

# 中国大麦育成品种产量相关性状鉴定评价

赵 盟<sup>1,2</sup>, 王春超<sup>2</sup>, 张仁旭<sup>2</sup>, 窦婷语<sup>2</sup>, 裴红红<sup>2</sup>, 郭爱奎<sup>2</sup>, 李姗姗<sup>2</sup>, 吴 斌<sup>2</sup>,  
刘敏轩<sup>2</sup>, 高 佳<sup>2</sup>, 张 京<sup>2</sup>, 邢国芳<sup>3</sup>, 王化俊<sup>1</sup>, 孟亚雄<sup>1</sup>, 郭刚刚<sup>1,2,3</sup>

(<sup>1</sup> 甘肃农业大学农学院 / 省部共建干旱生境作物学国家重点实验室 / 甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室, 兰州 730070; <sup>2</sup> 中国农业科学院作物科学研究所 / 农业农村部粮食作物基因资源评价利用重点实验室 / 农作物基因资源与基因改良国家重大科学工程, 北京 100081;  
<sup>3</sup> 山西农业大学农学院 / 杂粮种质创新与分子育种山西省重点实验室, 太原 030031)

**摘要:** 提高产量是作物育种的最主要的目标之一。通过对不同时期大麦育成品种的产量相关性状进行鉴定评价, 有助于提高大麦高产育种的针对性。本研究对我国 155 份青稞、啤酒和饲料大麦育成品种的 8 个产量相关性状, 分别在两个环境进行了表型鉴定。结果显示, 啤酒大麦的株高、穗长、穗节数三者之间均呈极显著正相关; 青稞和啤酒大麦中, 穗密度和千粒重呈负相关。总体来看, 啤酒和饲料大麦育成品种的千粒重表现为逐渐上升趋势, 而青稞和啤酒大麦的株高呈下降趋势。聚类分析发现, 参试材料可划分为高秆多粒组、中矮秆组、长穗高千粒重组、长粒稀穗组 4 类, 反映了不同大麦产区的主要品种特征。本研究通过分析不同时期大麦育成品种的产量相关性状变化规律及潜在利用途径, 可为我国不同生态区的大麦高产育种提供参考。

**关键词:** 大麦; 育成品种; 产量相关性状鉴定

## Evaluation of the Yield-related Traits of Chinese Barley Cultivars

ZHAO Meng<sup>1,2</sup>, WANG Chun-chao<sup>2</sup>, ZHANG Ren-xu<sup>2</sup>, DOU Ting-yu<sup>2</sup>, PEI Hong-hong<sup>2</sup>, GUO Ai-kui<sup>2</sup>,  
LI Shan-shan<sup>2</sup>, WU Bin<sup>2</sup>, LIU Min-xuan<sup>2</sup>, GAO Jia<sup>2</sup>, ZHANG Jing<sup>2</sup>, XING Guo-fang<sup>3</sup>,  
WANG Hua-jun<sup>1</sup>, MENG Ya-xiong<sup>1</sup>, GUO Gang-gang<sup>1,2,3</sup>

(<sup>1</sup> College of Agronomy, Gansu Agricultural University/State Key Laboratory of Arid Land Crop Science/Gansu Provincial Key Laboratory of Crop Improvement and Germplasm Enhancement, Lanzhou 730070; <sup>2</sup> Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Ministry of Agriculture and Rural Affairs Key Laboratory of Grain Crop Genetic Resources Evaluation and Utilization/National Major Scientific Project of Crop Genetic Resources and Genetic Improvement, Beijing 100081; <sup>3</sup> College of Agronomy, Shanxi Agricultural University/ Shanxi Key Laboratory of Minor Crops Germplasm Innovation and Molecular Breeding, Taiyuan 030031)

**Abstract:** Increasing yield is one of the major tasks in crop breeding. Evaluation of the yield-related traits of barley cultivars released from the different breeding periods might provide insights in high-yield breeding. In this study, 155 Chinese barley cultivars which include Qingke (hulless barley), malting, and feed barley were evaluated for the phenotypic variations at eight yield-related traits in two environmental conditions. There is a

收稿日期: 2022-03-22 修回日期: 2022-04-08 网络出版日期: 2022-04-26

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20220322001>

第一作者研究方向为大麦种质资源鉴定评价, E-mail: zhaomeng6363@163.com

通信作者: 郭刚刚, 研究方向为大麦种质资源保护与鉴定评价, E-mail: guoganggang@caas.cn

孟亚雄, 研究方向为生物技术育种, E-mail: yxmengl@163.com

**基金项目:** 省部共建青稞和牦牛种质资源与遗传改良国家重点实验室开放课题 (XZNKY-2020-C-007K01); 杂粮种质创新与分子育种国家实验室 (筹) (202105D121010); 国家大麦青稞产业技术体系 (CARS-05); 中国农业科学院科技创新工程

**Foundation projects:** The Open Project Program of State Key Laboratory of Barley and Yak Germplasm Resources and Genetic Improvement of TAAAS (XZNKY-2020-C-007K01); National Laboratory for Minor Crops Germplasm Innovation and Molecular Breeding (in preparation) (202105D121010); The China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-05); Agricultural Science and Technology Innovation Program of CAAS

very significant positive correlation among the plant height, spike length, and rachis node per spike of malting barley. Spike density negatively correlated with thousand kernel weight in Qingke and malting barley. Overall, the thousand kernel weight of barley cultivars of malting, and feed barley showed a gradual upward trend, while the plant height constantly decreased of Qingke and malting barley. Cluster analysis suggested four categories of these cultivars, including high-stalk multi-grain group, mid/dwarf-stalk group, long-spike high-thousand kernel weight group, and long-grain lax-spike group, being coincidence with the breeding targets in production areas. Collectively, the valuation of phenotype changes during barley breeding history and its potential avenues of applications can provide insights for high-yield breeding in different ecological regions in China.

**Key words:** barley; cultivars; yield-related traits phenotyping

大麦 (*Hordeum vulgare* L.) 又名牟麦、米麦、元麦、稞麦等, 是禾本科大麦属一年生草本植物, 具有生育期短、耐瘠薄、耐旱、广适等特性。大麦是世界上最早被驯化的作物之一<sup>[1]</sup>, 在食用、饲用和酿造等方面用途广泛<sup>[2]</sup>, 总产量仅次于小麦、水稻和玉米, 是全球第四大禾本科作物<sup>[3]</sup>。大麦在我国各地都有种植, 种植面积一度达到 1 亿亩以上<sup>[4]</sup>, 随着农业生产方式的变化, 目前大麦主产区主要集中在青藏高原、西南、西北、长江中下游及沿海地区<sup>[5]</sup>, 其中在青藏高原地区裸大麦被特称为青稞, 一直是藏族同胞数千年来食用的主粮<sup>[6]</sup>。大麦籽粒中富含  $\beta$ - 葡聚糖、多酚、黄酮、多种维生素以及矿质营养等成分, 使其在降低餐后血糖、抗氧化、降血脂等食用保健方面具有重要潜力, 近年来人们逐渐重视大麦相关的功能性食品开发, 产业发展前景广阔<sup>[7-8]</sup>。随着啤酒行业和畜牧业的快速发展, 我国大麦需求总量持续增长, 深入开展大麦产量性状研究, 持续指导我国大麦单产育种, 对于保障区域粮食安全, 推动产业健康发展具有重要意义。

针对性开展作物产量相关性状的鉴定评价, 明确高产育种的关键目标性状和重点攻关方向, 对促进品种持续改良具有重要意义。目前在小麦<sup>[9]</sup>、水稻<sup>[10]</sup>、棉花<sup>[11]</sup>、花生<sup>[12]</sup>、马铃薯<sup>[13]</sup>等不同作物中, 开展表型性状遗传多样性的鉴定评价研究已有诸多报道。郭鹏燕等<sup>[9]</sup>利用 30 份国内外冬小麦种质资源对 9 个数量性状进行遗传多样性分析, 相关性分析显示穗粒重和千粒重与小区产量呈极显著的正相关, 是产量构成的主要因素。杨玉蓉等<sup>[14]</sup>对 76 份宁夏主栽水稻品种 (系) 按审定或育成年份将其分为 6 个阶段的主要农艺性状进行研究, 结果显示随着育种时期的推移, 生育期、籽粒长宽比、结实率和产量等主要性状均显著增加, 有效穗数减少, 但穗长、穗粒数、单株粒重等主要产量性

