



糜子种质材料的抗倒伏性、农艺性状及力学特性

董孔军, 刘天鹏, 何继红, 任瑞玉, 张磊, 杨天育

(甘肃省农业科学院 作物研究所, 兰州 730070)

摘要 2016年在敦煌绿洲灌水区对来自中国不同生态区的59份糜子种质材料进行田间抗倒伏性鉴定与评价。结果显示:59份种质材料中17份未倒伏,占28.8%,42份有不同程度的倒伏,占71.2%。农艺性状与倒伏率的相关性分析表明,糜子株高、株穗质量及茎粗与倒伏率显著相关。茎秆机械强度、倒伏指数与倒伏率极相关,相关系数分别是-0.364和0.833。倒伏指数和农艺性状的相关性与倒伏率和农艺性状的相关性吻合度最高,说明倒伏指数能全面可靠地代替倒伏率评价糜子种质材料的抗倒伏性。同时筛选鉴定的‘陇糜7号’‘陇糜10号’‘内糜3号’抗倒伏性强,综合性状优良,是糜子抗倒伏基因资源的理想材料。

关键词 糜子;抗倒伏;种质资源;农艺性状;力学特性

中图分类号 S326

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2018)08-1119-08

倒伏是由外界因素引发的植株茎秆从自然直立状态到永久错位的现象,倒伏已经成为作物高产稳产优质的重要限制性因素之一^[1],不同作物类型、品种的抗倒伏能力显著不同。在小麦、水稻、谷子等作物上的研究表明,不同品种的抗倒伏性与其基因型密切相关^[2-5],根茎特性、不同株型都直接影响植物的抗倒性能,如株高、穗位高度、茎节间数、茎秆强度、茎秆的可溶性物质、根数、根的分布、根的抗拉性等,不同试材间存在显著差异。大量研究认为,与抗倒伏性关系比较密切的是株高、茎粗、茎的机械强度和根系^[6-9]。糜子是起源于中国的杂粮作物^[10],具有抗旱、耐瘠、适应性强、生育期短的特性。同时糜子又是C4作物,喜温、喜热,和其他禾本科作物一样,糜子茎秆也是由中空的伸长节间构成,相对谷子,糜子的节数较少,但是节间长,节间生长受环境影响大,易倒伏。因此倒伏是糜子生产中的普遍现象。但是对糜子抗倒伏的研究极少。高志军等^[11]、王宇先^[12]通过倒伏系数对糜子进行抗倒伏研究,认为通过倒伏系数能较客观地评价糜子的抗倒伏能力;王显瑞等^[13]的研究表明,施用K肥能有效降低倒伏率和倒伏角度。本研究通过对主要糜子品种资源

的农艺性状鉴定及生物力学评价,研究糜子倒伏性与农艺性状的相关性,提出糜子抗倒伏指标,全面评价糜子资源的抗倒伏能力,挖掘抗倒伏资源,为糜子抗倒伏品种选育提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选择不同生态区的农家品种15份,育成品种44份(表1)。

1.2 试验设计及田间管理

试验于2016年在敦煌绿洲灌水区进行,试验田间顺序排列:每小区24行区,面积18 m²,行宽25 cm,行长3 m,每小区间空2行。留苗密度50 000株/666.7 m²。生育期间足量供水、肥,保持旺盛生长。水处理:全生育期灌水2次,拔节期(6月10日)和灌浆期(7月20日)各1次,每次浇水以全部试验材料漫过不大量积水为止。播前统一饱灌1次,以保全苗。播前结合翻耕整地按当地平均水平一次性施足底肥(全生育期不追肥),整地后耙耱镇压,人工手锄开沟条播或耩播。

1.3 倒伏分级及倒伏率的测定

在糜子成熟前3天调查各小区倒伏的株数和

收稿日期:2018-01-15 修回日期:2018-04-18

基金项目:国家现代农业产业技术体系(CARS-06-13.5-A9);国家自然科学基金地区基金(31460381);甘肃省农业科学院学科团队(2017GAAS21)。

第一作者:董孔军,男,副研究员,研究方向为谷子糜子遗传育种。E-mail:broommillet@163.com

通信作者:杨天育,男,研究员,研究方向为小杂粮遗传育种与栽培。E-mail:13519638111@163.com

总株数,倒伏率(%)=倒伏株数/总株数×100%; 0~3级,0级为0~15°、1级为16~30°、
根据主茎与地面的夹角度数将倒伏程度^[14]分为 2级为31~60°、3级为61~90°。

