

## 267份青藏高原青稞种质材料的表型多样性分析

夏腾飞<sup>1,2</sup>,王 蕾<sup>1,3</sup>,徐金青<sup>1,2</sup>,王寒冬<sup>1</sup>,  
张怀刚<sup>1</sup>,刘登才<sup>1,4</sup>,沈裕虎<sup>1,3</sup>,昌 西<sup>5</sup>

(1. 中国科学院 西北高原生物研究所,中国科学院 高原适应与进化重点实验室,西宁 810001;  
2. 中国科学院大学,北京 100049;3. 中国科学院 西北高原生物研究所,青海省作物分子育种重点实验室,  
西宁 810001;4. 四川农业大学 小麦研究所,成都 611130;5. 西藏农牧学院,西藏林芝 860000)

**摘 要** 为了解青藏高原地区青稞种质材料的表型变异和遗传多样性,为育种亲本选配提供参考,对267份青稞种质的10个质量性状和9个数量性状,采用模糊数学的方法进行数量遗传和群体遗传学分析。结果表明:10个质量性状的Shannon-weaver多样性指数变幅为0.03~1.41,平均值为0.54,粒色和穗密度多样性较为丰富;9个数量性状在品种间的遗传差异均达到极显著水平,变异系数为2.84%~42.22%,多样性指数变幅为1.84~2.09,平均值为2.03,表型多样性十分丰富。9个数量性状的相关性分析显示,大多数性状间存在显著或极显著正相关或负相关关系。经主成分分析将相关变量转化为穗粒数因子、粒质量因子、分蘖和穗长因子、株高因子和籽粒体积质量因子等5个特征根,代表全部9个考察性状的89.05%的表型变异;聚类分析可将供试材料划分为4个类群,第Ⅰ类群多为青稞育成系,主要为矮秆、高分蘖和密穗型材料。第Ⅱ类群主要是青稞地方品种,主要为中高秆、多分蘖和小穗型材料,其产量较低。第Ⅲ类群主要为高秆、分蘖力适中,中穗大粒型材料,产量适中。第Ⅳ类群主要为中高秆、低分蘖、大穗多粒型品种,产量较高。研究认为青藏高原青稞种质资源具有丰富的遗传多样性,尤其是地方品种可作为宝贵的遗传资源在今后的育种工作中加以利用。

**关键词** 青稞;表型性状;多样性指数;主成分分析;聚类分析

中图分类号 S512.3

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2018)02-0182-12

大麦(*Hordeum vulgare* L.)是重要的粮食、酿酒和饲料作物,按稃的有无可分为皮大麦和裸大麦两类<sup>[1]</sup>。大麦分布广泛,在中国主要分布于长江流域、黄河流域和青藏高原<sup>[2]</sup>。青稞(*Hordeum vulgare* var. *nudum*)是青藏高原地区对裸大麦的统称,是青藏高原主要的粮食作物之一。青稞具有生育期短、耐寒、抗旱、抗逆性强、适应性广等特点,尤其耐低温和有效利用低温生态条件的能力,为其他作物所不及<sup>[3]</sup>。同时,青稞具有高蛋白质、高纤维、高维生素和低糖的特点<sup>[4]</sup>。在中国青藏高原地区,藏族人民至今仍以青稞为主食,青稞在青藏高原种植业中有着特殊的地位和作用。

杂交育种中,合理地选配亲本是杂种后代能否有更多机会出现理想性状组合的关键环节。在一定范围内,双亲间的遗传差异越大,其后代的分离幅度越广,优良的第二位基因结合的机率越大,超亲分离越有可能发生<sup>[5]</sup>。遗传多样性是生物多样性的重要组成部分,也是作物种质资源及遗传育种研究的基础。研究种质资源的遗传多样性,发掘优良品种和基因是改善品种遗传基础单一和基因流失的重要前提<sup>[6]</sup>。表型性状(phenotypic traits)是作物在特定的生长条件下,经过长期自然选择和人工选择固化而成的遗传特性,是内在基因型的反映,具有表现直观和与生产直接相关的特点<sup>[3,7]</sup>。对表型性状的鉴定和分析是了解种

收稿日期:2017-03-18 修回日期:2017-04-13

基金项目:青海省应用基础研究计划(2015-ZJ-702);中国科学院“西部之光”联合学者项目;西藏自治区西部提升计划(XBTSZWXX-01);青海省重点研发和转化计划(2016-NK-131)。

第一作者:夏腾飞,男,博士研究生,研究方向为青稞遗传育种。E-mail: xtf68@163.com

通信作者:沈裕虎,男,博士,副研究员,硕士生导师,主要从事作物遗传与育种研究。E-mail: shenyuhu@nwipb.cas.cn

昌 西,女,学士,副教授,硕士生导师,主要从事作物遗传与育种研究,硕士生导师。E-mail: 164281890@qq.com

质资源状况和遗传多样性的最基本方法和途径,也是进行资源种内分组和分类的重要依据<sup>[6]</sup>。

目前,针对大量材料多个表型性状的考察数据,运用方差分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析等模糊数学统计方法能够发掘数据所蕴含的多样性信息并指导育种实践<sup>[8]</sup>。这些方法已经广泛地应用到小麦<sup>[9]</sup>、水稻<sup>[10-11]</sup>、大麦<sup>[1,3,6]</sup>、棉花<sup>[12]</sup>、青花菜<sup>[8]</sup>等农作物种质资源评价中。为了全面、准确地评估青藏高原地区青稞种质材料的表型变异和遗传多样性水平,进而为青稞育种提供基础数据和理论指导,选取来自青藏高原不同地区的 267 份青稞种质材料,利用 19 个表型性状的考察数据研究其表型变异程度和多样性水平。同时对青稞地方品种和育成品种(系)间的表型多样性差异进行比较。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试青稞(六棱裸大麦)材料共计 267 份,其中地方品种 156 份,育成品种(系)111 份。供试青稞材料来源覆盖青藏高原地区及周边地区,来自青海的供试材料有 154 份、西藏 56 份、甘肃 32 份、四川 24 份、云南 1 份。供试材料编号和名称见表 1。

### 1.2 试验方法与性状考察

将收集的青稞种质资源材料种植在青海省湟中县大源乡地窑村试验田。试验随机区组设计,每个小区种植青稞 5 行,行长 2 m,行距 20 cm,每行播种 80 粒,设 3 次重复。田间管理与大田相同。从每个小区中间行取样 20 株进行田间和室内性状考察。考察 19 个表型性状,其中 10 个质量性状:穗形、穗密度、颖壳颜色、芒长、芒性、芒色、粒色、粒形、饱满度和粒质;9 个数量性状:株高、单株分蘖数、单株有效分蘖数、穗长、小穗数、每穗总粒数、每穗实粒数、体积质量和千粒质量<sup>[13]</sup>。

### 1.3 数据处理

质量性状:对供试材料 10 个质量性状进行频率分布统计,在此基础上计算其 Shannon-weaver 多样性指数<sup>[14]</sup>。

数量性状:分别统计并计算 9 个数量性状在供试材料群体内的最大值、最小值、变异系数(CV)、平均值( $\bar{X}$ )和标准差( $\sigma$ )等基础参数,对数据进行标准化处理后,根据计算结果将各个性状

进行 10 级分类处理,按第 1 级 [ $X_i < (\bar{X} - 2\sigma)$ ] 到第 10 级 [ $X_i > (\bar{X} + 2\sigma)$ ],每  $0.5\sigma$  为一级,每一级的相对频率( $P_i$ )用于计算 Shannon-weaver 多样性指数<sup>[15]</sup>。在对供试材料 9 个数量性状进行方差分析的基础上,选取材料间有极显著差异的 9 个数量性状(株高、单株分蘖数、单株有效分蘖数、穗长、小穗数、每穗总粒数、每穗实粒数、体积质量和千粒质量)进行相关分析、主成分分析和聚类分析。主成分分析将相关变量转换为非相关变量,即将多个实测变量转换为少数几个不相关的综合指标,根据累积贡献率 85% 的标准<sup>[16]</sup>选取相关矩阵的特征根。聚类分析采用最小方差法(Ward's method),材料间的遗传距离采用欧氏距离。Shannon-weaver 多样性指数的计算在 EXCEL2010 中完成,相关分析、主成分分析和聚类分析均在 SAS 9.2 软件下运行完成。