状增加, 表明水稻育种从穗数型向穗粒兼顾或穗重型转变。吴承金等<sup>[13]</sup>对 100 份国内育成马铃薯的 36 个质量性状和 9 个数量性状进行遗传多样性分析, 结果发现株高、主茎数、主茎粗及还原糖含量和产量呈极显著正相关, 其他性状与产量表现为正相关。

研究表明, 千粒重、穗粒数和有效穗数 3 因素对大麦产量的贡献呈增趋势<sup>[15-16]</sup>。Miroslavjevic 等<sup>[17]</sup>对 19 个二棱冬大麦品种研究发现, 产量与千粒重呈显著正相关。郜战宁等<sup>[18]</sup>以 28 个大麦品种 (系) 为材料进行产量性状相关性分析, 发现株高和千粒重与单位面积籽粒产量呈极显著和显著负相关。在产量性状解析和优异种质资源发掘方面, 牛小霞等<sup>[19]</sup>对 97 份包括国内外大麦种质资源的株高、穗长等 5 个性状进行遗传多样性分析, 筛选出高千粒重种质 4 份。赵斌等<sup>[20]</sup>对 111 份国内外多棱大麦种质, 开展了 7 个主要农艺性状鉴定评价, 将供试材料分为高秆大穗高千粒重地方品种、矮秆小穗低千粒重国外品种和中秆多粒育成品种 3 类; 蒋莹等<sup>[21]</sup>对 143 份大麦种质资源的 15 个主要农艺性状进行分析, 将供试材料分为二棱高秆型和多棱中矮秆型两大类; 赵加涛等<sup>[22]</sup>对 228 份大麦种质的生育期、穗部性状、产量和抗病性进行了鉴定, 筛选出了 29 份多粒、高产种质。夏腾飞等<sup>[6]</sup>对 267 份青稞种质的 19 个性状进行了鉴定, 发现株高、穗长、千粒重之间呈极显著正相关。

尽管针对大麦种质资源和部分育成品种的产量性状已有相关研究, 但不同时期中国大麦育成品种的产量性状变化规律仍不清楚。为系统评价育成品种的产量性状特征, 本研究以 155 份中国大麦育成品种为材料, 对 8 个产量相关性状进行了鉴定评价, 以期为我国大麦品种改良和高产新种质创制提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本试验以我国各大麦和青稞主产区不同时期育成的 155 个品种为材料,按照用途类型分为青稞

品种 28 个、啤酒大麦品种 87 个、饲料大麦品种 40 个;按照棱型分为二棱大麦 94 份,六棱大麦 61 份;同时按照不同品种的育成年份分为 2000 年以前、2001-2010 年、2011-2020 年 3 类,供试材料信息见表 1。

表 1 155 份中国大麦育成品种信息表  
Table 1 Information of 155 Chinese barley cultivars

编号 No.	品种 Cultivars	来源 Origin	棱型 Row	类型 Type	育成年份 Year	编号 No.	品种 Cultivars	来源 Origin	棱型 Row	类型 Type	育成年份 Year
1	北青 1 号	青海	6	青稞	1985	42	甘啤 3 号	甘肃	2	啤酒大麦	1999
2	北青 2 号	青海	6	青稞	1987	43	垦啤麦 4 号	黑龙江	2	啤酒大麦	2000
3	北青 3 号	青海	6	青稞	1987	44	盐麦 3 号	江苏	2	啤酒大麦	2000
4	康青 3 号	四川	6	青稞	1988	45	扬农啤 2 号	江苏	2	啤酒大麦	2001
5	北青 4 号	青海	6	青稞	1991	46	驻大麦 3 号	河南	2	啤酒大麦	2001
6	东青 1 号	青海	6	青稞	1994	47	华大麦 2 号	湖北	2	啤酒大麦	2001
7	藏青 148	西藏	6	青稞	1994	48	垦啤 2 号	甘肃	2	啤酒大麦	2002
8	喜玛拉 19 号	西藏	6	青稞	1994	49	苏啤 3 号	江苏	2	啤酒大麦	2003
9	北青 5 号	青海	6	青稞	1995	50	垦啤 3 号	甘肃	2	啤酒大麦	2003
10	藏青 3179	西藏	6	青稞	1996	51	扬农啤 4 号	江苏	2	啤酒大麦	2004
11	喜玛拉 22 号	西藏	6	青稞	1999	52	垦啤麦 5 号	黑龙江	6	啤酒大麦	2004
12	北青 6 号	青海	6	青稞	1999	53	垦啤麦 6 号	黑龙江	2	啤酒大麦	2004
13	冬青 16	西藏	6	青稞	1999	54	垦啤麦 7 号	黑龙江	2	啤酒大麦	2004
14	互青 2 号	青海	6	青稞	2001	55	新啤 2 号	新疆	2	啤酒大麦	2004
15	北青 7 号	青海	6	青稞	2004	56	垦啤麦 8 号	黑龙江	2	啤酒大麦	2005
16	藏青 690	西藏	6	青稞	2004	57	花 11	上海	2	啤酒大麦	2006
17	北青 8 号	青海	6	青稞	2005	58	花 22	上海	2	啤酒大麦	2006
18	昆仑 12 号	青海	6	青稞	2005	59	浙皮 8 号	浙江	2	啤酒大麦	2006
19	康青 6 号	四川	6	青稞	2005	60	驻大麦 5 号	河南	2	啤酒大麦	2006
20	康青 7 号	四川	6	青稞	2006	61	扬农啤 5 号	江苏	2	啤酒大麦	2006
21	甘青 6 号	甘肃	6	青稞	2007	62	新引 D9	新疆	2	啤酒大麦	2007
22	昆仑 13 号	青海	6	青稞	2009	63	浙啤 33	浙江	2	啤酒大麦	2008
23	冬青 17 号	西藏	6	青稞	2010	64	垦啤麦 9 号	黑龙江	6	啤酒大麦	2008
24	黄青 1 号	甘肃	6	青稞	2012	65	蒙啤麦 1 号	内蒙古	2	啤酒大麦	2008
25	藏青 13	西藏	6	青稞	2013	66	华大麦 6 号	湖北	2	啤酒大麦	2008
26	藏青 2000	西藏	6	青稞	2013	67	华大麦 7 号	湖北	2	啤酒大麦	2008
27	冬青 18 号	西藏	6	青稞	2013	68	甘啤 4 号	甘肃	2	啤酒大麦	2008
28	云稞 1 号	云南	6	青稞	2014	69	甘啤 5 号	甘肃	2	啤酒大麦	2008
29	沪麦 4 号	上海	2	啤酒大麦	1979	70	新啤 4 号	新疆	2	啤酒大麦	2008
30	浙皮 3 号	浙江	2	啤酒大麦	1994	71	扬农啤 6 号	江苏	2	啤酒大麦	2009
31	豫大麦 2 号	河南	2	啤酒大麦	1994	72	苏啤 4 号	江苏	2	啤酒大麦	2009
32	浙皮 4 号	浙江	2	啤酒大麦	1996	73	龙啤麦 1 号	黑龙江	6	啤酒大麦	2009
33	垦啤麦 2 号	黑龙江	6	啤酒大麦	1996	74	驻大麦 7 号	河南	2	啤酒大麦	2009
34	浙农大 7 号	浙江	2	啤酒大麦	1997	75	空诱啤麦 1 号	上海	2	啤酒大麦	2010
35	盐引 1 号	江苏	2	啤酒大麦	1997	76	海花 1 号	上海	2	啤酒大麦	2010
36	鄂大麦 6 号	湖北	2	啤酒大麦	1997	77	浙大 9 号	浙江	2	啤酒大麦	2010
37	新啤 1 号	新疆	2	啤酒大麦	1997	78	扬农啤 7 号	江苏	2	啤酒大麦	2010
38	甘啤 2 号	甘肃	2	啤酒大麦	1998	79	垦啤 6 号	甘肃	2	啤酒大麦	2010
39	乐啤 4 号	四川	2	啤酒大麦	1998	80	甘啤 6 号	甘肃	2	啤酒大麦	2010
40	花 30	上海	2	啤酒大麦	1999	81	甘啤 7 号	甘肃	2	啤酒大麦	2010
41	垦啤麦 3 号	黑龙江	2	啤酒大麦	1999	82	新啤 6 号	新疆	2	啤酒大麦	2010

表 1(续)

