



常克勤,杜燕萍,穆兰海,等.宁南山区苦荞新品种主要农艺性状主成分分析及综合评价[J].黑龙江农业科学,2024(12):21-28.

宁南山区苦荞新品种主要农艺性状 主成分分析及综合评价

常克勤,杜燕萍,穆兰海,杨崇庆,陈一鑫,张月荷

(宁夏农林科学院 固原分院/宁夏旱作农业工程技术研究中心,宁夏 固原 756000)

摘要:为了筛选出适宜在宁南山区不同气候类型区种植的苦荞新品种,促进荞麦产业化发展,以引进和自主选育参试的5个苦荞新品种为材料,分别在半干旱区和中部干旱区的5县(区)布设多点试验,并对品种主要农艺性状进行相关性、变异系数、主成分分析及综合评价。结果表明,通过对影响籽粒产量的株高、单株粒数、单株粒重、一级分枝数、密度等主要性状指标进行相关性和主成分分析,并结合方差分解主成分特征贡献率分析。结果表明,提取主成分 $PCA_1 \sim PCA_3$ 特征值累计贡献率达到93.424%~98.714%。其中第1主成分占37.764%~50.335%,主要以单株粒重、单株粒数、株高的特征向量均大于其他农艺性状;第2主成分占30.478%~31.255%,主要以田间密度、株高和一级分枝为群体生长因子为主;第3主成分占17.901%~24.404%,为主茎节数和千粒重对产量的影响。参试品种晋荞2号和黔黑荞5号在半干旱区和中部干旱区主成分总得分系数分别为1.79,1.09和1.44,3.13。综上,筛选出综合农艺性状优异,产量高和稳定性好,适宜在宁南山区半干旱区和中部干旱区种植的品种为晋荞麦2号和黔黑荞5号,川荞麦3号为中晚熟品种可选择在水热条件较好的地区种植。

关键词:苦荞麦;新品种;农艺性状;主成分分析;综合评价

苦荞麦[*Fagopyrum tartaricum* (L.)]又名鞑靼荞麦,起源于中国^[1],属于蓼科(Polygonaceae)荞麦属(*Fagopyrum* Mill)。主要分布在中国东北、华北、西北以及西南一带的高寒山区,以四川、云南、贵州等地为主产区^[1-3]。近年来,随着荞麦杂粮产业和系列保健品深度开发速度加快,荞麦越来越受到消费者的青睐。我国北方陕西、甘肃、宁夏、青海及内蒙古种植面积日趋扩大,生产能力不断提升。荞麦具有耐旱、耐薄瘠,生育期短、适宜播期范围广,常被列为重要的抗旱避灾救灾作物,在当地杂粮产业发展中占有重要地位。荞麦主成分分析已应用到新品种选育综合评价及区域种植规划中,贾瑞玲等^[4]对苦荞种质资源农艺性状遗传多样性进行了分析与综合评价,吕丹等^[5]对苦荞种质资源主要农艺性状进行相关分析和主成分分析,使单株粒重与单株粒数呈极显著正相关,与百粒重呈显著负相关,对品种进行类群划分和评价,这些研究结果说明对品种进行主成分分析和评价的方法科学、结果可靠。但在不同气候类型区进行苦荞品种多年定位试验,并对荞麦主成分

分析进行干旱和半干旱区不同生态区品种优化和综合评价未见报道。因此,在宁夏半干旱区和中部干旱区分区进行苦荞产量与农艺性状相关性和主成分分析和综合评价,优化品种区域种植,筛选出适宜在不同气候类型区种植的苦荞品种,对促进当地苦荞产业发展具有重要意义。

本研究针对宁南山区经常干旱少雨等气候和种植业结构比较复杂等特点,如何筛选适宜在不同气候类型区种植的苦荞品种,解决品种乱杂和产量低等热点和难点问题,对5个苦荞品种在半干旱区和中部干旱区进行多年多点定位试验,主要对8个主要农艺性状进行主成分分析,旨在对参试材料进行综合评价。应用相关性分析尽可能考虑参试品种主要经济性性状受制于遗传基因的控制,表现在不相同气候资源和生产条件下,经济性性状差异显著性和变异系数。主成分分析(Principal Components Analysis, PCA)采用降维因子思维对主要因子进行主成分分析,在损失较少信息量的前提下将多个指标集中转化为综合指标的多元方法^[6-8],拟筛选出适宜在宁南山区不同气候类型

收稿日期:2024-06-25

基金项目:宁夏农林科学院农业科技自主创新专项科技成果转化项目(NNKZZCGZH-2023-02);农业农村部-燕麦荞麦产业技术体系固原综合试验站(CARS-07-G-15)。

第一作者:常克勤(1965—),男,学士,研究员,从事荞麦和燕麦新品种选育及栽培技术研究。E-mail:ngxgchq@163.com。

区种植的新品种,为促进荞麦产业化发展和不断提升生产能力提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区气候概 况

