“苏啤 12 号”在 0.3%~0.5%的中度盐碱地上(蟹塘改造地、沿海滩涂)产量超 450 $\text{kg}/667 \text{m}^2$,为沿海地区尤其是大丰区、射阳县等地的盐碱地大麦种植提供了种源支撑^[11]。同时,盐城还积极推进其他大麦品种的选育和引进,如青贮大麦“盐麦 7 号”和啤酒大麦“扬农啤 7 号”“扬农啤 14 号”,这些品种不仅具备较强的抗病虫害能力,还表现出较高的产量和适应性,满足了

啤酒麦芽、青贮饲料等多元化市场的需求^[12-13]。在生产技术方面,盐城大麦生产已实现了从传统种植到现代化机械化生产的转变,特别是在收割环节实现了大规模机械化作业。与此同时,绿色高效的栽培方式和精准农业技术被广泛应用于播种、施肥、灌溉及病虫害防控环节,极大提高了耕作效率和精度,为大麦产业的可持续发展奠定了坚实的基础^[4]。

1.3 产品形态与市场拓展情况

作为我国重要的大麦生产基地之一,盐城逐步形成了以啤酒麦芽为主导、大麦仁为主体、特色产品为补充的产品体系,并在市场开拓方面形成了较为完善的格局。射阳县作为啤酒麦芽的核心产区,麦芽产能达73万t/年^[15],在全国县域中位居首位,拥有苏垦麦芽、春蕾麦芽、海越麦芽、金秋麦业、杰龙麦芽五大麦芽加工企业,长期为华润、青岛、燕京等国内大型啤酒集团提供原料,同时部分产品还出口至东南亚、南非等地,形成了国内与国际市场双循环相结合的产业格局^[6]。大丰区则是大麦仁的主产区,年产量约7万t^[7],主要供应娃哈哈、银鹭等国内知名食品企业。2022年,区域公用品牌“大丰麦仁”获得全国首个麦仁类国家地理标志证明商标。2025年,在第十五届中国国际粮油产业博览会(IGPE)上荣获金奖,进一步巩固了盐城在大麦产业链中的核心地位^[8]。近年来,随着产业链延伸与多元化利用的需求日益增长,盐城在推进青贮饲料、大麦若叶等新兴产品的开发、推广上也取得一定成绩^[4]。青贮饲料的推广有效满足了养殖业对高营养粗饲料的需求,而大麦若叶因富含膳食纤维、维生素和活性物质,被广泛应用于功能性食品领域,逐渐成为健康消费市场的重要组成部分,平均经济效益可达1000元/667m²^[20]。总体来看,盐城大麦产业通过产业链条的纵向延伸和横向拓展,实现了从传统粮食作物生产向食品、饲料与功能性产品多领域融合发展的转变。

2 盐城大麦产业发展挑战

2.1 上游种植环节约束

上游种植环节规模有限与成本效益低下相互交织,共同构成了盐城大麦产业发展的首要约束。与大麦种植相比,水稻、小麦等主粮或高效经济作物对种植户而言往往更具吸引力。2022年,盐城水稻、小麦、玉米、大豆等主要粮食作物播种面积占粮

食作物总播种面积比重分别为41.55%、42.03%、9.29%、3.59%^[21],而大麦的播种面积仅占粮食作物总播种面积的1.91%^[9]。以亭湖区盐东镇为例,2025年完成小麦种植面积6300hm²、油菜420hm²、蚕豆130hm²、蔬菜200hm²,而大麦仅有30hm²,当地大棚西瓜错峰上市增收可达9万元/hm²,羊角椒收益甚至能达15万元/hm²以上^[22]。相比之下,大麦的种植效益缺乏竞争优势。

2.2 中游加工环节瓶颈

盐城大麦产业的中游加工环节正面临着产业链条延伸和价值提升的双重挑战,在中游加工环节虽具备一定基础,但在产业链延伸与价值提升方面仍有进一步发展的空间。这一点在大麦仁加工领域表现得较为明显,作为全国大麦仁主产区,当地的麦仁加工企业多数仍停留在粗放式经营阶段,技术含量不高,产品以“大包装”形式进行批发,未能进一步延伸至休闲食品、功能性食品等高附加值领域,利润空间为400~500元/t^[6]。这种“以量取胜”的模式导致企业盈利能力脆弱,难以突破原料供应商的角色,对大麦价格波动极为敏感,大部分利润被下游品牌方和渠道方获取。此外,盐城大麦产业链各环节未能形成利益共享、风险共担的紧密共同体,“企业+农户”或“企业+经纪人”的模式仍占主导,加工企业的原料大部分通过经纪人从农场或农户手中采购,易受市场波动影响,原料品质一致性难以保障,间接影响了产品质量的提升和标准化生产。

2.3 下游市场环节挤压

盐城大麦产业在下游市场环节主要面临外部进口冲击与内部市场局限的双重挑战。一方面,进口大麦的强势外部压力短期内难以突破。根据海关总署数据,2024年全国进口大麦总量达1424万t,同比增长约25.77%^[23]。中国酒业协会数据显示,近五年来,国产大麦在啤酒原料中的占比已不足10%,而这个比例还是在华润啤酒等大型啤酒企业扶持下的结果,从侧面说明本土大麦的处境十分艰难。另一方面,内部品牌建设滞后导致溢价能力缺失。虽然拥有“大丰麦仁”这样的区域品牌,以及“紫缨耘”“采子其”之类的企业自主品牌,但是大多还是通过贴牌或原料形式销售,未形成较强的品牌溢价能力,并无太大影响力,难以摆脱低水平同质化竞争。内外夹击下,严重影响了产业下游市场开拓和价值变现。

3 盐城大麦产业发展展望

在产业全球化与国内消费升级的大环境下,盐城大麦产业的发展既面临挑战,也蕴含广阔机遇。未来,应从强化产业链各环节入手,既要巩固上游生产基础,又要增强中游加工能力,同时开拓下游市场空间,以实现大麦产业的高质量与可持续发展。

3.1 稳定种植基础,提升供给质量

加快优质专用品种选育与推广,依托江苏沿海地区农业科学研究所等科研力量,重点推广如“苏啤12号”这类抗病性强、品质优、产量高的本地化品种^[10],并充分发挥农业机械化和智慧农业优势,逐步降低种植成本,提升生产效率和原料供给的可控性,保障全产业链原料安全。构建“保底收购+二次分红”模式,鼓励大型麦芽厂等“链主”企业与专业合作社、家庭农场签订中长期订单,合同约定不低于粮食基准价的保底收购价,保障种植户基本收益,并承诺年底根据企业当年销售利润进行二次分红,把农户利益与产业链后端价值提升绑定,形成风险共担、利益共享的共同体。

3.2 延伸产业链条,提升价值创造

聚焦技改扩能,推动技术升级和品牌建设,向精深加工要附加值,靠品牌建设要溢价。鼓励引导企业跳出啤酒麦芽、初级麦仁等传统产品范畴,加大对特种麦芽、功能性食品原料等高附加值产品的研发投入,扩大在食品、饮品及营养健康等领域的应用深度。支持龙头企业采取订单农业、参股合作等方式,与上游种植主体建立更紧密的共赢关系,推动建立从田间到车间的全过程质量标准体系和可溯源体系,为实现品牌化运营和高质量产品销售奠定坚实基础。

3.3 优化市场布局,增强竞争动力

拓展多元化国际市场,复制推广盐城海关在保障麦芽出口方面的成功经验,融入全球供应链,持续巩固东南亚、南非等现有出口市场,开拓中东、东欧等新兴市场,组织企业参加国际食品博览会,降低对单一市场的依赖。发展“大麦+文旅”新业态,推动大麦产业与文化旅游、休闲体验等业态深度融合,实现从“卖产品”到“卖体验”“卖文化”的转变,在核心产区策划“大麦丰收节”等观光农业项目,或与啤酒厂合作开展工业旅游,让消费者体验从田间到杯中的全过程,提升品牌情感价值。打造“区域公用品牌+企业自主品牌”双轮驱动体系,集中力量

打造“盐城大麦”“盐城麦芽”区域公用品牌,制定严格的准入标准,代表产区的优良品质^[24]。同时,鼓励企业培育更多如“紫乡耘”“采子其”等自主品牌,针对细分市场进行差异化定位。融入全市“1+9+N”农产品品牌体系^[25],将大麦品牌建设主动嵌入盐城《高水平建设农业强市行动方案》中提出的整体品牌战略,利用各级各类平台进行整体宣传推广,讲好盐城大麦的绿色、科技故事。

4 结语

盐城大麦产业在区域集中的背景下,逐步形成了以优质原料供给和多元化利用为核心的产业格局。尽管当前在产业延链、补链和强链等方面仍有较大提升空间,但其在品种资源、技术支撑和产品增值等方面已展现出新的发展潜力。近3年来,华润啤酒集团出资与国家大麦青稞产业技术体系合作,在盐城地区布局苏北优质啤酒大麦订单生产,开展了“一麦相承、共酿美好”国麦振兴行动。面向未来,盐城大麦产业高质量发展需要在稳定供给、提升价值和拓展市场等方面持续发力,从而在服务国家战略和满足多样化消费需求的同时,进一步巩固和提升其在全国大麦产业中的地位。

参考文献:

- [1] 赵 锋,潘永东,包奇军,等. 甘肃省大麦产业发展现状及发展对策[J]. 甘肃农业科技,2020,51(11):78-84.
- [2] 吉学成,陈昌银,魏 勇,等. 江苏射阳县啤麦发展优势及产业链构建探索[J]. 农业工程技术,2023,43(13):9-10.
- [3] 岳银华,陈红亚,房金钺. 大丰区大麦生产存在的问题及对策[J]. 大麦与谷类科学,2015,32(4):71-72.
- [4] 杨 晔,李璐飞,曹 聪,等. 大麦青贮研究进展及在江苏沿海地区盐碱地发展前景分析[J]. 大麦与谷类科学,2024,41(6):8-14.
- [5] 易福华. 江苏沿海垦区啤麦生产的气候优势[J]. 大麦与谷类科学,2000,17(4):28-30.
- [6] 孙盛楠,严学兵,尹飞虎. 我国沿海滩涂盐碱地改良与综合利用现状与展望[J]. 中国草地学报,2024,46(2):1-13.
- [7] 张英虎,沈会权,周春霖,等. 大麦种质资源株高和耐盐性分析[J]. 江苏农业科学,2018,46(19):56-58.
- [8] 盐城市耕地质量保护站. 盐城耕地[M]. 南京:江苏凤凰科学技术出版社,2023:3.
- [9] 盐城市统计局,国家统计局盐城调查队. 盐城统计年鉴-2024 [EB/OL]. (2024-12-24)[2025-10-23]. <https://tj.jiangsu.gov.cn/>

- cn/col/col1779/index.html.
- [10] 金鑫,李长亚,王春吉,等. 缓释氮肥减量配施对不同品种大麦产量的影响[J]. 大麦与谷类科学,2021,38(4):34-38,42.
- [11] 臧慧,陈俊国,钟俊辉,等. 优质高产啤酒新品种苏啤12号的选育及高产栽培技术[J]. 大麦与谷类科学,2024,41(6):54-57,68.
- [12] 张英虎,王春吉,杨力,等. 播期和播量对盐麦7号青贮原料产量和品质的影响[J]. 大麦与谷类科学,2023,40(1):26-30.
- [13] 陆军. 767.5公斤!淮海扬农啤14号创江苏啤酒大麦高产新纪录[J]. 中国农垦,2024(7):6.
- [14] 李长亚,杨力,王春吉,等. 两茬大麦苗+啤酒大麦+玉米一年四熟模式无公害栽培技术[J]. 现代农业科技,2018(10):14,16.
- [15] 陈慧敏,顾善荣,邱欣泽. 射阳:“小”麦芽育出大产业[N/OL]. 盐阜大众报,2024-05-31(01)[2025-10-23]. https://paper.ycnews.cn/rb/pc/content/202405/31/content_195686.html.
- [16] 宋晓华. 江苏特色农产品走上“世界货架”[N/OL]. 2025-03-19(02)[2025-10-23]. https://xh.xhby.net/pc/layout/202503/19/node_2.html#content_1431019
- [17] 盐城市农业农村局. 市粮油站开展大麦仁产业调研[EB/OL]. (2020-01-02) [2025-10-23]. https://snw.yancheng.gov.cn/art/2020/1/2/art_901_3314039.html.
- [18] 王相杰,徐雪. 东部沿海乡村振兴探索实践:以盐城市大丰区为例[J]. 中国农业综合开发,2023(4):50-52.
- [19] 蔡逸,张思宇. 江苏食品工业向“新”发力[N/OL]. 江苏经济报,2024-09-06(A01)[2025-10-23]. http://jsjjb.xhby.net/pc/con/202409/06/content_1366958.html.
- [20] 盐城市农业农村局. 啤酒大麦创新团队开展大麦产业调研[EB/OL]. (2020-04-30)[2025-10-23]. https://snw.yancheng.gov.cn/art/2020/4/30/art_898_3362371.html.
- [21] 房国庆. 21世纪以来苏北种植结构的变化及其成因与社会经济效应研究[D]. 扬州:扬州大学,2025:23.
- [22] 盐城市亭湖区盐东镇政府. 盐城亭湖区盐东镇:推进特色产业,焕发乡村振兴新面貌[EB/OL]. (2025-09-08)[2025-10-23]. <http://www.js.xinhuanet.com/20250908/0530aad844194898bee6914ff30f09cd/c.html>.
- [23] 王向博. 2024年中国粮食市场综述[N]. 粮油市场报,2025-02-08(B01).
- [24] 石磊,高甜甜,王诗瑶. 盐城市农产品对接上海市场的流通策略研究[J]. 南方农业,2021,15(27):102-103,106.
- [25] 中共盐城市委盐城市人民政府. 关于学习运用“千万工程”经验有力有效推进乡村全面振兴的实施意见[EB/OL]. (2024-03-12) [2025-10-23]. https://www.yancheng.gov.cn/art/2024/5/6/art_23089_4184814.html.

Development Status and Prospect of Barley Industry in Yancheng

SUN Lanping, GAO Jiuchun

(Rural Work Office of Louwang Town, Yandu District, Yandu 224031, China)

Abstract: Yancheng plays a key role in the barley industry in Jiangsu Province, and its development dynamics directly affect the regional agricultural transformation and upgrading and food supply security. Yancheng barley industry as a whole presents the three characteristics of accelerating the migration of production areas to coastal advantageous areas, fully spreading special improved varieties, and significantly improving mechanical operation ability, and continuously consolidates the foundation of industrial efficiency. Nowadays, Yancheng has created an industrial ecology of “dual-core drive and multiple development”. Beer malt and barley kernel constitute the main plate, and silage and barley leaves form a characteristic growth pole. However, the industry still faces some problems, such as low planting efficiency in the upstream, limited value-added processing links in the midstream, and fierce competition in the downstream market. In the future, we should build a modern barley industry system integrating high-quality raw material supply, intensive processing and brand building by stabilizing the planting base, extending the industrial chain and expanding market space, so as to promote the high-quality, high-efficiency and high-benefit development of Yancheng barley industry.

Key Words: Barley; Yancheng; Industrial situation; High-quality development

陈薇薇,蔡山顺,杨可涵,等. 青稞籽粒总黄酮与 γ -氨基丁酸含量变异特征及其育种价值[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(6):21-27 (2025-12-29). <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.06.004>.

青稞籽粒总黄酮与 γ -氨基丁酸含量变异特征及其育种价值

陈薇薇^{1,3},蔡山顺²,杨可涵¹,曹媛¹,熊光辉¹,康晓琪¹,KUMBHAR Rizwan Ali¹,BENHAFID Rania Chourouk¹,
APPIAH Charlotte¹,MEMON Sadaf¹,刘雅洁¹,赵辉¹,冯宗云^{1*}

(1. 四川农业大学农学院 / 西南作物基因资源发掘与利用国家重点实验室,四川 成都 611130;

2. 四川越盛能源集团有限公司,四川 成都 610000;3. 四川大学生命科学院,四川 成都 610065)

摘要:青稞是青藏高原的重要特色粮食作物,兼具营养与功能价值。为系统解析青稞籽粒主要功能成分的变异规律,本研究以来自国内外的243份青稞种质资源为材料,对籽粒总黄酮与 γ -氨基丁酸(GABA)含量进行测定与比较分析。结果显示:总黄酮质量分数范围为1360~5380 mg/kg,平均值为2668 mg/kg,变异系数(CV)为21.35%;GABA质量分数范围为81.3~349.2 mg/kg,平均值为148.1 mg/kg,CV为29.44%。总体上看,不同材料来源的总黄酮与GABA质量分数存在差异。在本试验中,国外种质资源的总黄酮与GABA质量分数均较高。国内材料中,总黄酮含量来自青海、甘肃的较高,而GABA含量来自西藏、四川的较高。两类成分的来源分布格局并不完全一致,其积累受不同遗传与环境因子的共同调控。本研究建立了总黄酮与GABA含量的分级评价思路,可为后续定向筛选高价值材料提供一定的依据。

关键词:青稞;总黄酮; γ -氨基丁酸(GABA);变异;种质资源;育种

中图分类号:S512.3

文献标志码:A

文章编号:1673-6486-20250106

青稞 (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. f.), 又称裸大麦,是青藏高原的特色粮食作物,已有数千年的栽培历史^[1]。青稞可种植在海拔4500 m以上的局部高海拔高寒地带,是谷地、湖盆种植的重要粮食作物,目前主要种植在我国西藏、青海、四川、甘肃、云南及贵州的部分地区^[2-3]。作为藏族人民的主食,青稞不仅在保障高原地区粮食安全方面发挥着重要作用,还因其营养和保健功能而在功能食品开发领域受到广泛关注^[4]。青稞具有高膳食纤维、高蛋白、高维生素以及低脂肪、低糖的营养特性,被誉为禾谷类作物中的优质粮源^[5]。

在青稞的诸多营养成分中,总黄酮和 γ -氨基丁酸(GABA)是两类重要的功能性代谢物。黄酮类化合物是植物中广泛存在的次生代谢物,具有抗氧

化、抗炎、抗病毒等多种生理活性,不仅在植物自身的抗逆反应中发挥重要作用,也因其保健功能受到食品科学与育种领域的重视^[6-7]。另一方面,GABA作为一种非蛋白氨基酸,广泛参与哺乳动物的中枢神经系统调控,具有安神、降血压、防动脉粥样硬化及改善肝肾功能等作用,在功能食品、保健品及医药产业中具有重要的开发潜力^[8-9]。

目前,黄酮类化合物在植物体内的合成途径、运输机制与积累特性已取得一定进展^[7,10]。Martinez等在大麦中共鉴定出64种化合物,其中包括9种黄酮-3-醇、9种黄酮苷类^[11]。陈升位等研究发现,8种大麦的成熟籽粒可有效合成15种黄酮类化合物^[12]。普晓英等研究表明,大麦籽粒总黄酮含量与不同农艺性状间存在一定关系,尤其总黄酮含量与生育期和千粒质量呈极显著负相关,与实粒数和稃型呈显著正相关^[13]。赵春艳等采用比色法和标准曲线法测出不同品种大麦中总黄酮含量有差异,发芽籽粒高于未发芽籽粒^[14]。

关于 γ -氨基丁酸含量,国内的研究始于1964年,李子瑜和吴忠华对阉割雄性大鼠脑中 γ -氨基丁酸(GABA)含量进行了研究^[15],该研究推测动物睾丸激素相关效应可能与脑中GABA含量的影响有关。在大麦中,杨艳等研究发现,富含 γ -氨基丁

收稿日期:2025-10-14;修回日期:2025-12-18。

基金项目:国家现代农业产业技术体系(CARS-05);国家重点研发计划(2018YFD1000705、2018YFD1000705-5);四川省国际科技创新合作项目(2021YFH0113)。

作者简介:陈薇薇(1999—),女,博士研究生,主要从事青稞遗传育种及分子生物学研究,Email: weiwei004500@163.com;蔡山顺(1987—),男,工程师,主要从事设备管理和调度工作,Email: 542582760@qq.com。蔡山顺为共同第一作者。

* 通信作者:冯宗云(1963—),男,博士,教授,主要从事大麦(青稞)遗传育种及分子生物学研究。Email: zfyfeng49@126.com。

酸的裸大麦对高盐高血压大鼠具有一定的降压功效,将控制大麦籽粒 GABA 含量的 QTL(*qGABA-3H*)定位在染色体 3HL 上的分子标记 M5E4a 和 M3E18 之间,贡献率为 8.33%,加性效应为 0.05^[16]。曾亚文等研究表明,大麦籽粒发芽前的 GABA 含量(458.4 mg/kg)明显低于发芽期间(1~9 d)的平均含量(525.4 mg/kg),发芽后 GABA 累积最大均值是发芽期最小均值的 2.1 倍,大麦籽粒 GABA 含量会随着发芽时间的增加而增高^[17]。张紫晋等研究供试大麦不同基因型间 GABA 含量变异较大,且裸大麦显著高于皮大麦,深色籽粒高于浅色籽粒^[18]。

近年来,国内外对大麦和青稞功能成分的研究逐渐增多,但多集中于单一化合物或有限的材料,缺乏系统性和规模化的比较研究。尤其在青藏高原及周边地区栽培及野生资源中,基于统一栽培条件的籽粒总黄酮与 GABA 质量分数变异特征及其相对地域差异仍需进一步梳理。这不仅限制了高功能成分优质青稞品种的挖掘与利用,也影响了分级标准和种质资源评价体系的建立。为此,本研究以 243 份不同来源的青稞种质为材料,系统测定籽粒总黄酮与 GABA 含量,比较其变异特征与来源差异,提出功能成分分级评价思路,为后续定向筛选高值材料提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究共收集青稞种质资源 243 份,其中来自西藏 66 份、青海 97 份、四川 14 份、甘肃 39 份、国外 6 份,以及中国近缘野生裸大麦 21 份(附表)。所有材料均保存在四川农业大学国家大麦青稞产业技术体系成都综合试验站试验基地。为降低种植环境差异对比较结果的影响,本研究在同一试验点对所有材料进行统一栽培管理与取样,并对籽粒总黄酮与 GABA 含量进行直接测定。

1.2 试验方案

于 2024 年 10 月将材料种植于四川省崇州市羊马镇国家大麦青稞产业技术体系成都综合试验站基地(103°45' E、30°40' N,海拔约 530 m),行长 1.5 m,行距 0.25 m,随机区组试验设计,3 次重复,按常规水肥管理。本研究采用共同园(单点同栽)设计,旨在通过统一环境条件比较不同来源材料籽粒总黄酮与 GABA 含量的相对遗传差异。

1.2.1 总黄酮含量测定。取 2.5 g 籽粒置于小信封中,80 °C 烘干 24 h 后用粉碎机粉碎,40 目孔筛过筛。称取(500 ± 1) mg 样品置于 10 mL 离心管中,加入 4 mL 60%乙醇,60 °C 水浴浸提 2 h(期间需不时震荡)。随后 8 000 r/min 离心 10 min,取上清液。重复提取 2 次,合并上清液后加入 60%乙醇定容至 10 mL 容量瓶中。向容量瓶分别加入 0.3 mL 5%的亚硝酸钠溶液,摇匀后静置 6 min 后,加入 0.3 mL 10%硝酸铝溶液,充分混匀后静置 6 min,加入 4.0 mL 4%氢氧化钠溶液,最后用 60%的乙醇定容至 10 mL,摇匀后静置 12 min,510 nm 测定吸光度。以芦丁(Rutin)为标准品绘制标准曲线,根据标准曲线计算样品总黄酮含量。每个处理重复 3 次。芦丁标准品在 510 nm 可见光的波长下的吸光值呈现良好的线性关系: $y = 0.0794x - 4 \times 10^{-5}$, $R^2 = 0.9996$ 。

1.2.2 GABA 含量测定。称取 2.5 g 籽粒置于小信封中,80 °C 烘干 24 h。烘干后,用粉碎机粉碎,40 目孔筛过筛,称取(500 ± 2) mg 样品置于 10 mL 离心管。加 5 mL 蒸馏水放入 HY-2 往复振荡器上(200 次/min)震荡 4 h。震荡处理后,6 000 r/min 离心 10 min,取 1 mL 上清液于 10 mL 的容量瓶中,待测。向容量瓶中分别加入 0.2 mol/L (pH 值 9.0) 硼酸盐缓冲液 0.6 mL 摇匀,加 5%苯酚溶液 2 mL 摇匀,再加入 7%次氯酸钠溶液 1 mL 摇匀后,沸水浴加热 5~10 min,冰浴冷却 20~25 min,直到颜色变成蓝绿色,最后加入 2 mL 60%的乙醇定容至 10 mL,于波长 645 nm 处测定溶液的吸光度,将所得吸光度代入标准曲线确定样品的 GABA 含量。每个处理重复 3 次。GABA 含量(y)与 645 nm 处吸光值具有以下线性关系: $y = 0.0182x - 0.0724$, $R^2 = 0.9965$ 。

1.3 数据处理与分析

对不同青稞材料的总黄酮和 GABA 含量进行描述性统计,计算平均值、范围和变异系数。采用 SPSS 26.0 软件进行单因素方差分析(ANOVA),显著性水平设为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 青稞籽粒总黄酮含量的变异

由表 1 可知,在 243 份青稞材料中,籽粒总黄酮质量分数平均值为 2 668 mg/kg。不同来源材料间总黄酮质量分数存在差异,平均水平总体呈国外、野生与青海来源相对较高,四川来源相对较低;甘

肃与西藏来源略低于总体平均值。总体材料的总黄酮含量的平均变异系数为 20.30%，显示其在本试验条件下具有一定的表型变异空间(表 1)。

表 1 不同来源青稞籽粒总黄酮含量的平均值及变异

来源	最小值/(mg/kg)	最大值/(mg/kg)	均值 ± 标准差/(mg/kg)	变异系数/%
西藏	1 360	4 060	2 500 ± 560 bc	22.40
甘肃	1 950	3 180	2 560 ± 370 bc	14.45
青海	1 930	5 380	2 770 ± 580 ab	20.94
四川	1 530	3 460	2 370 ± 660 c	27.85
国外	2 290	3 990	2 950 ± 520 a	17.63
野生	1 930	3 560	2 860 ± 530 ab	18.53
平均	1 832	3 938	2 668 ± 570	20.30

注:不同小写字母表示差异具统计学意义($P < 0.05$)。下同。

2.2 青稞籽粒 γ -氨基丁酸(GABA)含量的变异

由表 2 可知,在 243 份青稞材料中,GABA 质量分数范围为 81.3 ~ 349.2 mg/kg,平均值为 148.0 mg/kg,平均变异系数为 29.23%。整体来看,GABA 质量分数表现为国外 > 西藏 > 四川 > 青海 > 野生 > 甘肃。与总黄酮的含量变异幅度和变异系数相比(1 360 ~ 5 380 mg/kg;20.30%),GABA 的变异幅度和平均变

异系数均大于总黄酮,说明 GABA 在本试验条件下的表型差异幅度更大。不同来源青稞材料间 GABA 质量分数差异明显。西藏材料的 GABA 质量分数显著高于青海、甘肃及野生材料;国外材料的 GABA 质量分数则显著高于青海、甘肃和野生材料($P < 0.05$)。而四川材料与其他来源之间差异无统计学意义。整体上,高 GABA 含量主要集中在西藏和国外材料中。

表 2 不同来源青稞品种籽粒的 GABA 含量

来源	最小值/(mg/kg)	最大值/(mg/kg)	平均值 ± 标准差/(mg/kg)	变异系数/%
西藏	98.3	327.8	165.1 ± 49.4 a	29.92
青海	81.3	280.2	140.8 ± 37.1 b	26.35
四川	94.6	349.2	150.6 ± 63.9 ab	42.43
甘肃	82.1	204.6	129.3 ± 30.3 b	23.43
野生	97.7	243.6	133.8 ± 33.9 b	25.34
国外	122.6	236.8	168.7 ± 47.1 a	27.92
平均	96.1	273.7	148.0 ± 43.6	29.23

2.3 总黄酮和 GABA 来源分布格局的比较

综合比较显示,总黄酮与 GABA 在不同来源中的相对高值分布并不完全一致。总黄酮在青海与甘肃来源中相对较高,国外与野生材料中同样呈现较高趋势;GABA 在西藏与四川来源中相对较高。说明两类代谢物的积累可能与不同材料来源的遗传背景及海拔、光照、昼夜温差、土壤与水分等生态因子的共同作用有关,进而形成了来源层面的相对差异格局。

3 讨论

本研究系统比较了青稞籽粒中两类重要功能成分——总黄酮与 γ -氨基丁酸(GABA)的变异特征。结果表明,两者在含量水平、变异幅度及来源分布上均存在差异,显示两类功能成分在本试验条件下具有较大的表型变异空间。

从变异特征看,GABA 的变异系数(29.23%)高于总黄酮(20.30%),说明 GABA 在种质资源间的差

异性更为突出。这与 GABA 在植物代谢中受环境胁迫(如缺氧、盐碱及干旱)的诱导作用较大有关,而黄酮类化合物更多地与品种固有遗传特性和抗逆性相关^[19-20]。

从来源分布来看,不同来源的总黄酮与 GABA 质量分数存在差异($P < 0.05$)。国外来源材料在本试验条件下两类成分的平均水平相对较高,但鉴于国外来源样本量较少($n = 6$),相关比较结果不作普遍性推断,仅供参考。国内材料中,总黄酮相对较高的来源主要为青海与甘肃,而 GABA 相对较高的来源主要为西藏与四川,提示两类功能成分的来源分布存在一定差异。该差异可能与不同来源材料的遗传背景及其对海拔、光照、温度、水分与土壤条件等生态因子的适应差异有关^[21-22],但其机制仍需在原生生态区及多生态点和多年条件下进一步验证。

从功能成分的应用角度看,高黄酮品种具有抗氧化和抗炎潜力,可用于开发富含天然抗氧化剂的青稞功能食品^[23];而高 GABA 品种则更适合开发降压、改善神经系统功能的保健食品^[24]。因此,针对不同功能成分开展定向筛选与育种,有望更好地服务差异化的食品与健康产业需求。

本研究未发现高含量黄酮与高含量 GABA 品种完全重合,提示这两类成分可能在遗传调控和代谢途径上相对独立。未来可通过多组学联合分析,探索青稞功能成分的代谢网络与调控机制,并结合分子标记辅助选择(MAS)加速优质功能型品种的选育^[25-26]。此外,针对功能成分与农艺性状之间可能存在的平衡关系,还需进一步研究,以实现功能品质与产量的协同改良。

4 结论

青稞籽粒总黄酮和 γ -氨基丁酸含量均表现出显著的种质间差异。其中,总黄酮质量分数范围为 1 360 ~ 5 380 mg/kg,变异系数为 20.30%; γ -氨基丁酸质量分数范围为 81.3 ~ 349.2 mg/kg,变异系数为 29.23%,显示两类功能成分均具有较大的表型变异空间。国外材料在两类成分上普遍较高;国内材料中,总黄酮含量以青海、甘肃较高,GABA 含量以西藏、四川较高,二者来源分布格局不一致。本结果为青稞功能食品开发与多目标品质改良育种提供了数据基础与候选方向,也为多目标品质改良和分子育种奠定了理论基础。

参考文献:

- [1] 强小林,迟德钊,冯继林. 青藏高原区域青稞生产与发展现状[J]. 西藏科技,2008(3):11-17.
- [2] 赵媛,李宏英,陈加利,等. 连作对青稞籽粒淀粉特性及干物质转运的影响[J]. 西北农业学报,2025,34(3):423-432.
- [3] 姚晓华,王越,姚有华,等. 青稞新基因 *HvMEL1 AGO* 的克隆和条纹病胁迫下的表达[J]. 作物学报,2022,48(5):1181-1190.
- [4] 孟想,朱雪洋,张莉方,等. 萌发处理对黑青稞活性成分组成及抗氧化能力的影响[J]. 食品与发酵工业,2022,48(4):158-164.
- [5] ZENG Y W, PU X Y, DU J, et al. Molecular mechanism of functional ingredients in barley to combat human chronic diseases[J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020(1):3836172.
- [6] WANG L, SONG J K, LIU A L, et al. Research progress of the antiviral bioactivities of natural flavonoids[J]. *Natural Products and Bioprospecting*, 2020,10(5):271-283.
- [7] 周明,沈勇根,朱丽琴,等. 植物黄酮化合物生物合成、积累及调控的研究进展[J]. 食品研究与开发,2016,37(18):216-221.
- [8] 林杨,唐琦勇,楚敏,等. γ -氨基丁酸的功能、生产及食品应用研究进展[J]. 中国调味品,2021,46(6):173-179.
- [9] 宁亚维,马梦戈,杨正,等. γ -氨基丁酸的制备方法及其功能食品研究进展[J]. 食品与发酵工业,2020,46(23):238-247.
- [10] FRANGNE N, EGGMANN T, KOBLSCHKE C, et al. Flavone glucoside uptake into barley mesophyll and *Arabidopsis* cell culture vacuoles. Energization occurs by H^+ -antiport and ATP-binding cassette-type mechanisms[J]. *Plant Physiology*, 2002,128(2):726-733.
- [11] MARTÍNEZ M, MOTILVA M J, LÓPEZ DE LAS HAZAS M C, et al. Phytochemical composition and β -glucan content of barley genotypes from two different geographic origins for human health food production[J]. *Food Chemistry*, 2018,245:61-70.
- [12] 贺军与,钟伟,陈云琼,等. 大麦成熟籽粒中15种黄酮类化合物的含量差异分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2021,36(6):931-936.
- [13] 普晓英,赵大伟,曾亚文,等. 大麦农艺性状分析及籽粒黄酮含量的测定[J]. 西南农业学报,2013,26(6):2204-2207.
- [14] 赵春艳,普晓英,曾亚文,等. 大麦麦芽总黄酮类化合物含量的测定分析[J]. 植物遗传资源学报,2010,11(4):498-502.
- [15] 李子瑜,吴忠华. 阉割雄性大鼠脑中 γ -氨基丁酸(GABA)含量的改变[J]. 生理学报,1964,16(1):1-4.
- [16] 杨艳,张杜. 裸大麦中 γ -氨基丁酸的降血压功效研究[J]. 营养学报,2019,41(3):234-239.
- [17] 曾亚文,杨涛,普晓英,等. 大麦籽粒中 γ -氨基丁酸、总

黄酮和生物碱含量在发芽过程中的变化[J]. 麦类作物学报,2012,32(1):135-139.