编号 No.	品种 Cultivars	来源 Origin	棱型 Row	类型 Type	育成年份 Year	编号 No.	品种 Cultivars	来源 Origin	棱型 Row	类型 Type	育成年份 Year
83	扬农啤 8 号	江苏	2	啤酒大麦	2011	120	浙皮 6 号	浙江	2	饲料大麦	2002
84	苏啤 6 号	江苏	2	啤酒大麦	2011	121	扬饲麦 3 号	江苏	2	饲料大麦	2002
85	龙啤麦 2 号	黑龙江	2	啤酒大麦	2011	122	华大麦 3 号	湖北	6	饲料大麦	2002
86	蒙啤麦 2 号	内蒙古	2	啤酒大麦	2011	123	浙皮 7 号	浙江	2	饲料大麦	2003
87	蒙啤麦 3 号	内蒙古	6	啤酒大麦	2011	124	鄂大麦 9 号	湖北	2	饲料大麦	2004
88	云啤 2 号	云南	2	啤酒大麦	2012	125	华大麦 4 号	湖北	6	饲料大麦	2004
89	凤大麦 6 号	云南	2	啤酒大麦	2012	126	华大麦 5 号	湖北	2	饲料大麦	2007
90	S-4	云南	2	啤酒大麦	2012	127	浙秀 22	浙江	2	饲料大麦	2008
91	云啤 4 号	云南	2	啤酒大麦	2012	128	秀麦 11	浙江	2	饲料大麦	2008
92	云啤 5 号	云南	2	啤酒大麦	2012	129	华大麦 8 号	湖北	2	饲料大麦	2009
93	云啤 9 号	云南	2	啤酒大麦	2012	130	西大麦 2 号	四川	6	饲料大麦	2009
94	云啤 10 号	云南	2	啤酒大麦	2012	131	华大麦 9 号	湖北	2	饲料大麦	2011
95	云啤 11 号	云南	2	啤酒大麦	2012	132	凤大麦 7 号	云南	2	饲料大麦	2012
96	云啤 7 号	云南	2	啤酒大麦	2013	133	凤 03-39	云南	6	饲料大麦	2012
97	凤啤麦 1 号	云南	2	啤酒大麦	2013	134	皖饲麦 1 号	安徽	6	饲料大麦	2012
98	凤啤麦 2 号	云南	2	啤酒大麦	2013	135	云饲麦 1 号	云南	6	饲料大麦	2012
99	蒙啤麦 4 号	内蒙古	2	啤酒大麦	2014	136	云饲麦 2 号	云南	6	饲料大麦	2012
100	扬农啤 10 号	江苏	2	啤酒大麦	2014	137	云饲麦 3 号	云南	6	饲料大麦	2012
101	云啤 12 号	云南	2	啤酒大麦	2014	138	保大麦 14 号	云南	6	饲料大麦	2012
102	云啤 14 号	云南	2	啤酒大麦	2014	139	西大麦 3 号	四川	6	饲料大麦	2012
103	云玉麦 1 号	云南	2	啤酒大麦	2014	140	云大麦 2 号	云南	2	饲料大麦	2013
104	凤大麦 9 号	云南	2	啤酒大麦	2014	141	皖饲麦 2 号	安徽	6	饲料大麦	2013
105	凤大麦 11 号	云南	2	啤酒大麦	2014	142	云饲麦 4 号	云南	6	饲料大麦	2014
106	甘垦啤 7 号	甘肃	2	啤酒大麦	2014	143	凤大麦 12 号	云南	2	饲料大麦	2014
107	龙啤麦 4 号	黑龙江	6	啤酒大麦	2015	144	保大麦 8 号	云南	6	饲料大麦	2014
108	扬农啤 11	江苏	2	啤酒大麦	2015	145	保大麦 13 号	云南	6	饲料大麦	2014
109	扬农啤 12	江苏	2	啤酒大麦	2015	146	保大麦 15 号	云南	6	饲料大麦	2014
110	云啤 15 号	云南	2	啤酒大麦	2015	147	保大麦 16 号	云南	6	饲料大麦	2014
111	云啤 17 号	云南	2	啤酒大麦	2015	148	中饲麦 1 号	北京	6	饲料大麦	2015
112	云啤 18 号	云南	2	啤酒大麦	2015	149	云饲麦 8 号	云南	6	饲料大麦	2015
113	云靖麦 2 号	云南	2	啤酒大麦	2015	150	云饲麦 9 号	云南	6	饲料大麦	2015
114	凤大麦 10 号	云南	2	啤酒大麦	2015	151	云饲麦 10 号	云南	6	饲料大麦	2015
115	凤大麦 13 号	云南	2	啤酒大麦	2015	152	保大麦 18 号	云南	6	饲料大麦	2015
116	浙原 18	浙江	2	饲料大麦	1996	153	保大麦 19 号	云南	6	饲料大麦	2015
117	鄂大麦 7 号	湖北	6	饲料大麦	1997	154	保大麦 21 号	云南	6	饲料大麦	2018
118	扬饲麦 1 号	江苏	6	饲料大麦	1998	155	保大麦 20 号	云南	6	饲料大麦	2019
119	驻大麦 4 号	河南	6	饲料大麦	2001						



## 1.2 试验方法

试验于 2021 年 3 月分别在山西大同(112°34'E, 39°03'N, 海拔 1040 m)和河北沽源(114°50'E, 41°13'N, 海拔约 1400 m)两个试验基地进行春播种植。大同基地土壤类型为轻壤偏沙,地力均等,年平均气温 7~9℃,年平均日照时数 2450 h,无霜期 140 d,年平均降水量 321.5 mm,主要集中在 7-9 月;沽源基地土壤为草甸栗盖土,地力均等,年平均温度 1.4℃,年平均日照大于 2900 h,无霜期 100 d,年平均降水量约 400 mm,且多集中在 6-9 月。

试验采用顺序区组排列,每个品种设 3 个重复,种植 1.5 m<sup>2</sup> 小区,行距 30 cm,播种量 30 粒/m,播种深度 3~4 cm,水肥管理和病虫害防治同当地大田生产一致。

## 1.3 性状考察与方法

按照《大麦种质资源描述规范和数据标准》<sup>[23]</sup>,调查了大同和沽源环境点材料的生育期,分别为 120 d、131 d。对各参试品种的每个重复选取 3 株长势基本一致的代表性植株进行考种,分别记录棱型、株高、穗长、穗粒数、穗节数、穗密度等,种子脱粒、烘干后利用万深考种仪对千粒重、粒长、粒宽等籽粒性状进行测定,其中穗密度(粒/cm)按主穗穗轴中部 4 cm 的穗粒数进行计算。

## 1.4 数据处理与统计分析

采用 Microsoft Excel 2013<sup>®</sup> 对数据进行统计处理和图表绘制,采用 SPSS 22.0 软件<sup>[24]</sup>进行相关性分析;利用 hclust 和 ggtree 等 R 语言<sup>[25]</sup>程序包对两个环境点的产量相关性状进行聚类分析,以欧氏距离作为品种间距离,以最长距离法为聚类方法绘制聚类图;使用 corplot 等 R 语言程序包对相关性进行可视化展示。

# 2 结果与分析

## 2.1 中国大麦育成品种产量性状分析

**2.1.1 不同棱型育成品种表型性状分布** 对 155 份中国大麦育成品种的株高、穗长、穗粒数、千粒重、穗节数、穗密度、粒长和粒宽等 8 个产量相关性状的表型鉴定结果显示(图 1),在大同和沽源两个环境下,六棱品种的平均株高分别比二棱品种高 15.9 cm 和 7.2 cm,平均穗长分别长 1.1 cm 和 0.5 cm,平均穗粒数分别多 33.0 粒和 42.3 粒,说明六棱品种不仅穗粒数高于二棱品种,平均株高和穗长也均高于二棱品种。然而,二棱品种比六棱品种的平均千粒重分别高 2.3 g 和 6.2 g,穗节数分别高 0.8 个和 1.6 个,