表 1 材料及来源

Table 1 Materials and sources

序号 No.	名称 Name	来源 Source	序号 No.	名称 Name	来源 Source
1	昌图红糜子 Changtuhongmeizi	辽宁 Liaoning	31	内糜 5 号 Neimei 5	内蒙 Inner Mongolia
2	镇原猩猩头 Zhenyuanxinhoutou	甘肃 Gansu	32	内糜 6 号 Neimei 6	内蒙 Inner Mongolia
3	污咀黍 Wuzhishu	山西 Shanxi	33	内糜 9 号 Neimei 9	内蒙 Inner Mongolia
4	杭旗小红糜 Hangqixiaohongmei	内蒙 Inner Mongolia	34	内糜 1 号 Neimei 1	内蒙 Inner Mongolia
5	六十天 Liushitian	山西 Shanxi	35	内糜 3 号 Neimei 3	内蒙 Inner Mongolia
6	黑糜子 Heimeizi	陕西 Shaanxi	36	赤糜 1 号 Chimei 1	内蒙 Inner Mongolia
7	大白黍 Dabaishu	河北 Hebei	37	赤糜 2 号 Chimei 2	内蒙 Inner Mongolia
8	外引黍 5 号 Waiyinshu 5	陕西 Shaanxi	38	榆糜 2 号 Yumei 2	陕西 Shaanxi
9	B85-90	甘肃 Gansu	39	榆糜 3 号 Yumei 3	陕西 Shaanxi
10	皋兰白糜子 Gaolanbaimeizi	甘肃 Gansu	40	伊选黄糜 Yixuanhuangmei	内蒙 Inner Mongolia
11	定西大黄糜 Dingxidahuangmei	甘肃 Gansu	41	内糜 7 号 Neimei 7	内蒙 Inner Mongolia
12	天水黑糜 Tianshuiheimei	甘肃 Gansu	42	内糜 8 号 Neimei 8	内蒙 Inner Mongolia
13	临泽糜子 Lingzemameizi	甘肃 Gansu	43	赤黍 1 号 Chshu 1	内蒙 Inner Mongolia
14	环县黑硬糜子 Huanxianheiyinmeizi	甘肃 Gansu	44	赤黍 2 号 Chishu 2	内蒙 Inner Mongolia
15	庆阳红二汉 Qingyanghong'erhan	甘肃 Gansu	45	晋黍 5 号 Jinshu 5	山西 Shanxi
16	陇糜 5 号 Longmei 5	甘肃 Gansu	46	晋黍 3 号 Jinshu 3	山西 Shanxi
17	陇糜 7 号 Longmei 7	甘肃 Gansu	47	晋黍 4 号 Jinshu 4	山西 Shanxi
18	陇糜 8 号 Longmei 8	甘肃 Gansu	48	雁黍 8 号 Yanshu 8	山西 Shanxi
19	陇糜 9 号 Longmei 9	甘肃 Gansu	49	晋黍 6 号 Jinshu 6	山西 Shanxi
20	陇糜 10 号 Longmei 10	甘肃 Gansu	50	晋黍 8 号 Jinshu 8	山西 Shanxi
21	陇糜 11 号 Longmei 11	甘肃 Gansu	51	晋黍 9 号 Jinshu 9	山西 Shanxi
22	宁糜 9 号 Ningmei 9	宁夏 Ningxia	52	雁黍 11 号 Yanshu 11	山西 Shanxi
23	宁糜 10 号 Ningmei 10	宁夏 Ningxia	53	雁黍 7 号 Yanshu 7	山西 Shanxi
24	宁糜 13 号 Ningmei 13	宁夏 Ningxia	54	晋黍 7 号 Jinshu 7	山西 Shanxi
25	宁糜 14 号 Ningmei 14	宁夏 Ningxia	55	齐黍 1 号 Qishu 1	黑龙江 Heilongjiang
26	宁糜 16 号 Ningmei 16	宁夏 Ningxia	56	宁糜 12 号 Ningmei 12	宁夏 Ningxia
27	宁糜 17 号 Ningmei 17	宁夏 Ningxia	57	宁糜 15 号 Ningmei 15	宁夏 Ningxia
28	固糜 21 号 Gumei 21	宁夏 Ningxia	58	榆黍 1 号 Yushu 1	陕西 Shaanxi
29	宁糜 11 号 Ningmei 11	宁夏 Ningxia	59	晋黍 1 号 Jinsh 1	山西 Shanxi
30	陇糜 4 号 Longmei 4	甘肃 Gansu			

1.4 茎秆机械强度与倒伏指数的测定

在成熟期前 3 天取未倒伏的植株 10 株,取主茎基部第 2 节,用直尺测量长度,即为第二节间长度(m),剥除叶鞘两端置于支撑的木架凹槽内,调整凹槽宽度与基部第 2 节等长,用弹簧秤在第 2 节中部垂直向下拉动,至茎秆折断时,记录弹簧秤度数,即为茎秆抗折力(N);茎秆机械强度=第 2 节间茎秆抗折力/第 2 节间长度。

垂直量取茎秆基部至该茎秆(含穗、叶和鞘)平衡点的距离,即为茎秆重心高度(m);先剪去样品的根部,称量地上部质量,即为茎秆鲜质量(g)。根据 10 株样本的平均值计算倒伏指数,倒伏指数

