

内蒙古 162 份苦荞资源表型性状的遗传多样性及综合评价

杨恩泽¹ 谢锐^{1,2} 韩平安¹ 张永虎¹ 刘锦川¹
牛素清¹ 温蕊¹ 王春勇¹ 金晓蕾¹

(¹内蒙古自治区农牧业科学院, 010031, 内蒙古呼和浩特; ²河北农业大学农学院, 071001, 河北保定)

摘要 通过遗传多样性指数、变异系数、相关性分析、主成分分析、聚类分析及逐步回归分析对 162 份苦荞种质资源的 13 个表型性状进行分析及评价。结果表明, 5 个质量性状的遗传多样性指数为 0.7180~1.2826, 8 个数量性状的遗传多样性指数为 1.3037~2.0727, 变异系数为 5.4%~43.4%, 除生育期外其余 7 个农艺性状变异系数均大于 10%, 说明所选苦荞资源遗传变异非常丰富。相关性分析表明, 主茎分枝数、主茎节数、单株粒数、单株粒重、千粒重和生育期 6 个性状对产量影响最大。主成分分析提取的 4 个主成分累计贡献率达 83.559%, 单株粒重、单株粒数、产量、株型、主茎分枝数和粒型等性状是造成苦荞表型变异的主要因素。聚类分析将 162 份苦荞种质资源聚为 5 类, 其中类群 I 的材料各农艺性状表现较为均衡, 是选育苦荞优良品种(系)的理想材料。类群 V 的材料具有较好的抗倒伏性与较优的性状表现, 是抗倒伏亲本的较优选择。通过模糊隶属函数基于 4 个主成分贡献率权重构建综合评价指标, 筛选出 10 份综合性状较优的苦荞种质资源。

关键词 苦荞; 表型性状; 遗传多样性; 综合评价

苦荞 [*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn] 属蓼科 (Polygnaceae) 荞麦属 (*Fagopyrum* Mill.), 是荞麦的 2 个栽培种之一, 为一年生双子叶草本植物^[1]。苦荞是一种药食同源小宗作物^[2], 具有生育期短、抗旱耐冷凉、耐贫瘠和适应性较强等特点^[3], 主要分布于我国西南、华北和西北等地区^[4-5]。苦荞富含生物活性物质、矿质元素^[6]、蛋白质及人体必需的各种氨基酸, 此外, 苦荞还含有芦丁这种黄酮类物质, 有特殊的药用价值^[7]。种质资源是培育新品种的材料基础^[8], 尹桂芳等^[9]对 22 份参试品种进行综合分析, 筛选到 6 份综合农艺性状表现优异、无倒伏、产量高且适合云南推广种植的材料; 潘凡等^[10]对 180 份苦荞种质资源的 8 个主要农艺性状进行了分析与评价, 发现 47 份综合农艺性状较好的苦荞种质资源; 覃初贤等^[11]鉴定了 58 份荞麦资源, 筛选出 6 份优异种质, 并发现单株粒重和单株结籽数等性状是荞麦产量构成的主要指标; 张清明等^[12]对苦荞的主要农艺性状进行测定及分析, 发现所有农艺性状与产量均呈正相关。汪灿等^[13]对苦荞的主要农艺性状与产量的关系进行分析发现, 分枝数、单株粒重、株高和千粒重是苦荞产量的主要决定因子。李春花等^[14]研究了 48 份苦荞种质资源的 6 个

主要农艺性状和 5 个品质性状的遗传多样性, 结果表明云南苦荞资源存在着丰富的遗传多样性。之后对 180 份苦荞种质资源进行鉴定及分析, 共筛选出了 14 份高产大粒的优异苦荞种质资源^[15]。邓琳琼等^[16]对 32 份苦荞资源的主要农艺性状进行相关分析和通径分析, 发现千粒重、单株粒数和株高是影响单株粒重的主要因素。因此, 苦荞育种时, 在考虑增加千粒重和单株粒数这 2 个主要因素的同时, 应适当控制株高。贾瑞玲等^[17]对干旱地区 64 份苦荞种质资源的主要农艺性状进行遗传多样性分析和综合评价, 最终筛选出 7 份具有育种目标选择潜力的优良材料。高金锋等^[18]利用形态学标记方法分析 80 份苦荞资源的 7 个主要农艺性状, 将供试材料分为 4 大类, 发现大粒型苦荞是较为理想的育种材料。

本试验以 162 份苦荞种质资源为材料, 对其主要农艺性状进行鉴定及评价, 为内蒙古地区苦荞种质资源高效利用及新品种选育提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料包括参加国家荞麦联合区域试验品系

作者简介: 杨恩泽, 主要从事荞麦育种与栽培研究工作, E-mail: yez18548324636@163.com

金晓蕾为通信作者, 主要从事荞麦育种与栽培研究工作, E-mail: jinxiaolei123@126.com

基金项目: 内蒙古自治区科技计划 (2021GG0375); 2023 年创新基金一区域特色优势农作物种质资源创新与新品种选育一甜荞种质资源创新及新品种选育 (2023CXJJN05)

收稿日期: 2023-02-26; 修回日期: 2023-03-04; 网络出版日期: 2023-03-31

材料和内蒙古自治区农牧业科学院荞麦课题组多年收集、引进和创制的资源材料，具体信息见表1。试验地点为内蒙古自治区呼和浩特市武川县，位于阴山北麓，海拔1682 m，年降水量355 mm，平均温度3℃，无霜期110 d左右。试验地为栗钙土，土壤pH 7.83，含有机质21.2 g/kg、全氮0.52 g/kg、