[18] 张紫晋,任益明,江迪,等. 不同大麦籽粒 γ -氨基丁酸含量的差异及环境影响[J]. 西南农业学报,2022,35(5):1089-1094.

[19] 郭新颖,杨清华,史玉坤. 2种方法测定花茶抗氧化活性的比较分析[J]. 中国卫生检验杂志,2016,26(13):1974-1976.

[20] 赵子晴,姚继成,张盛怡,等. 非热物理技术在植物 GABA 富集中的应用研究进展[J]. 粮食与油脂,2025,38(1):1-5,30.

[21] 吴婷,李沅达,邓秀娟,等. 萎凋方式对 γ -氨基丁酸白茶香气成分的影响[J]. 食品安全质量检测学报,2022,13(13):4344-4351.

[22] 彭江,何燕,魏娜. 西藏不同海拔珠芽蓼果实品质分析研究[J]. 西藏农业科技,2025,47(3):21-27.

[23] ACOSTA-QUIROGA K,ROCHA-VALDERRAMA E,ZUIGA-BUSTOS M,et al. Gross antioxidant capacity and anti-inflammatory potential of flavonol oxidation products:a combined experimental and theoretical study[J]. Antioxidants, 2025,14(4):479.

[24] FASHOGBON R O,SAMSON O J,AWOTUNDUN T A,et al. Microbial gamma-aminobutyric acid synthesis:a promising approach for functional food and pharmaceutical applications[J]. Letters in Applied Microbiology,2024,77(12):ovae122.

[25] WANG Y H,HAN J F,MENG X K,et al. Genome-wide association study and marker development for *Fusarium oxysporum* root rot resistance in soybean[J]. International Journal of Molecular Sciences,2024,25(23):12573.

[26] LI J,WANG D D,XU X S,et al. Utilization of UPLC/Q-TOF-MS-based metabolomics and AFLP-based marker-assisted selection to facilitate/assist conventional breeding of *Polygala tenuifolia*[J]. Chemistry & Biodiversity,2017,14(9):e1700163.

附表

青稞材料名称及来源

序号	编号	品种名称	来源	序号	编号	品种名称	来源	序号	编号	品种名称	来源
XZ 1	FB0026	西红兰	西藏	YQ 82	FB1021	ZYM805	西藏贡嘎	QH 163	FB0790	湟中六棱青稞	青海西宁
XZ 2	FB0030	扎西平措兰	西藏	YQ 83	FB1033	ZYM844	西藏札达	QH 164	FB0800	大通白青稞	青海西宁
XZ 3	FB0031	格穷	西藏	YQ 84	FB1035	ZYM850	西藏	QH 165	FB0805	贵德黑青稞	青海海南
XZ 4	FB0040	通门西卡白	西藏	YQ 85	FB1036	ZYM851	西藏尼木	QH 166	FB0815	兴海小青稞	青海海南
XZ 5	FB0041	黑颖	西藏	YQ 86	FB1038	ZYM859	西藏江孜	QH 167	FB1281	湟源蓝青稞	青海西宁
XZ 6	FB0044	青稞	西藏	YQ 87	FB1040	ZYM863	西藏林芝	QH 168	FB1203	民和青稞	青海海东
XZ 7	FB0045	白青	西藏	QH 88	FB0431	黑青稞	青海	QH 169	FB1231	二长四短芒白青稞	青海
XZ 8	FB0048	阳珠阳笋	西藏	QH 89	FB0432	东升黑	青海	QH 170	FB1232	二长四短芒青稞	青海
XZ 9	FB0049	六十天	西藏	QH 90	FB0485	门农 1 号	青海	QH 171	FB1233	二道眉白青稞	青海
XZ 10	FB0050	ZDM0179	西藏	QH 91	FB0470	北青 1 号	青海海北	QH 172	FB1234	二道眉黑青稞	青海
XZ 11	FB0051	农仁白	西藏	QH 92	FB0471	北青 2 号	青海海北	QH 173	FB1235	二道眉紫青稞	青海
XZ 12	FB0057	长芒冬	西藏	QH 93	FB0473	北青 4 号	青海海北	QH 174	FB1236	长芒白青稞	青海
XZ 13	FB0076	插 1 号	西藏	QH 94	FB0474	北青 5 号	青海海北	QH 175	FB1237	长芒红青稞	青海
XZ 14	FB0080	混杂青稞	西藏	QH 95	FB0475	北青 6 号	青海海北	QH 176	FB1238	长芒黑青稞	青海
XZ 15	FB0086	包郭 4 号	西藏	QH 96	FB0476	北青 7 号	青海海北	QH 177	FB1239	长芒紫青稞	青海
XZ 16	FB0087	ZDM0363	西藏	QH 97	FB0479	昆仑 3 号	青海	QH 178	FB1241	长钩芒白青稞	青海
XZ 17	FB0098	波密 16	西藏	QH 98	FB0482	昆仑 12 号	青海	QH 179	FB1242	白青稞	青海
XZ 18	FB0099	白青稞	西藏	QH 99	FB0483	东青 1 号	青海	QH 180	FB1243	白康青	青海
XZ 19	FB0107	拉萨蓝青稞	西藏	QH 100	FB0484	东青 2 号	青海	QH 181	FB1244	红青稞	青海
XZ 20	FB0108	耐那	西藏	QH 101	FB0561	SC-31	青海	QH 182	FB1245	青稞	青海
XZ 21	FB0110	查久青稞	西藏	QH 102	FB0562	循化白六棱	青海海东	QH 183	FB1247	黑青稞	青海
XZ 22	FB0119	白青稞 (1)	西藏	QH 103	FB0564	同德系选 8 号	青海	QH 184	FB1249	蓝青稞	青海
XZ 23	FB0120	ZDM0496	西藏	QH 104	FB0565	昆仑 1 号	青海	SC 185	FB0821	若尔盖巴西花壳	四川阿坝
XZ 24	FB0123	ZDM0503	西藏	QH 105	FB0569	矮杆齐	青海	SC 186	FB0425	康青 1 号	四川甘孜

(续表)

序号	编号	品种名称	来源	序号	编号	品种名称	来源	序号	编号	品种名称	来源
XZ 25	FB0127	青稞 (1)	西藏	QH 106	FB0570	杈棵青稞	青海	SC 187	FB0429	俄母 1 号	四川甘孜
XZ 26	FB0129	紫青稞	西藏	QH 107	FB0578	77-114-1-2	青海	SC 188	FB0433	丹巴黑青稞	四川甘孜
XZ 27	FB0131	黑灰芒	西藏	QH 108	FB0580	76-78-9-1-4	青海	SC 189	FB0438	松潘紫青稞	四川阿坝
XZ 28	FB0135	紫六棱	西藏	QH 109	FB0583	87F-021	青海	SC 190	FB0439	乾宁青稞	四川甘孜
XZ 29	FB0138	ZDM0565	西藏	QH 110	FB0582	海南大梢头露仁	青海	SC 191	FB0440	白玉青稞	四川甘孜
XZ 30	FB0141	紫青稞 (1)	西藏	QH 111	FB0585	87F-021	青海	SC 192	FB0443	603	四川甘孜
XZ 31	FB0142	加查冬青稞	西藏	QH 112	FB0586	青果兰青稞	青海	SC 193	FB0447	阿青 5 号	四川阿坝
XZ 32	FB0148	乃木	西藏	QH 113	FB0588	8026	青海	SC 194	FB0451	9516	四川甘孜
XZ 33	FB0149	ZDM0600	西藏	QH 114	FB0589	Hallej	青海	SC 195	FB1451	XQ0299	四川甘孜
XZ 34	FB0167	ZDM0644	西藏	QH 115	FB0600	ICBNF8	青海	SC 196	FB1480	黑糯青稞	四川甘孜
XZ 35	FB0169	木西	西藏	QH 116	FB0628	Tuppor 福 8	青海	SC 197	FB1276	379	四川甘孜
XZ 36	FB0170	瓦格	西藏	QH 117	FB0629	89-828 (1)	青海	SC 198	FB1277	康青 7 号	四川甘孜
XZ 37	FB0174	长芒白青稞	西藏	QH 118	FB0631	89-828 (2)	青海	GS 199	FB0448	甘青 2 号	甘肃甘南
XZ 38	FB0183	长芒黑青稞 (2)	西藏	QH 119	FB0632	89-828 (3)	青海	GS 200	FB0449	甘青 3 号	甘肃甘南
XZ 39	FB0195	ZDM0709	西藏	QH 120	FB0637	白地青稞	青海	GS 201	FB0450	甘青 4 号	甘肃甘南
XZ 40	FB0196	巴金嘎母	西藏	QH 121	FB0640	马利	青海	GS 202	FB0721	老青稞	甘肃甘南
XZ 41	FB0197	比芒玛	西藏	QH 122	FB0641	砍般多	青海	GS 203	FB0722	有地大青稞	甘肃甘南
XZ 42	FB0201	ZDM0732	西藏	QH 123	FB0642	达坝青稞	青海	GS 204	FB0723	青稞	甘肃甘南
XZ 43	FB0202	四棱白青稞	西藏	QH 124	FB0647	六棱子	青海	GS 205	FB0724	青稞	甘肃甘南
XZ 44	FB0204	白四棱长芒	西藏	QH 125	FB0650	苏农 370	青海	GS 206	FB0725	青稞	甘肃甘南
XZ 45	FB0211	白青稞 (2)	西藏	QH 126	FB0651	西宁 19	青海西宁	GS 207	FB0726	青稞	甘肃甘南
XZ 46	FB0231	白青稞 (3)	西藏	QH 127	FB0653	乐都青稞	青海海东	GS 208	FB0727	青皮青稞	甘肃甘南
XZ 47	FB0274	对芒紫青稞	西藏	QH 128	FB0654	互助双槽人	青海海东	GS 209	FB0728	青青稞	甘肃甘南
XZ 48	FB0279	ZDM1039	西藏	QH 129	FB0655	短茎倒钩六棱青稞	青海	GS 210	FB0730	六棱青稞	甘肃甘南
XZ 49	FB0281	ZDM1767	西藏	QH 130	FB0656	APM-HC1905	青海	GS 211	FB0731	六棱青稞	甘肃甘南
XZ 50	FB0283	ZDM2579	西藏	QH 131	FB0658	H.Sat.V.hax.f.f	青海	GS 212	FB0732	李家庄六棱	甘肃甘南
XZ 51	FB0287	ZDM2589	西藏	QH 132	FB0662	Shikoku-Hadokaal	青海	GS 213	FB0733	六棱头	甘肃甘南
XZ 52	FB0289	加雀	西藏	QH 133	FB0663	Ahor443170	青海	GS 214	FB0734	六棱大青稞	甘肃甘南
XZ 53	FB0291	对芒黑青稞	西藏	QH 134	FB0665	Bang-lu	青海	GS 215	FB0735	六棱小青稞 (1)	甘肃甘南
XZ 54	FB0292	ZDM2603	西藏	QH 135	FB0666	Brachytic	青海	GS 216	FB0736	六棱小青稞 (2)	甘肃甘南
XZ 55	FB0295	紫青稞	西藏	QH 136	FB0680	Tuppor	青海	GS 217	FB0738	六棱长枝白青稞	甘肃甘南
XZ 56	FB0298	紫钩芒	西藏	QH 137	FB0683	肚里蓝	青海	GS 218	FB0740	六棱头白青稞	甘肃甘南
XZ 57	FB0302	紫钩芒青稞	西藏	QH 138	FB0685	昆仑 8 号	青海	GS 219	FB0741	回枝白青稞	甘肃甘南
XZ 58	FB0308	黑青稞	西藏	QH 139	FB0686	循甘化兰	青海	GS 220	FB0742	孙家庄白青稞	甘肃甘南
XZ 59	FB0377	喜马拉雅 6 号	西藏	QH 140	FB0688	拉兰青稞	青海西宁	GS 221	FB0743	白六棱头	甘肃甘南
XZ 60	FB0430	岗托青稞	西藏	QH 141	FB0689	矮杆齐	青海	GS 222	FB0744	白青稞	甘肃甘南
XZ 61	FB0445	春青稞	西藏	QH 142	FB0691	昆仑 3 号	青海	GS 223	FB0745	白青稞	甘肃甘南
XZ 62	FB0456	喜马拉雅 15 号	西藏	QH 143	FB0692	83-46	青海	GS 224	FB0747	白皮青稞	甘肃甘南
XZ 63	FB0457	喜马拉雅 19 号	西藏	QH 144	FB0693	84-136	青海	GS 225	FB0748	白青稞	甘肃甘南

(续表)

序号	编号	品种名称	来源	序号	编号	品种名称	来源	序号	编号	品种名称	来源
XZ 64	FB0459	藏青 80	西藏	QH 145	FB0695	标 5	青海	GS 226	FB0750	麻青稞	甘肃甘南
XZ 65	FB0463	藏青 690	西藏	QH 146	FB0696	标 23	青海	GS 227	FB0751	麻青稞	甘肃甘南
XZ 66	FB0486	莫多查 1 号	西藏	QH 147	FB0702	OSC21	青海	GS 228	FB0752	褐青稞	甘肃甘南
YQ 67	FB0884	ZYM21	西藏工布江达	QH 148	FB0704	Sanglishk128	青海	GS 229	FB0753	铨青稞	甘肃甘南
YQ 68	FB0886	ZYM24	西藏工布江达	QH 149	FB0705	化隆长芒青稞	青海海东	GS 230	FB0755	红青稞	甘肃甘南
YQ 69	FB0916	ZYM155	西藏洛扎	QH 150	FB0706	门源白四棱	青海海北	GS 231	FB0758	长青稞	甘肃甘南
YQ 70	FB0943	ZYM247	西藏昌都	QH 151	FB0708	海晏白青稞	青海海北	GS 232	FB0762	蓝青稞 (1)	甘肃甘南
YQ 71	FB0945	ZYM503	西藏昌都	QH 152	FB0709	湟中六棱青稞	青海西宁	GS 233	FB0764	蓝青稞 (2)	甘肃甘南
YQ 72	FB0946	ZYM504	西藏昌都	QH 153	FB0710	互助白长芒	青海海东	GS 234	FB0768	紫青稞 (2)	甘肃甘南
YQ 73	FB0958	ZYM576	西藏芒康	QH 154	FB0712	muanbori	青海	GS 235	FB0771	甘青 4 号	甘肃甘南
YQ 74	FB0959	ZYM582	西藏芒康	QH 155	FB0713	四园稞 89 号	青海	GS 236	FB0773	9619	甘肃甘南
YQ 75	FB0960	ZYM585	西藏芒康	QH 156	FB0714	向化白六棱	青海	GS 237	FB0435	岷县青稞	甘肃甘南
YQ 76	FB0969	ZYM618	西藏工布江达	QH 157	FB0715	昆仑 1 号	青海	AB 238	FB1251	波斯麦 64	俄罗斯
YQ 77	FB0970	ZYM619	西藏工布江达	QH 158	FB0716	矮秆青稞	青海	AB 239	FB1255	C3034.ON128	丹麦
YQ 78	FB0992	ZYM687	西藏加查	QH 159	FB0717	370	青海	AB 240	FB1261	Tibetannia	加拿大
YQ 79	FB0993	ZYM689	西藏加查	QH 160	FB0719	NBO-8	青海	AB 241	FB1268	CI-424	墨西哥
YQ 80	FB1006	ZYM762	西藏措美	QH 161	FB0720	NBO-66	青海	AB 242	FB1271	普雷卡斯混选系	叙利亚
YQ 81	FB1009	ZYM770	西藏措美	QH 162	FB0780	北青 3 号 (1)	青海	AB 243	FB1273	Gaolashukeluofan	罗马尼亚

Variation Characteristics and Breeding Value of Total Flavonoid and γ -Aminobutyric Acid Content in Highland Barley Grains

CHEN Weiwei^{1,3}, CAI Shanshun², YANG Kehan¹, CAO Yuan¹, XIONG Guanghui¹, KANG Xiaoqi¹,
KUMBHAR Rizwan Ali¹, BENHAFID Rania Chourouk¹, APPIAH Charlotte¹, MEMON Sadaf¹, LIU Yajie¹,
ZHAO Hui¹, FENG Zongyun¹

(1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University / Southwest State Key Laboratory of Crop Gene Resource Discovery and Utilization, Chengdu 611130, China; 2. Sichuan Yuesheng Energy Group Co., Ltd., Chengdu 610000, China;
3. School of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Highland barley is an important characteristic food crop on the Qinghai-Tibet Plateau, with both nutritional and functional values. To systematically characterize the variation of major functional components in highland barley grains, we evaluated 243 germplasm accessions collected from China and abroad, and determined the grain mass fractions of total flavonoid and γ -aminobutyric acid (GABA). The results showed that the total flavonoid mass fraction ranged from 1 360 mg/kg to 5 380 mg/kg, with a mean of 2 670 mg/kg and a coefficient of variation (CV) of 21.35%. The GABA mass fraction ranged from 81.3 mg/kg to 349.2 mg/kg, with a mean of 148.1 mg/kg and a CV of 29.44%. Overall, significant differences in total flavonoid and GABA mass fractions were observed among materials from different origins. In this trial, the foreign accessions showed relatively high levels of both total flavonoid and GABA. Among domestic materials, higher total flavonoid levels were mainly found in accessions from Qinghai and Gansu, whereas higher GABA levels were mainly found in accessions from Xizang and Sichuan. The origin-dependent distribution patterns of these two components were not completely consistent, suggesting that their accumulation is jointly regulated by distinct genetic backgrounds and environmental factors. This study proposes a grading and evaluation framework for total flavonoid and GABA contents, providing a basis for subsequent targeted identification of high-value materials.

Key Words: Highland barley; Total flavonoid; γ -Aminobutyric acid (GABA); Variation; Germplasm resources; Breeding

刘晓飞,丁翊东,崔小平,等. 种植密度、氮肥对玉米产量构成及农艺性状的影响[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(6):28-35(2025-12-03).
https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.06.005.

种植密度、氮肥对玉米产量构成及农艺性状的影响

刘晓飞^{1,2},丁翊东^{1,2},崔小平^{1,2},赖上坤^{1,2},杨珂^{1,2},王卫军^{1,2*}

(1. 宿迁市农业科学研究院,江苏 宿迁 223800;2. 江苏省现代作物生产协同创新中心,江苏 南京 210095)

摘要:适宜的种植密度、合理的氮肥用量是玉米增产的重要途径,通过研究种植密度、氮肥用量对玉米生长发育及产量构成的影响,为新品种增加种植密度、控制氮肥用量提供技术依据。试验以迁玉 210 为研究对象,设置不同种植密度(6.00 万、6.75 万、7.50 万株/hm²)及施氮水平(0、150、225、300、375、450 kg/hm²)处理,研究其对玉米农艺性状及产量的影响。结果表明,在 6.75 万株/hm² 种植密度、300~375 kg/hm² 的氮肥水平下,株高、穗位高分别在 249、110 cm 左右,穗长、穗行数、行粒数分别在 23 cm、14 行/穗、38 粒/行以上,最高产量达到 11.37 t/hm²。

关键词:玉米;种植密度;氮肥;产量

中图分类号:S513

文献标志码:A

文章编号:1673-6486-20250086

玉米是我国第一大粮食作物,2024 年种植面积 4 474 万 hm²,年产 2.9 亿 t,在保障国家粮食安全中起着举足轻重的作用^[1-2]。玉米又是饲料、化工及酿造等行业的重要原料,在人们日常生活中占有非常重要的地位。随着我国经济飞速发展,人们生活水平不断提高,对玉米的需求也在不断增加^[3-4]。提高玉米产量是永恒的主题,除了品种以外,栽培技术对玉米产量具有非常重要的影响,其中种植密度和氮肥用量对产量的影响最为重要。因此研究种植密度、氮肥对玉米农艺性状、产量构成的影响具有重要意义。

种植密度对产量的影响不是线性相关^[5-6],随着种植密度的增大,单位面积上玉米产量呈明显的增长,但达到一定程度后,单位面积的玉米产量会随着种植密度增加而降低。这主要是因为当种植密度过大时,个体与群体间的矛盾激化,随着种植密度的进一步加大,玉米的增产潜力就会下降^[7]。研究表明,在不同的种植密度条件下,玉米的籽粒质量与株高、穗位高有较强的关联度,在相对较低的种植密度条件下,株高、穗位高与其相关系数较小,而在

高种植密度条件下株高、穗位高与产量等相关因子间的相关性显著增加^[8]。株高随着种植密度的增加而升高,株高的上升在一定程度上带来玉米生物产量的提高,但有研究表明,株高过高,使得玉米穗部重心上移,从而造成植株的倒伏^[9-10]。曹改萍等研究发现,不同品种对种植密度的响应不同,耐密性强的品种粒数和粒质量受种植密度的影响较小,比不耐密和中等耐密品种出籽率增加、脱水速率加快,对种植密度的适应性更广,产量更高^[11]。姜春霞等认为随着种植密度的增加,郑单 958 的产量呈先增加后降低的趋势,当种植密度为 7.5 万株/hm²时产量达到最大值^[12]。

氮肥提高玉米产量的作用非常显著^[13],而且在一定施肥水平范围内,随着施肥量的增加,玉米产量和籽粒蛋白质含量呈上升趋势^[14]。但超过一定范围后,随着施肥量增加,产量降低,品质变差,而且肥料利用率降低^[15]。氮肥供应不足,会导致玉米群体下部叶片枯黄早衰,叶绿素含量下降,光合能力降低;而施氮过多,会导致玉米前期营养过剩,植株徒长倒伏,减弱光合作用,影响玉米氮素积累和同化,降低氮素利用效率^[16-18]。适量施用氮肥可以提高玉米群体的叶面积指数,减少花后叶片中的氮素输出,延缓生育后期叶片衰老,维持叶片的高光合能力^[16-18],增加玉米产量。随着种植密度的增加,植株对氮素的需求势必会增加^[19]。高种植密度条件下增加氮肥施用量能够增加千粒质量和穗粒数,从而显著提高籽粒产量^[20-21]。宿迁地区为江苏淮北夏玉米

收稿日期:2025-09-01;修回日期:2025-11-13。

基金项目:宿迁市科技计划(L202406)。

作者简介:刘晓飞(1986—),男,硕士,副研究员,主要从事玉米遗传育种及生理栽培研究。Email: 573291174@qq.com。

* 通信作者:王卫军(1973—),男,研究员,主要从事玉米遗传育种研究。Email: sqnkywj@126.com。

生产区,位于黄淮海夏玉米区的最南部,生产上的种植密度、氮肥用量与苏南地区及黄淮海地区存在一定差异。而该区域开展种植密度、氮肥对玉米影响的相关研究较少,对玉米产量构成及生长发育带来的差异也不清楚,因此本研究开展不同种植密度、氮肥用量的比较研究,分析其对玉米农艺性状及产量构成的影响,为玉米品种推广种植提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及设计

本试验于2024年在江苏省农业科学院宿迁农科所泗阳作物育种基地(118°69'E、33°69'N)进行,试验地为砂壤土,有机质含量(质量分数,下同)16.0 g/kg、水解氮含量64.8 mg/kg、速效磷含量25.4 mg/kg、速效钾含量84.6 mg/kg。供试玉米品种为江苏省农业科学院宿迁农科所选育的迁玉210,该品种矮秆大穗、抗病耐高温。本试验采用小麦收获后直播方式播种,于2024年6月14日播种。试验设种植密度及纯氮肥用量2个试验因子,分别以D、N表示。其中,种植密度设D1(6.00万株/hm²)、D2(6.75万株/hm²)、D3(7.50万株/hm²),纯氮设N0(0 kg/hm²)、N1(150 kg/hm²)、N2(225 kg/hm²)、N3(300 kg/hm²)、N4(375 kg/hm²)、N5(450 kg/hm²),每个种植密度下设6个氮肥处理,3次重复,试验共计54个处理。当地传统种植密度在6.75万株/hm²左右,纯氮施用量在300 kg/hm²左右。本试验采用随机区组设计,每小区5行,小区面积20 m²,使用的氮肥为市场上销售的普通尿素(纯氮质量分数≥46.0%),所有处理P₂O₅用量6 kg/667 m²、K₂O用量10 kg/667 m²,作底肥一次性施入,氮肥的30%作底肥施入、50%在10~11片展开叶时作孕穗肥追施、20%作为花粒肥施入。其他田间管理措施均按照当地高产技术要求实施。10月8日收获。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 农艺性状调查。及时准确调查记载生育期、株型、株高、穗位高、双穗率、空秆率、倒伏率、倒折率等。

1.2.2 果穗性状及产量测定。于生理成熟期每小区收获5行,收获后每小区选取10个有代表性的果穗,主要测定穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数等性状,之后脱粒测定总质量、千粒质量。

1.3 数据分析

采用Excel 2007软件对试验数据进行处理,使用DPS 7.55进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植密度与氮肥处理下玉米籽粒产量及构成

由表1可知,种植密度、氮肥均显著地影响玉米穗粒数、千粒质量、产量,但两因素间的互作效应除千粒质量外其余均不显著,穗粒数、千粒质量均随着种植密度的增加显著下降,而产量随着种植密度增加表现先增加后下降,D2种植密度下最高,实际产量达10.10 t/hm²,比D1、D3分别高7.10%、2.64%;施氮量的变化使穗粒数、千粒质量、产量均表现出先增加后下降的趋势,穗粒数、千粒质量在N3、N4水平下较高,随施氮量增加二者开始下降,因此,产量表现出了显著的相关变化趋势。

通过表2可以看出,不同种植密度、氮肥处理下玉米产量及构成的表现,各处理间穗粒数、千粒质量、产量差异均存在统计学意义。低种植密度高氮肥处理产生较多的穗粒数,不施氮肥处理穗粒数少,这与低种植密度高氮肥植株发育好、灌浆充足呈正相关,D1N3、D2N4、D2N5、D1N4、D1N5、D2N3、D1N2处理间穗粒数差异无统计学意义,而D1N3处理穗粒数显著高于除D2N4、D2N5、D1N4、D1N5、D2N3、D1N2处理以外的其他处理,最高达564.00粒/穗,同时,D1N3、D2N4、D2N5、D1N4、D1N5、D2N3、D1N2处理的穗粒数也显著高于除D1N1、D2N2外的其他处理,穗粒数最低的D3N0处理只有441.65粒/穗,比D1N3处理低21.69%,说明低种植密度和适量的氮肥可以增加穗粒数。千粒质量作为产量构成的重要因素,处理间差异也存在统计学意义,同样以低种植密度高氮肥处理的千粒质量高,特别是D1N4、D1N5处理的千粒质量显著高于其他处理,而不施氮处理的千粒质量均小于300 g,显著低于其他处理;处理D2N3、D2N4的千粒质量也都高于350 g,说明氮肥在籽粒建成过程中显著地增加千粒质量,进而增加产量。种植密度、氮肥影响下,产量也表现出了显著差异,各处理在理论产量和实际产量间表现出了基本相同的变化趋势,D2N4、D2N3、D2N5、D3N3处理的实际产量在10.80 t/hm²及以上,显著

高于 D1N5、D2N1、D3N1、D1N2、D1N1、D2N0、D3N0、D1N0 处理，尤其是 D2N4 处理的实际产量最高，达 11.37 t/hm²，显著高于除 D2N3、D2N5、D3N3 处理以外的其他处理，比不施氮处理 D1N0 增产达 63.36%。结合穗粒数和千粒质量可以看出，D2N4、D2N3、D2N5、D3N3 处理均有着较高的穗粒数和千

粒质量，反而最多穗粒数 D1N3 处理和最高千粒质量 D1N4 处理并没有取得理想产量，说明只有种植密度和氮肥在合理安排的情况下可以获得高产。试验表明，6.75 万株 /hm² 和施氮 (N)300 ~ 375 hm² 组合优于其他组合。

表 1 不同种植密度、氮肥处理下玉米产量及构成变异来源

处理	穗粒数 / (粒 / 穗)	千粒质量 /g	理论产量 / (t/hm ²)	实际产量 / (t/hm ²)	
种植密度	D1	535.36 a	345.47 a	11.14 b	9.43 c
	D2	521.20 b	335.44 b	11.86 a	10.10 a
	D3	476.98 c	322.88 c	11.59 a	9.84 b
氮肥	N0	460.23 d	268.73 d	8.30 d	7.13 d
	N1	495.48 c	337.43 c	11.22 c	9.47 c
	N2	514.85 b	345.98 b	11.97 b	10.15 b
	N3	535.58 a	352.10 a	12.66 a	10.71 a
	N4	534.12 a	352.85 a	12.65 a	10.77 a
	N5	526.80 ab	350.48 ab	12.38 ab	10.50 ab
变异来源	种植密度	52.06*	103.38*	12.15*	14.79*
	氮肥	23.69*	433.41*	128.37*	122.45*
	种植密度 × 氮肥	1.43	5.87*	1.00	1.44

注：同列数据后不同小写字母表示差异具统计学意义 ($P < 0.05$)。* 表示 $F > F_{0.05}$ 。下同。

表 2 不同种植密度、氮肥处理下玉米产量及构成

处理	穗粒数 / (粒 / 穗)	千粒质量 /g	理论产量 / (t/hm ²)	实际产量 / (t/hm ²)
D1N0	484.65 de	282.45 g	8.21 g	6.96 f
D1N1	528.80 bc	342.70 de	10.87 f	9.19 e
D1N2	537.60 ab	348.90 cd	11.25 ef	9.43 e
D1N3	564.00 a	359.75 b	12.17 bcd	10.32 bc
D1N4	551.80 ab	370.55 a	12.27 bc	10.40 bc
D1N5	545.30 ab	368.45 a	12.06 cde	10.25 cd
D2N0	454.40 ef	272.75 h	8.36 g	7.27 f
D2N1	491.20 d	344.45 cde	11.42 def	9.62 de
D2N2	525.40 bc	346.80 cd	12.30 bc	10.39 bc
D2N3	545.30 ab	352.05 bc	12.96 ab	11.01 ab
D2N4	558.10 ab	351.05 cd	13.23 a	11.37 a
D2N5	552.80 ab	345.55 cde	12.89 abc	10.95 abc
D3N0	441.65 f	251.00 i	8.32 g	7.15 f
D3N1	466.45 def	325.15 f	11.37 def	9.60 de
D3N2	481.55 de	342.25 de	12.36 bc	10.63 bc
D3N3	497.45 cd	344.50 cde	12.85 abc	10.80 abc
D3N4	492.45 d	336.95 e	12.45 abc	10.54 bc
D3N5	482.30 de	337.45 e	12.21 bcd	10.30 bc
F 值	13.94*	143.09*	39.77*	38.60*

2.2 不同种植密度、氮肥处理下玉米生育期差异

由表3可以看出,不同种植密度、氮肥处理下玉米的生育期没有明显差异,在同一种种植密度下,玉米生育期不施氮肥处理较施氮处理早1~2 d,而

在同一氮素水平下,不同种植密度处理差异不明显。因此,不同的种植密度、氮肥处理对玉米生育期的影响较小。

表3 不同种植密度、氮肥处理下玉米生育期

处理	播种期(月-日)	出苗期(月-日)	抽雄期(月-日)	吐丝期(月-日)	散粉期(月-日)	成熟期(月-日)	生育期/d
D1N0	06-14	06-19	08-04	08-06	08-06	09-22	100
D1N1	06-14	06-19	08-04	08-06	08-06	09-22	100
D1N2	06-14	06-19	08-04	08-06	08-06	09-22	100
D1N3	06-14	06-19	08-04	08-06	08-06	09-23	101
D1N4	06-14	06-19	08-04	08-06	08-06	09-23	101
D1N5	06-14	06-19	08-04	08-06	08-06	09-23	101
D2N0	06-14	06-19	08-04	08-06	08-06	09-22	100
D2N1	06-14	06-19	08-04	08-06	08-06	09-22	100
D2N2	06-14	06-19	08-04	08-06	08-06	09-22	100
D2N3	06-14	06-19	08-04	08-06	08-06	09-22	100
D2N4	06-14	06-19	08-04	08-06	08-06	09-23	101
D2N5	06-14	06-19	08-04	08-07	08-06	09-23	101
D3N0	06-14	06-19	08-04	08-07	08-07	09-21	99
D3N1	06-14	06-19	08-04	08-07	08-07	09-22	100
D3N2	06-14	06-19	08-04	08-07	08-07	09-22	100
D3N3	06-14	06-19	08-04	08-07	08-07	09-22	100
D3N4	06-14	06-19	08-04	08-07	08-07	09-23	101
D3N5	06-14	06-19	08-04	08-07	08-07	09-23	101

2.3 不同种植密度与氮肥处理下玉米农艺性状

由表4可以看出,不同的种植密度、氮肥处理下,玉米株高、穗位高、空秆率、倒伏折率有明显差异。种植密度、氮肥对玉米株高影响比较明显,株高在240~255 cm, F值显示各处理间差异具统计学意义,总体表现为种植密度越高株高越高,氮肥用量越多株高越高。进一步分析发现,同一种种植密度下,不同氮肥处理株高随着氮肥用量增加株高同步提高,特别是D3种植密度下N5水平处理株高最高,达254.35 cm,较D1N0处理增高了5.82%,而同一氮肥水平下,各处理株高随着种植密度的增加而升高,增加幅度较氮肥显著;玉米穗位高的变化与株高变化趋势一致,种植密度、氮肥的影响都达到了显著水平,D3N5处理较D1N0处理穗位高增加了

14.15 cm,生产实践表明,玉米株高、穗位高的增加会带来倒伏风险;所有处理的叶片数在21.70~22.15张/株,所有处理间的差异均无统计学意义,主要跟品种特性有关;各处理间空秆率虽然具有明显差异,但是变化幅度较小,范围在0.15%~1.20%,可能跟当年玉米品种及生育期间气候较好有关。同样倒伏折率差异明显,但各处理也都在较低的水平,进一步分析发现,不施氮处理及高氮水平下,倒伏折率有增加趋势,可能不施氮条件下玉米茎秆强度发育受限,而高氮处理下玉米株高增加倒伏折风险加大,因此,生产实践过程中,要良种良法相配套,适宜的种植密度下施用适量的氮肥可以控制株高,减少空秆及倒伏风险。

