

# 甜荞种质资源抗倒性评价及鉴定指标筛选

贾瑞玲<sup>1</sup>, 赵小琴<sup>1</sup>, 陈富<sup>1</sup>, 刘彦明<sup>1</sup>, 南铭<sup>2</sup>, 马宁<sup>1</sup>, 张娟宁<sup>1</sup>, 陈丽萍<sup>3</sup>, 向达兵<sup>4</sup>, 刘军秀<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>定西市农业科学研究院, 甘肃定西 743000; <sup>2</sup>甘肃省农业科学院作物研究所, 兰州 730070; <sup>3</sup>安定区凤翔镇政府, 甘肃定西 743000;

<sup>4</sup>成都大学食品与生物工程学院, 成都 610106)

**摘要:** 倒伏是影响甘肃中部甜荞产量的重要因素。本研究以 76 份国内外甜荞种质资源为试验材料, 通过计算 23 个与抗倒伏密切相关的性状的遗传多样性, 应用相关性分析、主成分分析、回归分析、聚类分析及逐步判别分析等方法, 对甜荞种质资源抗倒性进行综合评价。结果表明, 76 份甜荞种质材料的遗传多样性较高, 不同性状的遗传多样性指数分布范围为 2.349~4.331, 其中, 主茎第二节间长最大, 主茎分枝数最小。相关性分析表明, 23 个性状之间存在着不同程度的相关性。主成分分析表明, 前 5 个主成分能够代表 76 份甜荞种质 23 个性状 81.421% 的信息量。利用隶属函数法计算甜荞种质资源抗倒性综合得分值 ( $D$  值),  $D$  值平均为 0.469, 云甜荞 1 号  $D$  值最低 (0.200), TQ10-07  $D$  值最高 (0.819)。通过逐步回归分析, 筛选出株高、茎秆重心高度、主茎第一节间长及壁厚、主茎第二节间长、主茎分枝数、弯曲度和茎秆抗折力等 8 个性状可作为甜荞种质资源抗倒性的综合评价指标。聚类分析将 76 份供试材料分为 4 个类群, 其中类群 IV 的 10 份材料  $D$  值最高, 抗倒伏能力最强, 可作为种质创新及抗倒育种的亲本材料。本研究表明采用多元化统计分析方法对甜荞种质资源抗倒性进行综合评价是可行的, 为甘肃中部地区甜荞种质创新和抗倒伏育种提供依据和借鉴。

**关键词:** 甜荞; 旱作区; 茎秆; 抗倒性; 综合评价

## Evaluation of Lodging Resistance and Selection of Identification Indexes of Common Buckwheat Germplasm Resources

JIA Ruiling<sup>1</sup>, ZHAO Xiaoqin<sup>1</sup>, CHEN Fu<sup>1</sup>, Liu Yanming<sup>1</sup>, NAN Ming<sup>2</sup>, MA Ning<sup>1</sup>, ZHANG Juanning<sup>1</sup>,

CHEN Liping<sup>3</sup>, XIANG Dabing<sup>4</sup>, LIU Junxiu<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Dingxi Academy of Agricultural Sciences, Dingxi 743000, Gansu; <sup>2</sup>Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural

Sciences, Lanzhou 730070; <sup>3</sup>Fengxiang Town Government, Anding District, Dingxi 743000, Gansu;

<sup>4</sup>College of Food and Biological Engineering, Chengdu University, Chengdu 610106)

**Abstract:** Lodging is a main problem affecting the yield of common buckwheat in central Gansu, China. This study used 76 common buckwheat germplasm resources from both domestic and international sources to investigate genetic diversity of 23 phenotypic traits that associate to lodging resistance. Through applying statistic methods such as Shannon-Wiener diversity index, correlation analysis, principal component analysis, regression analysis, cluster analysis and stepwise discriminate analysis, a comprehensive evaluation of the lodging resistance was conducted. The collection of common buckwheat exhibited high genetic diversity, with diversity indices ranging from 2.349 to 4.331 for different traits, among which the number of main stem branches was the

收稿日期: 2024-03-14 网络出版日期: 2024-08-22

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240314002>

第一作者研究方向为荞麦种质创新及遗传育种, E-mail: jrl101309@163.com

通信作者: 向达兵, 研究方向为特色杂粮作物高产栽培与营养生理生态, E-mail: dabing.xiang@163.com

基金项目: 甘肃省科技计划(24CXNJ014); 农业农村部杂粮加工重点实验室/四川省杂粮产业化工程技术研究中心开放课题(2023CC002); 国家燕麦荞麦产业技术体系(CARS-07-G-12)

**Foundation projects:** Science and Technology Program of Gansu Province (24CXNJ014); The Opening Project of Key Laboratory of Coarse Cereal Processing of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, and Sichuan Engineering and Technology Research Center of Coarse Cereal Industrialization, Chengdu University (2023CC002); National Oats and Buckwheat Industry Technology System Program (CARS-07-G-12)

smallest and the length of the second inter-node was the highest. Correlation analysis revealed correlations of varying degrees among the 23 traits. The principal component analysis showed that the first five principal components could represent 81.421% of the information of the 23 traits. Using a membership function method, a comprehensive score value ( $D$ ) for lodging resistance was calculated, with an average  $D$  value of 0.469. The  $D$  value for Yuntianqiao 1 was the lowest (0.200) and the highest for TQ10-07 (0.819). Stepwise regression analysis identified eight traits, including plant height, stem height of center gravity, the first inter-node length and wall thickness, the second inter-node length, number of main stem branches, bending degree and stem resistance, as comprehensive evaluation indicators for lodging resistance of common buckwheat germplasm resources. Based on  $D$  value clustering, 76 materials were divided into four groups, among of which, 10 materials in class IV exhibited high lodging resistance and high  $D$  value, which could be used as parent materials for material innovation and breeding. This study showed that using a multivariate statistical analysis method for comprehensive evaluation of lodging resistance is feasible, providing a basis and reference for germplasm innovation and lodging-resistant breeding in common buckwheat in central Gansu, China.

**Key words:** common buckwheat; dry-farming region; culm; lodging resistance; comprehensive evaluation

荞麦属于蓼科(Polygonaceae)荞麦属(*Fagopyrum* Miller),富含芦丁、槲皮素等黄酮类成分,具有降血糖、抗炎抗氧化及保肝防癌等医用功效<sup>[1]</sup>,是独特的药食同源性作物,分布最广泛的栽培种有甜荞(*F. esculentum* Moench)和苦荞(*F. tataricum* Gaertn.)<sup>[2]</sup>。中国是世界荞麦的起源地和生产大国,甜荞主产区集中在东北、华北和西北地区<sup>[3]</sup>。近年来,我国荞麦种植面积呈减少趋势<sup>[4]</sup>。倒伏是造成种植面积和产量下降的重要因素之一<sup>[5]</sup>。作物的抗倒伏性是受多个基因控制的综合性状,受内在遗传因素、外界自然条件,以及施肥量、播种密度和深度等人工栽培措施的影响<sup>[6]</sup>。已有研究表明,甜荞的抗倒伏性与茎秆木质素含量密切相关<sup>[7]</sup>,其木质素单体主要为S-G型<sup>[5]</sup>。盛花期是甜荞茎秆木质素合成及积累的关键时期,*PAL*、*4CL*、*C4H*、*CAD*、*CCoAOMT*和*CCR*是甜荞茎秆木质素合成的关键酶基因<sup>[7]</sup>。烯效唑干拌种能够优化甜荞的茎秆结构、提高抗倒伏能力,增加产量<sup>[3]</sup>。基施硅肥可降低甜荞倒伏级别,使倒伏率显著减小<sup>[8]</sup>。种植密度对苦荞茎秆及根系形态具有显著影响,适宜的种植密度可增强抗倒伏能力,提高群体产量<sup>[9]</sup>。在西南丘陵山区影响苦荞倒伏的栽培因素从大到小依次为播种深度、播种量和施肥量<sup>[10]</sup>。

甘肃省是我国荞麦主产区之一<sup>[4]</sup>,但其中部地区7-9月的降雨多以暴雨、连阴雨形式出现<sup>[11]</sup>,此时正值荞麦盛花至成熟期,常常导致荞麦大面积倒伏。倒伏后的荞麦,不仅减产、品质变差,而且在以山地为主的黄土高原丘陵沟壑区更是严重妨碍机械化收割<sup>[12]</sup>,倒伏已成为限制当地荞麦高产优质、