= (茎秆重心高度 × 茎秆鲜质量) / (第 2 节间茎秆抗折力 / 第 2 节间长度)^[15]。

1.5 根拔力测定

用根拔力测定仪测定每株样垂直拔出时的最大用力,测定 10 株取平均值。

1.6 弯曲度测定

灌浆期在穗基部系一重物(质量 3 g),穗基部到地面的垂直距离为 b,植株基部到垂直线接触地面点之间的水平距离为 a,弯曲度=a/b。

1.7 数据处理与分析

用 Excel 2003 整理数据,DPS 7.05 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 育成品种植物学性状多样性分析

由表 2 可知,除生育期外,其他农艺性状的变异系数都在 10% 以上,顺序为株粒质量>株草质量>产量>株穗质量>茎粗>有效穗数>穗长>株高>茎节数>千粒质量>生育期,其中株粒质量、株草质量、产量、株穗质量的变异系数均达到 30% 以上。表明参试种质类型丰富,具有较好的代表性。

2.2 糜子倒伏情况调查

对参试种质在蜡熟期进行田间倒伏情况调查。从表 3 可以看出,59 份糜子品种中有 17 份材料没有倒伏,占 28.8%,不同程度倒伏材料 42

份,占 71.2%。倒伏材料中 22 个品种属于根倒伏,19 个属于茎倒伏,1 个属于根茎复合倒伏。一般在糜子倒伏中茎倒的级别均低,多数为 1 级或 2 级,没有 3 级倒伏。表明糜子品种倒伏原因比较单一,主要是根倒伏和茎倒伏。从倒伏级别看,3 级严重倒伏的有 18 份,2 级倒伏有 8 份,1 级倒伏品种有 16 份,倒伏级别呈哑铃型。44 个育成品种中,没有倒伏的仅 10 份,而倒伏品种有 34 份,占有育成品种的 77.3%,表明倒伏性是糜子育成品种比较普遍的性状。15 份农家品种中,8 个不同程度倒伏,7 个没有倒伏,占农家品种的 46.7%,说明农家品种存在可以挖掘利用的抗倒伏基因。

表 2 参试种质主要农艺性状及产量变异分析

Table 2 Difference of main agronomic traits and grain yield of germplasm resources

统计参数 Statistic parameter	生育期/d Period of duration	株高/cm Plant height	穗长/cm Main panicle length	茎粗/mm Diameter of the main stem	茎节数 Node number of the main stem	有效 穗数 Effective tiller number	株穗 质量/g Panicle mass per plant	株粒质量/g Grain mass per plant	株草 质量/g Straw mass per plant	千粒质量/g 1 000- grain mass	产量/ (kg/ 666.7m ²) Grain yield
平均值 Avg	116.95	119.81	34.90	3.65	6.90	1.64	11.19	6.80	17.98	6.48	158.43
最小值 Min	91.0	45.0	22.0	1.8	5.0	1.2	3.8	2.2	4.7	4.8	73.23
最大值 Max	129.0	167.0	46.0	6.4	9.0	2.6	20.3	13.4	31.9	7.6	253.01
标准差 SS	6.092	19.588	6.034	0.905	0.865	0.292	3.451	2.383	5.605	0.649	36.141
变异系数/% CV	5.21	16.35	17.29	24.79	12.54	17.79	30.84	35.04	31.17	10.02	22.81

2.3 倒伏和未倒伏种质的植物学和力学特征差异

未倒伏种质与倒伏种质比较,生育期、株高、穗长、茎节数、株穗质量、株粒质量、株草质量降低,降幅 1.50%~11.30%。生育期和株高的平均值 *t* 测验达到显著水平和极显著水平,表明生育期长、植株高大的种质更容易倒伏。茎粗、有效穗数、千粒质量、产量升高,升幅 2.1%~18.2%,尤其是产量升高 18.2%,2 个群体产量的平均值 *t* 测验达极显著水平,表明倒伏严重影响产量(表 4)。

未倒伏种质与倒伏种质比较,弯曲度和茎秆机械强度增加,但群体间差异不显著,表明弯曲度与群体倒伏的相关性不明显;茎秆机械强度的平均增幅达到 22.19%,群体间差异显著,说明茎秆机械强度小的种质更容易倒伏;倒伏指数减少 37.6%,*t* 测验达到极显著水平,表明倒伏指数大的种质更容易倒伏(表 5)。

2.4 倒伏率与农艺性状的相关性分析

对农艺性状与倒伏率进行相关分析,生育期、穗长、茎节数、有效穗、株草质量、千粒质量、产量

等性状与倒伏率相关性不显著,株高、株穗质量与倒伏率显著正相关,株粒质量与倒伏率极显著正相关;表明株高、株穗质量、株粒质量等生物产量大的种质抗倒伏能力差;倒伏率与茎粗、千粒质量、产量负相关,其中茎粗与倒伏率负相关达到显著水平,表明茎秆粗壮的种质抗倒伏能力强。说明糜子抗倒伏性是生育期、茎粗、株粒质量、株穗质量等农艺性状相关的综合表现(表 6)。

