

杨 钊,刘文瑜,黄 杰,等. 基于主成分分析和聚类分析综合评价不同品种藜麦在黄土高原地区种植的适宜性[J]. 江苏农业科学,2023,51(24):21-32.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.24.003

# 基于主成分分析和聚类分析综合评价不同品种藜麦在黄土高原地区种植的适宜性

杨 钊<sup>1</sup>,刘文瑜<sup>2</sup>,黄 杰<sup>2</sup>,魏玉明<sup>2</sup>,谢志军<sup>2</sup>,李 琦<sup>3</sup>,杨发荣<sup>2</sup>

(1. 甘肃省农业科学院,甘肃兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院畜草与绿色农业研究所,甘肃兰州 730070;

3. 甘肃省农业科学院生物技术研究所,甘肃兰州 730070)

**摘要:**为了深入了解和利用不同藜麦品种在黄土高原地带种植的适宜性,以 6 个藜麦品种(系)为材料,在观察其物候期的基础上对 13 项农艺性状指标、产量性状指标和品质指标进行比较分析,并采用主成分分析和聚类分析对不同藜麦品种进行适宜性种植综合评价。结果表明:不同藜麦品种(系)在黄土高原地带种植的生育期均有所差别,基本从开花期就初显端倪。不同品种藜麦在黄土高原地带种植后其性状表现中除了水分含量指标之外,其他指标的变异系数均大于 15%,并且各指标间均存在相关性,其中产量除与倒伏率间呈负相关外,与其他生长指标间均呈正相关,且与分枝数和有效分枝数间均呈显著性正相关,与有效分枝数间的关联程度更高。主成分分析综合得分排名结果显示,在黄土高原地带种植藜麦较佳的品种(系)名称依次分别为陇藜 5 号、LXM、台湾红藜、陇藜 3 号、陇藜 7 号、C07。聚类分析后可将 6 个品种(系)分为 3 类,分别为以矮秆为特征的陇藜 5 号、LXM 和 C07 等品种(系),以株型为特征的陇藜 7 号和陇藜 3 号等品种,及以产量为代表的台湾红藜。各藜麦品种(系)在黄土高原地带种植后表现出的性状具有丰富的多样性,在以收获产量为目标的情况下可根据藜麦的主穗长度、主穗直径等株型性状进行选择。台湾红藜的优异表现可作为黄土高原藜麦规模化种植及地方品种种质创新的优良品种。

**关键词:**藜麦;黄土高原;适宜性评价;农艺性状;产量性状;品质指标;主成分分析;聚类分析

**中图分类号:**S512.904 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)24-0021-11

藜麦(*Chenopodium quinoa* Willd)又被称为南美藜,是苋科藜属一年生双子叶草本植物,在原产地南美洲安第斯山区的秘鲁、玻利维亚、厄瓜多尔等国家作为特色作物被当地人称为“粮食之母”,自英国开始引种并小规模种植之后,到被美国、加拿大等国家陆续引进和大规模驯化种植,距今已有 7 000 年的栽培历史<sup>[1-2]</sup>。20 世纪 80—90 年代,西藏率先开展有关藜麦在我国高海拔地区种植过程中生物学特性评价、栽培育种技术及病虫害研究等工

作<sup>[3]</sup>。当前,国内藜麦的种植范围已辐射至甘肃<sup>[4]</sup>、山西<sup>[5]</sup>、青海<sup>[6]</sup>、新疆<sup>[7]</sup>、内蒙古<sup>[8]</sup>等地,且种植面积在逐年扩大,相关产业获得多维度、多方位发展,极大地促进了藜麦产业链在我国迅速发展<sup>[9]</sup>。2014 年我国藜麦种植总面积约 3 333 hm<sup>2</sup><sup>[10]</sup>,2018 年就发展到 1.2 万 hm<sup>2</sup><sup>[10-11]</sup>。藜麦作为一种兼具营养与生态价值的作物,在各地“调结构,转方式,保增收”的农业政策落实和助力全面小康建设中发挥了重要作用<sup>[12-13]</sup>。

由于藜麦对干旱、寒冷、耐盐碱等非生物胁迫的抗性较强,在世界各地的栽培面积逐年扩大<sup>[14]</sup>。但是,不同地区藜麦在株高、穗型、分枝、粒质量等生物学特征上差异较大,且易受到海拔、温度、机械化水平等条件影响,藜麦的栽培措施具有较大的区域性差异。而黄土高原地处黄河中游,属于半湿润区向半干旱区过渡地带,具有重要的生态服务功能,为区内提供粮食生产、水源涵养、土壤保持等生态系统服务的同时,也向其他区域外溢生态系统服务,尤其向黄河下游提供水源涵养、土壤保持等服

收稿日期:2023-04-14

基金项目:国家自然科学基金(编号:31660357);甘肃省科技支撑计划(编号:21JR7RA730);中央引导地方科技发展专项;甘肃省农业科学院重点研发计划(编号:2020GAAS31);甘肃省农业科学院生物育种专项(编号:2022GAAS07);甘肃省兰州市科技计划(编号:2019-3-15);甘肃省东乡县藜麦全产业链建设项目。

作者简介:杨 钊(1990—),男,甘肃宁县人,硕士,助理研究员,主要从事藜麦栽培研究。E-mail:475969096@qq.com。

通信作者:杨发荣,研究员,主要从事藜麦栽培和育种研究。E-mail:lzyfr08@163.com。

务<sup>[15]</sup>。在植被类型发生变化后,黄土高原地区的土壤生产潜力得到大幅提高,而且其生物多样性和覆盖率一定程度上受到气候改善和地形地貌的变动影响已处于向好向上发展<sup>[16-17]</sup>。独特的黄土高原地区气候和环境为种植藜麦提供了得天独厚的地理条件。因此,本研究通过对比现有材料多个品种间的统计学差异,构建并分析了各品种在黄土高原地带适应性种植的拓展方向,拟合出在黄土高原地带高产量栽培的品种、高营养物质含量栽培的品种、重要性状赋能新品种选育的品种。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

试验地位于甘肃省庆阳市宁县南义乡马泉村,属半干旱气候,典型的雨养农业区。海拔 1 180 m,年降水量 480~660 mm,主要集中在 7—9 月,年均温 10.4 ℃,≥10 ℃年积温 3 305.5 ℃·d,无霜期 190 d,全生育期≥10 ℃年有效积温 2 986.75 ℃·d。前茬为玉米,土壤为黄绵土,其 pH 值为 8.60,含有机质、全盐、速效氮、速效磷、速效钾分别为 12.1%、0.083%、116.0 mg/g、36.0 mg/kg、189.0 mg/kg。

### 1.2 试验设计

选用适宜低海拔旱地种植的 6 个藜麦品种(系)为试验材料(表 1)。试验田于 2021 年 4 月 15 日在一次性撒施磷酸二铵 500 kg/hm<sup>2</sup> 后旋耕(深度为 50 cm),并耙耱掉前茬作物的残根,将石砾清理出田块,最后平压整地,做到土质紧实,墒足平整,随即覆宽 1.2 m 的白膜后播种。试验各品种小区随机排列组合,各处理设 3 次重复,共 18 个小区,小区面积为 37 m<sup>2</sup>,区间留宽 1 m 走道。株距 30 cm,行距 30 cm,覆膜穴播,播种量 4.5 kg/hm<sup>2</sup>,穴播播种深度 2~3 cm。6~8 叶期时进行间苗、定苗,留苗 1 株/穴,保苗约 82 500 株/hm<sup>2</sup>,在藜麦整个生长期进行中耕人工清除杂草,在花蕾期灌水 1 次,全生育期灌水 2 次。其他田间管理同当地高产农田管理。

表 1 6 个供试藜麦品种(系)概况

序号	品种(系)	来源	发芽率 (%)
1	陇藜 5 号	甘肃省农业科学院畜草与绿色农业研究所	95
2	LXM	民乐县西北堂藜麦科技有限公司	82
3	陇藜 7 号	甘肃省农业科学院畜草与绿色农业研究所	90
4	C07	甘肃省农业科学院畜草与绿色农业研究所	88
5	陇藜 3 号	甘肃省农业科学院畜草与绿色农业研究所	85
6	台湾红藜	中国台湾世华花卉科技有限公司	89