表4 不同种植密度、氮肥处理下玉米农艺性状

处理	株高 /cm	穗位高 /cm	叶片数 /(张 / 株)	空秆率 /%	倒伏倒折率 /%
D1N0	240.35 i	99.50 e	21.90 a	0.25 efg	2.70 abcd
D1N1	242.60 hi	100.95 de	21.90 a	0.15 g	1.00 f
D1N2	243.00 ghi	100.20 de	22.00 a	0.25 efg	1.95 bedef
D1N3	244.65 fgh	102.65 cde	21.90 a	0.20 fg	1.45 def
D1N4	245.40 efgh	102.55 cde	21.80 a	0.30 defg	1.50 def
D1N5	246.55 defgh	103.35 bcde	21.80 a	0.40 cdefg	2.40 bcde
D2N0	246.70 defg	102.80 cde	21.85 a	0.40 cdefg	2.10 bcdef
D2N1	247.35 def	105.00 abcde	22.10 a	0.45 cdefg	1.25 ef
D2N2	248.85 cde	107.30 abcde	22.10 a	0.25 efg	1.00 f
D2N3	249.80 bcd	109.40 abcd	21.70 a	0.50 bcdef	1.80 cdef
D2N4	251.90 abc	110.55 abc	22.00 a	0.40 cdefg	1.55 def
D2N5	252.00 abc	112.65 ab	22.05 a	0.35 cdefg	2.30 bcde
D3N0	252.05 abc	108.15 abcde	21.80 a	0.55 bcde	3.00 abc
D3N1	252.45 abc	108.90 abcde	22.15 a	0.55 bcde	2.15 bedef
D3N2	254.75 a	109.10 abcd	21.90 a	0.65 bc	3.15 ab
D3N3	253.65 ab	109.60 abcd	21.95 a	0.60 bcd	2.90 abc
D3N4	253.30 ab	111.60 abc	21.95 a	0.80 b	3.10 ab
D3N5	254.35 a	113.65 a	21.70 a	1.20 a	3.65 a
F 值	13.47*	2.62*	0.69	6.53*	4.70*

2.4 不同种植密度、氮肥处理下玉米果穗性状

不同种植密度、氮肥处理对玉米果穗性状影响如表5、表6,对各处理穗长、秃尖长、穗行数、行粒数、穗粗的影响均达到了显著水平。各处理间果穗长度均超过了20 cm,这个可能与试验品种为大穗型生育特性有关,D1N3果穗最长,达24.60 cm,显著高于D2N2、D3N2、D1N0、D3N5、D3N1、D2N0、D3N0处理,与其他处理间的差异无统计学意义。另外,不同处理间表现出在同一种植密度水平下,穗长随着施氮量的增加而变长,达到一定长度后随着施氮量增加表现出下降趋势,特别是N3、N4用量下,果穗长度不再增加,说明氮肥用量并不是越多越好,要控制在一定范围内,在同一氮肥水平下,穗长随着种植密度的增加而变短,种植密度间差异达显著水平,这充分说明,高密度种植有降低穗长的风险;种植密度、氮肥对玉米穗粗的影响虽然在处理间达显著水平,但实际的穗粗范围在4.55~5.10 cm,变化幅度较小。同一种植密度水平下,穗粗随着施氮量增加而增加,在同一氮肥水平下,穗粗随着种植密度的增加而下降,尤其D3处理下降较为明显;对

果穗秃尖长度的影响较小,各处理间秃尖长都比较短,可能跟当年玉米生育期有利的气候有关,所有处理只有D3N0秃尖长超过了1 cm,同时,所有未施氮肥处理的秃尖长度均大于其他处理,说明适量的氮肥有利于授粉与促进灌浆,可以降低秃尖长度。对穗行数的影响在各处理间表现出明显差异,D1N5处理穗行数较D3N0处理多1.5行/穗,D1N5显著高于除D1N4、D1N3以外的所有处理,说明低种植密度、高氮肥可以显著增加果穗的行数;在同一种植密度处理下,玉米穗行数随着施氮量增加而增加,达到N4后出现下降,在同一氮肥水平下,行数随着种植密度的加大而逐渐减少,差异显著。因此,玉米种植过程中,必须合理控制种植密度及施氮量。不同处理间行粒数差异明显,D2N5达39.20粒/行,D3N0只有33.20粒/行,其中D2N5、D1N3、D2N4、D1N2、D2N3处理的行粒数显著高于除D1N4、D2N2、D1N1、D1N5以外的所有处理。另外,进一步从种植密度、氮肥单一因素影响分析,在同一种植密度水平下,穗行数随着氮肥用量的增加表现出先增后减的趋势,不施氮处理显著低于施氮处理,而在同一氮

肥水平下,行粒数表现出随着种植密度的增加而下降的趋势,尤其是 D3 种植密度,与 D1、D2 间差异具统

计学意义。因此,种植密度要适宜,氮肥用量必须控制在 N3 水平以内。

表 5 种植密度与氮肥处理下玉米果穗性状及变异来源

处理	穗长 /cm	穗粗 /cm	秃尖长 /cm	穗行数 / (行 / 穗)	行粒数 / (粒 / 行)	
种植密度	D1	23.92 a	4.88 a	0.28 c	14.25 a	37.56 a
	D2	23.51 b	4.82 a	0.40 b	13.97 b	37.28 a
	D3	22.78 c	4.68 b	0.53 a	13.70 c	34.81 b
氮肥	N0	21.68 d	4.63 c	0.92 a	13.43 c	34.25 c
	N1	23.25 c	4.78 ab	0.32 b	13.77 b	35.97 b
	N2	23.57 bc	4.73 bc	0.28 b	13.87 b	37.12 ab
	N3	24.18 a	4.83 ab	0.30 b	14.20 a	37.70 a
	N4	23.92 ab	4.88 a	0.28 b	14.33 a	37.25 ab
	N5	23.80 ab	4.90 a	0.33 b	14.23 a	37.00 ab
变异来源	种植密度	26.58*	10.93*	13.30*	35.70*	27.91*
	氮肥	32.06*	4.77*	26.81*	28.05*	9.72*
	种植密度 × 氮肥	3.00*	0.55	1.42	1.93	1.72

表 6 不同种植密度与氮肥处理下玉米果穗性状

处理	穗长 /cm	穗粗 /cm	秃尖长 /cm	穗行数 / (行 / 穗)	行粒数 / (粒 / 行)
D1N0	23.00 def	4.70 bed	0.65 bc	13.5 hi	35.90 bcde
D1N1	23.75 abcde	4.85 abc	0.15 e	14.1 def	37.50 abc
D1N2	23.90 abcd	4.75 bed	0.20 de	14.0 efg	38.40 a
D1N3	24.60 a	4.95 ab	0.20 de	14.5 abc	38.90 a
D1N4	24.05 abc	4.95 ab	0.25 de	14.6 ab	37.80 ab
D1N5	24.20 ab	5.10 a	0.25 de	14.8 a	36.85 abcd
D2N0	21.35 g	4.65 cd	0.85 b	13.5 hi	33.65 ef
D2N1	23.80 abcde	4.85 abc	0.35 de	13.7 gh	35.85 bcde
D2N2	23.65 bcde	4.80 bed	0.30 de	13.9 efg	37.80 ab
D2N3	24.05 abc	4.85 abc	0.35 de	14.2 cde	38.40 a
D2N4	23.90 abcd	4.95 ab	0.25 de	14.4 bed	38.75 a
D2N5	24.30 ab	4.85 abc	0.30 de	14.1 def	39.20 a
D3N0	20.70 g	4.55 d	1.25 a	13.3 i	33.20 f
D3N1	22.20 f	4.65 cd	0.45 cd	13.5 hi	34.55 def
D3N2	23.15 cde	4.65 cd	0.35 de	13.7 gh	35.15 cdef
D3N3	23.90 abcd	4.70 bed	0.35 de	13.9 efg	35.80 bcde
D3N4	23.80 abcde	4.75 bed	0.35 de	14.0 efg	35.20 cdef
D3N5	22.90 ef	4.75 bed	0.45 cd	13.8 fgh	34.95 def
F 值	14.32*	3.01*	10.29*	13.59*	7.15*

3 讨论

3.1 不同种植密度、氮肥处理对产量及构成因素的影响

合理的种植密度和适宜的氮肥用量可以发挥玉米增产潜力。高密度种植的产量显著高于低密度种植的产量,在相同种植密度下适当增加氮肥施用量,玉米产量呈线性增长^[22]。种植密度主要是通过影响穗数来影响产量,氮肥通过影响穗粒数和千粒质量来影响玉米产量。在高种植密度条件下,玉米穗粒数减少,千粒质量下降,但单位面积的穗数增加,穗数、穗粒数、千粒质量得以协同发展,从而提高玉米群体产量^[23-24]。葛选良等研究表明,在不同施氮量处理间穗数变化不显著,施氮量为 210 kg/hm² 的穗粒数、千粒质量、产量与施氮量为 300 kg/hm² 时差异无统计学意义^[25]。本研究结果表明,施氮可以增加穗粒数、千粒质量,进而提高产量,同时,在低种植密度条件下增加施氮量,穗粒数、千粒质量均达到最大值,主要因为低种植密度下单株生长健壮,果穗发育好,有利于穗粒数和千粒质量的增加。穗粒数、千粒质量主要随着种植密度的增加而呈现显著下降趋势,而产量则随着种植密度的增加出现先增加后下降趋势。试验表明,6.75 万株/hm² 种植密度下的产量最高,超过了 10.0 t/hm²。氮肥用量的变化也影响穗粒数和千粒质量、产量,三者均表现出先增加后下降的趋势,其中 300 ~ 375 kg/hm² 氮肥水平下较高,且处理间差异显著,与葛选良等研究结果^[25]不一致,可能是施肥方式差异造成的。因此,合理的种植密度下施用适宜的氮肥量是取得高产的最佳途径。

3.2 不同种植密度、氮肥处理对农艺性状的影响

随着种植密度的增加,玉米的株高、穗位高等都随之升高,且穗位高的增幅大于植株重心高度的增幅,从而加剧了玉米倒伏发生的概率^[26]。前人研究认为,提高玉米种植密度,穗行数、行粒数、穗粒数、千粒质量呈下降的趋势^[20]。而在一定的施氮范围内,穗粒数会随着施氮量的增加而增加,但超过这个范围后,施氮量增加与穗粒数呈现负相关,施氮过多均会影响植株体内的碳、氮代谢,影响有效粒数的形成,这是造成穗粒数下降的原因之一^[27]。本研究结果表明,株高、穗位高随着种植密度和氮肥的增加而升高,各处理间有明显差异,同时,空秆率、倒伏倒折率随着种植密度、氮肥的增加有显著增加趋势,但是空秆率在 0.15% ~ 1.20%,倒伏倒折率在

1.00% ~ 3.65%,变化幅度较小,这可能跟当年玉米生育期间,特别是散粉吐丝至成熟期未出现大风天气有关。但是,高种植密度高氮肥下还是有增加空秆、提升株高与穗位高从而增加倒伏的风险。种植密度、氮肥对果穗的影响更加明显,穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数均随着种植密度的增加而下降,而随着氮肥用量的增加,只有穗长、穗行数、行粒数出现先增后减的趋势,说明氮肥用量持续增加,会导致植株营养生长旺盛,果穗发育受限,特别是穗长、穗行数、行粒数出现下降。各处理间的比较分析表明,玉米在 6.75 万株/hm² 种植密度、300 ~ 375 kg/hm² 的氮肥水平下,株高、穗位高、穗长、穗行数、行粒数等有较适宜的表现。

4 结论

在相同施氮水平的 6.00 万株/hm² 种植密度下,虽然有较低的株高、穗位高,同时穗长、穗行数、行粒数、千粒质量更占优势,但群体穗数的不足,导致产量较低,同样在 7.50 万株/hm² 种植密度下,株高、穗位高明显提升,倒伏风险增加,群体穗数增加对产量带来的正影响小于穗长、穗行数、行粒数、千粒质量下降对产量带来的负影响,导致产量下降。因此,迁玉 210 在 6.75 万株/hm² 种植密度下,配合 300 ~ 375 kg/hm² 中、高氮肥条件下,穗粒数、千粒质量较高,产量达最高。

参考文献:

- [1] 李少昆,赵久然,董树亭,等. 中国玉米栽培研究进展与展望[J]. 中国农业科学,2017,50(11):1941-1959.
- [2] 国家统计局. 国家统计局关于 2024 年粮食产量数据的公告 [EB/OL]. (2024-12-13)[2025-09-01]. https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202412/t20241213_1957744.html.
- [3] 李尚中,樊廷录,赵刚,等. 品种、密度与覆膜方式对旱地春玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 草业学报,2017,26(12):35-47.
- [4] 徐宗贵,孙磊,王浩,等. 种植密度对旱地不同株型春玉米品种光合特性与产量的影响[J]. 中国农业科学,2017,50(13):2463-2475.
- [5] 段宏凯,李卫东,王锦慧,等. 密度与行距对玉米“协玉 3 号”穗部性状及产量的影响[J]. 中国农学通报,2015,31(24):78-85.
- [6] 陈发辉,郑常祥. 玉米产量构成因素分析[J]. 贵州农业科学,2007,35(2):47-48.

- [7] 李娜. 不同种植密度对玉米生长发育及产量的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2018:33-34.
- [8] 谢振江,李明顺,李新海,等. 密度压力下玉米杂交种农艺性状与产量相关性研究[J]. 玉米科学,2007,15(4):100-104.
- [9] 马步益. 宽窄行配置方式对玉米抗倒伏能力及产量的影响[D]. 石河子:石河子大学,2017:3-4.
- [10] 田再民,黄智鸿,陈建新,等. 种植密度对3个紧凑型玉米品种抗倒伏性和产量的影响[J]. 玉米科学,2016,24(5):83-88.
- [11] 曹改萍,董红建,侯波,等. 密度对不同玉米品种产量及其构成因素的影响[J]. 山西农业科学,2021,49(11):1290-1294.
- [12] 姜春霞,张伟,颜志乾,等. 氮肥与种植密度对春玉米产量及抗倒伏性能的调控效应[J]. 植物营养与肥料学报,2024,30(1):36-48.
- [13] 董旭,娄翼来. 长期定位施肥对土壤养分和玉米产量的影响[J]. 现代农业科学,2008(1):9-11.
- [14] 黄艳胜. 不同施肥量对春玉米品质与产量影响的研究[J]. 中国林副特产,2002(2):24-25.
- [15] 肖焱波,段宗颜,苏凡,等. 玉米不同种植方式氮肥合理施用研究[J]. 玉米科学,2002(1):78-80.
- [16] 景立权. 精确施氮对超高产夏玉米产量形成的影响及机理[D]. 扬州:扬州大学,2014:65-71.
- [17] 李元薇,杨恒山,葛选良,等. 浅埋滴灌水肥一体化下氮肥减施对玉米花后光合特性和碳代谢的影响[J]. 玉米科学,2024,32(8):80-87,95.
- [18] 蒙彦宇,景艳杰,周印富. 施氮量对玉米光合特性及灌浆特性的影响[J]. 农学学报,2022,12(8):10-15,26.
- [19] 田龙兵,沈兆崧,赵孝天,等. 种植密度与施氮量互作对不同玉米品种产量和水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学,2024,57(21):4221-4237.
- [20] 曹胜彪,张吉旺,董树亭,等. 施氮量和种植密度对高产夏玉米产量和氮素利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(6):1343-1353.
- [21] 范霞,张吉旺,任佰朝,等. 不同株高夏玉米品种的氮素吸收与利用特性[J]. 作物学报,2014,40(10):1830-1838.
- [22] 张园梦. 施氮量对膜下滴灌高产(15 000 kg/hm²)春玉米生长发育及产量效应研究[D]. 石河子:石河子大学,2020:3-34.
- [23] 曾涛,魏鹏程,魏盛,等. 贵州不同生态区密度对春玉米干物质积累、转运及产量的影响[J]. 玉米科学,2023,31(1):70-79.
- [24] 王楷,王克如,王永宏,等. 密度对玉米产量(>15 000 kg·hm⁻²)及其产量构成因子的影响[J]. 中国农业科学,2012,45(16):3437-3445.
- [25] 葛选良,杨恒山,张雨珊,等. 浅埋滴灌下不同施氮量对玉米产量和花后氮代谢的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2022,28(9):1603-1613.
- [26] 丰光,李妍妍,景希强,等. 玉米不同种植密度对主要农艺性状和产量的影响[J]. 玉米科学,2011,19(1):109-111.
- [27] 申丽霞,王璞,张软斌. 施氮对不同种植密度下夏玉米产量及子粒灌浆的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(3):314-319.

Effects of Planting Density and Nitrogen Fertilizer on Yield Composition and Agronomic Trait of Corn

LIU Xiaofei^{1,2}, DING Yidong^{1,2}, CUI Xiaoping^{1,2}, LAI Shangkun^{1,2}, YANG Ke^{1,2}, WANG Weijun^{1,2}

(1. Suqian Academy of Agricultural Sciences, Suqian 223800, China;

2. Jiangsu Collaborative Innovation Center for Modern Crop Production, Nanjing 210095, China)

Abstract: Reasonable planting density and nitrogen fertilizer dosage are important ways to increase corn yield. The study on the impact of planting density and nitrogen fertilizer dosage on corn growth and yield can provide technical basis for increasing planting density and controlling nitrogen fertilizer dosage for new varieties. We took Qianyu 210 as the research object in the experiment, and studied the impact of different planting density (60 000, 67 500 and 75 000 plants/hm²) and nitrogen application levels (0, 150, 225, 300, 375 and 450 kg/hm²) on agronomic traits and yield. The results showed that under a planting density of 67 500 plants/hm² and a nitrogen fertilizer level of 300 to 375 kg/hm², the plant height and panicle height were around 249 cm and 110 cm respectively, and the panicle length, panicle row number and row grain number were above 23 cm, 14 rows and 38 grains/row respectively. The maximum yield reached 11.37 t/hm².

Key Words: Corn; Planting density; Nitrogen fertilizer; Yield

游艳群,次仁旺堆,蔡素梅,等. 西藏同一生态亚区不同生境下春青稞的播期选择[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(6):36-44(2025-12-04).
https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s. 2025.06.006.

西藏同一生态亚区不同生境下春青稞的播期选择

游艳群¹,次仁旺堆¹,蔡素梅²,许金妹¹,姚慧¹,次仁央宗¹,米玛扎西¹,蔡倩文¹,次仁央金^{1*}

(1. 西藏农牧大学植物科学学院,西藏 林芝 860000;2. 怒江州民族中等专业学校,云南 怒江 673100)

摘要:为探究西藏同一生态亚区不同生境条件下春青稞的适宜播期,以藏青 690 为试验材料,在拉萨林周选取两个具有代表性的试验点(强嘎乡和春堆乡)进行播期试验设计,分析不同播期对藏青 690 的关键生育特性、产量及产量构成因素的影响。结果表明,藏青 690 生育进程随着播期推迟缩短。2024 年在强嘎生境下藏青 690 的产量是 AS1(3 月 28 日)处理最高,为 2 487.66 kg/hm²;春堆生境下藏青 690 的产量是 BS3(5 月 1 日)处理最高,为 2 661.47 kg/hm²。2025 年在强嘎生境下藏青 690 的产量是 CS3(4 月 6 日)处理最高,为 3 606.76 kg/hm²;春堆生境下藏青 690 的产量是 DS1(3 月 27 日)处理最高,为 4 933.63 kg/hm²。因此,西藏春青稞适宜播期应依据生态区生境差异进行调整,一般与强嘎生境类似的地区以 3 月中旬至 4 月上旬为宜,与春堆生境类似的高寒地区以 3 月底为最佳。

关键词:西藏;播期;春青稞;生育特性;产量;产量构成因素

中图分类号:S512.3

文献标志码:B

文章编号:1673-6486-20250096

青稞(*Hordeum vulgare* L.)属禾本科大麦属,又叫裸大麦,是稳藏固边的主要粮食作物,主要分布在我国的西北和西南地区^[1]。西藏是青稞的主要产区,种植面积位居全国第一^[2]。近年来西藏青稞产业迅速发展,市场对青稞的需求日益增长。受水源条件、天气温度条件和不合理耕作方式的影响,西藏的土壤有机质含量不足,土壤肥力严重下降,青稞减产问题突出^[3]。

在生育期方面^[4],青稞各关键生育阶段(如分蘖、拔节、孕穗和灌浆)的长短与光温条件密切相关^[5]。适宜的光温配置是阶段发育的基础,任何导致关键生育期(如灌浆期)缩短的逆境胁迫均会显著降低产量^[6-7]。在产量构成上,青稞产量由单位面积穗数、穗粒数和千粒质量三要素共同决定,三者存在显著制约与权衡关系:提升穗数可能导致每穗粒数下降,增加穗粒数也可能降低千粒质量^[8-11]。在西藏高海拔地区,千粒质量受生长季短、积温有限的制约,成为产量形成中最不稳定且具潜力的因子^[12-13]。

西藏拉萨当地春青稞传统播期一般在 4 月中旬至 5 月初,部分高海拔区域传统播期(如春堆)晚至 5 月中旬。拉萨的春青稞传统的播期普遍偏晚播。当前全球气候变暖,西藏春季气温升高,晚播意味着青稞遭遇不利气候环境的风险增大,会面临生育期缩短、光合产物积累不足问题,导致籽粒产量下降。同时传统的播期往往伴随着晚收,这会直接压缩下茬作物的备耕时间,限制了复种模式的发展。刘国一等研究发现,春青稞早播处理的产量高于晚播,而晚播易致病害等^[14]。孙全平等研究表明,适时的早播是青稞获得高产的关键^[15-17]。尽管如此,但这些结论多为散点式研究,缺乏系统性。目前尚未形成一套考虑不同生态差异的、量化的精准播期技术方案,无法有效指导农民进行科学种植。

为了解决上述问题,本研究通过多个播期梯度设置,系统观测记录各处理下青稞的物候期,以明确不同生境下的最优播期窗口。从青稞关键生育阶段、产量及产量构成性状等层面回答为何早播能高产,期望为建立西藏不同生境春青稞精准播期调控技术提供理论依据与实践指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于拉萨市林周县强嘎乡(QG)和春堆乡(CD)高标准农田(示范田),林周县是拉萨市的重

收稿日期:2025-09-21;修回日期:2025-11-14。

基金项目:林周县科技计划项目;拉萨高原作物科技小院项目(YJSXY2025-04);拉萨市高原作物科技创新中心项目。

作者简介:游艳群(1996—),女,硕士研究生,主要从事高原作物高产高效可持续发展研究。Email: 3047609233@qq.com。

* 通信作者:次仁央金(1972—),女,博士,副教授,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: 390065855@qq.com。

要粮食基地,也是春青稞的主要产区,将强嘎乡和春堆乡作为试验点,它们代表了林周县从较低海拔相对暖干到较高海拔相对冷湿的农业生态梯度;通过在两地点进行试验,可以测试播期方案在不同气象年景(如暖年、冷年、早年、涝年)下的稳定性和适应性,筛选出抗逆性强、稳产性好的播期方案,精准指导春青稞科学种植,为拉萨河谷乃至西藏“一江两河”中部流域类似地区的农业生产提供重要参考。强嘎试验点(91.15°E、29.95°N)平均海拔3800 m左右,地势平坦,谷地开阔,该地属高原温凉半干旱气候,日照强烈充足,年平均降水量为390.9 mm,主要集中在6—9月,年平均气温5.8℃,无霜期142 d左右;春堆试验点(91.02°E、29.93°N)平均海拔3900 m左右,年平均降水量为450 mm左右,该地属于高原温带半干旱季风气候,年平均气温3.5℃,无霜期110 d左右。土壤类型为黏壤土,强嘎生境土壤有机质含量(质量分数,下同)23.37 g/kg、速效钾含量0.16 g/kg、速效磷含量0.05 g/kg、全氮含量0.40 g/kg、全钾含量28.09 g/kg,pH值为7.94;春堆生境土壤有机质含量21.78 g/kg、速效钾含量0.11 g/kg、速效磷含量0.04 g/kg、全氮含量0.30 g/kg、全钾含量13.85 g/kg,pH值为8.52。

1.2 试验材料

试验材料为西藏自治区农牧科学院农业研究所杂交选育的春青稞品种藏青690,种子由林周县农业农村局提供,该品种具有株型紧凑、株高适中、成穗率高、穗大粒多等优良的农艺性状,属于早熟丰产型的青稞品种。

1.3 试验设计

本研究于2024—2025年在拉萨市林周县强嘎乡和春堆乡高标准农田(示范田)进行,考虑到播期设置需要遵循生境的科学性和实用性原则,根据两个生境进行了播期差异化设置。试验采用两因素随机区组设计,3次重复,处理因素为播期,区组因素为生境,每个生境共设置4个播期处理。

2024年强嘎点分别设置3月28日(AS1)、4月9日(AS2)、4月19日(AS3)、5月11日(CK1);春堆点设置4月8日(BS1)、4月20日(BS2)、5月1日(BS3)、5月12日(CK2);强嘎生境小区区长130 m、宽15 m;春堆生境小区区长48 m、宽42 m,两个生境都采用相同的播种与管理方式。行距20 cm,采用机播方式,种子播量为14 kg/667 m²,播种前施有机肥750 kg/667 m²、磷肥15 kg/667 m²、尿素1.67 kg/667 m²作为底肥,后期根据青稞的生长情况追加尿素,其

他管理同一般春青稞大田。鉴于2025年为暖冬年,两个试验点均设置了比2024年更早的播种期:强嘎点设置3月13日(CS1)、3月25日(CS2)、4月6日(CS3)、4月18日(CK3);春堆点设置3月27日(DS1)、4月9日(DS2)、4月21日(DS3)、5月1日(CK4)。2025年的播种面积、播种方式及管理方式与2024年保持一致。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 生育期记录。藏青690播种后分别记录青稞的出苗期、分蘖期、拔节期、孕穗期、抽穗期、乳熟期、成熟期,生育期时间统计为出苗期至成熟期的天数,全田的青稞50%达到观察生长阶段时记录具体日期。营养生长阶段为藏青690出苗起至抽穗期止的生育天数,生殖生长阶段为藏青690抽穗期起至成熟期止的生育天数,全生育期为播种至成熟所经历的天数。

1.4.2 考种和测产。成熟期每个小区随机取样10株材料,每个处理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、千粒质量等重要农艺性状,测定方法同一般青稞育种常规方法。于青稞的3叶期,选取各小区中长势均匀且能代表全天长势的植株进行1 m²定样,于成熟期进行有效穗数统计调查,完成样区内群体结构的调查后测定生物量,籽粒进行单独的收割、脱粒、晒干以及称质量,最终的数据结果换算成产量。收获指数计算公式:收获指数=成熟期单株粒质量/成熟期单株生物量。

1.5 数据处理

采用WPS 2024进行数据的汇总整理,用SPSS 27.0进行各数据的方差分析,用Origin 2024绘图及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 西藏不同生境下春青稞主要生育进程

播期试验结果(表1)表明,播种时间的推迟显著延缓了春青稞品种藏青690在两个生境中关键物候期的启动。具体表现为QG生境中出苗期与分蘖期推迟10~20 d,CD生境中相应阶段推迟幅度更大,达20~25 d;拔节期亦呈现一致的推迟趋势,且2025年的推迟程度较2024年更为显著。尽管各播期处理下生育阶段的起始时间普遍后延,藏青690仍能完成完整的生育进程,并在2025年表现出全生育期总天数的系统性缩短,提示年际间气候条

件对生育进程的压缩效应可能优于播期所带来的延迟效应。

2.2 西藏春青稞生育进程对播期调控的响应

从生育阶段的时间结构来看(表1),播期对藏青690发育进程的调控存在生境差异。2024年QG生境中,拔节至乳熟的各阶段随播期推迟而显著缩短,反映该阶段作物发育对光温资源的响应趋于加速;CD生境中相应阶段则保持相对稳定,说明该生境下生殖生长进程受播期调控的影响较小。值得注意的是,在QG点2025年最早播期(CS1)在拔节—孕穗与抽穗—乳熟阶段的天数均显著高于同年其他处理,揭

示早播可能通过利用春季更为适宜的光温资源,延长关键生殖阶段的持续时间,从而为产量形成提供更长的光合积累期。此外,2025年乳熟至成熟阶段较2024年显著缩短,QG与CD生境分别提前7~12d与16~23d,进一步说明年际间气候差异(如温度、辐射等)对灌浆速率具有显著促进作用。

综上可知,藏青690的生育进程受播期与生境互作的共同调控:播期推迟主要通过延迟发育起点而影响物候序列;而生境差异及年际气候变异则更深刻地影响各生育阶段的持续时间和生理效率,尤其在乳熟至成熟阶段表现出强烈的可塑性响应。

表1 播期对春青稞不同生育阶段时间的影响

年份	生境	播期	生育期(月-日)						各生育时间/d						
			出苗期	分蘖期	拔节期	孕穗期	抽穗期	乳熟期	成熟期	出苗—分蘖	分蘖—拔节	拔节—孕穗	孕穗—抽穗	抽穗—乳熟	乳熟—成熟
2024	QG	AS1	04-11	05-03	05-24	06-01	06-07	06-26	07-18	22	21	8	6	19	22
		AS2	04-22	05-13	06-03	06-05	06-12	06-30	07-22	21	21	2	7	18	22
		AS3	05-03	06-02	06-10	06-13	06-19	07-05	07-29	30	8	3	6	16	24
		CK1	05-22	06-12	06-19	06-24	06-28	07-14	08-07	21	7	5	4	16	24
	CD	BS1	04-20	05-25	06-02	06-08	06-14	07-03	07-29	35	8	6	6	19	26
		BS2	05-05	06-02	06-08	06-13	06-24	07-08	08-08	28	6	5	11	14	31
		BS3	05-14	06-13	06-17	06-23	07-01	07-22	08-15	30	4	6	8	21	24
		CK2	05-24	06-15	06-18	06-25	07-02	07-24	08-15	22	3	7	7	22	22
2025	QG	CS1	04-04	04-25	05-20	05-28	06-03	06-30	07-15	21	25	8	6	27	15
		CS2	04-08	05-03	05-24	05-31	06-08	07-03	07-18	25	21	7	8	25	15
		CS3	04-20	05-09	05-31	06-05	06-13	07-08	07-25	19	22	5	8	25	17
		CK3	04-29	05-24	06-08	06-15	06-21	07-16	07-28	25	15	7	6	25	12
	CD	DS1	04-16	05-07	05-29	06-08	06-14	07-15	07-31	21	22	10	6	31	16
		DS2	04-23	05-19	06-04	06-11	06-18	07-23	07-31	26	16	7	7	35	8
		DS3	05-02	05-26	06-11	06-18	06-28	07-28	08-12	24	16	7	10	30	15
		CK4	05-15	06-04	06-18	06-25	07-03	08-02	08-12	20	14	7	8	30	10

基于对藏青690在两个生境下不同播期处理中主要生育阶段时间的分析(图1),以进一步揭示其全生育期调控的生理生态机制。结果表明,藏青690全生育期的变化主要源于营养生长阶段持续时间的调整,而生殖生长阶段在不同处理间保持相对稳定,体现出其发育进程的阶段特异性响应。

具体而言,2024年QG与CD生境下各播期处理的营养生长阶段分别为57、51、47、37d与55、50、48、39d,分别占总生育期的42.53%~50.89%与41.49%~49.11%;2025年相应数据为60、61、54、53d与59、56、57、49d,占总生育期范围为48.39%~

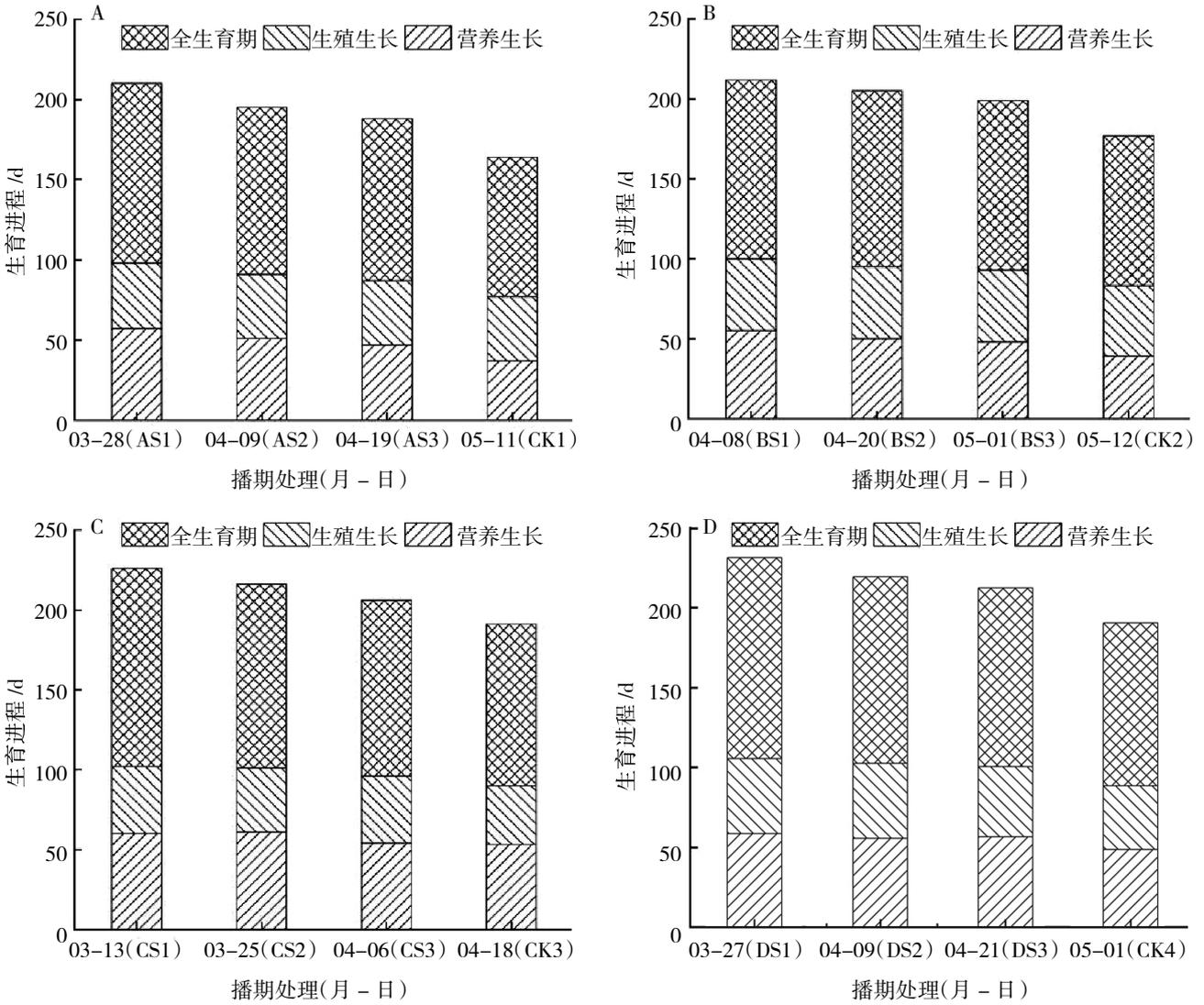
53.04%和46.83%~50.89%。由此可见,营养生长阶段随播期推迟显著缩短,构成全生育期压缩的主要生理基础。这一响应可能源于推迟播期导致作物在营养生长期遭遇更高环境温度与更强光周期信号,从而加速茎顶端分生组织分化与形态建成,促使植株更快由营养生长向生殖生长过渡。