2.5 倒伏率与力学性状的相关性分析

由表 6 可知,根拔力、弯曲度与倒伏率相关性不显著,茎秆机械强度和倒伏指数与倒伏率极显著相关,倒伏指数和农艺性状的相关性与倒伏率和农艺性状的相关性吻合度最高,说明倒伏指数能较好地反映不同品种的抗倒伏强弱^[16],能全面可靠地代替倒伏率评价糜子种质的抗倒性。

2.6 抗倒伏资源鉴定

对未倒伏的 17 份种质,根据生育期、株高、茎粗、株穗质量、株粒质量、产量、茎秆机械强度、倒伏指数等采用卡方距离、离差平方和进行聚类分析。17 份材料分成 4 组(表 7)。第 1 组为‘陇

糜 7 号’、‘陇糜 10 号’、‘内糜 3 号’3 份种质,该组茎秆粗壮、生物产量高、茎秆机械强度高,综合性优良;第 2 组为‘陇糜 8 号’等 11 份种质,该组茎秆粗壮,强度大,产量中等;第 3 组为‘雁黍 8 号’、‘天水黑糜’2 份种质,熟性中等,粒质量、穗质量

较低,但是草质量高;第 4 组为‘外引黍 5 号’1 份种质,早熟、茎秆强度弱,通过极低生物产量保证不倒伏。综合来看‘陇糜 7 号’、‘陇糜 10 号’、‘内糜 3 号’等 3 份种质抗倒伏性强,综合性状优良,是糜子抗倒伏基因资源的理想材料。

表 3 糜子倒伏调查

Table 3 Assessment of broomcorn millet lodging

序号 No.	品种名称 Name	倒伏率/% Lodging rate	倒伏类型 Pattern of lodging	倒伏级别 Grade of lodging	序号 No.	品种名称 Name	倒伏率/% Lodging rate	倒伏类型 Pattern of lodging	倒伏级别 Grade of lodging
1	昌图红糜子 Changtuhongmeizi	72.6	茎倒 Stem lodging	1	31	内糜 5 号 Neimei 5	0	/	0
2	镇原猴头 Zhenyuanxinhoutou	0	/	0	32	内糜 6 号 Neimei 6	5.4	茎倒 Stem lodging	1
3	污咀黍 Wuzuishu	0	/	0	33	内糜 9 号 Neimei 9	0	/	0
4	杭旗小红糜 Hangqixiaohongmei	0	/	0	34	内糜 1 号 Neimei 1	0	/	0
5	六十天 Liushitian	45.6	茎倒 Stem lodging	1	35	内糜 3 号 Neimei 3	0	/	0
6	黑糜子 Heimeizi	52.8	茎倒 Stem lodging	1	36	赤糜 1 号 Chimei 1	0	/	0
7	大白黍 Dabaishu	81.5	茎倒 Stem lodging	1	37	赤糜 2 号 Chimei 2	94.7	根倒 Root lodging	3
8	外引黍 5 号 Waiyinshu 5	0	/	0	38	榆糜 2 号 Yumei 2	100	根倒 Root lodging	3
9	B85-90	29.4	茎倒、根倒 Stem and root lodging	1	39	榆糜 3 号 Yumei 3	8.3	茎倒 Stem lodging	1
10	皋兰白糜子 Gaolanbaimeizi	13.8	根倒 Root lodging	2	40	伊选黄糜 Yixuanhuangmei	21.6	茎倒 Stem lodging	1
11	定西大黄糜 Dingxidahuangmei	0	/	0	41	内糜 7 号 Neimei 7	35.7	茎倒 Stem lodging	2
12	天水黑糜 Tianshuiheimei	0	/	0	42	内糜 8 号 Neimei 8	91.2	茎倒 Stem lodging	2
13	临泽麻糜子 Lingzemameizi	0	/	0	43	赤黍 1 号 Chshu 1	84.5	茎倒 Stem lodging	2
14	环县黑硬糜子 Huanxianheiyinmeizi	88.5	根倒 Root lodging	3	44	赤黍 2 号 Chishu 2	100	根倒 Root lodging	3
15	庆阳红二汉 Qingyanghong'erhan	94.6	根倒 Root lodging	3	45	晋黍 5 号 Jinshu 5	97.4	根倒 Root lodging	3
16	陇糜 5 号 Longmei 5	83.4	根倒 Root lodging	2	46	晋黍 3 号 Jinshu 3	64.6	茎倒 Stem lodging	2
17	陇糜 7 号 Longmei 7	0	/	0	47	晋黍 4 号 Jinshu 4	12.6	茎倒 Stem lodging	1
18	陇糜 8 号 Longmei 8	0	/	0	48	雁黍 8 号 Yanshu 8	0	/	0
19	陇糜 9 号 Longmei 9	14.1	根倒 Root lodging	2	49	晋黍 6 号 Jinshu 6	15.2	茎倒 Stem lodging	1
20	陇糜 10 号 Longmei 10	0	/	0	50	晋黍 8 号 Jinshu 8	11.2	茎倒 Stem lodging	1
21	陇糜 11 号 Longmei 11	24.6	根倒 Root lodging	1	51	晋黍 9 号 Jinshu 9	13.4	茎倒 Stem lodging	1
22	宁糜 9 号 Ningmei 9	95.6	根倒 Root lodging	3	52	雁黍 11 号 Yanshu 11	26.4	茎倒 Stem lodging	1
23	宁糜 10 号 Ningmei 10	98.5	根倒 Root lodging	3	53	雁黍 7 号 Yanshu 7	51.6	茎倒 Stem lodging	1
24	宁糜 13 号 Ningmei 13	96.1	根倒 Root lodging	3	54	晋黍 7 号 Jinshu 7	100	根倒 Root lodging	3
25	宁糜 14 号 Ningmei 14	94.8	根倒 Root lodging	3	55	齐黍 1 号 Qishu 1	100	根倒 Root lodging	3
26	宁糜 16 号 Ningmei 16	92.6	根倒 Root lodging	3	56	宁糜 12 号 Ningmei 12	59.4	茎倒 Stem lodging	2
27	宁糜 17 号 Ningmei 17	94.1	根倒 Root lodging	3	57	宁糜 15 号 Ningmei 15	86.4	根倒 Root lodging	3
28	固糜 21 号 Gumei 21	95.2	根倒 Root lodging	3	58	榆黍 1 号 Yushu 1	78.4	根倒 Root lodging	3
29	宁糜 11 号 Ningmei 11	5.2	茎倒 Stem lodging	1	59	晋黍 1 号 Jinshu 1	91.2	根倒 Root lodging	3
30	陇糜 4 号 Longmei 4	0	/	0					