将多样性指数达到 1.0 以上的性状定义为多样性丰富,在 0.5~1.0 的性状定义为多样性中等,在 0.5 以下的性状定义为多样性偏低<sup>[17]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 表型性状的遗传多样性分析

2.1.1 质量性状分析 青藏高原青稞种质材料 10 个质量性状的频率分布及多样性结果(表 2)表明,267 份供试材料 10 个质量性状的 Shannon-weaver 多样性指数的变幅为 0.03~1.41。粒质的多样性指数最小(0.03),绝大部分(99.6%)为硬质材料,仅有 0.4% 的材料为粉质,且全部为地方品种;粒色的多样性指数最大(1.412),近半(47.9%)材料的粒色为褐色,蓝、紫色籽粒材料以地方品种居多,而黑色籽粒材料以育成品种(系)居多。10 个考察质量性状中,粒色和穗密度的多样性丰富,颖壳颜色、芒长、芒色和粒形的多样性中等,而穗形、芒性、饱满度和粒质的多样性偏低。从不同材料类型来看,地方品种颖壳颜色、芒色和粒质的多样性高于育成品种(系),穗密度和粒形的多样性与育成品种(系)相当,而穗形、芒长、芒性和饱满度的多样性低于育成品种(系)(图 1)。其中,紫颖、紫芒和红芒材料主要为地方品种,育成品种(系)中没有发现红芒材料。深色颖壳、芒和籽粒材料中,育成品种(系)中除黑颖、黑芒和黑粒材料与地方品种分布频率相近或较高外,其余紫颖、紫芒和红芒、紫粒和蓝粒材料绝大部分皆为地方品种;尽管育成品种(系)穗形的多样性指

表 1 267 份青藏高原青稞地方品种与育成品种(系)材料详情

Table 1 Details of 267 six-rowed hulless barley accessions from Qinghai-Tibetan Plateau

编号 ID	品种名 Variety name	编号 ID	品种名 Variety name	编号 ID	品种名 Variety name	编号 ID	品种名 Variety name
1	西宁白六棱青稞 Xiningbailiulengqingke	36	青稞(玛沁) Qingke(Maqin)	71	乌西青稞 Wuxiqingke	106	瓦蓝青稞 Walanqingke
2	西宁红胶泥 Xininghongjiaoni	37	化隆长芒青稞 Hualongchangmangqingke	72	墨竹青稞 Mozhuqingke	107	长芒青稞 Changmangqingke
3	长芒蓝青稞 Changmanglanqingke	38	肚里黄 Dulihuang	73	白青稞 Baiqingke	108	长身子青稞 Changshenzhiqingke
4	二长四短芒白青稞 Erchangsi duanmang-baiqingke	39	阿坝州青稞 Abazhouqingke	74	拉萨青稞 Lasapingke	109	长青稞 Changqingke
5	蓝青稞 Lanqingke	40	黑老鸦 Heilaoaya	75	拉萨白青稞 Lasabaiqingke	110	六棱子白青稞 Liulengzibaiqingke
6	长芒白青稞 Changmangbaiqingke	41	山南地区青稞 Shannan diquqingke	76	曲水青稞 Qushuiqingke	111	六棱小青稞 Liulengxiaqingke
7	二道眉白青稞 Erdaomeibaiqingke	42	拉萨市青稞 Lasashiqingke	77	白地青稞 Baidiqingke	112	六棱子青稞 Liulengzhiqingke
8	二道眉黑青稞 Erdaomeiheiqingke	43	江孜嘎拉兰 Jiangziganalalan	78	囊嘎子宗 Nanggazizong	113	六棱头白青稞 Liulengtoubaiqingke
9	长芒红青稞 Changmanghongqingke	44	兰芒大麦 Lanmangdamai	79	塔萨青稞 Tasapingke	114	李家庄六棱 Lijiazhuangliuleng
10	白康青 Baikangqing	45	褐颖大麦 Heyingdamai	80	热萨青稞 Resapingke	115	湟源紫青稞 Huangyuanzhiqingke
11	钩芒紫青稞 Goumangzhiqingke	46	长芒黑颖大麦 Changmangheiyingdamai	81	汤麦青稞 Tangmaiqingke	116	互助黑青稞 Huzhuheiqingke
12	长芒紫青稞 Changmangzhiqingke	47	紫颖大麦 Ziyingdamai	82	罗布青稞 Luobuqingke	117	互助黑长芒 Huzhuheichangmang
13	湟源蓝青稞 Huangyuanlanqingke	48	特立哈青稞 Telihaiqingke	83	般那岗青稞 Bannagangqingke	118	互助红长芒 Huzhuhongchangmang
14	湟源白六棱青稞 Huangyuanbailiulengqingke	49	佳满豆青稞 Jiamandouqingke	84	佳庆则青稞 Jiaqingzeqingke	119	互助紫青稞 Huzhuzhiqingke
15	湟源花青稞 Huangyuanhuaqingke	50	香立哈青稞 Xianglihaqingke	85	库西 Kuxi	120	大通紫四棱青稞 Datongzisi lengqingke
16	湟源白浪散 Huangyuanbailangsan	51	六棱短芒青稞 Liulengduanmangqingke	86	白玉 Baiyu	121	大通黑青稞 Datongheiqingke
17	湟中杂青稞 Huangzhongzhaqingke	52	六棱长芒青稞 Liulengchangmangqingke	87	祥青稞 Xiangqingke	122	乐都黑青稞 Leduheiqingke
18	湟中白六棱 Huangzhongbailiuleng	53	甘孜青稞 Ganzhiqingke	88	查不来青稞 Chabulaiqingke	123	乐都红胶泥 Leduhongjiaoni
19	大通白六棱 Datongbailiuleng	54	青稞(四川) Qingke(Sichuan)	89	旱地紫青稞 Handizhiqingke	124	化隆紫四棱 Hualongzisi leng
20	大通杂青稞 Datongzhaqingke	55	咋马青稞 Zhamaqingke	90	足木足春青稞 Zumuzuchunqingke	125	化隆红胶泥 Hualonghongjiaoni
21	大通红六棱 Datonghongliuleng	56	特立特青稞 Teliteqingke	91	小金沙龙狗尾 Xiaojinshalonggouwei	126	化隆红青稞 Hualonghongqingke
22	红青稞(班玛) Hongqingke(Banma)	57	列乌宗谷布哈青稞 Liewuzonggubuhaiqingke	92	丹巴黑青稞 Danbaheiqingke	127	化隆黑长芒 Hualongheichangmang
23	白青稞(班玛) Baiqingke(Banma)	58	乾宁青稞 Qianningqingke	93	乌麦 Wumai	128	循化山地黑青稞 Xunhuashandiheiqingke
24	黑青稞(班玛) Heiqingke(Banma)	59	岗施 Gangshi	94	足木足巴尔巴里 Zumuzubaerbali	129	循化黑青稞 Xunhuaheiqingke
25	民和长芒青稞 Minhechangmangqingke	60	昌都青稞 Changduqingke	95	甘孜黑六棱 Ganzhiheiluleng	130	循化红青稞 Xunhuaheiqingke
26	民和四棱蓝青稞 Minhesilenglanqingke	61	特鄂 Tewu	96	玳瑁青稞 Daimaoqingke	131	贵德黑青稞 Guidheiqingke
27	互助白青稞 Huzhubaiqingke	62	马利 Mali	97	白玉青稞 Baiyuqingke	132	海南紫青稞 Hainanzhiqingke
28	循化红六棱青稞 Xunhuahongliulengqingke	63	杂塘 Zatang	98	甘孜白六棱 Ganzhibailiuleng	133	德令哈青稞 Delinghaqingke
29	循化白青稞 Xunhuabaiqingke	64	嘉玉桥 Jiayujiao	99	岷县青稞 Minxianqingke	134	湟源黑六棱 Huangyuanheiluleng
30	长钩芒白青稞 Changgoumangbaiqingke	65	洛隆宗 Luolongzong	100	碌曲紫青稞 Luquzhiqingke	135	大通黑六棱 Datongheiluleng
31	紫康青 Zikangqing	66	硕般多 Shuobanduo	101	宕昌蓝青稞 Dangchanglanqingke	136	乐都黑六棱 Leduheiluleng
32	二道眉紫青稞 Erdaomeizhiqingke	67	边坝青稞 Bianbaqingke	102	宕昌黄青稞 Dangchanghuangqingke	137	乐都红六棱 Leduhongliuleng
33	钩芒白青稞 Goumangbaiqingke	68	土其卡 Tuqi	103	大青稞 Daqingke	138	循化红六棱黑青稞 Xunhuahongliulengheiqingke
34	乐都四棱白大麦 Ledusilengbaidamai	69	拉鲁青稞 Laluqingke	104	小青稞 Xiaoqingke	139	长钩芒紫青稞 Changgoumangzhiqingke
35	都兰长芒白青稞 Dulanchangmangbaiqingke	70	太昭青稞 Taizhaoqingke	105	无皮青稞 Wupiqingke	140	绒青稞 Rongqingke

