

网络出版时间:2025-01-13

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1359.S.20250113.0951.006

大麦与马铃薯间作模式下大麦农艺性状和产量综合分析

赵塔^{1,2}, 杨丽娥², 官秀娇^{1,2}, 杨晓梦², 普晓英², 李霞²,
杨砚斌^{1,2}, 杨加珍², 李叶², 和习琼³, 曾亚文^{1,2}

(1. 云南大学资源植物研究院, 云南昆明 650504; 2. 云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所, 云南昆明 650205;
3. 云南省丽江市农业科学研究所, 云南丽江 674100)

摘要:为探究不同种植模式对大麦农艺性状及产量的影响, 筛选出与马铃薯间作种植优异的大麦品种, 以64份云南大麦品种与紫色马铃薯间作, 大麦单作为对照, 分析不同种植模式下及不同棱形大麦农艺性状和产量的变异表现、遗传多样性和相关性, 并对间作下64份大麦品种进行聚类分析及主成分分析, 在主成分分析的基础上进行综合评价, 筛选出与马铃薯间作综合表现较好的大麦品种。结果表明:(1) 64个大麦品种的农艺性状具有较高的遗传多样性, 在两种种植模式下, 单株粒重、单株穗重、单株秆重的遗传变异程度均较高, 其中间作模式下株高、茎粗、旗叶长等性状具有较高的遗传多样性指数(>2.0); (2) 单作和间作模式下, 二棱大麦的有效穗数、穗长、结实率、穗密度和千粒重均高于多棱大麦, 而多棱大麦的节间长度、茎粗、旗叶宽、单株秆重、单株穗重、单株粒重均高于二棱大麦; (3) 与单作相比, 大麦有效穗数、节间长度、茎粗、结实率、单株秆重、单株穗重、单株粒重、千粒重及产量在间作模式下均下降, 但土地当量比(LER)大于1, 说明大麦与马铃薯间作体系有优势, 且多棱大麦与马铃薯的间作优势强于二棱大麦与马铃薯间作; (4) 在两种种植模式下, 大麦产量主要与单株穗重和单株粒重显著相关; (5) 通过聚类分析可将间作模式下64份大麦品种可划分为矮秆中产、中秆低产、高秆低产、矮秆高产等四大类, 其中矮秆高产类的性状特征较符合间作下高产优质大麦品种要求。经主成分分析, 在64份大麦品种中, 矮思82秆1、MF21-30、云稞1号、MF20-16和云饲麦16号的综合性状较优, 可作为最适宜与马铃薯间作的优良大麦品种。

关键词: 间作; 大麦; 马铃薯; 农艺性状; 产量; 综合评价

中图分类号: S512.3; S311

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2025)06-0832-15

Comprehensive Analysis of Agronomic Characters and Yield of Barley under Barley and Potato Intercropping

ZHAO Ta^{1,2}, YANG Li'e², GUAN Xiujiao^{1,2}, YANG Xiaomeng², PU Xiaoying², LI Xia²,
YANG Yanbin^{1,2}, YANG Jiazhen², LI Ye², HE Xiqiong³, ZENG Yawen^{1,2}

(1. Institute of Resource Plants, Yunnan University, Kunming, Yunnan 650504, China; 2. Institute of Biotechnology and Germplasm Resources, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan 650205, China; 3. Lijiang Academy of Agricultural Sciences, Lijiang, Yunnan 674100, China)

Abstract: In order to explore the effects of different planting patterns on the agronomic traits and yield of barley varieties, and to select excellent barley varieties for intercropping with potatoes, 64 Yunnan barley varieties were used to intercropped with one purple potato variety, with mono-cropped barley serving as the control group for comparisons. The variation, genetic diversity, and correlation of agronomic traits and yields in different planting patterns and row-typed barley, and the clustering and

收稿日期: 2024-05-24 修回日期: 2024-07-05

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD1100402); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-05-01A-04); 云南省农业科学院人才引培项目(2024RCYP-22)

第一作者 E-mail: 17787828336@163.com(赵塔); yangyanglie@163.com(杨丽娥)

通讯作者 E-mail: zengyw1967@126.com(曾亚文)

principal component analysis of 64 barley varieties were analyzed. Based on the principal component analysis, a comprehensive evaluation was conducted to select barley varieties with better performance in intercropping with potatoes. The results showed that the 64 barley varieties exhibited high genetic diversity in agronomic traits, with high variation coefficients in grain weight per plant, spike weight per plant, stalk weight per plant under two planting patterns; the traits such as plant height, stem diameter, and flag leaf length under intercropping showed high Shannon diversity indices (greater than 2.0). Under both monocropping and intercropping, the two-rowed barley had higher effective spike number, spike length, seed setting rate, spike density, and thousand-grain weight, compared to the multi-rowed barley; conversely, the multi-rowed barley exhibited greater internode length, stem diameter, flag leaf width, stalk weight per plant, spike weight per plant, and grain weight per plant than those of the two-rowed barley. Compared with mono-cropping, the effective spike number, internode length, stem diameter, seed setting rate, stalk weight per plant, spike weight per plant, grain weight per plant, thousand-grain weight, and yield of barley varieties under intercropping were decreased. However, the land equivalent ratio (LER) was greater than 1, indicating an advantage of the barley-potato intercropping system, and the intercropping between multi-rowed barley and potato was more advantageous than two-rowed barley and potato. Under both monocropping and intercropping, correlation analysis showed that barley yield was significantly related to spike weight per plant and grain weight per plant. Clustering analysis was used to classify 64 barley varieties under intercropping, which were divided into four types, including short-stem with moderate-yield, medium-stem with low-yield, tall-stem with low-yield, and short-stem with high-yield. Among these, the fourth category was considered as promising germplasm, which is suitable for intercropping with potatoes. Principal component analysis and comprehensive evaluation identified five barley varieties with better comprehensive traits under intercropping: Aisi 82-1, MF 21-30, Yunkel, MF 20-16, and Yunsi 16, which can be considered as the most suitable barley varieties for intercropping with potatoes.

Keywords: Intercropping; Barley; Potato; Agronomic traits; Yield; Comprehensive evaluation

大麦 (*Hordeum vulgare* L.) 属于冷季粮草兼用型禾本科作物,栽培历史悠久,具有耐贫瘠、适应性强、营养丰富、早熟等特点,是世界上最古老的栽培作物之一^[1-2]。大麦茎秆柔嫩多汁且适口性好,是优质的青饲和青贮原料^[3]。“粮草双高型”青稞品种在青藏高原地区广泛种植,其秸秆作为牦牛饲养的主要饲草,是中国高寒地区冬春季饲草重要来源^[4-5]。大麦籽粒不仅具有食用、饲用、酿酒等用途,而且具有多种生物活性和保健功能^[6-8],其抗氧化酶活性及黄酮、 γ -氨基丁酸和蛋白质含量高,氨基酸、矿物质(钙、磷、钾)、维生素等含量普遍高于其他作物^[9]。近年来,大麦作为功能性食品普遍受到人们青睐^[10]。随着畜牧业和啤酒酿造业的发展,市场上对大麦的需求量在不断上升^[11]。因此,深入开展大麦农艺性状和产量研究,对于指导中国大麦育种、保障区域粮食安全和推动产业健康发展具有重要意义。

中国西南地区是以饲草饲养为主的牛羊优势

产区之一,也是发展大麦生产生态条件最好的地区之一^[3],但存在大麦良种缺乏、单产较低等问题^[12]。间作种植是一种较好的高效种植模式,主要通过作物生长发育在时间及空间上的错位,建立田间作物复合群体,不仅可以增加作物经济和生物产量及经济效益^[13],还可以控制或减轻某些病虫害的发生,抑制杂草生长,提高作物对光、热、水及养分等资源利用效率,从而产生间作优势^[14-15]。相关研究发现,玉米和大豆在间作下玉米鲜穗产量与株高增加,而大豆鲜荚产量显著降低^[16];在相同占地面积下,大麦与豌豆间作体系下大麦和豌豆籽粒产量较单作分别提高 10.0%~57.6% 和 2.9%~42.9%,说明间作对大麦、豌豆均有增产作用^[17];在燕麦与箭筈豌豆间作系统中,间作可显著增加饲草产量,间作系统的 LER (土地当量比) 大于 1,表明该间作模式可提高土地生产力,具有土地利用优势^[18];大麦与马铃薯间作使得两种作物经济产量增幅大于 4%,且大

麦籽粒产量的 LER 均大于 1, 有明显的间作优势^[19]。因此, 发展大麦与马铃薯间作体系可为缓解大麦原料短缺起到积极的作用, 保障两种作物生产的发展。

对大麦种质资源进行正确合理的分析和评价, 是对其进行合理利用的前提^[20]。卓嘎等^[21]对 310 份西藏青稞的主要农艺性状进行分析发现, 西藏青稞品种遗传多样性丰富, 且不同地区间多样性存在较大差异; 蒋莹等^[20]对 143 份大麦种质资源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; 夏腾飞等^[9]对 267 份青稞种质的 19 个性状指标进行了鉴定, 发现株高、穗长、千粒重之间均呈极显著正相关。因此, 对大麦主要农艺性状进行鉴定评价研究可以为大麦杂交育种和良种推广种植提供重要的依据^[22-23]。前人对大麦农艺性状研究、综合评价及

