

# 六棱大麦种质表型遗传多样性评价

刘亚楠<sup>1,2</sup>, 潘雨涵<sup>1</sup>, 郭 暉<sup>3</sup>, 朱明超<sup>2,4</sup>, 文正怀<sup>2,4</sup>, 吕 超<sup>1</sup>, 郭宝健<sup>1</sup>, 许如根<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>扬州大学江苏省作物遗传生理国家重点实验室培育点/粮食作物现代产业技术协同创新中心/  
教育部植物功能基因组学重点实验室/扬州大学大麦研究所, 江苏扬州 225009;

<sup>2</sup>江苏天丰种业有限公司, 淮安 223001; <sup>3</sup>江苏农垦农业发展股份有限公司, 南京 210008; <sup>4</sup>淮安市农业科学研究院, 淮安 223001)

**摘要:**为探究六棱大麦种质资源的遗传多样性,提高六棱大麦育种组合选配的针对性和育种效率。以来自国内外的 89 份六棱大麦种质为材料,考察了 3 个不同环境下参试材料的株高、穗下节间长、穗长、主穗粒数、单株穗数、千粒重、单株粒重、单株生物重等 8 个性状,综合参试材料 3 个不同环境的表现,通过变异系数及遗传多样性指数分析参试材料的遗传多样性,通过主成分分析、聚类分析等方法对参试六棱大麦种质进行了综合评价。结果表明:(1)六棱大麦的穗长、单株粒重 2 个性状变异较丰富,株型性状与穗粒数变异系数较小,六棱大麦育种的增益效应主要体现在穗长和粒重的适度增加;(2)六棱皮大麦与六棱裸大麦仅在千粒重性状上差异显著,六棱皮大麦各性状多样性指数普遍高于六棱裸大麦;(3)参试六棱大麦种质分为 5 类,其中第 4 类基本均为中国地方种质,分布广泛,但遗传距离较近;其他 4 类为国内外选育的种质,各具特性;(4)利用主成分二维排序分析筛选到以高产为基础,分别兼具矮秆、长穗且分蘖能力强、大粒及高生物重的 4 类优异种质;基于主成分构建了六棱大麦种质资源的综合评价方程。

**关键词:**六棱大麦;种质资源;遗传多样性;评价

## Comprehensive Evaluation of Genetic Diversity in Six-rowed Barley Germplasm

LIU Ya-nan<sup>1,2</sup>, PAN Yu-han<sup>1</sup>, GUO Hui<sup>3</sup>, ZHU Ming-chao<sup>2,4</sup>,  
WEN Zheng-huai<sup>2,4</sup>, LV Chao<sup>1</sup>, GUO Bao-jian<sup>1</sup>, XU Ru-gen<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Jiangsu Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology/Co-Innovation Center for Modern Production Technology of Grain  
Crops/Key Laboratory of Plant Functional Genomics of the Ministry of Education/Barley Research  
Institution of Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu 225009;

<sup>2</sup>Jiangsu Tianfeng Seed Industry Co., Ltd, Huaian 223001;

<sup>3</sup>Jiangsu Provincial Agricultural Reclamation and Development Corporation, Nanjing 210008;

<sup>4</sup>Huaian Academy of Agricultural Sciences in Jiangsu, Huaian 223001)

**Abstract:** Exploring the genetic diversity of six-rowed barley germplasm resources could provide information in selection of parental lines and cross combinations, finally improving the breeding efficiency in six-rowed barley. In this study, eighty-nine six-rowed barley accessions, including domestic and foreign cultivars, were employed as materials to survey eight major agronomic traits (plant height, internode length below spike, spike length, grain number per spike, spike number per plant, thousand-kernel weight, grain weight per plant and biomass per plant) under three different environmental conditions. We conducted the genetic diversity analysis, principal component analysis and cluster analysis of these eight traits. The results showed that: (1) The grain weight per plant showed broader variation, while the traits, including plant type and grain number per spike, displayed narrowed genetic variation to the

收稿日期:2018-01-02 修回日期:2018-01-24 网络出版日期:2018-06-06

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20180606.0925.001.html>

基金项目:国家自然科学基金项目(31571648);国家大麦青稞产业技术体系建设专项(CARS-05);江苏高校优势学科建设工程项目

第一作者研究方向为大麦遗传育种研究。E-mail: yzuliuyan@163.com

通信作者:许如根,研究方向为大麦遗传育种及啤酒生产技术研究。E-mail: rgxu@yzu.edu.cn

others. The increases on spike length and grain weight in six-rowed varieties were observed. (2) The thousand grain weight and the genetic diversity index were significantly higher in hulled *vs.* hullless barley. (3) The tested accessions were divided into five categories. The fifth category was the landraces of China, which was widely distributed but displayed a relatively close genetic distance among them. The other four categories were cultivars post breeding, and each had their own characteristics. (4) Based on the analysis of principal component and the scatter plot, four excellent types of germplasm were obtained, which behaved large grain and high production, and at the same time they contained four types (dwarf, long spike and strong tillering ability, big grain, and high biomass) respectively. Thus, this work provided an evaluation equation valuable in use of six-rowed barley germplasm in barley breeding.

**Key words:** six-rowed barley; germplasm resource; genetic diversity; evaluation

表型性状多样性是遗传多样性与环境多样性的综合表现<sup>[1]</sup>,种质资源蕴藏的产量基因、品质基因、抗性基因等多样性,是作物育种的基础<sup>[2]</sup>。大麦(*Hordeum vulgare* L.)是世界上最早被驯化的“多元”作物之一<sup>[3]</sup>,按棱型可分为二棱大麦与六棱大麦,20世纪80年代以前,我国大麦主要用作饲料与粮食,六棱大麦茎秆柔嫩多汁是家畜的上等优质青饲料,成熟大麦籽粒富含蛋白、维生素、氨基酸等物质,是优质饲料或粮食,我国西藏青稞以六棱品种为主,六棱皮大麦以密穗为主,其籽粒粒型偏小、千粒重低<sup>[4]</sup>;20世纪80年代以后,随着我国啤酒加工产业的发展,二棱大麦品种因其籽粒大而饱满、千粒重高、啤酒品质优的特点成为啤酒大麦原料生产的主要品种类型,育种家也因此加强了二棱啤酒大麦种质的引进及品种选育。除青稞外,六棱密穗皮大麦品种的选育有所弱化,近年来审定或登记的皮大麦品种以二棱大麦为主,六棱皮大麦品种相对较少。随着人们对六棱大麦的食用、饲用及啤酒价值的重新认识与保健功能的开发,六棱大麦品种的选育也重新受到人们的重视。六棱大麦种质资源的遗传多样性分析与评价可加强有利基因的挖掘与利用,减少亲本选配盲目性,提供育种的预见性<sup>[5]</sup>。虽然分子标记的广泛引入丰富了六棱大麦种质资源遗传多样性的评价方法,但表型性状的多样性评价最为直观、经济,特别是群体较大时应用较多<sup>[6-9]</sup>。主成分分析与聚类分析在大麦种质资源的评价研究较多,但仅对六棱大麦种质资源表型性状的遗传多样性进行分析的报道较少。王蕾等<sup>[10]</sup>通过主成分分析认为青藏高原青稞及其他地区大麦分类与地理来源较相近。基于主成分的二维排序分析已广泛应用于麻类、大蒜、小麦、棉花等作物的鉴定与综合评价中,能较清楚地揭示各种质的性状表现及种质间的差异<sup>[11-15]</sup>;基于主成分分析构建