制约荞麦产业化发展的重要因素。因此,培育高抗倒性品种成为最经济有效的解决途径,而抗倒伏种质的鉴定与筛选利用是其前提和基础。本研究以从国内外收集的76份甜荞种质资源为试验材料,利用甘肃省中部黄土高原半干旱区特殊的自然地理和气候条件,对荞麦种质的茎秆形态特征和机械强度进行分析研究,鉴定评价其抗倒伏性,确定抗倒伏指标,挖掘高抗倒资源,筛选高抗倒种质应用于甘肃中部半干旱区荞麦生产,以期解决当前生产中的实际问题,同时,为荞麦抗倒性育种提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为76份甜荞种质资源(表1),其中瑟梁诺奇卡、维多利亚、尤维莱纳、斯洛博然卡和克鲁佩斯卡引自乌克兰苏梅国立农业大学,Cherermshanka、Batyr和Nicholas引自俄罗斯喀山农科所,其余68份来自国内相应省、自治区的高校或科研院所。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 田间种植** 试验于2022-2023年在定西市农业科学研究院育种基地(E104°42', N35°32')进行。该地区为雨养农业区,海拔1920 m,年均温度7.3℃,无霜期104 d,年日照总时数2500 h,降水量350 mm,土壤为黄绵土。试验采用随机区组设计,小区面积4 m<sup>2</sup>(2 m×2 m),行距33 cm,种植6行,2次重复。2022-2023年均于6月下旬人工条播,9月中旬收获,四真叶期定苗至90万株/hm<sup>2</sup>,试验地四周设置保护行,田间管理略高于大田示范。

表1 76份参试甜荞种质资源

Table 1 76 common buckwheat germplasm resources

序号 No.	名称 Name	来源 Source	序号 No.	名称 Name	来源 Source	序号 No.	名称 Name	来源 Source	序号 No.	名称 Name	来源 Source
1	瑟梁诺奇卡	乌克兰	20	日本大粒荞	中国内蒙古	39	黑小荞	中国陕西	58	西农9978	中国陕西
2	维多利亚	乌克兰	21	2002-6	中国甘肃	40	宁D07-3	中国宁夏	59	大甜1号	中国贵州
3	尤维莱纳	乌克兰	22	固引1号	中国宁夏	41	蒙01-03-1	中国内蒙古	60	志丹红花荞	中国陕西
4	斯洛博然卡	乌克兰	23	定甜98-2	中国甘肃	42	荞杂-5	中国陕西	61	赤峰1号	中国内蒙古
5	克鲁佩斯卡	乌克兰	24	2002-9	中国甘肃	43	综甜荞1号	中国贵州	62	平选01-036	中国甘肃
6	Cherermshanka	俄罗斯	25	2002-5	中国甘肃	44	云甜荞1号	中国云南	63	吴起红花荞	中国陕西
7	Batyr	俄罗斯	26	榆荞2号	中国陕西	45	庆阳红花荞	中国甘肃	64	平01-034	中国甘肃
8	Nicholas	俄罗斯	27	2002-4	中国甘肃	46	吴起红花荞-2	中国陕西	65	牡丹荞	中国山西
9	石泉当地甜荞	中国甘肃	28	2002-3	中国甘肃	47	六荞1号	中国贵州	66	TQ09-14	中国陕西
10	平荞7号	中国甘肃	29	T4-04	中国甘肃	48	北早生	中国内蒙古	67	宁D07-1	中国宁夏
11	平荞5号	中国甘肃	30	西农9976	中国陕西	49	吉荞10号	中国吉林	68	TQ08-08	中国陕西
12	延安富县甜荞	中国陕西	31	定甜荞2号	中国甘肃	50	TQ10-3	中国陕西	69	TQ09-07	中国陕西
13	延甜荞1号	中国陕西	32	美国甜荞	中国山西	51	定边甜荞	中国陕西	70	改良1号	中国未知
14	安塞甜荞	中国陕西	33	定98-1	中国甘肃	52	丰甜1号	中国贵州	71	西农9976-2	中国陕西
15	晋荞1号	中国山西	34	榆9002	中国陕西	53	右试甜荞1号	中国山西	72	甜0103-3	中国内蒙古
16	云岩甜荞	中国山西	35	2002-2	中国甘肃	54	威宁白花荞	中国贵州	73	TQ10-07	中国陕西
17	晋荞3号	中国山西	36	9001平选	中国甘肃	55	C5-3	中国甘肃	74	本地小粒	中国内蒙古
18	T4-02	中国甘肃	37	通渭甜荞	中国甘肃	56	蒙固20	中国内蒙古	75	温莎	中国山西
19	延安宜川甜荞	中国陕西	38	小三棱	中国山西	57	平荞2号	中国甘肃	76	美国荞	中国山西

**1.2.2 农艺性状测定** 成熟期在各小区随机取样10株,测定株高、重心高度、单株鲜重、主茎分枝数、主茎节数<sup>[13]</sup>,以及主茎基部第一节间和第二节间的长、粗、壁厚、鲜重和干重,主茎第一节间、第二节间密度<sup>[14-15]</sup>,主茎第一节间、第二节间充实度。

其中,重心高度:将植株剪去根部平放在三角台上,当其保持平衡时将该点标记为平衡支点,主茎(带侧枝、花序和叶等)基部与平衡支点间的距离;主茎第一节间、第二节间密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )<sup>[14-15]</sup>=主茎第一节间、第二节间鲜重/主茎第一节间、第二节间体积,体积根据主茎第一节间、第二节间长、粗及壁厚计算获得;主茎第一节间、第二节间充实度( $\text{g}/\text{cm}$ )=主茎第一节间、第二节间干重/主茎第一节间、第二节间长。

**1.2.3 田间实际倒伏率测定** 按照乔春贵<sup>[16]</sup>的方法将倒伏面积和倒伏程度相结合分析鉴定76份参试种质的田间实际倒伏率。成熟期统计各小区总株数和倒伏株数,并逐株调查倒伏程度。倒伏程度以主茎与地面间的夹角表示,当主茎与地面夹角 $\leq 60^\circ$ 时记为该株倒伏,并将倒伏程度分为3种: $0^\circ\sim 30^\circ$ 为

第1种、 $31^\circ\sim 45^\circ$ 为第2种、 $46^\circ\sim 60^\circ$ 为第3种。

倒伏面积的计算公式如下。

$$S = \frac{\sum_{i=1}^m f_i}{n} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $S$ 表示倒伏面积, $n$ 为小区总株数, $m$ 为倒伏种类,即 $m=1,2,3$ , $f_i$ 指发生某种倒伏的植株数。

倒伏程度的计算公式如下。

$$I = \frac{\sum_{i=1}^m f_i \times x_i}{\sum_{i=1}^m f_i} \quad (2)$$

式中, $I$ 表示倒伏程度, $x_i$ 指 $0^\circ\sim 30^\circ$ 、 $31^\circ\sim 45^\circ$ 、 $46^\circ\sim 60^\circ$ 对应的3种不同程度的倒伏。

田间实际倒伏率以 $L$ 表示,计算公式如下。

$$L = S \times I \quad (3)$$

**1.2.4 弯曲度测定** 分别于盛花期和成熟期,在各小区选取未倒伏的植株10株,在每株主茎花序基部系一质量为10g的重物,花序基部与地面间的垂直距离为 $b$ ,植株基部与垂直线接地点间的水平距离为 $a$ ,弯曲度= $a/b$ <sup>[17]</sup>。

**1.2.5 茎秆抗折力与倒伏指数测定** 参照李源等<sup>[18]</sup>和陈晓光等<sup>[19]</sup>的方法,成熟期在各小区取未倒伏且具代表性的植株10株,准确找出每株(含花序、叶和侧枝)的平衡支点后,剥除侧枝及叶片等,仅留取其主茎基部至平衡支点间的茎秆,将两端固定于高1 m的支撑木架上,在其中部挂一体积为1 L的容器,向容器内匀速注入细沙至茎秆折断时称取容器及细沙重,记为茎秆抗折力(g)。倒伏指数=(茎秆重心高度×单株鲜重)/茎秆抗折力<sup>[13]</sup>。

**1.2.6 抗倒伏能力综合评价** 参照郑云霄等<sup>[20]</sup>和张一中等<sup>[21]</sup>的方法,以23个性状相应的主成分值作为系数构建线性函数,求得每份材料的5个主成分得分后,按照公式(4)计算各个主成分得分的模糊隶属函数值。

$$U(X_j) = (X_j - X_{j_{min}}) / (X_{j_{max}} - X_{j_{min}}) \times 100\% \quad (4)$$