筛选主要集中于单作种植, 有关间作体系下大麦农艺性状遗传多样性、综合评价及品种筛选还未见报道。本研究选用 64 份云南大麦品种为试验材料, 对不同种植模式、不同棱型之间大麦品种农艺性状差异及其遗传多样性进行分析, 并对间作下大麦品种通过主成分分析、聚类分析进行综合评价, 筛选与马铃薯间作最优的云南大麦品种, 以为培育间作种植下高产优质的大麦新品种提供种质资源。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所选育或收集的 64 个云南大麦优良品种(表 1), 其中包括二棱大麦 39 份和多棱大麦 25 份。与大麦间作的马铃薯为高花青素含量的紫色

表 1 64 份云南大麦优良品种及编号
Table 1 Sixty-four excellent varieties and their codes of Yunnan barley

编号 Code	名称 Name	棱型 Row type	编号 Code	名称 Name	棱型 Row type
1	云啤 9 号 Yunpi 9	二棱 Two-rowed	33	云啤 22 号 Yunpi 22	二棱 Two-rowed
2	云啤 10 号 Yunpi 10	二棱 Two-rowed	34	云饲麦 11 号 Yunsimai 11	多棱 Multi-rowed
3	云啤 11 号 Yunpi 11	二棱 Two-rowed	35	云饲麦 12 号 Yunsimai 12	多棱 Multi-rowed
4	云饲麦 1 号 Yunsimai 1	多棱 Multi-rowed	36	云啤 3 号 Yunpi 3	二棱 Two-rowed
5	云饲麦 2 号 Yunsimai 2	多棱 Multi-rowed	37	云饲麦 13 号 Yunsimai 13	多棱 Multi-rowed
6	云饲麦 3 号 Yunsimai 3	多棱 Multi-rowed	38	云饲麦 14 号 Yunsimai 14	多棱 Multi-rowed
7	矮思秆 4 Aisigan 4	二棱 Two-rowed	39	昆啤 4 号 Kunpi 4	二棱 Two-rowed
8	云啤 7 号 Yunpi 7	二棱 Two-rowed	40	矮思 82 秆 1 Aisi 82gan 1	二棱 Two-rowed
9	云啤 5 号 Yunpi 5	二棱 Two-rowed	41	云啤 24 号 Yunpi 24	二棱 Two-rowed
10	盐麦 2 号 Yan 2	二棱 Two-rowed	42	云功麦 1 号 Yungong 1	二棱 Two-rowed
11	澳选 3 号 Aoxuan 2	二棱 Two-rowed	43	云功麦 2 号 Yungongmai 2	二棱 Two-rowed
12	云啤 2 号 Yunpi 2	二棱 Two-rowed	44	云功麦 3 号 Yungongmai 3	二棱 Two-rowed
13	云啤 4 号 Yunpi 4	二棱 Two-rowed	45	哈铁系裸退化二棱 Hatixiluotuihuaerleng	二棱 Two-rowed
14	云稞 4 号 Yunke 4	多棱 Two-rowed	46	宽颖大麦 Kuanyingdamai	二棱 Two-rowed
15	浙云 1 号 Zheyun 1	二棱 Two-rowed	47	矮思 500 Aisi 500	二棱 Two-rowed
16	昆啤 2 号 Kunpi 2	二棱 Two-rowed	48	V43	多棱 Multi-rowed
17	云饲麦 4 号 Yunsimai 4	多棱 Multi-rowed	49	云文麦 6 号 Yunwenmai 6	二棱 Two-rowed
18	云啤 12 号 Yunpi 12	二棱 Two-rowed	50	云稞 5 号 Yunke 5	多棱 Multi-rowed
19	云啤 14 号 Yunpi 14	二棱 Two-rowed	51	云稞 6 号 Yunke 6	多棱 Multi-rowed
20	云玉麦 1 号 Yunyumai 1	二棱 Two-rowed	52	云啤 25 号 Yunpi 25	二棱 Two-rowed
21	云稞 1 号 Yunke 1	多棱 Multi-rowed	53	云啤 26 号 Yunpi 26	二棱 Two-rowed
22	云啤 15 号 Yunpi 15	二棱 Two-rowed	54	云稞 7 号 Yunke 7	多棱 Multi-rowed
23	云靖麦 2 号 Yunjing 2	二棱 Two-rowed	55	云饲麦 16 号 Yunsimai 16	多棱 Multi-rowed
24	云啤 17 号 Yunpi 17	二棱 Two-rowed	56	云饲麦 17 号 Yunsimai 17	多棱 Multi-rowed
25	云饲麦 7 号 Yunsimai 7	多棱 Multi-rowed	57	云饲麦 18 号 Yunsimai 18	多棱 Multi-rowed
26	云饲麦 8 号 Yunsimai 8	多棱 Multi-rowed	58	云啤 27 号 Yunpi 27	二棱 Two-rowed
27	云啤 18 号 Yunpi 18	二棱 Two-rowed	59	云啤 28 号 Yunpi 28	二棱 Two-rowed
28	云啤 20 号 Yunpi 20	二棱 Two-rowed	60	MF20-16	二棱 Two-rowed
29	腾云麦 4 号 Tengyunmai 4	二棱 Two-rowed	61	MF20-25	多棱 Multi-rowed
30	云饲麦 9 号 Yunsimai 9	多棱 Multi-rowed	62	MF20-31	多棱 Multi-rowed
31	云饲麦 10 号 Yunsimai 10	多棱 Multi-rowed	63	MF21-30	多棱 Multi-rowed
32	云啤 21 号 Yunpi 21	二棱 Two-rowed	64	MF21-32	多棱 Multi-rowed

中晚熟品种(12H11-3),由丽江市农业科学研究所选育提供。

1.2 试验设计

试验地点位于昆明市盘龙区滇源镇南营村试验基地(海拔 1 973 m),试验地土壤类型为红壤土,地势平坦,肥力均匀,茬口一致,无遮阴,排灌良好,田间水肥按普通大田正常管理。试验采用二因素随机区组设计,设置大麦单作、马铃薯单作、大麦与马铃薯间作 3 种处理,其中马铃薯单作、大麦与马铃薯间作设置 2 个重复,大麦单作设置 1 个重复。(1)间作:小区长 1.44 m,每个小区种植 1 个大麦品种,行数 2 行,行间距 0.25 m,不同品种大麦小区前后间距为 0.24 m;两行大麦外侧起垄各种植 1 行马铃薯,马铃薯株距为 0.24 m,垄宽 0.5 m。(2)大麦单作:每个小区种植 1 个大麦品种,其规格同间作一致。(3)马铃薯单作:马铃薯起垄种植,其规格同间作一致。每公顷施 2.25×10^4 kg 腐熟的有机肥和 450 kg 三元复合肥(N:P:K 为 15:15:15)。大麦与马铃薯于 2023 年 1 月 4—5 日同期播种,大麦播种量为每行 150 粒。

1.3 大麦农艺性状测定

收获后调查记载所有大麦品种的农艺性状,每个品种选取 3 个植株,参考《大麦种质资源描述规范和数据标准》^[24]进行室内考种,测定株高、有效穗数、节间长度、茎粗、旗叶长、旗叶宽、穗长、结实率、穗密度、单株秆重、单株穗重、单株粒重和千粒重等 13 个指标。

1.4 产量统计

分别在大麦和马铃薯成熟时收获两种作物,马铃薯收获后称量鲜薯产量;大麦全部收获晒干后脱粒称籽粒产量。2 种作物间作产量均为净面积产量。应用土地当量比作为衡量间作产量优势的指标^[25]: $LER = (Y_{ib}/Y_{mb}) + (Y_{ip}/Y_{mp})$ 。

式中, Y_{ib} 和 Y_{ip} 分别代表间作大麦和马铃薯的产量, Y_{mb} 和 Y_{mp} 分别为单作大麦和单作马铃薯的产量。当 $LER > 1$ 时,间作有优势;当 $LER < 1$ 时,间作劣势。

1.5 数据整理与统计分析

利用 Excel 2017 进行数据整理,并计算所调查大麦农艺性状的平均值、标准差、变异系数以及 Shannon 多样性指数(H')。采用 SPSS 26.0 软件对数据进行统计分析、主成分分析和聚类分析,

采用 Origin 2021 软件进行相关性分析。

Shannon 多样性指数分析:先计算试验材料总体平均数(X)和标准差(σ),然后划分为 10 级,从第 1 级 $[X_i < (X - 2\sigma)]$ 至第 10 级 $[X_i > (X + 2\sigma)]$,每 0.5σ 为 1 级,每级的相对频率用于计算 Shannon 多样性指数 H' 。 $H' = -\sum P_i \ln P_i$,式中 P_i 为该性状第 i 级别内的材料份数占总份数的百分比。

2 结果与分析

2.1 种植模式对大麦农艺性状的影响

2.1.1 不同种植模式下大麦农艺性状的变异

在间作和单作两种种植模式间,大麦株高、旗叶长、旗叶宽、穗长和穗密度均无显著差异,而有效穗、节间长度、茎粗、结实率、单株秆重、单株穗重、单株粒重和千粒重均差异显著(表 2)。其中,与间作相比,单作大麦的单株有效穗数多 0.94 个,节间长度和茎粗分别增加 2.75 和 0.03 cm,结实率提高 4.99 个百分点,表明间作条件下大麦穗实粒数减少,空粒数增加;单作大麦的单株秆重、单株穗重、单株粒重和千粒重较间作分别增加 1.86、1.94、1.42 和 2.26 g。单作模式下,64 个大麦品种农艺性状变异系数变化范围为 6.48%~36.49%,平均变异系数为 21.53%,其中单株粒重的变异系数最高,其次是单株秆重、单株穗重和有效穗数;间作模式下农艺性状变异系数的变化范围为 8.33%~39.41%,平均变异系数为 21.47%,其中单株穗重的变异系数最高,其次是单株秆重和单株粒重。相比于单作,间作下大麦变异系数差异较大的性状是株高和旗叶宽,株高变异系数降低,旗叶宽变异系数增大,说明在间作下大麦株高遗传变异程度下降、旗叶宽变异程度升高。综上所述,单作模式下大麦有效穗数、节间长度、茎粗、结实率、单株秆重、单株穗重、单株粒重、千粒重均高于间作;间作对大麦株高和旗叶宽变异影响较大。