穗密度分别高 0.4 粒/cm 和 0.5 粒/cm,粒长分别高 0.4 mm 和 0.8 mm,粒宽分别高 0.1 mm 和 0.2 mm,表明二棱品种的千粒重、穗节数、穗密度、粒长和粒宽均高于六棱品种。所有育成品种的产量相关性状在两个环境点间,除穗密度差异不大外,其他 7 个性状的表型值在大同环境点普遍低于沽源环境点。此外,二棱大麦穗密度分别为 2.50~4.25 粒/cm 和 2.58~4.50 粒/cm,粒长分别为 8.5~11.1 mm 和 9.1~11.6 mm;而六棱品种的穗密度分别为 2.33~4.17 粒/cm 和 2.38~4.33 粒/cm,粒长分别为 7.4~11.2 mm 和 7.3~11.7 mm;表明二棱品种的穗密度变化范围高于六棱品种,但六棱品种的粒长变化范围明显高于二棱品种。

**2.1.2 不同时期不同类型育成品种的性状比较** 不同时期的青稞、啤酒大麦以及饲料大麦产量性状比较结果显示(图 2),在沽源环境点,2011 年以后育成品种与 2000 年以前育成品种相比,饲料大麦平均株高基本稳定,青稞和啤酒大麦育成品种的株高均呈下降趋势,分别降低了 11.1%、12.7%;青稞、啤酒大麦和饲料大麦的穗长分别增加了 12.6%、19.9%、8.2%,整体上均表现为逐渐增加趋势。在大同环境点,青稞、啤酒和饲料大麦的穗密度则表现为整体下降趋势,2011 年以后育成品种与 2000 年以前育成品种相比分别降低了 7.1%、21.4%、23.7%。

在粒重相关性状方面,沽源环境点所有类型育成品种的千粒重表现为逐渐增加,与 2000 年之前育成品种相比,2011 年以后新育成的青稞品种的平均千粒重增长了 2.7 g,达到 51.1 g,而啤酒大麦品种的平均千粒重在 2001 年之后基本稳定在 57.3 g 左右。在籽粒大小方面,与 2000 年之前相比,近 10 年新育成青稞、啤酒大麦和饲料大麦品种的平均粒宽分别增加了 3.3%、0.8%、1.9%,但所有类型育成品种的粒长基本不变。

## 2.2 表型变异分析

产量相关性状统计分析结果表明(表 2),在两个环境下,青稞品种的平均株高最高、平均穗长均最长,但平均穗密度低于啤酒大麦和饲料大麦;二棱和六棱饲料大麦的平均穗长差异不大,但二棱饲料大麦的穗密度高于六棱饲料大麦。在大同和沽源两个环境下,二棱饲料大麦的平均穗粒数分别为 18.76 粒和 26.75 粒,低于六棱饲料大麦的 45.89 粒和 67.29 粒,而二棱饲料大麦的平均千粒重分别为 46.98 g 和 57.79 g,高于六棱饲料大麦的 41.84 g 和 52.19 g。