的评价方程在谷子、水稻、陆地棉的种质评价中已得到应用<sup>[2,16-17]</sup>,以上两种方法均未发现在六棱大麦种质研究中报道。本研究通过结合主成分分析、二维排序分析、回归分析等多元分析方法,明确六棱大麦种质遗传多样性,发掘综合育种目标优良或特异性种质资源,为六棱大麦育种提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以扬州大学大麦研究所收集的89份来源不同的六棱大麦品种(系)为参试材料。材料名称、来源及类型见表1。

### 1.2 试验设计

2014年秋播将试验材料种植于盐城市大中农场,采用随机区组设计,每个材料播种2行,行长1.2 m,行距0.2 m,株距3 cm,每行点播40粒,3次重复。

2015年秋播将试验材料分别种植于扬州大学新农场及盐城市大中农场,与2014年同规格种植,常规栽培管理。

### 1.3 性状测定

2015年5月,大麦成熟后,每个材料取5株竞争株,按照《大麦种质资源描述规范和数据标准》<sup>[18]</sup>记录株高(cm)、穗长(cm)、穗下节间长(cm)、主穗粒数(粒)、单株穗数(个)、单株生物重(g)、单株粒重(g)、千粒重(g)8个农艺性状。2016年5月以同样方式考查8个性状。

### 1.4 统计分析

**1.4.1 描述性统计** 使用Excel 2007进行基础数据的整理,计算各性状的均值、最大值、最小值、标准差、变异系数、遗传多样性指数;使用SPSS21.0软件进行方差分析、相关分析、二维排序分析、回归分析;使用Matlab软件进行主成分分析;使用R语

言进行基于马氏距离、类平均法的聚类分析。

遗传多样性指数<sup>[19]</sup> ( $H'$ , Shannon-Wiener diversity index) 的计算:通过计算参试材料的平均数( $\mu$ )和标准差( $\sigma$ ),将考查的目标性状均划分为10级,从第1级 [ $x_i < (\mu - 2\sigma)$ ] 到第10级 [ $x_i > (\mu + 2\sigma)$ ],每间隔0.5 $\sigma$ 为一级,计算每一级相对频率 $P_i$ ,从而得到多样性指数。计算公式为: $H' = -\sum p_i \ln p_i$  (式中 $p_i$ 为某性状第*i*级别材料份数占总份数的百分比)。

**1.4.2 主成分分析及二维排序分析** 主成分分析是依据简单相关系数矩阵将原来多个彼此相关的指标转换成少数几个新的彼此相互独立的综合指标,建立综合指标 $Z_j$ 的方程<sup>[20]</sup>:

$$Z_j = \sum_{i=1}^m b_{ij}x'_i \quad (i=1,2,\dots,m; \quad j=1,2,\dots,p, p \leq m)$$

基于主成分的二维排序分析<sup>[14]</sup>是以第1主成分得分为横坐标,分别以提取的其他主成分得分为纵坐标绘制二维散点图。通过分析目标性状所在象限清楚地揭示该目标性状优良品种的分布情况及位置特点。

**1.4.3 种质资源主要性状指标的综合评价** 将标

准化的种质表型数据代入每个主成分中,计算各主成分的得分,再利用模糊隶属函数对各主成分进行归一化处理,以贡献率计算各主成分的权重系数,最后得到各种质的综合得分值( $M$ 值)。以综合得分( $M$ 值)为依变量,以8个主要农艺性状表型值为自变量,通过逐步回归法建立最优回归方程<sup>[2,16-17]</sup> (即 $M = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_6 + b_7X_7 + b_8X_8$ ),以决定系数检验回归模型的拟合效果,若决定系数越接近1,表明该回归模型拟合的越好,以期筛选各类别种质资源的综合评价指标。

**1.4.4 基于马氏距离的聚类分析** 马氏距离表示数据的协方差距离,是计算两个未知样本集的相似度较为有效的方法。设总体 $G$ 为 $m$ 维(即 $m$ 个指标),均值向量为 $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m)'$ ,协方差阵为 $\Sigma = (\sigma_{ij})$ ,样本 $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)'$ 与总体 $G$ 的马氏距离定义为:

$$d^2(X, G) = (X - \mu)' \Sigma^{-1} (X - \mu)$$

采用R语言进行基于马氏距离、类平均法的聚类分析<sup>[21]</sup>可以不受量纲的影响,并排除变量之间相关性的干扰,以此对农艺性状聚类要优于欧氏距离。

表1 六棱大麦种质的名称、来源、皮裸性及类型

Table 1 The code, name, origin, hulled/hulless and types of six-rowed barley germplasm

编号 Code	品种 Varieties	来源 Origin	皮/裸 Hulled/hulless	类型 Type	编号 Code	品种 Varieties	来源 Origin	皮/裸 Hulled/hulless	类型 Type
1	华矮11	中国湖北	裸	近现代	18	80-229 大麦	中国河北	皮	地方
2	浙08-49	中国浙江	皮	近现代	19	威县春大麦	中国河北	裸	地方
3	扬饲麦1号	中国江苏	皮	近现代	20	拉一把	中国山东	皮	地方
4	2004-日引4号	日本	皮	近现代	21	济南草大麦	中国山东	皮	地方
5	2004-日引2号	日本	皮	近现代	22	裸大麦	中国山东	裸	地方
6	驻4	中国河南	皮	近现代	23	芒火麦	中国河南	皮	地方
7	美97-1338	美国	裸	近现代	24	火灯芒	中国河南	皮	地方
8	CM72	美国	皮	近现代	25	毛大麦	中国河南	皮	地方
9	AcBacclm	美国	裸	近现代	26	长芒大麦	中国河南	皮	地方
10	AcBurman	美国	皮	近现代	27	芒大麦1	中国河南	皮	地方
11	OR71	美国	皮	近现代	28	芒大麦2	中国河南	皮	地方
12	C2118	美国	皮	近现代	29	四棱芒大麦	中国河南	皮	地方
13	大中8891	中国江苏	皮	近现代	30	大麦	中国河南	皮	地方
14	甘垦5号	中国甘肃	裸	近现代	31	烫发头	中国河南	皮	地方
15	石家庄大麦	中国河北	皮	地方	32	蚰子大麦	中国河南	皮	地方
16	宁晋大麦	中国河北	皮	地方	33	大麦	中国河南	皮	地方
17	易县大麦	中国河北	皮	地方	34	三月黄	中国河南	裸	地方

表 1(续)