式中, $U(X_j)$ 为第 $j$ 个主成分得分的模糊隶属函数值, $X_j$ 表示第 $j$ 个主成分得分, $X_{j_{max}}$ 和 $X_{j_{min}}$ 分别表示第 $i$ 个主成分得分的最大值及最小值。

按照公式(5)计算各个主成分得分的权重系数。

$$W_j = P_j / \sum_{j=1}^n P_j \quad (5)$$

式中, $W_j$ 表示第 $j$ 个主成分得分的权重系数; $P_j$ 代表第 $j$ 个主成分的贡献率。

按照公式(6)求得每份甜荞种质资源的抗倒性综合评价值,以 $D$ 表示。

$$D = \sum_{j=1}^n [U(X_j) \times W_j] \quad (6)$$

**1.2.7 判别函数构建** 参照郑云霄等<sup>[20]</sup>的方法,以聚类分析中不同类群种质材料的综合得分值为因

变量,主成分得分为自变量,采用逐步选择法计算费歇尔判别系数( $S_i, i=1, 2, 3, 4$ ),构建判别函数<sup>[22]</sup>,判别规则为 $S_i (i=1, 2, 3, 4)$ 值最大,则该份材料应归于第 $i$ 类。

### 1.3 数据分析

为消除年份间差异等因素的影响,以Z-score法对2022-2023年2年23个农艺性状2次重复的平均值进行标准化处理后,采用Excel 2017进行数据的计算与分析。

采用遗传多样性指数( $H'$ )进行遗传多样性评价,计算公式如下。

$$H' = -\sum_{i=1}^n P_i \times \ln P_i \quad (7)$$

式中, $P_i$ 指某个性状第 $i$ 个级别出现的频率占总材料数的百分比<sup>[23]</sup>。

采用SPSS 22.0以Kolmogorov-Smirnov(K-S检验)进行正态分布性检验,若 $P>0.05$ ,表明样本数据呈正态分布。采用Origin pro 2021进行相关性分析和聚类分析。采用SPSS 22.0进行主成分分析、聚类分析及回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 遗传多样性分析

方差分析显示 $F$ 值范围在0~11926.677,表明76份种质材料间的23个农艺性状差异均达到极显著水平。23个农艺性状中仅株高、茎秆重心高度、主茎第一节间的长、粗、鲜重及密度、主茎第二节间粗和茎秆抗折力等8个性状的变异符合正态性分布( $P>0.05$ ),其他性状均表现为非正态性分布(表2、图1)。

表2 76份甜荞材料农艺性状分布特征

Table 2 Distribution characteristics of agronomic traits of 76 common buckwheat materials

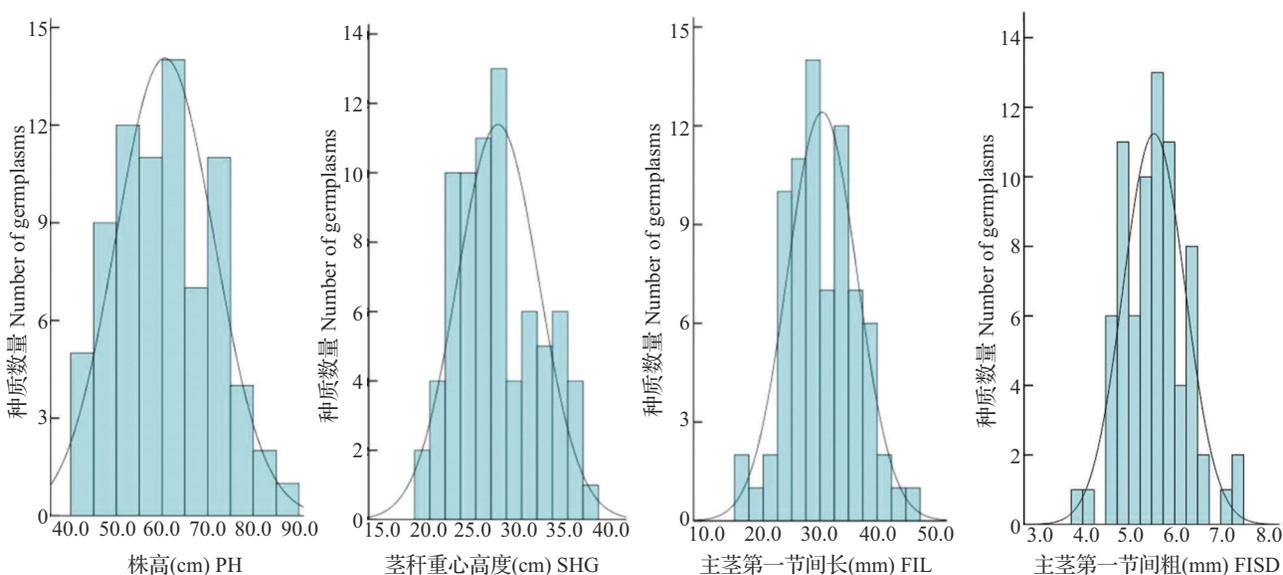
性状 Traits	Kolmogorov-Smirnov 正态分布性检验 K-S normal distribution test	P值 P value	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	F值 F-value
株高(cm)PH	0.083	0.200	0.381	-0.464	116.280**
茎秆重心高度(cm)SHG	0.088	0.200	0.325	-0.706	19.672**
单株鲜重(g)FWP	0.165	0.000	2.423	8.624	255.193**
主茎节数NM	0.110	0.024	-0.615	1.772	1.546**
主茎第一节间长(mm)FIL	0.072	0.200	0.023	-0.291	37.296**
主茎第一节间粗(mm)FISD	0.069	0.200	0.293	0.221	0.455**
主茎第一节间壁厚(mm)FIWT	0.140	0.001	1.273	1.558	0.217**
主茎第一节间鲜重(g)FIFW	0.082	0.200	0.448	-0.189	0.043**

表2(续)

性状 Traits	Kolmogorov-Smirnov 正态分布性检验 K-S normal distribution test	P值 P value	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	F值 F-value
主茎第一节间干重(g)FIDW	0.149	0.000	0.997	1.215	0.004**
主茎第一节间密度(g/cm <sup>3</sup> )FID	0.095	0.084	-0.038	0.906	0.025**
主茎第一节间充实度(g/cm)FIF	0.146	0.000	1.893	5.002	0.000**
主茎第二节间长(mm)FSL	0.113	0.018	0.682	0.518	117.949**
主茎第二节间粗(mm)FSSD	0.054	0.200	0.133	-0.005	0.731**
主茎第二节间壁厚(mm)FSWT	0.122	0.007	1.142	1.715	0.445**
主茎第二节间鲜重(g)FSFW	0.132	0.002	0.536	-0.242	0.126**
主茎第二节间干重(g)FSDW	0.167	0.000	1.072	0.691	0.005**
主茎第二节间密度(g/cm <sup>3</sup> )FSD	0.133	0.002	-0.184	5.049	0.068**
主茎第二节间充实度(g/cm)FSF	0.133	0.002	0.940	0.308	0.000**
主茎分枝数 NB	0.140	0.001	0.033	0.822	0.953**
弯曲度 BD	0.149	0.000	1.631	3.435	0.063**
茎秆抗折力(g)SR	0.093	0.166	0.621	0.371	11926.677**
倒伏指数 LI	1.111	0.021	1.115	1.846	5.666**
实际倒伏率 ALR	0.112	0.020	1.854	5.714	0.179**

\*\*代表在0.01水平上差异显著;下同

\*\* indicates significant difference at the 0.01 probability level; PH: Plant height; SHG: Stem height of center gravity; FWP: Fresh weight per plant; NM: Node number of main stem; FIL: The first inter-node length; FIDW: The first inter-node stem diameter; FIWT: The first inter-node wall thickness; FIFW: The first inter-node fresh weight; FIDW: The first inter-node dry weight; FID: The first inter-node density; FIF: The first inter-node fullness; FSL: The second inter-node length; FSSD: The second inter-node stem diameter; FSWT: The second inter-node wall thickness; FSFW: The second inter-node fresh weight; FSDW: The second inter-node dry weight; FSD: The second inter-node density; FSF: The second inter-node fullness; NB: Number of main stem branches; BD: Bending degree; SR: Stem resistance; LI: Lodging index; ALR: Actual lodging rate; The same as below



(图1)