试验点在宁南山区 5 个县(区)具有代表性的半干旱区和中部干旱区进行。其年平均降水量和平均气温及苦荞作物生长期降水量和平均

气温详见表 1。半干旱区(原州区、西吉县和彭阳县)和中部干旱区(同心县、盐池县)多年均降水量分别为 416.6~450.0 mm 和 215.1~255.6 mm,年均气温分别为 6.4 和 8.6 ℃,苦荞品种生育期降水量分别为 297.5~391.9 mm 和 210.6~252.2 mm。生育期气温分别为 16.7~19.4 ℃和 21.3~22.0 ℃。

表 1 2017—2019 年宁南山区不同气候类型区苦荞作物生长期年均降水量及平均气温

气候类型区	试验点	代码	降水量/mm		气温/℃	
			年均值	生育期	年均值	生育期
半干旱区	固原	E1	450.0	391.9	6.2	18.5
	西吉	E2	416.6	280.9	5.9	16.7
	彭阳	E3	418.3	297.5	7.2	19.4
中部干旱区	同心	E5	215.1	210.6	8.6	22.0
	盐池	E6	255.6	252.2	8.6	21.3

1.2 材 料

参试的 5 个苦荞品种分别为晋苦荞 2 号(山西省农业科学院选育),云荞 2 号(云南省农业科学院选育),川荞 3 号(四川省农业科学院选育),黔黑荞 5 号(贵州省威宁县农业科学研究所选育),固原当地苦荞(宁夏农林科学院固原分院提供),分别记为 KV₁~KV₅。通过不同基因型荞麦品种在不同气候类型区和生产条件下,对作物种群与环境适应性进行多点定位试验,从而观测作物群体之间对环境适应性与农艺性状相关基因型的关联表现,有助于筛选出适应当地种植的高产稳产型的荞麦品种。

1.3 方 法

1.3.1 试验设计 试验采用随机区组设计,2017—2019 年在宁夏南部山区 5 个县(区)布设品种比较试验点。5 个试验点统一品种和统一田间试验实施方案,试验点分别在代表宁夏南部山区的半干旱区(宁夏农林科学院固原分院头营试验农场、西吉县马建乡和彭阳县城阳乡)和干旱区(同心县预旺镇和盐池县花马池镇)进行。2021—2022 年完成生产示范和品种审定。

试验小区面积为 10 m²(长 5 m×宽 2 m),每个小区种植 7 行区,平均行距 30 cm,各小区留苗密度控制在 950~1 000 株,3 次重复。小区收获全部植株进行脱粒,各试验点品种考种样品取中间 1 m 行长植株中有代表性的 15 株进行考种,剩余植株一并进行脱粒,计算样段内平均株高,主茎

分枝、主茎节数、单株粒重、粒数及千粒重等。播种前整地结合旋耕统一基施磷酸二铵 150 kg·hm⁻²。5 月下旬播种,6 月中旬定苗并调查基本苗,其他田间管理同大田。

1.3.2 测定项目及方法 农艺性状调查:主要调查生长期株高、分枝数、主茎节数、单株粒重、单株粒数、千粒重及产量。

主成分分析:以参试品种主要农艺性状相关性和主成分分析。采用提取若干个主分量,并基于主分量的方差贡献率构建权重值,从而建立综合评价函数模型。计算得到参试苦荞品种主成分的得分和综合得分,按照得分高低进行排序评价品种的综合性状指标,从而筛选出综合性状好,具有丰产性和稳定性,适宜在不同气候类型区种植的优良品种。

为表达主成分分析原理、方法,其主要函数表达式如下:

①原始数据标准化。

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_{ij}}{\sigma_{ij}} \tag{1}$$

式中, \bar{x}_{ij} 表示 x_{ij} 的平均值, σ_{ij} 表示 x_{ij} 的标准偏差,则可得指标数据标准化矩阵,将各参试品种经济性状数据输入到编辑窗口进行“分析→描述统计→描述”,从而得到参试品种主要性状指标原始数据标准化矩阵^[7,9-10](表 4)。

②提取主成分特征值。主成分提取特征值和贡献率^[10-14]。

$$W_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n}$$

(2)

式中, W_i 表示贡献率, λ_i 表示非负特征向量, $i=(1,2,\cdots,p)$, p 表示非负特征值的根数。对主要经济性状数据采用降维因子法,得到性状主成分特征值和因子载荷贡献率及总贡献率,即通过方差分解主成分提取因子分析,由此提取出各性状旋转前因子载荷成分。根据对品种方差分解主成分提取因子分析,分别得到半干旱区和中部干旱区参试品种总方差达到相关显著分解的主成分 PCA_1 、 PCA_2 和 PCA_3 因子载荷平方和特征值为 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 值,即苦荞作物品种方差分解主成分提取的相关矩阵和提取因子特征值(表 5)及苦荞品种旋转前初始因子荷载主成分矩阵(表 6)。