从全生育期整体来看,所有生境与年份中,S1处理的全生育期均最长,而S4处理最短,进一步证实播期推迟系统地诱导藏青690生育进程加速。该现象反映出作物为适应播期延迟所采取的表型可塑性策略,通过加快发育以在季节约束内完成生命周期。

此外,藏青 690 的生育进程亦受到生境与年际气候差异的显著调控。总体表现为 QG 生境的生育进程快于 CD 生境,可能与两地温度、辐射或水分条件差异引起的发育速率差异有关;而 2025 年各播期全生育期整体长于 2024 年,说明年际间气候波动(如积温、降水分布)对作物发育进程具有超越播

期调控的重要影响。

综上,藏青 690 通过调节营养生长阶段持续时间以响应播期变化,其生育进程的塑造是品种发育遗传特性与生境、年际气候因子互作的结果,该结论可为青藏高原地区春青稞播期优化与适应性栽培提供理论依据。



A、B 分别代表 2024 年强嘎点和春堆点;C、D 分别代表 2025 年强嘎点和春堆点

图 1 藏青 690 不同播期主要生育阶段

2.3 西藏不同播期处理下藏青 690 产量及产量构成因素的影响

表 2 结果表明,生境和播期对春青稞产量及其构成因素的影响在不同年份间表现出明显的差异与交互作用,反映出环境与栽培措施对作物产量形成的复杂调控机制。在 2024 年,生境对产量的影响达到极显著水平($F=6.882^{**}$),说明不同生境间气候与土壤条件显著影响春青稞的最终产量。同时,播

期处理对千粒质量的影响极显著($F=1.383^{**}$),表明播种时间通过调控灌浆期的光温资源配置,直接作用于籽粒充实过程。生境与播期间的交互作用在产量上极为显著($F=9.734^{**}$),揭示出不同生态条件下适宜播期的差异性,反映了“地域-播期”耦合效应对产量形成的关键作用。而在 2025 年,生境对穗粒数、千粒质量和有效穗数的影响均达极显著,说明该年份生态因子更多通过调控群体结构与个体

发育影响产量构成。播期对千粒质量($F = 59.058^{**}$)和有效穗数($F = 5.056^*$)的显著影响,进一步表明播期不仅影响籽粒发育,也作用于分蘖成穗过程。此外,生境与播期在千粒质量和有效穗数上的极显著交互,再次强调栽培策略必须因地制宜。

总体来看,生境主导着春青稞生产的环境承载

潜力,而播期作为重要的农艺调控手段,通过影响作物生长发育与资源利用效率,在不同生态条件下表现出差异化的调控效应。这一结果揭示了春青稞产量形成中“环境-措施”互作的重要性,为区域化精准栽培提供了理论依据。

表2 生境和播期对春青稞产量及产量构成因素的方差分析(F值)

年份	因素	穗粒数	千粒质量	有效穗数	产量
2024	生境	2.151	4.347	24.997	6.882 ^{**}
	播期处理	16.139	1.383 ^{**}	2.372	4.901
	生境 × 播期	9.016	1.645 ^{**}	0.489	9.734 ^{**}
2025	生境	25.697 ^{**}	129.280 ^{**}	36.075 ^{**}	2.917
	播期处理	3.094	59.058 ^{**}	5.056 [*]	2.174
	生境 × 播期	2.556	72.211 ^{**}	12.651 ^{**}	2.722

注:**表示因素的影响达到极显著水平($P < 0.01$),*表示因素的影响达到显著水平($P < 0.05$)。

播期调控通过影响春青稞藏青690关键生育进程,进而作用于产量形成的基础生理机制。表3结果显示,2024年QG点数据显示,最早的播期处理(AS1)的穗粒数与有效穗数最多,在AS1处理下的穗粒数极显著高于AS2和CK1处理($P < 0.01$),反映晚播可能压缩了幼穗分化的有效时间,导致光合产物的供给与分配不足以支持穗部充分发育,同时分蘖期的环境条件限制了高效分蘖的形成。而千粒质量未随播期显著变化,说明籽粒灌浆过程受播期影响较小,灌浆期的资源供给相对稳定。该点AS1处理(3月28日)产量最高并且极显著高于AS2和AS3处理($P < 0.01$),说明早播为生殖生长争取了更长的有效光温资源窗口。

相比之下,CD点在2024年表现出穗粒数随播期呈先增后降的趋势,BS2处理(4月20日)在穗粒数与千粒质量上表现最优,并且在BS2处理下的穗粒数显著高于CK2($P < 0.01$),说明该播期更有利于协调光合产物在穗分化与籽粒灌浆阶段的合理配置,而BS3处理(5月1日)产量最高,可能与该时期灌浆阶段的光温匹配度更高有关,促进了同化物向籽粒的高效转运。该年CD点产量潜力显著高于QG点,反映其生境在穗数形成与群体光合能力上具有优势。

2025年QG点产量性状随播期表现为先升后降,CS3处理(4月6日)在有效穗数与产量上达峰,且在该处理下的有效穗数显著高于CS1和CK3处理($P < 0.01$),说明适度推迟播期可能优化了该年份

的分蘖成穗环境。CD点在2025年播期最早的DS1处理(3月27日)在有效穗数、千粒质量上均表现最优,说明极早播在该年显著促进了前期生物量积累与群体构建,并为后期籽粒充实提供了充足的同化物来源。

综合2年结果,CD点在早播条件下表现出更稳定的高产潜力,说明其生态条件更有利于藏青690在早期生长阶段建立高光效群体并实现源-库协调。因此,CD点更适宜作为春青稞藏青690的早播生境,其早播优势可能源于更优的温光资源配置与生理代谢协调机制。

2.4 西藏不同播期对藏青690农艺性状的影响

由表4可知,2025年的两个生境下藏青690的株高、单株产量和收获指数不同播期处理明显高于2024年。在2024年QG点AS1(3月28日)处理株高、穗长和粒质量最佳,分别为66.58 cm、6.55 cm和2.16 g/穗,AS3(4月19日)处理单株产量最高,为2.67 g/株,CK1(5月12日)处理收获指数最高,为41.99%,在此处理下,株高和粒质量极显著高于AS2处理($P < 0.01$),CK1处理下的收获指数显著高于AS2处理($P < 0.05$);CD点BS3(5月1日)处理株高和单株产量最高,分别为77.41 cm和2.35 g/株,BS3的株高与穗长极显著高于CK2处理($P < 0.01$),BS2(4月20日)处理穗长最长和收获指数最高,分别为6.14 cm和44.71%,CK2(5月1日)处理粒质量最大,为3.24 g/穗。

2025年QG点CS3(3月28日)处理株高、穗长和

单株产量最佳,分别为 89.82 cm、5.85 cm 和 5.95 g/株,在 CS3 处理下的株高和单株产量极显著高于 CK3 处理($P < 0.01$),CS1(3月27日)处理收获指数最高,为 63.74%,CS2(4月9日)处理粒质量最大,为

1.73 g/穗;CD 点 DS1(3月27日)处理株高和收获指数最高,为 93.08 cm 和 94.70%,DS3(4月21日)处理穗长最长,为 6.28 cm,CK4(5月2日)处理粒质量和单株产量最高,分别为 2.34 g/穗和 7.41 g/株。

表 3 西藏不同播期处理下春青稞产量及产量构成因素的差异分析

年份	生境	播期	穗粒数/(粒/穗)	千粒质量/g	有效穗数/(万穗/hm ²)	产量/(kg/hm ²)
2024	QG	AS1	43.43 ± 3.39 aA	39.38 ± 0.86 abAB	347.51 ± 45.06 aA	2 487.66 ± 175.04 aA
		AS2	35.73 ± 3.96 bB	35.53 ± 6.36 bB	325.24 ± 65.95 aA	1 057.17 ± 237.15 cC
		AS3	40.15 ± 2.51 abAB	36.52 ± 3.02 bB	339.21 ± 22.02 aA	1 557.45 ± 331.17 bBC
		CK1	35.42 ± 2.88 bB	44.20 ± 1.34 aA	288.03 ± 34.02 aA	2 144.78 ± 193.38 aAB
	CD	BS1	38.45 ± 2.04 aA	40.87 ± 5.44 aA	474.79 ± 1.26 aA	2 319.98 ± 247.84 abAB
		BS2	42.91 ± 1.67 aA	43.45 ± 2.04 aA	390.09 ± 49.61 aA	2 268.57 ± 407.96 abAB
		BS3	40.33 ± 0.57 aA	42.26 ± 6.04 aA	426.10 ± 10.38 aA	2 661.47 ± 327.34 aA
		CK2	26.10 ± 4.25 bB	42.74 ± 2.63 aA	397.76 ± 86.87 aA	1 532.32 ± 677.12 bB
2025	QG	CS1	37.44 ± 5.42 abAB	32.51 ± 0.64 dD	233.5 ± 35.14 bcB	2 733.51 ± 156.81 bB
		CS2	42.47 ± 1.15 aA	35.65 ± 0.28 bB	288.81 ± 50.63 bAB	3 332.49 ± 219.83 aA
		CS3	33.67 ± 1.81 bcAB	34.58 ± 0.77 cC	388.64 ± 71.54 aA	3 606.76 ± 140.10 aA
		CK3	31.13 ± 2.40 cB	38.56 ± 0.37 aA	149.52 ± 40.43 cB	1 014.57 ± 112.20 cC
	CD	DS1	45.07 ± 4.64 aA	39.39 ± 0.52 aA	435.55 ± 34.52 aA	4 933.63 ± 3 556.56 aA
		DS2	43.53 ± 2.72 aA	34.23 ± 0.36 cB	313.49 ± 53.84 bB	2 016.74 ± 829.58 aA
		DS3	46.20 ± 5.97 aA	38.14 ± 0.87 bA	363.85 ± 20.02 abAB	3 919.06 ± 564.96 aA
		CK4	41.80 ± 3.80 aA	39.02 ± 0.46 abA	405.54 ± 48.98 aAB	3 484.01 ± 251.35 aA

注:同列数据后不同小写字母表示差异具统计学意义($P < 0.05$)、不同大写字母表示差异具高度统计学意义($P < 0.01$)。表 4 同。

表 4 西藏不同播期处理对藏青 690 农艺性状的差异分析

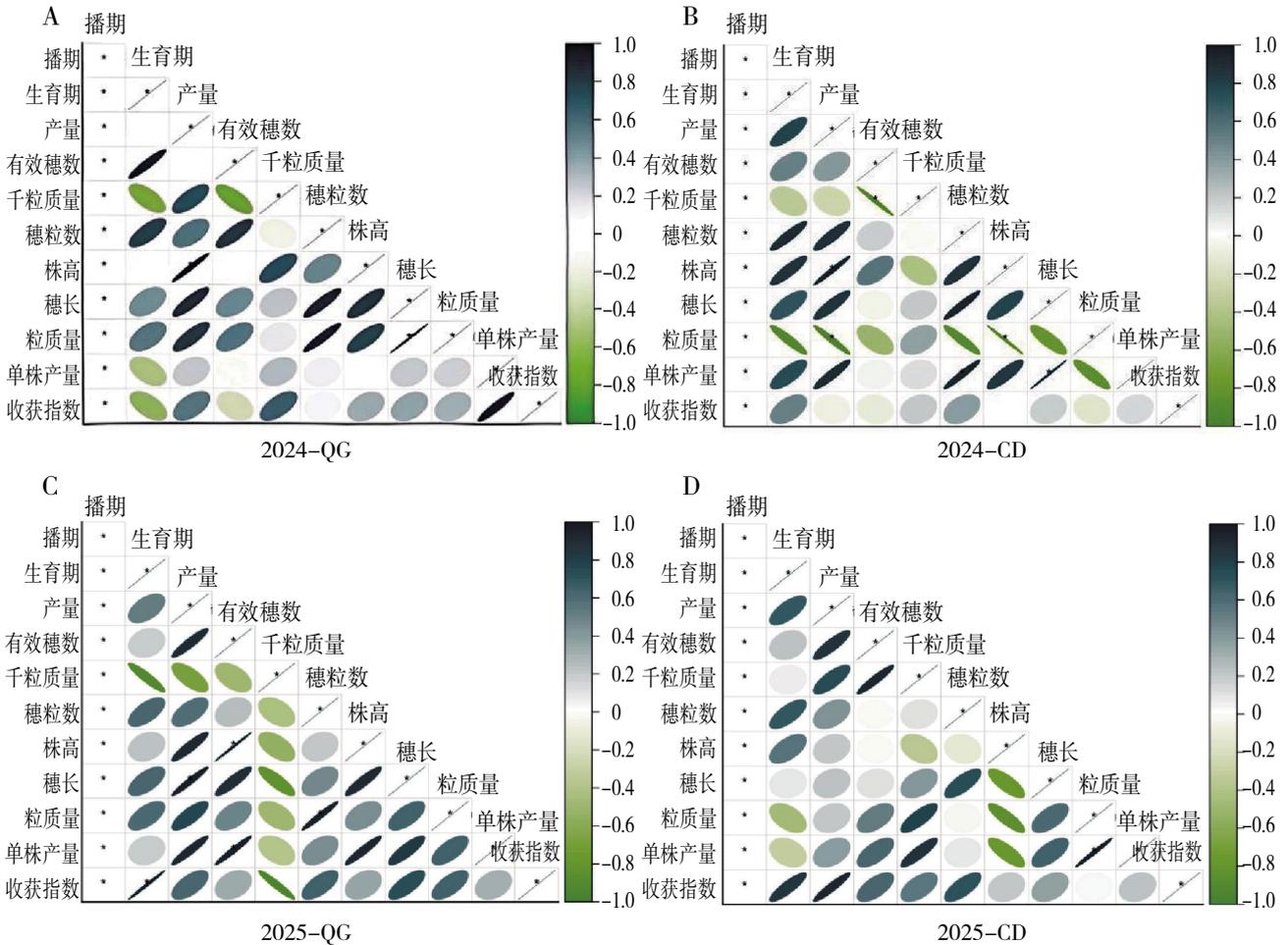
年份	生境	播期	株高/cm	穗长/cm	粒质量/(g/穗)	单株产量/(g/株)	收获指数/%
2024	QG	AS1	66.58 ± 1.22 aA	6.55 ± 0.27 aA	2.16 ± 0.20 aA	2.16 ± 0.20 aA	36.24 ± 6.59 abA
		AS2	54.55 ± 4.70 bC	5.79 ± 0.39 bA	1.58 ± 0.19 bB	1.89 ± 0.32 aA	29.32 ± 5.25 bA
		AS3	55.97 ± 1.32 bBC	6.15 ± 0.43 abA	1.86 ± 0.19 abAB	2.67 ± 0.64 aA	41.04 ± 8.25 abA
		CK1	63.03 ± 2.15 aAB	6.07 ± 0.30 abA	1.75 ± 0.14 bAB	2.45 ± 0.64 aA	41.99 ± 2.76 aA
	CD	BS1	75.84 ± 0.89 aA	5.38 ± 0.30 bAB	1.97 ± 0.15 aA	1.98 ± 0.14 abA	41.39 ± 0.31 aA
		BS2	71.60 ± 6.50 aA	6.14 ± 0.28 aA	2.18 ± 0.05 aA	2.31 ± 0.18 aA	44.71 ± 6.06 aA
		BS3	77.41 ± 4.42 aA	6.11 ± 0.27 aA	1.94 ± 0.14 aA	2.35 ± 0.35 aA	35.37 ± 6.34 aA
		CK2	59.22 ± 3.99 bB	4.65 ± 0.58 cC	3.24 ± 3.77 aA	1.52 ± 0.43 bA	38.13 ± 6.25 aA
2025	QG	CS1	69.78 ± 6.45 bBC	5.82 ± 0.02 aA	1.45 ± 0.17 abAB	3.41 ± 0.45 bcAB	63.74 ± 11.24 aA
		CS2	73.94 ± 3.54 bB	5.81 ± 0.37 aA	1.73 ± 0.14 aA	5.24 ± 0.73 abAB	51.39 ± 8.04 aAB
		CS3	89.82 ± 3.30 aA	5.85 ± 0.29 aA	1.39 ± 0.11 abAB	5.95 ± 1.90 aA	46.07 ± 7.92 abAB
		CK3	56.79 ± 5.61 cC	5.71 ± 0.68 aA	1.12 ± 0.27 bB	2.24 ± 0.66 cB	30.75 ± 11.69 bB
	CD	DS1	93.08 ± 6.51 aA	6.00 ± 0.05 aA	1.94 ± 0.47 bA	6.44 ± 1.28 abAB	94.70 ± 55.09 aA
		DS2	92.67 ± 5.63 aA	5.87 ± 0.26 aA	1.58 ± 0.09 bA	4.59 ± 0.74 bB	37.22 ± 7.39 aA
		DS3	76.10 ± 5.08 bA	6.28 ± 0.24 aA	2.26 ± 0.24 aA	7.34 ± 1.12 aA	65.26 ± 28.50 aA
		CK4	81.26 ± 7.58 abA	5.96 ± 0.46 aA	2.34 ± 0.10 aA	7.41 ± 1.35 aA	36.48 ± 4.87 aA

2.5 西藏不同播期对藏青 690 生育期、产量及产量因素和农艺性状的相关分析

由藏青 690 生育期、产量及产量因素和农艺性状的相关分析(图 2)可知,在 2024 年(图 2-A)QG 点生育期与有效穗数、穗粒数、穗长和粒质量呈正相关,而与千粒质量、单株产量和收获指数呈负相关,产量与千粒质量、穗粒数、株高、穗长、粒质量、单株产量和收获指数呈正相关,相关性强弱表现为株高 > 穗长 > 粒质量 > 千粒质量 > 穗粒数 = 收获指数,其中产量与株高、穗长与粒质量呈显著正相关性($P < 0.05$)。在 2024 年(图 2-B)CD 点生育期与产量、有效穗数、穗粒数、株高、穗长、单株产量和收获指数呈正相关,产量与有效穗数、穗粒数、株高、穗长、单株产量呈正相关,相关性强弱表现为株高 > 单株产量 > 穗粒数 > 穗长 > 有效穗数,其中产量与粒质量呈显著负相关($P < 0.05$),与株高呈显著

正相关,在其他性状中单株产量与穗粒数、穗长呈显著正相关($P < 0.05$)。

在 2025 年(图 2-C)QG 点生育期除了与千粒质量呈负相关外,与其他所有性状均呈正相关,其中与收获指数呈显著正相关($P < 0.05$);图 2-C 的结果表明千粒质量与其他性状呈负相关,说明在 2025 年 QG 点千粒质量将会是影响和决定其他性状的重要因素。图 2-D 结果显示 CD 点的生育期与粒质量和单株产量呈负相关,穗长与千粒质量呈正相关,株高与穗长、粒质量和单株产量呈负相关,这说明在 CD 生境下生育期和株高是单株产量和粒质量的制约因素,株高也影响着穗长;产量与产量构成因素和农艺性状呈正相关,粒质量与单株产量呈显著正相关($P < 0.05$),这意味着前期高的粒质量是单株产量形成的基础。



* 表示在 0.05 水平上显著相关($P < 0.05$)。A、B 分别代表 2024 年强嘎点和春堆点;C、D 分别代表 2025 年强嘎点和春堆点

图 2 藏青 690 的生育期、产量及产量构成因素及农艺性状的相关性分析

3 讨论

播期主要通过调控营养生长阶段的持续时间来影响藏青 690 的全生育期。在 QG 点, 随播期推迟, 营养生长期显著缩短, 导致全生育期压缩。这种响应机制源于晚播条件下植株在生长前期遭遇更高的环境温度与更强的光周期信号, 从而加速茎顶端分生组织的分化与形态建成, 促使发育进程提前向生殖生长过渡, 这与艾磊等研究结果^[18-19]一致。相比之下, CD 点的生育期响应模式更为复杂, 其营养生长与生殖生长的协调性在不同播期间表现出更佳的弹性, 表明该生境可能提供了更优的温光资源配置, 缓冲了播期变化带来的发育胁迫。

产量是作物生育进程与环境互作的最终体现。QG 点的产量结果表明播期应该适当提前, 该生境下, 早播是保障高产的关键^[20]。这主要是因为早播确保了足够的营养生长时间, 为后续生殖生长奠定了坚实的物质基础。反之, CD 点的产量在特定播期(如 2024 年 BS3、2025 年 DS1)达到峰值, 呈现“最优窗口”效应。这表明在 CD 点, 并非越早播种产量越高, 而是存在一个能够最大化利用环境资源的“黄金播期”。该时期可能恰好使作物的产量形成关键期(如穗分化、灌浆盛期)与当地最佳的光、温、水条件同步, 从而实现产量的最大化。CD 点在 2025 年极早播(DS1)条件下创下的超高产量, 进一步印证了其在早播方面的巨大生理潜力和生态优势。

产量构成的差异是导致上述产量响应模式不同的直接生理原因。在 QG 点, 晚播导致穗粒数与有效穗数显著下降, 是限产的主因。这证实了营养生长阶段的压缩直接削弱了“库”的建成能力(穗数、穗粒数), 且该生境下作物难以通过其他途径进行有效补偿。而千粒质量保持稳定, 则说明“源”的供应(灌浆期的光合产物)或籽粒灌浆能力本身受播期影响较小。

CD 点的产量构成则展现出良好的协调与补偿能力。2024 年, BS2 处理在穗粒数与千粒质量上表现最优, 而 BS3 处理产量最高, 说明在此生境下, 作物能够通过调节不同产量因素之间的权衡来适应播期变化。例如, 当穗粒数因播期不适而有所减少时, 植株可能通过增强灌浆强度、提高千粒质量来进行补偿, 从而维持产量的相对稳定^[21-22]。这种强大的源库协调能力, 是 CD 点产量潜力和稳定性均高于 QG 点的重要生理基础。

综上, 藏青 690 的产量形成是其生育特性与环境互作, 最终通过产量构成因素表达的综合结果。QG 点的生产更依赖于通过早播保障“库强”(穗数、穗粒数), 其策略相对单一。而 CD 点则展现出更强的生理弹性, 既能通过早播挖掘高产潜力, 也能在特定播期下实现源库关系的高度协调, 表现出更高的生产稳定性。因此, 在栽培实践中, QG 点应坚持适时早播的原则; 而对于 CD 点, 在推荐早播的基础上, 可进一步细化研究以找到实现年度最高产的最佳播期, 从而充分发挥该品种的产量潜力。

4 结论

2024 年 QG 点以 AS1(3 月 28 日)早播处理综合表现最优, 营养生长期延长, 穗粒数、有效穗数等关键性状显著提升, 产量达 2 487.66 kg/hm²; CD 点则以 BS3(5 月 1 日)处理产量最高, 为 2 661.47 kg/hm², 有效穗数、株高及单株产量突出, 较最晚播 CK2 增产 73.69%。因此, 两地适宜播期不同, QG 宜早播, CD 适期偏晚播种更有利于产量形成。

2025 年 QG 点以 CS3(4 月 6 日)处理产量最高, 达 3 606.76 kg/hm², 结合 CS1 与 CS2 表现, 表明 3 月中旬至 4 月上旬为当地适宜播期, 有利于早熟后复种, 提升综合效益。CD 点 DS1(3 月 27 日)处理产量达 4 933.63 kg/hm², 千粒质量、有效穗数等性状突出, 因此, 该区域播期宜适当提前至 3 月底左右, 以兼顾高产与复种潜力。

参考文献:

- [1] 孙全平, 秦基伟, 宋国英, 等. 西藏青稞连作现状及应对措施分析[J]. 山地农业生物学报, 2024, 43(2): 27-33.
- [2] 鲜 敢. 西藏青稞种植面积超 210 万亩[N]. 人民日报海外版, 2022-05-17(3).
- [3] 次 巴. 高原青稞种植的增产路径分析[J]. 河北农机, 2024(1): 70-72.
- [4] 汤三明, 王志顺. 襄阳冬小麦生育关键期及抗逆性综合栽培措施[J]. 种子科技, 2024, 42(13): 146-148.
- [5] 普布多吉, 罗 珍, 扎西拉姆, 等. 气候变化背景下西藏隆子县黑青稞气候适宜性分析[J]. 中国农学通报, 2024, 40(29): 96-102.
- [6] 万运帆, 李玉娥, 高清竹, 等. 西藏气候变化趋势及其对青稞产量的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(4): 374-380.
- [7] 周喜荣, 刘梅金, 徐冬丽, 等. 不同播种方式与施肥水平对青稞光合特性及产量构成的影响[J]. 浙江农业科学, 2024, 65

- (3):513–520.
- [8] 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.
- [9] 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]. 大麦与谷类科学, 2025, 42(3):28–34.
- [10] 杨天赐, 刘国一, 康朝麒, 等. 播期、播种密度及肥料运筹对青稞产量及产量性状的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2021, 38(1):12–16.
- [11] 李萍, 卓嘎, 韦泽秀. 播种量和施肥量对青稞新品种藏青2000生长发育及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(1):76–79.
- [12] 弓开元, 何亮, 郭定荣, 等. 青藏高原高寒区青稞光温生产潜力和产量差时空分布特征及其对气候变化的响应[J]. 中国农业科学, 2020, 53(4):720–733.
- [13] 蒋怡, 舒洪涛, 董秀春, 等. 西藏粮食主产区典型作物空间格局分析[J]. 西南农业学报, 2025, 38(6):1305–1316.
- [14] 刘国一, 唐亚伟, 孙全平, 等. 提早播种对高原青稞增产的成因研究[J]. 西藏科技, 2015(8):9–13.
- [15] 孙全平, 刘国一, 唐亚伟, 等. 密度、播期和施肥对西藏不同青稞品种籽粒灌浆特性影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(21):67–74.
- [16] 向莉, 苗雨. 播种期对青稞农艺性状及产量的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2021, 38(3):34–38.
- [17] 扎西拉宗, 牛磊, 魏欢, 等. 藏青690栽培技术[J]. 现代农村科技, 2020(6):1.
- [18] 艾磊. 不同生境播期对粳稻生育进程、产量及品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016:23–25.
- [19] 梅丽, 连艺佳, 孟范玉, 等. 晚播及过晚播对冬小麦生长发育及产量的影响[J]. 天津农业科学, 2023, 29(2):27–33.
- [20] 张明明, 董宝娣, 乔匀周, 等. 播期、播量对旱作小麦“小偃60”生长发育、产量及水分利用的影响[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(8):1095–1102.
- [21] 刘猷红, 张俊, 唐傲, 等. 播期对寒地粳稻产量及温光资源利用的影响[J]. 中国稻米, 2022, 28(6):113–117.
- [22] CALDERINI D F, SAVIN R, ABELEDO L G, et al. The importance of the period immediately preceding anthesis for grain weight determination in wheat[J]. *Wheat in a Global Environment*, 2001, 9:503–509.

Study on Sowing Date of Spring Highland Barley Under Different Ecological Conditions at Same Ecological Sub-region in Xizang

YOU Yanqun¹, Cirenwangdui¹, CAI Sumei², XU Jinmei¹, YAO Hui¹, Cirenyangzong¹, Mimazhaxi¹,
CAI Qianwen¹, Cirenyangjin¹

(1. College of Plant Science, Xizang Agricultural and Animal Husbandry University, Linzhi 860000, China;

2. Nujiang Prefecture Ethnic Technical Secondary School, Nujiang 673100, China)

Abstract: To explore the optimal sowing date of spring barley under different ecological conditions at same Ecological Sub-region in Xizang, two representative experimental sites (Qiangga Township and Chundui Township) were selected in Linzhou of Lhasa for sowing date trials using Zangqing 690 as the test material. The study analyzed the effects of different sowing dates on key growth characteristics, yield, and yield components of Zangqing 690. The results showed that the growth process of Zangqing 690 shortened with delayed sowing dates. In 2024, the highest yield (2 487.66 kg/hm²) was achieved in Qiangga Ecological Zone with AS1 (March 28) treatment. In Chundui Ecological Zone, BS3 (May 1) treatment produced the highest yield (2 661.47 kg/hm²). In 2025, CS3 (April 6) treatment in Qiangga Ecological Zone had the highest yield (3 606.76 kg/hm²), while DS1 (March 27) treatment produced the highest yield (4 933.63 kg/hm²) in Chundui Ecological Zone. In conclusion, the optimal sowing date for spring barley in Xizang should be adjusted according to regional differences. The sowing date from mid-March to early April is suitable in the areas similar to Qiangga Ecological Zone, while the sowing date on late March is the best in the regions like Chundui.

Key Words: Xizang; Sowing date; Spring highland barley; Growth characteristics; Yield; Yield components

徐雍乐,李林淙,周琼昱,等. 利用回交育种改良籼稻品种黄华占的产量[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(6):45–49(2025–12–12). <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.06.007>.