编号 Code	品种 Varieties	来源 Origin	皮/裸 Hulled/hulless	类型 Type	编号 Code	品种 Varieties	来源 Origin	皮/裸 Hulled/hulless	类型 Type
35	裸大麦	中国河南	裸	地方	62	红芒大麦	中国云南	皮	地方
36	短芒大麦	中国陕西	皮	地方	63	白大麦	中国云南	皮	地方
37	四棱大麦	中国陕西	皮	地方	64	洋大麦 1	中国云南	裸	地方
38	长穗大麦	中国陕西	皮	地方	65	洋大麦 2	中国云南	裸	地方
39	六棱大麦	中国陕西	皮	地方	66	长芒裸大麦	中国云南	裸	地方
40	秃和尚 露仁大麦	中国陕西	裸	地方	67	四月黄	中国江西	皮	地方
41	米大麦	中国陕西	裸	地方	68	诸城米大麦	中国山东	裸	地方
42	短芒大麦	中国陕西	裸	地方	69	毛大麦	中国湖北	皮	地方
43	老来闯	中国江苏	皮	地方	70	红壳大麦	中国湖北	皮	地方
44	58-40	中国江苏	皮	近现代	71	乌米麦	中国湖北	裸	地方
45	紫四棱大麦	中国江苏	皮	地方	72	大麦	中国甘肃	皮	地方
46	江宁 1395	中国江苏	皮	近现代	73	舟曲大麦	中国甘肃	皮	地方
47	扬中白麦	中国江苏	裸	地方	74	长阳米麦	中国湖北	裸	地方
48	三月黄	中国江苏	皮	地方	75	小广春大麦	中国四川	皮	地方
49	六棱大麦	中国上海	皮	地方	76	长毛大麦	中国贵州	皮	地方
50	岳西三月黄	中国安徽	皮	地方	77	光头大麦	中国贵州	皮	地方
51	祁门大麦	中国安徽	皮	地方	78	大麦	中国贵州	皮	地方
52	泾县乱枪子	中国安徽	皮	地方	79	赫章老麦	中国贵州	裸	地方
53	稀麦	中国湖北	皮	地方	80	米大麦	中国贵州	裸	地方
54	鞭子草达	中国湖北	皮	地方	81	头等老麦	中国贵州	皮	地方
55	六担淮	中国湖北	裸	地方	82	三穗老麦	中国贵州	皮	地方
56	澄海大麦	中国广东	皮	地方	83	毛头大麦	中国贵州	皮	地方
57	乌大麦	中国云南	皮	地方	84	红穗麦	中国贵州	裸	地方
58	青稞	中国云南	皮	地方	85	裸麦	中国贵州	裸	地方
59	皮大麦	中国云南	皮	地方	86	六棱麦	中国贵州	皮	地方
60	龙武皮大麦	中国云南	皮	地方	87	老麦	中国贵州	皮	地方
61	大麦	中国云南	皮	地方	88	藏 3213	中国西藏	皮	野生
					89	中品 1066	中国西藏	皮	野生

序列号 27 号与 28 号、64 号与 65 号种质为来源于中国农科院种质资源库的不同种质。27 号芒大麦入库编号为 ZDM00696;28 号芒大麦种质入库编号为 ZDM00700;64 号洋大麦种质入库编号为 ZDM04031;65 号洋大麦种质入库编号为 ZDM04033

Number 27 and 28, number 64 and 65 are different germplasm, derived from germplasm bank of Chinese Academy of Agricultural Sciences. The library number of the 27th germplasm (Mang barley) is ZDM00696, the library number of the 28th germplasm (Mang barley) is ZDM00700, the library number of the 64th germplasm (Yang barley) is ZDM04031, and the library number of the 65th germplasm (Mang barley) is ZDM04033

## 2 结果与分析

### 2.1 六棱皮大麦与六棱裸大麦主要性状的差异性分析

66 份六棱皮大麦与 23 份六棱裸大麦的 8 个农艺性状平均值及 *t* 测验结果列于表 2。由表 2 可知,六棱皮大麦种质与六棱裸大麦种质相比,除了千粒

重差异达极显著水平外,其他性状间均未表现显著差异,而千粒重的差异是因为六棱裸大麦没有皮壳。因此,六棱皮大麦与六棱裸大麦性状差异不明显,宜合并分析。

66 份六棱皮大麦与 23 份六棱裸大麦多样性指数(表 3)显示,六棱皮大麦的遗传多样性指数普遍高于六棱裸大麦。六棱皮大麦以单株生物多样性

表 2 六棱皮大麦与六棱裸大麦种质资源主要农艺性状 *t* 测验Table 2 *T*-test for agronomic traits between hull and hull-less of six-rowed barley germplasm

性状 Traits	六棱皮 大麦均值	六棱裸 大麦均值	<i>t</i> 值 <i>t</i> -value
	Mean of hulled barley accessions	Mean of hullless barley accessions	
株高 PH	115.57	110.54	1.87
穗下节间长 ILBS	33.46	32.34	1.14
穗长 SL	6.73	6.45	0.78
主穗粒数 GNPS	69.88	71.00	-0.74
单株穗数 SNPP	6.95	6.95	0.003
千粒重 TKW	31.52	26.53	6.18**
单株粒重 GWPP	8.25	8.06	0.45
单株生物重 BPP	26.33	26.31	0.02

\* 和 \*\* 分别代表 0.05 和 0.01 水平上的显著性,下同

\* and \*\* indicated significant difference at 0.05 and 0.01 level, respectively. PH: plant height, ILBS: internode length below spike, SL: spike length, GNPS: grain number per spike, SNPP: spike number per plant, TKW: thousand-kernel weight, GWPP: grain weight per plant, BPP: biomass per plant, the same as below

指数最高,达 2.03,单株粒重多样性指数最低,为 1.88。而六棱裸大麦以单株生物重多样性指数最高,为 1.98,株高遗传多样性指数最低,为 1.34。

表 4 六棱大麦种质资源主要性状在不同试点的表现

Table 4 Traits' variation of six-rowed barley germplasm in different locations

性状 Traits	2015 年盐城试点 Yancheng location in 2015			2016 年盐城试点 Yancheng location in 2016			2016 年扬州新农场试点 Yangzhou location in 2016		
	均值	变幅	变异系数	均值	变幅	变异系数	均值	变幅	变异系数
	Mean	Range	(%) CV	Mean	Range	(%) CV	Mean	Range	(%) CV
株高 PH	116.28a	69.47 ~ 140.07	9.16	108.64b	52.23 ~ 128.80	10.93	117.88a	62.53 ~ 141.65	10.80
穗下节间长 ILBS	33.18a	24.13 ~ 47.06	13.28	33.28a	22.56 ~ 44.25	14.65	33.04a	23.04 ~ 45.91	13.89
穗长 SL	6.55b	4.03 ~ 9.90	24.59	6.22b	3.53 ~ 9.68	24.62	7.21a	4.36 ~ 10.10	20.90
主穗粒数 GNPS	66.96c	49.20 ~ 84.00	10.30	69.65b	49.60 ~ 95.60	12.95	73.90a	43.60 ~ 88.40	10.23
单株穗数 SNPP	5.86c	3.60 ~ 11.07	26.44	6.94b	4.40 ~ 9.53	13.76	8.06a	5.07 ~ 10.43	13.87
千粒重 TKW	33.75a	23.20 ~ 46.28	12.93	29.78b	19.89 ~ 44.35	14.66	27.17c	15.98 ~ 43.18	16.37
单株粒重 GWPP	6.98c	2.00 ~ 14.78	37.69	8.04b	3.76 ~ 18.46	31.06	9.59a	5.44 ~ 17.40	22.02
单株生物重 BPP	21.56b	12.39 ~ 32.45	20.04	22.64b	12.72 ~ 34.90	19.30	34.76a	18.49 ~ 46.35	17.55