③提取主成分各性状标准化特征向量。对品种方差分解主成分提取因子分析,旋转前初始因子载荷主成分矩阵(表 6),并非主成分标准系数向量,需进一步对旋转前初始因子载荷矩阵转换为主成分标准化特征向量矩阵。其原理是以因子载荷矩阵中各分量的系数为单位特征向量乘以相应的特征值的平方根的结果^[10-14]。其主成分标准化特征系数向量计算方法详见公式(3)。

$$t_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\lambda_i}}$$

(3)

式中, a_{ij} 表示单位向量分量。分别计算出半干旱区和中部干旱区参试苦荞品种主成分性状特征值对应的得分系数 t_1, t_2, t_3 值(表 7)。

④参试品种主成分得分及线性函数模型。根据提取的主成分经济性状标准化后的特征向量得分系数 t ,将 t_1, t_2 和 t_3 的得分系数分别与主要性

状原始数据标准化矩阵 Z_x 值的乘积^[15],求解主成分线性函数 Y_i 值。

$$Y_i = Z_x \times t$$

(4)

式中, Z_x 为经济性状变量标准化后的矩阵,即参试品种主成分特征向量(t)与主要性状标准化矩阵(Z_x)乘积,即得到半干旱区和中部干旱区苦荞品种 3 个主成分 Y_1 、 Y_2 和 Y_3 得分及线性函数模型。

⑤各主成分综合函数模型及综合评价。

$$Y_{\text{综}} = ak_1 \times Y_1 + ak_2 \times Y_2 + ak_3 \times Y_3$$

(5)

式中, $Y_{\text{综}}$ 代表品种综合得分, ak_i 为主成分分析品种相关矩阵的特征值总方差百分比。

分别提取不同气候类型区参试苦荞品种主成分 Y_1 、 Y_2 和 Y_3 得分值及综合评价,并将 Y_1 、 Y_2 和 Y_3 得分相加,得到每个品种综合评价得分,依据得分高低依次排名,其综合得分越高,说明品种表现越好,反之亦然。

1.3.3 数据分析 本研究数据整理和分析均采用 SPSS 27 及 Excel 2016 软件完成。

2 结果与分析

2.1 主要农艺性状及变异系数

由表 2 可知,5 个苦荞品种主要农艺性状由于受遗传基因的控制,表现在不同气候资源和生产条件下,其主要农艺性状差异明显。半干旱区和中部干旱区苦荞品种主要农艺性状变异系数为 0.80%~11.00%,其中变异系数较高的依次为单株粒数(9.35%~11.00%)、产量(6.20%~8.09%)、单株粒重(5.07%~8.70%)、一级分枝数(5.60%~7.52%)、株高(4.63%~6.40%)、主茎节数(3.00%~6.62%)和千粒重(3.04%~4.56%)。

表 2 苦荞参试品种主要农艺性状指标及变异系数

区域	品种	密度(X_1)/ (万株·hm ⁻²)	株高(X_2)/ cm	一级分枝数(X_3)/ 个	主茎节数(X_4)/ 节	单株粒重(X_5)/ g	单株粒数(X_6)/ 粒	千粒重(X_7)/ g	产量(Y)/ (kg·hm ⁻²)
半干	KV ₁	98.1	118.3	11.6	21.7	3.5	180.3	20.8	2351
旱区	KV ₂	99.7	118.8	10.2	20.6	2.8	137.8	21.4	2055
	KV ₃	98.4	114.6	10.4	20.2	3.1	170.2	19.4	2088
	KV ₄	97.5	134.0	11.4	21.4	3.4	180.3	19.2	2181
	KV ₅	98.5	127.2	11.1	20.8	3.1	155.9	20.2	2020
	平均值	98.4	122.6	10.9	20.9	3.2	164.9	20.2	2139
	标准差	0.71	7.02	0.55	0.56	0.25	16.22	0.82	119.00
	变异系数/%	0.80	6.40	5.60	3.00	8.70	11.00	4.56	6.20

表 2 (续)

区域	品种	密度(X ₁)/	株高(X ₂)/	一级分枝数(X ₃)/	主茎节数(X ₄)/	单株粒重(X ₅)/	单株粒数(X ₆)/	千粒重(X ₇)/	产量(Y)/
		(万株·hm ⁻²)	cm	个	节	g	粒	g	(kg·hm ⁻²)
中部 干旱 区	KV ₁	97.3	113.8	6.4	16.6	2.9	135.0	22.9	1918
	KV ₂	97.0	112.4	5.2	16.4	2.6	121.8	22.2	1737
	KV ₃	100.7	109.1	5.8	14.1	2.7	134.3	21.4	1876
	KV ₄	97.4	123.3	6.2	15.2	2.9	156.3	21.6	1778
	KV ₅	99.1	113.7	5.8	16.1	2.7	145.3	21.4	1551
	平均值	98.3	114.5	5.9	15.7	2.8	138.6	21.9	1772
	标准差	1.42	4.74	0.40	0.93	0.13	11.59	0.60	128.00
	变异系数/%	1.62	4.63	7.52	6.62	5.07	9.35	3.04	8.09

