

DOI: 10.19462/j.cnki.zgzy.20251119001

藜麦杂交育种材料创制研究

魏志敏¹ 赵宇¹ 王京新¹ 李杨² 王艳芝³ 唐丽颖³
杨洪升¹ 刘建军⁴ 吕玮⁵ 李顺国¹

(¹河北省农林科学院谷子研究所, 石家庄 050035; ²河北农业大学, 保定 071001; ³河北省承德市农林科学院, 承德 067000;

⁴河北省杂粮产业技术研究院, 邯郸 056001; ⁵河北省科技创新服务中心, 石家庄 050035)

摘要:为了探究杂交育种在培育藜麦新品种中的应用效果, 拓宽育种思路和技术, 以高产抗逆的苦藜材料 Cahuana 与优质适口的甜藜品系 Real 为亲本, 通过正反交设计培育 F₄ 杂交组合, 系统评价其生育期、农艺性状、杂种优势及品质表现。结果表明, 以 Cahuana 为母本的正交组合 F₄ 在生育期(122d)、株高(173.8cm)、产量(162.3kg/667m², 较母本 Cahuana 提高 24.7%, 较父本 Real 提高 51.8%)及中亲优势(34.9%)等方面显著优于反交组合; 同时将亲本的皂苷含量从 0.69% 降至 0.28%, 消费者接受度达 7.1 分, 实现了产量与品质的协同改良。研究证实, 藜麦杂交育种是培育高产优质新品种的有效途径, 未来需结合 QTL 定位推动精准育种发展。

关键词: 藜麦; 杂交育种; 种质创新; 正反交

Research on Material Creation of Hybrid Breeding in Quinoa

WEI Zhimin¹, ZHAO Yu¹, WANG Jingxin¹, LI Yang², WANG Yanzhi³, TANG Liying³,
YANG Hongsheng¹, LIU Jianjun⁴, LYU Wei⁵, LI Shunguo¹

(¹Millet Research Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050035; ²Hebei Agricultural

University, Baoding 071001, Hebei; ³Chengde Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Chengde 067000, Hebei;

⁴Hebei Minor Grain Industry Technology Research Institute, Handan 056001, Hebei;

⁵Hebei Science and Technology Innovation Service Center, Shijiazhuang 050035)

藜麦属于苋科, 藜属, 一年生双子叶植物, 具有较强的抗旱和耐瘠薄能力。茎秆直立, 有分枝, 叶片呈鸭掌状^[1], 花序为圆锥花序^[2]。藜麦因富含优质蛋白质、膳食纤维、矿物质、维生素以及多种对人体有益的生物活性物质, 越来越受消费者青睐^[3]。

藜麦的育种工作最早始于原产地南美洲, 主要集中在改良地方品种上。近年来, 美国、丹麦等国的研究机构在藜麦基因组学方面取得了突破性进展, 完成了藜麦基因组的测序工作, 为分子标记辅助育种和基因编辑育种奠定了基础。但是, 传统的常

规育种仍是当前藜麦品种改良的主流, 育种目标主要集中在早熟、矮秆、低皂苷、高蛋白、抗霜冻等方面^[4]。我国藜麦引种始于 20 世纪 80 年代, 目前山西、青海、甘肃、河北等地已经大面积种植。育种工作多采用系统选种和辐射育种的方式, 已经成功培育出一系列适合本土生态条件的品种, 如“陇藜”“坝藜”“燕藜”等系列品种^[5-6]。国内藜麦育种仍处于起步阶段, 遗传基础狭窄, 育种技术相对单一, 普遍存在产量偏低、株型过高易倒伏、对特定病虫害抗性不足、成熟期不一致等问题, 严重制约了藜麦产业的发展^[7]。因此, 通过遗传改良手段选育高产、优质、多抗、广适的藜麦新品种, 已成为当前藜麦研究领域最为迫切和核心的任务^[8]。

藜麦在杂交优势利用方面尚未形成系统的研

基金项目: 河北省重点研发计划项目(21326305D); 河北省农林科学院基本科研业务费包干制项目资助(HBNKY-BGZ-02-ZDGG-08)