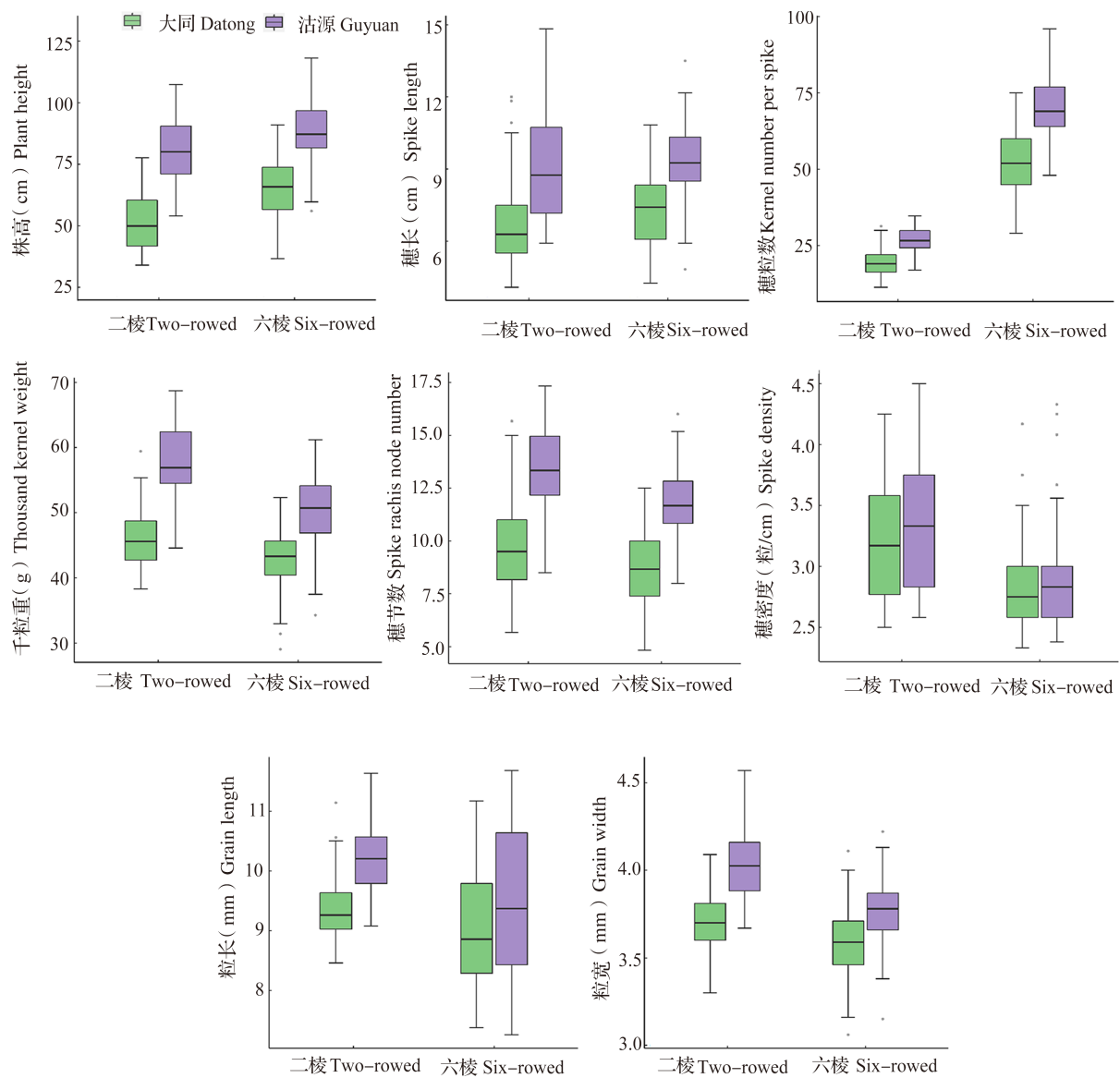


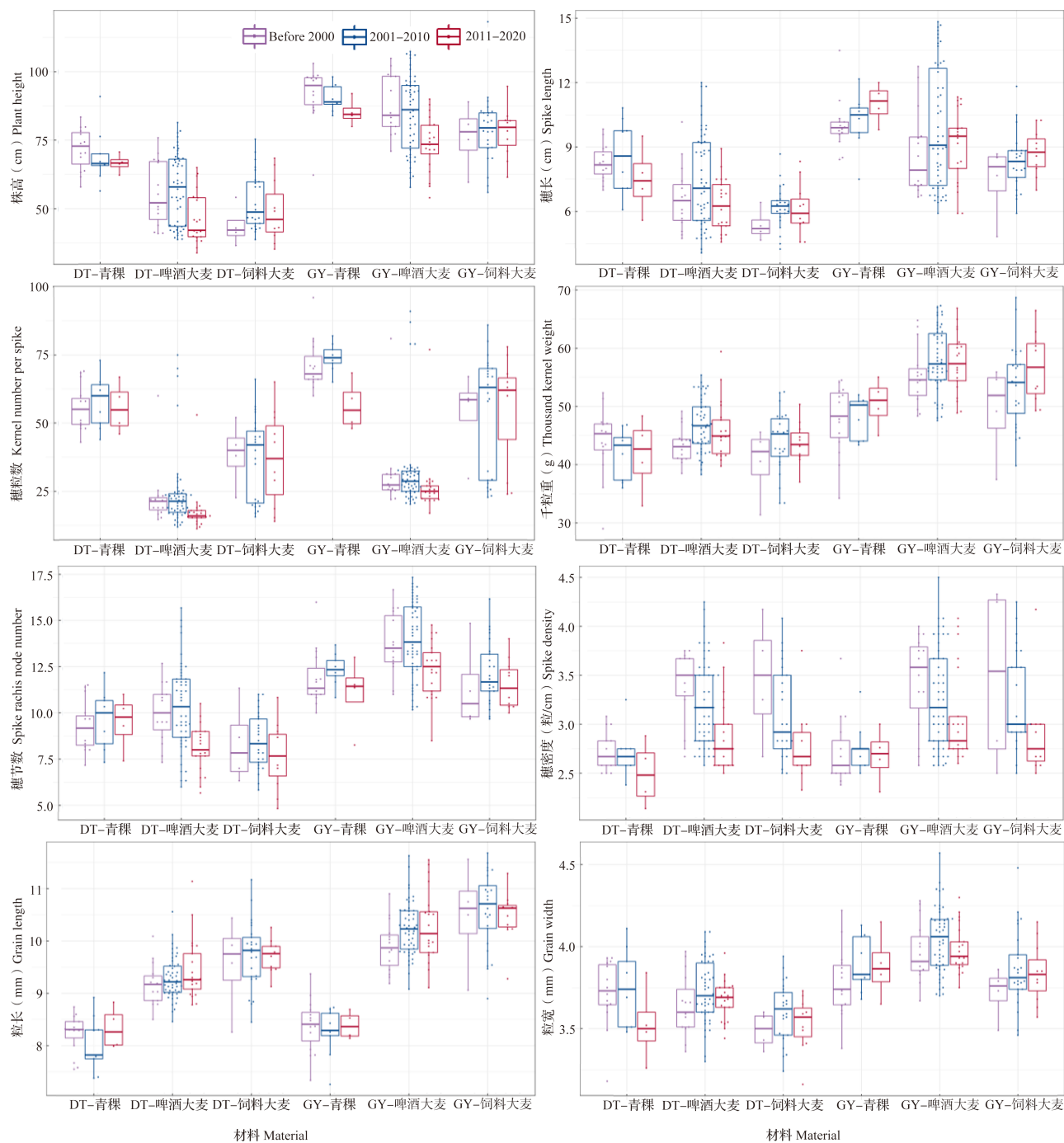
图 1 中国大麦育成品种在两个环境的 8 个产量相关性状分布

Fig.1 Bar-plots of eight yield-related traits of Chinese barley cultivars in two environments

在大同和沽源环境下,青稞和啤酒大麦穗长的变异系数较大,分别为 14.76%、28.32% (大同) 和 14.56%、27.29% (沽源),表明穗长在表型性状中的遗传变异丰富;青稞粒长的变异系数较小分别为 4.97%、5.49%,啤酒大麦粒宽的变异系数较小分别为 4.74%、4.48%,无论二棱还是六棱饲料大麦在两个环境中粒宽的变异系数均较小,表明粒宽的变异程度低。在沽源环境下青稞、啤酒大麦、饲料大麦各参试性状的平均值均高于大同环境,但除穗密度和粒长性状外,青稞和啤酒大麦其他表型性状的变异系数均低于大同。

### 2.3 相关性分析

相关性分析结果显示(图 3),对啤酒大麦和饲料大麦来说,同一性状在两个环境点之间呈极显著正相关,同一环境点的千粒重与粒长、粒宽呈极显著的正相关;啤酒大麦的株高、穗长、穗节数三者呈极显著正相关。在同一环境点,青稞和啤酒大麦的穗密度和千粒重呈负相关,尤其在啤酒大麦中呈极显著负相关,而穗节数和穗粒数呈极显著的正相关。青稞、啤酒大麦和饲料大麦的穗长与穗密度呈负相关,尤其在沽源环境点呈极显著负相关,表明各性状之间相互影响,单独提高某一性状不一定有利于产量的提升。



DT: 大同; GY: 沽源

DT: Datong; GY: Guyuan

图 2 不同时期不同类型中国大麦育成品种的表型变化

Fig.2 Phenotypic changes of different types of Chinese barley cultivars in different periods

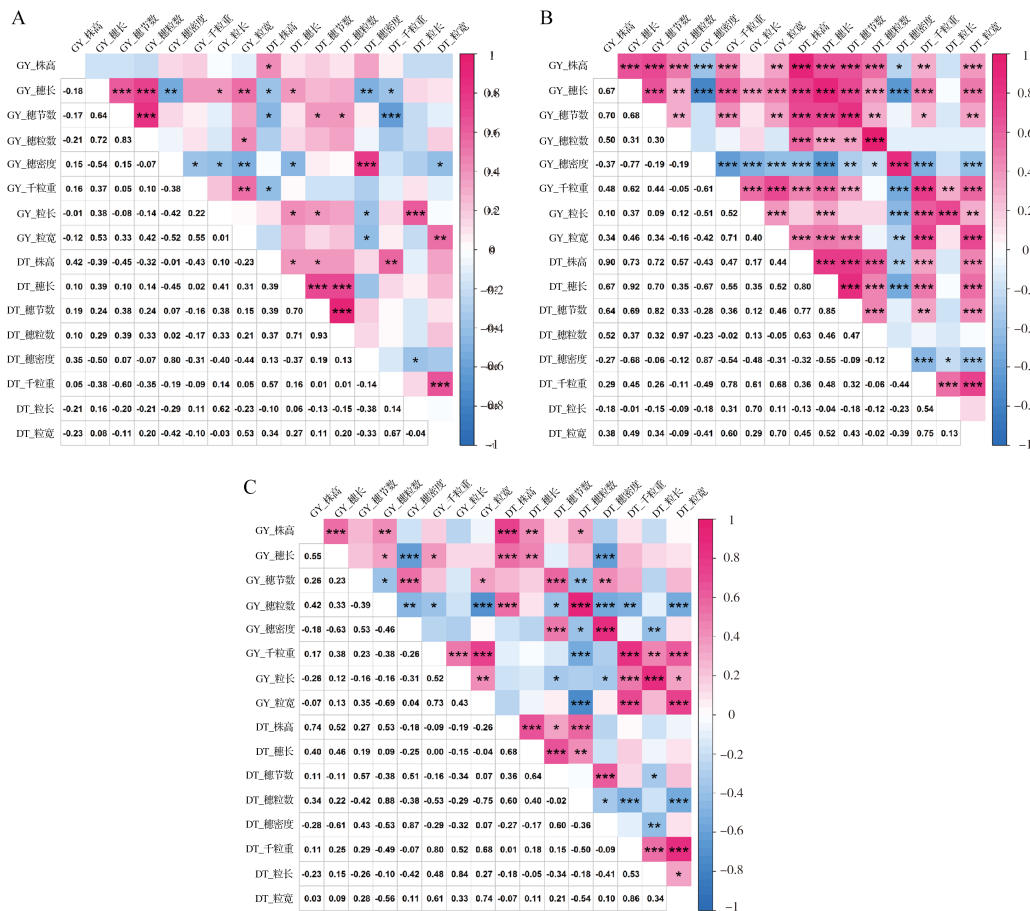
表 2 中国大麦育成品种产量相关性状的变异程度分析

Table 2 Analysis on variation degree of yield-related traits of Chinese barley cultivars