2.2 主要性状相关性

由表 3 可知,苦荞 X₁(密度)与主要性状均呈负相关,其中 X₁ 与 X₅(单株粒重)和 X₆(单株粒数)相关系数分别为-0.891 和-0.934,达到显著或极显著水平,说明随着种植密度的增加使单株粒重和单株粒数在极显著减少或降低。因此合理密植是提升苦荞作物生产能力的关键。X₃(一级分枝)、X₄(主茎节数)、X₅(单株粒重)、X₆(单株

粒数)与 Y(产量)呈正相关水平,其相关系数范围为0.704~0.832;X₅ 与 X₆ 呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数为 0.939,X₅ 与 Y 也为显著正相关($P<0.05$),相关系数为 0.832。说明苦荞品种在正常生育期和合理密度范围内,不同品种在地力水平和生产条件基本一致的情况下其生产能力相差悬殊,决定品种产量水平的主要性状为株高、一级分枝数、主茎节数、单株粒数和单株粒重。

表 3 苦荞品种主要性状的相关系数

性状	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
X ₂	-0.530						
X ₃	-0.787	0.531					
X ₄	-0.562	0.447	0.900 *				
X ₅	-0.891 *	0.326	0.914 *	0.808 *			
X ₆	-0.934 **	0.225	0.739	0.575	0.939 **		
X ₇	0.764	-0.416	-0.228	0.080	-0.408	-0.637	
Y	-0.520	-0.060	0.704	0.817 *	0.832 *	0.725	0.051

注:表中**表示在 $P<0.01$ 水平极显著相关,*表示在 $P<0.05$ 水平显著相关。

2.3 主成分分析

对因子分析组件进行主成分分析,提取若干个主分量,并基于主分量的方差贡献率构建权重,建立了综合评价函数模型,从而进行参试苦荞品

种主成分得分和综合评价。

2.3.1 原始数据标准化 5 个参试苦荞品种在 5 个试验点具体农艺性状数值依据原始数据标准化公式(1),可得指标数据标准化矩阵(表 4)。

表 4 苦荞品种主要性状指标原始数据标准化

地区	品种	Z _{X1}	Z _{X2}	Z _{X3}	Z _{X4}	Z _{X5}	Z _{X6}	Z _{X7}	Z _{X8}
半干 旱区	KV ₁	-0.422	-0.544	1.073	1.253	1.153	0.848	0.647	1.597
	KV ₂	1.565	-0.480	-1.204	-0.560	-1.369	-1.493	1.294	-0.633
	KV ₃	-0.050	-1.013	-0.878	-1.220	-0.288	0.292	-0.863	-0.384
	KV ₄	-1.168	1.450	0.748	0.758	0.793	0.848	-1.078	0.316
	KV ₅	0.075	0.587	0.260	-0.231	-0.288	-0.496	0.000	-0.896
中部 干旱 区	KV ₁	-0.636	-0.125	1.129	0.891	1.044	-0.273	1.543	1.018
	KV ₂	-0.826	-0.389	-1.477	0.697	-1.193	-1.292	0.463	-0.244
	KV ₃	1.526	-1.012	-0.174	-1.530	-0.447	-0.327	-0.772	0.725
	KV ₄	-0.572	1.670	0.695	-0.465	1.044	1.370	-0.463	0.042
	KV ₅	0.509	-0.144	-0.174	0.407	-0.447	0.522	-0.772	-1.541

2.3.2 提取主成分特征值 根据主成分提取特征值和贡献率公式(2),由此提取出性状各成分的特征值和因子载荷贡献率和总贡献率。从半干旱区和中部干旱区参试苦荞品种主要经济性状指标的方差分解主成分提取因子特征值贡献率(表5)可以看出,根据提取主成分特征值大于1的原则^[16-17],以主成分的方差贡献率 α_k 作为权重。则半干旱区和中部干旱区参试品种提取主成分 $PCA_1 \sim PCA_3$ 累计方差贡献率达到93.424%~98.714%,即反映3个主成分综合经济性状指标的变异信息,其中第一主成分(PCA_1)对苦荞产量贡献最大,贡献率为37.764%~50.335%,单株粒重、单株粒数、株高的特征向量均大于其他农艺性状,与籽粒产量密切相关,为产量因子;第2主