利用回交育种改良籼稻品种黄华占的产量

徐雍乐¹,李林淙¹,周琼昱¹,孙浩文¹,韦琳昕¹,袁思梦¹,徐俊英²,田雨³,邱先进^{2*},胡慧^{1*}

[1. 长江大学文理学院,湖北荆州 434020;2. 涝渍灾害与湿地农业湖北省重点实验室/农业农村部长江中游作物绿色高效生产重点实验室(部省共建),长江大学,湖北荆州 434025;3. 宜昌市农业科学院,湖北宜昌 443004]

摘要:黄华占是近年来长江流域推广面积最大的常规籼稻品种。为提高黄华占的产量潜力,以黄华占为受体,热带梗稻 Lemont、Aus 稻 Dular 和 N22 为供体,通过回交育种的方法构建了 3 套导入系群体,它们分别包含 186、172 和 154 个株系。供体亲本与黄华占的部分产量性状差异明显,3 套导入系的产量及其相关性状均呈现连续变异,其中每穗颖花数和每穗实粒数整体高于黄华占。共筛选到 14 份高产导入系,其中大部分导入系的有效穗数、每穗颖花数、每穗实粒数和千粒质量高于黄华占。GQL216 和 GQL627 的结实率在中稻和晚稻季节均保持在 85%以上,结实率较高。

关键词:黄华占;回交;产量

中图分类号:S511.2+1

文献标志码:A

文章编号:1673-6486-20250105

水稻是我国重要的口粮作物之一,是我国一半以上人口的主食。得益于矮秆基因和杂种优势利用,我国水稻产量在过去七十年里提升了 2 倍以上。但是,随着人口增加,水稻产量还需要进一步提高才能满足人们的需求。近三十年来,我国水稻产量一直徘徊不前,主要原因是我国水稻品种的遗传背景越来越狭窄,遗传多样性越来越低。过低的遗传背景不仅导致水稻抗逆性减弱,而且使得产量潜力难以发挥,限制水稻产量进一步提升^[1]。因此,需要将现有高产品种或优良骨干亲本与亲缘关系较远的优异种质资源杂交,引入优异基因,扩大遗传多样性,提高现有品种的产量潜力。

黄华占是广东省农业科学院水稻科学研究所利用核心种质育种理论培育的一个优良籼型常规稻品种^[2],该品种在湖北和湖南的产量可达到 540 kg/667 m² 左右(区域试验产量),品质可达到国标 1 级米。此外,该品种抗逆性好,适合直播,被誉

为“直播先锋,改制先锋,品牌先锋,效益先锋,替代先锋”,是我国稻米市场的价格晴雨表。黄华占分别通过了广东、广西、海南、浙江、湖南、湖北、重庆、陕西 8 个省(自治区、直辖市)审定,其推广面积从 2013 年起连续多年位列我国水稻推广面积前两位。截至 2024 年,由黄华占为亲本选育的常规稻品种超过 97 个、不育系 2 个、杂交稻品种 4 个(数据源于中国水稻数据中心)。

为提高黄华占的产量潜力,同时保持黄华占的品质,本研究以热带梗稻 Lemont、Aus 稻 Dular 和 N22 为供体,以黄华占为受体,利用回交育种的方法,构建了 3 套导入系群体。在此基础上,考察了 3 套导入系群体的产量相关性状,筛选高产导入系,旨在为选育高产水稻新品种奠定基础,并为长江流域推广高产水稻品种提供种质材料。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本研究所用的受体亲本黄华占源于广东省农业科学院水稻科学研究所,供体亲本 Lemont 和 Dular 源于华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室,N22 源于长江大学农学院水稻遗传育种实验室。3 个供体亲本均与黄华占遗传差异较大,其中 Lemont 为热带梗稻,为美国推广面积较大的优质稻

收稿日期:2025-10-13;修回日期:2025-11-29。

基金项目:湖北省大学生创新创业训练计划(S202513246002);湖北省中央引导地方科技发展专项(2024BSB011)。

作者简介:徐雍乐(2005—),女,主要从事水稻遗传育种研究。
Email: 2836483797@qq.com。

* 通信作者:胡慧(1985—),女,博士,讲师,主要从事水稻遗传育种研究,Email: 240925404@qq.com;邱先进(1984—),男,博士,教授,主要从事水稻遗传育种研究,Email: xjqiu216@yangtzeu.edu.cn。

品种^③;Dular 为 Aus 稻,含有籼粳广亲和基因 S₅⁴⁹; N22 也为 Aus 稻,具有耐热性强的优点^⑤。

1.2 选育过程

2018 年夏季以黄华占为母本、3 个受体亲本为父本分别杂交,后将 F₁ 与黄华占连续回交 3 代,并利用单粒传法自交 3 代,使群体内每个单株的基因型达到基本稳定。在回交世代和自交世代不进行选择,所有单株均入选,最终获得 3 套导入系群体。

1.3 导入系种植

2024 年夏季将 BC₃F₄ 株系种植于湖北省荆州市长江大学农学院试验农场,同时种植供体亲本和受体亲本。分 2 期播种,播种期分别为 5 月 5 日和 6 月 1 日,分别与湖北省中稻和一季晚稻处于相同季节(以下将 2 个播期分别记为中稻和晚稻),秧龄在 25 d 左右单本移栽。采用随机区组设计,重复 2 次。每次重复内,将每个导入系种植 3 行,每行 10 株,行距和株距均为 20 cm。其他田间管理同常规大田管理。

1.4 性状考察与数据分析

材料待抽穗后 10 ~ 15 d 开始调查中间行中间 3 株的有效穗数并挂牌;待抽穗后 35 d 取挂牌 3 株的主穗,用于考察每穗颖花数、每穗实粒数、结实率和千粒质量,将 3 株混收用于测定产量,并折算成单株产量。性状考察方法参见 Wang 等描述的方法^⑥。

每个导入系在 1 个重复内表型的平均值即为该重复下该导入系的表型值,2 次重复的平均值即为该导入系在该环境下的表型值。在 Excel 2007 中完成所有产量性状的统计分析。

2 结果与分析

2.1 回交改良过程

2018 年夏季在湖北荆州以黄华占为母本, Lemont、Dular 和 N22 为父本分别杂交,收获杂交种。2018 年冬季海南陵水分别种植 12、16 和 9 株 F₁ 单株,鉴定真假杂种后,以 F₁ 为母本、黄华占为父本进行回交。2020 年夏季在湖北荆州分别种植 28、42 和 39 株 BC₁F₁ 群体,以每个单株为母本、黄华占为父本进行杂交,按群体混收杂交种。2020 年冬季在海南陵水分别种植了 137、98 和 155 株 BC₂F₁ 群体,以每个单株为母本、黄华占为父本进行杂交,并按群体混收杂交种。2021 年夏季在湖北荆州分别种植 251、273 和 199 株 BC₃F₁ 群体,每个单株收取主穗上的 5~10 粒种子,并按群体混合。2021 年冬季在海南陵水分别种植了约 300 个单株的 BC₃F₂ 群体,每个单株收取主穗上的 5~10 粒种子,并按群体混合。2022 年夏季在湖北荆州种植了约 200 个单株的 BC₃F₃ 群体,并按单株收获。2022 年冬季在海南陵水将每个单株种植成株系,根据株高和生育期鉴定株系的稳定性,收获稳定株系的 1 个单株。最终,以 Lemont、Dular 和 N22 为供体、黄华占为受体的导入系构建完成,并分别含有 186、172 和 154 个株系。

2.2 亲本及导入系农艺性状分析

3 个供体亲本与黄华占在产量性状上差异明显(表 1)。N22 在 2 个季节下的有效穗数均多于 20 个,结实率均超过 90%,高于其他 3 个亲本;除了晚稻季节的 N22 外,3 个供体亲本的每穗颖花数均低于 200 粒,少于黄华占。

表 1 亲本的产量及品质性状

性状	黄华占		Lemont		Dular		N22	
	中稻	晚稻	中稻	晚稻	中稻	晚稻	中稻	晚稻
有效穗数/穗	9.67 ± 1.22	12.33 ± 1.95	4.00 ± 0.37	12.00 ± 1.57	10.33 ± 1.24	8.00 ± 0.97	32.00 ± 2.53	21.67 ± 2.01
颖花数/(个/穗)	214.00 ± 20.57	215.67 ± 23.24	148.00 ± 15.33	186.67 ± 20.21	187.33 ± 19.97	178.00 ± 18.88	128.00 ± 13.39	201.00 ± 25.57
实粒数/(粒/穗)	168.00 ± 15.54	172.33 ± 20.57	103.67 ± 9.97	159.67 ± 18.33	140.00 ± 18.43	151.00 ± 9.97	121.00 ± 9.51	185.67 ± 18.37
结实率/%	78.50 ± 3.08	79.91 ± 4.72	70.05 ± 5.00	85.54 ± 3.94	74.73 ± 5.11	84.83 ± 3.09	94.53 ± 2.43	92.37 ± 2.07
千粒质量/g	18.59 ± 1.00	18.11 ± 0.87	26.08 ± 1.63	24.16 ± 1.07	23.14 ± 0.95	19.17 ± 0.86	20.58 ± 0.75	18.63 ± 1.01
单株产量/g	33.17	30.50	7.17	36.33	24.67	12.67	51.33	51.83

3 套导入系的产量及其相关性状均呈现连续变异(表 2)。其中每穗颖花数和结实率的变异较大,变异系数为 10% ~ 20%;除了晚稻季节的 N22 为供体

的导入系外,其余群体在晚稻和中稻的有效穗数、每穗实粒数和单株产量变异均很大,变异系数均超过 20%。3 个供体亲本基因的引入,使得每穗颖花数

和每穗实粒数均得到了提高。其中,所有导入系的平均每穗颖花数在中稻和晚稻季节比黄华占分别

增加了 34.93 和 30.32 个,平均每穗实粒数在中稻和晚稻季节比黄华占分别增加了 32.90 和 14.07 粒。

表 2 3 套导入系的产量及其相关性状表现

性状	类别	Lemont 供体导入系		Dular 供体导入系		N22 供体导入系	
		平均值 ± 标准差	变幅	平均值 ± 标准差	变幅	平均值 ± 标准差	变幅
有效穗数 / 穗	中稻	9.69 ± 2.27	2.17 ~ 15.33	9.81 ± 2.77	4.67 ~ 33.00	10.60 ± 2.43	4.67 ~ 18.00
	晚稻	11.26 ± 2.64	4.67 ~ 20.33	12.34 ± 2.74	7.33 ~ 21.67	11.10 ± 2.20	6.33 ~ 17.67
颖花数 / (个 / 穗)	中稻	258.49 ± 49.88	141.33 ~ 397.67	266.24 ± 50.40	103.00 ~ 419.67	222.06 ± 43.22	112.00 ~ 313.33
	晚稻	253.93 ± 50.73	120.67 ~ 403.33	252.31 ± 43.31	121.33 ~ 387.67	231.73 ± 1.13	151.33 ~ 426.00
实粒数 / (粒 / 穗)	中稻	206.16 ± 48.79	56.33 ~ 343.33	215.65 ± 47.28	69.00 ~ 350.57	180.88 ± 41.44	27.33 ~ 273.00
	晚稻	191.41 ± 45.64	75.33 ~ 330.33	184.51 ± 39.96	83.67 ~ 289.33	183.30 ± 36.51	111.33 ~ 363.33
结实率 / %	中稻	79.52 ± 9.82	14.99 ~ 93.23	80.94 ± 8.73	46.60 ~ 96.77	81.84 ± 12.28	14.59 ~ 95.00
	晚稻	75.30 ± 9.64	37.98 ~ 93.00	73.08 ± 9.42	36.74 ~ 91.10	79.16 ± 6.29	62.61 ~ 90.02
千粒质量 / g	中稻	20.26 ± 3.78	14.99 ~ 28.31	19.38 ± 1.34	15.88 ~ 24.73	19.42 ± 1.26	16.98 ~ 25.03
	晚稻	19.73 ± 1.59	15.07 ~ 25.58	19.39 ± 1.75	15.75 ~ 25.00	19.38 ± 1.41	13.99 ~ 23.62
单株产量 / g	中稻	32.48 ± 7.51	2.83 ~ 45.33	30.65 ± 6.60	7.67 ~ 41.83	28.92 ± 8.49	5.83 ~ 52.67
	晚稻	29.67 ± 9.28	7.33 ~ 60.83	29.89 ± 8.43	5.50 ~ 50.17	26.72 ± 7.14	8.00 ~ 46.50

2.3 高产导入系筛选

分别以中稻和晚稻产量均超过黄华占单株产量 5% 为标准^[9], 标记中稻和晚稻单株产量分别超过 34.83 和 32.03 g 的导入系为高产导入系。从 512 份导入系中筛选出 14 份高产导入系, 其中 Lemont、Dular 和 N22 为供体的高产导入系分别有 5、3 和 6 份(表 3)。这 14 份导入系中, 10 份导入系(GQL216、GQL230、GQL263、GQL297、GQL418、GQL450、GQL627、GQL681、GQL694 和 GQL700)的有效穗数在中稻和晚稻季节下均多于黄华占, 除 GQL681 和 GQL694 外的 12 份导入系的每穗颖花数在中稻和晚稻季节下均多于黄华占, 11 份导入系的每穗实粒数

(GQL215、GQL216、GQL230、GQL263、GQL418、GQL450、GQL460、GQL627、GQL636、GQL641 和 GQL700)在中稻和晚稻季节下均多于黄华占, 5 份导入系(GQL215、GQL216、GQL230、GQL627 和 GQL694)的结实率在中稻和晚稻季节下均高于黄华占, 除 GQL418、GQL627 和 GQL641 的 11 份导入系的千粒质量在中稻和晚稻季节下均高于黄华占。结果表明, 有效穗数、每穗颖花数、每穗实粒数和千粒质量的提高对导入系产量的提高均起到重要作用。此外, GQL216 和 GQL627 的结实率在中稻和晚稻季节均保持在 85% 以上, 明显高于黄华占。

表 3 高产导入系的产量及其相关性状

编号	类别	有效穗数 / 穗	颖花数 / (个 / 穗)	实粒数 / (粒 / 穗)	结实率 / %	千粒质量 / g	单株产量 / g	供体亲本
GQL215	中稻	14.67 ± 1.38	252.67 ± 25.94	207.33 ± 20.51	82.06 ± 3.07	20.96 ± 0.99	45.33	Lemont
	晚稻	12.33 ± 1.25	297.67 ± 26.64	243.33 ± 24.27	81.75 ± 4.26	21.20 ± 1.24	38.83	
GQL216	中稻	14.00 ± 1.08	245.67 ± 23.33	210.33 ± 18.46	85.62 ± 2.97	20.95 ± 1.08	34.83	Lemont
	晚稻	13.33 ± 1.32	261.00 ± 30.54	224.33 ± 22.39	85.95 ± 3.04	19.56 ± 0.86	41.83	
GQL230	中稻	13.33 ± 1.27	218.00 ± 24.18	184.00 ± 17.72	84.40 ± 4.22	19.08 ± 1.32	36.17	Lemont
	晚稻	13.33 ± 1.09	307.00 ± 30.33	271.67 ± 28.43	88.49 ± 2.74	18.40 ± 0.84	39.67	

(续表)

编号	类别	有效穗数 / 穗	颖花数 / (个 / 穗)	实粒数 / (粒 / 穗)	结实率 / %	千粒质量 / g	单株产量 / g	供体亲本
GQL263	中稻	10.33 ± 0.97	225.00 ± 32.27	206.00 ± 24.47	91.56 ± 2.94	22.07 ± 1.00	35.67	Lemont
	晚稻	14.67 ± 1.05	231.33 ± 25.51	177.67 ± 17.69	76.80 ± 4.26	21.48 ± 1.26	35.33	
GQL297	中稻	13.67 ± 1.33	248.67 ± 35.51	137.33 ± 20.21	76.87 ± 5.06	21.21 ± 0.71	35.67	Lemont
	晚稻	16.00 ± 1.46	261.00 ± 26.60	218.33 ± 19.91	83.65 ± 3.32	18.60 ± 0.54	32.33	
GQL418	中稻	13.00 ± 1.23	221.67 ± 19.88	173.67 ± 15.50	78.35 ± 4.42	17.75 ± 1.07	35.00	Dular
	晚稻	15.00 ± 1.09	309.33 ± 34.44	237.00 ± 30.55	76.62 ± 3.99	18.52 ± 1.27	44.50	
GQL450	中稻	10.33 ± 1.07	307.00 ± 25.99	224.67 ± 21.08	73.18 ± 4.23	23.69 ± 1.03	39.17	Dular
	晚稻	16.00 ± 1.24	259.67 ± 26.43	194.00 ± 17.75	74.71 ± 3.52	25.00 ± 1.54	50.17	
GQL460	中稻	9.33 ± 0.99	300.33 ± 25.50	235.33 ± 21.03	78.36 ± 5.13	20.96 ± 0.99	36.83	Dular
	晚稻	15.33 ± 1.02	297.33 ± 27.93	212.33 ± 25.00	71.41 ± 6.00	21.15 ± 0.82	32.50	
GQL627	中稻	18.00 ± 1.33	225.67 ± 25.55	200.00 ± 21.07	88.63 ± 3.21	18.30 ± 0.77	50.67	N22
	晚稻	14.67 ± 1.15	275.33 ± 18.84	234.33 ± 15.57	85.11 ± 2.47	18.09 ± 0.96	34.50	
GQL636	中稻	15.67 ± 1.04	220.00 ± 20.00	188.67 ± 16.63	85.76 ± 3.33	23.43 ± 1.27	42.83	N22
	晚稻	9.67 ± 0.96	280.33 ± 26.42	221.00 ± 23.09	78.83 ± 3.50	22.61 ± 1.57	35.67	
GQL641	中稻	12.00 ± 1.11	305.67 ± 28.89	226.67 ± 23.34	74.15 ± 5.07	18.67 ± 0.56	38.83	N22
	晚稻	8.67 ± 1.00	345.33 ± 26.37	257.67 ± 21.00	74.61 ± 4.21	17.35 ± 0.84	40.33	
GQL681	中稻	13.67 ± 1.24	214.33 ± 20.24	184.67 ± 17.25	86.16 ± 3.27	18.89 ± 0.88	37.17	N22
	晚稻	14.00 ± 1.38	214.33 ± 24.43	152.67 ± 21.07	71.23 ± 2.74	18.88 ± 0.64	36.17	
GQL694	中稻	16.67 ± 1.25	255.33 ± 30.38	213.33 ± 23.47	83.55 ± 3.07	21.20 ± 1.03	43.50	N22
	晚稻	15.33 ± 1.01	195.33 ± 21.56	161.33 ± 17.62	82.59 ± 1.37	23.62 ± 1.27	41.50	
GQL700	中稻	13.33 ± 1.09	256.67 ± 27.49	230.33 ± 26.42	89.74 ± 2.00	19.44 ± 1.02	38.17	N22
	晚稻	14.00 ± 1.32	286.33 ± 35.57	217.33 ± 30.87	75.90 ± 4.71	19.29 ± 1.29	33.50	

3 讨论与结论

得益于特异种质资源的发掘和利用,水稻2次绿色革命促使水稻产量大幅提高。其中第一次绿色革命源于广东矮秆种质资源的发掘和利用,第二次绿色革命源于海南野败材料的发现。目前水稻育种中比较热门的籼粳交材料的创制和利用也是得益于广亲和材料的发掘及其基因的克隆^[4]。但是,近三十年来,水稻品种同质化十分严重,遗传背景十分狭窄,导致水稻产量增长缓慢。例如,江苏省农业科学院粮食作物研究所王才林等早期以关东194、武香粳14和武粳13等为核心亲本,选育出了南粳46、南粳5055、南粳9108、南粳2728等高产软米品种^[7]。但这些品种的产量相近,无法进一步提升。近年来,他们通过引进其他类型的种质资源,拓宽遗

传基础,选育出了南粳5718、南粳58等产量更高的优质粳稻品种。由黄华占为亲本选育的103个水稻品种(或不系)均源于籼粳交(数据源于中国水稻数据中心)。其中,27个品种参试时以黄华占为对照,仅福稻88产量超过黄华占11.5%,6个品种的产量超过黄华占5%以上,还有2个品种较黄华占减产。

本研究以黄华占为受体,Lemont、Dular和N22为供体,通过回交育种的方法,构建了3套导入系群体,分别含有186、172和154个株系。由于引入了其他亚种的基因,拓宽了黄华占的遗传背景。虽然3个供体亲本的每穗实粒数与黄华占相似,每穗颖花数少于黄华占,但3个供体基因的引入,使得导入系的每穗颖花数和每穗实粒数整体得到了提高。最终,我们筛选到14份高产导入系材料,这些

导入系产量提高主要得益于有效穗数、每穗颖花数、每穗实粒数和千粒质量增加。GQL216和GQL627的结实率在中稻和晚稻季节均保持在85%以上,结实率较高。

参考文献:

- [1] 吕文恺,胡 慧,欧小雪,等. 世界水稻核心种质在荆州的适应性初探及高产种质资源筛选[J]. 中国稻米,2018,24(2): 19–23.
- [2] 周少川,李 宏,黄道强,等. 国标一级优质稻品种黄华占的选育及应用[J]. 湖北农业科学,2012,51(10):1960–1964.
- [3] ZHENG T Q,XU J L,LI Z K,et al. Genomic regions associated with milling quality and grain shape identified in a set of random introgression lines of rice (*Oryza sativa* L.)[J]. Plant Breeding,2007,126(2):158–163.
- [4] YANG J Y,ZHAO X B,CHENG K,et al. A killer–protector system regulates both hybrid sterility and segregation distortion in rice[J]. Science,2012,337(6100):1336–1340.
- [5] MACKILL D J,COFFMAN W R,RUTGER J N. Pollen shedding and combining ability for high temperature tolerance in rice[J]. Crop Science,1982,22(4):730–733.
- [6] WANG P,ZHOU G L,CUI K H,et al. Clustered QTL for source leaf size and yield traits in rice (*Oryza sativa* L.)[J]. Molecular Breeding,2012,29(1):99–113.
- [7] 王才林,张亚东,赵春芳,等. 江苏省优良食味粳稻的遗传与育种研究[J]. 遗传,2021,43(5):442–458.

Yield Improvement of Xian(*Indica*) Rice Variety Huanghuazhan by Backcross Breeding

XU Yongle¹, LI Lincong¹, ZHOU Qiongyu¹, SUN Haowen¹, WEI Linxin¹, YUAN Simeng¹, XU Junying²,
TIAN Yu³, QIU Xianjin², HU Hui¹

[1. College of Arts and Sciences, Yangtze University, Jingzhou 434020, China; 2. Hubei Key Laboratory of Waterlogging Disaster and Agricultural Use of Wetland / Key Laboratory of Green and Efficient Production of Crops in the Middle Reaches of the Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs (Co-constructed by Ministry and Province), Yangtze University, Jingzhou 434025, China; 3. Yichang Academy of Agricultural Sciences, Yichang 443004, China]

Abstract: Huanghuazhan is a conventional xian (*indica*) rice variety with the largest cultivation area in the Yangtze River Basin in recent years. To enhance its yield potential, three sets of introgression line populations were developed by backcross breeding strategy using Huanghuazhan as the recipient parent, and tropical geng (*japonica*) variety Lemont, Aus varieties Dular and N22 as donor parents. These populations consisted of 186,172 and 154 lines, respectively. There were significant differences in some yield traits between the donor parents and Huanghuazhan. The yield and its related traits of the three sets of introgression lines showed continuous variation, among which spikelet number per panicle and grain number per panicle were generally higher than those of Huanghuazhan. A total of 14 high-yield introgression lines were selected, most of which have higher effective panicle number, spikelet number per panicle, grain number per panicle and thousand-grain weight compared with Huanghuazhan. Besides, the seed setting ratio of GL216 and GQL627 was above 85% in both medium rice and late rice seasons, showing high seed setting ratio.

Key Words: Huanghuazhan; Backcross; Yield

吕二锁,刘锦川,李涛,等.抗倒、高产藜麦新品种蒙科藜2号的选育及栽培技术[J/OL].大麦与谷类科学,2025,42(6):50-53(2025-08-22).
https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.06.008.

抗倒、高产藜麦新品种蒙科藜2号的选育及栽培技术

吕二锁,刘锦川,李涛,刘娟,赵轩微,叶君,吴晓华*

(内蒙古自治区农牧业科学院,内蒙古呼和浩特010031)

摘要:蒙科藜2号是内蒙古自治区农牧业科学院作物科学研究所采用系统选择与定向选择相结合的方法,培育成的粮饲兼用型藜麦新品种,2025年3月获得内蒙古自治区草品种审定证书(编号:蒙审-144-2024)。蒙科藜2号分枝多,鲜草产量及干草产量均较高,在生产试验中平均鲜草产量、干草产量及种子产量较对照品种差异均达高度统计学意义,其中鲜草产量平均64593.21 kg/hm²,干草产量平均17520.02 kg/hm²,种子产量平均2980.62 kg/hm²。该品种具有矮秆、抗倒、早熟、抗病等特性,适宜在内蒙古呼和浩特市、包头市、乌兰察布市、赤峰市及气候相似的邻近地区春季种植。

关键词:藜麦;新品种;蒙科藜2号;选育

中图分类号:Q949.745.1

文献标志码:B

文章编号:1673-6486-20250053

藜麦(*Chenopodium quinoa* Willd.)为苋科藜属1年生双子叶草本植物^[1],又称为南美藜、奎奴亚藜、印第安麦、灰米、金谷子等^[2],主要起源于南美洲安第斯山区,其株高1~3 m,根系入土深,多在高海拔地区种植栽培,具有耐干旱、耐盐碱、耐寒及耐瘠薄等生长特性,为边缘土壤的开发利用提供了更多的作物选择^[3-4]。藜麦籽粒中含有多种矿物质、氨基酸和维生素等营养成分,具有均衡补充人体所需营养、增强身体机能及辅助治疗等功效,尤其适用于心脏病、高血糖、高血压和高血脂等人群食用^[5]。藜麦在国际上也被誉为“粮食之母”“未来的食物”,也是素食主义者的首选食物^[6-7]。

藜麦自身的生物学特性使其具有较强的适应能力,不仅可以在较为干旱、寒冷以及贫瘠地区生长,还是盐碱地区极具潜力的一种植物,且能提升生物多样性^[8]。内蒙古地域辽阔,生态类型丰富,能很好地满足藜麦对生态条件的要求。因此,藜麦是内蒙古自治区重要的优势特色作物。2024年内蒙古自治区的藜麦种植面积近1万hm²,占全国面积的50%以上。针对自治区藜麦品种缺乏,以优质、粮草双高为主要育种目标,以内蒙古乌兰察布市生产用

种“条藜2号”为原始材料,采用系统选择法选育出优质、高产、适口性好、适应性强的粮饲兼用型藜麦新品种——蒙科藜2号,为内蒙古乃至我国藜麦产业发展提供新的品种支撑,该品种在内蒙古东、中、西部及邻近地区具有广泛的推广应用前景。

1 蒙科藜2号选育经过

蒙科藜2号(红棕色籽粒,代号20QA-016-1)是以内蒙古中西部地区藜麦生产用种“条藜2号”(白藜麦)为原始材料。在对农民自留种进行栽培纯化的过程中,根据育种目标,选择田间表现优良的单株和变异株共计36株,进行单收单脱、考种与评价,在选择的变异株中只有1株籽粒为红棕色,其余单株的籽粒均为乳白色。对特色籽粒株系群体进行单株选择和优系鉴定比较试验,编号为20QA-016-1(籽粒红棕色)的优系以株型、植株繁茂性、产量性状、抗逆性、整齐度、稳定性等方面综合表现较好出圃。2019—2024年,通过北育南繁加代,完成单株选择、优系鉴定比较试验、区域试验、生产示范等过程,最后培育成优质、丰产、田间综合表现较好、宜机收的粮草兼用型早熟藜麦新品种。

2020—2021年在呼和浩特市和乌兰察布市进行品系比较试验,地上部生物量以及综合性状均表现良好;2022—2023年在乌兰察布市四子王旗、呼和浩特市、赤峰市克什克腾旗进行区域试验;

收稿日期:2025-05-15;修回日期:2025-07-31。

基金项目:内蒙古农牧业创新基金(2023CXJJN09)。

作者简介:吕二锁(1986—),男,博士,副研究员,主要从事藜麦遗传育种及栽培技术研究。Email: lversuo198249@163.com。

* 通信作者:吴晓华(1963—),女,研究员,主要从事藜麦遗传育种研究。Email: xhw597@163.com。

2023—2024年在赤峰市克什克腾旗、乌兰察布市四子王旗、包头市达茂旗进行多年多点生产示范。具体选育流程见图1。

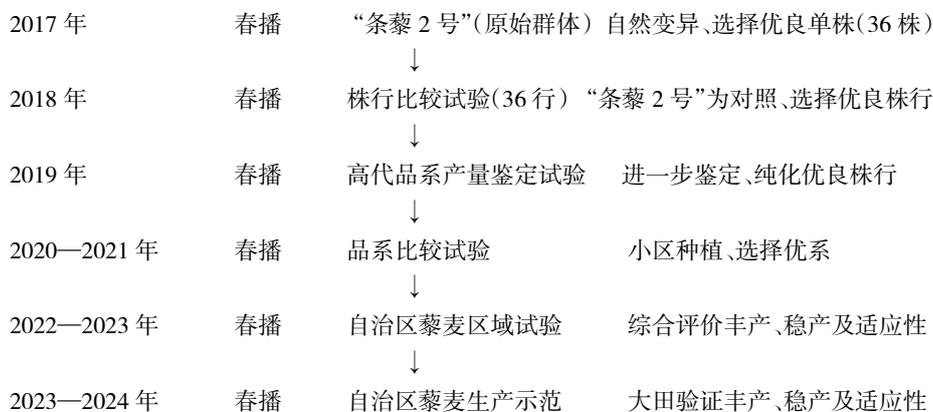


图1 蒙科藜2号选育图

2 蒙科藜2号的主要特征特性

2.1 生物学性状

蒙科藜2号为粮饲兼用型藜麦新品种,株高为1350~1650cm,株型紧凑,整齐,分枝数10~18个/株,茎叶茂盛,茎秆粗壮,直径1.6~2.2cm;叶鸭掌状、叶色绿,叶缘呈不规则波浪锯齿,叶面平展;根系发达;中抗倒伏;圆锥花序,主穗长25~40cm,穗型紧凑。蒙科藜2号籽粒红棕色,扁圆形,药片状,千粒质量3.5~4.0g;全生育期95~110d,刈割期75~85d。

2.2 品质特性

蒙科藜2号为苋科藜属1年生双子叶草本植物,具有较高的饲用价值,藜麦全株乳熟期粗灰分含量(质量分数,下同)12.2%,粗蛋白含量17.10%,粗脂肪含量2.70%,粗纤维含量25.8%,酸性洗涤纤维含量33.2%,中性洗涤纤维含量41.2%,总磷含量0.24%,钙含量0.71%,可溶性总糖含量72g/kg。

2.3 抗病性

蒙科藜2号中抗叶斑病、霜霉病、茎腐病,抗旱、耐瘠薄、适应性强。

2.4 产量表现

由表1可知,蒙科藜2号在品种比较试验中平均鲜草产量68734.26kg/hm²,较对照陇藜4号增产23.02%,较原始材料条藜2号增产10.25%;平均干草产量19056.24kg/hm²,较对照陇藜4号增产23.45%,较原始材料条藜2号增产10.64%;平均种子产量3230.57kg/hm²,较对照陇藜4号增产5.42%,较原始材料条藜2号增产15.65%。

蒙科藜2号在区域试验中平均鲜草产量

64136.34kg/hm²,较对照稼祺100增产14.75%,较原始材料条藜2号增产9.84%;平均干草产量18498.40kg/hm²,较对照稼祺100增产14.25%,较原始材料条藜2号增产9.36%;平均种子产量3240.49kg/hm²,较对照稼祺100增产3.87%,较原始材料条藜2号增产11.02%。

蒙科藜2号在生产试验中平均鲜草产量64593.21kg/hm²,较对照稼祺100增产12.62%,较原始材料条藜2号增产8.52%;平均干草产量17520.02kg/hm²,较对照稼祺100增产14.08%,较原始材料条藜2号增产10.48%;平均种子产量2980.62kg/hm²,较对照稼祺100增产5.75%,较原始材料条藜2号增产10.93%。

3 蒙科藜2号栽培技术要点

3.1 播种

在日均气温稳定在5℃以上时进行播种(一般为4月下旬至5月下旬),尽量使花期和成熟期避开雨季。播种方式可采用覆膜穴播或露地穴播、条播等方式进行。在种子活力较高的条件下,蒙科藜2号播种量为0.25~0.40kg/667m²,一般采用穴播时,每穴4~6粒;行距30~60cm,株距10~20cm;播种深度1~3cm,播种后适当镇压,使种子与土壤紧密结合,以利于出苗。

3.2 合理施肥

藜麦出苗对水分依赖较大,播前应做好灌溉,干旱地区需根据墒情或遇雨抢墒播种。结合整地,施足底肥,若前茬作物施用除草剂,需加大翻耕深

度。施足底肥,一般施农家肥 1.5~3.0 t/667 m²,化肥以磷酸二铵 12~18 kg/667 m²、尿素 5.0 kg/667 m²、硫酸钾 3~5 kg/667 m² 作基肥,东部旱区可用复合

肥(N、P₂O₅、K₂O 的质量比为 15:20:10,总养分(质量分数≥45%)15~20 kg/667 m² 作基肥。

表 1 蒙科藜 2 号产量结果分析

试验类别	项目	申报品种产量/(kg/hm ²)	对照品种产量/(kg/hm ²)	较对照增产/%	对照品种
品比试验	鲜草	68 734.26 aA	55 870.26 cC	23.02	陇藜 4 号
			62 341.54 bB	10.25	条藜 2 号
	干草	19 056.24 aA	17 223.83 bB	23.45	陇藜 4 号
			15 436.48 cC	10.64	条藜 2 号
	种子	3 230.57 aA	3 064.56 bB	5.42	陇藜 4 号
			2 793.30 cC	15.65	条藜 2 号
区域试验	鲜草	64 136.34 aA	55 890.14 cC	14.75	稼祺 100
			58 389.12 bB	9.84	条藜 2 号
	干草	18 498.40 aA	16 191.86 cC	14.25	稼祺 100
			16 915.89 bB	9.36	条藜 2 号
	种子	3 240.49 aA	3 119.89 bB	3.87	稼祺 100
			2 918.78 cC	11.02	条藜 2 号
生产试验	鲜草	64 593.21 aA	57 356.89 cC	12.62	稼祺 100
			59 522.31 bB	8.52	条藜 2 号
	干草	17 520.02 aA	15 357.60 cC	14.08	稼祺 100
			15 858.42 bB	10.48	条藜 2 号
	种子	2 980.62 aA	2 818.46 bB	5.75	稼祺 100
			2 686.99 cC	10.93	条藜 2 号

注:方差分析采用新复极差法;表中同行数据后不同小写字母、大写字母分别表示差异有统计学意义($P < 0.05$)、高度统计学意义($P < 0.01$)。

3.3 田间管理

藜麦目前没有专用除草剂,以人工或机械除草为主。建议整个生育期中耕培土 2~3 次,中耕深度以松土而不损伤根系为原则,在苗期(5~6 叶或株高 10~20 cm)时进行第 1 次除草培土,初花期(株高 40 cm 左右)时进行第 2 次中耕除草培土,第 3 次中耕除草根据藜麦生长和杂草情况灵活实行。若覆膜栽培可按照上述时期清理膜间与穴孔中的杂草。

坚持“农业防治、物理防治为主,化学防治为辅”的原则,重点防治藜麦霜霉病、叶斑病、根(茎)腐病、跳甲、蛴象、草地螟等常见病虫害。选择抗病品种是防治病害发生的有效途径之一,并在播种前进行种子消毒处理,土传病害或地下害虫频发的地区进行种子包衣;地上害虫采用茎叶喷施杀虫剂 8% 高效氯氰菊酯 25 mL/667 m² 或 10% 三氟氯氰菊

酯 20 mL/667 m² 等,对水 15.0 kg/667 m² 茎叶喷施防治;若预防根蛆发生,主要采取农业措施防治,如及早耕翻土地、不施用未经腐熟的粪肥和饼肥,在发现种蝇后及时采用灌水等措施,化学防治可施用 40% 乐果乳油等农药。

3.4 适时收获

因藜麦种子活性较强,若成熟期收获不及时,籽粒遭遇连降雨极易使穗发芽,导致籽粒品质降低。因而在藜麦植株叶片变红或变黄、叶片多数脱落、茎秆开始变干、种子进入蜡熟后期时,及时收获,防止雨淋受潮。为保证藜麦品质,收获前须将病穗、杂株去除,收割后可及时拉运摊晒,防霉烂、变质,可采用人工收割或联合收割机收获,脱粒后及时晾晒或烘干,当籽粒含水量≤13%时清选、打包入库,贮藏于通风干燥处,避免受潮霉变。

参考文献:

- [1] 黄杰,杨发荣,刘文瑜,等. 藜麦新品种陇藜3号选育报告[J]. 农业科技与信息,2020(15):5-7,10.
- [2] 向永刚,白静,王雪飞,等. 黑藜品种冀藜5号选育技术研究[J]. 农业技术与装备,2023(5):26-27,30.
- [3] 王迪,刘瑞香,郭占斌,等. 41份藜麦种质材料的主要农艺性状研究[J]. 绿色科技,2022,24(11):5-9.
- [4] 吕二锁,吴晓华,刘志萍,等. 藜麦种质资源氨基酸组成及营养价值分析[J]. 种子,2025,44(1):112-117.
- [5] 李荣波,李昌远,李长亮,等. 藜麦:小杂粮作物的后起之秀[J]. 中国农技推广,2017,33(10):14-17.
- [6] 马成云. 临夏州藜麦种植现状及发展建议[J]. 农业科技与信息,2021(7):51-53.
- [7] 陈翠萍,闫殿海,左皓南,等. 青海47份藜麦种质资源农艺性状分析[J]. 青海大学学报,2021,39(4):18-25.
- [8] JACOBSEN S E, MUJICA A, JENSEN C R. The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors [J]. Food Reviews International,2003(19):99-109.

Breeding and Cultivation Techniques of New Lodging-resistant and High-yield Quinoa Variety Mengkeli No.2

LYU Ersuo, LIU Jinchuan, LI Tao, LIU Juan, ZHAO Xuanwei, YE Jun, WU Xiaohua
(Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, China)

Abstract: Mengkeli No.2 is a new grain-forage quinoa cultivar which was bred by Institute of Crop Science of Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences through pedigree breeding method and directional selection. In March 2025, it obtained the certificate of grass variety approval in Inner Mongolia Autonomous Region (Number: Mengshen -144-2024). It has many branches, and high fresh grass yield and hay yield. In the production test, the average fresh grass yield, hay yield and seed yield were significantly different from those of the CK. The average fresh grass yield was 64 593.21 kg/hm², the average hay yield was 17 520.02 kg/hm², and the average seed yield was 2 980.62 kg/hm². It has the characteristics of dwarf, lodging resistance, early maturity and disease resistance. It is suitable for spring planting in Hohhot, Baotou, Ulanqab, Chifeng and neighboring provinces with similar climate in Inner Mongolia.