类型 Type	参数 Parameter	大同 Datong						沽源 Guyuan									
		株高 (cm) PH	穗长 (cm) SL	穗节数 SRN	穗粒数 KN	穗密度 (粒/cm) SD	千粒重 (g) TKW	粒长 (mm) GL	粒宽 (mm) GW	株高 (cm) PH	穗长 (cm) SL	穗节数 SRN	穗粒数 KN	穗密度 (粒/cm) SD	千粒重 (g) TKW	粒长 (mm) GL	粒宽 (mm) GW
青稞 Qingke barley	平均值	71.29	8.24	9.42	56.07	2.75	43.05	8.15	3.67	92.68	9.78	11.89	70.02	2.80	47.78	8.34	3.77
	标准差	8.31	1.22	1.39	8.11	0.24	5.26	0.40	0.26	8.60	1.42	1.45	9.71	0.35	4.64	0.46	0.24
	最大值	91.00	10.83	12.17	73.00	3.42	52.33	8.92	4.11	108.00	13.50	16.00	96.00	3.67	54.49	9.37	4.22
	最小值	56.50	5.60	7.17	43.00	2.38	29.02	7.38	3.06	62.33	6.00	8.00	48.00	2.38	34.26	7.26	3.15
	极差	34.50	5.23	5.00	30.00	1.05	23.31	1.54	1.05	45.67	7.50	8.00	48.00	1.29	20.23	2.11	1.07
啤酒大麦 Malting barley	变异系数(%)	11.66	14.76	14.72	14.47	8.87	12.23	4.97	7.02	9.28	14.56	12.21	13.87	12.60	9.71	5.49	6.37
	平均值	53.01	6.92	9.67	19.34	3.18	46.12	9.31	3.71	81.32	9.38	13.53	27.06	3.26	57.65	10.17	4.03
	标准差	11.94	1.96	2.21	4.42	0.45	4.54	0.47	0.18	13.02	2.56	2.02	4.03	0.51	5.44	0.57	0.18
	最大值	77.67	12.00	15.67	31.33	4.25	59.43	11.14	4.09	107.33	14.83	17.33	34.67	4.50	67.33	11.63	4.57
	最小值	34.00	4.08	5.67	11.33	2.50	38.30	8.46	3.30	54.00	5.92	8.50	17.00	2.58	47.56	9.08	3.67
饲料大麦 (二棱) Feed barley (two rowed)	极差	43.67	7.92	10.00	20.00	1.75	21.13	2.68	0.79	53.33	8.92	8.83	17.67	1.92	19.77	2.55	0.90
	变异系数(%)	22.51	28.32	22.87	22.87	14.07	9.85	5.04	4.74	16.00	27.29	14.90	14.90	15.57	9.43	5.60	4.48
	平均值	45.59	6.08	9.38	18.76	3.44	46.98	9.69	3.71	74.26	7.99	13.38	26.75	3.59	57.79	10.61	4.06
	标准差	6.80	0.39	1.35	2.69	0.40	3.56	0.42	0.10	10.48	1.11	1.44	2.88	0.43	7.14	0.58	0.19
	最大值	60.50	6.83	11.33	22.67	4.08	52.50	10.35	3.94	90.67	10.17	16.17	32.33	4.25	68.70	11.49	4.48
饲料大麦 (六棱) Feed barley (six rowed)	最小值	35.33	5.42	7.00	14.00	2.67	41.96	8.84	3.57	58.40	6.75	11.40	22.80	2.92	44.56	9.47	3.79
	极差	25.17	1.42	4.33	8.67	1.42	10.55	1.51	0.37	32.27	3.42	4.77	9.53	1.33	24.14	2.02	0.69
	变异系数(%)	14.93	6.47	14.34	14.34	11.71	7.57	4.34	2.82	14.11	13.94	10.77	10.77	11.83	12.35	5.48	4.74
	平均值	53.31	6.09	7.65	45.89	2.85	41.84	9.73	3.50	80.48	8.52	11.21	67.29	2.97	52.19	10.51	3.74
	标准差	11.16	1.20	1.50	8.99	0.41	4.64	0.66	0.16	11.32	1.36	1.19	7.11	0.49	6.17	0.74	0.13
啤酒大麦 (六棱) Feed barley (six rowed)	最大值	75.33	8.67	11.00	66.00	4.17	50.94	11.17	3.87	118.17	11.83	14.33	86.00	4.33	61.20	11.68	3.99
	最小值	36.67	4.25	4.83	29.00	2.33	31.39	8.26	3.16	56.00	4.83	9.67	58.00	2.50	37.46	8.90	3.46
	极差	38.67	4.42	6.17	37.00	1.83	19.56	2.90	0.71	62.17	7.00	4.67	28.00	1.83	23.74	2.79	0.53
	变异系数(%)	20.94	19.77	19.60	19.60	14.25	11.08	6.75	4.48	14.06	15.95	10.57	10.57	16.44	11.82	7.08	3.55

PH: Plant height; SL: Spike length; SRN: Spike rachis node number; KN: Kernel number per spike; SD: Spike density; TKW: Thousand kernel weight; GL: Grain length; GW: Grain width, the same as below





A: 青稞; B: 啤酒大麦; C: 饲料大麦; \* 在 0.05 水平上显著相关; \*\* 在 0.01 水平上显著相关; \*\*\* 在 0.001 水平上显著相关; 红色正相关, 蓝色负相关, 颜色越深代表相关系数越大

A: Qingke barley; B: Malting barley; C: Feed barley; \* indicate significantly correlated at the 0.05 level; \*\* indicate significantly correlated at the 0.01 level; \*\*\* indicate significantly correlated at the 0.001 level; Red is positively correlated, blue is negatively correlated, and the darker the color, the greater the correlation coefficient

图 3 不同类型中国大麦育成品种产量性状的相关性分析

Fig.3 Correlation analysis of yield traits in different types of Chinese barley cultivars

## 2.4 聚类分析

对 155 份中国大麦育成品种 8 个产量相关的表型数据标准化后,通过最长距离法对两个环境点的产量性状进行聚类分析。结果显示,大同和沽源环境下均可将这些品种划分为 4 个类群(图 4),根据其环境间聚类一致的品种的主要产量特征可概括为:高秆多粒组(第 I 类群)、中矮秆组(第 II 类群)、长穗高千粒重组(第 III 类群)和长粒稀穗组(第 IV 类群)。

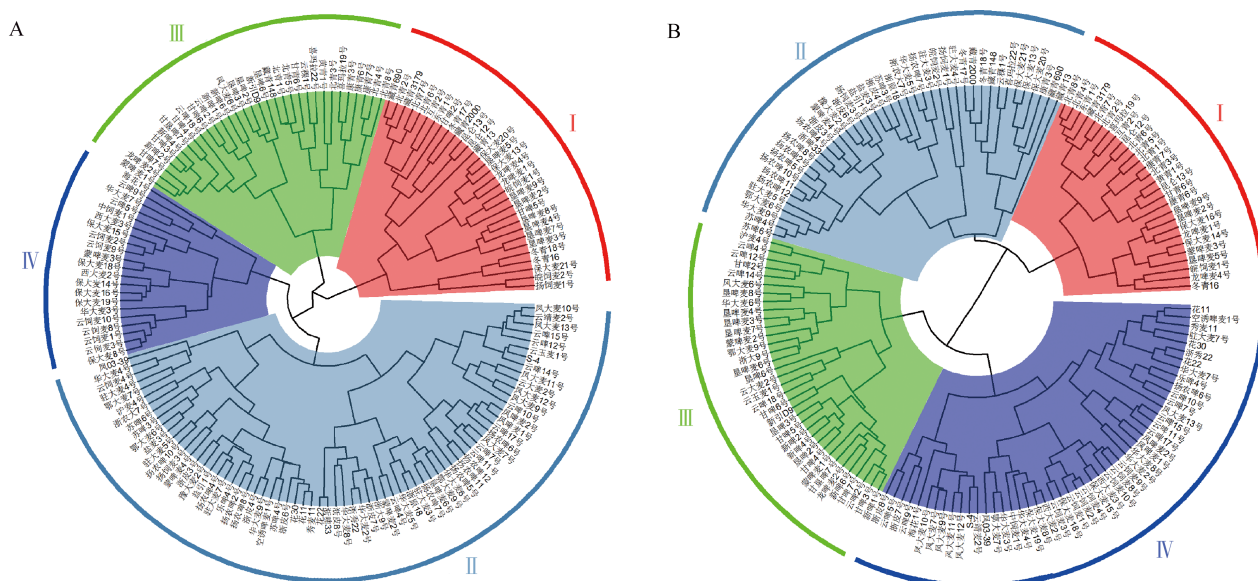
大同和沽源环境点第 I 类群材料分别有 31 份和 28 份,占全部供试材料的 20.0% 和 18.1%,其中两个环境间聚类分组一致的品种有 15 个,该类群主要产量特征为株高高、穗粒数多,以青藏高原青稞和北方春麦区的啤酒大麦品种为主;第 II 类群材料分别有 71 份和 42 份,占全部供试材料的 45.8% 和 27.1%,其中环境间聚类一致的品种有 28 个,该

类群品种特点为株高相对较矮、穗密度高,以长江中下游的啤酒大麦品种为主;第 III 类群材料分别有 32 份和 35 份,占全部供试材料的 20.6% 和 22.6%,其中环境间聚类一致的品种 18 个,该类群品种特点为高千粒重、长穗,以西南、西北的啤酒大麦品种为主;第 IV 类群材料分别有 21 份和 50 份,占全部供试材料的 13.5% 和 32.3%,其中环境间聚类一致的品种有 18 个,该类群品种特点为籽粒长,穗节数多,以西南的饲料大麦为主。