表1 试验材料名称及来源

Table 1 Names and sources of test materials

编号 Number	代号 Code	来源 Source	编号 Number	代号 Code	来源 Source	编号 Number	代号 Code	来源 Source
1	KQ001	国家区域试验	46	KQ046	国家区域试验	91	KQ091	凉山州西昌农业科学研究所
2	KQ002	国家区域试验	47	KQ047	国家区域试验	92	KQ092	凉山州西昌农业科学研究所
3	KQ003	国家区域试验	48	KQ048	国家区域试验	93	KQ093	凉山州西昌农业科学研究所
4	KQ004	国家区域试验	49	KQ049	国家区域试验	94	KQ094	凉山州西昌农业科学研究所
5	KQ005	国家区域试验	50	KQ050	国家区域试验	95	KQ095	凉山州西昌农业科学研究所
6	KQ006	国家区域试验	51	KQ051	国家区域试验	96	KQ096	凉山州西昌农业科学研究所
7	KQ007	国家区域试验	52	KQ052	国家区域试验	97	KQ097	凉山州西昌农业科学研究所
8	KQ008	国家区域试验	53	KQ053	国家区域试验	98	KQ098	凉山州西昌农业科学研究所
9	KQ009	国家区域试验	54	KQ054	国家区域试验	99	KQ099	凉山州西昌农业科学研究所
10	KQ010	国家区域试验	55	KQ055	国家区域试验	100	KQ100	凉山州西昌农业科学研究所
11	KQ011	国家区域试验	56	KQ056	国家区域试验	101	KQ101	凉山州西昌农业科学研究所
12	KQ012	国家区域试验	57	KQ057	国家区域试验	102	KQ102	凉山州西昌农业科学研究所
13	KQ013	国家区域试验	58	KQ058	国家区域试验	103	KQ103	凉山州西昌农业科学研究所
14	KQ014	国家区域试验	59	KQ059	国家区域试验	104	KQ104	凉山州西昌农业科学研究所
15	KQ015	国家区域试验	60	KQ060	国家区域试验	105	KQ105	凉山州西昌农业科学研究所
16	KQ016	国家区域试验	61	KQ061	国家区域试验	106	KQ106	凉山州西昌农业科学研究所
17	KQ017	国家区域试验	62	KQ062	国家区域试验	107	KQ107	凉山州西昌农业科学研究所
18	KQ018	国家区域试验	63	KQ063	国家区域试验	108	KQ108	凉山州西昌农业科学研究所
19	KQ019	国家区域试验	64	KQ064	国家区域试验	109	KQ109	凉山州西昌农业科学研究所
20	KQ020	国家区域试验	65	KQ065	国家区域试验	110	KQ110	凉山州西昌农业科学研究所
21	KQ021	国家区域试验	66	KQ066	国家区域试验	111	KQ111	内蒙古自治区农牧业科学院
22	KQ022	国家区域试验	67	KQ067	国家区域试验	112	KQ112	内蒙古自治区农牧业科学院
23	KQ023	国家区域试验	68	KQ068	国家区域试验	113	KQ113	内蒙古自治区农牧业科学院
24	KQ024	国家区域试验	69	KQ069	国家区域试验	114	KQ114	内蒙古自治区农牧业科学院
25	KQ025	国家区域试验	70	KQ070	国家区域试验	115	KQ115	内蒙古自治区农牧业科学院
26	KQ026	国家区域试验	71	KQ071	国家区域试验	116	KQ116	内蒙古自治区农牧业科学院
27	KQ027	国家区域试验	72	KQ072	国家区域试验	117	KQ117	内蒙古自治区农牧业科学院
28	KQ028	国家区域试验	73	KQ073	国家区域试验	118	KQ118	内蒙古自治区农牧业科学院
29	KQ029	国家区域试验	74	KQ074	国家区域试验	119	KQ119	内蒙古自治区农牧业科学院
30	KQ030	国家区域试验	75	KQ075	国家区域试验	120	KQ120	内蒙古自治区农牧业科学院
31	KQ031	国家区域试验	76	KQ076	国家区域试验	121	KQ121	内蒙古自治区农牧业科学院
32	KQ032	国家区域试验	77	KQ077	西南大学	122	KQ122	内蒙古自治区农牧业科学院
33	KQ033	国家区域试验	78	KQ078	西南大学	123	KQ123	内蒙古自治区农牧业科学院
34	KQ034	国家区域试验	79	KQ079	西南大学	124	KQ124	内蒙古自治区农牧业科学院
35	KQ035	国家区域试验	80	KQ080	西南大学	125	KQ125	内蒙古自治区农牧业科学院
36	KQ036	国家区域试验	81	KQ081	西南大学	126	KQ126	内蒙古自治区农牧业科学院
37	KQ037	国家区域试验	82	KQ082	西南大学	127	KQ127	内蒙古自治区农牧业科学院
38	KQ038	国家区域试验	83	KQ083	西南大学	128	KQ128	内蒙古自治区农牧业科学院
39	KQ039	国家区域试验	84	KQ084	西南大学	129	KQ129	内蒙古自治区农牧业科学院
40	KQ040	国家区域试验	85	KQ085	西南大学	130	KQ130	内蒙古自治区农牧业科学院
41	KQ041	国家区域试验	86	KQ086	西南大学	131	KQ131	内蒙古自治区农牧业科学院
42	KQ042	国家区域试验	87	KQ087	西南大学	132	KQ132	内蒙古自治区农牧业科学院
43	KQ043	国家区域试验	88	KQ088	西南大学	133	KQ133	内蒙古自治区农牧业科学院
44	KQ044	国家区域试验	89	KQ089	西南大学	134	KQ134	内蒙古自治区农牧业科学院
45	KQ045	国家区域试验	90	KQ090	西南大学	135	KQ135	内蒙古自治区农牧业科学院