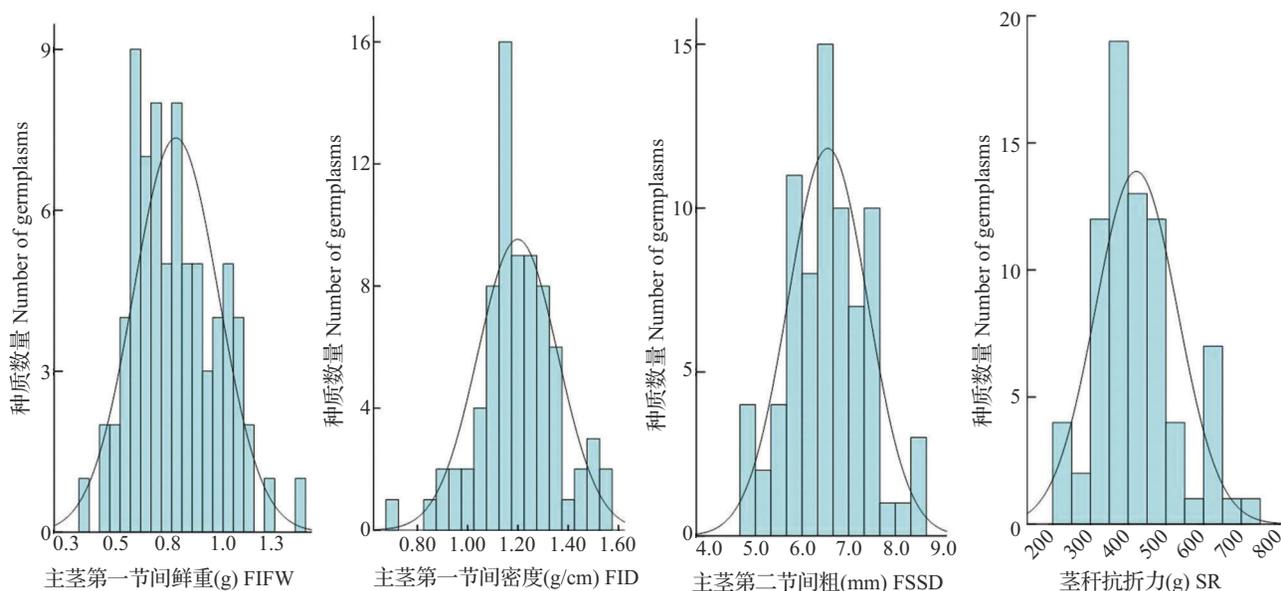


图1 76份甜荞种质资源8个性状的正态性分布

Fig. 1 Distribution of 8 traits of 76 common buckwheat germplasm resources

76份甜荞种质的23个农艺性状的变异系数平均值为25.31%,分布范围为4.37%~44.13%(表3),其中田间实际倒伏率变异系数最小,其次是主茎第一节间粗、主茎第二节间粗、主茎第一节间密度、主茎节数、主茎分枝数,变异系数最大的是单株鲜重,

表明主茎第一节间粗、主茎第二节间粗、主茎第一节间密度及主茎节数、主茎分枝数的遗传变异较为稳定,而田间实际倒伏率变异系数小可能与2022-2023年试验地点气候较为干旱,未发生大风、暴雨等灾害性天气有关。

表3 76份甜荞材料农艺性状变化特征

Table 3 Variation characteristics of agronomic traits of 76 common buckwheat materials

性状 Traits	均值 Mean	标准差 SD	最大值 Max.	最小值 Min.	变异系数 (%) CV	遗传多样性 指数 H'
株高(cm)PH	60.61	10.78	89.67	43.00	17.79	4.068
茎秆重心高度(cm)SHG	27.41	4.44	37.00	18.67	16.20	3.839
单株鲜重(g)FWP	36.19	15.97	116.47	14.37	44.13	4.276
主茎节数NM	8.78	1.24	12.00	5.00	14.12	2.470
主茎第一节间长(mm)FIL	30.36	6.11	46.22	16.90	20.13	4.330
主茎第一节间粗(mm)FISD	5.55	0.67	7.33	3.86	12.07	4.141
主茎第一节间壁厚(mm)FIWT	1.90	0.47	3.36	1.21	24.74	4.069
主茎第一节间鲜重(g)FIFW	0.77	0.21	1.36	0.32	27.27	3.815
主茎第一节间干重(g)FIDW	0.20	0.06	0.39	0.09	30.00	2.878
主茎第一节间密度(g/cm <sup>3</sup> )FID	1.20	0.16	1.57	0.70	13.33	3.522
主茎第一节间充实度(g/cm)FIF	0.07	0.02	0.15	0.03	32.32	3.684
主茎第二节间长(mm)FSL	35.86	10.86	65.27	15.56	30.28	4.331
主茎第二节间粗(mm)FSSD	6.55	0.85	8.61	4.73	12.98	4.185
主茎第二节间壁厚(mm)FSWT	1.99	0.67	4.06	0.89	33.67	4.062
主茎第二节间鲜重(g)FSFW	1.08	0.36	2.05	0.41	33.33	3.872
主茎第二节间干重(g)FSDW	0.20	0.07	0.43	0.08	35.00	3.077
主茎第二节间密度(g/cm <sup>3</sup> )FSD	1.13	0.26	1.85	0.81	23.01	3.653
主茎第二节间充实度(g/cm)FSF	0.06	0.02	0.11	0.03	31.50	3.588

表3 (续)

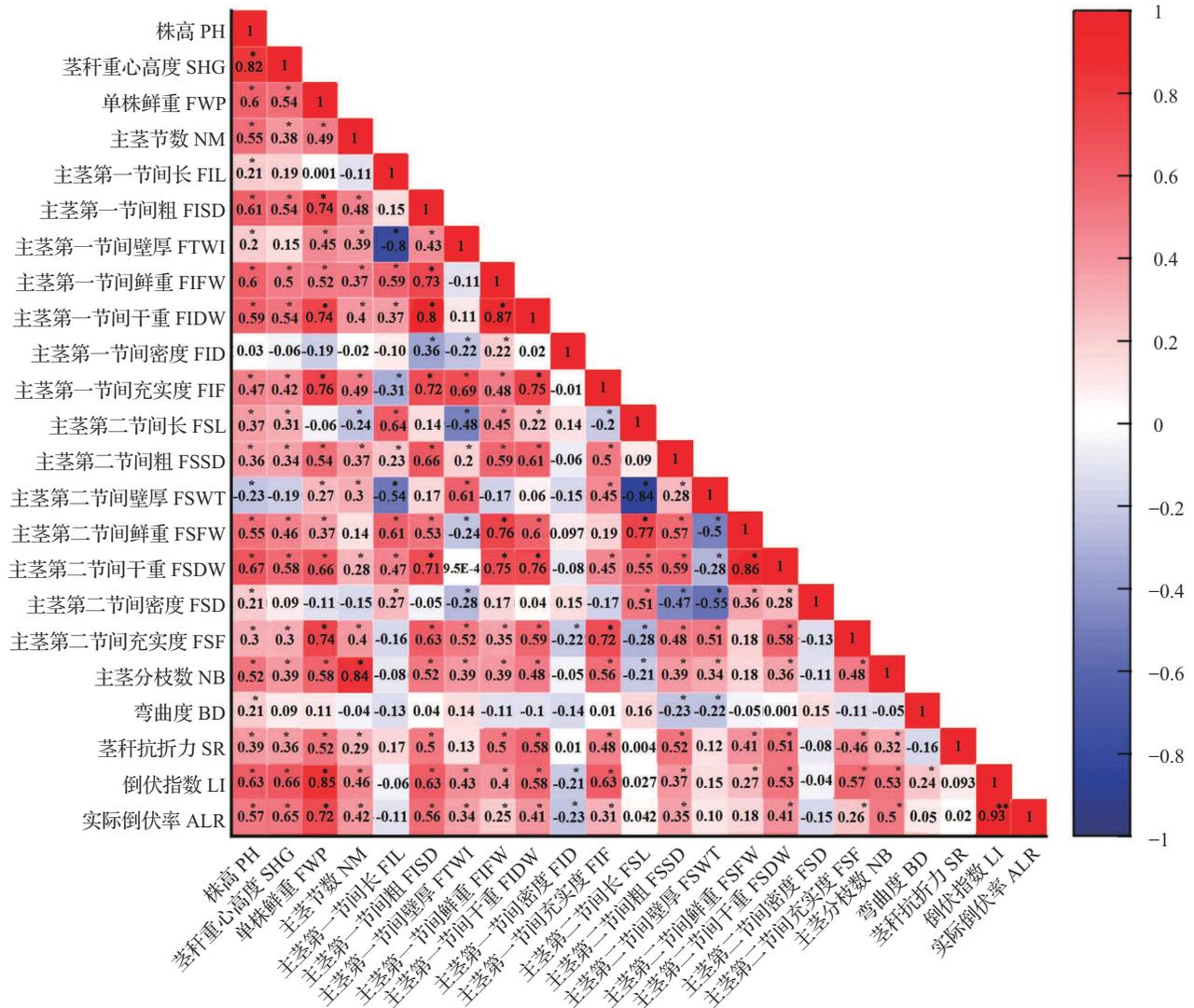
性状 Traits	均值 Mean	标准差 SD	最大值 Max.	最小值 Min.	变异系数 (%) CV	遗传多样性 指数 H'
主茎分枝数 NB	6.16	0.98	8.67	3.33	15.91	2.349
弯曲度 BD	0.62	0.25	1.56	0.24	40.32	3.135
茎秆抗折力(g)SR	421.67	109.21	730.00	206.67	25.90	3.927
倒伏指数 LI	2.42	1.06	7.06	0.87	43.80	4.167
实际倒伏率 ALR	0.97	4.27	2.84	0.36	4.37	3.891