### 1.3 测定方法

1.3.1 物候期观测 每小区连测 5 株具有代表性的植株,记录其播种期、出苗期、显序期、开花期、灌浆期、成熟期等各生育期时间。以田间 50% 以上植株达到对应生育时期的标准日期为准,其中成熟期以田间藜麦叶片 80% 枯黄并有部分开始脱落为准。

1.3.2 农艺性状 每份材料选取 5 株,从出苗期开始,每隔 7 d 测量 1 次,直至成熟期为止。株高(cm):从地面至植株生长最高部位的距离。分枝数:从贴近地面处数取所有的分枝。有效分枝数:从贴近地面处数取每株分枝数中结实的分枝,记为有效分枝数。主穗长度(cm):成熟期植株主茎上生长的穗的长度,从主穗基部至穗顶的距离。侧穗长度(cm):侧穗基部至穗顶的距离。主穗直径(cm)和侧穗直径(cm):用游标卡尺分别测量成熟期植株主茎和侧茎上生长的穗的直径。

1.3.3 产量相关性状 倒伏率:于成熟期统计每份材料每个小区倒伏数,包括根倒伏和茎倒伏,根倒伏是植株自地表处同根系一起倾斜歪倒,根倒率=根倒伏总株数/总株数;茎倒伏是植株从基部以上某个节位折断,茎倒率=茎秆折断株数/总株数,重复 3 次,取平均值。产量:适时收获,每株单独收获脱粒测产。去除边行收获并按小区计产,根据种植的株行距计算单位面积藜麦籽粒产量,随机选取 10 株考种,脱粒、晾晒后称量,重复 3 次,取平均值。千粒质量:籽粒成熟后风干,数 1 000 粒称质量,重复 3 次,取平均值。

1.3.4 品质性状 先将收获的藜麦籽粒称取鲜质量,烘干并测定水分含量;将藜麦籽粒粉碎,过 60 目筛,测定蛋白质含量和灰分含量。采用烘干法测定水分含量,参照国家标准 GB/T 20264—2006《粮食、油料水分两次烘干测定法》进行。蛋白质含量测定参考农业标准 NY/T 3—1982《谷类、豆类作物种子粗蛋白测定法(半微量凯氏法)》,测定过程中使用 FOSS2300 型全自动定氮仪(丹麦福斯特卡托公司),其中氮转换成蛋白质的系数为 6.25。灰分含量测定参考国家标准 GB/T 22510—2008《谷物、豆类及副产品灰分含量的测定》,测定过程中使用智能纤维箱式电阻炉(天津市中环实验电炉有限公司)。所有测定由甘肃省农业科学院农业测试中心实验室完成。

### 1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 进行数据整理,以“平

均值 ± 标准差”表示测定结果,利用 SPSS 19.0 对所测数据统计分析,用 Origin 2019b 对统计数据作图。不同品种(系)间同一指标进行单因素方差分析,用 Duncan's 检验法进行差异显著性比较,并对各性状指标进行相关性分析、主成分分析及聚类分析,其中主成分分析采用降维 - 因子分析法,聚类方法采用系统聚类 - 平方欧氏距离 - 离差平方和法。

## 2 结果与分析

### 2.1 黄土高原地区藜麦生长物候期

表 2 显示,陇藜 5 号、LXM、陇藜 7 号、C07、陇藜 3 号和台湾红藜的生育期分别为 120、120、134、135、131、196 d,从开花期到成熟期分别需要 59、57、72、72、68、116 d,从灌浆期到成熟期分别需要 43、43、56、50、43、80 d,说明各藜麦品种从物候期上即可表现出差异。品种生育期的差别源自品种的特异性,供试藜麦品种中台湾红藜的生育期最长,其次为陇藜 7 号、C07 和陇藜 3 号,再次为陇藜 5 号和 LXM。除了台湾红藜是从显序期开始就表现出差别之外,其他各品种生育期的差异大致是从藜麦的开花期开始就有差别,而 C07 和陇藜 3 号与其他品种相比则主要是在灌浆期出现了较大的差异。总体来看,藜麦的出苗期、显序期和开花期出现的时间较为集中,而成熟期则较为分散。

### 2.2 藜麦农艺性状、产量性状和品质指标的描述性分析

通过比较不同品种藜麦农艺性状评价指标的

表 2 黄土高原地区种植的藜麦物候期观测

品种	生育期(月-日)					
	播种期	出苗期	显序期	开花期	灌浆期	成熟期
陇藜 5 号	04-16	04-26	06-02	06-16	07-02	08-14
LXM	04-16	04-27	06-03	06-18	07-02	08-14
陇藜 7 号	04-16	04-27	06-30	06-17	07-03	08-28
C07	04-16	04-27	06-05	06-18	07-10	08-29
陇藜 3 号	04-16	04-27	06-04	06-18	07-13	08-25
台湾红藜	04-16	04-26	06-10	07-05	08-10	10-29

最值(表 3)发现,台湾红藜在株高、分枝数、有效分枝数、主穗直径、倒伏率、产量和蛋白质含量等性状上表现最好,LXM 在有效分枝数、倒伏率和千粒质量等性状上表现最好,陇藜 5 号在主穗长度、侧穗长度、侧穗直径等性状上表现最好,陇藜 7 号、C07 分别在水分含量和灰分含量等性状上表现最好。同时,比较分析各项指标的变异系数发现,除了水分含量指标之外,不同品种藜麦在黄土高原地带种植后其性状表现的变异系数均大于 15%,表明各品种藜麦的水分含量受黄土高原种植环境影响不明显,但其他性状所受的地域生长环境影响明显。变异系数从高到低依次为倒伏率、侧穗直径、侧穗长度、株高、千粒质量、产量、分枝数、主穗直径、主穗长度、蛋白质含量、灰分含量、有效分枝数和水分含量,表明在黄土高原地带下生长对不同品种藜麦的倒伏率、侧穗长度、株高、千粒质量、产量等有较强的影响,而对水分含量、有效分枝数、灰分含量等的影响不明显。

表 3 不同品种藜麦农艺性状、产量性状和品质指标描述性分析

指标	各品种(系)的平均值						最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数 (%)
	陇藜 5 号	LXM	陇藜 7 号	C07	陇藜 3 号	台湾红藜					
株高(cm)	157.33d	142.20d	226.27b	159.07d	193.87c	348.93a	129.00	378.00	206.92	73.04	0.35
分枝数(个)	25.93c	26.33c	27.00c	25.80c	29.93b	43.93a	20.00	49.00	30.01	7.56	0.25
有效分枝数(个)	17.80b	19.80a	15.73c	17.60b	17.47b	19.80a	11.00	24.00	18.04	2.70	0.15
主穗长度(cm)	59.87a	58.80a	52.93b	35.80c	55.13a	58.40a	30.00	69.00	53.29	9.86	0.19
侧穗长度(cm)	38.87a	35.13b	17.27e	17.87de	20.00cd	23.07c	12.00	52.00	25.20	9.62	0.38
主穗直径(cm)	14.07a	15.20a	15.07a	11.10a	14.47b	15.60a	8.00	20.00	14.26	3.06	0.21
侧穗直径(cm)	7.27a	4.00cd	4.00cd	3.10d	4.67bc	5.40b	2.00	12.00	4.74	1.94	0.41
倒伏率	0.40a	0.05a	0.15a	0.20a	0.20a	0.05a	0.05	0.60	0.28	0.16	0.59
产量(kg/667 m <sup>2</sup> )	92.50c	105.00b	60.00f	70.00e	80.00d	148.50a	59.90	148.60	92.67	29.74	0.32
千粒质量(g)	0.56a	0.57a	0.36b	0.37b	0.32c	0.19d	0.17	0.58	0.39	0.14	0.35
蛋白质含量(g/kg)	15.05d	14.30d	15.25c	13.57f	15.48b	21.02a	13.56	21.03	15.78	2.50	0.16
水分含量(g/kg)	8.66e	8.12f	10.94a	9.24c	9.55b	8.71d	8.11	10.95	9.20	0.93	0.10
灰分含量(g/kg)	2.78e	2.87d	2.86d	3.98a	3.92b	3.51c	2.77	3.99	3.32	0.52	0.16