续表 1 Table 1 (continued)

编号 Number	代号 Code	来源 Source	编号 Number	代号 Code	来源 Source	编号 Number	代号 Code	来源 Source
136	KQ136	内蒙古自治区农牧业科学院	145	KQ145	内蒙古自治区农牧业科学院	154	KQ154	内蒙古自治区农牧业科学院
137	KQ137	内蒙古自治区农牧业科学院	146	KQ146	内蒙古自治区农牧业科学院	155	KQ155	内蒙古自治区农牧业科学院
138	KQ138	内蒙古自治区农牧业科学院	147	KQ147	内蒙古自治区农牧业科学院	156	KQ156	内蒙古自治区农牧业科学院
139	KQ139	内蒙古自治区农牧业科学院	148	KQ148	内蒙古自治区农牧业科学院	157	KQ157	内蒙古自治区农牧业科学院
140	KQ140	内蒙古自治区农牧业科学院	149	KQ149	内蒙古自治区农牧业科学院	158	KQ158	内蒙古自治区农牧业科学院
141	KQ141	内蒙古自治区农牧业科学院	150	KQ150	内蒙古自治区农牧业科学院	159	KQ159	内蒙古自治区农牧业科学院
142	KQ142	内蒙古自治区农牧业科学院	151	KQ151	内蒙古自治区农牧业科学院	160	KQ160	内蒙古自治区农牧业科学院
143	KQ143	内蒙古自治区农牧业科学院	152	KQ152	内蒙古自治区农牧业科学院	161	KQ161	内蒙古自治区农牧业科学院
144	KQ144	内蒙古自治区农牧业科学院	153	KQ153	内蒙古自治区农牧业科学院	162	KQ162	内蒙古自治区农牧业科学院

全磷 2.65 g/kg、碱解氮 61.35 mg/kg、速效磷 36.67 mg/kg、速效钾 165.35 mg/kg。

1.2 试验方法

试验于 2020–2021 年连续 2 年对苦荞种质资源的表型性状进行测定。依据《荞麦种质资源描述规范和数据标准》^[9]调查测定荞麦农艺性状。包括株型、株高、主茎分枝数、主茎节数、单株粒数、单株粒重、千粒重、粒形、粒色、落粒性及抗倒伏性等。试验采用随机区组设计，3 次重复，每份材料种植 3 行，行距 30 cm，行长 5 m，重复间留 1 m 宽过道。每个小区随机选 10 株测定株高、主茎分枝数和主茎节数，调查生育期、株型及抗倒性；收获时每小区随机取 10 株考种，统计粒色、粒形、单株粒重、单株粒数和千粒重等性状。

1.3 数据处理

用 Excel 2019 处理数据，计算各性状的最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数和多样性指数。采用 SPSS 23.0 和 DPS 16.05 进行相关性分析、主成分分析和系统聚类分析。采用“Shannon-weaver 信息指数 ($H' = -\sum P_i \times \ln P_i$)”计算遗传多样性指数 (H')，式中， P_i 指某一性状第 i 个级别出现的频率^[20]。为通过模糊隶属函数法将 162 份苦荞种质的 10 个表型性状函数值定义在 [0, 1] 区间内，计算公式 $U_{ij} = (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin})$ 。 U_{ij} 表示隶属函数值， X_{ij} 表示品种 i 在指标 j 的测定值， X_{jmin} 与 X_{jmax} 表示试验材料 j 的最小值和最大值。对标准化后的 10 个性状进行主成分分析，将标准化表型性状数据乘以相应主成分因子得分系数，计算各个主成分的得分 (F_n)，结合主成分因子权重 (V_n) 计算每个种质综合得分 (F 值)^[21]， $F = V_1F_1 + V_2F_2 + \dots + V_nF_n$ 。

2 结果与分析

2.1 苦荞种质资源质量性状的遗传多样性分析

表 2 显示，162 份苦荞资源的 5 个质量性状的

H' 变化范围是 0.7180~1.2826，其中粒色 H' 最高，株型最低。从性状的频率分布来看，株型以紧凑为主，所占比例是 75.93%，粒形主要为长锥和心形，短锥所占比例较少，粒色以灰色、黑色为主，两者之和所占比例大于 70.00%，抗倒伏性、抗落粒性强的资源材料较少，大部分资源材料以中抗倒伏为主，所占比例 72.20%，落粒性以中和重为主，两者所占比例超过 85.00%。

表 2 162 份苦荞种质资源描述性状不同类型的频率分布及多样性指数

Table 2 Frequency distribution and diversity index of 162 tartary buckwheat germplasm resources describing different types of characteristics

性状 Characteristic	遗传多样性指数 H'	频率分布 Frequency distribution			
		1	2	3	4
株型 Plant type	0.7180	0.7593	0.1111	0.1296	
粒形 Grain shape	0.9792	0.4691	0.1235	0.4074	
粒色 Grain color	1.2826	0.3457	0.3704	0.1728	0.1111
抗倒伏性 Lodging resistance	0.7454	0.0679	0.7222	0.2099	
抗落粒性 Anti-dropping	0.9544	0.1049	0.4753	0.4198	

株型 1~3 分别为紧凑、半紧凑、松散；粒形 1~3 分别为长锥、短锥、心形；粒色 1~4 分别为灰、黑、褐、棕；抗倒伏性 1~3 分别为强、中、弱；抗落粒性 1~3 分别为轻、中、重。
Plant type 1 to 3 are compact, semi-compact and loose; grain shape 1 to 3 are long cone, short cone and heart shape; grain color 1 to 4 are gray, black, brown and brown; lodging resistance 1 to 3 are strong, medium and weak; and anti-dropping 1 to 3 are light, medium and heavy, respectively.