同时,近半数品种在两个环境下分别聚到不同类群。如青藏高原的冬青 17 号、藏青 690 和藏青 2000 等青稞品种,西南地区的保大麦 13 号等保大麦系列饲料大麦品种在大同环境下聚为第 I 类群,但在沽源环境,由于株高增幅小于其他品种,从而聚为第 II 类群;西南地区的云啤 10 号等云啤系列啤酒大麦品种在大同环境聚为第 II 类群,但在沽源环

境聚为第Ⅳ类群。进一步比较云啤 10 号等在两个环境间表型差异,发现由于粒长的变化导致分组发

生改变,反映了不同环境条件对于同一品种的产量性状形成具有较大影响。



A: 大同; B: 沽源

A: Datong; B: Guyuan

图 4 中国大麦育成品种产量相关性状聚类分析

Fig.4 Cluster analysis of yield-related characters of Chinese barley cultivars

### 3 讨论

青稞和大麦分别作为我国区域性主粮、酿造和饲料工业的重要原料,实现稳产增产对于促进边疆稳定、民族团结,满足多元化消费需求具有重要意义。然而作物产量构成要素之间相互关联,各性状之间存在不同程度的相关性,使得产量性状的协同改良难度较大<sup>[26]</sup>。这就要求在育种工作中,在以高产为育种目标时,需有针对性地选择亲本材料,充分协调各产量性状间的相互关系。本研究的鉴定分析结果表明,青稞品种的平均穗密度低于啤酒和饲料大麦;啤酒大麦在不同环境下的株高、穗长、穗节数相互之间呈显著正相关,啤酒和饲料大麦的千粒重与粒长、粒宽呈极显著的正相关,这与前人研究结果基本一致<sup>[27-28]</sup>。

同一品种在不同的生态、栽培条件下产量也会有较大的差异,主要是因为生态环境导致品种的群体结构和产量构成因素改变所致<sup>[29]</sup>。对我国不同时期推广的育成品种的产量相关性状鉴定结果表明,尽管大同和沽源两个环境下由于气候条件导致生育期差异,但啤酒和饲料大麦的同一性状在两个环境点之间表现为极显著正相关,其变化趋势基本一致。青稞和啤酒大麦育成品种的株高均呈

现下降趋势,但降幅之间差异显著,相比啤酒大麦,青稞平均株高降低幅度较小,表明青藏高原地区传统畜牧业养殖方式,对高秆高生物量型青稞品种的青睐。啤酒大麦以及饲料大麦的千粒重在品种演变过程中明显提高,不同时期育成品种的粒宽最低增幅也接近于 1% 以上,且同千粒重性状极显著相关,表明大麦育成品种千粒重的持续提高主要是由于对籽粒大小,特别是粒宽的改良增益导致的库容增大所致。此外,青稞品种的平均千粒重为 47.78 g,与啤酒和饲料大麦相比相差 8% 以上,主要表现在六棱和二棱的棱型效应差异上,未来开展二棱青稞育种将有望大幅度地改良和提升青稞千粒重性状。

对产量相关性状的聚类分析发现,高海拔青藏高原地区青稞和北方高纬度啤酒大麦品种同聚在高秆多粒组(第Ⅰ类群),表明了高纬度和高海拔育种选择具有一定的同效性。长江中下游地区、西北地区啤酒大麦品种以及西南地区饲料大麦品种分别主要聚类为中矮秆组(第Ⅱ类群)、长穗高千粒重组(第Ⅲ类群)和长粒稀穗组(第Ⅳ类群),与赵斌等<sup>[20]</sup>、刘亚楠等<sup>[30]</sup>研究结果相似。在本研究中半数(49%)品种的产量性状受气候条件和生育期影响较大,呈现出显著的环境敏感性和不同环

境条件下分组变化,在两个环境下,株高变幅较小的藏青 690、藏青 2000 等青稞品种,与昆仑 12 号、昆仑 13 号等株高增幅显著的青稞品种产生聚类分组差异。同时,青稞、啤酒大麦和饲料大麦等不同品种类型未完全聚在一起,一方面显示了我国各大麦青稞产区生态环境差异大,导致各主产区所选育的大麦品种,由于品种类型的不同和环境适应性差异导致产量相关性状差异大,另一方面也反映出不同生态条件下,培育多元化品种的必要性。

尽管针对大麦抗病、抗逆以及表型变异等偏质量性状的遗传研究进展迅速,但由于产量性状的复杂性,对其遗传特性解析的深度不足,导致产量相关基因发掘进展缓慢。同时,产量的形成是库-源-流协同作用的结果,还受到群体水平的株型结构、光合效能等影响。本研究仅对中国大麦育成品种部分产量表型性状进行了鉴定评价,有待进一步开展全基因组基因型鉴定,以及其他产量相关性状的深入鉴定评价,逐步明确影响大麦产量相关性状形成的分子机制,发掘一批产量相关关键功能基因,综合运用加倍单倍体(DH)、分子辅助(MAS)、全基因组选择(WGS)、基因编辑(GE)等新型改良技术,是高效开展大麦优异种质创制和新品种改良的重要途径。

## 4 结论

对中国大麦育成品种 8 个产量相关性状的鉴定结果表明,大麦品种产量性状提升主要得益于千粒重的持续提高,但适应性改良方面仍有不足,进一步开展大麦产量形成的库-源-流协同机制研究、产量相关性状优异和广适性强种质资源筛选利用以及相关功能基因发掘,是促进大麦高产育种效率提升的重要方向。

### 致谢

本研究所用试验材料中,除部分历史品种为国家粮食作物中期库保存外,其他仍在新品种权保护期内或享有相关知识产权权属的品种均为相应育种家团队提供,在此一并表示感谢。

### 参考文献

- [1] Hayes P M, Castro A, Marquez-Cedillo L, Corey A, Sato K. Genetic diversity for quantitatively inherited agronomic and malting quality traits. *Developments in Plant Genetics and Breeding*, 2003 (7): 201-226
- [2] 赵云,李鹏兵,孔建平,谢香文,俞天胜,赵亮,贾永红,魏海

鹏,方伏荣,向莉. 不同生育时期追施氮肥对啤酒大麦生长动态及品质的影响. *新疆农业科学*, 2020, 57 (12): 2176-2185

Zhao Y, Li P B, Kong J P, Xie X W, Yu T S, Zhao L, Jia Y H, Wei H P, Fang F R, Xiang L. Effects of nitrogen fertilizer application on growth dynamics and quality of malting barley in different growth periods. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2020, 57 (12): 2176-2185

- [3] Jenkins G, 顾千若 译. 大麦(综述). *麦类作物学报*, 1986 (2): 27-30

Jenkins G, Gu Q R. Barley (Review). *Journal of Triticeae Crops*, 1986 (2): 27-30

- [4] 赵理清,陆美琴. 我国大麦品种的选育. *浙江农业科学*, 1992 (6): 253-258

Zhao L Q, Lu M Q. Breeding of barley cultivars in China. *Zhejiang Agricultural Science*, 1992 (6): 253-258

- [5] 徐先良,赖勇,王鹏喜,范贵强,汪军成,王晋,孟亚雄,李葆春,马小乐,王化俊. 大麦亲本材料农艺性状鉴定及遗传多样性分析. *麦类作物学报*, 2013, 33 (4): 640-646

Xu X L, Lai Y, Wang P X, Fan G Q, Wang J C, Wang J, Meng Y X, Li B C, Ma X L, Wang H J. Identification of agronomic traits and genetic diversity analysis of barley parent materials. *Journal of Triticeae Crops*, 2013, 33 (4): 640-646

- [6] 夏腾飞,王蕾,徐金青,王寒冬,张怀刚,刘登才,沈裕虎,昌西. 267 份青藏高原青稞种质材料的表型多样性分析. *西北农业学报*, 2018, 27 (2): 182-193

Xia T F, Wang L, Xu J Q, Wang H D, Zhang H G, Liu D C, Shen Y H, Chang X. The genotypic diversity analysis of 267 six-rowed hulless barley accessions from the Qinghai-Tibetan Plateau. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2018, 27 (2): 182-193

- [7] Gangopadhyay N, Hossain M B, Rai D K, Brunton N P. A review of extraction and analysis of bioactives in oat and barley and scope for use of novel food processing technologies. *Molecules*, 2015, 20 (6): 10884-10909

- [8] 蔡文涛,陈文若,陈银基,负婷婷,桑伟,任贵兴. 大麦功能活性物质含量与抗氧化活性的关系. *中国食品学报*, 2018, 18 (11): 232-239