2.1.2 不同种植模式下大麦农艺性状的遗传多样性

单作模式下大麦品种农艺性状多样性指数变化范围为 1.654~2.201,平均值为 1.974,其中穗密度多样性指数最高,株高次之,结实率多样性指数最小;间作模式下大麦品种农艺性状多样性指数变化范围为 1.730~2.071,平均值为 1.903,其中旗叶长多样性指数最高,旗叶宽最低(图 1)。

表 2 不同种植模式下大麦农艺性状的变异表现

Table 2 Variation of agronomic traits of barley under different planting patterns

性状 Trait	单作 Mono-cropping			间作 Intercropping		
	平均值 Mean	变异范围 Range	变异系数 CV/%	平均值 Mean	变异范围 Range	变异系数 CV/%
株高 PH/cm	88.83±21.83a	30.33~126.33	24.57	84.38±9.75a	56.58~104.58	11.56
有效穗数 ES	8.72±2.82a	3.00~18.00	32.34	7.78±2.26b	5.00~16.00	29.10
节间长度 IL/cm	25.64±4.58a	16.13~36.86	17.86	22.89±4.13b	13.84~31.61	18.04
茎粗 STD/cm	0.40±0.05a	0.31~0.55	13.10	0.37±0.04b	0.30~0.51	11.97
旗叶长 FLL/cm	13.96±2.51a	9.56~19.89	17.96	13.83±1.99a	9.45~18.56	14.39
旗叶宽 FLW/cm	0.70±0.17a	0.39~1.27	23.87	0.77±0.26a	0.33~2.19	34.49
穗长 SL/cm	8.16±1.31a	4.83~10.90	16.03	7.90±1.08a	5.40~9.77	13.65
结实率 SR/%	92.25±5.97a	74.00~100	6.48	87.26±7.27b	66.67~96.36	8.33
穗密度 SPD/ (grains · cm ⁻¹)	14.21±1.89a	10.20~20.00	13.31	14.15±1.53a	11.38~19.19	10.81
单株秆重 SWPP/g	12.44±4.07a	5.39~23.30	32.73	10.58±3.96b	3.42~27.28	37.40
单株穗重 SWPP/g	13.67±4.47a	3.92~27.51	32.69	11.73±4.62b	5.15~32.09	39.41
单株粒重 GWPP/g	10.52±3.84a	2.61~22.65	36.49	9.10±3.18b	4.05~16.21	34.99
千粒重 TGW/g	42.38±5.29a	32.40~57.10	12.49	40.12±6.00b	28.28~56.69	14.95

同行数据后不同小写字母表示不同种植模式间在 0.05 水平上有显著差异。表 3 同。

Different lowercase letters following data in the same rows indicate significant differences between different planting patterns at 0.05 level. The same in table 3. PH; Plant height; ES: Effective spike number; IL: Internode length; STD: Stem diameter; FLL: Flag leaf length; FLW; Flag leaf width; SL: Spike length; SR; Setting rate; SPD; Spike density; SWPP; Stalk weight per plant; SWPP; Spike weight per plant; GWPP: Grain weight per plant; TGW: Thousand-grain weight. The same in below.

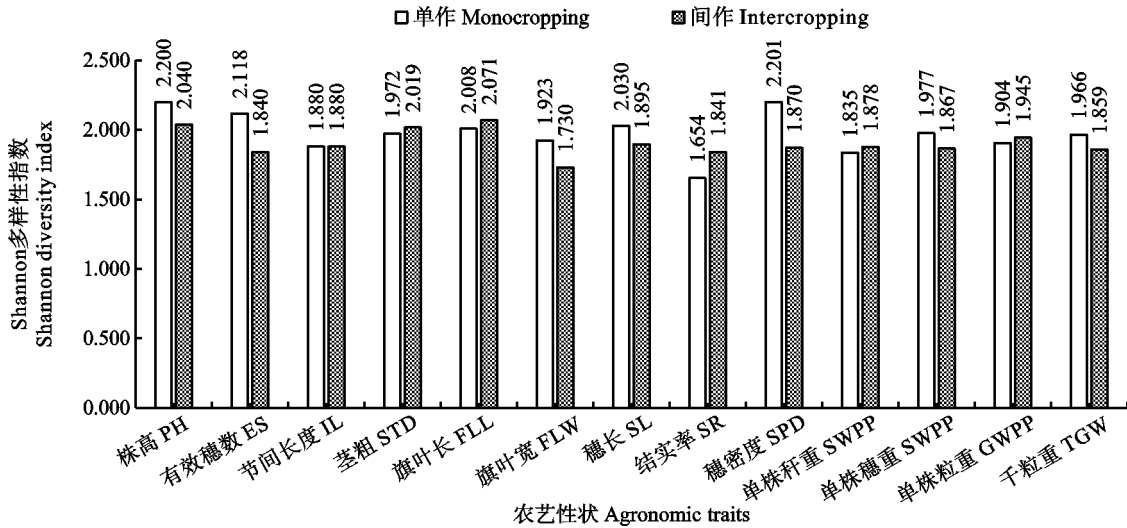


图 1 不同种植模式下大麦农艺性状的多样性指数

Fig. 1 Diversity index of barley agronomic traits under different planting patterns

2.2 不同棱型大麦在两种种植模式下农艺性状的比较

2.2.1 不同棱型大麦农艺性状变异

在同一种植模式下,二棱和多棱大麦间旗叶长均无显著性差异,其余性状均有不同程度的差异(表 3)。单作和间作种植下,与多棱大麦相比,二棱大麦的单株有效穗数分别多 3.08 和 2.14

个,穗长分别大 0.93 和 0.89 cm,结实率分别高 6.98 和 7.63 个百分点,穗密度分别增加 1.79 和 1.54 粒 · cm⁻¹,千粒重分别提高 2.82 和 3.67 g。节间长度、茎粗、旗叶宽、单株秆重、单株穗重、单株粒重在单作和间作模式下均表现为多棱大麦高于二棱大麦,其中多棱大麦节间长度分别比二棱大麦多 1.46 和 2.03 cm,茎粗分别大 0.07 和

0.06 cm,旗叶宽分别增加 0.18 和 0.23 cm;单株秆重分别高 0.46 和 0.87 g,单株穗重提高 4.61 和 4.78 g,单株粒重分别增大 3.80 和 4.75 g。单作下二棱大麦株高较高,而间作模式下二棱大麦株高较低,两者相差 9.6 cm。以上分析说明,在单作和间作模式下,二棱大麦的有效穗数、穗长、结实率、穗密度和千粒重均高于多棱大麦,而多棱大麦节间长度、茎粗、旗叶宽、单株秆重、单株穗重、单株粒重均高于二棱大麦。而单作模式下二棱和多棱大麦的节间长度、茎粗、结实率均显著高于间作,其中单作模式下二棱和多棱大麦节间长度分别比间作分别高 2.97 和 2.40 cm,茎粗分别增大 0.02 和 0.03 cm,而结实率分别提高 4.73 和 5.38 个百分点。

单作模式下二棱和多棱大麦农艺性状变异系数的平均值分别为 20.60% 和 20.33%,变异系数

最大的是二棱大麦单株秆重;间作模式下二棱和多棱大麦农艺性状变异系数的平均值分别为 18.04% 和 16.86%,变异系数最大的是二棱大麦单株穗重。单作模式下二棱和多棱大麦株高、有效穗、茎粗、旗叶长、穗长、穗密度、单株粒重的变异系数高于间作,说明单作模式下这几个性状遗传变异程度较高;间作模式下二棱和多棱大麦旗叶宽、结实率、单株秆重、千粒重的变异系数大于单作,其遗传变异程度较大。