通信作者: 李顺国, 吕玮

究体系^[9]。本文以2份性状差异显著且遗传稳定的藜麦种质资源作为亲本,旨在通过杂交育种创制新品系,为后续杂交育种在藜麦上的大面积应用积累经验,对于促进藜麦产业发展、增加种植户收入和助力乡村振兴战略具有一定的价值。

1 材料与方法

1.1 试验地点 试验地点位于河北省沽源县石头坑村,地理位置41°6'N、115°2'E,海拔1430m。该地区属温带大陆性季风气候,昼夜温差大,年平均气温2.1℃,年均降水量400mm左右,无霜期约117d,符合藜麦生长所需条件。

1.2 试验材料 亲本为2份性状差异显著且遗传稳定的藜麦种质资源。藜麦种质A:苦藜材料Cahuana,由河北省科技创新服务中心提供;主要特性:皂苷含量0.69%,千粒重3.2g,抗旱指数1.32,产量130kg/667m²;该材料产量高、抗逆性强,但口感苦涩。藜麦种质B:甜藜品系Real,由河北省科技创新服务中心提供;主要特性:皂苷含量≤0.3%,千粒重2.6g,抗旱指数0.87,产量110kg/667m²;该材料口感好,但产量低、抗逆性弱。

1.3 试验设计 2022年5月采用完全双列杂交中的正反交设计^[10],共配制2个杂交组合。正交组合:Cahuana(♀)×Real(♂),记作A×B;反交组合:Real(♀)×Cahuana(♂),记作B×A。在藜麦成熟后收回F₁种子,于2022年11月10日在云南元谋种植F₁,筛选出优势显著F₂。2023年5月23日将F₂分小区种植,每个小区20m²,开展系谱选择,2个组合各筛选1个优良株系,收获F₃种子。2023年11月5日在云南元谋种植F₃,获得性状较为稳定并且符合育种目标的品系F₄。2024年种植杂交后代F₄(A×B)、F₄(B×A),设置2个亲本作为对照,每个小区30m²,3次重复。

1.4 数据收集 记录亲本及F₄的播种期、出苗期、分枝期、显穗期、开花期、灌浆期、成熟期,并计算总

生育期。在成熟期,各小区随机选取1m²长势较好的植株测量株高、分枝数、主穗长、穗粒重,3次重复取平均值。小区收获测产后计算折合每667m²产量,晾晒后测定千粒重。

测定籽粒的蛋白质、脂肪、淀粉、皂苷含量,蛋白质含量采用凯氏定氮法测定,脂肪含量采用溶剂抽提法测定,淀粉含量采用酶法测定,皂苷含量参照香草醛-硫酸比色法进行测定。组织10名品评员,对蒸煮后的藜麦米饭进行感官评价,从色泽、气味、口感、总体接受度方面进行打分(1~10分),计算消费者接受度评分均值。

对育成材料的主穗长、穗粒重、产量和千粒重的杂种优势进行分析。中亲优势(HM, Heterosis over mid-parent)计算公式:HM(%)=(F₄-MP)/MP×100,超亲优势(HB, Heterosis over better-parent)计算公式:HB(%)=(F₄-BP)/BP×100,其中MP为中亲值,BP为高值亲本值^[11]。

1.5 分析方法 使用Microsoft Excel 2021进行原始数据的整理与计算,使用SPSS 26.0软件进行数据分析,采用单因素方差分析检验亲本与F₄各性状的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 藜麦种质的生育期 如表1所示,4种藜麦材料在生长发育过程中存在明显差异。Cahuana(A)作为晚熟品种,全生育期长达124d,从播种到成熟比早熟品种Real(B)多12d;在各生育阶段均表现出较慢的生长速度,与Real(B)相比,出苗期晚2d,分枝期晚5d,显穗期晚7d,开花期晚10d,灌浆期晚12d。

杂交组合F₄(A×B)和F₄(B×A)生育期均表现出双亲的中间遗传特性,分别为122d和119d,介于双亲之间。杂交方向对生育期有显著影响,以Cahuana为母本的F₄(A×B)生育期比以Real为母本的F₄(B×A)长3d,表明母本效应对藜麦生育