2.2 苦荞种质资源数量性状的遗传多样性分析

由表 3 可知，162 份苦荞资源的 8 个数量性状的遗传多样性指数为 1.3037~2.0727，其中产量的遗传多样性指数最大，株高最小。162 份苦荞资源的 8 个数量性状变异系数范围在 5.4%~43.4%，平均变异系数为 22.89%；单株粒数的变异系数最大，为 43.4%，生育期的变异系数最小，为 5.4%。其余指标的变异系数较高，均在 10% 以上。

表3 162份苦荞种质资源8个数量性状的主要参数
Table 3 Main parameters of eight quantitative characteristics of 162 tartary buckwheat germplasm resources

性状 Characteristic	最大值 Max.	最小值 Min.	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV(%)	遗传多样性指数 H'
株高 Plant height (cm)	136.0	66.0	96.9	14.4	14.9	1.3037
主茎分枝 Branch number of main stem	19.0	1.9	8.3	3.2	38.5	1.9234
主茎节数 Node number of main stem	20.8	9.3	16.3	2.2	13.7	2.0071
单株粒数 Seeds number per plant	889.0	41.3	341.6	148.4	43.4	1.9605
单株粒重 Seed weight per plant (g)	5.5	2.1	4.3	1.1	25.0	2.0008
千粒重 1000-grain weight (g)	22.3	12.1	17.4	2.4	13.6	2.0144
生育期 Growth period (d)	104.0	76.0	86.0	4.7	5.4	1.7608
产量 Yield (kg/hm ²)	268.7	33.4	159.9	45.7	28.6	2.0727

2.3 苦荞种质资源表型性状间相关性分析

由表4可知,株高和主茎分枝与除粒形之外的所有农艺性状均呈极显著正相关;主茎节数与单株粒数、单株粒重、千粒重、生育期、产量呈极显著正相关,与株型呈显著正相关;单株粒数与单株粒

重、千粒重、生育期、株型、产量呈极显著正相关;单株粒重与千粒重、生育期、株型、产量呈极显著正相关;千粒重与生育期、产量呈极显著正相关,与株型呈显著正相关;生育期与株型、产量呈极显著正相关;株型与产量呈极显著正相关。

表4 162份苦荞种质资源主要农艺性状相关性分析
Table 4 Correlation analysis of main agronomic characteristics of 162 tartary buckwheat germplasm resources

性状 Characteristic	株高 Plant height	主茎分枝 Branch number of main stem	主茎节数 Node number of main stem	单株粒数 Seeds number per plant	单株粒重 Seed weight per plant	千粒重 1000-grain weight	生育期 Growth period	株型 Plant type	粒形 Grain shape	产量 Yield
株高 Plant height	1.000									
主茎分枝 Branch number of main stem	0.962**	1.000								
主茎节数 Node number of main stem	0.952**	0.875**	1.000							
单株粒数 Seeds number per plant	0.958**	0.990**	0.891**	1.000						
单株粒重 Seed weight per plant	0.974**	0.996**	0.901**	0.991**	1.000					
千粒重 1000-grain weight	0.975**	0.903**	0.973**	0.914**	0.924**	1.000				
生育期 Growth period	0.917**	0.968**	0.877**	0.970**	0.966**	0.876**	1.000			
株型 Plant type	0.264**	0.304**	0.161*	0.304**	0.297**	0.180*	0.227**	1.000		
粒形 Grain shape	0.079	0.076	0.059	0.087	0.073	0.076	0.095	0.039	1.000	
产量 Yield	0.986**	0.951**	0.976**	0.961**	0.968**	0.976**	0.937**	0.241**	0.084	1.000

和*分别表示0.05和0.01水平显著和极显著相关。

** and *** indicate significant and extremely significant correlation at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.4 苦荞种质资源表型性状间主成分分析

对162份苦荞的10个主要农艺性状进行主成

分分析,由表5可知,4个主成分累计贡献率达到83.559%。第1主成分特征值为4.825,贡献率为

表5 162份苦荞种质资源主要农艺性状主成分分析
Table 5 Principal component analysis of main agronomic characteristics of 162 tartary buckwheat germplasm resources

性状 Characteristic	因子1 Component 1	因子2 Component 2	因子3 Component 3	因子4 Component 4
株高 Plant height	0.847	-0.194	-0.124	0.073
主茎分枝 Branch number of main stem	0.066	0.106	0.861	-0.081
主茎节数 Node number of main stem	0.945	-0.049	0.107	-0.052
单株粒数 Seeds number per plant	0.965	0.120	-0.058	-0.023
单株粒重 Seed weight per plant	0.971	0.105	-0.064	-0.036
千粒重 1000-grain weight	0.511	-0.682	0.041	0.024
生育期 Growth period	0.194	0.435	0.500	-0.197
株型 Plant type	0.260	0.746	-0.418	0.010
粒形 Grain shape	0.108	0.127	0.191	0.964
产量 Yield	0.979	0.043	0.035	-0.032
特征值 Eigenvalue	4.825	1.306	1.240	0.985
贡献率 Contribution rate (%)	48.248	13.057	12.400	9.854
累计贡献率 Cumulative contribution rate (%)	48.248	61.305	73.705	83.559

48.248%，单株粒数、单株粒重和产量是其主要指标，此类指标主要与产量构成有关。第 2 主成分特征值为 1.306，贡献率为 13.057%，株型为其主要指标，此类指标主要与植株形态有关。第 3 主成分特征值为 1.240，贡献率为 12.4%，主茎分枝数为其主要指标，此类指标主要与植株茎秆性状有关。第 4 主成分特征值为 0.985，贡献率为 9.854%，粒形为其主要指标，此类指标主要与籽粒形态有关。