### 2.3 藜麦农艺性状、产量性状和品质指标的显著性分析

表 4 的方差齐性检验结果显示,试验各品种的株高、分枝数、有效分枝数及主穗直径等多个指标间存在方差齐性,即可用等方差假设进一步在表 2 中标注各指标值的显著性;主穗长度、侧穗长度、主穗直径和倒伏率间不存在方差齐性,则需用异方差进行进一步分析,即使用 Brown - Forsythe 的修正值标注各指标值的显著性。同时表 3 的单因素方差分析显示,各品种中陇藜 5 号、LXM、陇藜 7 号、C07、陇藜 3 号和台湾红藜在株高、分枝数、有效分枝数、主穗长度、侧穗长度、侧穗直径、倒伏率、产量、千粒质量、蛋白质含量、水分含量及灰分含量等指标上存在极显著差异,在主穗直径指标上存在显著差异。由表 3 可以看出,株高以台湾红藜最大,与其他品种间存在极显著差异;分枝数也以台湾红藜最大,与其他品种间存在极显著差异;有效分枝数以台湾红藜和 LXM 最大,与其他品种间存在极显著差异;主穗长度以陇藜 5 号最大,与 LXM、陇藜 3 号和台湾红藜间无显著差异,与其他品种间存在显著差异;侧穗长度以陇藜 5 号最大,与其他品种间存在显著性差异;主穗直径以台湾红藜最大,除与陇藜 3 号有显著性差异外,与其他各品种间无显著性差异;侧穗直径以陇藜 5 号最大,与其他各品种间均存在极显著性差异;倒伏率在各品种间无差异;产量以台湾红藜最大,与其他各品种间均存在极显著性差异;千粒质量以 LXM 最大,与陇藜 5 号无显著性差异,与其他各品种间存在极显著性差异;蛋白质含量以台湾红藜最大,与其他各品种间存在显著性差异;水分含量以陇藜 7 号最大,与其他各品种间存在显著性差异;灰分含量以 C07 最大,与其他各品种间存在显著性差异。

### 2.4 藜麦农艺性状、产量性状和品质指标的相关性分析

藜麦各项农艺性状之间的相关性分析结果(表 5)显示,藜麦的株高除与侧穗长度呈负相关外,与其他生长指标均呈正相关,其中与分枝数呈极显著正相关;分枝数与侧穗长度间呈负相关,与其他生长指标间均呈正相关;有效分枝数与其他指标间均呈正相关;主穗长度与其他生长指标间均呈正相关,且与主穗直径间呈显著性正相关;侧穗长度与株高和分枝数间均呈负相关,但与有效分枝数、主穗长度、主穗直径及侧穗直径间均呈正相关;主穗直

表 4 藜麦的农艺性状、产量性状和品质指标的方差齐性检验和单因素方差分析

指标	方差齐性检验			单因素方差分析		
	莱文统计值	P 值	平方和	均方	F 值	P 值
株高	1.298	0.273	424 271.922	84 854.384	141.182	0.000
分枝数	1.100	0.367	3 919.389	783.878	56.491	0.000
有效分枝数	0.596	0.703	211.822	42.364	8.162	0.000
主穗长度	3.225	0.010	5 236.489	1 047.298	25.768	0.000
侧穗长度	4.996	0.000	6 319.333	1 263.867	55.206	0.000
主穗直径	0.602	0.699	152.614	30.523	3.773	0.004
侧穗直径	5.240	0.000	159.147	31.829	15.194	0.000
倒伏率	7.110	0.003	0.161	0.032	1.330	0.316
产量	0.000	1.000	15 032.500	3 006.500	300 650.000	0.000
千粒质量	0.974	0.472	0.319	0.064	521.636	0.000
蛋白质含量	3.086	0.051	106.308	21.262	12 149.446	0.000
水分含量	0.000	1.000	14.549	2.910	29 098.400	0.000
灰分含量	0.000	1.000	4.612	0.922	9 224.400	0.000

注:各指标所进行的方差齐性检验和单因素方差分析均基于平均值。

径、侧穗直径与其他指标间均呈正相关。

藜麦产量性状与各农艺性状间的相关性分析结果显示,倒伏率与侧穗长度和侧穗直径间呈正相关,与其他指标均间呈负相关;产量除与倒伏率间呈负相关外,与其他生长指标间均呈正相关,且与分枝数和有效分枝数间均呈显著性正相关,特别是与有效分枝数间的关联程度更高;千粒质量与株高、分枝数、主穗直径间呈负相关,与有效分枝数、主穗长度、侧穗长度、侧穗直径和倒伏率间呈正相关。

藜麦品质性状与农艺性状间的相关性分析结果显示,藜麦的蛋白质含量除与侧穗长度和倒伏率间呈负相关外,与株高、分枝数、有效分枝数、主穗长度、主穗直径、侧穗直径间呈正相关,且与株高、分枝数间呈显著性正相关,特别是与分枝数的关联程度更高;水分含量除与株高、倒伏率间呈正相关外,与其他生长指标间均呈负相关;灰分含量与株高、分枝数、有效分枝数间呈正相关,与主穗长度、侧穗长度、主穗直径、侧穗直径和倒伏率间均呈负相关。

藜麦各项品质指标间的相关性分析结果显示,藜麦的蛋白质含量与水分含量呈负相关,与灰分含量呈正相关;水分含量与灰分含量间呈正相关;灰分含量与蛋白质含量间的关联程度高于其与水分含

表 5 藜麦的农艺性状、产量性状和品质指标的相关性分析

指标	相关系数													
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	
$X_1$	1.000													
$X_2$	0.939**	1.000												
$X_3$	0.220	0.506	1.000											
$X_4$	0.245	0.309	0.350	1.000										
$X_5$	-0.378	-0.202	0.483	0.606	1.000									
$X_6$	0.481	0.463	0.273	0.894*	0.256	1.000								
$X_7$	0.145	0.208	0.152	0.679	0.649	0.358	1.000							
$X_8$	-0.458	-0.487	-0.459	-0.039	0.329	-0.399	0.588	1.000						
$X_9$	0.637	0.828*	0.864*	0.515	0.334	0.498	0.389	-0.421	1.000					
$X_{10}$	-0.838	-0.763	0.040	0.197	0.774	-0.091	0.208	0.413	-0.286	1.000				
$X_{11}$	0.952**	0.979**	0.442	0.433	-0.112	0.563	0.348	-0.397	0.820*	-0.697	1.000			
$X_{12}$	0.143	-0.174	-0.896	-0.285	-0.719	-0.027	-0.316	0.064	-0.659	-0.372	-0.129	1.000		
$X_{13}$	0.162	0.258	0.023	-0.612	-0.642	-0.528	-0.419	-0.128	-0.027	-0.617	0.090	0.044	1.000	

注： $X_1$  表示株高， $X_2$  表示分枝数， $X_3$  表示有效分枝数， $X_4$  表示主穗长度， $X_5$  表示侧穗长度， $X_6$  表示主穗直径， $X_7$  表示侧穗直径， $X_8$  表示倒伏率， $X_9$  表示产量， $X_{10}$  表示千粒质量， $X_{11}$  表示蛋白质含量， $X_{12}$  表示水分含量， $X_{13}$  表示灰分含量。 \*\* 表示在 0.01 水平(双尾)相关性显著，\* 表示在 0.05 水平(双尾)相关性显著。

量间的关联程度。

## 2.5 藜麦农艺性状、产量性状和品质指标的主成分分析

2.5.1 主成分提取及成分荷载矩阵 从表 6 可以看出，KMO 统计量大于 0.5，且 Barlett 球形度检验显著性  $P < 0.5$ ，即检验阵是单位阵，说明各检验变量间的相关性足够小，具备做因子分析的条件。图 1 主成分碎石图中曲线坡度的陡峭程度表明，3 个主成分的特征值呈急剧下降的趋势显示，随着主成分特征值的增加，从第 3 个主成分开始，主成分的陡峭程度变化呈缓慢下降的趋势，表明前 3 个主成分因子对解释原变量(藜麦在黄土高原生长适宜性评价的所有信息)的贡献较大，选取 3 个主成分作为对原变量的分析方向。同时，由表 7 可知，前 3 个主成分的累计方差贡献率为 84.937%，即这 3 个主成分包含了原始变量 84.937% 的信息，具有较高的代表性，且其特征值分别为 5.083、4.066、1.894，均大于 1，表明这 3 个主成分基本涵盖了不同品种藜麦在黄土高原生长适宜性评价的所有信息。从公因子方差结果可知，每一个指标的共性方差大部分在 0.5 以上，且大多数超过 0.8，说明这 3 个公因子能够较好地反映原始各项指标的大部分信息。结合上述分析结果，本研究选取前 3 个主成分作为藜麦在黄土高原生长适宜性评价分析的指标。