数据均值后面的小写字母表示各性状在 3 试点间的差异显著性

The letter behind the average indicated significant difference of traits in different locations

**2.2.2 六棱大麦种质主要性状的方差分析** 89 份六棱大麦种质 8 个农艺性状方差分析结果如表 5 所示。由表可知,穗下节间长在 3 个试点间差异不显

表 3 六棱皮大麦与六棱裸大麦种质农艺性状遗传多样性指数比较

Table 3 Genetic diversity index of traits in hulled and hull-less of six-rowed barley germplasm

性状 Traits	六棱皮大麦 Six-rowed hulled barley	六棱裸大麦 Six-rowed hullless barley
株高 PH	1.96	1.34
穗下节间长 ILBS	2.00	1.83
穗长 SL	1.97	1.95
主穗粒数 GNPS	1.99	1.85
单株穗数 SNPP	2.01	1.83
千粒重 TKW	2.01	1.84
单株粒重 GWPP	1.88	1.80
单株生物重 BPP	2.03	1.98

## 2.2 六棱大麦种质的遗传多样性

**2.2.1 六棱大麦种质主要性状的表现** 89 份六棱大麦种质 8 个农艺性状表现如表 4 所示。由表可知,3 个环境下均以单株粒重的变异系数最大(22.02% ~ 37.69%),其次是穗长(20.90% ~ 24.62%),表明 2 个性状在参试材料间变异类型丰富、选择空间大;株高和主穗粒数的变异系数均较小(9.16% ~ 12.95%),这 2 个性状在参试种质间的变异类型较少。

著;而其他 7 个性状在 3 个试点间差异极显著。表明穗下节间长受环境影响较小,主要表现为品种间的差异,而其他 7 个性状同时受品种、环境影响。

表 5 六棱大麦种质各性状的方差分析

Table 5 ANOVA of agronomic traits in six-rowed barley germplasm

变异来源	自由度	株高		穗下节间长		穗长		主穗粒数		单株穗数		千粒重		单株粒重		单株生物重	
		PH	F value	ILBS	F value	SL	F value	GNPS	F value	SNPP	F value	TKW	F value	GWPP	F value	BPP	
SOV	df	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	
环境 E	2	6513.52	168.34**	3.95	0.32	67.52	82.34**	3264.54	59.02**	347.13	166.63**	2932.26	298.13**	460.22	98.29**	14342.48	447.52**
基因型 G	88	1139.50	29.45**	146.60	11.87**	19.23	23.46**	341.93	6.19**	5.44	2.61**	142.25	14.46**	27.61	5.90**	97.14	3.03**
环境 × 基因型 E × G	176	54.80	1.42**	23.12	1.87**	1.19	1.45**	108.23	1.96**	4.44	2.13**	15.68	1.59**	12.60	2.69**	63.90	1.99**
误差 R	532	38.69		12.36		0.82		55.28		2.08		9.84		4.68		32.05	

SOV: Source of variation, E: Environment, G: Genotype, E × G: Interaction between environment and genotype, R: Error, df: Degree of freedom, MS: Mean square

**2.2.3 六棱大麦种质主要性状的遗传多样性** 以遗传多样性计算的分级标准,将各性状分为 10 级,89 份六棱大麦种质 8 个主要性状的遗传多样性指数及分布特点如表 6 所示。由表可知,单株生物重的遗传多样性指数最高(2.09),株高的遗传多样性指数最低(1.86),表明六棱大麦的株高分布较为集中。8 个主要性状均符合正态分布,株高主要集中在第 5~8 级,即 114.27~125.53 cm,占六棱大麦种质总数的 69.66%;穗下节间长、主穗粒数、单株穗数、千粒重主要集中在第 4~7 级,即穗下节间长主要分布在 29.13~37.20 cm,主穗粒数主要分布在 64.01~76.33 粒,单株穗数则以 6.19~7.71 穗区间分布较多,千粒重以 26.26~34.21 g 区间分布较多,4 个性状分别占六棱大麦种质总数的 70.79%、74.16%、68.54%、71.91%;穗长主要集中在第 3~8 级,即 4.47~8.85 cm,占六棱大麦种质总数的 87.64%;单株粒重主要集中在第 3~6 级,即主要分布在 5.57~9.08 g 区间,占六棱大麦种质总数的 76.40%;单株生物重主要以第 4~8 级居多,即 23.04~31.25 g,约占六棱大麦种质的 77.53%。

表 6 六棱大麦种质各性状的遗传多样性指数及分布特点  
Table 6 Genetic diversity index and distribution characteristic of traits in six-rowed barley germplasm

性状	遗传多样性指数	集中范围	所占比例
Trait	Genetic diversity index	Concentration range	Proportion (%)
株高(cm)	1.86	114.27 ~ 125.53	69.66
PH			
穗下节间长(cm)	2.04	29.13 ~ 37.20	70.79
ILBS			
穗长(cm)	2.01	4.47 ~ 8.85	87.64
SL			
主穗粒数	2.01	64.01 ~ 76.33	74.16
GNPS			
单株穗数	2.05	6.19 ~ 7.71	68.54
SNPP			
千粒重(g)	2.04	26.26 ~ 34.21	71.91
TKW			
单株粒重(g)	1.93	5.57 ~ 9.08	76.40
GWPP			
单株生物重(g)	2.09	23.04 ~ 31.25	77.53
BPP			