Qi W T, Chen W R, Chen Y J, Yun T T, Sang W, Ren G X. An exploration of the correlation between the contents of functional active substances in barley and their antioxidant capacity. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18 (11): 232-239

- [9] 郭鹏燕,任杰成,赵吉平,权宝全,许瑛,岳茂林. 不同基因型冬小麦种质资源的遗传多样性研究. *种子*, 2021, 40 (8): 25-29, 38

Guo P Y, Ren J C, Zhao J P, Quan B Q, Xu Y, Yue M L. Study on genetic diversity of winter wheat germplasm resources with different genotypes. *Seed*, 2021, 40 (8): 25-29, 38

- [10] 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

Hu B L, Wan Y, Li X, Lei J G, Luo X D, Yan W G, Xie J K. Analysis on genetic diversity of phenotypic traits in rice (*Oryza sativa*) core collection and its comprehensive assessment. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38 (5): 829-839



- [11] 董承光,王娟,周小凤,马晓梅,李生秀,余渝,李保成. 基于表型性状的陆地棉种质资源遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2016, 17(3): 438-446  
Dong C G, Wang J, Zhou X F, Ma X M, Li S X, Yu Y, Li B C. Evaluation on genetic diversity of cotton germplasm resources (*Gossypium hirsutum* L.) on morphological characters. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17(3): 438-446
- [12] Abadya S, Shimelis H, Janila P, Mashilo J, Chaudhari S, Manohar S S. Assessment of the genetic diversity of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) genotypes for kernel yield, oil and fodder quantity and quality under drought conditions. Crop Science, 2021, 61(3): 1926-1943
- [13] 吴承金,陈火云,宋威武. 国内育成马铃薯品种资源的表型及品质性状综合评价. 中国瓜菜, 2021, 34(7): 43-49  
Wu C J, Chen H Y, Song W W. Comprehensive evaluation of phenotypic and quality characters of potato cultivars in China. China Cucurbits and Vegetables, 2021, 34(7): 43-49
- [14] 杨玉蓉,孙建昌,王兴盛,韩龙植. 宁夏不同年代水稻品种的遗传多样性比较. 植物遗传资源学报, 2014, 15(3): 457-464  
Yang Y R, Sun J C, Wang X S, Han L Z. Comparative analysis of genetic diversity for different period rice varieties in Ningxia. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(3): 457-464
- [15] Paunovic A S, Madic M, Knezevic D, Djurovic D. The interdependence of productive and technological traits in two-rowed spring barley. Acta Agriculturae Serbica, 2006, 22(6): 37-43
- [16] Madic M, Paunovic A, Djurovic D, Knezevic D. Correlations and "Path" coefficient analysis for yield and yield components in winter barley. Acta Agriculturae Serbica, 2005, 20(5): 3-9
- [17] Miroslavjevic M, Przulj N, Canak P, Momcilovic V, Acin V, Jockovic B, Hristov N, Mladenov N. Relationship between grain yield and agronomic traits in winter barley. Ratarstvo i Povrtarstvo, 2015, 52(2): 74-79
- [18] 邵战宁,冯辉,薛正刚,杨永乾,王树杰,潘正茂. 28 个大麦品种(系)主要农艺性状分析. 作物杂志, 2018(1): 77-82  
Gao Z N, Feng H, Xue Z G, Yang Y Q, Wang S J, Pan Z M. Analysis of main agronomic traits of 28 barley varieties (Lines). Crops, 2018(1): 77-82
- [19] 牛小霞,柳小宁,潘永东,包奇军,张华瑜,赵锋. 97 份大麦种质资源农艺性状分析与评价. 种子, 2021, 40(8): 68-72, 77  
Niu X X, Liu X N, Pan Y D, Bao Q J, Zhang H Y, Zhao F. Analysis and evaluation of agronomic traits of 97 barley germplasm resources. Seed, 2021, 40(8): 68-72, 77
- [20] 赵斌,陈晓东,季昌好,朱斌,王瑞. 111 份多棱大麦种质主要农艺性状的遗传多样性. 大麦与谷类科学, 2020, 37(5): 1-7  
Zhao B, Chen X D, Ji C H, Zhu B, Wang R. Analysis of the genetic diversity of the main agronomic traits of 111 multi-rowed barley germplasm accessions. Barley and Cereal Sciences, 2020, 37(5): 1-7
- [21] 蒋莹,常蕾,王安,吴薇,焦庆清. 143 份大麦种质资源主要农艺性状遗传多样性分析. 江苏农业科学, 2020, 48(14): 94-98  
Jiang Y, Chang L, Wang A, Wu W, Jiao Q Q. Genetic diversity of main agronomic characters of 143 barley germplasm resources. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(14): 94-98
- [22] 赵加涛,刘猛道,杨向红,付正波,方可团,赵有超. 保山市大  
麦种质资源的评价与利用. 种子, 2016, 35(4): 65-67, 80  
Zhao J T, Liu M D, Yang X H, Fu Z B, Fang K T, Zhao Y C. Evaluation and utilization of barley germplasm resources in Baoshan. Seed, 2016, 35(4): 65-67, 80
- [23] 张京,刘旭. 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  
Zhang J, Liu X. Descriptors and data standard for barley (*Hordeum vulgare* L.). Beijing: China Agricultural Publishers, 2006
- [24] 马艳明,冯智宇,王威,张胜军,郭营,倪中福,刘杰. 新疆冬小麦品种农艺及产量性状遗传多样性分析. 作物学报, 2020, 46(12): 1997-2007  
Ma M Y, Feng Z Y, Wang W, Zhang S J, Guo Y, Ni Z F, Liu J. Genetic diversity analysis of winter wheat landraces and modern bred varieties in Xinjiang based on agronomic traits. Acta Agronomica Sinica, 2020, 46(12): 1997-2007
- [25] 白雪花,王延周,魏忆萍,马永红,饶晶,高馨悦,扶雅芬,王满生,刘头明,朱四元. 298 份苧麻种质资源纤维产量性状综合评价. 植物遗传资源学报, 2022, 23(1): 106-122  
Bai X H, Wang Y Z, Wei Y P, Ma Y H, Rao J, Gao X Y, Fu Y F, Wang M S, Liu T M, Zhu S Y. Comprehensive evaluation of fiber yield traits of 298 ramie germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(1): 106-122
- [26] 张英虎,沈会权,臧慧,栾海业,乔海龙,陶红,陈健,徐肖,杨红燕,陈和. 大麦种质资源穗长、每穗实粒数和千粒重的表型分析. 浙江农业科学, 2018, 59(10): 1794-1796, 1798  
Zhang Y H, Shen H Q, Zang H, Luan H Y, Qiao H L, Tao H, Chen J, Xu X, Yang H Y, Chen H. Phenotype analysis of ear length, filled grain per panicle and 1 000-grain weight of barley germplasm resource. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2018, 59(10): 1794-1796, 1798
- [27] 杜欢,马彤彤,侯晓梦,张颖,白志英,李存东. 20 对大麦株高近等基因系农艺与产量性状差异及相关性分析. 华北农学报, 2016, 31(5): 114-121  
Du H, Ma T T, Hou X M, Zhang Y, Bai Z Y, Li C D. Difference and correlation analysis of agronomic and yield characters in twenty pairs near-isogenic line of plant height of barley. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2016, 31(5): 114-121
- [28] 王寒冬,张波,陈文杰,刘宝龙,刘登才,张怀刚. 青海小麦品种的种子表型性状分析. 麦类作物学报, 2015, 35(4): 471-478  
Wang H D, Zhang B, Chen W J, Liu B L, Liu D C, Zhang H G. Phenotypic analysis of grain traits of wheat cultivars registered in Qinghai province. Journal of Triticeae Crops, 2015, 35(4): 471-478
- [29] 赵加涛. 保大麦 14 号主要农艺性状与产量的相关性和通径分析. 中国种业, 2016(2): 49-51  
Zhao J T. Correlation and path analysis of main agronomic characters and yield of Baodamai 14. China Seed Industry, 2016(2): 49-51
- [30] 刘亚楠,潘雨涵,郭晖,朱明超,文正怀,吕超,郭宝健,许如根. 六棱大麦种质表型遗传多样性评价. 植物遗传资源学报, 2018, 19(5): 846-856  
Liu Y N, Pan Y H, Guo H, Zhu M C, Wen Z H, Lv C, Guo B J, Xu R G. Comprehensive evaluation of genetic diversity in six-rowed barley germplasm. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(5): 846-856