由表 8 可以看出，旋转成分载荷是主成分与变

表 6 KMO 和 Barlett 球形度检验

检验类型	指标	数值
KMO 检验	统计量	0.512
Barlett 球形度检验	近似卡方	422.73
	自由度	78
	P 值	0.000

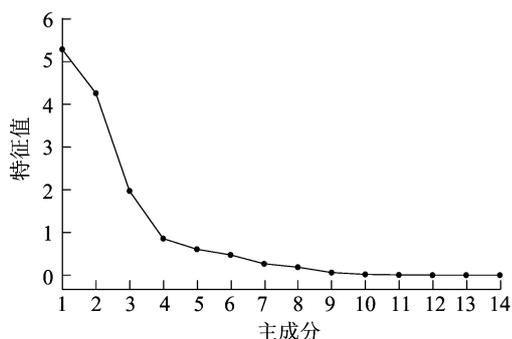


图 1 藜麦在黄土高原生长适宜性综合评价主成分碎石图

量的相关系数，其数值大小表示原有变量在降维后所构成的综合变量中的贡献率高低，对于一个变量而言，载荷绝对值越大的主成分与其关系越密切，也越能代表这个变量。结合表 6 和表 7 可知，主成分 1 的特征值和累计贡献率分别为 5.083 和 39.098%，与产量具有相对较高的载荷绝对值，故主成分 1 代表的是藜麦主要农艺性状和品质指标中产量的构成因子。主成分 2 的特征值和累计贡献率分别是 4.066 和 70.372%，在该主成分中千粒质量的载荷绝对值最大，表明主成分 2 体现的是藜麦主要

农艺性状和品质指标中千粒质量的相关信息。主成分 3 的特征值和累计贡献率分别为 1.894 和 84.937%，与主穗直径具有相对较大的载荷绝对值，

表明主成分 3 代表的是藜麦主要农艺性状和品质指标中主穗直径的相关信息。

表 7 藜麦在黄土高原生长适宜性综合评价总方差解释

主成分	初始特征值			提取载荷平方和			旋转载荷平方和		
	总计	方差贡献率(%)	累计贡献率(%)	总计	方差贡献率(%)	累计贡献率(%)	总计	方差贡献率(%)	累计贡献率(%)
1	5.083	39.098	39.098	5.083	39.098	39.098	4.514	34.721	34.721
2	4.066	31.274	70.372	4.066	31.274	70.372	3.368	25.908	60.629
3	1.894	14.565	84.937	1.894	14.565	84.937	3.160	24.309	84.938

表 8 藜麦在黄土高原生长适宜性综合评价主成分矩阵、旋转后的主成分矩阵和公因子方差

指标	主成分矩阵 <sup>a</sup>			旋转后的主成分矩阵 <sup>b</sup>			公因子方差	
	1	2	3	1	2	3	初始	提取
株高	0.68	-0.683	0.194	0.975	0.108	-0.061	1	0.967
分枝数	0.811	-0.565	-0.080	0.955	0.056	0.261	1	0.984
有效分枝数	0.609	0.156	-0.629	0.246	-0.022	0.854	1	0.791
主穗长度	0.700	0.413	0.450	0.204	0.882	0.208	1	0.863
侧穗长度	0.375	0.907	-0.104	-0.422	0.614	0.647	1	0.974
主穗直径	0.632	0.114	0.579	0.388	0.772	-0.046	1	0.748
侧穗直径	0.569	0.442	0.271	0.081	0.712	0.283	1	0.593
倒伏率	0.508	0.444	-0.144	0.004	0.405	0.559	1	0.476
产量	0.938	-0.061	-0.280	0.655	0.261	0.682	1	0.962
千粒质量	-0.268	0.956	-0.031	-0.885	0.360	0.270	1	0.986
蛋白质含量	0.860	-0.483	0.092	0.942	0.240	0.193	1	0.982
水分含量	-0.500	-0.497	0.665	0.081	-0.082	-0.962	1	0.939
灰分含量	-0.192	-0.678	-0.530	0.327	-0.819	0.014	1	0.777

注:提取方法为主成分分析法;旋转方法为凯撒正态化最大方差法。a 表示提取了 3 个主成分;b 表示旋转在 5 次迭代后已收敛。

2.5.2 主成分得分及综合得分评价 由表 9 可知,根据因子得分系数矩阵及其所对应的主成分,可以计算出主成分因子得分,公式如下所示:

$$F_1 = 0.222X_1 + 0.206X_2 + 0.026X_3 + 0.037X_4 - 0.119X_5 + 0.087X_6 - 0.007X_7 - 0.019X_8 + 0.124X_9 - 0.210X_{10} + 0.205X_{11} + 0.051X_{12} + 0.075X_{13};$$

$$F_2 = 0.046X_1 - 0.022X_2 - 0.139X_3 + 0.284X_4 + 0.122X_5 + 0.283X_6 + 0.212X_7 + 0.060X_8 - 0.012X_9 + 0.09X_{10} + 0.055X_{11} + 0.118X_{12} - 0.296X_{13};$$

$$F_3 = -0.073X_1 + 0.06X_2 + 0.326X_3 - 0.061X_4 + 0.171X_5 - 0.149X_6 - 0.002X_7 + 0.154X_8 + 0.202X_9 + 0.080X_{10} + 0.006X_{11} - 0.363X_{12} + 0.119X_{13}。$$

式中: $X_1 \sim X_{13}$  分别表示株高、分枝数、有效分枝数、主穗长度、侧穗长度、主穗直径、侧穗直径、倒伏率、发芽率、产量、千粒质量、蛋白质含量、水分含量和灰分含量; $F_1 \sim F_3$  分别表示各主成分得分。

结合主成分因子得分公式并以各主成分方差贡献率为权重,构建藜麦在黄土高原生长适宜性综合评价得分函数,公式如下所示:

$$F = 0.39098F_1 + 0.31274F_2 + 0.14565F_3。$$

式中: $F$  为不同品种藜麦在黄土高原生长适宜性评价的综合得分。

根据综合评价得分函数可计算出不同品种藜麦在黄土高原生长适宜性的综合得分及其排序,其中  $F$  值越大,表明该品种藜麦在黄土高原地区生长的适宜性越好,结果如表 9 所示。针对 6 个不同品种藜麦在黄土高原地区种植适宜性的综合排名的顺序而言,台湾红藜的评价得分最高,其次为陇藜 7 号、陇藜 3 号、陇藜 5 号、LXM 和 C07。其中,仅台湾红藜的综合得分 > 50,远高于其他品种,说明这个品种相对于其他品种更适宜在黄土高原地区种植。陇藜 7 号、陇藜 3 号、陇藜 5 号、LXM 的综合得分均

在 32 ~ 36 分之间,相差不大,均可视为相对适宜。而 C07 的综合评分是 28.14,与其他品种相比处于

最低水平,说明其在黄土高原地带种植的适应性相对较差。

表 9 藜麦在黄土高原生长适宜性综合评价主成分得分系数矩阵、综合因子得分(F)与排名

指标	主成分得分系数矩阵			品种	F <sub>1</sub> (分)	F <sub>2</sub> (分)	F <sub>3</sub> (分)	F (分)	排名
	主成分 1	主成分 2	主成分 3						
X <sub>1</sub>	0.222	0.046	-0.073	陇藜 5 号	54.58	31.45	12.83	33.04	4
X <sub>2</sub>	0.206	-0.022	0.060	LXM	53.26	29.03	16.55	32.31	5
X <sub>3</sub>	0.026	-0.139	0.326	陇藜 7 号	68.65	30.48	-3.67	35.84	2
X <sub>4</sub>	0.037	0.284	-0.061	C07	53.38	20.31	6.29	28.14	6
X <sub>5</sub>	-0.119	0.122	0.171	陇藜 3 号	64.35	28.91	4.54	34.86	3
X <sub>6</sub>	0.087	0.283	-0.149	台湾红藜	111.15	36.67	9.07	56.25	1
X <sub>7</sub>	0.007	0.212	-0.002						
X <sub>8</sub>	-0.019	0.060	0.154						
X <sub>9</sub>	0.124	-0.012	0.202						
X <sub>10</sub>	-0.210	0.090	0.080						
X <sub>11</sub>	0.205	0.055	0.006						
X <sub>12</sub>	0.051	0.118	-0.363						
X <sub>13</sub>	0.075	-0.296	0.119						