**2.3 六棱大麦种质的聚类分析**

以 3 个环境下 8 个农艺性状均值为指标,基于

马氏距离类平均法对 89 份参试材料进行聚类,结果如图 1 所示。89 份六棱大麦种质在马氏距离 40 处

可聚为 5 类,种质分布较为集中,皮大麦与裸大麦并没有区分开。

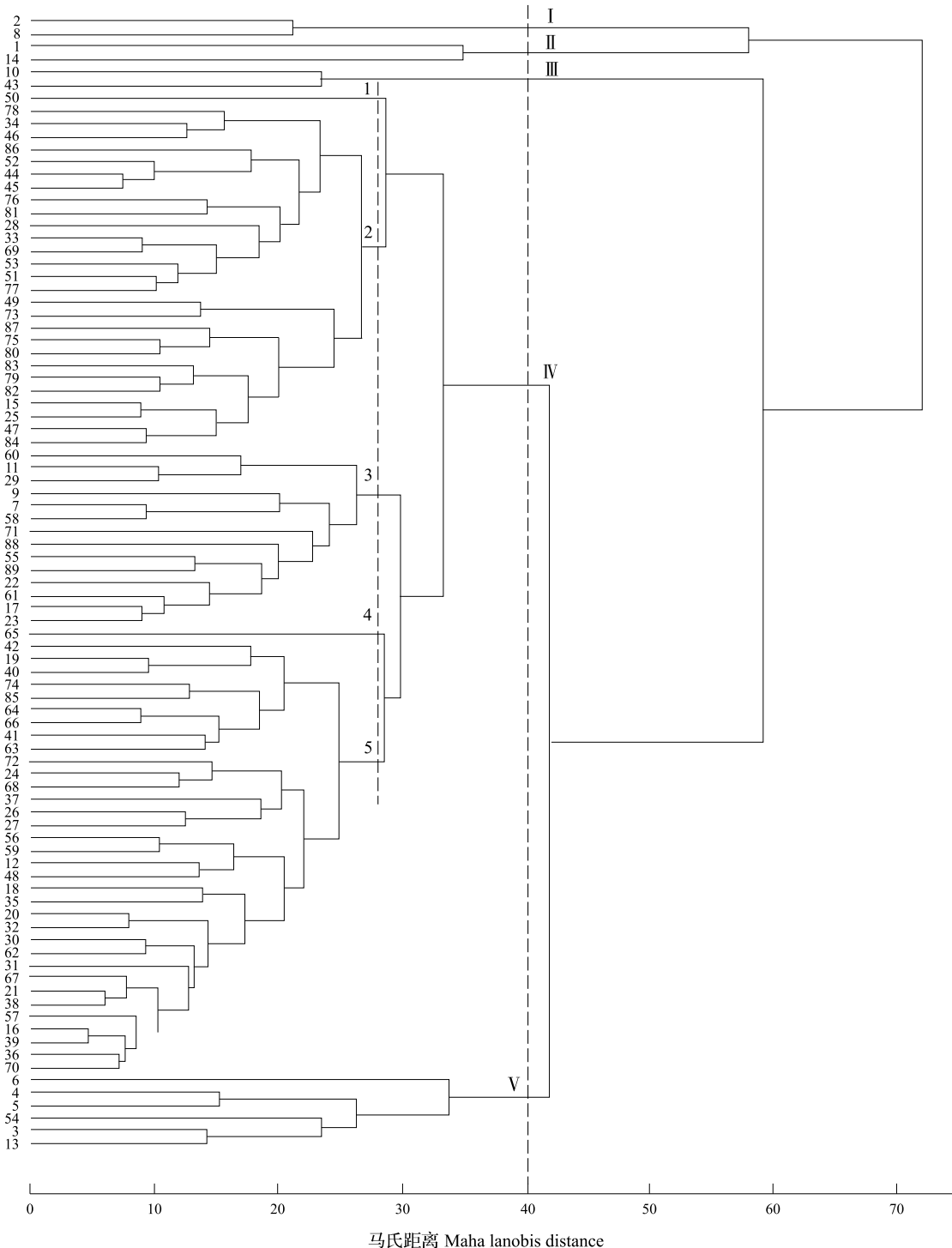


图 1 六棱大麦种质资源聚类分析树状图

Fig. 1 UPGMA clustering dendrogram of six-rowed barley accessions based on mahalanobis distance

第 I 类包括 2 份种质,分别是来自中国浙江的浙 08-49 和美国的 CM72,均为选育品种,表现为矮秆、多穗、穗粒数少、千粒重高、单株粒重高。

肃的甘垦 5 号,二者均为中国选育的裸大麦品种,表现为矮秆、短穗、穗下节间短,穗粒少,单株穗数和粒重居中。

第 II 类有 2 份种质,分别是湖北的华矮 11 和甘

第 III 类有 2 份种质,分别美国引进品种 AcBur-

man 和中国江苏地方品种老来闯,表现为高秆、穗下节间和穗长长、主穗粒数多、千粒重一般,单株穗数较少、单株生物重高、单株粒重较高。

第Ⅳ类包含 77 份种质,可分为 5 个亚群。

第 1 亚群仅包含 1 份种质,来自安徽的地方品种岳西三月黄,该种质高秆、长穗,穗粒数多,但分蘖少、千粒重、产量和生物重低,综合表现较差。

第 2 亚群包括 27 份种质,分别是贵州 11 份、安徽 2 份、河南 4 份、江苏 4 份、湖北 2 份、甘肃 1 份、上海 1 份、河北 1 份及四川 1 份,均为地方品种,其中贵州的赫章老麦、米大麦、红穗麦为裸大麦,其余均为皮大麦。该亚群表现为植株较高、单株穗数较少、单株粒重较低,穗下节间长、穗长、穗粒数、千粒重居中、单株生物重较高。

第 3 亚群包括 14 份种质,分别为中国河北 1 份、中国河南 2 份、中国山东 1 份、中国湖北 2 份、中国西藏 2 份、中国云南 3 份及美国引进种质 3 份 (AcBacclm、美 97-1338、OR71),其中美国的 AcBacclm、美 97-1338、中国山东的裸大麦、中国湖北的六担准、乌米麦为裸大麦,其余为皮大麦。该亚群种质的特征为株型适中、穗粒数和单株穗数较多,千粒重中等、单株粒重和单株生物重较高。

第 4 亚群仅包含 1 份种质,来自云南的地方品种洋大麦,该种质综合表现较差。

第 5 亚群包括 34 份种质,1 份美国引进种质 C2118,其余均为中国地方品种 (陕西 7 份,河南 7 份,云南 6 份,山东 3 份,河北 3 份,湖北 2 份,江苏、江西、甘肃、广东、贵州各 1 份),其中 10 份为裸大麦。该亚群种质表现为株高适中、穗下节间最短、单株穗数和穗粒数较少、千粒重和单株粒重较低。

第Ⅴ类有 6 份种质,包括 3 份中国选育品种 (河南的驻 4、江苏的扬饲麦 1 号与大中 8891)、2 份国外引进品种 (日本的 2004-日引 2 号与 2004-日引 4 号)、1 份中国湖北地方品种鞭子草达。表现为株高适中、千粒重一般、短穗、单株穗数和主穗粒数较多、单株粒重和单株生物重较高。

