

DOI:10.19462/j.cnki.zgzy.20251119001

## 藜麦杂交育种材料创制研究

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

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

<sup>4</sup> 河北省杂粮产业技术研究院,邯郸 056001; <sup>5</sup> 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,扩宽育种思路和技术,以高产抗逆的苦藜材料 Cahuana 与优质适口的甜藜品种 Real 为亲本,通过正反交设计培育 F<sub>4</sub> 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 F<sub>4</sub> 在生育期(122d)、株高(173.8cm)、产量(162.3kg/667m<sup>2</sup>)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 Zhimin<sup>1</sup>, ZHAO Yu<sup>1</sup>, WANG Jingxin<sup>1</sup>, LI Yang<sup>2</sup>, WANG Yanzhi<sup>3</sup>, TANG Liying<sup>3</sup>,  
YANG Hongsheng<sup>1</sup>, LIU Jianjun<sup>4</sup>, LYU Wei<sup>5</sup>, LI Shunguo<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Millet Research Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050035; <sup>2</sup> Hebei Agricultural University, Baoding 071001, Hebei; <sup>3</sup> Chengde Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Chengde 067000, Hebei;

<sup>4</sup> Hebei Minor Grain Industry Technology Research Institute, Handan 056001, Hebei;

<sup>5</sup> Hebei Science and Technology Innovation Service Center, Shijiazhuang 050035)

藜麦属于苋科,藜属,一年生双子叶植物,具较强的抗旱和耐瘠薄能力。茎秆直立,有分枝,叶片呈鸭掌状<sup>[1]</sup>,花序为圆锥花序<sup>[2]</sup>。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<sup>[3]</sup>。

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<sup>[4]</sup>。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<sup>[5-6]</sup>。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<sup>[7]</sup>。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<sup>[8]</sup>。

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<sup>[9]</sup>。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和数据,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/667m<sup>2</sup>;该材料产量高、抗逆性强,但口感苦涩。藜麦种质B:甜藜品种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/667m<sup>2</sup>;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<sup>[10]</sup>,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F<sub>1</sub>种子,于2022年11月10日在云南元谋种植F<sub>1</sub>,筛选出优势显著F<sub>2</sub>。2023年5月23日将F<sub>2</sub>分小区种植,每个小区20m<sup>2</sup>,开展系谱选择,2个组合各筛选1个优良株系,收获F<sub>3</sub>种子。2023年11月5日在云南元谋种植F<sub>3</sub>,获得性状较为稳定并且符合育种目标的品系F<sub>4</sub>。2024年种植杂交后代F<sub>4</sub>(A×B)、F<sub>4</sub>(B×A),设置2个亲本作为对照,每个小区30m<sup>2</sup>,3次重复。

**1.4 数据收集** 记录亲本及F<sub>4</sub>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1m<sup>2</sup>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667m<sup>2</sup>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(%)=(F<sub>4</sub>-MP)/MP×100,超亲优势(HB,Heterosis over better-parent)计算公式:HB(%)=(F<sub>4</sub>-BP)/BP×100,其中MP为中亲值,BP为高值亲本值<sup>[11]</sup>。

**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F<sub>4</sub>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F<sub>4</sub>(A×B)和F<sub>4</sub>(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F<sub>4</sub>(A×B)生育期比以Real为母本的F<sub>4</sub>(B×A)长3d,表明母本效应对藜麦生育

表1 亲本及F<sub>4</sub>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 <sub>4</sub> (A×B)	5/20	5/26	6/13	7/3	7/22	8/14	9/19	122
F <sub>4</sub> (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<sup>[12]</sup>。

**2.2 黍麦种质的主要农艺性状** 如表 2 所示,4 种黍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), 显著高于其他黍麦材料, 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, 但均显著高于其他黍麦材料。  $F_4 (A \times B)$  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/667m<sup>2</sup>, 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)  $\times$  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黍麦籽粒饱满度<sup>[13]</sup>。

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, 可作为高产黍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, 且黍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 种黍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黍麦品种<sup>[14]</sup>。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 <sup>2</sup> )
Cahuana (A)	172.1 $\pm$ 5.1b	28.5 $\pm$ 5.3a	50.6 $\pm$ 7.9b	35.8 $\pm$ 0.4b	3.21 $\pm$ 0.08a	130.2 $\pm$ 10.2b
Real (B)	165.4 $\pm$ 4.2d	15.2 $\pm$ 4.8c	43.8 $\pm$ 9.1c	28.2 $\pm$ 0.3c	2.61 $\pm$ 0.06b	110.5 $\pm$ 8.5c
$F_4 (A \times B)$	173.8 $\pm$ 4.8a	25.3 $\pm$ 3.1a	53.5 $\pm$ 9.5a	41.6 $\pm$ 0.5a	3.28 $\pm$ 0.09a	162.3 $\pm$ 12.3a
$F_4 (B \times A)$	168.2 $\pm$ 5.2c	23.1 $\pm$ 3.5b	50.1 $\pm$ 8.2b	35.9 $\pm$ 0.6b	3.32 $\pm$ 0.06a	132.4 $\pm$ 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  $F_4$  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  $F_4$  (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。 $F_4$  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,王德亭,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)