2.5 苦荞种质资源表型性状间聚类分析

对 162 份苦荞种质资源的 10 个农艺性状使用平均联结（组间）方法进行系统聚类（图 1），得

到各类群的主要农艺性状的平均值（表 6）。在遗传距离为 14 时，162 份苦荞种质可以分为 5 类。如图 1 和表 6 所示，类群 I 包括 31 份苦荞资源，其主要特征为生育期适中，各农艺性状表现较为均衡，但株高较高，株型多为半紧凑或松散型、抗倒伏性较差，产量较高，属于中熟、高产型种质。类群 II 包括 20 份苦荞资源，其主要特征为生育期最长，株高最高，单株粒数最多，单株粒重与千粒重最大，产量最高，株型多为半紧凑或松散型且主茎分枝最多，抗倒伏性最差，属于晚熟、高产型种质。类群 III 主要包括 30 份苦荞资源，其主要特征为早熟，

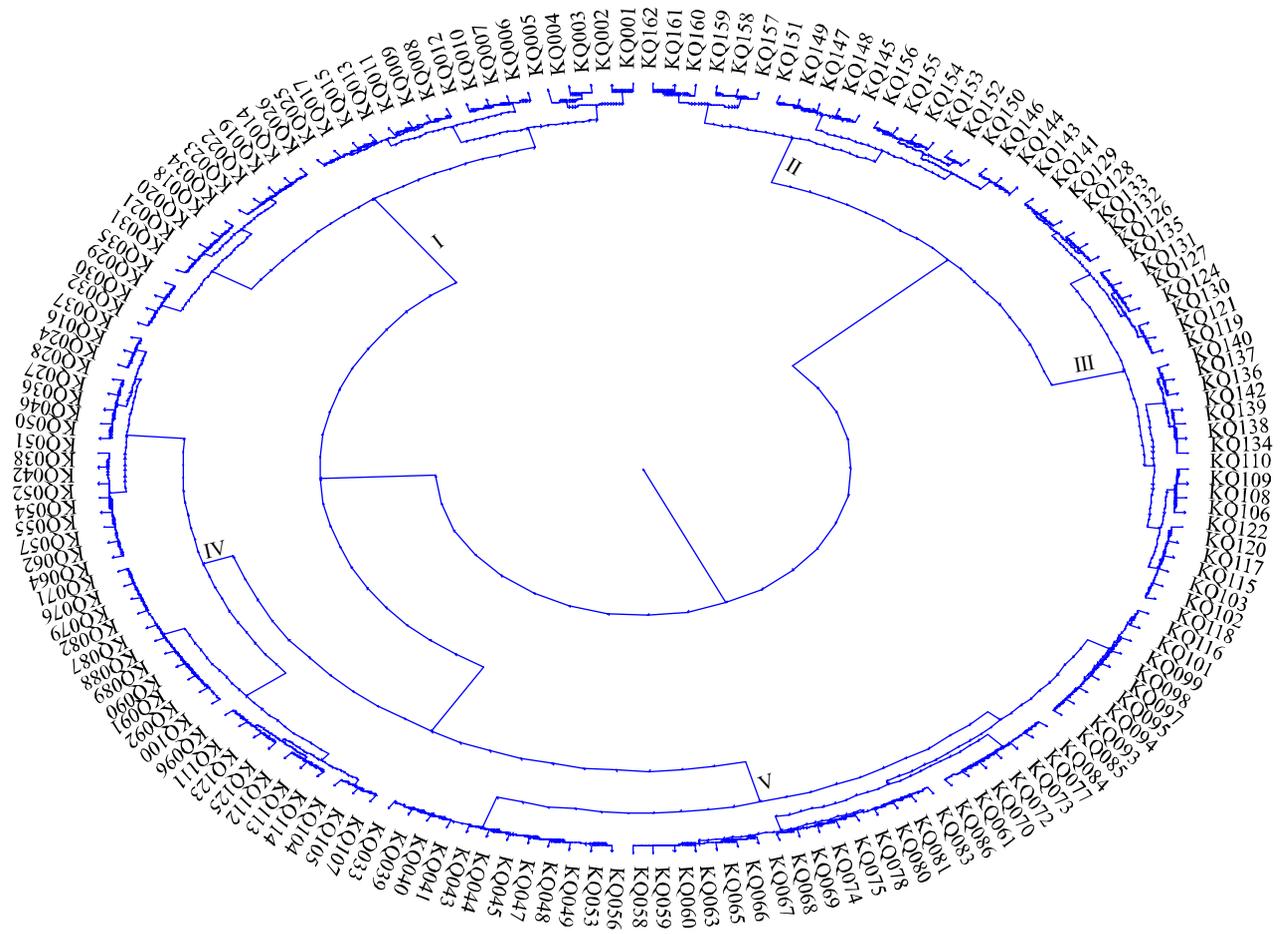


图 1 162 份苦荞种质资源主要农艺性状聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of main agronomic characteristics of 162 tartary buckwheat germplasm resources

表 6 聚类后 5 类苦荞种质资源的主要农艺性状统计

Table 6 Statistics of main agronomic characteristics of five kinds of tartary buckwheat germplasm resources after clustering