## 2.4 六棱大麦种质的综合评价

**2.4.1 六棱大麦种质的主成分分析** 89 份六棱大麦种质 8 个农艺性状的主成分分析结果列于表 7。由表可知,前 5 个主成分累计贡献率达 89.235%,依据 5 个主成分对六棱大麦种质资源进行分析。

第 1 主成分的贡献率为 33.538%,第 2、7、8 项的系数较大,分别代表穗下节间长、单株粒重、单株生物重,该主成分与产量直接相关,可概括为产量因子,

表 7 六棱大麦种质资源主成分分析的特征值及贡献率

Table 7 Eigenvalue and rate of contribution of PCA in six-rowed barley germplasm

性状 Trait	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5
株高 PH	0.269	0.554	0.024	0.135	0.459
穗下节间长	0.467	0.172	0.050	0.126	-0.513
ILBS					
穗长 SL	0.241	0.235	0.662	0.321	-0.043
主穗粒数	0.362	0.352	-0.332	-0.359	-0.365
GNPS					
单株穗数	0.244	-0.392	0.568	-0.332	0.054
SNPP					
千粒重	0.244	-0.350	-0.269	0.755	-0.018
TKW					
单株粒重	0.416	-0.446	-0.107	-0.163	-0.106
GWPP					
单株生物重	0.479	-0.098	-0.204	-0.164	0.614
BPP					
特征值 E	2.683	1.828	1.121	0.880	0.627
百分率 (%)	33.538	22.849	14.007	11.004	7.837
CR					
累计百分率 (%)	33.538	56.387	70.394	81.398	89.235
CCR					

PV 表示主成分的特征向量值,如 PV1 表示各性状对第一主成分的贡献大小与方向,以值的大小与正负体现

PV represents the eigenvector of principal components. For example, PV1 suggests the size and direction of the first principal component's contribution, reflexed in the ways of magnitude and signs (positive and negative)

E: Eigenvalue, CR: Rate of contribution, CCR: Cumulative contribution rate

穗下节间长增长有利于粒重和生物重的提高,六棱大麦的籽粒和茎秆均可作为饲料和青贮饲料。因此第 1 主成分应以较大为好。

第 2 主成分的贡献率为 22.849%,第 1、7 项系数较大,分别代表株高、单株粒重,可概括为株高-粒重因子,株高贡献为正,而单株粒重贡献为负,植株越高,抗倒性越差,不利于产量的增加。因此第 2 主成分应较小为好。

第 3 主成分贡献率为 14.007%,第 3、5 项系数最大,分别代表穗长和单株穗数,可概括为穗长-分蘖因子,穗长与单株穗数的贡献均为正,穗长长有利于穗粒数的增加和产量的提高。因此第 3 主成分应适当偏大为好。

第 4 主成分贡献率为 11.004%,第 6 项千粒重系数最大,可概括为千粒重因子,粒重是产量的构成要素之一。因此第 4 主成分较大为好。

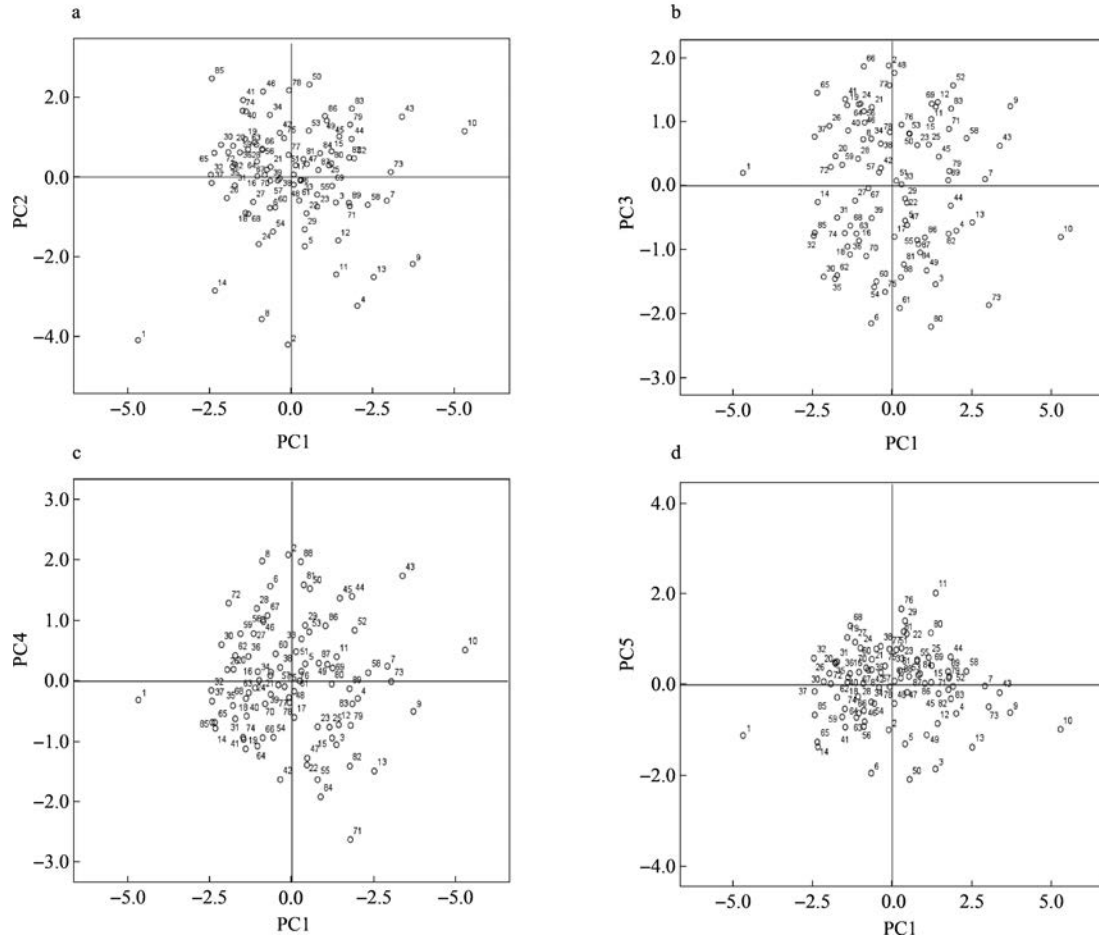
第 5 主成分贡献率为 7.837%,第 1、2、8 项系数最大,分别代表株高、穗下节间长、单株生物重,可概括为



株型-生物重因子,株高的增加使生物重相应增加,但植株过高易造成倒伏。因此第 5 主成分适中为好。

2.4.2 基于主成分的二维排序分析 基于六棱大

麦种质资源主成分分析的结果,选取前 5 个主成分得分值为指标,以第 1 主成分为横坐标,分别以第 2、3、4、5 主成分为纵坐标绘制二维排序图,如图 2 所示。



PC 表示各种质的主成分得分值,如 PC1 表示种质第 1 主成分得分值,PC2 表示种质第 2 主成分得分值,以此类推

- a: 基于第 1、2 主成分的二维排序图;
- b: 基于第 1、3 主成分的二维排序图;
- c: 基于第 1、4 主成分的二维排序图;
- d: 基于第 1、5 主成分的二维排序图

PC represents the score values of principal components in different barley germplasm. For example,

PC1 represents the score values of the first principal component in different barley germplasm,

PC2 represents the score values of the second principal component in different barley germplasm, and so on

a; Scatter plot based on first and second PCA, b; Scatter plot based on first and third PCA,

c; Scatter plot based on first and fourth PCA, d; Scatter plot based on first and fifth PCA