注:提取方法为主成分分析法。旋转方法为凯撒正态化最大方差法。

2.5.3 基于主成分的二维排序分析 在图 2 和图 3 中,主成分 1 轴是原始数据矩阵方差最大方向,主成分 2、3 轴是方差次大方向,降维时,最大限度保留有用信息,寻找能够使不同产地样品得到最大分离的方向。基于不同品种在黄土高原生长适宜性评价的主成分分析结果,以产量相关信息为主要代表的主成分 1 值为横坐标,以千粒质量相关信息为主要代表的主成分 2 值为纵坐标绘制二维排序图(图 2),产量和千粒质量均是越高越好,符合这 2 个指标所在象限的只有陇藜 5 号和 LXM,台湾红藜是所有品种中距离产量载荷线最近的,说明关联程度最高,而其他相对距离产量和千粒质量成分值由近及远的依次是陇藜 3 号、陇藜 7 号和 C07。以产量相关信息为主要代表的主成分 1 值为横坐标,以主穗长度相关信息为主要代表的主成分 3 值为纵坐标绘制二维排序图(图 3),产量和主穗长度均是越高越好,虽然没有符合这 2 个指标所在象限的藜麦品种,但是台湾红藜是所有品种中距离产量和主穗长度的载荷线最近的,说明关联程度最高,而其他相对距离产量和主穗长度成分值由近及远的依次是陇藜 3 号、陇藜 5 号、LXM、陇藜 7 号和 C07。

同时,在图 2 和图 3 中以主成分 1 为横轴的表达可以看出,主穗直径、有效分枝数、主穗长度、蛋白质含量、分枝数、株高有较高的载荷值(>1);以主成分 2 为纵轴的表达可以看出,千粒质量、侧穗长度有较

高的载荷值(>1);以主成分 3 为纵轴的表达可以看出,各项指标的载荷值均小于 1,差异趋势不大。

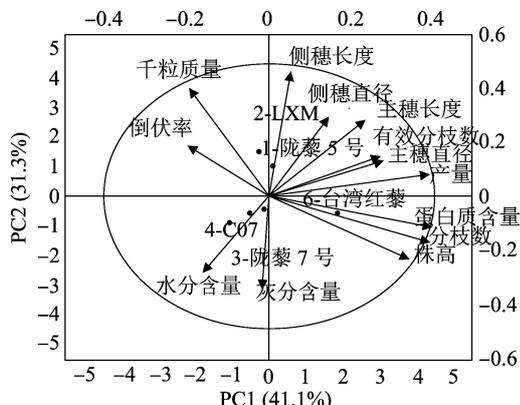


图 2 藜麦在黄土高原生长适宜性综合评价主成分 1、2 二维排序图

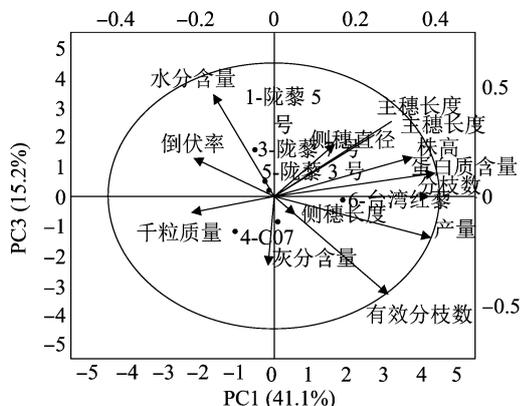


图 3 藜麦在黄土高原生长适宜性综合评价主成分 1、3 二维排序图

综上,在黄土高原地带种植藜麦较佳的品种分别为陇藜5号、LXM、台湾红藜、陇藜3号;而陇藜7号和C07品种在黄土高原地区的种植适宜性不佳。

## 2.6 聚类分析

系统聚类分析法可将受试样本划分为不同类群进行评价分析,其中对样品的聚类称为Q型聚类,对变量的聚类称为R型聚类,其结果具有综合性、客观性和科学性。本试验是在主成分分析的基础上,采用系统聚类分析法对不同品种藜麦在黄土高原地带种植后的各项农艺性状和品质指标做R型聚类,同时对6个藜麦受试品种进行Q型聚类。其中,聚类方法采用组间联接法,聚类区间为平方欧氏距离,聚类结果如图4和图5所示。

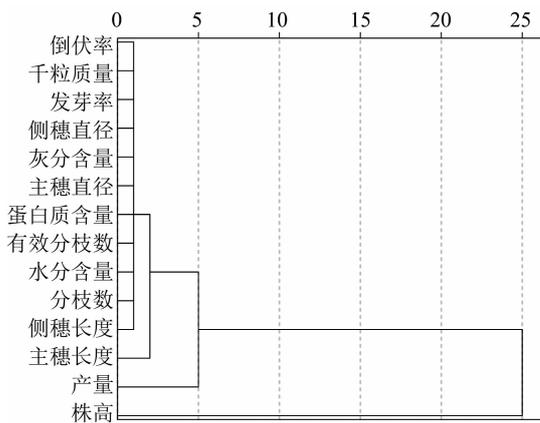


图4 藜麦在黄土高原生长适宜性综合评价R型聚类

从图4中可以看出,当聚类距离为2.5时,可将藜麦在黄土高原种植适宜性的农艺性状、产量性状和品质指标的评价指标分为3类,第1类为倒伏率、千粒质量、侧穗直径、灰分含量、主穗直径、蛋白质含量、有效分枝数、水分含量、侧穗长度、主穗长度;

第2类为产量;第3类为株高;同时结合主成分载荷分析结果可知,最终选用藜麦的产量、千粒质量、主穗直径和株高作为综合评价藜麦在黄土高原地区种植生长适宜性的关键性指标。

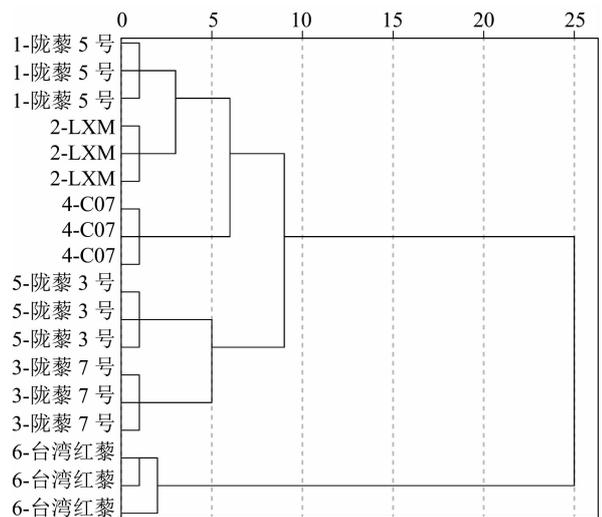


图5 藜麦在黄土高原生长适宜性综合评价Q型聚类

从图5中可以看出,当聚类距离为2.5时,可将藜麦在黄土高原适宜性种植的品种分为3类,第1类为陇藜5号、LXM和C07,第2类为陇藜3号和陇藜7号,第3类为台湾红藜。根据表10可知,第1类的3个藜麦品种与株高有很大的代表性(特征值为152.86667),第2类的2个藜麦品种与主穗长度有很大的代表性(特征值为54.03),第3类的1个藜麦品种与产量有很大的代表性(特征值为148.5)。与之前的分析相比,得到大致相同的分析结果,因此采用本试验所选的主要品质进行聚类分析是可行的。

表10 聚类中心的特征值

类别	计数 (个)	特征值												
		株高	分枝数	有效分枝数	主穗长度	侧穗长度	主穗直径	侧穗直径	倒伏率	产量	千粒质量	蛋白质含量	水分含量	灰分含量
第1类	3	152.86667	26.02000	18.40000	51.49000	30.62333	13.45667	4.79000	0.21667	89.16667	0.50000	14.30667	8.67333	3.21000
第2类	2	210.07000	28.46500	16.60000	54.03000	18.63500	14.77000	4.33500	0.17500	70.00000	0.34000	15.36500	10.24500	3.39000
第3类	1	348.93000	43.93000	19.80000	58.40000	23.07000	15.60000	5.40000	0.05000	148.50000	0.19000	21.02000	8.71000	3.51000