(续表 1 Continued table 1)

编号 ID	品种名 Variety name	编号 ID	品种名 Variety name	编号 ID	品种名 Variety name	编号 ID	品种名 Variety name
141	春青稞 Chunqingke	173	昆仑 3 号 Kunlun 3	205	康青 1 号 Kangqing 1	237	Z225
142	兴青稞 Xingqingke	174	昆仑 8 号 Kunlun 8	206	康青 2 号 Kangqing 2	238	Z226
143	拉萨青稞(甲) Lasapingke(Jia)	175	昆仑 10 号 Kunlun 10	207	康青 3 号 Kangqing 3	239	Z228
144	拉萨青稞(戊) Lasapingke(Wu)	176	昆仑 12 号 Kunlun 12	208	康青 6 号 Kangqing 6	240	Z229
145	雪堆青稞 Xueduiqingke	177	昆仑 164 Kunlun 164	209	康青 7 号 Kangqing 7	241	Z230
146	白浪宗 Bailangzong	178	6023	210	春 74S Chun 74S	242	Z231
147	达戈拉杂青稞 Dagelazapingke	179	1413	211	北青 88 繁 45-1 Beiqing 88 fan 45-1	243	Z232
148	马利 Mali	180	6009	212	813	244	Z233
149	达坝青稞 Dabaqingke	181	1415	213	甘青 2 号 Ganqing 2	245	Z234
150	六棱子 Liulengzi	182	1419	214	甘青 3 号 Ganqing 3	246	Z235
151	佳川六棱 Jiachuanliuleng	183	3917	215	甘青 4 号 Ganqing 4	247	Z236
152	光头大麦 Guangtoudamai	184	6024	216	甘青 5 号 Ganqing 5	248	Z237
153	老麦 Laomai	185	02 产监 88 繁 34 02 chanjian 88 fan 34	217	9640	249	Z238
154	山南农家品种-1 Shannannongjiapinzhong-1	186	02 产监 88 繁 31 02 chanjian 88 fan 31	218	9619	250	Z239
155	山南农家品种-2 Shannannongjiapinzhong-2	187	88 繁 45-1 88 fan 45-1	219	9642	251	Z241
156	拉萨农家品种 Lasanongjiapingzhong	188	89003 黄 A 89003 huang A	220	9820	252	Z242
157	福 8-4 Fu 8-4	189	2002-43	221	9839	253	Z243
158	莫多吉 1 号 Moduoji 1	190	2002-41	222	9828	254	Z244
159	门农 1 号 Mennong 1	191	02 产监 91-13-15-53 A 02 chanjian 91-13-15-53 A	223	9748	255	Z245
160	东青 1 号 Dongqing 1	192	02 产监 91-41 02 chanjian 91-41	224	昆仑 13 号 Kunlun 13	256	Z246
161	同德系选 8 号 Tongdexixuan 8	193	91 繁 21 91 fan 21	225	巴青 1 号 Baqing 1	257	Z247
162	互青 2 号 Huqing 2	194	02 品比 17 区 91-88-5-4-1 02 pinbi 17 qu 91-88-5-4-1	226	C1386	258	Z248
163	北青 1 号 Beiqing 1	195	02 品比 7 区 92-32 02 pinbi 7 qu 92-32	227	861713	259	Z249
164	北青 2 号 Beiqing 2	196	95H2-29-5-4-6	228	861918	260	Z250
165	北青 3 号 Beiqing 3	197	02 品比 3 区 94H2-23 02 pinbi 3 qu 94H2-23	229	861383	261	Z251
166	北青 4 号 Beiqing 4	198	93H2-28-2	230	861393	262	Z252
167	北青 5 号 Beiqing 5	199	02 产监 19 区 95H1-29-5-6-6 02 chanjian 19 qu 95 H1-29-5-6-6	231	Z201	263	Z253
168	北青 6 号 Beiqing 6	200	02 产监 95H-29-7-2-5 02 chanjian 95 H-29-7-2-5	232	Z220	264	Z255
169	北青 7 号 Beiqing 7	201	02 产监 98006 C 02 chanjian 98006 C	233	Z221	265	Z256
170	北青 8 号 Beiqing 8	202	02 品比 1 区 911-71 02 pinbi 1 qu 911-71	234	Z222	266	Z257
171	昆仑 1 号 Kunlun 1	203	喜马拉雅 4 号 Ximalaya 4	235	Z223	267	Z259
172	昆仑 2 号 Kunlun 2	204	迪青 1 号 Diqing 1	236	Z224		

注:1~156 是青稞地方品种,157~267 是青稞育成品种(系)。

Note:1-156 were six-rowed hulless barley landraces,157-267 were six-rowed hulless barley cultivars(lines).

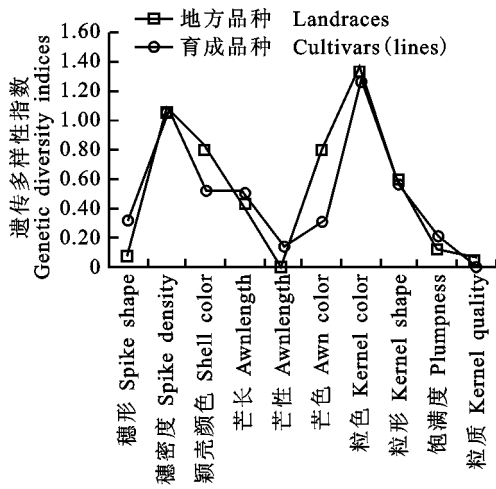


图 1 青藏高原青稞地方品种与育成品种(系)10个质量性状的表型多样性

Fig. 1 Shannon-weaver diversity indexes of 10 qualitative traits of six-rowed hulless barley landraces and cultivars(lines) from the Qinghai-Tibetan Plateau

数(0.30)高于地方品种(0.08),但以长方形穗为主,地方品种中包含所有的塔形穗材料;育成品种(系)和地方品种以长芒材料为主,但地方品种具有更多的长芒类型;育成品种(系)中发现少数光芒和半光芒材料,其多样性高于地方品种。总体来看,10个质量性状地方品种的 Shannon-weaver 多样性指数(0.53)高于育成品种(系)(0.49),说明青稞地方品种表型多样性水平要高于育成品种(系)。