76份甜荞种质的23个农艺性状的遗传多样性指数均较高,遗传多样性指数平均值为3.710,范围为2.349~4.331,其中主茎第二节间长最高,其次是主茎第一节间长,主茎分枝数最小,表明这76份甜荞种质的遗传基础较为广泛、遗传多样性丰富,在

抗倒伏性状改良方面的应用潜力较大。

2.2 相关性分析

相关性分析(图2)结果显示,23个性状间存在不同程度的相关性。参照欧阳慧等<sup>[17]</sup>的方法,将23个甜荞抗倒伏相关性状大致分为三类,第一类为株



\*代表在0.05水平上显著相关;下同

\* indicates significant correlation at the 0.05 probability level; The same as below

图2 76份甜荞种质资源23个性状的相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis of 23 agronomic traits of 76 common buckwheat germplasm resources

高、茎秆重心高度、单株鲜重、主茎节数及主茎分枝数,这5个性状是对甜荞植株形态的直接反映;第二类为主茎第一节间和第二节间的长、粗、壁厚、鲜重、干重、密度及充实度,这14个性状是对甜荞基部茎秆特性和机械强度的间接反映;第三类为弯曲度、茎秆抗折力、倒伏指数及实际倒伏率,这4个性状是对甜荞抗倒伏能力的综合反映。

由图2可知,株高、茎秆重心高度、单株鲜重、主茎节数及主茎分枝数之间均呈显著正相关,说明植株较高的甜荞种质,其主茎节数和分枝数较多、重量较大,重心高度也相应较高。主茎第一节间长与主茎第一节间鲜重、主茎第一节间干重呈显著正相关,与主茎第一节间壁厚呈显著负相关;主茎第二节间长与主茎第二节间鲜重、主茎第二节间干重、主茎第二节间密度均呈显著正相关,与主茎第二节间壁厚、主茎第二节间充实度均呈显著负相关,表明基部节间较长的种质,其茎秆壁薄、充实度低。主茎第一节间的长、粗、壁厚、鲜重、干重、充实度分别与主茎第二节间的长、粗、壁厚、鲜重、干重、充实度呈显著正相关,表明第一节间粗壮的种质,其第二节间也相应粗壮,第二节间特性受第一节间影响。

弯曲度与主茎第二节间粗、主茎第二节间壁厚均呈显著负相关;茎秆抗折力与主茎第一节间、第二节间的粗、鲜重、干重、充实度均呈显著正相关,表明主茎第一节间和第二节间粗重的种质材料茎秆抗折力强、不易发生弯曲。倒伏指数与实际倒伏率呈极显著正相关,二者均与株高、茎秆重心高度、单株鲜重、主茎节数、主茎分枝数,以及主茎第一节间的粗、壁厚、鲜重、干重、充实度和第二节间的粗、干重、充实度均呈显著正相关,而与主茎第一节间

密度呈显著的负相关,说明甜荞的抗倒伏能力与其基部第一节间特性更为密切。

### 2.3 主成分分析

主成分分析(表4)结果表明,提取的5个主成分因子累计贡献率达81.421%,表明5个主成分因子能够解释原23个农艺性状所包含的绝大部分信息,可以对76份甜荞种质资源抗倒伏性进行分析评价<sup>[20]</sup>。

第1主成分的贡献率最大,为40.641%,决定第1主成分贡献率的性状较多,其中特征向量最大的是单株鲜重,其次是主茎第一节间、第二节间的粗、鲜重、干重、充实度,以及株高、茎秆重心高度、主茎节数、主茎分枝数、茎秆抗折力、倒伏指数、实际倒伏率,这16个性状是对甜荞植株形态、茎秆基部节间特征和抗倒伏能力的综合反应,因此第1主成分综合因子。第2主成分的贡献率为20.995%,主茎第一节间长、第二节间长具有较高的正向载荷,而第一节间壁厚、第二节间壁厚具有较高的负向载荷,是对主茎基部第一节间、第二节间特性的综合反应,因此第2主成分基部节间特征因子。第3主成分的贡献率为9.594%,其中弯曲度的特征向量最大,为0.706,弯曲度不仅是决定第3主成分贡献率的主要性状,还是对甜荞茎秆所能承受负荷的间接反应<sup>[17]</sup>,因此第3主成分弯曲度因子。第4主成分的贡献率为5.771%,其中主茎第一节间密度的特征向量最大,是决定第4主成分贡献率的主要性状,因此第4主成分主茎第一节间密度因子。第5主成分的贡献率为4.421%,其中主茎第二节间密度的特征向量最大,是决定第5主成分贡献率的主要性状,因此第5主成分主茎第二节间密度因子。

表4 23个农艺性状前5个主成分的特征向量与贡献率

Table 4 Eigenvectors and contribution rate of first five principal components based on 23 agronomic traits

性状 Traits	主成分 Principal component				
	1	2	3	4	5
株高 PH	0.769	0.254	0.317	0.253	-0.077
茎秆重心高度 SHG	0.700	0.214	0.303	0.100	-0.172
单株鲜重 FWP	0.893	-0.188	0.107	-0.116	0.041
主茎节数 NM	0.612	-0.298	-0.005	0.501	-0.315
主茎第一节间长 FIL	0.157	0.817	-0.282	-0.092	-0.313
主茎第一节间粗 FISD	0.888	-0.018	-0.043	-0.251	0.051
主茎第一节间壁厚 FIWT	0.384	-0.750	0.233	-0.015	0.310
主茎第一节间鲜重 FIFW	0.758	0.455	-0.267	0.124	0.033
主茎第一节间干重 FIDW	0.877	0.179	-0.215	-0.019	0.119

表4(续)

性状 Traits	主成分 Principal component				
	1	2	3	4	5
主茎第一节间密度 FID	-0.116	0.237	-0.219	0.737	0.219
主茎第一节间充实度 FIF	0.794	-0.391	-0.030	0.060	0.339
主茎第二节间长 FSL	0.142	0.909	0.180	-0.092	0.048
主茎第二节间粗 FSSD	0.689	-0.015	-0.493	-0.222	-0.190
主茎第二节间壁厚 FSWT	0.151	-0.872	-0.311	-0.029	0.003
主茎第二节间鲜重 FSFW	0.591	0.707	-0.129	-0.070	0.069
主茎第二节间干重 FSDW	0.803	0.454	-0.026	-0.158	0.130
主茎第二节间密度 FSD	-0.034	0.574	0.365	0.234	0.446
主茎第二节间充实度 FSF	0.785	-0.385	-0.210	-0.108	0.151
主茎分枝数 NB	0.673	-0.297	0	0.414	-0.260
茎秆抗折力 SR	0.575	0.051	-0.459	0.003	0.291
弯曲度 BD	0.016	0.035	0.706	-0.132	0.111
倒伏指数 LI	0.685	-0.167	0.460	-0.031	-0.164
实际倒伏率 ALR	0.785	-0.062	0.461	-0.072	-0.183
特征向量 Eigenvalues	9.347	4.829	2.207	1.327	1.017
贡献率(%) Contribution rate	40.641	20.995	9.594	5.771	4.421
累计贡献率(%) Cumulative contribution rate	40.461	61.636	71.229	77.000	81.421