类群 Group	株高 Plant height	主茎分枝数 Branch number of main stem	主茎节数 Node number of main stem	单株粒数 Seed number per plant	单株粒重 Seed weight per plant	千粒重 1000-grain weight	生育期 Growth period	株型 Plant type	粒形 Grain shape	产量 Yield	种质数 Germplasm number
I	107.45	10.25	17.90	435.25	2.97	19.43	87.84	2.42	1.68	194.13	31
II	119.44	15.01	19.31	628.54	4.39	20.74	96.45	2.10	2.05	234.50	20
III	77.62	4.90	12.71	175.32	1.06	13.82	81.23	2.07	1.77	94.61	30
IV	93.42	7.36	16.29	302.16	1.99	17.24	85.47	1.13	2.76	154.08	37
V	92.42	7.13	16.27	290.02	1.91	17.18	85.44	1.00	1.16	151.24	44

株高最矮,单株粒重、千粒重和产量最低,属于早熟、小粒种质。类群IV主要包括37份苦荞资源,主要特征为较早熟,株高较矮,粒形为短锥形,千粒重适中,产量适中,属于早熟、小粒种质。类群V主要包括44份苦荞资源,该类群种质的主要特征为较早熟,株高最矮,粒形为长锥形,主茎分枝数适中,千粒重适中,株型紧凑,属于早熟、大粒种质。

2.6 苦荞种质资源综合评价

将标准化后的10个表型性状值代入上述4个主成分中,可得到4个主成分的得分公式如下, $F_1=0.847X_1+0.066X_2+0.945X_3+0.965X_4+0.971X_5+0.511X_6+0.194X_7+0.260X_8+0.108X_9+0.979X_{10}$, $F_2=-0.194X_1+0.106X_2-0.049X_3+0.120X_4+0.105X_5-$

$0.682X_6+0.435X_7+0.746X_8+0.127X_9+0.043X_{10}$, $F_3=-0.124X_1+0.861X_2+0.107X_3-0.058X_4-0.064X_5+0.041X_6-0.500X_7-0.418X_8+0.191X_9+0.035X_{10}$, $F_4=0.073X_1-0.081X_2-0.052X_3-0.023X_4-0.036X_5+0.024X_6-0.197X_7+0.010X_8+0.964X_9-0.032X_{10}$ 。根据 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 数值及各主成分的贡献率权重(0.577、0.156、0.148、0.118),由每个品种的综合得分公式($F=0.577F_1+0.156F_2+0.148F_3+0.118F_4$)计算出 F 值,根据 F 值对162份苦荞资源表型性状进行综合评价(表7), F 值越大,表明综合性状越好。162份苦荞种质资源的表型性状平均 F 值为-0.00012。KQ127的 F 值最高(1.96),KQ043的 F 值最低(-2.41),说明KQ127的综合表现最好,

表7 162份苦荞种质资源综合得分
Table 7 Comprehensive scores of 162 tartary buckwheat germplasm resources

代号 Code	综合得分 Comprehensive score								
KQ001	0.58	KQ034	1.28	KQ067	-0.65	KQ100	1.11	KQ133	0.04
KQ002	0.10	KQ035	0.84	KQ068	-0.57	KQ101	0.62	KQ134	-0.34
KQ003	1.92	KQ036	-1.07	KQ069	-1.04	KQ102	1.45	KQ135	0.22
KQ004	1.47	KQ037	1.58	KQ070	-1.01	KQ103	1.75	KQ136	0.41
KQ005	1.16	KQ038	-0.63	KQ071	-0.53	KQ104	1.60	KQ137	0.11
KQ006	0.80	KQ039	-1.34	KQ072	-0.80	KQ105	1.79	KQ138	-0.26
KQ007	0.49	KQ040	-1.30	KQ073	-1.41	KQ106	1.26	KQ139	-0.48
KQ008	0.14	KQ041	-0.12	KQ074	-1.09	KQ107	1.81	KQ140	0.09
KQ009	0.01	KQ042	-0.57	KQ075	-1.66	KQ108	1.32	KQ141	-0.35
KQ010	0.34	KQ043	-2.41	KQ076	-0.91	KQ109	1.17	KQ142	-0.34
KQ011	0.25	KQ044	-2.23	KQ077	-1.42	KQ110	1.24	KQ143	0.13
KQ012	-0.24	KQ045	-1.68	KQ078	-1.56	KQ111	0.77	KQ144	0.19
KQ013	0.01	KQ046	-1.99	KQ079	-1.11	KQ112	1.04	KQ145	-0.43
KQ014	1.67	KQ047	-2.29	KQ080	-1.40	KQ113	0.98	KQ146	0.86
KQ015	0.21	KQ048	-1.95	KQ081	-0.57	KQ114	0.70	KQ147	-0.51
KQ016	0.45	KQ049	-2.04	KQ082	0.40	KQ115	1.12	KQ148	-0.44
KQ017	-0.08	KQ050	-1.30	KQ083	-0.32	KQ116	0.30	KQ149	-1.00
KQ018	1.08	KQ051	-1.54	KQ084	-0.15	KQ117	0.96	KQ150	-1.20
KQ019	0.99	KQ052	-1.45	KQ085	-0.32	KQ118	0.12	KQ151	-0.85
KQ020	0.83	KQ053	-2.35	KQ086	-1.15	KQ119	1.29	KQ152	-0.35
KQ021	1.07	KQ054	-0.56	KQ087	-0.18	KQ120	1.19	KQ153	-0.05
KQ022	1.43	KQ055	-0.47	KQ088	-0.28	KQ121	1.40	KQ154	0.12
KQ023	0.71	KQ056	-1.02	KQ089	-0.16	KQ122	1.20	KQ155	0.55
KQ024	0.37	KQ057	-0.73	KQ090	-0.09	KQ123	0.19	KQ156	0.05
KQ025	-0.13	KQ058	-0.66	KQ091	-0.06	KQ124	1.30	KQ157	0.38
KQ026	-0.29	KQ059	-0.96	KQ092	0.03	KQ125	0.13	KQ158	0.29
KQ027	-0.52	KQ060	-1.01	KQ093	-0.31	KQ126	1.20	KQ159	0.15
KQ028	0.43	KQ061	-0.59	KQ094	-0.31	KQ127	1.96	KQ160	0.13
KQ029	0.92	KQ062	-0.34	KQ095	0.14	KQ128	0.16	KQ161	0.99
KQ030	0.95	KQ063	-0.98	KQ096	0.03	KQ129	0.49	KQ162	0.76
KQ031	0.90	KQ064	-0.45	KQ097	-0.29	KQ130	-0.23		
KQ032	1.53	KQ065	-0.69	KQ098	0.53	KQ131	0.53		
KQ033	-0.31	KQ066	-1.27	KQ099	0.32	KQ132	0.14		