Key Words: Quinoa; New variety; Mengkeli No.2; Breeding

(上接第15页)

Investigation and Response Strategies for Extraordinary Drought in Wheat Fields

GE Zhaojian¹, XU Tao², ZHANG Junxi¹, HUANG Chengyu³, GU Chunrong², HU Jixiang¹, JIANG Yingjie¹
(1. Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences, Yancheng 224002, China;
2. Yancheng Agricultural Science and Technology Vocational College, Yancheng 224051, China;
3. Yandu District Meteorological Bureau of Yancheng City, Yandu 224005, China)

Abstract: In response to the rare persistent drought affecting wheat fields in the Yancheng region of Jiangsu from winter 2024 to spring 2025, this study combined field investigations, in-situ observations, and literature analysis to systematically investigate the effects of drought stress on various growth stages of wheat and response strategies. The results showed that prolonged drought significantly negatively impacted wheat growth and development, mainly resulting in uneven seedling growth, a substantial decrease in effective tillering, and ultimately a decline in grains per spike. Comprehensive comparison of drought resistance techniques showed that the optimal timing for irrigation was during the wheat jointing stage. In terms of irrigation methods, the order was sprinkler irrigation > watering irrigation > furrow irrigation > flood irrigation > soaking irrigation. The appropriate irrigation amount should be controlled between 40 mm and 60 mm. The findings of this study can provide concrete technical guidance for drought resistance, and offer valuable references for drought management in wheat fields within Jiangsu Province and similar ecological areas.

Key Words: Wheat drought; Growth effects; Irrigation strategies; Yancheng region

路晶馨,吕超,范超,等. 优质高产多抗啤酒大麦品种扬农啤 14 的选育及栽培技术[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(6):54-59(2025-09-16). <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.06.009>.

优质高产多抗啤酒大麦品种扬农啤 14 的选育及栽培技术

路晶馨¹,吕超¹,范超²,郭宝健¹,朱娟¹,王菲菲¹,郭世平²,朱江胜^{2*},许如根^{1*}

(1. 扬州大学农学院,江苏扬州 225009;2. 江苏省农垦麦芽有限公司,江苏射阳 224300)

摘要:扬农啤 14(品系代号“苏 B1601”)是由扬州大学大麦研究所利用系谱法从“苏啤 3 号×扬农啤 10 号”杂交组合中选育而成。该品种为春性二棱皮大麦,株高 85 cm 左右,株型较紧凑,茎秆弹性及耐肥抗倒性好;幼苗半直立,叶色深,叶片较长,分蘖力强,成穗率高,有效穗数 60 万穗/667 m²左右,穗层整齐度好,穗型中等偏大,每穗实粒数平均 24~30 粒,籽粒淡黄色、饱满,千粒质量 41.00 g 左右,外观啤酒品质好。该品种高抗大麦黄花叶病和白粉病,中抗大麦赤霉病、条纹病和黄矮病,耐盐、耐寒性好,全生育期 200 d 左右。2019—2021 年度该品种参加江苏省大麦品系多点鉴定试验,2 年多点试验合并平均产量为 543.70 kg/667 m²,比对照扬农啤 5 号增产 8.33%,于 2022 年 8 月 18 日通过国家非主要农作物品种登记,登记号:GPD 大麦(青稞)(2022)320017,适宜于江苏省冬大麦区推广。2022—2024 年度扬农啤 14 参加湖北省大麦品系多点鉴定试验,2 年平均产量 312.95 kg/667 m²,比对照华大麦 9 号增产 3.17%。2025 年 3 月 26 日经农业农村部公告(第 894 号)公示,扬农啤 14 适宜在江苏、湖北冬大麦区种植,证书编号:2025-05-0174。

关键词:啤酒大麦;品种;优质;高产;多抗

中图分类号:S512.3

文献标志码:B

文章编号:1673-6486-20250071

江苏是我国最大的冬啤酒大麦生产基地^[1],江苏啤酒大麦生产主要集中在沿海地区^[2]。20 世纪 80 年代中期,盐城市啤酒大麦种植进入高峰期,种植面积达 16.7 万 hm²^[3]。该地区也是我国麦芽集中加工基地^[4],年需啤酒大麦原料 130 万 t 以上。扬州大学大麦研究所是国内开展啤酒大麦品种选育较早的单位之一,为进一步加强国产优质啤酒大麦原料的生产和供给,助力江苏沿海地区啤酒大麦产业的健康发展^[5],根据啤酒麦芽对啤酒大麦品质的要求,结合江苏沿海地区生态和生产条件的变化,扬州大学大麦研究所制定了以高产为基础、以多抗为保障、以优质为目标的啤酒大麦育种计划^[6]。通过对种质资源的精准鉴定筛选,利用聚合杂交技术将高产、优质、多抗等性状聚合,加大不同世代的选择精准度及稳定品系综合性状鉴定的精确度,培育高

产、优质、多抗啤酒大麦品种^[7],并在生产中加以应用。

1 扬农啤 14 品种来源及选育过程

1.1 品种来源

扬农啤 14(品系代号“苏 B1601”)是由扬州大学大麦研究所利用系谱法从“苏啤 3 号×扬农啤 10 号”杂交组合中选育而成。母本苏啤 3 号为江苏沿海地区农业科学研究所育成的啤酒大麦品种,曾是江苏省大麦新品系鉴定试验对照品种及江苏主推大麦品种;父本扬农啤 10 号为扬州大学大麦研究所育成啤酒大麦品种。

1.2 选育过程

2011 年春季配制杂交种,2012 年夏收获 F₁,籽粒中大,较饱满,株高 90 cm,熟期适中,综合抗性好,高抗黄花叶病。2013—2015 年度在 F₂、F₃、F₄ 世代中,根据啤酒大麦育种目标,分别选择不同数量的优良单株。2016 年度 F₅ 世代,株系趋于纯合,从中选择优良株行(田间编号 5066)混收,株行产量 0.675 kg,较相邻对照品种扬农啤 5 号增产 7.6%。2016—2017 年度以品系代号“苏 B1601”参加扬州大学大麦研究所大麦品系比较试验,平均产量为

收稿日期:2024-06-23;修回日期:2025-09-02。

基金项目:国家大麦青稞产业技术体系专项(CARS-05-02A-09)。

作者简介:路晶馨(2001—),女,硕士研究生,主要从事啤酒大麦生产技术及品质分析研究。Email:1312796855@qq.com。

* 通信作者:朱江胜(1973—),男,高级农艺师,主要从事啤酒大麦原料生产与麦芽加工研究,Email:1932659234@qq.com;许如根(1967—),男,博士,教授,主要从事大麦遗传育种及配套生产技术研究,Email:rgxu@yzu.edu.cn。

466.16 kg/667 m², 比对照扬农啤 5 号(400.59 kg/667 m²) 增产 16.37%, 差异具高度统计学意义。2019—2021 年度该品种参加江苏省大麦品系多点鉴定试验, 2 年平均产量为 543.70 kg/667 m², 比对照扬农啤 5 号增产 8.33%, 于 2022 年 8 月 18 日通过国家非主要农作物品种登记, 登记号: GPD 大麦(青稞)(2022)

320017, 在江苏推广。2022—2024 年度扬农啤 14 参加湖北省大麦品系多点鉴定试验, 2 年平均产量 312.95 kg/667 m², 比对照华大麦 9 号增产 3.17%。2025 年 3 月 26 日经农业农村部公告(第 894 号)公示, 扬农啤 14 适宜在江苏、湖北冬大麦区种植, 证书编号: 2025-05-0174。具体选育过程见图 1。

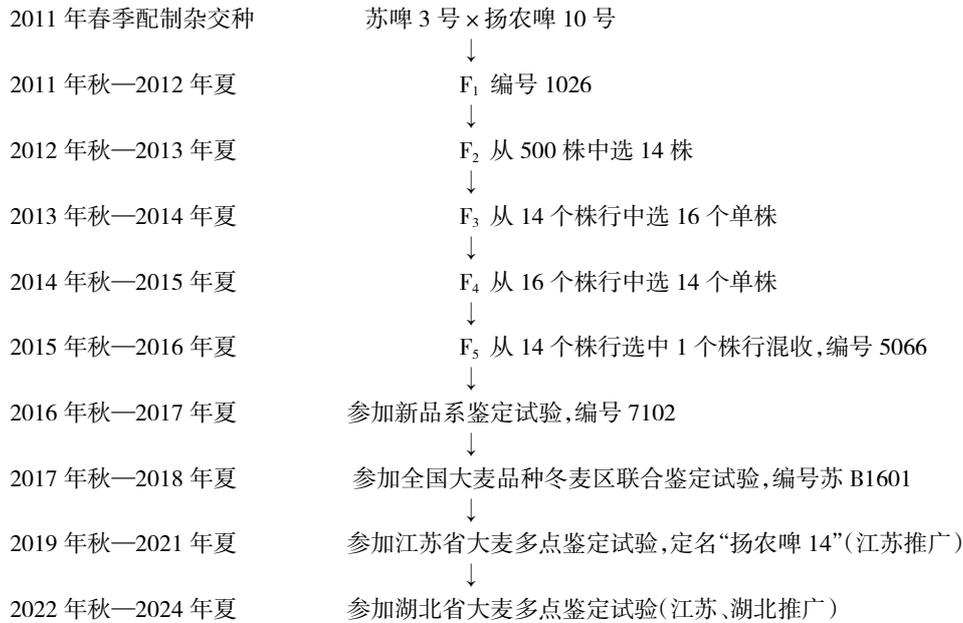


图 1 扬农啤 14 选育系谱图

2 扬农啤 14 特征特性

由表 1、表 2、图 2 可知, 扬农啤 14 属春性二棱皮大麦, 平均株高 85 cm 左右, 株型较紧凑, 茎秆弹性好, 耐肥抗倒性好。该品种幼苗半直立, 叶色深, 叶片较长, 幼苗分蘖力强, 成穗率高, 有效穗数 60 万穗 /667 m² 左右, 穗层整齐度好, 穗型中等偏大, 每穗实粒数平均 24 ~ 30 粒, 籽粒淡黄色、饱满,

千粒质量 41.00 g 左右, 外观啤用品质好。该品种全生育期 180 ~ 210 d(因地区和播期而异), 比对照扬农啤 5 号迟 1 ~ 2 d, 比主体推广品种扬农啤 7 号早 1 ~ 2 d。据江苏省农垦麦芽有限公司测定, 扬农啤 14 主要麦芽品质指标均达到中华人民共和国轻工行业标准 QB/T 1686—2008《啤酒麦芽》优级麦芽品质标准(表 3)。

表 1 2019—2020 年度江苏省大麦多点鉴定试验扬农啤 14 生育进程及株高

试点	播种期 (月 - 日)	出苗期 (月 - 日)	抽穗期 (月 - 日)	成熟期 (月 - 日)	全生育期 / d	株高 / cm
江苏沿江地区农业科学研究所	11-11	11-24	03-23	05-16	187	88.0
扬州大学农学院	10-25	11-05	03-16	05-02	190	84.0
江苏省方强农场农科所	11-11	12-19	04-06	05-21	154	73.8
江苏沿海地区农业科学研究所	11-05	11-14	03-30	05-17	185	84.0
连云港市农业科学院	10-29	11-06	04-04	05-25	208	69.0
江苏省临海农场农科所	10-29	11-06	03-29	05-20	204	74.7
江苏省琼港农场农科所	10-30	11-10	03-23	05-11	183	93.0
江苏省五图河农场农科所	10-24	11-02	03-28	05-25	213	60.2

表2 2020—2021年度江苏省大麦多点鉴定试验扬农啤14生育进程及株高

试点	播种期 (月-日)	出苗期 (月-日)	抽穗期 (月-日)	成熟期 (月-日)	全生育期/ d	株高/ cm
扬州大学农学院	10-27	11-03	03-15	05-11	189	84.8
江苏沿海地区农业科学研究所	10-30	11-06	04-06	05-21	196	80.6
江苏省弶港农场农科所	11-10	11-17	04-02	05-19	183	93.1
江苏省方强农场农科所	10-30	11-10	03-23	05-19	173	70.8
连云港市农业科学院	10-26	11-02	04-05	05-25	211	87.0
江苏沿江地区农业科学研究所	10-27	11-05	03-14	05-15	201	78.6
江苏省临海农场农科所	10-28	11-05	03-29	05-20	205	74.3
江苏省滨淮农场农科所	10-25	11-02	04-05	05-24	211	82.7
江苏省五图河农场农科所	10-25	11-02	04-05	05-26	213	81.3



图2 扬农啤14成熟期植株形态、穗型(左)及籽粒(右)

表3 扬农啤14麦芽品质指标及评价*

指标性状	QB/T 1686—2008		扬农啤14	
	优级指标	1级指标	指标值	评级
色度/EBC	≤8.0	≤9.0	5.7	优级
浸出物质量分数/%	≥79.0	≥77.0	81.2	优级
α-氨基氮质量分数/(mg/kg)	≥1 500	≥1 400	1 740	优级
库尔巴哈值/%	40~45	40~45	42.9	优级
糖化力	≥260	≥240	277	优级

*注:该指标由江苏省农垦麦芽有限公司测定。

3 扬农啤 14 试验产量表现

由表 4 可知,2019—2020 年度扬农啤 14 参加江苏省大麦多点试验平均产量 566.86 kg/667 m²,比对照扬农啤 5 号平均增产 12.20%,达极显著水平,居第 1 位,8 个试点全部增产,增产幅度为 5.77%~

26.29%,产量潜力在 600 kg/667 m² 以上。

由表 5 可知,2020—2021 年度扬农啤 14 平均产量 520.53 kg/667 m²,比 CK 扬农啤 5 号平均增产 4.46%,达极显著水平,居第 2 位,9 个试点增产幅度为 -1.88%~13.44%(8 个试点增产),产量潜力在 600 kg/667 m² 以上。

表 4 2019—2020 年度江苏省大麦多点鉴定试验扬农啤 14 穗粒结构及产量表现

试点	穗数 / (万穗 /667 m ²)	穗粒数 / (粒 / 穗)	千粒质量 / g	产量 / (kg/667 m ²)	较 CK 增产 / %	产量位次
江苏沿江地区农业科学研究所	56.6	26.0	42.30	540.72	5.77	1
扬州大学农学院	58.2	28.4	44.85	632.91	10.60	2
江苏省方强农场农科所	64.3	23.7	39.72	602.99	7.15	2
江苏沿海地区农业科学研究所	54.4	28.1	41.37	415.76	5.09	2
连云港市农业科学院	55.5	26.2	35.60	518.16	9.47	1
江苏省临海农场农科所	72.1	24.1	40.66	623.91	24.12	1
江苏省弶港农场农科所	55.3	25.9	45.26	632.14	9.10	1
江苏省五图河农场农科所	60.0	23.7	44.83	568.28	26.29	3
平均	59.6	25.8	41.82	566.86	12.20	1

注:CK 为扬农啤 5 号。表 5 同。

表 5 2020—2021 年度江苏省大麦多点鉴定试验扬农啤 14 穗粒结构及产量表现

试点	穗数 / (万穗 /667 m ²)	穗粒数 / (粒 / 穗)	千粒质量 / g	产量 / (kg/667 m ²)	较 CK 增产 / %	产量位次
扬州大学农学院	52.6	24.7	40.21	488.53	4.81	3
江苏沿海地区农业科学研究所	63.4	29.4	36.98	437.00	3.64	4
江苏省弶港农场农科所	58.5	23.9	43.58	560.88	0.97	4
江苏省方强农场农科所	57.2	24.2	41.46	527.20	-1.88	6
连云港市农业科学院	60.8	22.8	35.20	465.75	4.97	4
江苏沿江地区农业科学研究所	59.1	26.5	40.00	391.79	0.13	5
江苏省临海农场农科所	63.5	26.5	40.35	566.66	8.83	4
江苏省滨淮农场农科所	58.3	23.4	42.30	580.00	5.22	4
江苏省五图河农场农科所	38.6	21.6	43.48	667.00	13.44	1
平均	56.9	24.8	40.40	520.53	4.46	2

由表 6 可知,2022—2023 年度扬农啤 14 参加湖北省大麦品系多点鉴定试验,平均产量 325.88 kg/667 m²,比对照华大麦 9 号平均增产 2.49%,增产显著,居第 7 位,3 点增产、3 点减产。

由表 7 可知,2023—2024 年度扬农啤 14 平均产量 300.01 kg/667 m²,比对照华大麦 9 号平均增产 3.85%,居第 7 位,4 点增产、1 点减产。

4 扬农啤 14 抗逆性表现

经中国农业科学院植物保护研究所鉴定,扬农啤 14 高抗大麦黄花叶病和白粉病,中抗大麦赤霉病、条纹病和黄矮病(表 8)。扬农啤 14 于 2023—2024 年在江苏省农垦农业发展股份有限公司淮海分公司(淮海农场)四生产区 27 大队北 39 号田(土

壤盐分质量分数 0.2% ~ 0.3%) 创籽粒产量 14 表现出很好的耐盐性和耐寒性。
767.5 kg/667 m² 的高产记录, 田间观察表明扬农啤

表 6 2022—2023 年度湖北省大麦多点鉴定试验扬农啤 14 穗粒结构及产量表现

试点	穗数 / (万穗 /667 m ²)	穗粒数 / (粒 / 穗)	千粒质量 / g	产量 / (kg/667 m ²)	较 CK 增产 / %	产量位次
湖北绿神农业科技有限公司	35.2	26.8	35.70	324.50	2.30	9
湖北省农展中心	38.8	23.1	33.80	296.90	-8.50	5
沙洋农场农科所	35.3	29.8	39.30	332.17	-0.30	10
华中农业大学鄂州试验基地	34.2	28.5	32.90	328.33	8.70	6
湖北省农业科学院	46.3	25.7	37.90	351.87	16.55	2
荆州农业科学院	50.3	18.2	40.90	321.50	-3.80	9
平均	40.0	25.4	36.75	325.88	2.49	7

注:CK 为华大麦 9 号。表 7 同。

表 7 2023—2024 年度湖北省大麦多点鉴定试验扬农啤 14 穗粒结构及产量表现

试点	穗数 / (万穗 /667 m ²)	穗粒数 / (粒 / 穗)	千粒质量 / g	产量 / (kg/667 m ²)	较 CK 增产 / %	产量位次
湖北绿神农业科技有限公司	38.2	24.1	37.10	320.00	3.00	8
湖北省农展中心	37.9	19.1	35.60	245.33	-8.00	11
沙洋农场农科所	37.3	22.1	37.50	322.43	2.68	6
华中农业大学鄂州试验基地	36.8	23.5	36.80	324.33	7.04	5
湖北省农业科学院	53.7	23.9	30.20	287.97	14.55	3
平均	40.8	22.5	35.44	300.01	3.85	7

表 8 扬农啤 14 主要大麦病害抗性鉴定结果

病害种类	抗性级别	鉴定单位
黄花叶病	高抗	中国农业科学院植物保护研究所
白粉病	高抗	中国农业科学院植物保护研究所
赤霉病	中抗	中国农业科学院植物保护研究所
条纹病	中抗	中国农业科学院植物保护研究所
黄矮病	中抗	中国农业科学院植物保护研究所

5 扬农啤 14 栽培技术要点

5.1 精选种子, 适期播种

种子质量是确保扬农啤 14 适宜基本苗的关键, 应选用籽粒饱满、均匀度好、活力和发芽率高的种子。为防止地下害虫及种传性病害对大麦生长的影响, 播前晒种, 并采用包衣剂包衣。扬农啤 14 适宜播种期在江苏淮南地区为 11 月 1—10 日, 淮北地区为 10 月 25 日—11 月 10 日, 湖北为 11 月 5—15 日。

5.2 控制播种量, 提高播种质量

播前测定扬农啤 14 种子的千粒质量、种子净度、种子发芽率, 根据适期播种及该品种适宜基本苗数(15 万 ~ 20 万株 /667 m²), 计算适宜播种量。如播期推迟, 播种量应适当增加。为提高出苗质量, 播前应精细整地, 采用机械条播, 行距为 20 cm 左右, 适宜播种深度控制在 2 ~ 3 cm。

5.3 合理肥水运筹, 确保麦芽品质

作为啤酒大麦原料种植, 扬农啤 14 肥料运筹中氮肥施用量应适当控制, 纯氮在 18 kg/667 m² 左

右(需根据土壤检测结果调整);施用期应适当前移,以基肥为主,3叶1心早施苗肥,倒3叶前施完拔节孕穗肥,基、苗肥与拔节孕穗肥的质量比为8:2。灌浆期可适当进行2~3次的根外追肥,每次磷酸二氢钾用量30 g/667 m²+尿素300 g/667 m²,其中1次加芸苔素内酯10 mL/667 m²,用水量2 L,无人机傍晚喷施。拔节后应确保田间沟系畅通,及时排除田间积水,保持根系活力。

5.4 精准化控,防倒防草防病虫

扬农啤14齐苗后需及时测查田间杂草的种类与基数,针对性选择合适的除草剂,抓住冷尾暖头的气候条件及时进行田间化除,严防低温药害及喷洒不均匀引起的局部药害。春季返青期及时测查化除效果,若效果不佳,及时选用“爱秀”等适合大麦田使用的除草剂进行补救。为防止倒伏,在3~5叶期,早播旺长田块可喷施25%多效唑30~35 g/667 m²;拔节前,可喷施5%烯效唑35~45 g/667 m²或“矮壮丰”70 mL/667 m²。生长后期注意防治赤霉病和蚜虫。

参考文献:

- [1] 吉学成,陈昌银,魏勇,等. 江苏射阳县啤麦发展优势及产业链构建探索[J]. 农业工程技术,2023,43(13):9-10.
- [2] 王春吉,王文彬,周艳. 江苏沿海地区不同大麦品种产量比较研究[J]. 安徽农业科学,2024,52(24):33-34,37.
- [3] 陶红,沈会权,孙雪辉,等. 二棱饲用大麦产量及其与主要构成因素的相关分析[J]. 大麦与谷类科学,2018,35(1):18-22,52.
- [4] 朱昊华. 美国引进大麦品系综合性状鉴定与育种利用研究[D]. 扬州:扬州大学,2022:13.
- [5] 陆军. 767.5公斤! 淮海扬农啤14号创江苏啤酒大麦高产新纪录[J]. 中国农垦,2024(7):6.
- [6] 赵加涛,刘猛道,付正波,等. 大麦新品种保啤麦28号的选育[J]. 中国种业,2024(3):125-127,130.
- [7] 冯宗云,叶少平,刘新春,等. 优质高产多抗广适啤酒大麦新品种川农啤麦1号的选育及高产栽培技术[J]. 大麦与谷类科学,2020,37(1):59-61.

Breeding and Cultivation Techniques of Malting Barley Variety Yangnongpi 14 with High Quality, High Yield and Multiple Resistance

LU Jingxin¹, LYU Chao¹, FAN Chao², GUO Baojian¹, ZHU Juan¹, WANG Feifei¹, GUO Shiping²,
ZHU Jiangsheng², XU Rugen¹

(1. College of Agriculture, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;

2. Jiangsu Agricultural Reclamation Malt Co., Ltd., Sheyang 224300, China)

Abstract: Yangnongpi 14 (line code “Su B1601”) was developed by Barley Research Institute of Yangzhou University using pedigree method from the hybrid combination “Supi No.3 × Yangnongpi No.10”. This variety is spring-type two-row hulled barley variety with a plant height of about 85 cm and a relatively compact plant architecture. It exhibits excellent stem elasticity, fertilizer tolerance, and lodging resistance. Seedlings are semi-erect with deep green foliage and elongated leaves. The variety demonstrates strong tillering capacity and high ear formation rate. The number of effective ears per 667 m² is approximately 600 000. The ears are well-arranged with medium-to-large size. The average filled grains per ear are 24-30. Grains are pale yellow and plump. The thousand-grain weight is about 41.00 g. The variety has excellent malting quality. It exhibits high resistance to barley yellow mosaic virus and powdery mildew, moderate resistance to barley Fusarium head blight, stripe rust, and yellow dwarf disease, along with good salt and cold tolerance. Its whole growth period lasts approximately 200 days. During the 2019-2021 multi-location evaluation trials in Jiangsu Province, the combined average yield over two years was 543.70 kg/667 m², which was 8.33% higher than that of the control variety Yangnongpi No.5. It was registered as a non-major crop variety in China on August 18, 2022, with registration number: GPD Barley (Highland Barley) (2022) 320017. It is suitable for promotion in winter barley-growing regions of Jiangsu Province. From 2022 to 2024, Yangnongpi 14 participated in the multi-location evaluation trials for barley varieties in Hubei Province. The average yield over two years was 312.95 kg/667 m², which was 3.17% higher than that of the control variety Huadamai No.9. Announced in Notice No.894 of Ministry of Agriculture and Rural Affairs of People’s Republic of China on March 26, 2025 (Certificate number: 2025-05-0174), Yangnongpi 14 is suitable for cultivation in winter barley areas of Jiangsu and Hubei provinces.

Key Words: Malting barley; Variety; High quality; High yield; Multiple resistance

周义东,曹转勤,马永周. 高产、优质、多抗新品种华麦 31 的选育及栽培技术[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(6):60–63,68(2025–08–13).

https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.06.010.

高产、优质、多抗新品种华麦 31 的选育及栽培技术

周义东,曹转勤,马永周*

(江苏省大华种业集团有限公司,江苏南京 210017)

摘要: 华麦 31 是江苏省大华种业集团有限公司以携带强筋、赤霉病抗性等优良基因的 H12-33 为母本,与具有高产、广适、抗寒性好的淮麦 22 为父本杂交,采用系谱法选育而成的半冬性优质高产小麦新品种,审定编号为苏审麦 20253005。区域试验结果显示:该品种全生育期 221.1 d,株高 81.4 cm,有效穗数 42.4 万穗/667 m²,穗粒数 39.1 粒/穗,千粒质量 43.9 g,中感赤霉病、纹枯病和叶锈病,高抗条锈病,中抗黄花叶病毒病,品质达到强筋小麦标准。

关键词: 华麦 31;小麦;优质高产;选育;栽培技术

中图分类号: S512.1

文献标志码: B

文章编号: 1673-6486-20250076

小麦是全球重要的粮食作物之一,分布广泛,年种植面积占世界谷物种植总面积的 32%,总产量约占谷物总产量的 30%,对全球粮食安全和经济发展具有深远影响。我国是世界上最大的小麦生产国和消费国,小麦种植面积分别占全国耕地总面积的 22%~30%和粮食作物总面积的 22%~27%,是仅次于水稻、玉米的第三大粮食作物^[1]。近年来,转基因育种、分子标记辅助育种、基因聚合分子育种、基因沉默、基因编辑等现代遗传育种技术在小麦品种改良中广泛应用,显著促进了具有多个实质性抗性性状品种的育种进程^[2]。此外,多个小麦基因组测序计划的完成^[3-4],极大地促进了小麦驯化、进化及重要性状遗传机制的深入解析。在育种实践工作中,育种工作者也越来越重视充分利用现代分子技术解决育种难题。

江苏淮北地区作为重要的小麦产区,长期面临赤霉病高发、倒伏、品质与产量难以协同提升等挑战。为破解这一难题,江苏省大华种业集团有限公司于 2012 年启动战略育种计划,以聚合优质、高产、多抗基因为核心目标,将携带赤霉病主效抗病基因 *Fhb1* 和高分子量麦谷蛋白 5+10 亚基的骨干亲本 H2-33 作为母本与高产广适抗病品种淮麦 22 精心配制杂交组合,开启了高产抗病小麦的系统选

育历程。经过 10 年精研,该品种成功实现了多个优良基因的协同聚合。

1 华麦 31 育种过程

华麦 31 的育种过程充分体现了传统经验与现代基因选择理念的深度融合。其母本 H12-33 携带强筋、赤霉病抗性等优良基因,父本淮麦 22 集聚高产、适应性广、抗寒性好等优点,两亲本强强联合为华麦 31 奠定优质高产抗逆基础。具体的选育过程见图 1。

2 华麦 31 综合表现

2.1 主要农艺性状

华麦 31 半冬性,幼苗半匍匐,叶色绿,分蘖力强,抗寒性较好;株型半紧凑,穗层较整齐,纺锤型穗,长芒,白壳,白粒,硬质;抗倒性强,熟相好。

高效产量结构:“多穗+大粒”协同。由表 1 可知,在 2021—2023 年度区域试验和 2023—2024 年度生产试验中,华麦 31 有效穗数达 41.7 万~43.2 万穗/667 m²,穗粒数 35.5~39.9 粒/穗,千粒质量达 43.3~44.1 g,三者协调,突破高产瓶颈。华麦 31 2 年区域试验平均全生育期 221.1 d,与淮麦 20 相当,稳产性好。

2.2 综合抗性

华麦 31 综合抗病性好,大华种业育种研究院白马湖实验室鉴定表明,其抗性基因聚合成效显

收稿日期:2025-07-02;修回日期:2025-08-08。

作者简介:周义东(1972—),男,农艺师,长期从事小麦、水稻、玉米育种和生产管理。Email: 870800118@qq.com。

* 通信作者:马永周(1986—),男,农艺师,主要从事小麦遗传育种研究。Email: myz306@163.com。

著,携带赤霉病抗性基因 *Fhb1* 和赤霉病抗性QTL位点 *QFhb.caas-5AL*, 含有条锈病抗性基因 *Yr5*、*Yr30*、*Yr75*、*YrZH58* 和条锈病抗性 QTL 位点: *QYrsn.nwafu-3DL*、*QYrsn.nwafu-6BS*。2年病害接种

鉴定(表2)表明:华麦31赤霉病接种严重度分别为3.44、3.05,病情指数分别为2.19、3.47,表现为中感赤霉病(MS),对条锈病达高抗(HR)至免疫(IM),中感(MS)叶锈病和纹枯病,中抗(MR)黄花叶病毒病。

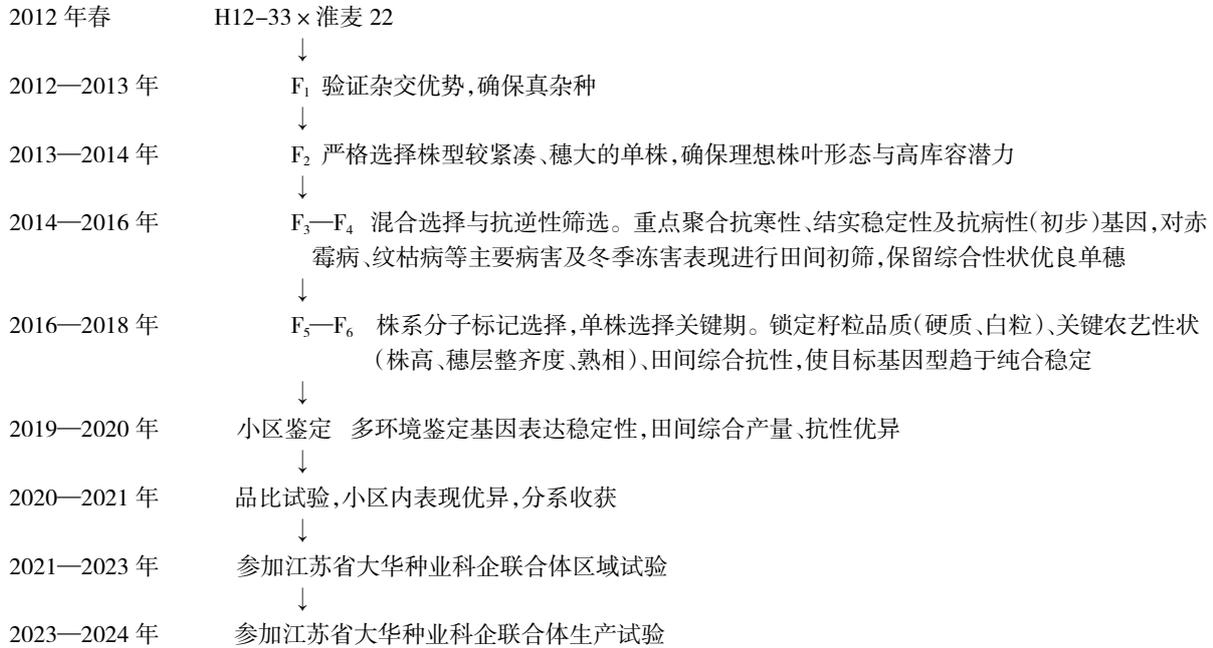


图1 华麦31的选育经过

表1 华麦31主要农艺性状表现

试验组别	全生育期 /d	株高 /cm	有效穗数 / (万穗 / 667 m ²)	穗粒数 / (粒 / 穗)	千粒质量 /g	成穗率 /%
2021—2022年度区域试验	216.6	79.4	43.2	38.4	43.7	37.57
2022—2023年度区域试验	225.6	83.4	41.7	39.9	44.1	39.77
平均	221.1	81.4	42.4	39.1	43.9	38.67
2023—2024年度生产试验	222.0	85.7	42.6	35.5	43.3	38.55

表2 华麦31抗性鉴定结果

试验组别	赤霉病				纹枯病			白粉病		条锈病		叶锈病		黄花叶病毒病	
	单花滴注		自然发病		病情指数	侵染率 /%	抗性评价	病位高度	抗性评价	抗性评价	抗性评价	病情指数	评价		
	严重度	抗性评价	病情指数	抗性评价											
2021—2022年度区域试验	3.44	MS	2.19	MR	31.52	50.00	MS	9.0	HS	HR	MS	1	MR		
2022—2023年度区域试验	3.05	MS	3.47	MS	36.32	68.42	MS	4.0	MR	IM	MS	1	MR		
平均	3.24	MS	2.83	MS	33.92	59.21	MS	6.5	HS	HR	MS	1	MR		

注:IM,免疫;HR,高抗;R,抗病;MR,中抗;MS,中感;S,感病;HS,高感。

2.3 籽粒品质

由表3可知,农业农村部谷物品质中心检测确认华麦31为强筋小麦:2年区域试验容重分别为842.0、839.0 g/L,粗蛋白质量分数分别为15.60%、15.32%,湿面筋质量分数分别为33.8%、34.1%,吸

水量分别为626.0、600.0 mL/kg,稳定时间分别为11.6、9.7 min,最大拉伸阻力分别为546.0、407.0 E.U,拉伸面积分别为101.0、81.0 cm²,2022—2023年硬度指数为62。

2.4 产量表现

华麦 31 高产稳产性好。由表 4 可知,2021—2023 年度该品种参加江苏省大华种业科企联合体区域试验,华麦 31 平均产量 603.79 kg/667 m²,比对照品种淮麦 20 增产 5.70%,2 年共计 18 个试点全