2.1.2 数量性状分析 267份供试青稞材料9个数量性状的表型变异描述性统计结果表明(表3),9个数量性状的 Shannon-weaver 多样性指数的变幅为 1.84~2.09,平均值为 2.03。其中,除株高和体积质量的多样性指数为 1.7~2.0外,其余7个数量性状的多样性指数均大于 2.0,说明供试材料具有较高的表型变异水平。地方品种和育成品种(系)穗长、体积质量和千粒质量3个性状的多样性指数差异介于 0.06~0.09,其余6个数量性状的多样性指数均非常接近。同时,两种类型材料9个数量性状的多样性指数平均值分别为 2.02和 2.01(表3,图2),说明青藏高原青稞种质资源两大类型材料间在所考察数量性状多样性间无明显差异。分不同性状来看,青稞育成品种(系)平均株高低于地方品种,说明育种过程中青稞株高有降低的趋势。其余各性状除体积质量平均值二者间差异不大之外,其余7个性状

平均值育成品种(系)均明显优于地方品种,说明在育种过程中青稞产量相关性状均得到显著改善。

2.2 基于数量性状的多样性分析

2.2.1 方差分析 对267份供试青藏高原青稞种质9个数量性状方差分析结果表明(表3),株高、单株分蘖数、单株有效分蘖数、穗长、小穗数、每穗总粒数、每穗实粒数、体积质量和干粒质量等所有9个考察数量性状在材料间均存在极显著差异( $P < 0.01$ ),说明供试材料在9个数量性状上存在丰富的遗传多样性。所有供试材料中株高的标准差和方差最大,而单株有效分蘖数的标准差和方差最小。但是,单株有效分蘖数的变异系数最大(42.22%),说明具有最大的数据离散程度;体积质量的变异系数最小(2.84%),说明具有最小的数据离散程度。其他各性状的变异系数介于 13.95%至 30.77%。分不同品种类型来看,地方品种除单株分蘖数在材料间存在显著差异外( $P < 0.05$ ),其余8个性状均存在极显著差异( $P < 0.01$ );而育成品种(系)所有9个性状在材料间均存在极显著差异( $P < 0.01$ )。除单株分蘖数外,地方品种其余8个考察性状的标准差、方差和变异系数均小于育成品种(系),说明地方品种数量性状数据离散程度较小。

2.2.2 相关分析 对267份供试材料9个数量性状的相关分析(表4)显示,株高与穗长、体积质量和干粒质量呈极显著正相关,与单株有效分蘖数呈极显著负相关,与单株分蘖数和每穗实粒数呈显著负相关;单株分蘖数与单株有效分蘖数呈极显著正相关,而与体积质量和干粒质量呈极显著负相关;单株有效分蘖数与小穗数、每穗总粒数、每穗实粒数和干粒质量呈极显著负相关;穗长与小穗数、每穗总粒数、每穗实粒数和干粒质量呈极显著正相关;小穗数与每穗总粒数、每穗实粒数呈极显著正相关,与体积质量呈极显著负相关;每穗总粒数与每穗实粒数呈极显著正相关,而与体积质量呈极显著负相关,每穗实粒数与体积质量也呈极显著负相关;体积质量与干粒质量呈极显著正相关。

经相关分析发现9个数量性状大部分性状间均存在显著或极显著正相关或负相关。因此,需要采用主成分分析将相关变量转换为非相关变量,即将多个实测变量转换为少数几个不相关的综合指标。

表 2 青藏高原青稞种质资源 10 个质量性状的频率分布与 Shannon-weaver 多样性指数  
Table 2 Frequency distribution and Shannon-weaver indexes of 10 qualitative traits among six-rowed hulless barley accessions from the Qinghai-Tibetan Plateau

性状 Trait	品种类型 Accession type	频率分布 Frequency distribution							多样性指数 Shannon-weaver index
		1	2	3	4	5	6	7	
穗形	所有材料 Total accessions	0.955	0.041	0.004					0.20
Spike shape	地方品种 Landraces	0.978	0.006	0.077					0.08
	育成品种(系) Cultivars(lines)	0.910	0.090	0.000					0.30
穗密度	所有材料 Total accessions	0.228	0.378	0.394					1.07
Spike density	地方品种 Landraces	0.224	0.397	0.378					1.07
	育成品种(系) Cultivars(lines)	0.234	0.351	0.414					1.07
颖壳颜色	所有材料 Total accessions	0.741	0.034	0.199	0.026				0.75
Shell color	地方品种 Landraces	0.647	0.032	0.308	0.013				0.81
	育成品种(系) Cultivars(lines)	0.874	0.036	0.045	0.045				0.52
芒长	所有材料 Total accessions	0.891	0.034	0.011	0.041	0.015	0.004	0.004	0.50
Awn length	地方品种 Landraces	0.910	0.032	0.019	0.006	0.026	0.000	0.006	0.43
	育成品种(系) Cultivars(lines)	0.865	0.036	0.000	0.009	0.000	0.009	0.000	0.51
芒性	所有材料 Total accessions	0.989	0.004	0.007					0.07
Awn character	地方品种 Landraces	1.000	0.000	0.000					0.00
	育成品种(系) Cultivars(lines)	0.973	0.009	0.018					0.14
芒色	所有材料 Total accessions	0.768	0.191	0.007	0.034				0.67
Awn color	地方品种 Landraces	0.654	0.301	0.013	0.032				0.81
	育成品种(系) Cultivars(lines)	0.928	0.036	0.000	0.036				0.31
粒色	所有材料 Total accessions	0.479	0.105	0.150	0.052	0.199	0.015		1.41
Kernel color	地方品种 Landraces	0.436	0.045	0.122	0.071	0.321	0.006		1.34
	育成品种(系) Cultivars(lines)	0.541	0.189	0.189	0.027	0.027	0.027		1.26
粒形	所有材料 Total accessions	0.839	0.109	0.015	0.037				0.57
Kernel shape	地方品种 Landraces	0.833	0.115	0.013	0.038				0.58
	育成品种(系) Cultivars(lines)	0.847	0.099	0.018	0.036				0.56
饱满度	所有材料 Total accessions	0.966	0.030	0.004					0.16
Plumpness	地方品种 Landraces	0.974	0.026	0.000					0.12
	育成品种(系) Cultivars(lines)	0.955	0.036	0.009					0.21
粒质	所有材料 Total accessions	0.996	0.004						0.03
Kernel quality	地方品种 Landraces	0.994	0.006						0.04
	育成品种(系) Cultivars(lines)	1.000	0.000						0.00
平均值	所有材料 Total accessions								0.54
Mean value	地方品种 Landraces								0.53
	育成品种(系) Cultivars(lines)								0.49

注:穗形:1.长方形,2.纺锤形,3.塔形;穗密度:1.密,2.疏,3.中等;颖壳颜色:1.黄,2.黑,3.紫,4.褐;芒长:1.长芒,2.短芒,3.长颈勾芒,4.短颈勾芒,5.中列长芒侧列短芒,6.侧列长芒中列短芒,7.中列长芒;芒性:1.齿芒,2.光芒,3.半光芒;芒色:1.黄芒,2.紫芒,3.红芒,4.黑芒;粒色:1.褐色,2.黄色,3.灰色,4.蓝色,5.紫色,6.黑色;粒形:1.纺锤形,2.椭圆形,3.长形,4.圆形;饱满度:1.饱,2.中等,3.差;粒质:1.硬,2.软。

Note: Spike shape: 1. Rectangle, 2. Spindle-like, 3. Pyramid; Spike density: 1. Dense spike, 2. Sparse spike, 3. Middle dense spike; Shell color: 1. Yellow, 2. Black, 3. Purple, 4. Brown; Awn length: 1. Long awn, 2. Short awn, 3. Long hook awn, 4. Short hook awn, 5. Middle long awn, 6. Edge long awn and middle short awn, 7. Middle long awn; Awn character: 1. Tooth awn, 2. Smooth awn, 3. Half smooth awn; Awn color: 1. Yellow, 2. Purple, 3. Red, 4. Black; Kernel color: 1. Brown, 2. Yellow, 3. Grey, 4. Blue, 5. Purple, 6. Black; Kernel shape: 1. Spindle-like kernel, 2. Ellipse kernel, 3. Rectangle kernel, 4. roundness kernel; Plumpness: 1. Plump, 2. Middle plump, 3. Poor plump; Kernel quality: 1. Hard kernel, 2. Soft kernel.