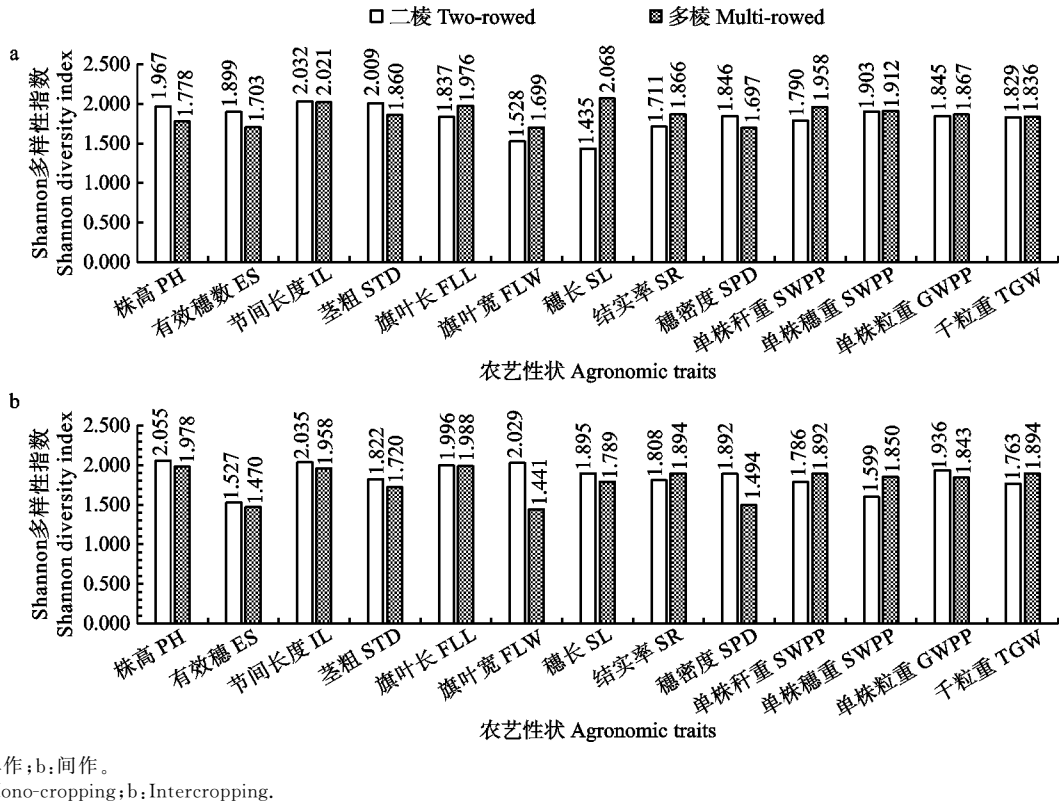
2.2.2 不同棱型大麦农艺性状的遗传多样性

单作模式下二棱大麦多样性指数的变化范围为 1.435~2.032,平均值为 1.818,其中节间长度和茎粗的多样性指数较高;多棱大麦多样性指数的变化范围为 1.697~2.068,平均值为 1.865,其中穗长的多样性指数最高,穗密度的多样性指数最低(图 2)。间作模式下二棱大麦遗传多样性指数的

表 3 不同棱型大麦农艺性状变异分析

Table 3 Analysis of variation of different row-typed barley agronomic traits

性状 Trait	大麦棱型 Row type	平均值 Mean		变异范围 Range		变异系数 CV/%	
		单作	间作	单作	间作	单作	间作
		Mono-cropping	Intercropping	Mono-cropping	Intercropping	Mono-cropping	Intercropping
株高	二棱 Two-rowed	91.87±21.70a	82.27±10.35b	30.3~126.3	56.58~104.58	23.62	12.58
PH/cm	多棱 Multi-rowed	84.09±21.60ab	87.68±7.85ab	39.3~118.8	70.92~101.42	25.69	8.95
有效穗数	二棱 Two-rowed	9.92±2.75a	8.62±2.31b	3.00~18.00	5.00~16.00	27.68	26.84
ES	多棱 Multi-rowed	6.84±1.70c	6.48±1.45c	5.00~11.00	5.00~10.00	24.85	22.33
节间长度	二棱 Two-rowed	25.07±4.99ab	22.10±4.72c	16.13~36.86	13.84~31.61	19.92	21.35
IL/cm	多棱 Multi-rowed	26.53±3.77a	24.13±2.63bc	18.49~33.79	20.02~29.62	14.20	10.88
茎粗	二棱 Two-rowed	0.37±0.03c	0.35±0.03d	0.31~0.47	0.30~0.41	9.31	7.67
STD/cm	多棱 Multi-rowed	0.44±0.05a	0.41±0.04b	0.37~0.55	0.36~0.51	11.35	10.37
旗叶长	二棱 Two-rowed	14.05±2.76a	13.66±2.04a	10.10~19.89	9.45~17.88	19.62	14.97
FLL/cm	多棱 Multi-rowed	13.81±2.10a	14.10±1.91a	9.56~18.22	10.63~18.56	15.23	13.58
旗叶宽	二棱 Two-rowed	0.63±0.13b	0.68±0.15b	0.39~0.97	0.33~0.98	21.03	22.61
FLW/cm	多棱 Multi-rowed	0.81±0.16a	0.91±0.33a	0.56~1.27	0.60~2.19	19.29	36.74
穗长	二棱 Two-rowed	8.52±1.23a	8.25±0.96a	4.83~10.90	6.08~9.77	14.41	11.66
SL/cm	多棱 Multi-rowed	7.59±1.25b	7.36±1.04b	5.61~10.34	5.40~9.52	16.42	14.12
结实率	二棱 Two-rowed	94.97±3.87c	90.24±5.88d	80.00~100.0	72.22~96.36	4.07	6.51
SR/%	多棱 Multi-rowed	87.99±6.25a	82.61±6.85b	74.00~95.71	66.67~91.51	7.10	8.30
穗密度 SPD/ (grains·cm ⁻¹)	二棱 Two-rowed	14.91±1.79a	14.76±1.42a	11.94~20.00	12.97~19.19	11.98	9.60
	多棱 Multi-rowed	13.12±1.52b	13.22±1.21b	10.20~17.18	11.38~17.47	11.57	9.16
单株秆重	二棱 Two-rowed	12.26±4.56ab	10.24±4.21b	5.39~23.30	3.42~27.78	37.17	41.12
SWPP/g	多棱 Multi-rowed	12.72±3.42a	11.11±3.54ab	7.27~20.52	6.12~18.51	25.49	31.87
单株穗重	二棱 Two-rowed	11.87±3.68b	9.86±4.45c	3.92~23.30	5.15~32.09	31.00	45.11
SWPP/g	多棱 Multi-rowed	16.48±4.18a	14.64±3.20a	9.41~27.51	10.06~22.68	25.36	21.87
单株粒重	二棱 Two-rowed	9.04±3.09b	7.24±2.07c	2.61~18.28	4.05~11.84	34.17	28.61
GWPP/g	多棱 Multi-rowed	12.84±3.80a	11.99±2.34a	6.53~22.65	8.34~16.21	29.56	19.47
千粒重	二棱 Two-rowed	43.48±5.99a	41.55±6.50a	32.46~57.10	30.04~56.69	13.78	15.65
TGW/g	多棱 Multi-rowed	40.66±3.41a	37.88±4.36b	32.40~45.43	28.28~46.30	8.39	11.51



a: 单作; b: 间作。
a: Mono-cropping; b: Intercropping.

图 2 不同棱型大麦农艺性状多样性指数
Fig. 2 Diversity index of agronomic traits of barley with different row types

变化范围为 1.527~2.055, 平均值为 1.857, 其中株高的多样性指数最高, 有效穗数的多样性指数最低; 多棱大麦多样性指数的变化范围为 1.441~1.988, 平均值为 1.785, 其中旗叶长的多样性指数最高, 旗叶宽的多样性指数最低。这说明单作和间作模式下二棱和多棱大麦表型性状的遗传多样性丰富。此外, 单作模式下不同棱型大麦穗长多样性指数的差异较大, 多棱大麦为 2.068, 二棱大麦为 1.435; 而在间作模式下旗叶宽差异较大, 二棱大麦为 2.029, 多棱大麦为 1.441。

2.3 不同种植模式下两种作物产量分析

与单作模式相比, 间作模式下二棱和多棱大麦、马铃薯均显著减产(表 4)。间作的二棱和多棱大麦分别减产 26.67% 和 19.15%, 二棱和多棱大麦间作下马铃薯分别减产 56.67% 和 58.80%。不论在单作还是间作模式下多棱大麦产量均比二棱大麦高。二棱和多棱大麦与马铃薯间作的 LER 分别为 1.20 和 1.63, 均大于 1, 表明大麦与马铃薯间作体系有优势, 其中多棱大麦与马铃薯间作的优势较大。

表 4 不同种植模式下两种作物产量和土地当量比

Table 4 Yield and land equivalent ratio of the two crops under two planting patterns

种植方式 Planting pattern	作物 Crop	产量 Yield/(kg · hm ⁻²)	土地当量比 Land equivalent ratio(LER)
单作 Mono-cropping	马铃薯 Potato	43 819.66 ± 7 562.15a	—
	二棱大麦 Two-rowed barley	6 169.90 ± 2 479.42ab	
	多棱大麦 Multi-rowed barley	7 170.04 ± 3 817.02a	
间作 I Intercropping I	马铃薯 Potato	18 989.59 ± 6 227.03b	1.20
	二棱大麦 Two-rowed barley	4 524.60 ± 1 889.49c	
间作 II Intercropping II	马铃薯 Potato	18 055.65 ± 4 932.09b	1.63
	多棱大麦 Multi-rowed barley	5 796.97 ± 1 807.64bc	

间作 I 和间作 II 分别指二棱大麦与马铃薯间作以及多棱大麦与马铃薯间作。相同作物同列数据后不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

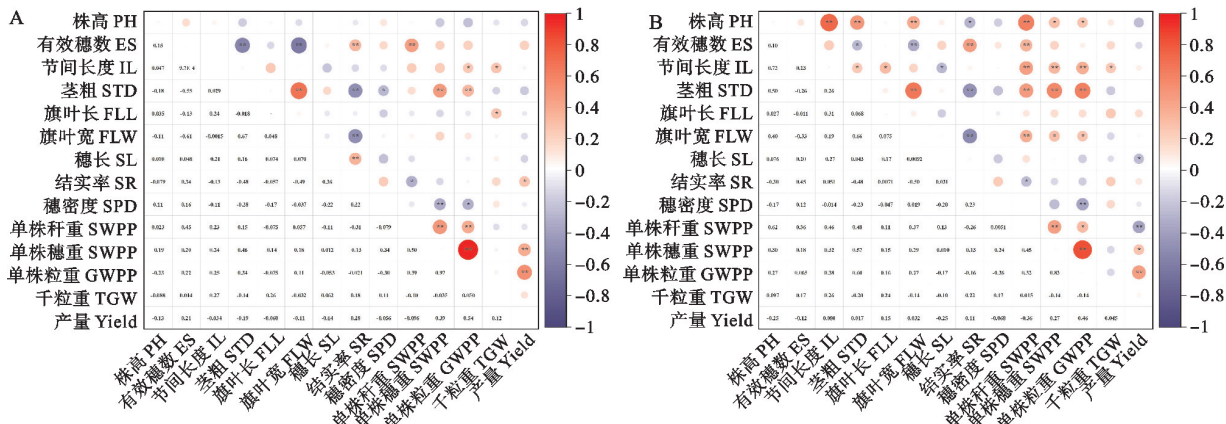
Intercropping I and II refer to the intercropping of two-rowed barley and potato, and the intercropping of multi-rowed barley and potato, respectively. Different letters following data in same column of same crop mean significant difference ($P < 0.05$).