部增产,增产点次率 100%。2023—2024 年度该品种参加江苏省大华种业联合体生产试验,9 个试点华麦 31 平均产量 597.75 kg/667 m²,比对照品种淮麦 20 增产 4.54%,增产点次率 100%,验证了华麦 31 的高产稳产性与广泛适应性。

表 3 华麦 31 品质检测结果

年份	容重 / (g/L)	粗蛋白 质量分数 /%	湿面筋 质量分数 /%	吸水量 / (mL/kg)	稳定时间 / min	最大拉伸阻力 (Rm,135)/E.U	拉伸面积 / cm ²	硬度 指数	品质 类型
2021—2022	842.0	15.60	33.8	626.0	11.6	546.0	101.0	—	强筋
2022—2023	839.0	15.32	34.1	600.0	9.7	407.0	81.0	62	中强筋
平均	840.5	15.46	34.0	613.0	10.7	476.5	91.0	—	强筋

表 4 华麦 31 的试验产量表现

试验组别	产量 / (kg/667 m ²)	较 CK 增 /%	位次	增产点 / 个	总试验点 / 个	增产点率 /%
2021—2022 年度区域试验	607.40	5.33	4	9	9	100
2022—2023 年度区域试验	600.17	6.07	3	9	9	100
平均	603.79	5.70	3	9	9	100
2023—2024 年度生产试验	597.75	4.54	4	9	9	100

3 基因或位点检测

3.1 高产基因群

华麦 31 高产基因群源于双亲含有多个优势粒质量相关基因,如 *TaCwi-A1*、*AGP-L-1B*、*GW2*、*QCl-4A*、*TaGS2-B1*、*TaGS1a*、*TaSus1-7B*,奠定了 600 kg/667 m² 级产量基础。

抗病基因网络:明确聚合了高抗条锈病基因或位点(如 *Yr5*、*Yr30*、*QYr.nwafu-3BS*、*QYrsn.nwafu-3DL*、*QYrsn.nwafu-6BS*、*Yr75*、*YrZH58* 等)、抗叶锈病基因(*Lr67*)。华麦 31 对赤霉病中感,聚合了 *Fhb1*、*QFhb.caas-5AL* 抗性基因,虽未达高抗但有效减缓病害流行速度与严重度。

3.2 优质强筋基因簇

功能基因标记显示,华麦 31 虽然不含决定麦谷蛋白数量和质量的主效基因(如 *Glu-D1* 位点上的 5+10 优质亚基),以及控制籽粒硬度的主效基因(如 *Pina-D1b/Pinb-D1b* 突变型),但是华麦 31 仍旧能达到强筋标准,可能与其携带部分未检测出的优质强筋基因有关。

3.3 抗逆适应基因

华麦 31 通过聚合 *Rht-D1*、*Rht24_AP2*、*Rht24_FAR* 等半矮秆抗倒伏基因,显著提高了综合抗倒性,并

在 2021—2024 年度试验中均未出现倒伏现象,表现了出色的抗逆性和适应性。

4 分子标记辅助选择

华麦 31 选育采用了分子标记辅助选择技术,利用与目标性状紧密连锁的基因位点进行分子标记,在 F₂—F₆ 世代对重点单株进行基因型检测,即可快速筛选出同时携带多个目标有利基因(如抗条锈病基因 + 抗赤霉病基因)的单株,打破高产与劣质、抗病与低产等不利基因连锁,提高选择效率。对抗赤霉病相关基因进行早期、准确筛选,克服田间鉴定受环境影响大的缺点。

5 华麦 31 栽培技术要点

品种的产量和品质主要决定于栽培环境与其遗传特性的协调统一^[9]。为充分发挥华麦 31 的品种优势,提高种植收益,在栽培管理上,要重点做好以下几项工作。

5.1 适期播种,培育壮苗

培育小麦壮苗是实现生育进程与最佳季节同步,形成高质量群体和穗粒质量协调发展夺取高产的

前提和基础。华麦 31 的适宜播期为 10 月 5—20 日,迟播稻茬麦田应适当增加播种量。

5.2 合理密植

华麦 31 分蘖强,成穗率高,平均成穗数为 42 万穗/667 m²,平均每穗结实约 38 粒,千粒质量 44 g 左右。因此,在适宜播期下,基本苗数控制在 18 万~20 万株/667 m²,黏壤土、迟播及肥量少的情況下,基本苗适当略增。

5.3 科学管理肥水

华麦 31 的全生育期总施纯氮量为 16~18 kg/667 m²,其中基肥、拔节肥、孕穗肥按质量比以 4:4:2 为宜,配合施用 P₂O₅ 12 kg/667 m²、K₂O 12 kg/667 m²,并施足有机肥。水是小麦高产的重要物质基础,合理灌排与科学用肥都是提高小麦光能利用率、增加产量的有效手段。田间开好一套沟,确保灌排畅通,达到早能灌、涝能排、渍能降。

5.4 病虫害防治

华麦 31 的病虫害防治要坚持“预防为主,综合防治”的原则。播种后出苗前人工喷施封闭除草剂 10%吡氟酰草胺+20%氟噻草胺(50 g/667 m²)封闭除草,拔节前人工喷施异丙隆 50%粉剂 125 g/667 m²+啶啉草酯 10%乳油 50 mL/667 m²+甲基二磺隆 10%悬浮剂 100 g/667 m²化学除草。扬花前期喷施己唑醇 10 mL/667 m²+丙硫菌唑 40 mL/667 m²+毒死蜱 60 mL/667 m²防治白粉病、赤霉病、纹枯病和虫害,扬花期根据天气情况再喷施 1 次。

6 结论与展望

华麦 31 是江苏省大华种业集团运用传统育种与现代分子育种技术深度融合选育而成的优质高产多抗小麦新品种。该品种聚合了多种优良性

状,主要体现在以下 4 个方面:1)产量新高,600 kg/667 m²级高产能力,显著优于对照;2)抗性跃升,区域试验 2 年抗性鉴定为高抗条锈病,中抗黄花叶病毒病,中感叶锈病和纹枯病,高感白粉病,成功聚合了多个抗性基因,显著提升综合抗性水平;3)品质卓越,2 年品质鉴定,指标全面达到强筋标准;4)适应性广,品种抗寒性好、综合抗倒性强,契合江苏淮北生态需求。

华麦 31 的成功实践表明,基于基因组学深入解析,结合分子标记技术,精准聚合分散于不同种质中的高产、优质、抗病、抗逆等有利基因,是突破小麦育种瓶颈、培育新一代绿色超级品种的核心驱动力。未来随着基因编辑等前沿技术的融入,小麦基因聚合育种将迈入更高精度、更高效率的新纪元,为保障国家粮食安全与提升粮食品质提供更强大的科技支撑。

参考文献:

- [1] MA M M,LI Y C,XUE C,et al. Current situation and key parameters for improving wheat quality in China[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021,12:638525.
- [2] LUO K,HE D J,GUO J,et al. Molecular advances in breeding for durable resistance against pests and diseases in wheat: opportunities and challenges[J]. *Agronomy*,2023,13(3):628.
- [3] JIA J Z,ZHAO S C,KONG X Y,et al. *Aegilops tauschii* draft genome sequence reveals a gene repertoire for wheat adaptation[J]. *Nature*,2013,496(7443):91-95.
- [4] LING H Q,ZHAO S C,LIU D C,et al. Draft genome of the wheat A-genome progenitor *Triticum Urartu*[J]. *Nature*,2013, 496:87-90.
- [5] 王康君,郭明明,张广旭,等. 小麦新品种连麦 11 特征特性及高产栽培技术[J]. *大麦与谷类科学*,2022,39(5):67-70.

(下转第 68 页)

本刊加入有关数据库的特别声明

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

《大麦与谷类科学》杂志编辑部

刘 丽,刘 彤,明庭会,等. 高产抗倒小麦新品种长麦 4316 的选育及高产栽培技术[J/OL]. 大麦与谷类科学, 2025,42(6):64–68(2025–11–25). https://doi.org/10.14069/j.cnki.32–1769/s.2025.06.011.

高产抗倒小麦新品种长麦 4316 的选育及高产栽培技术

刘 丽,刘 彤,明庭会,陈 诚,袁 峰

(山西农业大学谷子研究所,山西 长治 046011)

摘要:长麦 4316 是山西农业大学谷子研究所利用自主培育的中间优异种质材料长麦 07–6645、长麦 08–5348 作为亲本,通过杂交育种和系统选育相结合的方法选育出的小麦新品种。2023 年该品种通过山西省农作物品种审定委员会审定(审定编号:晋审麦 20220011),2019–2021 年参加山西省中部晚熟冬麦组水地区域试验,2 年平均折合产量 7 487.7 kg/hm²,较对照中麦 175 平均产量 7 053.8 kg/hm² 增产 6.2%;2020–2021 年生产试验平均产量 7 217.8 kg/hm²,比对照中麦 175 增产 4.7%,增产点率达 100%。本文详细介绍了长麦 4316 的选育进程、农艺性状、产量表现以及配套栽培技术,为该新品种选育和推广提供参考。

关键词:长麦 4316;选育;高产栽培;抗倒

中图分类号:S512.1

文献标志码:B

文章编号:1673–6486–20250089

小麦作为山西省主要粮食作物之一,其种植对于保障区域粮食安全意义重大。近年来,山西省小麦种植面积常年稳定在 53.3 万 hm² 左右,但受独特气候与地理条件影响,如干旱缺水以及极端天气频发,严重制约了小麦生产的发展^[1–2]。为有效解决山西小麦“稳面积、保品质、提质增效”的关键问题,选育优良小麦新品种成为当务之急。长麦 4316 便是在此背景下,由课题组经多年育种研究,通过杂交育种技术及系谱法定向选育而成,并于 2023 年通过山西省农作物品种审定委员会审定(审定编号:晋审麦 20220011)。该品种具有诸多优良特性,适宜在山西中部晚熟冬麦区水地种植。本文全面介绍了长麦 4316 的选育过程、特征特性、产量表现、抗性品质情况及栽培技术要点,为小麦生产提供科学依据与技术支撑,助力长麦 4316 的推广应用。

1 长麦 4316 选育历程

1.1 亲本的选择

在选育过程中,课题组精心挑选具有高产、节水、优质、抗病、抗逆性强等优良性状的亲本材料。经过田间鉴定、室内考种及综合性状分析,最终确

定以自主培育的中间优异种质材料长麦 07–6645 为母本、长麦 08–5348 为父本进行有性杂交。母本长麦 07–6645 是课题组 2000 年以选育的中间材料长 97–4567 和长 97–5041 配制杂交组合,采用系谱法,自交 7 年选育而成,株高 80 cm,分蘖成穗率高,水分利用率高且抗病;父本长麦 08–5348 也是 2000 年以选育的中间材料长 98–5947 和长 96–4653 配制杂交组合,采用系谱法,自交 8 年选育而成,后期灌浆速度快,落黄良好,丰产性突出。二者的优良特性为培育节水高产的小麦新品种奠定了基础。通过 7 年系谱选择,成功选育出长麦 4316,该品种具备株高适中、抗倒性强、分蘖能力强、籽粒饱满、高产稳产等优良性状,图 1 为其系谱图。

1.2 选育过程

2009–2010 年度,点播长麦 07–6645/长麦 08–5348 组合的杂交种子(行号 2010–67),F₁ 生长繁茂,综合性状良好,被选为优良组合并进行选穗混脱。2010–2011 年度,F₂ 种植 5 行,性状明显分离。在田间挑选成穗多、穗大粒多、抗病性好、株型紧凑的单株,室内考种则选择籽粒饱满、粒质量高、商品性好的单株,经综合分析,选留 1 株(株系号 2011–858)。2011–2012 年度,F₃ 按单株点播为株系,继续分离,加大对越冬性、抗病性、分蘖成穗等性状的选择力度,田间和室内考种后选留符合育种目标单株 1 株(株系号 2012–2871)。2012–2013 年度 F₄ 继续点播为株系,重点突出丰产性和籽粒饱满度,选留 1 株(株系号 2013–2716)。2013–2014 年

收稿日期:2025–09–06;修回日期:2025–11–04。

基金项目:山西省重点研发计划(202302140601002);山西农业大学生物育种工程(YZGC025)。

作者简介:刘 丽(1981–),女,硕士,副研究员,研究方向为小麦遗传育种与栽培技术研究。Email:18535551255@163.com。

度, F₅ 将单株种成株系, 优中选优, 选留 1 株(株系号 2014-3939)。2014—2015 年度, F₆ 株系整齐度和纯度性状基本一致(株系号 2015-4316), 出圃进行鉴定。经田间产量及抗性鉴定, 长麦 4316 综合性状

表现突出。随后的水地、旱地品比试验中, 其综合性状均优于对照品种。在参加山西省中部水地区域试验和生产试验中, 该品种表现突出, 达到审定标准。具体选育过程见图 2。

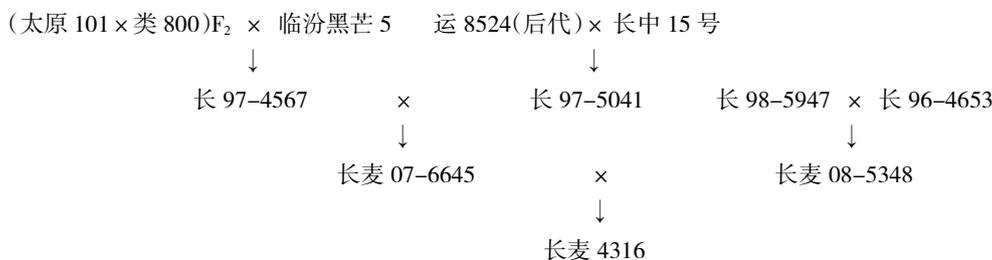


图 1 小麦新品种长麦 4316 系谱图

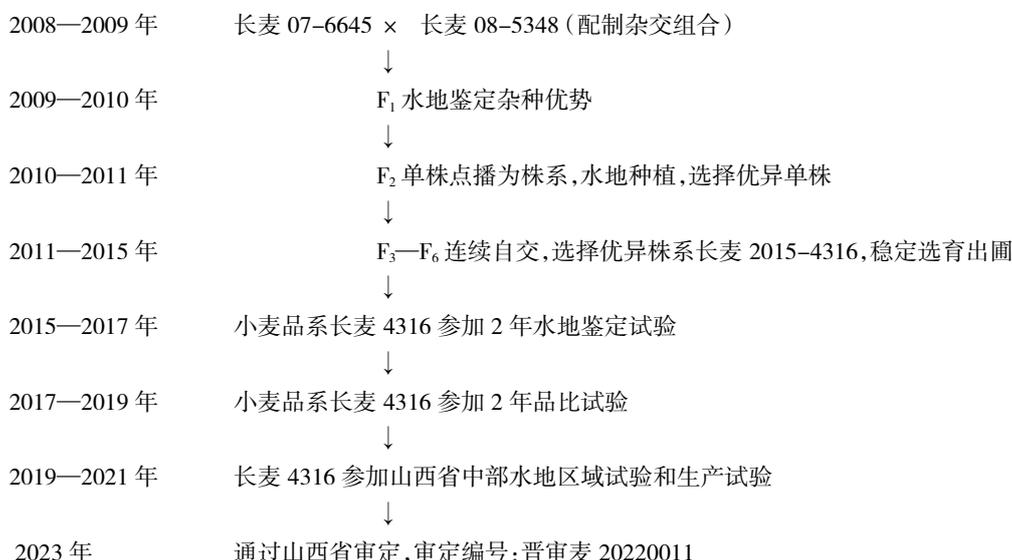


图 2 小麦新品种长麦 4316 选育过程

2 长麦 4316 产量表现

2.1 区域试验

2019—2020 年度, 长麦 4316 参加山西省中部晚熟冬麦区水地组品种区域试验, 7 个试验点汇总数据(表 1)显示, 该品种平均产量达到 7 576.5 kg/hm², 较对照品种中麦 175 增产 7.2%, 增产点比例为 100%, 在 14 个参试品种(系)中居第 3 位。2020—2021 年度, 该品种继续参加水地区域试验, 6 点汇总长麦 4316 平均产量 7 384.0 kg/hm², 比对照

中麦 175 增产 4.9%, 增产点比例同样为 100%, 在 16 个参试品种(系)中排名第 4 位。2 年区域试验长麦 4316 平均产量为 7 487.7 kg/hm², 相较于对照中麦 175 增产 6.2%。

2.2 生产试验

2020—2021 年度, 长麦 4316 参加山西省中部晚熟冬麦区生产试验, 6 个试验点汇总平均产量 7 217.8 kg/hm², 比对照中麦 175 增产 4.7%, 增产点率达 100%(表 2), 进一步验证了其在实际生产中的高产稳产性能。

表1 2019—2021年长麦4316参加山西中部水地区域试验产量表现

年份	试验点	平均产量/(kg/hm ²)		比CK增/%	位次
		长麦4316	中麦175(CK)		
2019—2020	屯留	7 167.0	6 903.0	3.8	9
	黎城	7 641.0	6 978.0	9.5	1
	晋城	6 349.5	5 878.5	8.0	3
	榆次	7 425.0	6 826.5	8.8	1
	祁县	7 270.5	6 993.0	4.0	6
	太原	9 127.5	8 517.0	7.2	3
	文水	8 055.0	7 389.0	9.0	3
	平均	7 576.5	7 069.3	7.2	3
2020—2021	屯留	6 652.5	6 430.5	3.5	5
	黎城	7 603.5	6 978.0	9.0	1
	晋城	6 450.0	6 085.5	6.0	8
	榆次	7 626.0	6 969.0	9.4	1
	祁县	6 444.0	6 418.5	0.4	10
	文水	9 528.0	9 333.0	2.1	5
	平均	7 384.0	7 035.8	4.9	4
2年平均		7 487.7	7 053.8	6.2	

表2 2020—2021年长麦4316参加山西中部水地生产试验产量表现

试验点	平均产量/(kg/hm ²)		比CK增/%	位次
	长麦4316	中麦175(CK)		
屯留	6 436.7	6 270.0	2.7	3
黎城	7 500.0	7 017.9	6.9	2
晋城	6 760.0	6 326.7	6.8	3
榆次	7 900.0	7 506.7	5.2	2
祁县	6 451.0	6 202.0	4.0	4
文水	8 259.4	8 056.0	2.5	5
平均	7 217.8	6 896.6	4.7	

3 长麦4316特征特性

长麦4316品种为冬性,其全生育期为251d,相较于对照品种中麦175晚熟1d。该品种幼苗半匍匐,具备较强的抗寒能力。该品种株高为83.7cm,株型紧凑,在参加山西省中部水地区域试验和生产试验中,参试点倒伏率为0%,抗倒性强。茎叶表面无蜡质层,旗叶直立,穗层分布均匀,成熟时表现出良好的熟相。该品种穗纺锤形,平均穗长7.6cm,具有长芒和白壳特征。该品种籽粒形状为椭圆形,颜色

为红色,籽粒质地为角质。该品种单位面积穗数达718.5万穗/hm²,穗粒数为34.8粒/穗,千粒质量为38.7g。

2019—2020年度和2020—2021年度,经山西农业科学院植物保护研究所抗病性接种鉴定,2年综合抗病性鉴定结果表明,长麦4316对条锈病、叶锈病和白粉病均表现为中感。

在2021年,农业农村部谷物及制品质量监督检验测试中心(哈尔滨)检测结果:长麦4316籽粒容重为793g/L,籽粒粗蛋白含量(干基)(质量分数,

下同)13.35%,湿面筋含量(以14%水分计)30.5%,吸水量597 mL/kg,稳定时间1.7 min。

4 长麦4316栽培技术要点

4.1 提升播种质量

在播种前,要精细整地,达到“深、细、平、松、净、实”标准,提升播种质量。同时,对种子进行包衣或拌种处理^[3-4],可以有效预防病虫害的发生。适宜的播种时间范围为9月25日—10月10日,播种量为150.0~187.5 kg/hm²。若播种时间推迟,应适当增加播种量^[5-6],每推迟1 d,播种量增加0.75 g/m²。

4.2 强化肥水调控

浇好越冬水对于小麦安全越冬以及春季返青具有极其重要的意义。拔节期是小麦生长过程中的一个关键时期,建议在小麦的第1节间长度固定时浇水,此时如果水分供应不足,将会直接影响到整个群体的发育以及幼穗的分化,最终会对小麦的产量造成不利影响。在降水量较多的年份,可以根据实际的土壤墒情和天气情况,适当减少浇水次数或者在某些情况下甚至可以不浇水。同时,根据麦田中小麦的生长状况,适时追施尿素等肥料,可以有效促进小麦多穗多花的形成,从而进一步提高小麦的产量。

4.3 科学预防春季冻害

春季气温的快速回升伴随着显著的波动,极易引发“倒春寒”现象。小麦在起身拔节阶段,其对低温的耐受性显著下降^[7-9]。因此,必须密切监测天气动态,在降温事件发生前采取预防措施,包括及时灌溉和施肥,或施用芸苔素内酯和磷酸二氢钾,以增强植株的抗寒能力,降低低温带来的不利影响。一旦小麦遭受冻害,应立即采取补救措施,包括追施氮肥以及喷施叶面肥和植物生长调节剂,旨在最大限度地减少损失。

4.4 多措并举,防治病虫害

麦田杂草优选冬前进行化学除草,杂草较小,防除效果安全且良好。冬前未开展化学除草,可在早春气温回升至6℃时进行^[10],拔节期切忌进行化学除草^[11],以免产生药害。

小麦返青至拔节期,应重点防治纹枯病、茎基腐病、麦蜘蛛;而在生长的中后期,则应将条锈病、

白粉病和蚜虫的防治作为重点。在小麦抽穗灌浆期,采用“一喷三防”技术,根据病虫害发生规律选用针对性药剂,如吡虫啉(防蚜虫)、戊唑醇(防赤霉病)、芸苔素内酯(增强抗逆性),配方中加入磷酸二氢钾,可以预防干热风,抗倒伏,增强籽粒饱满度。

5 结论

长麦4316作为采用杂交育种和系统选育相结合方法培育出的小麦新品种,在选育进程中历经多代严格筛选,具备株高适中、抗倒性好、分蘖能力强、籽粒饱满、高产稳产等优良特性。在产量方面,无论是区域试验还是生产试验,都展现出了明显的增产优势;抗性表现中,虽对部分病害呈中感状态,但突出的抗倒性使其在复杂种植环境中具有较强的适应性。

参考文献:

- [1] 温辉芹,程天灵,裴自友,等. 山西中部区试小麦品种抗旱节水指标分析[J]. 山西农业科学,2020,48(10):1572-1575.
- [2] 杨丽雯,张永清,张定一,等. 山西省小麦生产的现状、问题与对策分析[J]. 麦类作物学报,2010,30(6):1154-1159.
- [3] 靖金莲,安晓东,宋立红,等. 小麦新品种临研151选育及应用[J]. 山西农业科学,2021,49(8):908-911.
- [4] 王天坤,李雪,温辉芹,等. 小麦新品种晋太1508的选育与体会[J]. 中国种业,2023(8):91-93.
- [5] 孙艳华,朱高纪,理东升,等. 国审小麦新品种泛麦56的选育及栽培技术[J]. 农业科技通讯,2025(2):156-158.
- [6] 常云龙,宋秀珍,刘丽,等. 高产节水多抗小麦新品种长麦6789选育及高产栽培技术研究[J]. 安徽农业科学,2020,48(3):41-43.
- [7] 陈翔,林涛,林非非,等. 黄淮麦区小麦倒春寒危害机理及防控措施研究进展[J]. 麦类作物学报,2020,40(2):243-250.
- [8] 赵虹,王西成,胡卫国,等. 黄淮南片麦区小麦倒春寒冻害成因及预防措施[J]. 河南农业科学,2014,43(8):34-38.
- [9] 刘畅,王维领,赵灿,等. 小麦倒春寒研究现状及展望[J]. 江苏农业学报,2022,38(4):1115-1122.
- [10] 刘旭,闫文利,闫素红,等. 小麦新品种中育1686的选育及高产栽培技术[J]. 农业科技通讯,2021(12):277-278,281.
- [11] 冯家春,夏云祥,杨永华,等. 国审高产软质小麦新品种阜麦13的选育与高产栽培技术[J]. 农业科技通讯,2025(2):179-181.

Breeding and High-yield Cultivation Techniques of New Wheat Variety Changmai 4316 with High Yield and Lodging Resistance

LIU Li, LIU Tong, MING Tinghui, CHEN Cheng, YUAN Feng
(Millet Research Institute, Shanxi Agricultural University, Changzhi 046011, China)

Abstract: Changmai 4316 is a new wheat variety bred by Millet Research Institute of Shanxi Agricultural University, using self-cultivated intermediate excellent germplasm materials Changmai 07-6645 and Changmai 08-5348 as parents, through the combination of cross breeding technology and systematic breeding. In 2023, this variety was approved by Shanxi Provincial Crop Variety Committee (Approval number: Jinshenmai 20220011). From 2019 to 2021, it participated in late-maturing winter wheat water-field regional experiment group in central Shanxi Province. The average yield of the two years was 7 487.7 kg/hm², which increased by 6.2% compared with the average yield of 7 053.8 kg/hm² of the control Zhongmai 175. The average yield of the production trial from 2020 to 2021 was 7 217.8 kg/hm², which was 4.7% higher than that of the control Zhongmai 175, with a yield increase rate of 100%. In this paper, the breeding process, agronomic characters, yield performance and supporting cultivation techniques of Changmai 4316 were introduced in detail, which can provide reference for the breeding and popularization of new wheat varieties.

Key Words: Changmai 4316; Breeding; High-yield cultivation; Lodging Resistance

(上接第 63 页)

Breeding and Cultivation Techniques of New Wheat Variety Huamai 31 with High Yield, High Quality and Multiple Resistance

ZHOU Yidong, CAO Zhuanqin, MA Yongzhou
(Jiangsu Dahua Seed Industry Group Co., Ltd., Nanjing 210017, China)

Abstract: Huamai 31 is a new semi-winter wheat variety developed by Jiangsu Dahua Seed Industry Group Co., Ltd. through pedigree method. It was derived from a cross between the maternal parent H12-33, which carries superior genes for strong gluten properties and Fusarium head blight resistance, and the paternal parent Huaimai 22, known for its high yield, wide adaptability, and strong cold resistance. The approval number is Sushenmai 20253005. Regional trial results showed that this variety had the characteristics of a whole growth period of 221.1 days, plant height of 81.4 cm, effective panicles of 424 000 per 667 m², grains per spike of 39.1, and 1000-grain weight of 43.9 g. Huamai 31 exhibits moderate susceptibility to *Fusarium* head blight, sharp eyespot, and leaf rust, but high resistance to stripe rust and moderate resistance to barley yellow mosaic virus. Its quality meets the standards for strong gluten wheat.

Key Words: Huamai 31; Wheat; High quality and yield; Breeding; Cultivation technique

鞠乐,牛银亭,于海彦,等. 酿造型谷子新品种宛红谷6号的选育及栽培技术[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(6):69-72(2025-11-26).
https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.06.012.

酿造型谷子新品种宛红谷6号的选育及栽培技术

鞠乐¹,牛银亭¹,于海彦²,周冉¹

(1. 南阳市科学院,河南南阳 473000;2. 南阳理工学院,河南南阳 473000)

摘要:宛红谷6号是以育种中间材料宛谷023为母本、中谷6号为父本配制杂交组合,采用常规育种方法而培育的酿造型谷子新品种,于2024年7月通过国家非主要农作物品种登记,登记编号为GPD谷子(2024)410044。宛红谷6号是红谷黄米,直链淀粉质量分数为0%;中抗谷瘟病、谷锈病、白发病,适宜做酿造型。该品种丰产稳产性好,2022—2023年参加自主谷子新品系比较试验,平均产量314.65 kg/667 m²,比对照豫谷18增产0.96%。本文介绍了宛红谷6号的选育过程、特征特性及栽培技术要点,为该品种在河南省夏谷区内大面积推广种植提供种源支撑。

关键词: 酿造;谷子;宛红谷6号

中图分类号: S515

文献标志码: B

文章编号: 1673-6486-20250095

黄酒历史悠久,是世界三大古酒之一^[1],具有丰富的特点,富含活性多肽、多种维生素、功能性低聚糖、有机酸、氨基酸及微量元素^[2-3],具有抗氧化、提高免疫力、降胆固醇、降血压和抗衰老等生理功效^[4-6]。南阳地区是我国黄酒的主要产区之一,以红糯谷为主要酿酒原材料。红糯谷是南阳地区传统特色作物,籽粒呈红色,其性温,可药食两用,具有清热止渴、健脾暖胃、滋阴补肾之功效^[7]。红糯谷营养物质丰富、比例协调,常被用于酿造南阳黄酒^[8],以红糯谷酿造的黄酒具有酒液色泽明亮、口感绵甜、味道醇香等特点,已形成了独具特色的南阳黄酒风格^[7,9-10],南阳更因此入围“世界美酒特色产区”^[11],这极大地促进了黄酒生产原料红糯谷产业的发展,为当地农民增收开辟了新路径^[12]。因红糯谷地方品种存在不抗除草剂且株高较高等缺点,在种植过程中存在除草间苗难、易倒伏等问题。南阳市科学院针对上述问题,以抗除草剂、高产、优质、多抗为育种目标,

采用杂交常规育种方法选育酿造型谷子新品种。

1 宛红谷6号品种选育

宛红谷6号是采用杂交常规育种方法选育而成的抗烯禾啶、酿造专用型谷子新品种。2015年以自育酿造型品系宛谷023为母本,以抗除草剂品系中谷6号为父本进行杂交,并在南繁基地(108°E、18°N,海拔18 m)进行加代。2016—2018年在漯河试验基地(112°E、32°N,海拔127 m)和南繁基地两地间不间断进行单株选择,并结合室内考种;2019年进行株行比较试验;2020—2021年进行优系提纯、优系繁殖;2022—2023年在河南省多试点进行谷子品种比较试验,结果表现突出,2023年正式命名为宛红谷6号。2024年7月该品种通过国家非主要农作物品种登记,登记编号:GPD谷子(2024)410044。宛红谷6号具体选育流程如图1所示。

2 宛红谷6号品种特性

2.1 特征特性

宛红谷6号播种至出苗5 d,出苗至抽穗43 d,抽穗至成熟49 d,生育期92 d。宛红谷6号苗期性状:猫耳叶顶端形状尖,叶鞘颜色紫,叶姿平展,叶枕花青甙显色强;抽穗—开花期性状:新鲜花药颜色白,刚毛颜色紫,刚毛长度中;成熟期性状:穗颈姿态

收稿日期:2025-09-18;修回日期:2025-11-11。

基金项目:河南省重点研发专项(231111110300);国家现代农业产业技术体系专项(nycytx-CARS-06);河南省农业科学院科技创新团队项目(2022KJCHXTD33);河南省农业良种攻关项目(2022010401)。

作者简介:鞠乐(1987—),女,硕士,助理研究员,主要从事杂粮新品种选育与栽培技术研究,Email: 695112004@qq.com;牛银亭(1975—),男,副研究员,主要从事谷子新品种选育及栽培研究,Email: 709316658@qq.com。牛银亭为共同第一作者。

勾型,穗型纺锤型,穗长 18.86 cm,株高 134.64 cm,穗粗 2.18 cm,穗码密度中密,单穗码粒数 68.38 粒,单穗质量 17.12 g,穗粒质量 13.79 g,出谷率 83.46%,出米率 74.21%,千粒质量 2.74 g,红谷黄米,米色一致。

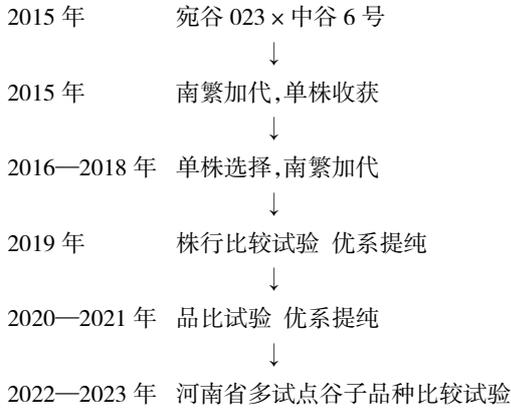


图 1 宛红谷 6 号选育流程图

2.2 产量表现

2022—2023 年在南阳、邓州、郑州、商丘、安阳等地区进行自主谷子新品系比较试验,试验汇总结果如表 1 所示。从表中可以看出,2022 年宛红谷 6 号平均产量 283.6 kg/667 m²,较对照品种豫谷 18 增产 0.89%;2023 年宛红谷 6 号平均产量 345.7 kg/667 m²,较对照品种豫谷 18 增产 1.02%。

2.3 抗性

谷瘟病根据穗病率进行病情分级,依据病情分级进行抗性评价;谷锈病严重程度按夏孢子堆占叶面积比例划分等级;谷子白发病根据病株率进行病情分级,依据病情级别进行抗性评价,病害等级如表 2 所示。2022—2023 年,由河南省农业科学院植物保护研究所河南现代农业研究开发基地田间进行抗病性鉴定,鉴定结果如表 3 所示,从表中可以看出宛红谷 6 号中抗白发病、谷瘟病、谷锈病。

表 1 试验结果汇总

年份	品种	各试点产量/(kg/667 m ²)					平均产量/ (kg/667 m ²)	较对照增/ %
		郑州	商丘	安阳	邓州	南阳		
2022	宛红谷 6 号	276.4	281.7	295.9	251.6	312.2	283.6	0.89
	豫谷 18(CK)	305.4	278.7	286.9	272.0	262.7	281.1	—
2023	宛红谷 6 号	368.2	309.3	336.8	353.2	360.9	345.7	1.02
	豫谷 18(CK)	356.5	326.1	352.1	352.4	323.7	342.2	—

表 2 病害等级划分

病害种类	病情级别	症状描述	抗性评价
谷瘟病	1	有 0% ~ 5.0% 穗码发病	抗(R)
	3	有 5.1% ~ 10.0% 穗码发病	中抗(MR)
	5	有 10.1% ~ 25.0% 穗码发病	中感(MS)
	7	有 25.1% ~ 50.0% 穗码发病	感(S)
	9	有 50.0% 以上穗码发病	高感(HS)
谷锈病	1	叶面未发现有夏孢子堆	高抗(HR)
	3	夏孢子堆占叶面积 1% ~ 10%	抗(R)
	5	夏孢子堆占叶面积 11% ~ 25%	中抗(MR)
	7	夏孢子堆占叶面积 26% ~ 65%	感(S)
	9	夏孢子堆占叶面积 > 65%	高感(HS)
白发病	1	有 0% ~ 1.0% 植株发病	高抗(HR)
	3	有 1.1% ~ 5.0% 植株发病	抗(R)
	5	有 5.1% ~ 10.0% 植株发病	中抗(MR)
	7	有 10.1% ~ 40.0% 植株发病	感(S)
	9	有 40.1% ~ 100.0% 发病	高感(HS)