#### 2.4 抗倒性综合评价及评价指标筛选

根据主成分分析结果获得各种质材料的5个主成分得分值后,再按照公式(4)(5)(6)计算每份材料的抗倒性综合得分值( $D$ 值)。结果表明,76份甜荞种质抗倒性综合得分值 $D$ 值范围为0.200~0.819,平均为0.469,云甜荞1号的 $D$ 值最低,TQ10-07的 $D$ 值最高。

23个性状与综合得分值 $D$ 值的相关性分析结果表明,株高、茎秆重心高度、单株鲜重、茎秆抗折力、主茎节数、主茎分枝数、实际倒伏率以及主茎第一节间、第二节间的长、粗、鲜重、干重和充实度均与 $D$ 值极显著正相关,倒伏指数与 $D$ 值显著正相关;主茎第一节间、第二节间壁厚、密度及弯曲度与 $D$ 值的相关性不显著(表5)。

表5 23个农艺性状与抗倒性综合得分值( $D$ 值)的相关性分析Table 5 Correlation analysis between 23 agronomic traits and lodging resistance comprehensive value ( $D$  value)

性状 Traits	相关系数 Correlation coefficient	性状 Traits	相关系数 Correlation coefficient
株高 PH	0.710**	主茎第二节间粗 FSSD	0.543**
茎秆重心高度 SHG	0.637**	主茎第二节间壁厚 FSWT	-0.224
单株鲜重 FWP	0.577**	主茎第二节间鲜重 FSFW	0.710**
主茎节数 NM	0.330**	主茎第二节间干重 FSDW	0.758**
主茎第一节间长 FIL	0.440**	主茎第二节间密度 FSD	0.141
主茎第一节间粗 FISD	0.614**	主茎第二节间充实度 FSF	0.429**
主茎第一节间壁厚 FIWT	-0.031	主茎分枝数 NB	0.356**
主茎第一节间鲜重 FIFW	0.722**	弯曲度 BD	-0.036
主茎第一节间干重 FIDW	0.711**	茎秆抗折力 SR	0.872**
主茎第一节间密度 FID	0.051	倒伏指数 LI	0.293*
主茎第一节间充实度 FIF	0.429**	实际倒伏率 ALR	0.294**
主茎第二节间长 FSL	0.401**		

为筛选反应甜荞抗倒伏能力的农艺性状,以抗倒性综合得分为因变量,23个性状值为自变量,应用逐步回归分析法构建回归方程: $y = -0.31 + 0.258 x_1 + 0.045 x_2 + 0.066 x_3 - 0.045 x_7 + 0.234 x_{12} + 0.019 x_{19} - 0.011 x_{20} + 0.739 x_{21}$ 。式中, $x_1, x_2, x_3, x_7, x_{12}, x_{19}, x_{20}, x_{21}$ 分别代表株高、茎秆重心高度、主茎第一节间长、主茎第一节间壁厚、主茎第二节间长、主茎分枝数、弯曲度和茎秆抗折力,方程的决定系数 $R^2 = 0.998, F = 5342.017$ ,表明这8个自变量可以决定 $F$ 值总变异的99.8%, $P = 0.000 < 0.01$ 表明方程达极显著水平。由回归方程可知,株高及茎秆重心高度等8个性状对甜荞抗倒性综合得分具有显著影响,可作为甜荞抗倒性评价的主要指标。

### 2.5 聚类分析

对供试材料的主成分得分值进行聚类分析,将76份甜荞种质资源划分为4个类群(图3)。根据回归分析结果,比较4个类群在株高、茎秆重心高度及

主茎第一节间长等8个抗倒性评价指标间的特征差异,以进一步评价甜荞种质的抗倒伏能力(表6)。类群I包括温莎、Cherermshanka、西农9978及志丹红花荞等24份材料,主要特征为植株较高、主茎分枝数较多,茎秆重心较高,主茎第一节间长但较薄,抗倒伏能力较强,属于抗倒伏型。类群II包括尤维莱纳、通渭甜荞、庆阳红花荞和宁D07-3等38份材料,主要特征为植株较矮、主茎分枝数较少,抗倒伏能力较差,属于中抗倒伏型。类群III包括吉荞10号、右试甜荞1号、云甜荞1号和西农9976等4份材料,主要特征为植株低矮、主茎分枝数少,主茎第一节间短、壁薄,茎秆弯曲度和抗折力差,抗倒性弱,属于易倒伏类型。类群IV有固引1号、美国荞和TQ10-07等10份材料,主要特征为植株高大,主茎分枝数多,茎秆重心高,主茎第一节间长、厚,茎秆弯曲度和抗折力强,属于高抗倒伏型。

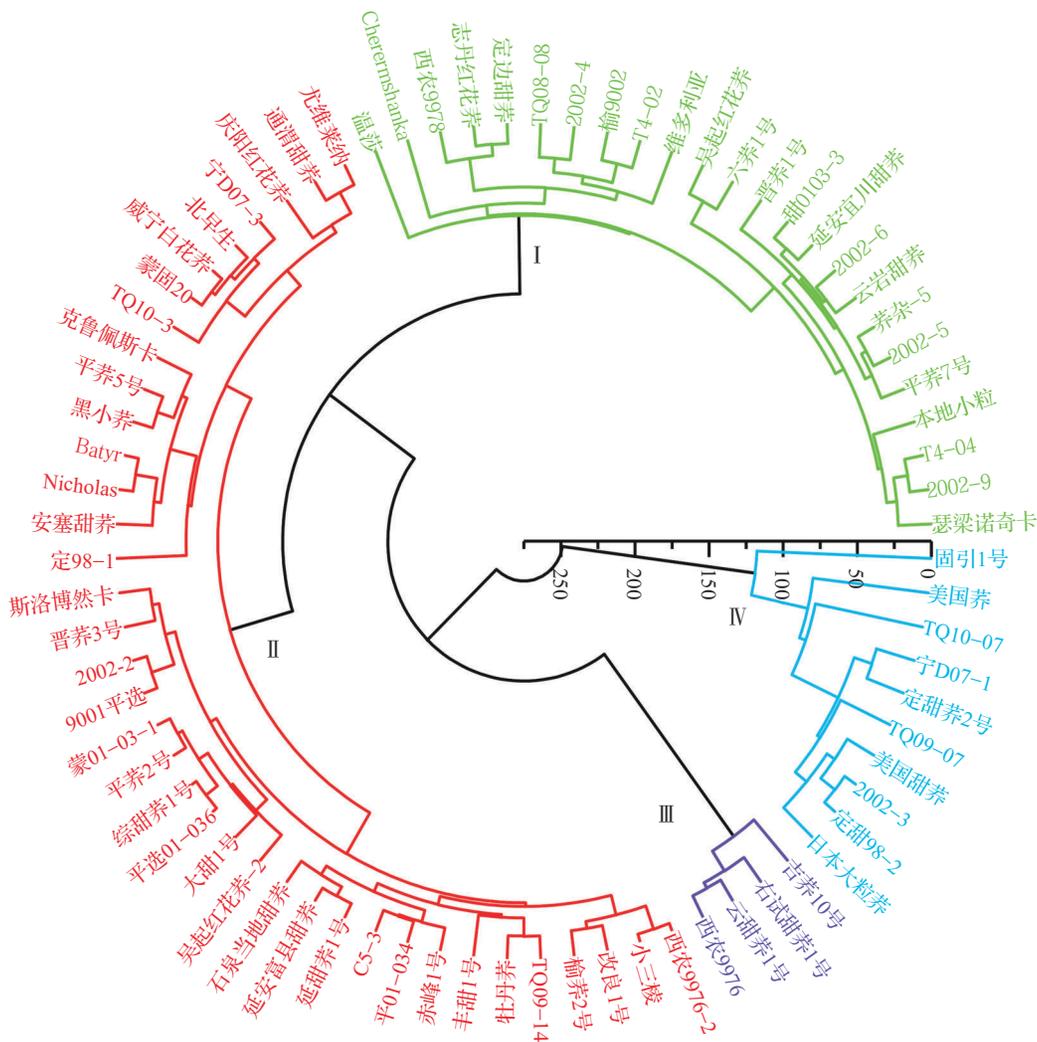


图3 基于主成分得分值的甜荞种质聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis of common buckwheat germplasm resources based on principal component score