注: / 表示没有发生倒伏。

Note: / represents no lodging.

表 4 未倒伏种质群体和倒伏种质群体农艺性状比较

Table 4 Comparison of agronomic traits between no lodging germplasm and lodging germplasm populations

样本(数) Sample(No.)	统计参数 Statistic parameter	生育期/d Period of duration	株高/cm Plant height	穗长/cm Main panicle length	茎粗/mm Diameter of the main stem	茎节数 Node number of the main stem	有效穗数 Effective tiller number	株穗 质量/g Panicle mass per plant	株粒 质量/g Grain mass per plant	株草 质量/g Straw mass per plant	千粒 质量/g 1 000- grain mass	产量/ (kg/ 666.7m ²) Grain yield
倒伏(17) No lodging(17)	平均值 Avg	114.35	108.53	34.53	3.82	6.65	1.66	10.55	6.67	16.48	6.64	177.98
	标准差 SS	8.477	22	6.492	1.263	0.786	0.271	2.75	2.238	5.744	0.652	43.853
	变异系数/% CV	7.41	20.27	18.8	33.05	11.82	16.31	26.06	33.55	34.85	9.81	24.64
倒伏(42) Lodging(42)	平均值 Avg	118	124.38	35.05	3.59	7	1.63	11.45	6.85	18.59	6.42	150.52
	标准差 SS	4.532	16.726	5.914	0.722	0.883	0.302	3.696	2.464	5.5	0.644	29.575
	变异系数/% CV	3.84	13.45	16.87	20.14	12.62	18.54	32.28	35.94	29.59	10.04	19.65
未倒伏-倒伏 No lodging- lodging	平均值 Avg	-3.10%	-12.70%	-1.50%	6.60%	-5.00%	2.10%	-7.80%	-2.70%	-11.30%	3.60%	18.20%
	标准差 SS	87.10%	31.50%	9.80%	74.90%	-11.00%	-10.20%	-25.60%	-9.20%	4.40%	1.20%	48.30%
	变异系数/% CV	93.00%	50.70%	11.40%	64.20%	-6.30%	-12.10%	-19.30%	-6.70%	17.80%	-2.30%	25.40%
	t 测验 t-test	2.143*	3.004**	0.296	0.896	1.432	0.399	0.9	0.267	1.317	1.209	2.794**

注: *, ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。下同。

Note: *, ** indicate significant difference at 0.05, 0.01 levels, respectively. The same below.