表3 宛红谷6号病情指数及抗性评价

年份	白发病			谷瘟病			谷锈病		
	病株率/%	病级/级	评价	病穗率/%	病级/级	评价	严重度/%	病级/级	评价
2022	6.7	5	中抗(MR)	8.1	3	中抗(MR)	21.3	5	中抗(MR)
2023	7.3	5	中抗(MR)	7.5	3	中抗(MR)	19.8	5	中抗(MR)
平均	7.0	5	中抗(MR)	7.8	3	中抗(MR)	20.6	5	中抗(MR)

2.4 品质分析

2023年,由农业农村部农产品质量监督检验测试中心(郑州)进行品质分析,检测结果如下:宛红谷6号的氨基酸质量分数为108.3 g/kg,粗淀粉质量分数为60.84%,直链淀粉质量分数为0%,蛋白质质量分数为112 g/kg,脂肪质量分数为33 g/kg,锌质量分数为27.2 mg/kg,铁质量分数为26.4 mg/kg,钙质量分数为298 mg/kg,硒质量分数为0.017 mg/kg。

3 宛红谷6号的主要优点、缺陷及风险控制措施

宛红谷6号品种综合性状表现优良,高产稳产、抗性好、适应性强,但植株稍高,播种时应控制种植密度,防止密度过大,并注意在拔节前及时进行化学调控。

4 宛红谷6号栽培技术要点

4.1 适时播种

麦收后至7月底,墒情适合,即可播种,但以6月25日前播种为宜。播前晒种2~3 d,用药剂拌种防治谷子病虫害。宛红谷6号播量0.2~0.3 kg/667 m²,可选用谷子精量条播机,行距40 cm,播种深度2~3 cm。

4.2 密度

3~5叶期间苗、查苗补缺,一般谷田保留3万~4万株/667 m²为宜。

4.3 化学调控

应在拔节前及时进行化学调控,叶面喷施5%烯效唑可湿性粉剂250~350倍液1次。

4.4 田间管理

第1次中耕结合定苗进行,中耕深度2~3 cm;第2次中耕在拔节期进行,中耕深度3~5 cm,同时进行培土。对肥力瘠薄的弱苗地块或贴茬播种地块,在拔节后孕穗前,结合中耕培土,可追施尿素8~10 kg/667 m²。拔节到抽穗,为水分敏感期,孕穗期需水最多,如遇干旱应及时灌水一次,保证抽穗

整齐一致,防止卡脖旱,且保证正常灌浆。开花后,怕雨涝积水。雨后要及时排除积水,必要时还应浅中耕松土。开花灌浆期,叶面喷施1%尿素和0.3%磷酸二氢钾混合液1~2次。

4.5 防治病虫害

在白发病发病初期拔除病株,干净彻底,并掩埋或烧毁病株。在谷瘟病发生初期用40%“克瘟散”乳油500倍液喷雾防治,防治2~3次。在褐条病病害发生初期用20%噻森铜悬浮剂500倍液喷雾防治,防治2~3次。在抽穗前喷施4.5%高效氯氰菊酯1000倍液,防治玉米螟蛀茎。

4.6 及时收获

宛红谷6号灌浆成熟较快,当蜡熟末期或完熟初期籽粒坚硬并呈现红色时,应及时收获,晾晒后入库贮藏。

参考文献:

- [1] 汪江波,王浩,孔博,等. 黄酒酿造技术研究进展[J]. 酿酒,2020,47(6):26-30.
- [2] 李安,刘小雨,张惟广. 小米黄酒酿造工艺的研制及优化[J]. 食品研究与开发,2020,41(5):150-157.
- [3] 赖敏辉,姬中伟,蒋飞,等. 黄茺黍米黄酒酿造工艺研究[J]. 食品科技,2020,45(3):93-99.
- [4] 谷晓东,李素萍,杨柳青,等. 红谷黄酒发酵过程中微生物多样性与理化指标、挥发性风味的相关性分析[J]. 食品工业科技,2022,43(23):133-143.
- [5] 周建弟,张蕾,钱斌,等. 功能性黄酒提高机体免疫力研究[J]. 中国酿造,2019,38(3):18-22.
- [6] 张元,白卫东,刘功良. 黄酒生物活性成分及其功能研究进展[J]. 中国酿造,2017,36(7):5-9.
- [7] 李杰,许彬,罗建成,等. 红小米黄酒酿造工艺研究及体外抗氧化活性评价[J]. 中国酿造,2021,40(7):123-129.
- [8] 鞠乐,强学杰,牛银亭,等. 南阳地区谷子产业现状及发展对策的研究与探讨[J]. 大麦与谷类科学,2017,34(3):45-47.
- [9] 李爽,陈林玉,王东浩,等. 红小米黄酒心肌保护作用及活性成分研究[J]. 中草药,2022,53(22):7010-7018.
- [10] 宋建阳,岑定运,梁莉莹,等. 南阳红谷黄酒发酵过程中挥

发性风味物质与微生物群落相关性分析[J]. 中国酿造, 2023,42(8):135-139.
[11] 陈林玉,宋乐园,王云雨,等. 红小米化学成分与营养成分

分析[J]. 食品科学,2021,42(18):218-224.
[12] 蔡乔宇,周 坚,缪礼鸿,等. 黄酒专用米的研究进展[J]. 中国酿造,2018,37(6):1-5.

Breeding and Cultivation Techniques of New Brewing Millet Variety Wanhonggu No.6

JU Le¹, NIU Yinting¹, YU Haiyan², ZHOU Ran¹

(1. Nanyang Academy of Sciences, Nanyang 473000, China; 2. Nanyang Institute of Technology, Nanyang 473000, China)

Abstract: Wanhonggu No.6 is a new brewing millet variety bred by conventional breeding method with Wangu 023 as maternal parent and Zhonggu No.6 as paternal parent. It was registered as GPD millet (2024) 410044 by National Non-Major Crop Variety Registration in July 2024. Wanhonggu No.6 is red millet yellow rice, suitable for brewing, and has the characteristics of 0% Amylose content, medium resistance to rice blast, medium resistance to rice rust, medium resistance to white disease. The variety has high and stable yield. From 2022 to 2023, it participated in the comparative test of new strains of independent millet. The average yield was 314.65 kg/667 m², which was 0.96% higher than that of the control Yugu 18. In this paper, the breeding process, characteristics and cultivation techniques of Wanhonggu No.6 were introduced, which can provide technical support for the large-scale promotion and planting of this variety in the summer valley areas of Henan Province.

Key Words: Brewing; Millet; Wanhonggu No.6

欢迎订阅 2026 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://damkx.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

冯伟森,张学品,杨 莉,等. 抗旱高产小麦新品种洛早 19 选育及应用[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(6):73-79(2025-12-15). <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.06.013>.

抗旱高产小麦新品种洛早 19 选育及应用

冯伟森,张学品,杨 莉,丁志强,赵 严,高海涛,吴少辉*

(洛阳市农林科学院,河南 洛阳 471022)

摘要:洛早 19 是洛阳市农林科学院独家选育的抗旱小麦品种,2017 年通过河南省审定(审定编号:豫审麦 2017024)。自审定以来,由于其抗旱高产性能突出,至今仍作为豫西南旱地、中西部旱地和北部旱地旱作区主导品种之一。为全面介绍旱地小麦新品种洛早 19 的特征及应用特性,现对该品种 2013—2016 年度区域试验、生产试验及审定后实际生产应用的数据进行分析,结果显示:洛早 19 在 2013—2016 年度平均产量 6 064 kg/hm²,比对照洛早 7 号增产 6.87%,增产点率 97.1%,增产极显著,其中 29 个试验点增产≥2%;洛早 19 的高稳系数和适应度值显著高于对照品种洛早 7 号,变异系数与对照相当,表现出良好的高产稳产性和广适性。因此,洛早 19 是一个集抗旱高产稳产与广适性强的旱地小麦品种。

关键词:小麦;洛早 19;抗旱性;丰产性;适应性

中图分类号:S512.1

文献标志码:B

文章编号:1673-6486-20250103

小麦是我国重要的粮食作物,其产量占我国粮食总产的 22% 左右^[1-2]。我国小麦常年播种面积有 1/3 位于干旱缺水地区,干旱成为制约小麦生产的关键因素^[3]。随着气候变暖,黄淮麦区干旱面积逐年扩大,干旱程度日益加剧,加之降水量季节分布不均,以致干旱缺水成为限制该区域小麦产量提升的关键因素^[4-6]。选育适应气候特征的小麦新品种,配以高效栽培模式,是生产上保障小麦单产提升的重要路径,也是保障我国粮食安全的重大举措之一^[7]。在旱作麦区选用抗旱节水、高产稳产的小麦品种,是抵御干旱灾害、提高旱地小麦产量的重要技术措施^[8-10]。洛早 19 由洛阳市农林科学院利用创新性抗旱节水高产小麦高效育种技术体系选育而成,于 2017 年通过河南省审定(审定编号为豫审麦 2017024)。自审定以来,由于其抗旱高产性能突出,至今仍作为豫西南旱地、中西部旱地和北部旱地旱作区主导品种之一。为全面介绍旱地小麦品种洛早 19 的特征及应用特性,现对该品种 2013—2016 年度区域试验、生产试验及审定后实际

生产应用的数据进行分析,以进一步挖掘其增产潜力,为大面积生产和建立高产栽培技术体系提供依据。

1 洛早 19 的选育

1.1 品种来源及选育过程

1.1.1 选育过程。由图 1 所示,2005 年以周麦 16 为母本、洛早 7 号为父本进行杂交,收获杂交籽粒 200 粒;2005—2006 年将收获的籽粒种于旱地, F₁ 较亲本表现出较强的杂种优势,全部混收;2006—2007 年将 F₂ 种于高水肥田稀播,经田间选择和室内考种,筛选出 106 株,每株取 1 穗混合脱粒;2007—2008 年将 F₃ 在旱地稀播,选择优良单株 102 株,每株取 1 穗混脱;2008—2009 年将 F₄ 在高水肥田稀播,选择优良单株 113 株,分单株收获;2009—2010 年将 F₅ 在旱地进行株行鉴定,其中第 33 株表现优异,提升鉴定试验,并从中选拔 15 株单株;2010—2011 年度参加新品系平行鉴定试验(干旱、灌溉两种环境)的同时继续进行株行鉴定,其中第 6 株表现优异;2011—2012 参加新品系多点鉴定试验,表现突出;2012—2013 年参加河南省旱地组小麦预备试验,产量居 15 个参试品种第 1 位;2013—2015 连续 2 年度参加河南省旱地组小麦区域试验;2015—2016 年度参加河南省旱地小麦生产试验;2017 年通过河南省品种审定委员会审定,定名为洛早 19,审定编号:豫审麦 2017024。

收稿日期:2025-10-10;修回日期:2025-11-29。

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。



图1 洛早 19 选育流程图

1.1.2 系谱分析。2005 年根据双亲优势互补原则, 选用高产广适、矮秆抗倒性好但抗旱性差的周麦 16 作母本, 用抗旱节水、穗大粒多、千粒质量高但抗倒性一般的洛早 7 号作父本组配杂交组合。从系谱图可以看出, 洛早 19 含有偃师 4 号、国内著名骨干亲

本周 8425B、著名旱地品种豫麦 2 号及矮孟牛的血缘(图 2), 通过全基因组关联分析, 周麦 16 和洛早 7 号均携带根深基因 *TaVSR1-B* 以及根系发育基因 *TaMOR-B* 的优异单倍型^[11]。由此可见, 洛早 19 的父母本优缺点互补, 遗传基础丰富。

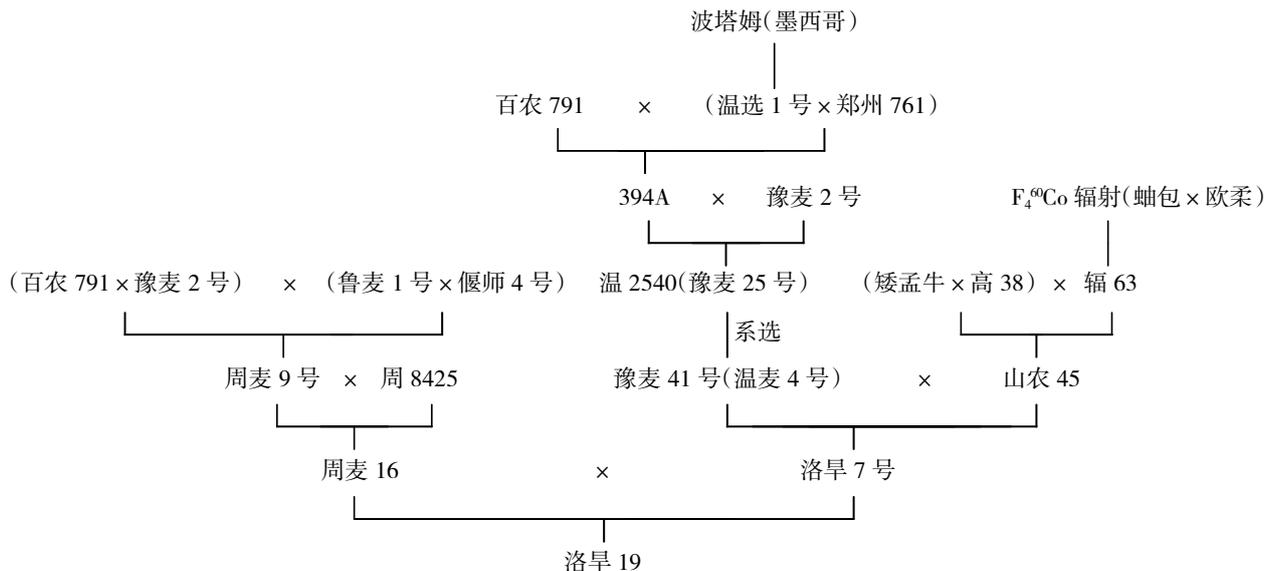


图2 洛早 19 系谱图

1.2 品种试验与审定过程

洛早 19 于 2013—2016 年参加河南省旱地组小麦区域试验及生产试验。其中 2013—2015 年为连续 2 年度的区域试验,参试品系均为 11 个。区域试验随机区组设计,3 次重复,小区种植面积 ≥15 m²,同时收获面积 ≥12 m²。采用小区精播耩播种,机械收获计产。播期 10 月 5—15 日,基本苗 225 万~270 万株 /hm²。多点试验中每个承试点均选择有代表性的旱地生态区进行,小麦全生育期只接受自然降水。

2015—2016 年度生产试验参试品系 5 个,3 组试验对照品种均为洛早 7 号。抗旱性鉴定对照品种为晋麦 47。生产试验以随机顺序排列,每个参试品种播种面积在 667 m² 以上。播种方式为机械播种,成熟期全区收获,并现场计产称量。播期在 10 月 5—15 日,播种量 150.0~187.5 kg/hm²,基本苗 240 万~270 万株 /hm²。加强小麦全生育期管理,农事操作参照当地生产实际。

小麦品种的抗旱性鉴定主要采用全生育期旱棚鉴定法。采用 2 个处理即干旱胁迫和非干旱胁迫 2 种,均设 2 次重复,随机区组排列。干旱胁迫区长 3.4 m,行距 0.23 m,面积 0.782 m²,3 行区种植;非干旱胁迫区长 2.0 m,行距 0.23 m,面积 0.46 m²,6 行区种植。干旱胁迫试验进行全生育期干旱处理;非干旱胁迫试验全生育期除自然降水外,在越冬期、拔

节期、孕穗期进行灌溉处理。

2 洛早 19 产量特性分析

2.1 丰产性特征

洛早 19 参加各类试验,其产量结果见表 1。2013—2014 年度试验点 11 个,该品种参试结果全部增产,平均产量 6 037.5 kg/hm²,其中 9 个试验点增产均超过 2%,≥2%增产点率达 81.8%,比对照洛早 7 号增产 7.0%,增产达极显著水平,产量居参试品种第 1 位。2014—2015 年度该品种 11 个试验点全部增产,平均产量 6 505.5 kg/hm²,其中 10 个试验点增产超过 2%,≥2%增产点率 90.9%,比对照洛早 7 号增产 7.8%,增产极显著,居参试品种第 3 位。2015—2016 年度河南省旱肥组生产试验共计 12 个试验点,该品种 11 点增产,增产点率 91.7%,平均产量 5 649.0 kg/hm²,≥2%增产点率 83.3%,比对照洛早 7 号增产 5.8%,增产幅度达极显著水平,居参试品种第 1 位。

由表 1 可知,2013—2016 年河南省旱地小麦区域试验中,洛早 19 共计汇总 3 年 34 个点次,增产点率达 97.1%,其中增产率超过 2%的共计 29 点次,占比 85.3%,试验总平均产量 6 064.0 kg/hm²,总体比对照洛早 7 号增产 6.87%,增产极显著。结果表明洛早 19 在产量表现上不仅具有高产稳产性,而且还具有一定的广适性。

表 1 2013—2016 年洛早 19 试验产量结果

试验年度	试验组别	产量 / (kg/hm ²)	位次	比对照增产 / %	试验点数		
					总数 / 个	增产点 / 个	增产点率 /%
2013—2014	河南省旱肥组区域试验	6 037.5	1	7.0**	11	11	100.0
2014—2015	河南省旱肥组区域试验	6 505.5	3	7.8**	11	11	100.0
2015—2016	河南省旱肥组生产试验	5 649.0	1	5.8**	12	11	91.7

注:**表示差异具高度统计学意义(P<0.01)。下同。

2.2 稳产性特征

小麦产量稳定性通过产量变异系数(CV)值来判定,该值越小说明该品种在不同环境中的变化越小,产量稳定性越好^[13]。由表 2 可知,洛早 19 的 CV 值在 3 年试验平均为 12.715%,虽略高于对照洛早 7 号平均 CV 值(12.416%),但差异无统计学意义,说明洛早 19 产量特性受环境影响较小。

小麦稳产性往往通过产量高稳系数(HSC)值来判定,值越大品种的高产稳产性越好^[14]。由表 2 可以看出,洛早 19 的高稳系数值在 3 年试验中平均值为 84.821%,高于对照品种洛早 7 号的高稳系数平

均值 79.623%,差异具高度统计学意义,进而表明在多年多点试验中,洛早 19 具有典型的高产稳产性。

2.3 适应性特征

以适应度值来判定品种的适应性,其值越大,品种的适应性往往越好^[15]。表 2 的统计结果显示,区域试验 2 年多点试验中洛早 19 的适应度值依次为 90.901%和 81.818%,其平均值为 86.360%,远远高于对照品种洛早 7 号的适应度均值(平均值为 9.091%),差异具高度统计学意义(P<0.01)。说明洛早 19 适应性广泛,在审定区域范围内可大面积推广应用。

表2 洛早19稳产性和适应性分析

品种名称	试验年度	CV/%	HSC/%	适应度值 /%
洛早 19	2013—2014	13.360	84.316	90.901
	2014—2015	9.296	88.849	81.818
	2015—2016	15.489	81.298	—
	均值	12.715	84.821**	86.360**
洛早 7 号	2013—2014	14.687	77.559	9.091
	2014—2015	7.396	84.185	9.091
	2015—2016	15.164	77.124	—
	均值	12.416	79.623	9.091

2.4 产量结构及农艺性状分析

洛早 19 属半冬性、多穗型、早熟品种,全生育期平均 228.4 d,比对照品种洛早 7 号熟期早 0.7 d;幼苗半直立,具有较强的分蘖能力,成穗数中等。洛早 19 春季返青较早,具有较强的两极分化能力,抽穗期较早,抗倒春寒能力较强;成株期株型半松散,穗层整齐,茎叶少量蜡质;株高平均 73.6 cm,抗倒伏能力强。该品种穗长方型,具有较好的结实性,籽粒光亮,具有较好的商品性;其根系活力较强,后期上 3 叶功能好,落黄颜色好。洛早 19 产量构成因素中有效穗数为 508.5 万 ~ 579.0 万穗 /hm², 穗粒数为

35.0 ~ 36.5 粒 / 穗,千粒质量为 40.8 ~ 45.5 g(表 3)。

对洛早 19 河南省旱地组试验产量构成因素(表 3)分析表明,洛早 19 穗粒数平均较对照洛早 7 号高 3.8 粒 / 穗,有效穗数平均比对照高 14.0 万穗 /hm²,千粒质量比对照低 4.5 g,该品种表现高产的原因在于其具有较高的穗粒数和有效穗数。有效穗数是旱地小麦产量构成因素中最主要的因素,提高成穗数是选育抗旱高产小麦品种的主攻方向^[6]。洛早 19 栽培中应以提高分蘖成穗为重点,做好后期“一喷三防”,延长灌浆时间,提高千粒质量,从而在保持稳产的情况下获得高产。

表3 河南省旱地小麦区域试验洛早19农艺性状

品种名称	试验年度	有效穗数 / (万穗 /hm ²)	穗粒数 / (粒 / 穗)	千粒质量 /g	株高 /cm	全生育期 /d
洛早 19	2013—2014	508.5	35.0	45.5	73.0	226.6
	2014—2015	579.0	36.5	40.8	79.7	228.5
	2015—2016	511.5	35.0	44.4	68.1	230.1
	均值	533.0	35.5	43.6	73.6	228.4
洛早 7 号 (CK)	2013—2014	508.5	30.8	49.6	81.5	227.3
	2014—2015	570.0	32.4	45.9	89.2	229.4
	2015—2016	478.5	31.8	48.9	78.7	230.6
	均值	519.0	31.7	48.1	83.1	229.1

3 洛早 19 抗逆及品质分析

3.1 抗旱性评价

洛早 19 在参加 2013—2015 连续 2 年度河南省旱地区域试验抗旱性鉴定的结果显示,其抗旱指数分别为 0.946 和 0.973,抗旱级别均为 3 级,抗旱性和对照品种晋麦 47 相当。自审定后至 2024 年,洛阳市农林科学院在连续多年研究洛早系列新品种抗

旱性鉴定试验中,发现洛早 19 抗旱指数均在 1.000 左右,与对照晋麦 47 相当,抗旱级别 3 级(表 4),与河南省旱地区域试验抗旱性一致。而孟雨等对黄淮海区主推的 23 个品种进行抗旱性鉴定,发现洛早 19 在 2018—2019 和 2020—2021 年度的抗旱指数分别为 0.980 和 1.080,抗旱性均为 3 级^[7],同样印证了洛早 19 具有较好的抗旱性。

表4 洛早19抗旱性鉴定试验结果

试验年度	抗旱指数	抗旱级别
2013—2014	0.946	3级
2014—2015	0.973	3级
2017—2018	0.955	3级
2018—2019	1.080	3级
2019—2020	1.035	3级
2020—2021	1.083	3级
2021—2022	0.908	3级
2022—2023	0.913	3级
2023—2024	1.051	3级

3.2 洛早19抗病性和品质分析

洛早19在参加河南省旱地小麦区域试验中,经2年度抗病性和品质分析发现,该品种中抗或中感条锈病和叶锈病,白粉病、纹枯病均呈中感,对赤霉病则表现为中感或高感(表5),说明该品种对条锈病和叶锈病抗性较好,其他病害需要重点防治。而在品质分析中洛早19被定性为中强筋品种,区域试验最好的品质结果为蛋白质质量分数14.20%,容重808 g/L,水分质量分数10.59%,湿面筋质量分数29.0%,降落值为449 s,吸水量为652 mL/kg,形成时间为2.5 min,稳定时间2.7 min,弱化度167 F.U,出粉率70.4%,沉淀指数62 mL,硬度(HI)67,白度72.9%(表6)。

表5 河南省旱地小麦区域试验洛早19抗病性鉴定结果

试验年度	条锈病	叶锈病	白粉病	纹枯病	赤霉病
2013—2014	中抗	中抗	中感	中感	中感
2014—2015	中感	中感	中感	中感	高感

表6 河南省旱地小麦区域试验洛早19品质鉴定结果

试验年度	蛋白质质量分数 /%	容重 / (g/L)	水分质量分数 /%	湿面筋质量分数 /%	降落值 / s	吸水量 / (mL/kg)	形成时间 / min
2013—2014	14.20	808	10.59	29.0	412	652	2.5
2014—2015	13.03	800	9.30	26.8	449	633	2.3

试验年度	稳定时间 /min	弱化度 /F.U	出粉率 /%	沉淀指数 /mL	硬度(HI)	白度 /%
2013—2014	1.6	167	70.4	62	67	70.9
2014—2015	2.7	159	69.4	61	65	72.9

4 洛早19试验示范与推广

洛早19优点突出,适应性广,推广前景良好,在河南省旱作麦区及扩灌区大面积推广具有较强的应用优势。自审定以来,有多位专家学者及推广部门对洛早19进行了试验示范:2016—2017年10月李亚亚在洛阳市孟津县白鹤镇范村,以洛早19为研究对象,对4种播种方式下的农艺性状与单株产量进行相关性分析,并对相关系数进行比较显示,洛早19整体获得高产,与其自身节间数、株高和穗下节单株合理比例相辅相成^[18];2017—2018年张学品等以黄淮冬麦区通过国家或河南省审定的18个小麦新品种为对象,研究灌水处理对冬小麦水

分利用效率、籽粒产量及其构成因子的影响,结果表明洛早19在早肥或者节水灌溉条件下是首选的品种之一^[19];2018—2019年曹虹在正阳县小麦品种展示试验^[20]、2018—2020年张珂等在孟津县河南省旱地品种展示试验中对洛早19进行了展示分析^[21];2022—2023年张珂等在洛阳市孟津县送庄村试验场研究认为洛早19等品种边际效应较明显,在生产上可以作为间作套种的优选品种,以发挥其边行产量高的优势^[22];2022—2023年冯伟森等在伊川县鸣皋镇针对洛早19进行了不同灌溉模式的研究,发现其在越冬水+拔节水120 mm灌溉量下产量水平最高(尚未发表)(表7)。针对河南省旱作麦区及扩灌区,河南省连年(2017—2025年)发布河南省小

麦品种布局和利用意见(旱作区域),在豫西南、中西部和北部旱肥地及扩灌区(南阳区域内除南部部分旱地区域)主推洛旱 19。

表 7 河南省旱地小麦田间试验示范洛旱 19 农艺性状

年度	平均产量 / (kg/hm ²)	有效穗数 / (万穗 /hm ²)	穗粒数 / (粒 / 穗)	千粒质量 / g	备注
2017—2018	6 115.0	553.95	28.25	45.98	不灌水(W0)
	7 477.5	641.25	24.69	42.26	灌越冬水(W1)
	7 132.8	649.16	22.92	41.16	灌越冬水 + 拔节水(W2)
2018—2019	7 075.5	462.00	42.00	42.90	正阳县小麦品种展示试验
2018—2019	4 692.0	519.00	30.10	39.10	河南省旱地小麦新品种展示试验
2019—2020	4 710.0	415.50	33.00	39.60	
2022—2023	4 026.0	406.05	26.03	39.90	边行
	5 449.0	487.50	27.97	41.70	内行
2022—2023	5 410.0	470.00	28.70	40.20	不灌水(W0)
	7 492.0	537.00	33.70	41.40	漫灌 120 mm 方式(W1)
	7 860.0	556.00	33.30	42.40	喷灌 120 mm 方式(W2)

5 讨论与结论

通过河南省小麦区域试验、生产试验及早地示范,对洛旱 19 产量性状数据进行分析可见,该品种平均株高 73.6 cm,特别是后期落黄好,熟相佳,抗干热风;抗病性为中抗至中感条锈病和叶锈病,白粉病和纹枯病表现为中感,综合抗病性较好;平均产量 6 064.0 kg/hm²,增产点率 97.1%,比对照洛旱 7 号增产 6.87%,增产极显著;洛旱 19 的高稳系数和适应度均显著高于对照品种洛旱 7 号,充分说明了洛旱 19 不仅具有较大的高产潜力,而且还具有广泛的生态适应性。通过对洛旱 19 的抗旱性进行追踪,抗旱性鉴定结果连年基本一致,抗旱指数一直都在 1.000 左右,抗旱性与对照晋麦 47 号相当,抗旱级别均为 3 级。在实际生产中,2017 年该品种因抗旱高产特性实现了生产经营权转让(由温县金苗种业有限公司独家取得),一直推广至今。

挖掘、培育抗旱性与产量等协同改良的小麦新品种不仅是促进小麦生产高质量、可持续发展的必然要求,也是保障世界粮食安全的迫切需要^[23],因此,开展小麦抗旱育种具有重要意义。植物的抗旱机制复杂,抗旱性属于受多基因控制的复杂数量性状,抗旱性与丰产性的协同改良一直是旱地小麦品种选育的难题^[24]。洛旱 19 的选育采用了水地亲本和旱地亲本杂交、分离世代水旱交替选择、稳定世代

水旱平行鉴定的复合技术路径。在旱地重点选择品种的抗旱性、抗寒性、抗干热风的能力;在水地重点选择品种的高产性、抗病性和抗倒性。早代选择中采用适期早播、接种混合菌群的方法,加强抗寒性和抗病性的选择,稳定品系采用多点鉴定,充分检验品系的抗逆性和广适性。整个育种进程利用近红外光谱仪无损快速鉴定抗旱性和全生育期干旱棚鉴定技术相结合全程进行抗旱性评价。运用该技术实现了洛旱 19 抗旱性和丰产性的协同改良,为小麦抗旱遗传改良及抗旱新品种选育提供了新的育种策略。

参考文献:

[1] 宋洪远. 实现粮食供求平衡保障国家粮食安全[J]. 南京农业大学学报(社会科学版),2016,16(4):1-11,155.
 [2] 张义博. 新时期中国粮食安全形势与政策建议[J]. 宏观经济研究,2020(3):57-66,81.
 [3] 张树兰,刘俊梅,黎青慧,等. 秸秆覆盖下旱地小麦收获指数降低的原因解析[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(1):47-51.
 [4] 张玉静,王春乙,张继权. 基于 SPEI 指数的华北冬麦区干旱时空分布特征分析[J]. 生态学报,2015,35(21):7097-7107.
 [5] 李梦达,李向东,牛洪斌,等. 小麦品种抗旱性与深根性和深层根系活性的关系[J]. 麦类作物学报,2017,37(5):666-672.
 [6] 柴守玺,杨长刚,张淑芳,等. 不同覆膜方式对旱地冬小麦土壤水分和产量的影响[J]. 作物学报,2015,41(5):787-796.

- [7] 蔡岳. 小麦节水高产育种方法的探讨[J]. 南方农业, 2018, 12(24):180–181.
- [8] 赵吉平,任杰成,郭鹏燕,等. 我国小麦育种方向的创新与实践分析[J]. 山西农业科学, 2019, 47(1):139–142.
- [9] 段国辉,温红霞,顾晶晶,等. 小麦新品种洛麦 26 选育及遗传特性分析[J]. 山西农业科学, 2023, 51(1):21–27.
- [10] 冯伟森,张学品,丁志强,等. 抗旱节水高产小麦新品种洛早 33 选育及产量性状分析[J]. 大麦与谷类科学, 2025, 42(3):72–79.
- [11] 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.
- [12] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 小麦抗旱性鉴定评价技术规范:GB/T21127—2007[S]. 北京:中国标准出版社, 2007.
- [13] 温振民,张永科. 用高稳系数法估算玉米杂交种高产稳产性的探讨[J]. 作物学报, 1994, 20(4):508–512.
- [14] 郭春强,黄杰,曹燕燕,等. 小麦新品种漯麦 6010 稳产性、产量构成因素变异性及通径分析[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(4):608–610.
- [15] 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.
- [16] 张学品,冯伟森,吴少辉,等. 干旱胁迫对不同冬小麦品种水分利用效率及产量性状的影响[J]. 河南农业科学, 2012, 41(8):21–25, 33.
- [17] 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.
- [18] 李亚亚. 旱地小麦个体性状与单株产量的相关分析[J]. 河南农业, 2019(7):45–46.
- [19] 张学品,冯伟森,丁志强,等. 水分处理对冬小麦产量和水分利用效率的影响[J]. 山西农业科学, 2022, 50(12):1654–1661.
- [20] 曹虹. 正阳县 2018—2019 年度小麦品种展示试验[J]. 河南农业, 2019(34):43–44.
- [21] 张珂,杨子光,孙军伟,等. 河南省旱地小麦新品种展示试验总结[J]. 农业科技通讯, 2021(1):84–88.
- [22] 张珂,杨子光,孙军伟,等. 旱地小麦品种边际优势对小区产量因素的影响[J]. 陕西农业科学, 2024, 70(6):13–16.
- [23] 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.
- [24] 段俊枝,齐学礼,冯丽丽,等. 抗旱基因在小麦抗旱基因工程中的应用进展[J]. 作物杂志, 2020(3):7–15.

Breeding and Application of New Drought-resistant and High-yield Wheat Variety Luohan 19

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

Abstract: Luohan 19 is a drought-resistant wheat variety exclusively developed by the Luoyang Academy of Agricultural and Forestry Sciences. It was approved in Henan Province in 2017 (Approval Number: Yushengmai 2017024). Since its approval, it has remained a leading variety for dryland cultivation in southwestern Henan, central-western Henan, and northern Henan due to its outstanding drought resistance and high yield performance. To comprehensively introduce the characteristics and application traits of the new dryland wheat variety Luohan 19, the data from regional and production trials (2013–2016) and post-approval practical applications were analyzed. The results showed that Luohan 19 had an average yield of 6 064 kg/hm² from 2013 to 2016, achieving a 6.87% increase over the control variety Luohan No.7, with a yield-increasing point rate of 97.1%, demonstrating highly significant yield improvement, and 29 trial sites recorded yield increases of $\geq 2\%$. The high stability coefficient and adaptability value of Luohan 19 were significantly higher than those of the control variety Luohan No.7, while the coefficient of variation was comparable, indicating excellent high and stable yield performance and wide adaptability. Therefore, Luohan 19 is a drought-resistant wheat variety with high yield, stable yield and strong adaptability.

Key Words: Wheat; Luohan 19; Drought resistance; High yield; Adaptability