KQ043 的综合表现最差。排在前 10 位的分别是 KQ127、KQ003、KQ107、KQ105、KQ103、KQ014、KQ037、KQ032、KQ004、KQ102。

3 讨论

3.1 苦荞种质资源表型性状的遗传多样性分析

种质资源是作物品种改良最基本的材料^[22]，也是遗传研究与育种应用的基础^[23]，研究种质资源的遗传多样性能直观地表现出个体之间的表型差异^[24]，对现有苦荞优良种质资源的收集、利用及研究具有重要意义。通过对 162 份苦荞种质资源 13 个性状进行遗传多样性分析，其中粒色的遗传多样性指数最高，与贾瑞玲等^[20]研究结果一致。质量性状的遗传多样性指数较低，大部分材料抗倒伏性与抗落粒性均适中。

本研究中，8 个数量性状中除生育期外其余 7 个数量性状变异系数均大于 10%，说明所选苦荞资源数量性状的遗传多样性较为丰富。162 份苦荞材料间各性状均存在着丰富的变异，有利于苦荞优异种质的筛选，在育种工作中，该批资源是苦荞种质创新、遗传改良的理想材料。通过变异系数与多样性指数相结合的方法，对供试苦荞资源的表型性状进行综合分析，表明该种质群体有较大的遗传改良潜力，且能够为苦荞优良品种选育提供丰富的亲本材料。

由相关性分析可知，株高与除粒形之外的所有农艺性状均呈极显著正相关；主茎分枝数和主茎节数均与单株粒数、单株粒重、千粒重、产量等呈极显著正相关，相关系数达到了 0.8 以上，说明主茎分枝数和主茎节数 2 个性状与产量形成有紧密关联。单株粒数与单株粒重、千粒重呈极显著正相关，与杨明君等^[25]的研究结果基本一致。在育种工作中，选择千粒重、单株粒数和单株粒重较高的材料，能有效地提高苦荞产量水平。

主成分分析法可通过降维的方式将测定指标简化，同时排除原指标间相关关系的干扰^[26]。本文中主成分分析共提取 4 个主成分。第 1 主成分主要反映了单株粒重、单株粒数和产量的影响，说明植株长势高大，单株粒重大，单株粒数多的表型产量较高；第 2 主成分主要反映了株型的影响，说明株型对产量有一定的影响，株型越紧凑，产量越高；第 3 主成分主要反映了主茎分枝数的影响，说明主茎分枝数对产量形成也具有一定影响，主茎分枝数

少的材料产量相对较高。第 4 主成分主要反映了粒形的影响，籽粒越饱满，越大，产量就越高。李春花等^[15]通过主成分分析将苦荞农艺性状分为籽粒形状因子、产量因子、籽粒大小因子及株型因子，与本研究结果相似。

在遗传距离为 14 时将 162 份苦荞种质分为 5 类。类群 I 材料的各农艺性状表现较为均衡，农艺性状综合表现较为稳定，是选育苦荞优良品种（系）的理想材料；类群 II 材料的各农艺性状表现较其余类群最优，株高最高、分枝数最多、生育期最长，是高产型苦荞亲本的较优选择，但要考虑株高以及生育期的影响；类群 III 材料的生育期短、株高最矮，但其余农艺性状表现最差；类群 IV 材料的生育期较短，株高较矮，千粒重及产量等农艺性状表现适中，适宜作为培育早熟品种的亲本材料；类群 V 材料株高最矮，主茎分枝数等产量构成性状表现均适中，株型紧凑，具有较好的抗倒伏性。

3.2 苦荞种质资源综合评价

基于种质资源的表型性状，利用隶属函数法与主成分分析相结合对种质资源进行综合评价的方法已在其他作物^[27]表型性状的综合评价中得到应用。本研究以表型性状综合得分 F 值的大小为依据进行评价，其中，KQ127 的 F 值最高（1.96），KQ043 的 F 值最低（-2.41），说明 KQ127 的综合表现最好，KQ043 的综合表现最差。

4 结论

通过遗传多样性指数、变异系数、相关性分析、主成分分析、聚类分析的方法对 162 份苦荞资源进行遗传多样性分析，表明所选苦荞遗传差异较大，具有丰富的遗传变异。通过构建综合评价指标，筛选了 10 份综合表现较优的苦荞种质资源。

参考文献

- [1] 邓琳琼, 张以忠. 苦荞 EMS 诱变群体的创建及农艺性状分析. 湖北农业科学, 2015, 54(14): 3343-3347.
- [2] 左茜茜, 宋英杰, 马心妍, 等. 苦荞全基因组 SSR 位点挖掘及遗传多样性分析. 中国农业科技导报, 2022, 24(4): 38-51.
- [3] Weisskopf A, Fuller D Q. Buckwheat: origins and development. p. World Development, 2013, 33: 242-257.
- [4] 白永亮, 林柔敏, 吴采瑛, 等. 基于黄酮积累的苦荞萌发工艺优化及其抗氧化活性研究. 广东农业科学, 2022, 49(4): 135-142.
- [5] 蔡齐宗, 王佳蕊, 陈庆富, 等. 苦荞全基因组 SSR 位点鉴定及分子标记开发. 河南农业大学学报, 2022, 56(3): 392-400.
- [6] 李晓娟, 方小梅, 伍浩天, 等. 苦荞种质资源主要农艺性状 SSR 标记关联分析. 作物学报, 2022, 48(12): 3091-3107.
- [7] 张璟, 欧仕益. 荞麦的营养价值和保健作用. 粮食与饲料工业,