成分(PCA_2)特征值占总贡献率为30.478%~31.255%,以田间密度、株高和一级分枝的特征向量大于其他农艺性状,主要反映群体生长性状因子;第3主成分(PCA_3)特征值占总贡献率的17.901%~24.404%,其重点反映在苦荞作物群体生长中主茎节数数量与分枝数量对千粒重的影响因子。

综合主成分和相关分析结果可知,高产苦荞品种选育时应着重考察单株粒重、单株粒数、株高和一级分枝4个指标,这些性状指标在一定程度能够反映品种的丰产性、抗旱性和抗逆性。因此,提取的3个主成分可以概括不同气候类型区苦荞品种主要经济性状的绝大部分载荷信息。

表5 苦荞作物品种方差分解主成分提取的相关矩阵和提取因子特征值

地区	提取主成分	相关矩阵特征值			提取因子载荷平方和		
		特征值	总方差比/%	累计百分比/%	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
半干旱区	1	5.248	65.600	65.600	4.027	50.335	50.335
	2	1.629	20.369	85.968	2.438	30.478	80.813
	3	1.020	12.746	98.714	1.432	17.901	98.714
中部干旱区	1	3.236	40.446	40.446	3.021	37.764	37.764
	2	2.552	31.900	72.346	2.500	31.255	69.019
	3	1.686	21.078	93.424	1.952	24.404	93.424

2.3.3 初始因子荷载矩阵 主成分初始因子荷载成分矩阵,其中载荷系数可以认为是原始指标与各主成分之间的相关系数。由主成分的碎石图(略),结合特征根曲线的拐点及特征值,分别对半干旱区和中部干旱区苦荞作物品种主要经济性状

前3个主成分的折线坡度趋势由陡度逐渐趋于平缓变化过程中,提取苦荞作物品种在不同气候类型区3个主成分载荷矩阵(Z)值,即得苦荞品种旋转前初始因子载荷主成分矩阵(表6)。

表6 苦荞品种旋转前初始因子荷载主成分矩阵

变量	半干旱区			中部干旱区		
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_1	Z_2	Z_3
X_1 (密度)	-0.928	0.360	0.095	-0.505	0.698	0.410
X_2 (株高)	0.478	-0.447	0.748	0.781	0.214	-0.478
X_3 (一级分枝)	0.929	0.161	0.245	0.863	0.203	0.331
X_4 (主茎节数)	0.820	0.457	0.336	0.197	-0.810	-0.448
X_5 (单株粒重)	0.985	0.102	-0.125	0.967	0.114	0.214
X_6 (单株粒数)	0.921	-0.128	-0.368	0.650	0.691	-0.304
X_7 (千粒重)	-0.472	0.842	0.257	0.365	-0.887	0.272
X_8 (产量)	0.763	0.574	-0.249	0.313	-0.214	0.876

2.3.4 主成分各性状标准化特征向量 表6为旋转前初始因子载荷主成分矩阵,并非主成分标准系数向量,需进一步对旋转前初始因子载荷矩阵转换为主成分标准化特征向量矩阵。以主成分

标准化特征系数向量公式(3)^[18],对因子载荷矩阵中各分量的系数为单位特征向量乘以相应的特征值的平方根的结果。

根据表5对品种方差分解主成分提取因子分

析。半干旱区:各成分提取因子特征值依次为 $\lambda_1=54.248\ 027$, $\lambda_2=1.629\ 243\ 8$, $\lambda_3=1.020\ 432$;中部干旱区:各成分提取因子特征值依次 $\lambda_1=3.236\ 021$, $\lambda_2=2.552\ 00$, $\lambda_3=1.686\ 952$;对上述 λ 特征值利用因子分析的结果进行主成分分析。

对表 6 数据利用主成分标准化特征系数向量

公式(3)分别计算半干旱区和中部干旱区主成分性状特征值对应的得分系数矩阵 t_1 、 t_2 、 t_3 值(表 7)。转换方法:将 Z_1 、 Z_2 和 Z_3 值输入 SPSS 27 数据编辑窗口中进行“转换→计算变量”,将 3 个主成分对应的各性状得分系数依次命名为 t_1 、 t_2 和 t_3 。

表 7 主成分特征值对应的主要农艺性状得分系数

性状	半干旱区			中部干旱区		
	t_1	t_2	t_3	t_1	t_2	t_3
X ₁ (密度)	-0.41	0.28	0.09	-0.79	1.24	0.89
X ₂ (株高)	0.21	-0.35	0.74	1.23	0.38	-1.04
X ₃ (一级分枝)	0.41	0.33	0.24	0.86	0.66	0.72
X ₄ (主茎节数)	0.36	0.36	0.33	0.31	-1.43	-0.98
X ₅ (单株粒重)	0.43	0.08	-0.12	1.52	0.2	0.47
X ₆ (单株粒数)	0.40	-0.10	-0.36	1.02	0.32	-0.66
X ₇ (千粒重)	-0.21	0.46	0.65	0.57	-1.57	0.59
X ₈ (产量)	0.33	0.45	-0.25	0.49	-0.38	0.41