表 5 未倒伏种群体和倒伏种质群体力学性状比较

Table 5 Comparison of mechanical properties of no lodging and lodging germplasm populations

样本(数) Sample(No.)	统计参数 Statistic parameter	根拔力/N Root pulling force	弯曲度 Bending degree	茎秆机械强度/(m/N) Mechanical strength of stem	倒伏指数 Lodging index
未倒伏(17) No lodging (17)	平均值 Avg	2.53	0.47	34.8	0.55
	标准差 SS	0.748	0.201	12.371	0.203
	变异系数/% CV	29.59	42.68	35.55	36.95
倒伏(42) Lodging (42)	平均值 Avg	2.07	0.428	28.48	1.16
	标准差 SS	0.756	0.142	9.397	0.325
	变异系数/% CV	36.5	33.17	32.99	28.15
未倒伏-倒伏 No lodging-lodging	平均值/% Avg	22.00	9.81	22.19	-52.50
	标准差/% SS	-1.10	41.60	31.65	-37.60
	变异系数/% CV	-18.90	28.67	7.76	31.20
	t 测验 t-test	2.108*	0.913	2.29*	7.125**

表 6 倒伏率与力学特性及主要农艺性状间的相关性

Table 6 Correlation between lodging rate, mechanical properties and the main agronomic traits

相关系数 Correlation coefficient	根拔力 Root pulling force	弯曲度 Bending degree	茎秆机械强度 Mechanical strength of stem	倒伏指数 Lodging index	倒伏率 Lodging rate
生育期 Period of duration	0.325*	-0.248	0.089	0.215	0.109
株高 Plant height	-0.059	-0.061	-0.181	0.532**	0.397**
穗长 Main panicle length	0.260*	-0.038	-0.236	0.017	0.073
茎粗 Diameter of main stem	0.072	-0.397**	0.212	-0.336**	-0.299*
茎节数 Node number of main stem	0.126	-0.038	0.144	0.052	0.066
有效穗 Effective tiller number	0.179	-0.314*	0.204	0.002	0.142
株穗质量 Panicle mass per plant	-0.043	-0.141	-0.024	0.266*	0.310*
株粒质量 Grain mass per plant	0.034	-0.074	-0.01	0.249	0.342**
株草质量 Straw mass per plant	-0.09	-0.023	-0.127	0.340**	0.202
千粒质量 1 000-grain mass	0.125	0.039	0.066	-0.061	-0.103
产量 Grain yield	0.305*	-0.033	0.131	-0.181	-0.159
根拔力 Root pulling force	1	0.055	0.311*	-0.216	-0.162
弯曲度 Bending degree	-0.119	1	-0.119	0.154	0.001
茎秆机械强度 Mechanical strength of stem	0.154	-0.313*	1	-0.313*	-0.346**
倒伏指数 Lodging index	0.001	-0.346**	0.833**	1	0.833**

表 7 与倒伏率显著相关未倒伏种质的表型值

Table 7 Phenotypic values of non-lodging germplasm with significant collection and lodging rate

序号 No.	名称 Name	生育期/d Period of duration	株高/cm Plant height	茎粗/mm Diameter of main stem	株穗质量/g Panicle mass per plant	籽粒 质量/g Grain mass per plant	株草 质量/g Straw mass per plant	产量/kg/ 666.7m ² Grain yield	茎秆机械 强度/m/N Mechanical strength of stem	倒伏 指数 Lodging index
2	镇原猴头 Zhenyuanxinhoutou	116	100	5.3	9.9	6.6	14.5	192.57	25.539	0.246
3	污咀黍 Wuzuishu	115	99	4.6	13.4	9.2	10.5	170.23	55.816	0.172
4	杭旗小红糜 Hangqixiaohongmei	108	108	2.8	11.5	8.5	12.8	168.79	49.474	0.551
8	外引黍 5 号 Waiyinshu 5	91	45	1.8	5	2.4	4.7	100.23	17.301	0.126
11	定西大黄糜 Dingxidahuangmei	125	109	5.8	9.3	5.1	12.8	193.78	29.904	0.339
12	天水黑糜 Tianshuiheimei	121	130	3.6	6.3	2.2	24.5	109.45	36.672	0.591
13	临泽糜糜子 Lingzemameizi	115	108	3.3	9	5.9	12.2	166.79	47.842	0.561
17	陇糜 7 号 Longmei 7	120	120	6.4	9.4	5.8	14.2	253.01	34.322	0.542
18	陇糜 8 号 Longmei 8	116	108	4.6	8.5	5.6	21.4	209.12	28.611	0.704
20	陇糜 10 号 Longmei 10	122	118	4.5	13.1	7.7	21.2	250.79	26.867	0.680
30	陇糜 4 号 Longmei 4	118	113	3.7	12	7.7	22.9	173.90	57.541	0.665
31	内糜 5 号 Neimei 5	113	110	2.6	12.8	8.2	18.7	197.68	32.576	0.674
33	内糜 9 号 Neimei 9	117	130	4.2	14	8.3	15.5	177.90	46.067	0.734
34	内糜 1 号 Neimei 1	98	75	2	11	7.7	9.5	143.78	22.120	0.667
35	内糜 3 号 Neimei 3	118	142	3.5	12.6	8.6	24.6	214.46	28.561	0.762
36	赤糜 1 号 Chimei 1	117	110	3.3	14.2	9.7	20.1	190.9	18.997	0.585
48	雁黍 8 号 Yanshu 8	114	120	3.2	7.4	4.2	20.1	112.23	33.333	0.735