## 3 讨论与结论

我国引种藜麦的时间较短,在宏观和微观上的研究尚处于起步阶段,品种的田间农艺性状及遗传性状不稳定<sup>[18]</sup>。同时,藜麦作为一种耐盐植物,有

些藜麦品种可以耐受400 mmol/L NaCl溶液的盐胁迫<sup>[19]</sup>;藜麦耐碱性较强,适宜在肥力薄弱的土壤中种植,具有非常广泛的适种性<sup>[20]</sup>。因地理来源、创质途径、品种性状等不同,在同一地区栽培表现出的差异性即可说明不同种质在表型特征方面有

丰富的遗传多样性<sup>[21]</sup>。结合本试验内容从现有的资料来看,在东乡半干旱地区种植的陇藜 5 号折合产量为 3 278.10 ~ 4 046.25 kg/hm<sup>2</sup>,比同地区参试品种台湾红藜和陇藜 7 号都高( $P > 0.05$ ),在产量结果排名当中这 3 个品种的名次分别为 1、3 和最末,与各自的倒伏率排名趋同(分别为 1、2、0),其中台湾红藜处于产量最末且倒伏率为“0”的缘由是生育期较长导致不能成熟、无法结实,经过综合评价,发现陇藜 5 号在该地区表现出良好的抗倒伏性、较好的丰产性以及优异的早熟特性,具有更高的推广价值<sup>[22]</sup>。与陇藜 5 号相比,陇藜 7 号生育期要长 17 d(分别为 119、102 d)且倒伏率高 1 百分点(分别为 2% 和 1%),陇藜 7 号、陇藜 5 号的生育期时间前后相差 14 d(分别为 136、122 d)且产量上前者远低于后者,这与本研究结果大致吻合。王志恒等对由主成分分析十余种藜麦品种结果显示,陇藜 3 号的抗旱性最好,但抗旱性与耐盐碱性呈负相关,故其耐盐碱性的排名处于最末<sup>[23]</sup>。由此可见,陇藜 3 号较适用于在干旱半干旱地区进行引种,但还得考虑海拔和其他气候环境条件。如在陇东地区的 10 个品种(系)比较结果表明,陇藜 3 号的主成分得分综合排序处于第 10 位,聚类分析结果划为早熟品种类,虽然产量性状和品质指标不突出,可选择在高海拔无霜期较短或在夏闲期短地区复播,亦可作为冬小麦与藜麦轮作中的选择之一<sup>[24]</sup>。而在低海拔地区——北京周边栽植多个品种(系)的藜麦中,有结果表明陇藜 3 号在 $\geq 0$  °C 积温 2 500 °C 以上的季节中,适播期广,尤其是 5 月中下旬至 6 月上旬均可适宜于 $\geq 500$  m 的山区播种,且以 6 月上旬播种丰产性、抗倒伏性、景观效果最好<sup>[25]</sup>。同时,在高海拔地区——甘肃省张掖市山丹县(海拔 2 300 m 左右,年平均气温 0 ~ 2 °C)种植的陇藜 1 号至 4 号及青藜等品种中,由于海拔、有效积温及早、晚霜发生情况等气候条件的制约,只有陇藜 3 号、青藜能够正常成熟,生育期分别为 158、163 d,折合产量分别为 2 973.2 734.5 kg/hm<sup>2</sup><sup>[26]</sup>。但是,在甘南地区(海拔 2 737 m,年均气温 2.8 °C)种植的陇藜 1 号至 4 号却都能够成熟,其中陇藜 3 号虽然单株穗粒数最多(为 20 811 粒),但是千粒质量最轻(2.65 g)、产量最低(2 167.5 kg/hm<sup>2</sup>),产量要比同品种陇藜 1 号低 54.5%<sup>[27]</sup>。本研究结果显示,陇藜 3 号的千粒质量和折合产量分别为 0.32 g 和 1 200 kg/hm<sup>2</sup>,更是远低于在甘南地区种植的结果,这表明陇藜 3 号适

合在纬度高、海拔高的地区种植。山丹县年平均气温 5.8 °C,无霜期平均为 138 d,日照时数平均为 2 993 h,年降水量 197 mm,蒸发量为 2 246 mm<sup>[28]</sup>,可作为陇藜 3 号的参考种植气候环境。LXM 藜麦在天祝寒旱山区种植的生育期为 168 d,折合产量为 3 003.27 kg/hm<sup>2</sup>,抗倒伏性强,综合排名为第五,因此并不建议在寒旱山区种植<sup>[29]</sup>。本研究中,LXM 的折合产量为 1 575 kg/hm<sup>2</sup>,低于在天祝寒旱山区种植的产量(低幅约 47.6%),表明该品种在黄土高原地带相对于寒旱山区更不太适宜种植。原产于中国台湾的特征种台湾红藜,从 SSR 标记种质群体的亲缘关系进行分析,再到主成分分析验证,均证实台湾红藜的地理区域特征<sup>[30]</sup>。台湾红藜其秸秆纤维含量不仅较高,籽粒的粗蛋白含量还达到 22.03%,因此可作为青贮饲料用<sup>[31-32]</sup>。台湾红藜在北京门头沟区引种栽培后的平均产量为 2 670 kg/hm<sup>2</sup>,远高于在黄土高原地带种植的产量(2 227.5 kg/hm<sup>2</sup>)<sup>[33]</sup>,其差距来源可能包括经度、纬度、海拔及环境温度等。分析四川凉山州地区的藜麦营养成分,红藜的氨基酸、粗脂肪、多糖、多酚、黄酮含量均高于陇藜 3 号,表明红藜具有更高的食用价值<sup>[34]</sup>。在本研究中,台湾红藜的蛋白质含量确实高于陇藜 3 号(高约 35.8%),但水分含量和灰分含量均低于陇藜 3 号(分别低约 8.8% 和 10.5%),并且在各参试品种当中台湾红藜在株高、分枝数、有效分枝数、主穗长度、主穗直径、产量及蛋白质含量上均表现出显著的优异性。

总体而言,参试的各藜麦品种均能够在黄土高原地区正常成熟,表明黄土高原地区气候条件适宜饲用藜麦种植,也说明在这个生态环境下能够获得较全面且稳定的表型数据。从对在黄土高原地带所种植藜麦的物候期观察及描述性分析结果中可知,不同的藜麦品种在黄土高原地区种植后各品种间存在着不同程度的差异性( $P < 0.05$ )。生育期时间从长到短依次为台湾红藜 > 陇藜 7 号 > C07 > 陇藜 3 号 > 陇藜 5 号 > LXM。在藜麦各项性状指标测定当中的最值和平均值上,台湾红藜占据多项与产量和品质相关的最佳值指标。同时,通过对比分析供试藜麦各品种的各项指标的变异系数发现,在黄土高原地带下生长对不同品种藜麦在倒伏率、侧穗生长、株高等方面均表现出丰富的变异,说明至少在藜麦的产量方面其遗传多样性指数较高,遗传差异大且资源类型丰富,有利于特异种质材料的比较和

筛选,对利用现有种质提高藜麦产量的潜力较大,但也相对反映出迭代或更换品种资源对创新当地藜麦的品质性状或不太显著。这与 Curti 等在阿根廷北部所做的藜麦品种对比分析试验结果中有关藜麦种质的表型受地域和环境的影响较大,表现为高度多样性<sup>[35]</sup>。

从相关性分析的结果来看,在黄土高原地带种植的藜麦株高、蛋白质含量与主穗直径、侧穗直径间呈正相关,产量与株高呈正相关。这与王思宇等的研究结果相契合<sup>[36-37]</sup>。说明藜麦株高和直径的增加会带动藜麦对干物质的储运和转移,因为作物的茎主要起到对物质进行转运流通的功能<sup>[38]</sup>,而株高的增加则一般会相应地增加叶片数和叶面积大小,虽然有关叶片的农艺性状并没有在本研究中体现,但是从其他作物的资料来看,确实有相关的证实材料<sup>[39]</sup>。此外在品质表现上,本研究的结果显示,藜麦的水分含量与蛋白质含量呈负相关,但与灰分含量呈正相关,藜麦的蛋白质含量与灰分含量呈正相关。这与胡一波等的研究结果<sup>[40]</sup>相同,其研究中进一步指出,蛋白质含量与脂肪、淀粉及总黄酮含量间均呈负相关,而与总多酚及总皂苷的含量间呈正相关<sup>[40]</sup>。而总多酚、总皂苷和总黄酮含量的高低一般是用来评价药用植物的药用有效成分含量的高低<sup>[41]</sup>,进一步说明藜麦是一种全营养功能作物,其所含 16 种氨基酸、矿质元素及酚类和黄酮类等多种化学活性成分不仅可作为食材,也可作为高效的优质药材<sup>[42]</sup>。