- 2000(11): 44-45.
- [8] Glaszmann J C, Killian B, Upadhyaya H D. Accessing genetic diversity for crop improvement. *Current Opinion Plant Biology*, 2010, 13(3): 167-173.
- [9] 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. *中国农学通报*, 2017, 33(34): 20-25.
- [10] 潘凡, 石桃雄, 陈其皎, 等. 苦荞种质主要农艺性状的变异及其对单株粒重的贡献研究. *植物科学学报*, 2015, 33(6): 829-839.
- [11] 覃初贤, 覃欣广, 邢钊浩, 等. 广西荞麦种质资源主要农艺性状鉴定与评价. *广东农业科学*, 2020, 47(10): 11-17.
- [12] 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. *耕作与栽培*, 2019(4): 11-14.
- [13] 汪灿, 胡丹, 杨浩, 等. 苦荞主要农艺性状与产量关系的多重分析. *作物杂志*, 2013(6): 18-22.
- [14] 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. *植物遗传资源学报*, 2016, 17(6): 993-999.
- [15] 李春花, 加央多拉, 陈葵坤, 等. 苦荞种质资源性状评价及优异资源筛选. *干旱地区农业研究*, 2021, 39(6): 19-27.
- [16] 邓琳琼, 张以忠. 毕节市苦荞种质资源农艺性状的鉴定与评价. *湖北农业科学*, 2015, 54(15): 3604-3607.
- [17] 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. *作物杂志*, 2021(3): 19-27.
- [18] 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. *河北农业大学学报*, 2008, 31(2): 1-5, 20.
- [19] 张宗文, 林汝法. 荞麦种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [20] 贾瑞玲, 马宁, 魏立平, 等. 50份苦荞种质资源农艺性状的遗传多样性分析. *干旱地区农业研究*, 2015, 33(5): 11-16, 89.
- [21] 徐泽俊, 齐玉军, 邢兴华, 等. 黄淮海大豆种质农艺与品质性状分析及综合评价. *植物遗传资源学报*, 2022, 23(2): 468-480.
- [22] 周瑜, 李泽碧, 黄娟, 等. 高粱种质资源表型性状的遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2021, 22(3): 654-664.
- [23] 李祥栋, 潘虹, 陆秀娟, 等. 薏苡属种质资源的主要表型性状多样性研究. *植物遗传资源学报*, 2019, 20(1): 229-238.
- [24] 魏晓羽, 刘红, 瞿辉, 等. 158份春兰种质资源的表型多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2022, 23(2): 398-411.
- [25] 杨明君, 杨媛, 郭忠贤, 等. 旱作苦荞麦籽粒产量与主要性状的相关分析. *内蒙古农业科技*, 2010(2): 49-50.
- [26] 张学超, 任海龙, 唐式敏, 等. 伊犁天山160份野苹果种质资源表型性状的遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2021, 22(6): 1521-1530.
- [27] 胡标林, 万勇, 李霞, 等. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价. *作物学报*, 2012, 38(5): 829-839.

Genetic Diversity and Comprehensive Evaluation of Phenotypic Traits of 162 Tartary Buckwheat Resources in Inner Mongolia

Yang Enze¹, Xie Rui^{1,2}, Han Ping'an¹, Zhang Yonghu¹, Liu Jinchuan¹,
Niu Suqing¹, Wen Rui¹, Wang Chunyong¹, Jin Xiaolei¹

¹Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, Inner Mongolia, China;

²College of Agronomy, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, Hebei, China)

Abstract Genetic diversity index, coefficient of variation, correlation analysis, principal component analysis, cluster analysis and stepwise regression analysis were used to analyze and evaluate 13 phenotypic traits of 162 tartary buckwheat germplasm resources. The results showed that the genetic diversity index of five qualitative traits was 0.7180-1.2826, the genetic diversity index of eight quantitative traits were 1.3037-2.0727, the coefficients of variation were 5.4%-43.4%, and the coefficients of variation of the other seven agronomic traits were all greater than 10% except the growth period, which indicated that the genetic variation of selected tartary buckwheat resources was very rich. Correlation analysis showed that six characteristics, such as branch number of main stem, node number of main stem, seed number per plant, seed weight per plant, 1000-grain weight and growth period, had the greatest influence on yield. The cumulative contribution rate of four principal components extracted by principal component analysis was 83.559%. The main factors that cause the phenotypic variation of tartary buckwheat were grain weight per plant, grain number per plant, yield, plant type, branch number of main stem and grain shape. The 162 tartary buckwheat germplasm resources were grouped into five groups by cluster analysis, among which the agronomic characteristics of the materials in group I were relatively balanced, which was an ideal material for breeding excellent tartary buckwheat varieties (lines). The materials of group V had better lodging resistance and better performance, which was a better choice for lodging-resistant parents. Through fuzzy membership function, a comprehensive evaluation index was constructed based on the contribution rate weight of four principal components, and ten tartary buckwheat germplasm resources with better comprehensive characteristics were screened out.

Key words Tartary buckwheat; Phenotypic characteristics; Genetic diversity; Comprehensive evaluation