3 讨论

大多数研究表明,株高与抗倒伏性成负相关,植株矮化可降低重心高度,从而提高植株的抗倒伏能力^[17-18]。本研究发现,糜子倒伏率与株高显著正相关,也支持通过矮化株高增强糜子的抗倒伏性,因此矮化育种将是提高糜子抗倒伏性的重要方向。在穗质量与抗倒伏性研究方面,肖世和等^[19]对小麦的研究表明穗质量与茎秆强度呈正相关,马均等^[20]认为水稻重穗型品种由于单穗质量和株高增加,弯曲力矩加大,抗折力明显提高,其茎秆抗倒伏能力并未降低。郭保卫等^[21]研究认为水稻的抗倒伏能力与穗质量成正相关,本研究中糜子株穗质量、籽粒质量与倒伏率正相关,而穗质量和粒质量是糜子产量构成的重要因素,抗倒伏性与产量呈负相关,因此在抗倒伏育种中应综合考虑抗倒伏与产量的矛盾。基部节间的特性在抗倒伏性中发挥重要作用,基部茎粗、机械强度等在株高相差不大的情况下,机械强度与抗倒性的关系最密切^[22]。本研究中倒伏率与茎粗、茎秆机械强度显著负相关,表明茎秆粗壮、机械强度大的品种抗倒伏性强。表明糜子的抗倒伏性与株高、株穗质量、茎粗和茎秆机械强度极相关,是糜

子株高、株穗质量、茎粗和茎秆机械强度等农艺性状的综合体现。

倒伏指数已经在谷子^[23]、水稻^[24]、小麦^[16,25]等作物上利用。本研究中的倒伏指数与株高、茎粗、茎秆机械强度相关,与倒伏率极相关,因此倒伏指数能较好地评价糜子的抗倒伏性。田间的倒伏程度和倒伏面积是抗倒性的直接体现,倒伏率是倒伏面积的直接指标,但是倒伏率对于未倒伏的种质不易评价,本研究通过倒伏率判定糜子的抗倒伏能力,认为倒伏指数能较好地评价糜子的抗倒伏性,为糜子种质抗倒伏性快速鉴定提供鉴定指标。筛选出的‘陇糜 7 号’‘陇糜 10 号’‘内糜 3 号’抗倒伏种质可以在育种实践中应用。

参考文献 Reference:

[1] PINTHUS M J. Lodging in wheat, barley and oats: the phenomenonits causes and preventative measures[J]. *Advances in Agronomy*, 1973, 25: 209-263.

[2] 冯素伟, 李小军, 丁位华, 等. 不同小麦品种开花后植株抗倒性变化规律[J]. *麦类作物学报*, 2015, 35(3): 334-338.

FENG S W, LI X J, DING W H, *et al.* Variation in lodging resistance of different wheat varieties after anthesis[J]. *Journal of Triticeac Crops*, 2015, 35(3): 334-338.

[3] 杨艳华, 朱 镇, 张亚东, 等. 不同水稻品种(系)抗倒伏能力与茎秆形态性状的关系[J]. *江苏农业学报*, 2011, 27(2): 231-235.