2.2.3 主成分分析 算出以上遗传相关矩阵的特征根,根据累积贡献率 85% 的标准<sup>[16]</sup>,经主成分分析选取前 5 个较大的特征根,代表全部 9 个

考察性状的 89.3% 的表型变异。入选的 5 个特征根值、累计贡献率及其 9 个数量性状的特征向量列于表 5。

表 3 青藏高原青稞种质资源 9 个数量性状的表型变异与 Shannon-weaver 多样性指数

Table 3 Phenotypic variation and Shannon-weaver indices of nine quantitative traits among 267 six-rowed hulless barley accessions from the Qinghai-Tibetan Plateau

性状 Trait	品种类型 Accession type	变异幅度 Range	平均数±标准差 Mean ± Standard deviation	变异系数/% CV	方差 Variance	F 值 F value	多样性指数 Shannon-weaver index
株高/cm Plant height	所有材料 Total accessions	39.61~116.43	87.30 ± 12.18	13.95	148.35	6.11**	1.94
	地方品种 Landrace	55.91~116.43	91.86 ± 9.17	9.98	84.09	2.67**	1.99
	育成品种(系) Cultivars(lines)	39.61~109.14	80.89 ± 13.00	16.07	169.00	8.38**	2.00
单株分蘖数 Tillering number per plant	所有材料 Total accessions	1~5	2.34 ± 0.72	30.77	0.52	1.85**	2.09
	地方品种 Landrace	1~5	2.32 ± 0.75	32.33	0.56	1.30*	2.07
	育成品种(系) Cultivars(lines)	1~5	2.39 ± 0.71	29.71	0.50	2.29**	2.05
单株有效分蘖数 Available tillering number per plant	所有材料 Total accessions	1~4	1.35 ± 0.57	42.22	0.32	2.32**	2.07
	地方品种 Landrace	1~4	1.32 ± 0.55	41.67	0.30	2.00**	2.05
	育成品种(系) Cultivars(lines)	1~3	1.39 ± 0.60	43.17	0.36	2.42**	2.06
穗长/cm Spike length	所有材料 Total accessions	3.48~15.95	6.75 ± 1.38	20.44	1.90	6.75**	2.07
	地方品种 Landrace	3.48~15.40	6.54 ± 1.27	19.42	1.61	5.50**	2.00
	育成品种(系) Cultivars(lines)	3.78~15.95	7.05 ± 1.48	20.99	2.19	7.37**	2.06
小穗数 Spikelet number per spike	所有材料 Total accessions	13~28	19.67 ± 3.02	15.35	9.12	8.68**	2.05
	地方品种 Landrace	13~29	19.08 ± 2.81	14.73	7.90	7.19**	2.06
	育成品种(系) Cultivars(lines)	13~29	20.49 ± 3.12	15.23	9.73	9.31**	2.04
每穗总粒数 Total kernel number per spike	所有材料 Total accessions	38~85	58.98 ± 9.03	15.31	81.54	8.93**	2.06
	地方品种 Landrace	38~83	57.26 ± 8.45	14.76	71.40	7.29**	2.06
	育成品种(系) Cultivars(lines)	41~85	61.41 ± 9.29	15.13	86.30	10.05**	2.04
每穗实粒数 Available kernel number per spike	所有材料 Total accessions	27~83	50.38 ± 7.94	15.76	63.04	5.56**	2.05
	地方品种 Landrace	27~83	48.74 ± 7.37	15.12	54.32	4.26**	2.04
	育成品种(系) Cultivars(lines)	32~80	52.69 ± 8.16	15.49	66.59	6.43**	2.06
体积质量/(g/L) Volume mass	所有材料 Total accessions	613.45~915.40	834.30 ± 23.70	2.84	561.69	4.26**	1.84
	地方品种 Landrace	737.60~883.85	831.35 ± 20.35	2.45	414.12	4.67**	1.85
	育成品种(系) Cultivars(lines)	613.45~915.40	831.40 ± 27.60	3.32	761.76	3.90**	1.79
千粒质量/g Thousand kernel mass	所有材料 Total accessions	23.51~58.45	42.06 ± 6.15	14.62	37.82	26.19**	2.09
	地方品种 Landrace	23.51~55.90	41.34 ± 5.04	12.19	25.40	18.41**	2.07
	育成品种(系) Cultivars(lines)	24.88~58.45	43.08 ± 7.34	17.04	53.88	34.39**	1.98
平均值 Mean value	所有材料 Total accessions						2.03
	地方品种 Landrace						2.02
	育成品种(系) Cultivars(lines)						2.01

注：“\*\*\*”表示差异极显著(P<0.01);“\*”表示差异显著(P<0.05)。下同。

Note: “\*\*\*”means very significant differences(P<0.01); “\*”means significant differences(P<0.05). The same below.

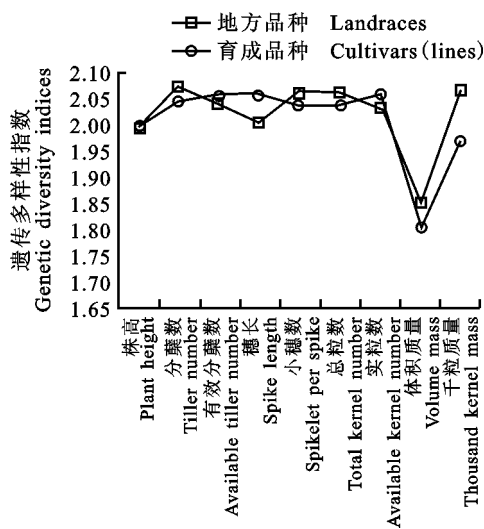


图 2 青藏高原青稞地方品种与育成品种(系) 9 个数量性状的表型多样性

Fig. 2 Shannon-weaver diversity indexes of nine quantitative traits of six-rowed hulless barley landraces and cultivars(lines) from the Qinghai-Tibetan Plateau

从表 5 可知,主成分 1 的贡献率为 36.29%, 每穗总粒数、每穗实粒数和小穗数的特征向量值最大且对主成分 1 产生正向效应,单株有效分蘖数的特征向量值为负且绝对值较大。说明主成分 1 大时,品种表现为穗粒数多,分蘖少。因此,可以把主成分 1 概括为穗粒数因子;主成分 2 的贡献率是 21.26%,千粒质量、体积质量和株高的特征向量值最大且对其产生正向影响,同时单株分蘖数和单株有效分蘖数的特征向量值为负且绝对值较大。该主成分值较大时,品种表现为高秆、大粒但分蘖数少。因此,可以把主成分 2 概括为粒质量因子;主成分 3 的贡献率为 14.12%,单株分蘖数、单株有效分蘖数和穗长的特征向量值最大且表现出正向效应,该主成分较大时,品种表现为多分蘖和穗长因子;主成分 4 的贡献率 8.86%,株高的特征向量值最大且呈正向效应,千粒质量的特征向量值为负且绝对值较大,该主成分值较大时,品种多表现为高秆、大粒。因此,可以把主成分 4

表 4 青稞种质材料 9 个数量性状间的相关系数

Table 4 Correlation coefficient between nine quantitative traits among 267 six-rowed hulless barley accessions from the Qinghai-Tibetan Plateau