2.3.5 主成分分析及综合评价 依据不同气候类型区参试苦荞品种主成分函数公式(4),将主成分经济性状标准化后特征向量得分系数 t (表 7), t_1 、 t_2 和 t_3 得分系数与主要性状原始数据标准化

矩阵(表 4) Z_x 值乘积^[19],便可得到半干旱区和中部干旱区苦荞品种 3 个主成分综合得分 Y_1 、 Y_2 和 Y_3 线性数学模型(表 8)。

表 8 参试品种主成分特征向量(t)与主要性状标准化矩阵(Z_x)线性模型

地区	主成分组合	主成分得分线性数学模型
半干旱区	主成分 Y_1	$Y_1=-0.41X_1+0.21X_2+0.41X_3+0.36X_4+0.43X_5+0.40X_6-0.21X_7+0.33X_8$
	主成分 Y_2	$Y_2=0.28X_1-0.35X_2+0.33X_3+0.36X_4+0.08X_5-0.10X_6+0.46X_7+0.45X_8$
	主成分 Y_3	$Y_3=0.09X_1-0.74X_2+0.24X_3+0.33X_4-0.12X_5-0.36X_6+0.65X_7-0.25X_8$
中部干旱区	主成分 Y_1	$Y_1=-0.79X_1+1.23X_2+0.86X_3+0.31X_4+1.52X_5+1.02X_6+0.57X_7+0.49X_8$
	主成分 Y_2	$Y_2=1.24X_1+0.38X_2+0.66X_3-1.43X_4+0.20X_5+0.32X_6-1.57X_7-0.38X_8$
	主成分 Y_3	$Y_3=0.89X_1-1.04X_2+0.72X_3-0.98X_4+0.47X_5-0.66X_6+0.59X_7+0.41X_8$

2.3.6 参试苦荞品种农艺性状主成分及综合评价 根据参试苦荞品种主成分得分及综合得分函数表达式(5),计算 ak (主成分分析品种相关矩阵的特征值总方差百分比)分别与得分的乘积之和,便得到半干旱区和中部干旱区参试品种综合得分函数模型。

半干旱区苦荞品种综合函数模型:

$Y_{综}=0.656\ 0Y_1+0.203\ 7Y_2+0.127\ 5Y_3$

中部干旱区苦荞品种综合函数模型:

$Y_{综}=0.404\ 5Y_1+0.319\ 0Y_2+0.210\ 8Y_3$

同步 $Y_{综}=ak_1\times Y_1+ak_2\times Y_2+ak_3\times Y_3$, $Y_{综}$ 为半干旱区和中部干旱区各品种主成分得分 Y_1 、 Y_2 与 Y_3 之和,亦可得到每个参试苦荞品种 Y 综合得分值(主成分总得分计算表略)。根据苦荞

品种在不同气候类型区主成分得分和综合评价值大小依次排序^[19-21]。在宁南山区不同气候类型区对 5 个苦荞品种主成分得分 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 和 Y 综合得分(表 9)。

由表 9 可知,经过对苦荞品种主要农艺经济性状进行主成分分析和综合评价,筛选出适宜在半干旱区(原州区、西吉县和彭阳县)和中部干旱区(同心县、盐池县)进行生产示范和大规模推广的品种为 KV_1 (晋荞 2 号)和品种 KV_4 (黔黑荞 5 号)在半干旱区和中部干旱区综合得分分别为 1.79,1.09 和 1.44,3.13, KV_3 (川荞 3 号)表现为中晚熟,可选择热量条件较好且在生育期适当滴灌补充水量的地区种植。

表 9 参试品种主成分得分和综合评价名次

品种	半干旱区					中部干旱区				
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y _综	排名	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y _综	排名
KV ₁	2.18	1.90	-0.19	1.79	1	4.68	-4.64	1.50	1.09	2
KV ₂	-3.10	0.36	1.01	-1.83	5	-4.60	-5.15	-1.61	-3.84	5
KV ₃	-0.94	-1.01	-1.90	-1.07	4	-4.26	4.08	3.63	0.34	3
KV ₄	2.37	-0.69	0.22	1.44	2	6.05	3.43	-1.96	3.13	1
KV ₅	-0.50	-0.56	0.86	-0.33	3	-2.03	2.28	-1.56	-0.43	4