表1 亲本及F₄生育期特性分析

种质资源	播种期 (月/日)	出苗期 (月/日)	分枝期 (月/日)	显穗期 (月/日)	开花期 (月/日)	灌浆期 (月/日)	成熟期 (月/日)	生育期 (d)
Cahuana(A)	5/20	5/27	6/15	7/6	7/24	8/16	9/21	124
Real(B)	5/20	5/25	6/10	6/29	7/14	8/4	9/9	112
F ₄ (A×B)	5/20	5/26	6/13	7/3	7/22	8/14	9/19	122
F ₄ (B×A)	5/20	5/26	6/12	7/2	7/20	8/11	9/16	119

期存在一定的调控作用。在具体生育阶段上,2个杂交组合的出苗期相同,但 $F_4(A \times B)$ 在分枝期、显穗期、开花期、灌浆期和成熟期均比 $F_4(B \times A)$ 晚1~3d,进一步证实了母本的遗传效应。

以上结果表明,可以通过选择合适的亲本组合和杂交方向来调节品种的生育期,以适应不同地区的种植条件和市场需求^[12]。

2.2 藜麦种质的主要农艺性状 如表2所示,4种藜麦材料的农艺性状存在显著差异。在株高方面, $F_4(A \times B)$ 表现最优(173.8cm),显著高于其他藜麦材料,Real(B)株高最低(165.4cm)。分枝数则以Cahuana(A)最多(28.5个), $F_4(A \times B)$ 次之(25.3个),两者无显著差异,但均显著高于其他藜麦材料。 $F_4(A \times B)$ 的主穗长最长(53.5cm),其次是Cahuana(50.6cm)和 $F_4(B \times A)$ (50.1cm),Real(B)主穗长最短,仅43.8cm。穗粒重和产量是评价品种产量的关键指标, $F_4(A \times B)$ 在这2个性状上的表现最为突出,穗粒重达41.6g,较反交组合高5.7g,增幅15.9%;产量高达162.3kg/667m²,显著高于2个亲本及反向杂交组合,较Cahuana(A)、Real(B)分别提高24.7%、46.9%,高于反交组合22.6%,表明Cahuana(A) × Real(B)正交组合具有显著的产量提升潜力。千粒重方面,杂交后代 $F_4(B \times A)$ 表现最佳(3.32g),与 $F_4(A \times B)$ 和Cahuana(A)无显著差异,但这3个材料均显著高于Real(B),这表明杂交可以提高藜麦籽粒饱满度^[13]。

以上结果表明, $F_4(A \times B)$ 杂交组合在株高、分枝数、穗粒重、千粒重和产量等关键农艺性状上均表现出较强的杂种优势,可作为高产藜麦品种选育的重要材料。

2.3 F_4 杂种优势 从表3可以看出,在2个杂交组合中, $F_4(A \times B)$ 表现出显著的杂种优势。主穗长方面, $F_4(A \times B)$ 表现出6.0%的超亲优势,而 $F_4(B \times A)$ 则没有超亲优势(-1.0%);穗粒重方面, $F_4(A \times B)$ 表现出16.0%的超亲优势,而 $F_4(B \times A)$ 则没有超亲优势;千粒重方面, $F_4(A \times B)$ 表现出2.2%的超亲优势,而 $F_4(B \times A)$ 则没有超亲优势。产量方面, $F_4(A \times B)$ 的中亲优势高达34.9%,超亲优势也达到24.7%,这表明其产量不仅远超双亲平均值,还超过了双亲中较优良的单个亲本; $F_4(B \times A)$ 的产量优势明显较弱,其中亲优势仅为10.0%,超亲优势仅为1.7%。以上结果说明,Cahuana(A)作为母本、Real(B)作为父本的杂交组合具有更好的表现,杂交方向对杂种优势有影响,且藜麦杂交中存在明显的母性效应或细胞质遗传现象。