性状 Trait	株高 Plant height	单株分蘖数 Tillering number per plant	单株有效分蘖数 Available tillering number per plant	穗长 Spike length	小穗数 Spikelet number per spike	每穗总粒数 Total kernel number per spike	每穗实粒数 Available kernel number per spike	体积质量 Volume mass	千粒质量 Thousand kernel mass
株高 Plant height	1								
单株分蘖数 Tillering number per plant	-0.15*	1							
单株有效分蘖数 Available tillering number per plant	-0.16**	0.49**	1						
穗长 Spike length	0.23**	-0.02	-0.08	1					
小穗数 Spikelet number per spike	-0.07	-0.02	-0.39**	0.28**	1				
每穗总粒数 Total kernel number per spike	-0.07	-0.02	-0.39**	0.27**	0.99**	1			
每穗实粒数 Available kernel number per spike	-0.13*	-0.07	-0.30**	0.23**	0.91**	0.91**	1		
体积质量 Volume mass	0.26**	-0.17**	-0.05	0.04	-0.22**	-0.22**	-0.17**	1	
千粒质量 Thousand kernel mass	0.20**	-0.13*	-0.25**	0.49**	0.11	0.11	0.10	0.22**	1

概括为株高因子;主成分 5 的贡献率为 8.52%, 体积质量的特征向量值最大且呈正向效应,株高的特征向量值为负且绝对值较大。该主成分值较大时,品种多表现为高秆、高体积质量。因此,可以把主成分 5 概括为籽粒体积质量因子。

2.2.4 聚类分析 利用最小方差法(Ward's method)对供试的 267 份材料进行基于欧式遗传距离的聚类分析(图 3),结果显示,在半偏  $R^2$  大致为 0.05 时可把所有供试材料分为 4 个类群,每个类群包含的材料信息与 9 个数量性状的平均值分别归纳于表 6 和表 7。结果显示,第 I 类群包括 20 份材料,占供试材料总数的 7.49%,其中有 16 份为青稞育成品系。该类群材料表现为矮秆、多分蘖,穗长最短但每穗总(实)粒数较高,多为密穗品种,体积质量和千粒质量在 4 个类群中最低;

第 II 类群包括 55 份材料,占供试材料总数的 20.60%,有 45 份是青稞地方品种。该类群材料株高和单株(有效)分蘖数居于中等水平,穗长较短,小穗数、每穗总(实)粒数在 4 个类群中最低,千粒质量较低,但体积质量最高;第 III 类群包括 118 份材料,占供试材料总数的 44.19%。其中青稞地方品种 74 份,育成品种(系)44 份。该类群材料株高最高,单株(有效)分蘖数中等,穗长较长但小穗数偏低,多为稀穗品种,每穗总(实)粒数适中,体积质量较高,千粒质量最大;第 IV 类群包括 74 份材料,占供试材料总数的 27.72%,其中青稞地方品种 34 份,育成品种(系)40 份。该类群材料表现植株偏高,分蘖最少,但穗长、小穗数、每穗总(实)粒数和千粒质量在 4 个类群材料中最高,体积质量也较高。

表 5 入选的特征根值、特征根累计贡献率及其特征向量

Table 5 Selected eigenvalues, cumulative percentage and corresponding eigenvectors

项目 Item	主成分 1 PC 1	主成分 2 PC 2	主成分 3 PC 3	主成分 4 PC 4	主成分 5 PC 5	性状 Trait
特征根值 Eigenvalues	3.27	1.91	1.27	0.80	0.77	
累计贡献率/% Cumulative percentage	36.29	57.55	71.67	80.53	89.05	
特征向量 Eigenvectors	-0.01	0.46	0.10	0.63	-0.57	株高 Plant height
	-0.09	-0.38	0.59	0.26	0.06	单株分蘖数 Tillering number per plant
	-0.29	-0.31	0.47	0.14	0.14	单株有效分蘖数 Available tillering number per plant
	0.22	0.31	0.55	-0.23	-0.17	穗长 Spike length
	0.53	-0.13	0.02	0.16	0.04	小穗数 Spikelet per spike
	0.53	-0.13	0.02	0.16	0.04	每穗总粒数 Total kernel number per spike
	0.51	-0.14	-0.01	0.14	0.17	每穗实粒数 Available kernel number per spike
	-0.11	0.43	-0.02	0.44	0.75	体积质量 Volume mass
	0.15	0.47	0.35	-0.44	0.20	千粒质量 Thousand kernel mass



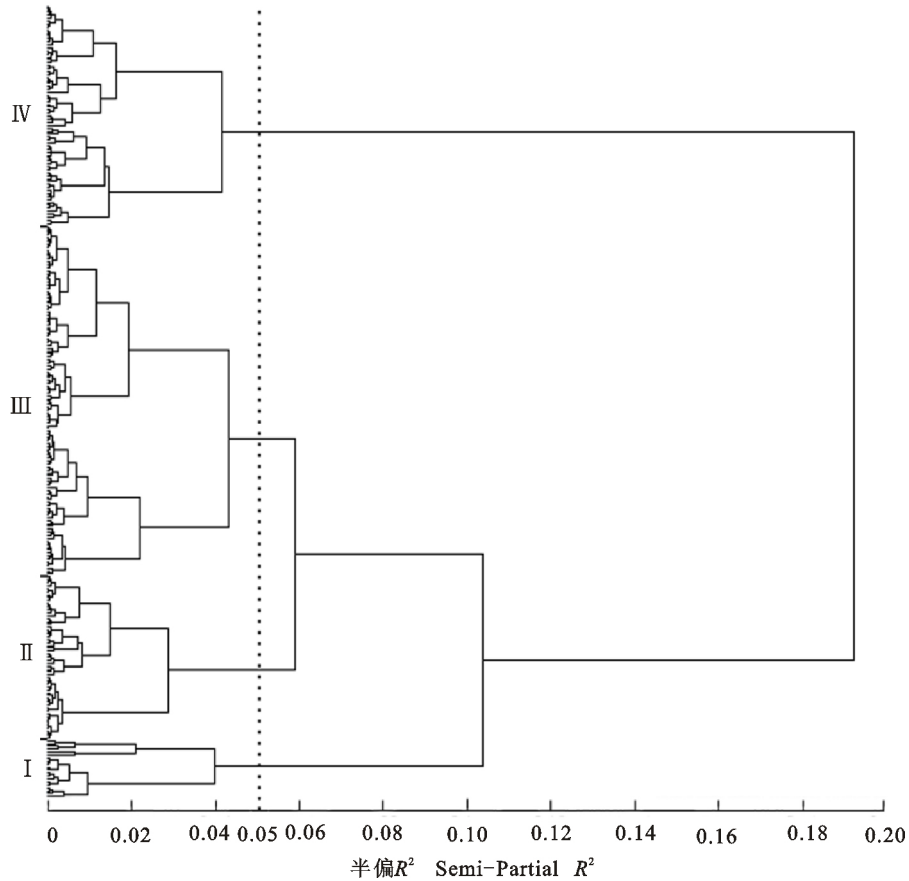


图 3 267 份青藏高原青稞种质材料的最小方差法聚类图

Fig. 3 Dendrogram based on Ward's method of 267 six-rowed hulless barley accessions from the Qinghai-Tibetan Plateau

表 6 聚类后各类群包含材料数及其编号

Table 6 Accession numbers and ID in each group

类群 Group	材料数 Accession number	材料编号 Accession ID
I	20	143,150,153,178,180,225,226,231,232,243,244,246,251,252,255,259,260,261,262,263
II	55	8,9,13,14,22,24,36,40,45,46,47,48,56,61,62,67,68,69,70,71,73,74,77,78,79,83,86,87,102,103,104,105,106,107,109,117,122,126,128,130,142,145,146,148,149,160,169,179,184,245,248,249,253,254,256
III	118	3,5,6,7,10,11,15,16,17,18,19,20,21,23,25,26,27,28,28,30,31,32,34,35,37,41,43,44,49,51,52,53,54,55,58,63,64,65,76,81,84,85,90,93,94,96,97,100,101,108,110,111,112,114,115,116,118,119,120,121,123,124,125,129,131,132,134,135,136,138,139,147,151,152,158,159,162,163,164,165,166,167,168,170,176,177,181,182,185,186,187,188,191,193,194,195,196,197,198,199,200,202,203,210,211,212,215,217,219,224,227,229,234,241,247,258,264,267
IV	74	1,2,4,12,33,38,39,42,50,57,59,60,66,72,75,80,82,88,89,91,92,95,98,99,113,127,133,137,140,141,144,154,155,156,157,161,171,172,173,174,175,183,189,190,192,201,204,205,206,207,208,209,213,214,216,218,220,221,222,223,228,230,233,235,236,237,238,239,240,242,250,257,265,266