3 讨论

本研究对参试品种主要经济性状进行了相关显著性、变异系数及主成分分析。并进行主成分方差分解,提取因子特征值贡献率,不同气候类型区主成分累计贡献率为 93.424%~98.714%。其中第一主成分(PCA₁)对苦荞产量贡献率最大特征向量的经济性状指标为单株粒重、单株粒数;第 2 主成分(PCA₂)主要特征值占总贡献率的特征向量以种植密度、株高和一级分枝数为反映群体生长性状因子;第 3 主成分(PCA₃)特征值占总贡献率的特征向量重点反映苦荞作物主茎节数和分枝数对千粒重的影响因子。因而,利用主成分方差分解提取因子特征值^[22],能够较准确地判断品种各经济性状在主成分分析中的贡献率。

荞麦产量与生育期、农艺性状的相关分析表明,千粒重和主茎粗与植株高度呈正相关。本研究显示,苦荞种植密度与主要性状均呈负相关,随着种植密度的增加一级分枝、单株粒重和单株粒数减少或降低。苦荞一级分枝、主茎节数、单株粒重、单株粒数与产量呈正相关^[23-24],不同品种在地力水平和生产条件基本一致的情况下其生产能力相差悬殊,决定品种丰产性的主要指标为株高、一级分枝数、主茎节数、单株粒重和单株粒数。作物品种主成分分析的研究较多,在结合宁夏南部山区半干旱区和中部干旱带气候类型对 5 个苦荞品种布设 5 个县(区)试点进行了多年多点,经历了干旱年、正常年和丰水年,并结合不同气候类型区进行参试品种主成分分析,在宁夏及我国北方省区荞麦作物品种主成分分析和评价的文献尚鲜见报道。对主成分分析和综合评价筛选出适合在宁南山区具有丰产性、稳定性和生态适应性的品种。2020—2023 年结合苦荞产业化关键技术体系建设进行大面积生产示范验证良好,取得显著成效。

作物品种在同一试点不同年份间性状指标值存在较大的差异,为了更准确地反映品种真实表现,在开展多年多点试验的基础上,结合当地生态

环境选择适宜的品种进行大面积生产示范,为品种布局和区划提供依据,充分发挥气候资源对生产能力的提升,不断开发水热资源生产潜力,实现高产高效,需对苦荞品种在不同气候资源的温度、光照、降水量,作物需水和供水对水分满足程度与产量影响程度有待进一步研究。

但缺乏对苦荞参试品种在不同气候类型区作物生长期气温和降水量以及种植密度、地力水平和立地条件下经济性状指标对产量的影响,以及品种主成分特征向量贡献率的系统研究,后期将不断深入开展上述内容相关研究。

4 结论

研究表明,5 个不同基因型苦荞种植密度与单株粒重和单株粒数呈显著负相关;一级分枝、主茎节数、单株粒重、单株粒数与产量呈显著正相关。

对主要性状因子进行主成分分析,依据提取半干旱区和干旱区参试品种主成分 PCA₁~PCA₃ 方差贡献率,建立了综合评价函数模型,并对参试品种进行了综合评价。筛选出适宜在宁南山区大面积示范和推广应用的品种晋荞 2 号、黔黑荞 5 号和川荞 3 号。其中川荞 3 号属晚熟品种,为避免在半干旱冷凉地区种植遭受早霜冻害对生产造成损失,可选择热量条件较好,且生育期能够适当进行滴灌补充水量的地区种植。

参考文献:

[1] 范昱,丁梦琦,张凯旋,等. 荞麦种质资源概况[J]. 植物遗传资源学报,2019,20(4):813-828.

[2] 李春花,加央多拉,吴晗,等. 苦荞农艺性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 作物研究,2022,36(4):363-368.

[3] 苗泽志,韩浩坤,杜伟建,等. 杂交谷子产量及品质相关性状的主成分分析[J]. 山西农业科学,2013,41(8):785-788,812.

[4] 贾瑞玲,赵小琴,南铭,等. 64 份苦荞种质资源农艺性状遗传多样性分析与综合评价[J]. 作物杂志,2021(3):19-27.

[5] 吕丹,黎瑞源,郑冉,等. 213 份苦荞种质资源主要农艺性状分析及高产种质筛选[J]. 南方农业学报,2020,51(10):2429-2439.

[6] 方路斌,罗河月,陈洁,等. 谷子主要农艺性状的相关和主成分分析[J]. 天津农业科学,2018,24(11):62-65.