2.4 品质特性 由表4可以看出,4种藜麦材料间存在明显品质差异。Cahuana(A)作为高营养品质亲本,在皂苷含量(0.69%)、蛋白质含量(15.83%)、脂肪含量(8.41%)和淀粉含量(61.80%)方面均表现最优,但是其消费者接受度评分仅为3.5分,显著低于其他材料,主要原因是其高皂苷含量带来的苦味问题。Real(B)虽然营养成分含量相对较低,但其皂苷含量低(0.18%),因此获得了最高的消费者接受度(8.2分),说明消费者更偏好低皂苷含量的藜麦品种^[14]。杂交组合 $F_4(A \times B)$ 和 $F_4(B \times A)$ 的皂苷含量分别为0.28%和0.27%,远低于Cahuana(A)但略高于Real(A)。在营养成分方面,杂交组合表现出不同程度的中间遗传特性,其中 $F_4(A \times B)$ 在脂肪含量(7.82%)、淀粉含量(58.85%)上更接近

表2 亲本及 F_4 主要农艺性状

种质资源	株高(cm)	分枝数	主穗长(cm)	穗粒重(g)	千粒重(g)	产量(kg/667m ²)
Cahuana(A)	172.1 ± 5.1b	28.5 ± 5.3a	50.6 ± 7.9b	35.8 ± 0.4b	3.21 ± 0.08a	130.2 ± 10.2b
Real(B)	165.4 ± 4.2d	15.2 ± 4.8c	43.8 ± 9.1c	28.2 ± 0.3c	2.61 ± 0.06b	110.5 ± 8.5c
$F_4(A \times B)$	173.8 ± 4.8a	25.3 ± 3.1a	53.5 ± 9.5a	41.6 ± 0.5a	3.28 ± 0.09a	162.3 ± 12.3a
$F_4(B \times A)$	168.2 ± 5.2c	23.1 ± 3.5b	50.1 ± 8.2b	35.9 ± 0.6b	3.32 ± 0.06a	132.4 ± 11.7b

同列不同小写字母表示在0.05水平上存在显著差异,下同

表3 F_4 产量性状的杂种优势

杂交组合	主穗长-超亲优势(%)	穗粒重-超亲优势(%)	千粒重-超亲优势(%)	产量-中亲优势(%)	产量-超亲优势(%)
$F_4(A \times B)$	6.0	16.0	2.2	34.9	24.7
$F_4(B \times A)$	-1.0	0	0	10.0	1.7

表4 亲本及 F₄ 品质与抗性表现

种质资源	皂苷(%)	蛋白质(%)	脂肪(%)	淀粉(%)	消费者接受度评分
Cahuana (A)	0.69 ± 0.10a	15.83 ± 0.21a	8.41 ± 0.32a	61.80 ± 0.35a	3.5 ± 0.5c
Real (B)	0.18 ± 0.12c	15.21 ± 0.15c	6.90 ± 0.22b	55.91 ± 0.28c	8.2 ± 0.4a
F ₄ (A × B)	0.28 ± 0.15b	15.36 ± 0.18b	7.82 ± 0.15ab	58.85 ± 0.35b	7.1 ± 0.6b
F ₄ (B × A)	0.27 ± 0.14b	15.64 ± 0.19ab	6.54 ± 0.32b	56.23 ± 0.37b	6.8 ± 0.5b

高值亲本,而 F₄ (B × A)在蛋白质含量(15.64%)上表现更佳。在消费者接受度方面,2个杂交组合分别为7.1分和6.8分,均高于 Cahuana (A),接近 Real (B)的水平。

3 讨论

通过藜麦杂交试验发现,正反交结实率的差异表现出母本选择在杂交育种中的关键作用。F₄在产量和品质方面表现出杂交育种的潜力。Cahuana (A) × Real (B)正交组合在产量和综合性状上优于反交组合,说明以 Cahuana (A)为母本的杂交具有一定的优越性,这为藜麦杂交育种亲本的选择提供了参考。本研究发现藜麦杂交后代多数性状表现为典型的中间型遗传模式,无论是生育期、株高、分枝数等形态指标,还是产量构成因素及多数营养品质指标,杂交后代均稳定地介于高值亲本 Cahuana 与低值亲本 Real 之间,这一现象符合数量性状由多基因控制的遗传规律,这也表明杂交育种是改良藜麦农艺性状或品质性状的一种有效手段。