2.4 不同种植模式下大麦产量和农艺性状的相关性

对不同模式下大麦产量和农艺性状进行相关性分析,结果(图 3)表明,大部分性状间相关显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)。单作模式下大麦单株秆重、单株穗重、单株粒重之间均呈极显著正相关;单株穗重、单株粒重与产量均呈极显著正相关;茎粗与单株穗重、单株粒重均呈极显著正相关,与结实率呈极显著负相关;有效穗数与茎粗、旗叶宽均呈极显著负相关,与结实率和单株秆重均呈极显著正相关;旗叶宽与结实率呈极显著负相关;穗长与结实率呈极显著正相关。在极显著正相关的性状中,茎粗与旗叶宽、单株穗重与单株粒重、单株秆重与单株穗重、单株粒重与产量间的相关系数较大,分别为 0.67、0.97、0.50 和 0.54,说明以上 4 对性状间存在较大的关联性。而在极显著负相关的性状中,有效穗数与茎粗、有效穗与旗叶宽的相关系数较大,分别为 -0.55 和 -0.61,说明当以有效穗数为选育目标时,应尽量选择茎粗度和旗叶宽度小的品种。

间作模式下大麦株高与节间长度、茎粗、旗叶宽、单株秆重均呈极显著正相关;有效穗数与结实

率、单株秆重均呈极显著正相关,与旗叶宽呈极显著负相关;节间长度与单株秆重、单株穗重、单株粒重均呈极显著正相关;茎粗与旗叶宽、单株秆重、单株穗重、单株粒重均呈极显著正相关,与结实率呈极显著负相关;旗叶宽与单株秆重、单株穗重、单株粒重均呈极显著正相关,与结实率呈极显著负相关;穗密度与单株粒重呈极显著负相关;单株秆重与单株穗重呈极显著正相关,与产量呈极显著负相关;单株穗重与单株粒重呈极显著正相关;单株粒重与产量呈极显著正相关。在极显著正相关的性状中,株高与节间长度、株高与茎粗、株高与单株秆重、茎粗与旗叶宽、茎粗与单株穗重、茎粗与单株粒重、单株穗重与单株粒重的相关系数较大,分别为 0.72、0.05、0.62、0.66、0.57、0.60 和 0.83,说明在间作模式下,株高对大麦节间长度、茎粗、单株秆重,茎粗对大麦旗叶宽、单株穗重和单株粒重有很大影响。而在极显著负相关的性状中,茎粗与结实率、旗叶宽与结实率相关系数较大,分别为 -0.48 和 -0.50,说明当以结实率为选育目标时应尽量选择茎粗度和旗叶宽度小的品种。



A: 单作; B: 间作; * : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$; 红色正相关; 蓝色负相关; 颜色越深、圆越大, 代表相关系数越大。

A: Mono-cropping; B: Intercropping; * : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$. Red is positively correlated; Blue is negatively correlated. Darker and larger circles indicate stronger correlations.

图 3 不同种植模式下大麦产量和农艺性状相关性分析

Fig. 3 Correlation analysis of yield and agronomic traits of barley under different planting patterns

2.5 间作模式下大麦农艺性状主成分分析与综合评价

由于间作模式下大麦不同性状之间存在不同程度相关性,直接用于品种性状表现评价时存在信息重叠,因此本研究选择主成分分析对大麦农艺性状进行综合评价。从主成分分析结果(表 5)看,前 5 个主成分累计贡献率可解释 64 份大麦品

种农艺性状 75.714% 的变异。第 1 主成分特征值为 3.945, 贡献率为 28.176%, 载荷较高的性状有茎粗、单株粒重、单株穗重、株高、旗叶宽和单株秆重。这一部分性状间呈正相关, 表明大麦茎秆增粗、植株越高、旗叶越宽会有利于单株粒重、单株穗重和单株秆重的提高。第 2 主成分特征值为 2.163, 贡献率为 15.451%, 其中载荷较高的性状

有效穗数、节间长度、结实率和千粒重,表明大麦有效穗数、节间长度增加有助于提高千粒重和结实率。第3主成分特征值为1.955,贡献率为13.963%,产量的特征向量值明显高于其他性状,其次是单株粒重,单株粒重越大,产量越高。第4主成分特征值为1.520,贡献率为10.860%,载荷最高的性状有穗长、有效穗,表明穗长越长,有效穗越多。第5主成分特征值为1.017,贡献率为7.265%,主成分载荷最高的性状是穗密度,其特征值明显高于其他性状。

根据5个主成分与特征向量之间的关系,利用株高、有效穗数、节间长度、茎粗、旗叶长、旗叶宽、穗长、结实率、穗密度、单株秆重、单株穗重、单株粒重、千粒重和产量14个性状(分别用 $X_1 \sim X_{14}$ 代表)计算5个主成分的得分($D_1 \sim D_5$):

$$D_1 = 0.361X_1 - 0.013X_2 + 0.294X_3 + 0.423X_4 + 0.105X_5 + 0.324X_6 - 0.021X_7 - 0.240X_8 - 0.153X_9 + 0.346X_{10} + 0.376X_{11} + 0.377X_{12} - 0.057X_{13} + 0.035X_{14}$$

$$D_2 = 0.190X_1 + 0.519X_2 + 0.405X_3 - 0.203X_4 + 0.186X_5 - 0.242X_6 - 0.040X_7 +$$

$$0.396X_8 + 0.176X_9 + 0.235X_{10} + 0.066X_{11} + 0.007X_{12} + 0.379X_{13} - 0.056X_{14}$$

$$D_3 = -0.279X_1 - 0.095X_2 + 0.060X_3 - 0.039X_4 + 0.245X_5 - 0.110X_6 - 0.363X_7 + 0.173X_8 - 0.081X_9 - 0.324X_{10} + 0.228X_{11} + 0.366X_{12} + 0.059X_{13} + 0.611X_{14}$$

$$D_4 = -0.131X_1 + 0.375X_2 - 0.230X_3 - 0.010X_4 - 0.275X_5 - 0.272X_6 + 0.453X_7 + 0.204X_8 - 0.354X_9 + 0.041X_{10} + 0.311X_{11} + 0.249X_{12} - 0.326X_{13} + 0.034X_{14}$$

$$D_5 = -0.149X_1 + 0.170X_2 - 0.076X_3 + 0.074X_4 - 0.419X_5 + 0.197X_6 - 0.258X_7 + 0.129X_8 + 0.702X_9 + 0.139X_{10} + 0.168X_{11} + 0.077X_{12} - 0.300X_{13} + 0.070X_{14}$$

最后利用权重计算个品种的综合评分: $D = 0.28176D_1 + 0.15451D_2 + 0.13963D_3 + 0.1086D_4 + 0.07265D_5$ 。从综合得分(表6)看,间作模式下64份大麦品种中,综合得分排名前5的分别是矮思82秆1、MF21-30、云稞1号、MF20-16、云饲麦16号,排名最后5个大麦品种分别是矮思秆4、盐麦2号、云啤7号、腾云麦4号和云啤2号。

表5 间作模式下大麦农艺性状主成分值及主成分载荷

Table 5 Principal componentscores and component loadings of barley agronomic traits under intercropping

性状 Trait	主成分特征向量 Eigenvector of the principal component				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
茎粗 STD	0.840	-0.299	-0.055	-0.012	0.075
单株粒重 GWPP	0.749	0.010	0.511	0.307	0.078
单株穗重 SWPP	0.747	0.097	0.319	0.384	0.169
株高 PH	0.716	0.279	-0.390	-0.161	-0.150
单株秆重 SWPP	0.687	0.346	-0.453	0.050	0.140
旗叶宽 FLW	0.643	-0.356	-0.154	-0.335	0.199
有效穗数 ES	-0.026	0.763	-0.133	0.462	0.171
节间长度 IL	0.583	0.596	0.084	-0.284	-0.077
结实率 SR	-0.477	0.583	0.242	0.252	0.130
千粒重 TGW	-0.113	0.557	0.082	-0.402	-0.302
产量 Yield	0.070	-0.083	0.854	0.042	0.071
穗长 SL	-0.041	-0.059	-0.508	0.558	-0.260
穗密度 SPD	-0.304	0.259	-0.113	-0.436	0.708
旗叶长 FLL	0.209	0.273	0.343	-0.339	-0.422
特征值 Eigenvalue	3.945	2.163	1.955	1.520	1.017
贡献率 Contribution rate/%	28.176	15.451	13.963	10.860	7.265
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	28.176	43.627	57.590	68.450	75.714

表 6 间作模式下 64 份大麦品种主成分值及排序
 Table 6 Values and ranking of principal components of 64 barley varieties under intercropping