图 2 六棱大麦种质资源主成分二维排序图

Fig. 2 Scatter plots based on PCA in six-rowed barley germplasm

六棱大麦种质资源第 1 主成分为产量因子,较高的粒重和生物重能满足饲料大麦的需求,该主成分较大为好,第 2 主成分为株高-粒重因子,较小为好,符合要求的六棱大麦种质分布于二维排序图 a 第四象限,包括 AcBacclm(9)、2004-日引 4 号(4)、大中 8891(13)、OR71(11)、C2118(12),其共同特性为矮秆抗倒伏、丰产性较好。第 3 主成分为穗长-分蘖因子,该主成分适当偏大为好,符合要求的六棱大麦种质分布于二维排序图 b 第一象限,包含的种

质有 AcBacclm(9)、泾县乱枪子(52)、老来闯(43)、长毛大麦(83)、乌米麦(71)、青稞(58)、OR71(11)、C2118(12)、石家庄大麦(15)、毛大麦(69),其共同特性为长穗、分蘖能力强且丰产性好。第 4 主成分为千粒重因子,较大为好,符合要求的六棱大麦种质分布于二维排序图 c 第一象限,主要有老来闯(43)、58-40(44)、紫四棱大麦(45)、泾县乱枪子(52)、六棱麦(86)、AcBurman(10),其共同特性为大粒、丰产性好。第 5 主成分为株型-生物重因子,

该主成分适中为好,符合该特性的种质分布在二维排序图 d 纵坐标轴的右侧,围绕横坐标轴附近,包含种质美 97-1338 (7)、泾县乱枪子 (52)、三穗老麦 (82)、毛头大麦 (83)、紫四棱大麦 (45)、石家庄大麦 (15)、六棱麦 (86),其共同特性为株高高、繁茂性好。

**2.4.3 六棱大麦种质综合评价方程的构建** 对六棱大麦种质 8 个农艺性状数值进行标准化处理,获得前 5 个主成分得分,将这 5 个主成分得分作归一化处理,并以贡献率计算各主成分权重系数,分别为 0.3758、0.2561、0.1570、0.1233、0.0878,最后得到每份种质材料的综合得分(即  $M$  值),进而对各种质材料进行综合评价。六棱大麦种质材料综合性状表现较好的前 10 位分别为:AcBuman (10)、老来闯 (43)、毛头大麦 (83)、泾县乱枪子 (52)、58-40 (44)、紫四棱大麦 (45)、美 97-1338 (7)、赫章老麦 (79)、岳西三月黄 (50)、AcBacclm (9)。

将综合得分  $M$  值与各性状进行相关分析(表 8),结果表明, $M$  值除与单株穗数、千粒重呈不显著正相关外,与其他性状均达显著或极显著正相关。

表 8 六棱大麦 8 个主要性状与综合评价值 ( $M$  值) 间的相关系数

Table 8 Correlative coefficient between traits and  $M$ -value in six-rowed barley germplasm

性状 Trait	相关系数 Coefficient
株高 PH	0.779 **
穗下节间长 ILBS	0.679 **
穗长 SL	0.740 **
主穗粒数 GNPS	0.558 **
单株穗数 SNPP	0.175
千粒重 TKW	0.157
单株粒重 GWPP	0.227 *
单株生物重 BPP	0.585 **

结合综合得分  $M$  值和 8 个主要性状,通过逐步回归分析,构建六棱大麦种质资源综合评价的最优回归方程为:

$$Y = -9.164 + 0.027X_1 + 0.049X_2 + 0.199X_3 + 0.016X_4 + 0.057X_5 + 0.013X_6 - 0.002X_7 + 0.048X_8$$

式中  $Y$  代表综合得分  $M$  值, $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_8$  分别代表株高、穗下节间长、穗长、主穗粒数、单株穗数、千粒重、单株粒重、单株生物重,其中穗长的偏回归系数最大。主成分综合值与由该回归方程计算的预测值的相关系数  $r$  为 0.998,达极显著

相关,方程的决定系数  $R^2$  为 0.996,表明这 8 个性状对六棱大麦种质资源表型性状多样性综合值影响显著,该方程用于评价六棱大麦种质较为可靠。

### 3 讨论

#### 3.1 六棱大麦表型变异及遗传多样性

依据籽粒稃壳的有无及着粒密度的稀密,六棱大麦分为密穗六棱皮大麦、稀穗六棱皮大麦、密穗六棱裸大麦和稀穗六棱裸大麦。密穗六棱皮大麦品种一般作饲料或青贮生产用,稀穗六棱皮大麦品种在春大麦区可作为啤用或饲用,密穗六棱裸大麦品种在生产上应用较少,稀穗六棱裸大麦多为青稞。六棱大麦种质资源分布广泛,其表型性状表现丰富的变异和遗传多样性<sup>[20]</sup>。本研究中单株粒重、穗长的变异系数在 3 个环境下均大于 20%;株高、主穗粒数、穗下节间长变异系数较小,在 10% 左右。说明参试六棱大麦种质的穗长和单株粒重改良空间大,但穗粒数及株型(株高、穗下节间长)的改良空间有限,需引进穗粒数多、株型好的种质加以丰富。六棱皮大麦与六棱裸大麦仅在千粒重性状上存在极显著差异,其他性状的差异不显著,聚类结果也并不能将六棱皮大麦与六棱裸大麦区分,表明除千粒重外,六棱皮大麦与六棱裸大麦在其余性状上没有显著性区别。但六棱皮大麦的遗传多样性指数普遍高于六棱裸大麦,这一结论与尚毅等<sup>[9]</sup>认为浙江省六棱裸大麦的多样性指数高于六棱皮大麦的报道相悖,这可能与本研究所选材料中六棱裸大麦数量较少有关,在今后研究中将进一步拓宽六棱裸大麦种质资源的遗传基础,以期更全面地评价、挖掘特异六棱大麦种质。

#### 3.2 基于表型性状的六棱大麦种质资源分类

聚类分析在评价种质资源的差异性和分类方面是比较可行的方法,参加聚类的性状越多,越具有代表性,越能综合反映种质的客观实际,不合理的聚类方法会使性状的差异被掩盖,类群间差别模糊<sup>[21]</sup>,在聚类方法上的探讨一直倍受关注。目前应用较多的为基于主成分的聚类、欧氏聚类、马氏聚类。基于主成分的聚类简便且涵盖大部分信息<sup>[22-23]</sup>,但提取的主成分重要性不完全一致,直接主成分聚类会注重关键信息而忽视其他;欧氏距离聚类忽视了性状间的相关性,需先将数据标准化之后进行;马氏距离排除了性状间的相关,不受量纲影响,直接利用原始数据聚类即可,方便可靠<sup>[24]</sup>。本研究采用马氏距离将六棱大麦种质划分为 5 个类群,第 IV 类种质占半

数以上,基本上为中国地方种质,没有明显的分类,但局部具有相似特点的材料被聚为5个亚群,其他4个类群为国内外选育的品种,品种特性差异较大,可作不同类型的育种亲本。聚类结果表明了中国的六棱大麦地方种质分布虽然广泛,但遗传基础较为狭窄。