表 7 不同类群材料 9 个数量性状的平均值

Table 7 Mean values of 9 quantitative traits of each group

类群 Group	株高/cm Plant height	单株分蘖数 Tillering number per plant	单株有效分蘖数 Available tillering number per plant	穗长/cm Spike length	小穗数 Spikelet per spike	每穗总粒数 Total kernel number per spike	每穗实粒数 Available kernel number per spike	体积质量/g Volume mass	千粒质量/g Thousand kernel mass
I	66.44	2.83	1.67	5.67	20.40	61.18	53.11	160.27	33.65
II	86.14	2.25	1.51	5.87	17.01	51.06	44.35	167.79	37.79
III	91.67	2.42	1.41	7.06	18.88	56.62	48.12	167.49	44.24
IV	87.38	2.18	1.05	7.21	22.70	68.05	57.73	166.96	44.04

### 3 讨论

种质资源是作物进行遗传改良和品种选育的物质基础,而育种工作者对种质资源遗传多样性的评价是种质资源研究的基础性工作之一。遗传多样性评价能够帮助育种工作者快速地掌握材料有价值的遗传信息,目标明确地开展育种工作<sup>[17-18]</sup>。近年来,青稞的遗传多样性主要是从 DNA 水平上利用 SSR<sup>[19-20]</sup>、DArT<sup>[21-22]</sup>和 SNP<sup>[23]</sup>等分子标记开展研究,具有快捷、高通量和揭示信息较为准确的优点。通过表型性状的考察估测种质资源的表型多样性其实是对遗传多样性的一种间接估计。尽管这种方法由于表型性状考察易受环境和人为因素影响,但是,在尽可能选取大量考察性状和严格控制试验条件的基础上,是可以真实地反映种质材料间的遗传差异。同时,表型多样性研究可将品种间潜在的遗传差异数量化、表型化,给育种者在选配亲本时提供更为直接可用的多样性信息<sup>[17]</sup>。另外,在组学测序技术飞速发展的今天,种质资源海量基因组、蛋白质组和转录组信息堆积,但表型组学信息的有效获取成为作物高密度表型-基因型图谱构建及分子设计育种的瓶颈问题,如何完整获取作物全生育期表型成为国际研究热点。因此,表型多样性估测无论对青稞育种或者标记/性状全基因组关联分析都是必要而且是重要的基础工作。

孟凡磊等<sup>[1]</sup>对国外 7 个大麦品种、中国农科院院资所的 17 个大麦品种和西藏地区 32 个青稞品种的对比研究发现,与其他材料相比西藏青稞的遗传变异更为丰富。陈丽华等<sup>[3]</sup>对青海 26 个青稞主栽品种的研究表明,青海青稞各农艺性状的遗传多样性指数都较大。孟霞等<sup>[6]</sup>对西藏各个地区的 34 份青稞种质资源的研究表明,西藏青稞种质资源多样性指数较高。同上述研究结果一致,本研究中青稞供试材料的表型多样性十分丰富。就质量性状而言,青稞种质资源多样性较高,变异类型丰富。尤其是地方品种多样性明显高于育成品种(系),蕴藏着许多具深色籽粒等特艺性状的遗传资源可供利用。就数量性状而言,供试材料大部分性状变异类型丰富,多样性较高。所有材料基于 9 个数量性状可明显地聚为 4 个类群,类群 I 多为矮秆、高分蘖和密穗型材料,主要依靠群体密度取得理想产量;类群 II 主要为中高秆、多分蘖和小穗型材料,其他产量性状表现也较

差;类群 III 主要为高秆、分蘖能力中等,中穗大粒型材料,产量性状表现中庸;类群 IV 主要为中高秆、低分蘖、大穗多粒型品种,千粒质量也较高,产量性状表现优异,在保证群体密度的前提下,主要靠单株个体产量取得理想产量。因此,4 个类群材料各个性状表现各有优势,在今后的育种工作中可针对不同育种目标加以筛选利用。比如要在高水肥条件下选育矮秆品种的话,可利用类群 I 中的材料作为亲本,进行植株的矮化和群体密度的提高;如果是在低水肥山旱地,最好是选育中高秆品种,可利用类群 IV 中的材料作为亲本以提高单株生产能力。另外,许多青稞地方品种具有一个或数个优异的产量性状,可作为宝贵的遗传资源在育种中加以利用,以拓宽育成品种的遗传基础。

#### 参考文献 Reference:

- [1] 孟凡磊,赵亚斌,强小林,等. 不同地区大麦品种农艺性状比较与西藏青稞品种改良 [J]. 麦类作物学报, 2006, 26(5): 175-178.  
MENG F L, ZHAO Y B, QIANG X L, et al. Compare on agronomic traits of barley from different regions and improvement of Tibet naked barley [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2006, 26(5): 175-178.
- [2] 徐先良,赖勇,王鹏喜,等. 大麦亲本材料农艺性状鉴定及遗传多样性分析 [J]. 麦类作物学报, 2013, 33(4): 640-646.  
XU X L, LAI Y, WANG P X, et al. Identification of agronomic traits and genetic diversity analysis of barley parent materials [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2013, 33(4): 640-646.
- [3] 陈丽华,张志斌,侯志强,等. 青海省青稞主栽品种农艺性状分析 [J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(3): 439-444.  
CHEN L H, ZHANG ZH B, HOU ZH Q, et al. Analysis of agronomic characters of major hullless barley cultivars in Qinghai province [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2012, 34(3): 439-444.
- [4] 吕远平,熊荣君,贾利蓉,等. 青稞特性及在食品中的应用 [J]. 食品科学, 2005, 26(7): 266-269.  
LÜ Y P, XIONG M J, JIA L R, et al. Characteristics of barley and application in food industry [J]. *Food Science*, 2005, 26(7): 266-269.
- [5] 沈裕琥,王海庆,黄相国,等. 数量性状水平上甘、青两省春小麦品种间的遗传多样性现状及演变趋势 [J]. 西北植物学报, 2002, 22(5): 1056-1065.  
SEHN Y H, WANG H Q, HUANG X G, et al. Detection on evolution and present situation of genetic diversity of spring wheat cultivars planted in Gansu and Qinghai provinces using quantitative characters [J]. *Acta Botanica Boreal-Occident Sinica*, 2002, 22(5): 1056-1065.