[7] 戴丽君,周花,李永平,等. 11 个谷子新品种渗水地膜穴播

- 种植主要农艺性状的主成分分析[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(14): 43-47.
- [8] 邓维斌, 周玉敏, 刘进, 等. SPSS 23 统计分析实用教程[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2018.
- [9] 赵朋飞, 刘俊, 胡少敏. 基于 SPSS 软件的主成分分析法在水质评价中的应用[J]. 科技创业月刊, 2016, 29(10): 119-121, 125.
- [10] 鲍学英, 李海连, 王起才. 基于灰色关联分析和主成分分析组合权重的确定方法研究[J]. 数学的实践与认识, 2016, 46(9): 129-134.
- [11] 尹桂芳, 王艳青, 李春花, 等. 荞麦新品种(系)农艺性状的主成分分析和聚类分析[J]. 中国农学通报, 2017, 33(34): 20-25.
- [12] 李乌日吉木斯, 高欣梅, 乌日力格, 等. 兴安盟地区不同荞麦品种生态适应性研究及主成分分析[J]. 作物研究 2022, 36(6): 507-513.
- [13] 庄萍萍, 李伟, 魏育明, 等. 波斯小麦农艺性状相关性 & 主成分分析[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(4): 11-14.
- [14] 张清明, 马裕群, 赵卫敏, 等. 苦荞麦产量与主要农艺性状的相关性及灰色关联度分析[J]. 耕作与栽培, 2019, 39(4): 11-14.
- [15] 刘伟春, 谢锐, 罗中旺, 等. 基于 AMMI 模型分析内蒙古苦荞品种(系)的稳产性和丰产性[J]. 北方农业学报, 2021, 49(5): 18-24.
- [16] 吕宏斌, 钱敏, 李朝华, 等. 杂交水稻两优 2111 产量与农艺性状的主成分分析(英文)[J]. Agricultural Science & Technology, 2017, 18(3): 483-486.
- [17] 李清华. 34 份菜用大豆品种主要农艺性状的主成分分析及遗传距离测定[J]. 福建农业学报, 2018, 33(2): 136-143.
- [18] 殷冬梅, 张幸果, 王允, 等. 花生主要品质性状的主成分分析与综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(4): 507-512, 518.
- [19] 陈龙, 陈婷, 袁莹静, 等. 基于 SPSS 的我国各省市自治区经济发展状况分析[J]. 软件, 2019, 40(2): 121-128.
- [20] 梁诗涵, 李境, 周达, 等. 中国苦荞主产区苦荞种质形态性状的遗传多样性分析[J]. 分子植物育种, 2020, 18(21): 7254-7266.
- [21] 李春花, 尹桂芳, 王艳青, 等. 云南苦荞种质资源主要性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(6): 993-999, 1007.
- [22] 陈庆富. 荞麦生产状况及新类型栽培荞麦育种研究的最新进展[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2018, 36(3): 1-7, 131.
- [23] 黄凯丰, 李振宙, 王炎, 等. 我国荞麦高产栽培生理研究进展[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2019, 37(1): 115-120.
- [24] 高金锋, 张慧成, 高小丽, 等. 西藏苦荞种质资源主要农艺性状分析[J]. 河北农业大学学报, 2008, 31(2): 1-5, 20.

Principal Component Analysis and Comprehensive Evaluation of Main Agronomic Traits of New Varieties of Tartary Buckwheat in Southern Mountainous Areas of Ningxia

CHANG Keqin, DU Yanping, MU Lanhai, YANG Chongqing, CHEN Yixin, ZHANG Yuehe

(Guyuan Branch, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences / Dry Farming Agricultural Engineering Technology Research Center of Ningxia, Guyuan 756000, China)

Abstract: In order to select excellent varieties suitable for tartary buckwheat local cultivation. Five new varieties of tartary buckwheat were introduced and independently selected as materials, multiple experiments were conducted in 5 counties (districts) in semi-arid and central arid regions, and correlation and coefficient of variation, principal component analysis, and comprehensive evaluation were conducted on the main agronomic traits of the varieties. By conducting correlation and principal component analysis on the main trait indicators that affect grain yield, such as plant height, number of grains per plant, grain weight per plant, number of primary branches, density, etc, and combined with variance decomposition principal component feature contribution analysis. The results showed that the cumulative contribution rate of $PCA_1 - PCA_3$ feature values to the extraction of principal components reached 93.424% - 98.714%. The first principal component accounts for 37.764% - 50.335%, mainly with the eigenvectors of grain weight per plant, grain number per plant, and plant height being greater than other agronomic traits. The second principal component accounts for 30.478% - 31.255%, mainly consisting of field density, plant height, and primary branching as population growth factors. The third principal component accounts for 17.901% - 24.404%, which was the impact of the number of main stem nodes and thousand grain weight on yield. The comprehensive score coefficients of principal component analysis for the tested varieties Jinqiao 2 and Qianheiqiao 5 in semi-arid and central arid regions were 1.79, 1.09, and 1.44, 3.13, respectively. In summary, Jinqiao 2 and Qianheiqiao 5 with excellent comprehensive agronomic traits, high yield and good stability, suitable for planting in semi-arid and central arid areas of the Southern Mountainous Areas of Ningxia. Chuanqiaomai 3 were selected as mid to late maturing varieties that can be planted in areas with better water and heat conditions.

Keywords: tartary buckwheat; new varieties; agronomic characters; principal component analysis; comprehensive evaluation