品种编号 Variety code	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D	排名 Rank
1	-2.112	1.620	-0.751	-0.517	-1.141	-0.589	52
2	-1.351	1.911	-0.193	-0.949	-1.257	-0.307	44
3	-0.835	-0.164	-0.609	0.251	-0.598	-0.362	45
4	0.418	-0.457	1.914	-0.431	-1.215	0.180	24
5	0.388	-0.507	1.555	0.305	-0.707	0.230	20
6	-0.668	-1.482	1.893	-0.066	-0.252	-0.178	39
7	-3.892	-1.602	1.225	-1.454	0.087	-1.325	64
8	-2.997	-1.509	-1.870	0.957	0.654	-1.187	62
9	-1.799	0.242	-0.888	1.590	0.796	-0.363	46
10	-3.185	-1.334	-0.980	-1.710	1.915	-1.287	63
11	-1.136	1.922	-0.735	1.267	1.911	0.151	25
12	-2.782	-0.897	-0.729	0.443	-0.444	-1.009	60
13	-1.282	0.173	-1.360	0.235	0.912	-0.433	48
14	2.538	-1.341	0.648	-0.196	0.978	0.648	13
15	-2.163	0.170	1.823	-1.344	0.436	-0.443	49
16	-0.098	-0.316	-1.431	0.403	-0.035	-0.235	41
17	0.336	-1.009	0.842	0.190	-0.424	0.046	30
18	-1.407	-0.668	-1.401	1.626	-0.472	-0.553	51
19	-0.483	-1.093	-2.911	0.275	-1.264	-0.773	57
20	-1.203	-1.569	-2.075	0.106	-0.763	-0.915	59
21	4.504	-0.001	-0.542	-1.820	2.866	1.204	3
22	-1.408	0.045	0.482	2.455	0.711	-0.004	33
23	-1.164	-0.602	-0.722	0.856	-0.619	-0.474	50
24	-0.542	-0.070	-0.492	2.504	0.116	0.048	28
25	0.513	-0.618	0.631	-2.259	0.044	-0.105	37
26	0.662	-1.366	1.904	0.752	-0.621	0.278	19
27	0.057	3.189	0.260	0.598	0.530	0.649	12
28	-1.494	-0.038	-0.083	-1.899	-2.316	-0.813	58
29	-2.299	-2.329	-0.940	0.613	0.637	-1.026	61
30	0.572	-0.682	1.656	1.429	-0.032	0.440	17
31	-0.482	-1.450	1.384	0.083	-0.302	-0.179	40
32	0.020	0.661	0.180	-1.232	-1.116	-0.082	36
33	-0.781	2.050	1.619	-1.552	0.409	0.184	23
34	1.873	-0.700	0.054	-0.380	1.081	0.464	15
35	2.104	-0.922	-0.622	-1.040	-0.835	0.190	22
36	-1.577	1.887	-1.227	0.849	-0.325	-0.255	43
37	1.796	-0.024	1.365	1.397	-0.157	0.833	8
38	1.750	0.532	2.796	-1.038	-1.819	0.721	10
39	-0.929	1.319	0.159	0.482	-1.073	-0.061	35
40	1.269	1.895	2.220	1.984	1.475	1.283	1
41	-1.536	1.170	1.245	-1.113	0.462	-0.165	38
42	-1.125	1.264	-0.251	-1.799	-0.933	-0.420	47
43	0.129	1.976	-0.636	-1.302	-0.165	0.099	26
44	1.249	1.711	-2.643	0.103	-0.548	0.219	21
45	3.161	4.402	-3.026	0.386	-1.485	1.082	6

(续表 6 Continued table 6)

品种编号 Variety code	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D	排名 Rank
46	0.893	1.518	-2.371	-2.486	1.840	0.019	32
47	-1.902	-0.431	-0.074	0.402	-0.546	-0.609	53
48	1.691	-0.755	0.318	-2.542	-0.567	0.087	27
49	-1.645	-0.923	-0.614	-0.251	0.481	-0.684	54
50	4.745	-3.504	-2.133	-1.062	0.886	0.447	16
51	2.834	-1.061	-0.875	1.658	-1.054	0.616	14
52	-0.186	2.034	0.820	-1.486	2.537	0.399	18
53	-2.424	-0.503	-0.081	0.495	-0.212	-0.734	56
54	1.605	-1.731	-0.842	-0.075	-0.160	0.047	29
55	1.947	0.667	1.720	1.462	0.445	1.083	5
56	1.822	-0.087	2.455	0.335	-0.643	0.832	9
57	0.104	-1.111	1.718	-0.847	0.302	0.027	31
58	-1.809	0.066	1.731	1.526	0.853	-0.030	34
59	-2.514	-0.634	-0.260	0.349	1.344	-0.707	55
60	1.402	3.735	0.260	0.843	-0.091	1.093	4
61	0.088	-0.445	-0.134	-1.410	-0.295	-0.237	42
62	1.992	0.130	1.734	1.310	0.337	0.990	7
63	4.733	-0.861	-0.961	1.533	0.120	1.242	2
64	4.013	-1.497	-1.152	0.210	-0.677	0.712	11

表 7 间作模式下不同种质群大麦各农艺性状和产量平均值和变异系数

Table 7 Average agronomic traits and yield of barley in different germplasm groups under intercropping

性状 Trait	第 I 类群 Group I		第 II 类群 Group II		第 III 类群 Group III		第 IV 类群 Group IV	
	平均值 Mean	变异系数 CV/%	平均值 Mean	变异系数 CV/%	平均值 Mean	变异系数 CV/%	平均值 Mean	变异系数 CV/%
株高 PH/cm	83.47±10.68	12.80	85.66±7.70	8.99	100.33±3.93	3.92	82.00±8.77	10.70
有效穗数 ES	7.42±2.38	32.03	7.76±2.08	26.76	10.33±2.52	24.35	7.85±2.16	27.50
节间长度 IL/cm	22.33±4.12	18.46	21.63±3.48	16.10	29.54±1.38	4.65	23.65±4.02	17.00
茎粗 STD/cm	0.38±0.05	12.73	0.36±0.06	15.69	0.39±0.03	8.42	0.38±0.03	7.81
旗叶长 FLL/cm	14.16±1.82	12.82	13.10±2.31	17.67	14.79±2.18	14.73	13.92±1.84	13.18
旗叶宽 FLW/cm	0.88±0.35	39.38	0.64±0.20	30.49	0.89±0.08	9.38	0.72±0.13	18.41
穗长 SL/cm	7.95±1.10	13.81	8.15±1.10	13.49	8.00±1.75	21.84	7.63±0.96	12.60
结实率 SR/%	85.39±8.27	9.68	86.15±7.73	8.98	89.97±1.18	1.31	90.05±5.21	5.78
穗密度 SPD/ (grains · cm ⁻¹)	14.27±1.31	9.16	14.26±1.49	10.48	14.45±2.41	16.67	13.88±1.76	12.66
单株秆重 SWPP/g	10.43±3.60	34.51	10.28±2.91	28.34	21.14±5.83	27.59	9.44±2.54	26.88
单株穗重 SWPP/g	11.35±4.44	39.09	9.96±3.74	37.57	11.21±3.48	31.08	13.77±5.15	37.41
单株粒重 GWPP/g	8.89±3.34	37.55	7.42±2.53	34.12	7.09±2.40	33.78	11.07±2.61	23.57
千粒重 TGW/g	39.85±7.21	18.10	39.30±4.75	12.07	42.66±10.86	25.45	40.75±4.78	11.73
产量 Yield/ (kg · hm ⁻²)	5 087.41±675.43	13.28	3 027.79±460.67	15.21	1 280.10±628.17	49.07	7 198.65±1015.62	14.11