表6 聚类分析中各抗倒类群表型特征

Table 6 Description of each group in hierarchical cluster result

类群 Group	份数 Number	D值 D-value	株高(cm) PH	茎秆重 心高度 (cm) SHG	主茎第一 节间长 (mm) FIL	主茎第一 节间壁厚 (mm) FIWT	主茎第二 节间长 (mm) FSL	主茎 分枝数 NB	弯曲度 BD	茎秆 抗折力 (g) SR
I	24	0.410~0.705	63.70	28.96	32.64	1.84	36.78	6.22	0.55	466.39
II	38	0.235~0.550	57.94	26.12	29.50	1.89	35.34	6.02	0.57	358.77
III	4	0.200~0.256	48.47	23.07	26.77	1.75	36.38	5.25	0.56	220.00
IV	10	0.655~0.819	68.25	30.32	29.57	2.18	35.44	6.90	0.69	636.67

在地理来源方面,76份种质中有78.95%来自中国甘肃省、陕西省、宁夏回族自治区、山西省、内蒙古自治区及吉林省等北方荞麦主产区,9.21%来自云南省、贵州省等西南高原荞麦主产区,其余3.95%和6.58%分别来自俄罗斯和乌克兰,表明这76份种质资源来源广泛,基本覆盖了甜荞在国内外的主要产区。然而,同样地理来源的种质并未聚为一类,这与地区间相互引种有关,说明种质资源间的遗传差异与其地理来源没有必然联系<sup>[24]</sup>。

## 2.6 判别分析

通过构建判别函数对聚类分析结果进行验证,判别函数如下。

$$S_1 = -0.364 + 0.549Y_1 + 0.644Y_2 + 0.092Y_3 + 0.159Y_4 + 0.052Y_5$$

$$S_2 = -0.364 + 0.504Y_1 + 0.714Y_2 + 0.108Y_3 + 0.143Y_4 + 0.046Y_5$$

$$S_3 = -0.317 - 1.432Y_1 + 0.807Y_2 - 0.003Y_3 - 0.002Y_4 - 0.257Y_5$$

$$S_4 = -0.368 + 0.506Y_1 + 0.546Y_2 + 0.221Y_3 + 0.228Y_4 + 0.147Y_5$$

基于判别规则,对76份甜荞种质进行重新归类,结果表明原聚类分析中类群I的24份材料,经判别分析重新归类后保持不变;原聚类分析中类群II的38份材料经判别分析后有36份保持不变,有2份材料尤维莱纳和斯洛博然卡被重新归为类群III;原聚类分析中类群III的4份材料保持不变;原聚类分析中类群IV的10份材料有9份保持不变,仅有1份(固引1号)被重新归为类群III。由此可见,聚类分析中仅有3份材料被误判,误判率为3.95%,说明以抗倒性主成分得分值进行聚类分析所得的结果是准确、可靠的。

## 3 讨论

目前,运用多种性状指标评价作物抗倒伏能力

的研究较多。汪灿等<sup>[25]</sup>通过研究4个甜荞品种茎秆的解剖结构及木质素含量,指出茎秆木质素含量、茎壁厚度、机械组织层数与机械组织厚度、维管束数目与维管束面积可作为甜荞抗倒伏能力的评价指标。本研究通过分析23个与抗倒伏密切相关的农艺性状的变异系数和遗传多样性指数,发现其变异系数及遗传多样性指数的平均值均较高、变化范围较大,说明76份甜荞种质资源在抗倒伏性状上具有较为丰富的遗传基础和多样性。通过构建回归模型,从中筛选出8个对甜荞抗倒伏能力具有重要影响的农艺性状,可作为甜荞抗倒性综合评价的重要参考指标,这8个指标分别为株高、茎秆重心高度、主茎第一节间长、主茎第一节间壁厚、主茎第二节间长、主茎分枝数、弯曲度及茎秆抗折力,这与相关性分析结果相一致,即甜荞的抗倒伏能力不仅与反应植株形态特征的株高、茎秆重心高度、主茎分枝数等性状密切相关,还与基部第一节间、第二节间特性密切相关,尤其是主茎第一节间;而弯曲度和茎秆抗折力则反映甜荞茎秆的韧性和强度大小,也是对甜荞茎秆木质素含量高低的间接反映,分枝数多、植株高大,主茎第一节间、第二节间尤其是第一节间长且粗,茎秆抗折力和弯曲度大的甜荞品种抗倒伏能力强。

此外,本研究采用主成分分析将23个抗倒伏相关性状有效降维为累计贡献率为81.421%的5个主成分,其中,决定第3主成分贡献率的主要性状是弯曲度,弯曲度作为本研究筛选的甜荞抗倒性综合评价重要指标之一,在大田生产及抗倒伏育种中具有更为直观、操作简便的特性。在主成分分析基础上,利用抗倒性综合得分值进行聚类分析,将76份材料划分为4个抗倒性强弱不同的类群,并采用Fisher判别分析法进一步验证了聚类分析的结果,增加了聚类结果的可靠性。根据聚类分析结果,类群IV包括定甜荞2号、TQ10-07、美国荞等10份材

料,其株高、主茎第一节间长及壁厚、茎秆抗折力等抗倒性评价指标值均大于其他类群,属于高秆、高抗倒类型,由于高秆高抗倒的特性更有利于机械收获,因此在甘肃中部地区大田生产中具有较强的应用潜力和前景,同时也可作为抗倒伏性状改良和杂交种的组配提供理论依据。类群I和类群II中的种质材料特征介于类群III和类群IV之间,属于中秆、中抗或易倒伏类型;类群III的4份材料虽然植株矮小,但抗倒伏能力最弱,可能与其根系特征有关,还需进一步分析研究。

### 参考文献

- [1] 任奎,唐宇,范昱,李伟,赖弟利,严明理,张凯旋,周美亮.中国西部六省(区)荞麦属稀有种质资源收集与分类鉴定.植物遗传资源学报,2021,22(4):963-970  
Ren K, Tang Y, Fan Y, Li W, Lai D L, Yan M L, Zhang K X, Zhou M L. Collection and identification of rare germplasm resources of the genus *Fagopyrum* Mill. in six provinces of China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2021, 22(4): 963-970
- [2] 任奎,沈伦豪,唐宇,严明理,张凯旋,刘丽莉,周美亮.中国野生金荞麦种质资源的调查与收集.植物遗传资源学报,2022,23(4):964-971  
Ren K, Shen L H, Tang Y, Yan M L, Zhang K X, Liu L L, Zhou M L. Survey and collection of wild *Fagopyrum*. *Cymosum* (Trevir.) Meisn. germplasm resources in China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2022, 23(4): 964-971
- [3] 刘星贝,汪灿,胡丹,杨浩,余恒志,阮仁武,吴东倩,易泽林.烯效唑干拌种对甜荞茎秆抗倒性能的影响.作物学报,2016,42(1):93-103  
Liu X B, Wang C, Hu D, Yang H, She H Z, Ruan R W, Wu D Q, Yi Z L. Effects of seed dressing with uniconazole powder on lodging resistance of culm in common buckwheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2016, 42(1): 93-103
- [4] 严慧玲,陈泓旭,叶雪玲,曹亚楠,赵江林,向达兵,胡一晨,邹亮.我国荞麦产业发展现状与对策浅析.四川农业科技,2023(2):12-23  
Yan H L, Chen H X, Ye X L, Cao Y N, Zhao J L, Xiang D B, Hu Y C, Zhou L. Analysis of the development status and countermeasures of buckwheat industry in China. *Sichuan Agricultural Science and Technology*, 2023(2): 12-23
- [5] 余恒志,聂蛟,李英双,刘星贝,胡丹,马珊,次仁卓嘎,汪灿,吴东倩,阮仁武,易泽林.不同抗倒伏能力甜荞品种茎秆木质素及其单体合成特征.中国农业科学,2017,50(7):1202-1209  
She H Z, Nie J, Li Y S, Liu X B, Hu D, Ma S, Ciren Z G, Wang C, Wu D Q, Ruan R W, Yi Z L. Lignin and ligninmonomer synthetic characteristics of culm in common buckwheat with different lodging resistance capabilities. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(7): 1202-1209
- [6] 刘明,王贞杰,孙亚男,赵彩桐,韩德志,李文滨,姜振峰.基于主茎力学特性的大豆种质资源抗倒伏性分析.大豆科学,2023,42(1):23-31  
Liu M, Wang Z J, Sun Y N, Zhao C T, Han D Z, Li W B, Jiang Z F. Analysis of lodging resistance of soybean germplasm resources based on mechanical properties of main stem. *Soybean Science*, 2023, 42(1): 23-31
- [7] 胡丹,刘星贝,汪灿,杨浩,李鹤鑫,阮仁武,袁晓辉,易泽林.不同抗倒性甜荞茎秆木质素合成关键酶基因的表达分析.中国农业科学,2015,48(9):1864-1872  
Hu D, Liu X B, Wang C, Yang H, Li H X, Ruan R W, Yuan X H, Yi Z L. Expression analysis of key enzyme genes in lignin synthesis of culm among different lodging resistances of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(9): 1864-1872
- [8] 余恒志,聂蛟,李英双,张玉珂,黄科慧,张园莉,方小梅,阮仁武,易泽林.施硅量对甜荞倒伏及产量的影响.中国农业科学,2018,51(14):2664-2674  
She H Z, Nie J, Li Y S, Zhang Y K, Huang K H, Zhang Y L, Fang X M, Ruan R W, Yi Z L. Effects of silicon application rate on common buckwheat lodging and yield. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(14): 2664-2674
- [9] 向达兵,李静,范昱,彭镰心,宋超,赵钢,赵江林.种植密度对苦荞麦抗倒伏特性及产量的影响.中国农学通报,2014,30(6):242-247  
Xiang D B, Li J, Fan Y, Peng L X, Song C, Zhao G, Zhao J L. The effect of planting density on lodging resistance and yield of tartary buckwheat. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(6): 242-247
- [10] 伍浩天,聂蛟,杨文娟,张智勇,吴康红,李晓瑜,方小梅,阮仁武,易泽林.机播深度、播种量和施肥量对苦荞倒伏及产量的影响.草业学报,2020,29(12):61-72  
Wu H T, Nie J, Yang W J, Zhang Z Y, Wu K H, Li X Y, Fang X M, Ruan R W, Yi Z L. Effects of machine sowing depth and amounts of seeds and fertilizer on lodging and yield of tartary buckwheat. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(12): 61-72
- [11] 齐月,赵鸿,雷俊,王丽娟,芦亚玲,赵福年,杨阳,陈斐.黄土高原半干旱区马铃薯产量对气候变化的响应.干旱地区农业研究,2023,41(1):193-220  
Qi Y, Zhao H, Lei J, Wang L J, Lu Y L, Zhao F N, Yang Y, Chen F. Response of potato yield to climate change in semi-arid region of the Loess Plateau. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2023, 41(1): 193-220
- [12] 高翔,郝志萍,吕惠卿,刘璋,周忠宇,贺文文,阎昊,王官.荞麦抗倒性研究进展.中国农学通报,2019,35(13):6-11  
Gao X, Hao Z P, Lv H Q, Liu Z, Zhou Z Y, He W W, Yan H, Wang G. Research progress on lodging resistance of buckwheat. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35(13): 6-11
- [13] 张宗文,林如法.荞麦种质资源描述规范和数据标准.北京:

- 中国农业出版社, 2007
- Zhang Z W, Lin R F. Descriptors and data standard for buckwheat (*Fagopyrum spp.*). Beijing: China Agriculture Press, 2007
- [14] 徐磊, 王大伟, 时荣盛, 盛中飞, 李安飞. 小麦基部节间茎秆密度与抗倒性关系的研究. 麦类作物学报, 2009, 29(4): 673-679
- Xu L, Wang D W, Shi R S, Sheng Z F, Li A F. Relationship between lodging-resistance and the density of the bottom elongate stem in wheat. Journal of Triticeae Crops, 2009, 29(4): 673-679
- [15] 姚玉莹. 水稻核心种质抗倒性及其主要农艺性状的全基因组关联分析. 武汉: 华中农业大学, 2014
- Yao Y Y. Characterization of lodging resistance and gwas of main agronomic traits in rice core germplasm. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014
- [16] 乔春贵. 作物抗倒伏性的综合指标—倒伏指数. 吉林农业大学学报, 1988, 10(1): 7-10
- Qiao C G. Lodging index—a synthetic indication of lodging-resistance. Journal of Jilin Agricultural University, 1988, 10(1): 7-10
- [17] 欧阳慧, 杨贤莉, 王立志, 张天驰, 迟力勇, 赵茜, 张喜娟, 李明贤, 李志杰, 李锐, 孙兵, 武小霞, 吴立仁, 吕国依, 姜树坤. 水稻抗倒伏性评价方法及机理的研究现状与展望. 中国稻米, 2023, 29(2): 12-17
- Ouyang H, Yang X L, Wang L Z, Zhang T C, Chi L Y, Zhao Q, Zhang X J, Li M X, Li Z J, Li R, Sun B, Wu X Z, Wu L R, Lv G Y, Jiang S K. Research advances and prospects of evaluation methods and mechanisms of rice lodging resistance. China Rice, 2023, 29(2): 12-17
- [18] 李源, 赵海明, 游永亮, 武瑞鑫, 张遂林, 刘贵波. 饲草高粱茎秆特征与抗倒性关系分析. 草地学报, 2020, 28(6): 1798-1804
- Li Y, Zhao H M, You Y L, Wu R X, Zhang S L, Liu G B. Analysis of the relationship between stem traits and lodging resistance of forage sorghum. Acta Agrestia Sinica, 2020, 28(6): 1798-1804
- [19] 陈晓光, 史春余, 尹燕桦, 王振林, 石玉华, 彭佃亮, 倪英丽, 蔡铁. 小麦茎秆木质素代谢及其与抗倒性的关系. 作物学报, 2011, 37(9): 1616-1622
- Chen X G, Shi C Y, Yin Y P, Wang Z L, Shi Y H, Peng D L, Ni Y L, Cai T. Relationship between lignin metabolism and lodging resistance in wheat. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(9): 1616-1622
- [20] 郑云霄, 刘文斯, 赵永锋, 贾晓艳, 祝丽英, 黄亚群, 陈景堂, 郭晋杰. 玉米种质资源的抗倒伏性评价及鉴定指标筛选. 植物遗传资源学报, 2019, 20(6): 1588-1596
- Zheng Y X, Liu W S, Zhao Y F, Jia X Y, Zhu L Y, Huang Y Q, Chen J T, Guo J J. Evaluation of lodging resistance and selection of identification indexes of maize germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(6): 1588-1596
- [21] 张一中, 张晓娟, 梁笃, 郭琦, 范昕琦, 聂萌恩, 王绘艳, 赵文博, 杜维俊, 柳青山. 基于农艺性状的高粱育种材料遗传多样性分析及综合评价. 中国农业科学, 2023, 56(15): 2837-2853
- Zhang Y Z, Zhang X J, Liang D, Guo Q, Fan X Q, Nie M E, Wang H Y, Zhao W B, Du W J, Liu Q S. Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of sorghum breeding materials based on phenotypic traits. Scientia Agricultura Sinica, 2023, 56(15): 2837-2853
- [22] 钟冲, 郭强. 费歇尔判别法及其应用. 西南交通大学学报, 2008, 43(1): 136-141
- Zhong C, Guo Q. Fisher discrimination method and its application. Journal of Southwest Jiaotong University, 2008, 43(1): 136-141
- [23] 贾瑞玲, 赵小琴, 南铭, 陈富, 刘彦明, 魏立平, 刘军秀, 马宁. 64份苦荞种质资源农艺性状遗传多样性分析与综合评价. 作物杂志, 2021(3): 19-27
- Jia R L, Zhao X Q, Nan M, Chen F, Liu Y M, Wei L P, Liu J X, Ma N. Genetic diversity analysis and comprehensive assessment of agronomic traits of 64 tartary buckwheat germplasms. Crops, 2021(3): 19-27
- [24] 南铭, 马宁, 刘彦明, 任生兰, 边芳. 燕麦种质资源农艺性状的遗传多样性分析. 干旱地区农业研究. 2015, 33(1): 262-267
- Nan M, Ma N, Liu Y M, Ren S L, Bian F. Genetic diversity analysis on agronomic characteristics of oat germplasms. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(1): 262-267
- [25] 汪灿, 阮仁武, 袁晓辉, 胡丹, 杨浩, 林婷婷, 何沛龙, 李燕, 易泽林. 荞麦茎秆解剖结构和木质素代谢及其与抗倒性的关系. 作物学报, 2014, 40(10): 1846-1856
- Wang C, Ruan R W, Yuan X H, Hu D, Yang H, Lin T T, He P L, Li Y, Yi Z L. Relationship of anatomical structure and lignin metabolism with lodging resistance of culm in buckwheat. Acta Agronomica Sinica, 2014, 40(10): 1846-1856