本研究仅涉及2个亲本和2个杂交组合,结论存在局限性,下一步研究应着重构建遗传分离群体,采用 QTL 定位或关联分析等方法,挖掘控制皂苷含量、产量等重要性状的关键基因位点,开发分子标记辅助选择技术,推动藜麦育种从经验积累向精准设计的跨越式发展。

(上接第88页)

可以在宝鸡地区进行推广种植。为了促进产量的进一步提升,需注意精细整地,施足底肥,适期播种,加强田间管理,做好“一喷三防”,及时防治病虫害,适时收获。

参考文献

[1] 魏小社,孙斌县,朱永霞,宋文亮,侯银娟. 小麦良种推广宝鸡模式创新探索. 中国种业,2022 (11):47-49
[2] 张俊文. 2021-2022 年度宝鸡市小麦生产自然灾害发生特点及应对

参考文献

[1] 魏志敏,李顺国,夏雪岩,刘斐,刘猛,赵宇,周汉章. 藜麦的特性及其发展建议. 河北农业科学,2016,20 (5):14-17
[2] 贡布扎西,旺姆,张崇玺,王德亨,杨庆寿. 南美藜生物学特性研究. 西藏农业科技,1994,16 (4):43-48
[3] 稼祺. 藜麦:补充脑力的理想食品. 农产品加工,2013 (11):66
[4] Ward S M,Johnson D L. Cytoplasmic male sterility in quinoa. Euphytica,1993,66:219-223
[5] 杨发荣. 藜麦新品种陇藜1号的选育及应用前景. 甘肃农业科技,2015,46 (12):1-5
[6] 魏志敏,吕玮,刘猛,卢川,刘建军,王新玉,李顺国. 藜麦新品种燕藜1号的选育及高产栽培技术. 贵州农业科学,2022,50 (6):1-4
[7] 董艳辉,王育川,温鑫,李亚莉,侯丽媛,赵菁,曹秋芬,王斌,吴慎杰,秦永军. 藜麦育种技术研究进展. 中国种业,2020 (1):8-13
[8] 郝志锋. 浅析藜麦育种技术研究进展. 山西农经,2020 (13):96,98
[9] 袁飞敏,权有娟,刘德梅,陈志国. 藜麦植株形态及花器结构的初步观察. 甘肃农业大学学报,2018,53 (4):49-53
[10] 谢富欣,刘焱,李成焕,张文菁,王飞雪,马文才. 芝麻杂交育种中父母本选配分析. 中国种业,2020 (9):13-16
[11] 赵世举,郭原菲,郑蓓蓓,赵雅琴,尹聪颖,赵林茂,陈燕红,孙爱清,吴承来. 玉米株型多个性状杂种优势及相关性分析. 中国种业,2025 (9):93-97
[12] 张燕红,郭占斌,刘瑞香. 50 份藜麦种质资源农艺性状的综合分析与评价. 中国农业科技导报,2024,26 (6):45-54
[13] 王建瑞,刘瑞香,郭占斌,王树彦,高万隆,杨广源. 不同品系藜麦干物质和氮素积累转运对产量的影响. 农业与技术,2024,44 (9):9-15
[14] 白永霞,张素艳,朱晓丽,吕燕. 3 种不同藜麦营养成分分析. 云南农业,2025,39 (7):88-89

(收稿日期:2025-11-19)

措施. 陕西农业科学,2024,70 (6):30-32

[3] 王宝梅,杜文军,吕金仓,王周玉,马雯,李旦旦. 国家黄淮旱薄地小麦区试品种(系)在关中西部适应性评价. 陕西农业科学,2024,70 (7):19-2128
[4] 赵虹,王西成,曹廷杰. 注重用种安全,用好小麦良种——2006 年秋播黄淮南片麦区小麦品种利用建议. 河南农业科学,2006,35 (8):20-24
[5] 赵国宁,马富鹏. 小麦“一喷三防”技术的应用方法和要点. 棉花科学,2025 (2):110-112

(收稿日期:2025-11-03)