从主成分及综合得分分析结果来看,通过对黄土高原地带种植的 6 个藜麦品种 13 个性状指标的适宜性表现和评价的分析中发现,前 3 个主成分的累计贡献率为 84.937%,其所表达的综合信息可以用来表达全部性状的 84.937%,从而简化各品种间比较性状的数量,提高筛选评价效率。从综合评价结果来看,3 个主成分依次反映了藜麦的产量特征、千粒质量特征和主穗直径特征。其中,台湾红藜的得分最高,综合评价最优,说明台湾红藜非常适宜在黄土高原地带种植,这可能与其生育期长的种质特性有关。在本研究中的 3 个陇藜系列品种间及 LXM 品种的综合得分相差并不大,说明陇藜系列品种和 LXM 品种在黄土高原地带均具有推广应用价值。与其他藜麦品种相比,C07 藜麦在黄土高原地带种植后生长适宜性评价综合表现最差,说明其在黄土高原地带种植和利用价值不大。有研究指出,

适期播种时,相应的气候因子对藜麦的干物质积累动态、光合性状差异和产量性状差异等表现影响较大( $P < 0.05$ )<sup>[43]</sup>,因此根据品种的适应性表现,调节播期,这或许是一种提高藜麦产量和品质的方法。

在对 6 份藜麦种质材料 13 个性状指标进行聚类后发现,可将 6 份藜麦品种聚为 3 个群类,从 R 型聚类的结果并结合主成分载荷分析结果最终选用藜麦的产量、千粒质量、主穗直径和株高作为综合评价藜麦在黄土高原地区种植生长适宜性的关键性指标。这 4 个指标从农艺学角度可简单概括为产量性状和株型性状,与张亚萍的研究结论<sup>[44-45]</sup>相一致。进一步说明藜麦的产量主要积累于主枝穗的大小,故藜麦主枝穗的大小是选育高产藜麦品种的重要指标<sup>[46]</sup>。同时,R 型聚类的结果中 4 个指标没有与主成分分析中综合表现相近的指标聚为一类,这与魏玉明等在陇东地区的试验结果<sup>[24]</sup>相类似,证明藜麦这类异型杂交(异花授粉)作物非常容易受外来基因的干扰,异型杂交可高达 17.4%<sup>[47]</sup>,其个体差异大于品种间的差异。

从 Q 型聚类的结果可知,6 份材料可以分为 3 类种质材料。以株高为代表(特征值为 152.866 67)的第 1 类藜麦包括陇藜 5 号、LXM 和 C07,根据长势可以看出其为矮秆作物,但千粒质量高(即籽粒饱满),说明这 3 个藜麦品种(系)资源可以尝试以特异种质在藜麦密植矮秆型品种(系)或旅游区景观植物品种(系)选育目标中作为的亲本之一。其次是以主穗长度为代表(特征值为 54.03)的第 2 类藜麦包括陇藜 3 号和陇藜 7 号,这类藜麦主穗长度处于适中程度,并与主穗直径、株高等藜麦生长的长势状况均呈正相关关系,也从侧面说明这 2 个藜麦品种在黄土高原地带具有广泛的适种性,可以考虑将其作为秸秆饲料作物或药材作物。最后就是以产量为代表(特征值为 148.5)的第 3 类藜麦包括台湾红藜,这类藜麦除了侧穗直径、侧穗长度、倒伏率、千粒质量、水分含量和灰分含量等方面表现不是最突出外,其他方面均表现出与其他同试品种(系)的差异性较大,这一点在图 3 中可以得出参照。可见,台湾红藜不仅非常适宜于在黄土高原地带推广种植,而且还可以在以遗传改良当地更为普适性种植、高附加值加工产出的藜麦品种中发挥优质藜麦亲本材料的作用。

由于藜麦的开发应用涉及原粮制造、食品加工、药用开发与保健品、秸秆饲用、景观绿化等众多

领域<sup>[18]</sup>,所以更好地了解种质资源性状的遗传相似性、差异性,并根据各类材料的性状表现和特点进行相应的选择,可提高藜麦在产业升级、乡村振兴等方面的综合利用价值。

#### 参考文献:

- [1] Manjarres - Hernández E H, Morillo - Coronado A C. Genetic diversity of colombian quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): implications for breeding programs[J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2022, 69: 2447 - 2458.
- [2] Christensen S A, Pratt D B, Pratt C, et al. Assessment of genetic diversity in the USDA and CIP - FAO international nursery collections of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) using microsatellite markers[J]. Plant Genetic Resources, 2007, 5(2): 82 - 95.
- [3] 贡布扎西,旺姆,张崇玺,等. 南美藜在西藏的生物学特性表现[J]. 西南农业学报, 1994(3): 54 - 62.
- [4] 黄杰,杨发荣. 藜麦在甘肃的研发现状及前景[J]. 甘肃农业科技, 2015(1): 49 - 52.
- [5] 刘锁荣,范文虎. 促进山西藜麦种植规模化及产业链形成的建议[J]. 山西农业科学, 2011, 39(7): 767 - 769.
- [6] 刘洋,熊国富,闫殿海,等. “粮食之母”、“超级食物”——藜麦“落户”青海[J]. 青海农林科技, 2014(4): 95 - 98.
- [7] 周英,魏明锋. 新疆北疆地区藜麦栽培技术[J]. 新疆农垦科技, 2017, 40(7): 20 - 21.
- [8] 任永峰,王志敏,赵沛义,等. 内蒙古阴山北麓区藜麦生态适应性研究[J]. 作物杂志, 2016(2): 79 - 82, 2.
- [9] 李娜娜,丁汉凤,郝俊杰,等. 藜麦在中国的适应性种植及发展展望[J]. 中国农学通报, 2017, 33(10): 31 - 36.
- [10] 任贵兴,杨修仕,么杨. 中国藜麦产业现状[J]. 作物杂志, 2015(5): 1 - 5.
- [11] 张琴萍,邢宝,周帮伟,等. 藜麦饲用研究进展与应用前景分析[J]. 中国草地学报, 2020, 42(2): 162 - 168.
- [12] 杨修仕. 第三届中国藜麦产业(济南)高峰论坛召开[J]. 作物杂志, 2017(5): 2.
- [13] 首届中国藜麦产业(长春)高峰论坛在吉林省长春市举行[J]. 作物杂志, 2015(5): 2.
- [14] Jacobsen S E, Mujica A, Jense C R. The worldwide potential for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Food Reviews International, 2003, 19(1/2): 167 - 177.
- [15] 赵雪雁,马平易,李文青,等. 黄土高原生态系统服务供需关系的时空变化[J]. 地理学报, 2021, 76(11): 2780 - 2796.
- [16] 王建,赵牡丹,樊艺,等. 黄土高原人类活动与生物多样性的演变及关联性[J]. 水土保持研究, 2022, 29(6): 154 - 160.
- [17] 魏建洲,牛雪娜,史战红,等. 黄土高原草地净初级生产力变化的驱动因素分析[J]. 环境科学与技术, 2022, 45(6): 203 - 211.
- [18] 杨发荣,黄杰,魏玉明,等. 藜麦生物学特性及应用[J]. 草业科学, 2017, 34(3): 607 - 613.
- [19] 姜奇彦,牛凤娟,胡正,等. 金藜麦耐盐性分析及营养评价[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(4): 700 - 707.
- [20] Villa D Y G, Russo L, Kerbab K, et al. Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium pallidicaule* (cañihua) and *Chenopodium quinoa* (quinoa) seeds[J]. Emirates Journal of Food and Agriculture, 2014, 26(7): 609 - 615.
- [21] 南铭,赵桂琴,柴继宽. 黄土高原半干旱区饲用燕麦种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 草地学报, 2017, 25(6): 1197 - 1205.
- [22] 黄杰,刘文瑜,杨发荣,等. 不同藜麦品种在东乡半干旱区的适应性表现[J]. 甘肃农业科技, 2022, 53(6): 46 - 50.
- [23] 王志恒,黄思麒,李成虎,等. 13种藜麦萌发期抗逆性综合评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(1): 25 - 36.
- [24] 魏玉明,杨发荣,刘文瑜,等. 陇东旱塬区复种不同藜麦品种(系)的适应性初步评价[J]. 西北农业学报, 2020, 29(5): 675 - 686.
- [25] 梅丽. 北京藜麦适应性栽培研究进展及展望[J]. 作物杂志, 2022(6): 14 - 22.
- [26] 王元,张忠福,王建梅. 山丹县藜麦引种试验总结[J]. 农业科技与信息, 2018, (7): 11 - 12.
- [27] 徐冬丽,周兰兰,王国平,等. 高原藜麦新品种(系)引进比较试验初报[J]. 西藏农业科技, 2021, 43(1): 29 - 32.
- [28] 陈正华,王建. 利用遥感技术建立干旱半干旱地区草地生态健康模型[J]. 遥感技术与应用, 2005(6): 558 - 562.
- [29] 李良斌,王耀,雷成军,等. 寒旱山区藜麦引种试验初报[J]. 甘肃农业科技, 2021, 52(4): 64 - 67.
- [30] 孙梦涵,邢宝,崔宏亮,等. 藜麦种质资源遗传多样性 SSR 标记分析[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(3): 625 - 637.
- [31] 石振兴. 国内外藜麦品质分析及其减肥活性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- [32] 赵小雪,郭凤根,罗富成. 贮藏时间及纤维素酶对台湾红藜青贮品质的影响[J]. 饲料研究, 2022, 45(10): 76 - 80.
- [33] 喻泓. 门头沟区台湾红藜引种栽培技术[J]. 农业科技通讯, 2022(1): 257 - 258, 271.
- [34] 邓杰,赵钢,徐漪沙,等. 四川地区2种藜麦营养成分的比较分析[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(2): 43 - 46.
- [35] Curti R N, Andrade A J, Bramardi S, et al. Ecogeographic structure of phenotypic diversity in cultivated populations of quinoa from Northwest Argentina [J]. Annals of Applied Biology, 2012, 160(2): 114 - 125.
- [36] 王思宇,左文博,朱凯莉,等. 71份藜麦品种资源的农艺性状及营养品质分析与评价[J]. 作物杂志, 2022(3): 63 - 72.
- [37] 王艳青,李勇军,李春花,等. 藜麦主要农艺性状与单株产量的相关和通径分析[J]. 作物杂志, 2019(6): 156 - 161.
- [38] 韩霄. 从作物的源流库理论展望新型育种技术[J]. 生物技术通报, 2015, 31(4): 34 - 39.
- [39] 邱正高,杨华,祁志云,等. 航空诱变的糯玉米矮秆突变体株高与叶片生长分析[J]. 西南农业学报, 2009, 22(4): 901 - 904.
- [40] 胡一波,杨修仕,陆平,等. 中国北部藜麦品质性状的多样性和相关性分析[J]. 作物学报, 2017, 43(3): 464 - 470.