- [6] 孟霞,卓嘎,大次卓嘎,等. 西藏部分青稞主要农艺性状分析 [J]. 麦类作物学报, 2010, 30(6): 1043-1047.  
MENG X, ZHUOGA, DACIZHUOGA, *et al.* Analysis of main agronomic traits of several Tibetan naked barley [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2010, 30(6): 1043-1047.
- [7] 陈晓静,沈会权,乔海龙,等. 大麦种质资源形态特征及农艺性状的分析 [J]. 江苏农业学报, 2007, 23(6): 532-535.  
CHEN X J, SHEN H Q, QIAO H L, *et al.* Analysis of agronomic traits and morphological characteristics of barley germplasm resources [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 23(6): 532-535.
- [8] 朱长志,张志仙,刘君,等. 青花菜主要农艺性状相关性、主成分与聚类分析 [J]. 中国农学通报, 2015, 31(4): 73-79.  
ZHU CH ZH, ZHANG ZH X, LIU J, *et al.* Correlation, principal component and cluster analysis of main agronomic traits of *Brassica oleracea* L. var. *italica* [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(4): 73-79.
- [9] 王绘艳,史雨刚,马昊翔,等. 30份春小麦品系主要农艺性状的聚类分析 [J]. 中国农学通报, 2014, 30(18): 60-64.  
WANG H Y, SHI Y G, MA H X, *et al.* Cluster analysis of the main agronomic traits of 30 spring wheat strains [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(18): 60-64.
- [10] 陈峰,朱其松,徐建第,等. 山东地方水稻品种的农艺性状与品质性状的多样性分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(3): 393-397.  
CHEN F, ZHU Q S, XU J D, *et al.* Diversity analysis of agronomic and quality characters of rice landraces in Shandong [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2012, 13(3): 393-397.
- [11] 李培富,杨淑琴,马宏伟. 宁夏水稻主要农艺性状的主成分及聚类分析 [J]. 中国农学通报, 2006, 22(12): 162-166.  
LI P F, YANG SH Q, MA H W. Principal component and cluster analysis of main agronomic characters of rice in Ningxia [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(12): 162-166.
- [12] 宿俊吉,邓福军,陈红,等. 陆地棉主要农艺性状的变异性、聚类和相关性分析 [J]. 新疆农业科学, 2011, 48(8): 1386-1391.  
SU J J, DENG F J, CHEN H, *et al.* Analysis of correlation, cluster and variation on the main agronomic characters of upland cotton cultivars or lines [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2011, 48(8): 1386-1391.
- [13] 中华人民共和国农业部. 植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 大麦: NY/T 2224-2012 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2012: 12.  
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Guidelines for the Conduct of Tests for Distinctness, Uniformity and Stability-barley: NY/T 2224-2012 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2012: 12.
- [14] SHANNON C E, WEAVER W. The Mathematical Theory of Communication [M]. Urbana: University of Illinois Press, 1949: 3-14.
- [15] 王蕾,徐金青,夏腾飞,等. 青藏高原青稞及其他地区大麦种子表型的多样性分析 [J]. 西北农业学报, 2014, 23(3): 40-44.  
WANG L, XU J Q, XIA T F, *et al.* Phenotypic diversity analysis of seed traits in barley germplasm from Qinghai-Tibetan Plateau and other regions [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2014, 23(3): 40-44.
- [16] 熊丽娟,李伟,郑有良. 马卡小麦主要农艺性状分析 [J]. 中国农学通报, 2006, 22(11): 118-122.  
XIONG L J, LI W, ZHENG Y L. Analysis in principal agronomic traits of *Triticum macha* Dekaprel et Menabde [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(11): 118-122.
- [17] 刘新龙,马丽,蔡青,等. 云南甘蔗品种表型性状的遗传多样性分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(6): 703-708.  
LIU X L, MA L, CAI Q, *et al.* Genetic diversity analysis of phenotypic traits in Yunnan sugarcane varieties [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2010, 11(6): 703-708.
- [18] 王浩,刘志勇,马艳明,等. 小麦品种资源农艺和品质性状遗传多样性研究进展 [J]. 新疆农业科学, 2005, 42(增): 1-4.  
WANG H, LIU ZH Y, MA Y M, *et al.* Research on genetic diversity of agronomic and quality character in wheat varieties [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2005, 42(S): 1-4.
- [19] PANDEY M, WAGNER C, FRIEDT W, *et al.* Genetic relatedness and population differentiation of Himalayan hull-less barley (*Hordeum vulgare* L.) landraces inferred with SSRs [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2006, 113: 715-729.
- [20] FENG Z Y, ZHANG L L, ZHANG Y Z, *et al.* Genetic diversity and geographical differentiation of cultivated six-rowed naked barley landraces from the Qinghai-Tibet Plateau of China detected by SSR analysis [J]. *Genetics and Molecular Biology*, 2006, 29: 330-338.
- [21] DAI F, NEVO D, WU J, *et al.* Tibet is one of the centers of domestication of cultivated barley [J]. *Proceeding of the National Academy of Sciences USA*, 2012, 109: 16969-16973.
- [22] WANG L, XU J Q, XIA T F, *et al.* Population structure and linkage disequilibrium in six-rowed barley landraces from the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Crop Science*, 2014, 54: 2011-2022.
- [23] REN X F, NEVO E, SUN D F, *et al.* Tibet as a potential domestication center of cultivated barley in China [J]. *PLoS One*, 2013, 8: E62700.

## The Genotypic Diversity Analysis of 267 Six-rowed Hulless Barley Accessions from the Qinghai-Tibetan Plateau

XIA Tengfei<sup>1,2</sup>, WANG Lei<sup>1,3</sup>, XU Jinqing<sup>1,2</sup>, WANG Handong<sup>1</sup>,  
ZHANG Huaigang<sup>1</sup>, LIU Dengcai<sup>1,4</sup>, SHEN Yuhu<sup>1</sup> and CHANGXI<sup>5</sup>

(1. Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Northwest Institute of Plateau Biology, China Academy of Sciences, Xining 810001, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of Crop Molecular Breeding of Qinghai Province, Northwest Institute of Plateau Biology, China Academy of Sciences, Xining 810001, China; 4. Triticeae Research Institute, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 5. Tibet Agriculture and Husbandry College, Linzhi Tibet 860000, China)

**Abstract** In order to explore phenotypic variation and diversity of six-rowed hulless barley from the Qinghai-Tibetan Plateau and provide guidelines for parental selection in the barley breeding program, 10 qualitative traits and 9 quantitative traits were selected to conduct quantitative and population genetic analysis with fuzzy mathematic methods in this study. The results showed that Shannon-weaver diversity indexes of 10 qualitative traits ranged from 0.03 to 1.41, with the average genetic diversity index of 0.54, respectively, diversity of kernel color and spike density were abundance; variance of the 9 quantitative traits were significantly difference, the CV ranged from 2.84% to 42.22%, and diversity indexes ranged from 1.84 to 2.09 with average of 2.03. Significantly positive/negative correlations among the 9 quantitative traits were revealed by correlation analysis ( $P < 0.05$ , or  $0.01$ ). Principal components analysis was conducted with 9 significantly different quantitative traits, and five principal components were chosen with the cumulative rate of 89.05%. Those five components including spike and kernel number index, kernel mass index, tillering and spike length index, plant height index and kernel volume mass index. Cluster analysis using Ward's method revealed that 267 six-rowed hulless barley accessions can be divided into four groups when semi-partial  $R^2$  was 0.05. Accessions in Cluster I were majorly six-rowed hulless barley lines, charactering with dwarf plant height, highest tiller number and dense spike. Accessions in Cluster II were majorly six-rowed hulless barely landraces, charactering with temperate plant height, higher tiller number and small spike. Accessions in Cluster III were majorly cultivars charactering with tall plant height, large grain, temperate tiller number and spike length. Accessions in Cluster IV were cultivars charactering with moderate plant height, low tiller number, big spike and more grain number per spike. The genetic diversity of six-rowed hulless barley was well revealed through phenotypic traits in this study, and six-rowed hulless barley landraces might be useful gene pool for the barley breeding program in the future.

**Key words** Six-rowed hulless barley; Phenotype trait; Shannon-weaver index; Principal component analysis; Cluster analysis

**Received** 2017-03-18

**Returned** 2017-04-13

**Foundation item** The Applied Basic Research Project of Qinghai Province(No. 2015-ZJ-702); Associate Scholar Program for West Light Foundation of CAS; Western Promotion Program (No. XBTSZWXXK-01) of Xizang Autonomous Region; the Key Research and Development and Transformation Project of Qinghai Province(No. 2016-NK-131).

**First author** XIA Tengfei, male, doctoral student. Research area: barley breeding. E-mail: xtf68@163.com

**Corresponding author** SHEN Yuhu, male, Ph. D, associate research fellow, master supervisor. Research area: crop breeding. E-mail: shenyuhu@nwipb.cas.cn

CHANGXI, female, bachelor, associate professor, master supervisor. Research area: crop breeding. E-mail: 164281890@qq.com

(责任编辑:郭柏寿 Responsible editor: GUO Baishou)