2.6 间作模式下大麦品种农艺性状聚类分析
通过聚类分析,间作模式下 64 份大麦品种在

遗传距离为 12.5 时可分为 4 个类群(图 4),各类群性状的平均值、变异系数见表 7。第 I 类群包

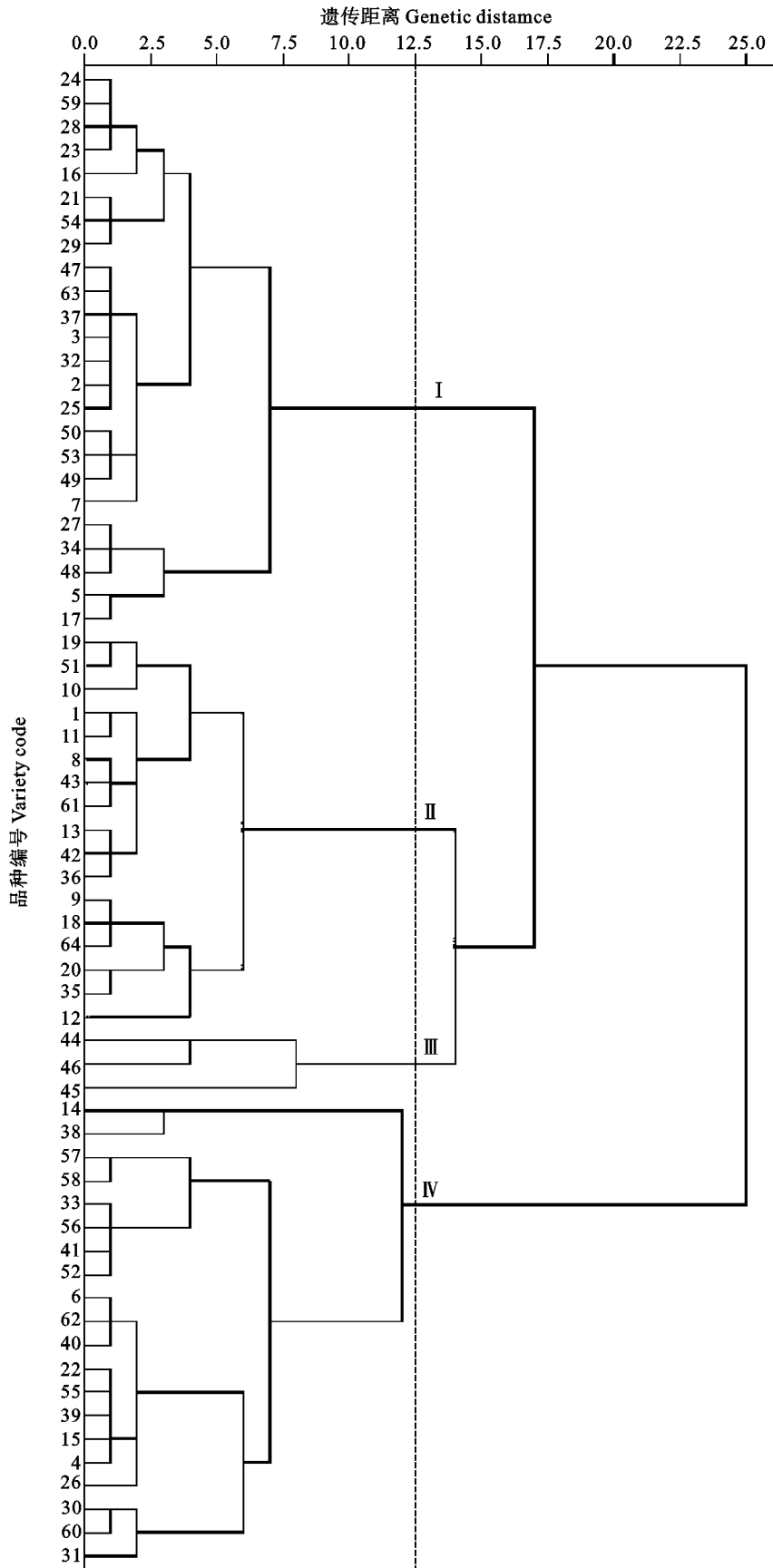


图 4 间作模式下 64 份大麦品种聚类分析图

Fig. 4 Clustering diagram of 64 barley varieties under intercropping

括 24 份大麦品种,其主要特征是植株矮,有效穗数少,结实率低,其余性状和产量适中,属于矮秆中产类型。第Ⅱ类群包括 17 份大麦品种,其主要特征是节间长度小,旗叶长和宽最小,单株穗重、单株粒重、千粒重偏低,产量偏低,总体上该类群大麦品种综合表现较差,属于中秆低产类型。第Ⅲ类群包括 3 份品种,均为二棱大麦,其主要特征是植株最高,有效穗多,茎粗、节间长度最大,旗叶长和宽最大,单株秆重、千粒重最大,单株粒重最小,产量最低,综合来看,该类群大麦品种农艺性状优良,但产量最低,称为高秆低产类型。第Ⅳ类群包括 20 份大麦品种,其主要特征是植株最矮,结实率最高,单株秆重小,单株穗重、单株粒重和产量均较高,该类群大麦品种综合综合性状最优,产量最高,属于矮秆高产类型。

综合 4 类大麦品种农艺性状和产量,在间作条件下,第Ⅳ类性状特征较符合高产优质大麦品种要求,可以从中筛选优异种质。而二棱和多棱大麦除第Ⅲ类群外在其他 3 个类群中均有分布,整体聚类结果与大麦棱型无明显相关性。

3 讨论

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^[9]。研究种质资源的遗传多样性,对资源各农艺性状进行全面的鉴定和评价,是充分利用这些珍贵种质的前提^[26]。作物农艺性状与产量之间存在紧密联系,研究各农艺性状之间的联系对今后育种工作具有重要的指导意义^[27]。间作套种是一种十分高效的增产增收方式,既能使土地利用达到最大化,又能改善土壤质量,从而实现一季多收。

前人研究证明,大麦间作豌豆、蚕豆、玉米时存在营养、水分及产量的套作优势^[28-29];在大麦与马铃薯套作系统下大麦有效穗数、株高、节间总长度、旗叶长和宽、茎粗、穗长、穗粒数、结实率、千粒重和穗草比均增加,大麦秸秆产量和籽粒产量均提高^[19]。在大麦与玉米间作系统下,大麦和玉米籽粒产量和生物产量均具有显著的间作优势^[30]。本研究发现,大麦与马铃薯间作体系的土地当量比 LER 大于 1,表明两种作物具有一定的间作优势。但在该间作体系中大麦有效穗数、节间长度、茎粗、结实率、单株秆重、单株穗重、单株粒重、千粒重较单作模式均下降,表明两种作物在间作过程中可能存在较大的光、热、水分和营养等资源竞

争,从而导致产量相关的农艺性状表现变差。此外,间套作体系中,作物间的竞争除受作物自身的生物遗传特性(如根系构型等)和生态学特性决定外,还受多种因素的影响,如播种先后、生长发育状况、两作物共生期长短、种植密度等,因此提高大麦与马铃薯间作模式的生产力还有待于进一步研究。

大麦根据穗的棱型可分为二棱和多棱,不同棱型大麦品种的生长规律、代谢特点存在明显差异^[31]。贾巧君等^[32]对 43 份不同的大麦地方品种的遗传多样性分析发现,二棱品种的遗传变异明显高于多棱品种;张新忠等^[33]对 98 份二棱大麦和 89 份多棱大麦品种在不同试点的千粒重、粒长、粒宽进行了测定和分析,其中二棱大麦的千粒重、粒长和粒宽普遍高于多棱大麦,但这些研究结果都是在单作模式下进行的。本研究中,不论单作还是间作模式,二棱大麦的有效穗数、穗长、结实率、穗密度和千粒重均高于多棱大麦,多棱大麦的节间长度、茎粗、旗叶宽、单株秆重、单株穗重、单株粒重高于二棱大麦。相关性分析表明,在不同种植模式下大麦单株穗重和粒重对产量的综合作用较大。与单作不同的是,间作模式下茎粗、单株粒重、单株穗重、株高、旗叶宽和单株秆重对大麦产量的贡献率较大。综合来看,多棱大麦比二棱大麦具有更好的与产量相关的农艺性状,在间作模式下选择多棱大麦能够获得高产。本研究所选材料农艺性状具有较高的多样性,在两种模式下单株粒重、单株穗重、单株秆重的遗传变异程度均较高;在间作模式下,株高、茎粗、旗叶长、节间长度(二棱大麦)、旗叶宽(二棱大麦)等性状具有较高的遗传多样性指数,有利于本研究中种质资源的比较和选择,为特异种质筛选创造条件^[34-35]。

本研究中,不同种植模式下大麦多数性状间显著或极显著相关,不论在单作还是间作模式下,单株穗重和单株粒重与产量的相关系数最大,对大麦产量影响最大;间作模式下单株秆重、穗长与产量呈不同程度的负相关。蒋莹等^[20]通过对 143 份大麦的农艺性状相关性分析发现,影响大麦产量的农艺性状是单株穗数和穗粒数。因此,在间作大麦品种筛选时,应该选择单株穗重和粒重较大、单株秆重和穗长较小的品种,以获得高产。通过对间作模式下 64 份大麦品种进行聚类分析,将其分为矮秆中产、中秆低产、高秆低产和矮秆高产 4 个类群,其中矮秆高产类品种的主要特征是植

株最矮,结实率最高,单株秆重小,单株穗重、单株粒重最大,产量最高。结合相关性分析结果,该类种质最适宜于大麦与马铃薯间作,也可从中筛选优异种质用于间作大麦育种。

根据主成分分析所得到的综合评分(D值)对间作种植模式下的64份大麦品种进行排序,综合得分排名前5的分别是矮思82秆1、MF21-30、云稞1号、MF20-16、云饲麦16号,其中矮思82秆1、MF20-16、云饲麦16号归属上述矮秆高产类群,可以作为优先选择的目标种质。此外,本研究前期通过对不同种植模式下64份大麦品种的抗氧化酶活性分析,筛选出与马铃薯间作时具有较高抗氧化活性的大麦品种^[36],其中包括MF20-6,因此该品种可作为与马铃薯间作模式下高抗氧化性、农艺性状优良且高产的大麦品种推广应用。

参考文献:

- [1] PURUGGANAN M D, FULLER D Q. The nature of selection during plant domestication [J]. *Nature*, 2009, 457: 843.
- [2] 李金鹏, 翁颖, 田梦杰, 等. 麦苗营养价值研究进展[J]. 麦类作物学报, 2021, 41(9): 1105.
LI J P, WENG Y, TIAN M J, et al. Study progress on the nutritional value of wheat seedling [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2021, 41(9): 1105.
- [3] 曾亚文, 张京, 普晓英, 等. 云南大麦产业发展综合研究与利用[J]. 浙江农业学报, 2011, 23(3): 455.
ZENG Y W, ZHANG J, PU X Y, et al. Utilization and synthesis research on industrial development of barley in Yunnan [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2011, 23(3): 455.
- [4] 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.
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.
- [5] 夏腾飞, 王蕾, 徐金青, 等. 267份青藏高原青稞种质材料的表型多样性分析[J]. 西北农业学报, 2018, 27(2): 182.
XIA T F, WANG L, XU J Q, et al. The genotypic diversity analysis of 267 six-rowed hullless barley accessions from the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2018, 27(2): 182.
- [6] SAIMA G, SAGHEER A, NUROLAINI K, et al. Multiple pathways are responsible for anti-inflammatory and cardiovascular activities of *Hordeum vulgare* L [J]. *Journal of Translational Medicine*, 2014, 12(1): 316.
- [7] KIM W H, SHIN M, LEE J S, et al. Signaling pathways associated with macrophage-activating polysaccharides purified from fermented barley [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 131: 1084.
- [8] ZHANG J Y, XIAO X, DONG Y, et al. The anti-obesity effect of fermented barley extracts with *Lactobacillus plantarum* dy-1 and *Saccharomyces cerevisiae* in diet-induced obese rats [J]. *Food & function*, 2017, 8(3): 1132.
- [9] 王勇生, 王博, 雷恒. 大麦的营养价值与提高其畜禽利用率的措施[J]. 中国饲料, 2014(4): 18.
WANG Y S, WANG B, LEI H. Nutritional values and measures for improving utilization ratio of barley [J]. *China Feed*, 2014(4): 18.
- [10] GANGOPADHYAY N, HOSSAIN B M, RAI K D, et al. A review of extraction and analysis of bioactives in oat and barley and scope for use of novel food processing technologies [J]. *Molecules*, 2015, 20(6): 10884.
- [11] 赵盟, 王春超, 张仁旭, 等. 中国大麦育成品种产量相关性状鉴定评价[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(5): 1371.
ZHAO M, WANG C C, ZHANG R X, et al. Evaluation of the yield-related traits of Chinese barley cultivars [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2022, 23(5): 1371.
- [12] 谢芹芳, 杨兆春, 冯怀斯, 等. 云南腾冲多品种啤饲大麦的种植特性与产量表现[J]. 中国农技推广, 2020, 36(4): 27.
XIE Q F, YANG Z C, FENG H S, et al. Plant characteristics and yield performance of multi-variety feeding beer barley in Tengchong, Yunnan [J]. *China Agricultural Technology Extension*, 2020, 36(4): 27.
- [13] 王贝贝, 廖敦平, 范元芳, 等. 玉米大豆套作窄行距对作物竞争效应及物质分配的影响[J]. 中国油料作物学报, 2020, 42(5): 734.
WANG B B, LIAO D P, FAN Y F, et al. Effects of narrow row spacing on crop competition and substance distribution under maize-soybean relay strip intercropping [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2020, 42(5): 734.
- [14] RAO B. Biomass yield, essential oil yield and essential oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* species) as influenced by row spacings and intercropping with cornmint (*Mentha arvensis* L. f. piperascens Malinv. ex Holmes) [J]. *Industrial Crops & Products*, 2002, 16(2): 133.
- [15] BANIK P, MIDYA A, SARKAR B, et al. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering [J]. *European Journal of Agronomy*, 2005, 24(4): 325.
- [16] 肖世豪, 潘语卓, 俞霞, 等. 5年间作和施氮对甜玉米和大豆产量、农艺性状的影响[J]. 核农学报, 2023, 37(4): 822.
XIAO S H, PAN Y Z, YU X, et al. Effect of intercropping and nitrogen rate on sweet corn and soybean yield and agronomic characteristics during 5-year field experiments [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2023, 37(4): 822.
- [17] 王立立, 朱永永, 殷文, 等. 大麦/豌豆间作系统种间竞争力及产量对地下作用和密度互作的响应[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(3): 265.
WANG L L, ZHU Y Y, YIN W, et al. Competitiveness and yield response to belowground interaction and density in barley-pea intercropping system [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2016, 24(3): 265.
- [18] 杨金虎, 李立军, 张艳丽, 等. 科尔沁沙地燕麦间作箭筈豌豆与施肥对饲草养分积累、产量及水分利用的影响[J]. 西北农业学报, 2024, 33(1): 121.
YANG J H, LI L J, ZHANG Y L, et al. Effects of oat inter-

- cropping with common vetch and fertilization on forage nutrient accumulation, yield and water utilization in horqin sandy land [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2024, 33(1): 121.
- [19] 李玉贤, 杨树明, 曾亚文, 等. 大麦-马铃薯套作对大麦生物产量和籽粒功能成分的影响[J]. 云南农业大学学报: 自然科学版, 2012, 27(6): 783.
LI Y X, YANG S M, ZENG Y W, *et al.* Effects of the barley relay-intercropped potato on biomass yield and functional components of barley [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University: Natural Science*, 2012, 27(6): 783.
- [20] 蒋莹, 常蕾, 王安, 等. 143份大麦种质资源主要农艺性状遗传多样性分析[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(14): 94.
JIANG Y, CHANG L, WANG A, *et al.* Genetic diversity of main agronomic characters of 143 barley germplasm resources [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020, 48(14): 94.
- [21] 卓嘎, 伦珠朗杰, 张旭辉, 等. 西藏青稞地方品种主要农艺性状的遗传多样性[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2023, 51(6): 48.
ZHUO G, LUN Z L J, ZHANG X H, *et al.* Genetic diversity of main agronomic traits of barley landraces from Tibetan [J]. *Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition*, 2023, 51(6): 48.
- [22] 张英虎, 沈会权, 乔海龙, 等. 大麦种质资源农艺性状鉴定及其利用[J]. 大麦与谷类科学, 2018, 35(4): 58.
ZHANG Y H, SHEN H Q, QIAO H L, *et al.* Identification and utilization of agronomic traits in barley germplasm resources [J]. *Barley and Cereal Sciences*, 2018, 35(4): 58.
- [23] 张英虎, 沈会权, 周春霖, 等. 大麦种质资源株高和耐盐性分析[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(19): 56.
ZHANG Y H, SHEN H Q, ZHOU C L, *et al.* Analysis of plant height and salt tolerance of barley germplasm resource [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(19): 56.
- [24] 张京, 刘旭. 大麦种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
ZHANG J, LIU X. Descriptors and data standard for barley (*Hordeum vulgare* L.) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [25] WILLEY R W, RAO M R. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops [J]. *Experimental Agriculture*, 1980, 16(2): 117.
- [26] 蔡羽, 杨平, 冯宗云. 大麦表型多样性分析及优异饲草种质资源筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(4): 920.
CAI Y, YANG P, FENG Z Y. Characterization of phenotypic variation in cultivated barley provided elite genetic germplasm with potential breeding for silage barley [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(4): 920.
- [27] 王允, 张幸果, 李贺敏, 等. 花生主要农艺性状和产量性状的相关性与灰色关联度分析[J]. 河南农业大学学报, 2014, 48(6): 680.
WANG Y, ZHANG X G, LI H M, *et al.* Relativity and gray correlation analysis major of the agronomic characters and yield of peanut [J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2014, 48(6): 680.
- [28] COWDEN R J, SHAH A N, LEHMANN L M, *et al.* Nitrogen fertilizer effects on pea-barley intercrop productivity compared to sole crops in Denmark [J]. *Sustainability*, 2020, 12(22): 9335.
- [29] A. C D, S. A L, KALLIOPI G. Intercropping of faba bean with barley at various spatial arrangements affects dry matter and N yield, nitrogen nutrition index, and interspecific competition [J]. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2019, 47(4): 1116.
- [30] 刘广才, 李隆, 黄高宝, 等. 大麦/玉米间作优势及地上部和地下部因素的相对贡献研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(9): 1787.
LIU G C, LI L, HUANG G B, *et al.* Intercropping advantage and contribution of above-ground and below-ground interactions in the barley-maize intercropping [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(9): 1787.
- [31] 张小燕, 张跃进, 潘高峰. 日本不同稜型大麦种质资源农艺性状的差异[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(6): 38.
ZHANG X Y, ZHANG Y J, PAN G F. Study on germplasm resource among different rowed barley [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2006, 26(6): 38.
- [32] 贾巧君, 朱靖环, 汪军妹, 等. 浙江赤霉病抗性不同的大麦地方品种遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(3): 472.
JIA Q J, ZHU J H, WANG J M, *et al.* Genetic diversity of Zhejiang barley landraces with different levels of *Fusarium* head blight resistance [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2013, 14(3): 472.
- [33] 张新忠, 李英哲, 郭宝健, 等. 二棱大麦与六棱大麦籽粒性状的差异性及其相关性[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(11): 1474.
ZHANG X Z, LI Y Z, GUO B J, *et al.* Difference and correlation of grain characteristics in two and six rowed barley [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2016, 36(11): 1474.
- [34] 冯章丽, 于文全, 顾广军, 等. 东北部分地区山荆子种质资源表型多样性及聚类分析[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(6): 984.
FENG Z L, YU W Q, GU G J, *et al.* Phenotypic diversity and clustering analysis of *Malus baccata* (L.) borkh. in some areas of Northeast China [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2016, 17(6): 984.
- [35] 赵锋, 包奇军, 潘永东, 等. 70份大麦种质资源遗传多样性评价[J]. 作物杂志, 2023(6): 54.
ZHAO F, BAO Q J, PAN Y D, *et al.* Comprehensive evaluation of genetic diversity in 70 barley germplasms [J]. *Crops*, 2023(6): 54.
- [36] 赵塔, 杨丽娥, 杨晓梦, 等. 大麦马铃薯间作模式对大麦苗抗氧化酶活性的影响[J]. 中国种业, 2024(3): 82.
ZHAO T, YANG L E, YANG X M, *et al.* Effect of intercropping pattern of barley and potato on antioxidant enzymes activity in barley seedling [J]. *China Seed Industry*, 2024(3): 82.