张世奎,杨海龙,王剑功,等. 浙江省籼粳杂交稻新品系表现型性状综合分析及评价[J]. 江苏农业科学,2023,51(24):32-37.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.24.004

# 浙江省籼粳杂交稻新品系表现型性状综合分析及评价

张世奎,杨海龙,王剑功,姚 坚

(浙江省嘉兴市农业科学研究院,浙江嘉兴 314016)

**摘要:**为筛选良好的籼粳杂交稻评价指标,从而对籼粳交组合的特性进行科学评价,明确籼粳交高产配组的方向。通过变异系数及变异范围、表型多样性指数、主成分分析(二维排序分析和隶属函数分析)和逐步回归方程分析等方法对24份单季籼粳杂交稻试验品种9个主要表型性状的多样性水平进行综合分析及评价。结果表明,浙江省籼粳杂交稻在株型性状方面表现出有效穗数少(176.31~227.44个/m<sup>2</sup>)、高秆(113.8~132.2cm)、产量高(6941.85~12015.15kg/hm<sup>2</sup>)的特点,小粒、多穗、多粒对籼粳杂交稻的产量影响较大;9个表型性状的变异系数在2.91%(生育期)~14.78%(每穗实粒数)之间,多样性指数在4.5683(每穗实粒数)~4.5844(基本苗数)之间;基于二维排序结果,Y优9367、春优137和甬优1540是在二维排序重叠材料中重叠次数最多的籼粳杂交稻组合,具有优良的产量性状。根据主成分隶属函数分析,综合性状排名前5的材料是浙梗优2111、甬优1540、华中优469、浙梗优34和Y优9367;筛选到生育期、有效穗数、每穗实粒数、结实率和产量等6个表型性状作为籼粳杂交稻综合评价的关键指标。综合评价分析得出,在籼粳杂交稻组配过程中,除去注意平衡产量构成因素之间的关系外,多穗的籼粳杂交稻相较于大粒少穗株型更有高产潜力。

**关键词:**籼粳杂交稻;表型多样性;性状分析;综合评价;浙江省

**中图分类号:**S511.04 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)24-0032-06

水稻是我国最主要的粮食作物,同时也是浙江省第一大粮食作物<sup>[1-2]</sup>。2021年浙江省水稻种植面积和产量分别为63.36万hm<sup>2</sup>和469.12万t,占全省粮食的62.91%和75.67%<sup>[3]</sup>。由于地理格局约束,浙江省耕地面积仅为208.17万hm<sup>2</sup>,约占陆地面积19.72%,农村人口1755万,约占总人口的30%<sup>[4]</sup>。但随着社会化的发展,耕地资源的限制日

益扩大,因此要保证粮食生产的安全稳定,关键需要提高水稻产量水平。浙江省自“8812”计划开展以来,水稻亚种间杂交优势得到充分发展、利用和突破<sup>[5]</sup>。目前,浙江省选育的以甬优系列为代表的籼粳杂交稻在植株形态、氮吸收、光合利用、干物质积累和分配及产量构成因素上得到了很大的改善,产量有了较大的突破<sup>[6-9]</sup>。

随着各科研单位及种子公司对籼粳杂交稻新品种选育的不断深入研究,近几年涌现出许多优秀的品种(甬优、浙优、春优、浙梗优、嘉禾优、江两优和嘉优中科系列)<sup>[10]</sup>,但籼粳交组合的整体表型性状评价鲜有报道。为筛选出良好的籼粳杂交稻表型评价指标,本研究通过变异系数及变异范围、表型多样性指数、主成分分析(二维排序分析和隶属

收稿日期:2023-02-21

基金项目:国家水稻产业技术体系建设专项(编号:CARS-01);浙江省晚梗稻新品种选育项目(编号:2021C02063-5-4)。

作者简介:张世奎(1988—),男,山东潍坊人,硕士,农艺师,主要从事水稻育种及栽培技术研究。E-mail:fuchen1221@163.com。

通信作者:姚 坚,正高级农艺师,主要从事水稻育种及栽培技术研究。E-mail:yjx001@163.com。

[41] 颜小捷,谷陟欣,卢凤来,等. 裸花紫珠中总酚、总黄酮和总皂苷的含量测定[J]. 时珍国医国药,2013,24(12):2852-2854.

[42] 王丽娜,任翠梅,王明泽,等. 中国藜麦种质资源分布及研究现状[J]. 黑龙江农业科学,2020(12):142-145.

[43] 任永峰,梅 丽,杨亚东,等. 播期对藜麦农艺性状及产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2018,26(5):643-656.

[44] 张亚萍,王致和,张秀华,等. 14个藜麦品种(系)在祁连山区的农艺性状表现及其与产量的关系分析[J]. 山东农业科学,

2021,53(8):17-21.

[45] 黄 杰,刘文瑜,吕 玮,等. 38份藜麦种质资源农艺性状与产量的关系分析[J]. 甘肃农业科技,2018(12):72-75.

[46] 黄 杰,杨发荣,李敏权,等. 13个藜麦材料在甘肃临夏旱作区适应性的初步评价[J]. 草业学报,2016,25(3):191-201.

[47] 王艳青,李春花,卢文洁,等. 135份国外藜麦种质主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2018,19(5):887-894.