### 3.3 六棱大麦表型性状的综合评价

种质资源的评价与育种的利用直接相关,如何对大麦种质进行合理、全面评价显得尤为重要<sup>[17]</sup>。随着主成分分析应用的日渐成熟,基于主成分的二维排序、综合得分等评价方法已在不同作物研究中多次报道。本研究中主成分二维排序图筛选到以高产为基础,分别兼具矮秆、长穗且分蘖能力强、大粒及高生物重的4类六棱大麦种质;结合二维排序结果,并未找到4个二维排序图中重叠种质,表明目前收集的种质中完全符合六棱大表现代育种目标需求的种质较少,需引进特异种质,加快六棱大麦育种的遗传改良。在种质资源评价与选择育种亲本时应用基于主成分的二维排序分析,协调各主成分间的关系,对区分不同种质农艺、产量性状优劣以及评价特异种质方面较为清晰直观<sup>[14]</sup>。基于主成分得分的M值评价法利用量化指标对种质进行排序,筛选的综合得分最高(即综合表现较好)的前10名种质,2份为选育的种质,其他均为地方品种,与二维排序分析结果较为吻合。

相关性表明M值与株高、穗下节间长、穗长、主穗粒数、单株粒重、单株生物重呈显著或极显著正相关。说明这些性状对六棱大麦种质资源评价较为重要,在育种实践中要注重这些性状的选择。结合主成分分析的M值与逐步回归分析,构建了六棱大麦种质资源的评价方程: $Y = -9.164 + 0.027X_1 + 0.049X_2 + 0.199X_3 + 0.016X_4 + 0.057X_5 + 0.013X_6 - 0.002X_7 + 0.048X_8$ ,明确了8个性状均对六棱大麦种质资源影响较大。该方程为六棱大麦种质资源的综合评价提供依据,与计算机的遥感技术结合可省时省力。

#### 参考文献

[1] Yan A M, Chen W X. Phenotypic feature diversity of *Rhizobia* isolated from *Medicago* sp., *Melilotus* sp. and *Caragana* sp.. *Chinese Biodiversity*, 1999, 7(2): 112-118

[2] 胡标林, 万勇, 李霞, 雷建国, 罗向东, 严文贵, 谢建坤. 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

[3] Hayes P M, Castro A, Marquez-Cedillo L, Corey A, Henson C, Jones B L, Kling J, Mather D, Matus I, Rossi C, Sato K. Genetic diversity for quantitatively inherited agronomic and malting quality

traits. *Developments in Plant Genetics and Breeding*, 2003(7): 201-226

[4] 孟凡磊, 赵亚斌, 强小林, 胡银岗. 不同地区大麦品种农艺性状比较与西藏青稞品种改良. *麦类作物学报*, 2006, 26(5): 175-178

[5] Ali A J, Xu J L, Ismail A M, Fu B Y, Vijaykumar C H M, Gao Y M, Domingo J, Maghirang R, Yu S B, Gregorio G, Yanagihara S, Cohen M, Carmen B, Mackill D, Li Z K. Hidden diversity for abiotic and biotic stress tolerances in the primary gene pool of rice revealed by a large backcross breeding program. *Field Crops Research*, 2006, 97(1): 66-76

[6] 任文斌. 青藏高原一年生野生大麦与欧、美、澳大麦的遗传多样性研究. 武汉: 华中农业大学, 2007: 5-11

[7] 胥婷婷. 青稞种质资源遗传多样性分析和核心种质的构建. 杭州: 浙江师范大学, 2012: 4-8

[8] 孟凡磊. 西藏青稞品种的遗传多样性分析及其改良. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008: 5-7

[9] 尚毅, 华为, 朱靖环, 贾巧君, 汪军妹, 杨建明. 浙江省裸大麦地方品种遗传多样性分析. *麦类作物学报*, 2014, 34(7): 922-928

[10] 王蕾, 徐金青, 夏腾飞, 赵兴, 张怀刚, 刘登才, 白生贵, 沈裕虎. 青藏高原青稞及其他地区大麦种子表型的多样性分析. *西北农业学报*, 2014, 23(3): 40-44

[11] 陶爱芬, 祁建民, 林培青, 方平平, 吴建梅, 林嘉辉. 红麻优异种质产量和品质性状主成分聚类分析与综合评价. *中国农业科学*, 2008, 41(9): 2859-2867

[12] 王利民, 张建平, 米君, 赵利, 党照, 赵玮, 党占海. 国外引进油用亚麻品种资源农艺性状分析与评价. *中国油料作物学报*, 2011, 33(4): 356-361

[13] 陈书霞, 周静, 申晓青, 常燕霞, 杜俊娜, 孟焕文, 程智慧. 大蒜种质产量和品质性状主成分聚类分析与综合评价. *植物遗传资源学报*, 2012, 13(3): 429-434

[14] 要杰杰, 高翔, 吴丹, 李晓燕, 陈其皎, 董剑, 赵万春, 陈良国, 石引刚, 李学军. 小麦农艺性状与品质特性的多元分析与评价. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(1): 38-47

[15] 马麒, 宿俊吉, 宁新柱, 李吉莲, 刘萍, 陈红, 林海, 邓福军. 新疆海岛棉育种目标性状多元分析与种质资源评价. *西南农业学报*, 2016, 29(7): 1530-1539

[16] 代攀虹, 孙君灵, 何守朴, 王立如, 贾银华, 潘兆娥, 庞保印, 杜雄明, 王溢. 陆地棉核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价. *中国农业科学*, 2016, 49(19): 3694-3708

[17] 王海岗, 贾冠清, 智慧, 温琪汾, 董俊丽, 陈凌, 王君杰, 曹晓宁, 刘思辰, 王纶, 乔治军, 刁现民. 谷子核心种质表型遗传多样性分析及综合评价. *作物学报*, 2016, 42(1): 19-30

[18] 张京. 大麦种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006: 39-49

[19] 刘三才, 郑殿升, 曹永生, 宋春华, 陈梦英. 中国小麦选育品种与地方品种的遗传多样性. *中国农业科学*, 2000, 33(4): 20-24

[20] Chen Z W, Lu R J, Zou L, Du Z Z, Gao R H, He T, Huang J H. Genetic diversity analysis of barley landraces and cultivars in the Shanghai region of China. *Genetics and Molecular Research*, 2012, 11(1): 644-650

[21] 殷冬梅, 李拴柱, 崔党群. 花生主要农艺性状的相关性及聚类分析. *中国油料作物学报*, 2010, 32(2): 212-216

[22] Khodadadi M, Fotokian M H, Miransari M. Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes based on cluster and principal component analyses for breeding strategies. *Australian Journal of Crop Science*, 2011, 5(6): 17-24

[23] Aharizad S, Sabzi M, Mohammadi S A, Khodadadi E. Multivariate analysis of genetic diversity in wheat (*Triticum aestivum* L.) recombinant inbred lines using agronomic traits. *Annals of Biological Research*, 2012, 3(5): 2118-2126

[24] 韩立德, 徐海明, 胡晋. 核心种质数量性状代表性评价指标的研究. *生物数学学报*, 2006, 21(4): 603-609