- YANG Y H, ZHU ZH, ZHANG Y D, *et al.* Relationship between lodging resistance and stem morphological traits in different rice varieties(lines)[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2011, 27(2): 231-235.
- [4] TIAN B H, WANG J G, ZHANG L X, *et al.* Assessment of resistance to lodging of landrace and improved cultivars in foxtail millet[J]. *Euphytica*, 2010, 172: 295-302.
- [5] 田伯红. 禾谷类作物抗倒伏性的研究方法与其抗倒伏性评价[J]. *植物遗传资源学报*, 2013, 14(2): 265-269.
- TIAN B H. The methods of lodging resistance assessment in cereal crops and their application in foxtail millet[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2013, 14(2): 265-269.
- [6] 李 青, 刘有良, 范万发, 等. 陕西关中陆地棉抗倒伏与植株性状的相关性研究[J]. *西北农业学报*, 2004, 13(2): 153-157.
- LI ZH, LIU Y L, FAN W F, *et al.* Study on correlativity between resistance to lodging and plant characters in upland cotton in Guanzhong Shaanxi[J]. *Acta agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2004, 13(2): 153-157.
- [7] 丰 光, 景希强, 李妍妍, 等. 玉米茎秆性状与倒伏性的相关和通径分析[J]. *华北农学报*, 2010, 25(Z1): 72-74.
- FENG G, JING X Q, LI Y Y, *et al.* Correlation and path analysis of lodging resistance with maize stem characters[J]. *Acta Agriculturae Boreali-sinica*, 2010, 25(Z1): 72-74.
- [8] 朱新开, 王祥菊, 郭凯泉, 等. 小麦倒伏的茎秆特征及对产量与品质的影响[J]. *麦类作物学报*, 2006, 26(1): 87-92.
- ZHU X K, WANG X J, GUO K Q, *et al.* Stem characteristics of wheat with stem lodging and effects of lodging on grain yield and quality[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2006, 26(1): 87-92.
- [9] 汪 灿, 阮仁武, 袁晓辉, 等. 不同荞麦品种抗倒伏能力与根系及茎秆性状的关系[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2015, 37(1): 65-71.
- WANG C, RUAN R W, YUAN X H, *et al.* Relationship between root and stem traits and lodging resistance in different buckwheat cutltivars[J]. *Journal of Southwest University(Natural Science Edition)*, 2015, 37(1): 65-71.
- [10] 王星玉, 王 纶, 温琪汾, 等. 山西是黍稷的起源和遗传多样性中心[J]. *植物遗传资源学报*, 2009, 10(3): 465-470.
- WANG X Y, WANG L, WEN Q F, *et al.* Shanxi province is the center of the origin and genetic diversity of proso millet[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2009, 10(3): 465-470.
- [11] 高志军, 杨文耀, 刘景川, 等. 糜子品种抗倒伏试验研究[J]. *安徽农学通报*, 2016, 22(8): 30-31.
- GAO ZH J, YANG W Y, LIU J CH, *et al.* Experimental study on lodging resistance of millet varieties[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2016, 22(8): 30-31.
- [12] 王宇先. 半干旱地区糜子倒伏系数相关及通径分析[J]. *黑龙江农业科学*, 2015(7): 31-34.
- WANG Y X. Effect of transplanting time on survival rate of the original seed potato production and economic characters[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2015(7): 31-34.
- [13] 王显瑞, 赵 敏, 张立媛, 等. 钾肥施用量对糜子产量、农艺性状及倒伏性状的影响[J]. *河北农业科学*, 2014, 18(4): 5-7, 12.
- WANG X R, ZHAO M, ZHANG L Y, *et al.* The effects of different amounts of potash fertilizer on yield, agronomic traits and lodging of broomcorn millet[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2014, 18(4): 5-7, 12.
- [14] 王星玉, 王 纶. 黍稷种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 59.
- WANG X Y, WANG L. Description Specification and Data Standards of Proso Germplasm Resources[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 59.
- [15] 王 勇, 李晴祺. 小麦品种抗倒伏性评价方法的研[J]. *华北农学报*, 1985, 10(3): 84-88.
- WANG Y, LI Q Q. Evaluation method of stem lodging resistance in wheat[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1985, 10(3): 84-88.
- [16] 吕厚波, 冯安荣, 董 瑞, 等. 不同基因型小麦灌浆和抗倒伏性能与籽粒产量的关系[J]. *西北农业学报*, 2015, 24(6): 27-33.
- LÜ H B, FENG A R, DONG R, *et al.* Grain-filling characteristics and stem lodging resistance and their relationships with grain yields of different genotypic wheat[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2015, 24(6): 27-33.
- [17] 郭玉华, 朱四光, 张龙步, 等. 不同栽培条件对水稻茎秆材料学特性的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2003, 34(1): 4-7.
- GUO Y H, ZHU S G, ZHANG L B, *et al.* Influence on the material characteristics of rice culms in different cultivation comditions[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2003, 34(1): 4-7.
- [18] 黄艳玲, 石英尧, 申广勤, 等. 水稻茎秆性状与抗倒伏及产量因子的关系[J]. *中国农学通报*, 2008, 24(4): 203-206.
- HUANG Y L, SHI Y R, SHEN G L, *et al.* Study on the relationship between rice lodging resistance and culm traits the yield factors[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(4): 203-206.
- [19] 肖世和, 张秀英, 闫长生, 等. 小麦茎秆强度的鉴定方法研究[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(1): 7-11.
- XIAO SH H, ZHANG X Y, YAN CH SH, *et al.* Determination of resistance to lodging by stem strength in wheat[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(1): 7-11.
- [20] 马 均, 马文波, 田彦华, 等. 重穗型水稻植株抗倒伏能力的研究[J]. *作物学报*, 2004, 30(2): 143-148.
- MA J, MA W B, TIAN Y H, *et al.* The culm lodging resistance of heavy panicle type of rice[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, 30(2): 143-148.
- [21] 郭保卫, 周兴涛, 曹利强, 等. 钵苗类型和摆栽密度对梗型超级稻植株抗倒伏能力的影响[J]. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 2016, 37(3): 87-95, 100.
- GUO B W, ZHOU X T, CAO L Q, *et al.* Effects of different bowl types and densities on the culm lodging resistance

- of bowl seedling transplanting japonica super rice[J]. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*, 2016, 37(3): 87-95, 100.
- [22] MELISM. Potassium effects on stalk strength premature death and lodging of maize[J]. *Crop Production*, 1984, (13): 26.
- [23] 贾小平,董普辉,张红晓,等. 谷子抗倒伏性和株高穗部性状的相关性研究[J]. *植物遗传资源学报*, 2015, 16(6): 1188-1193.
- JIA X P, DONG P H, ZHANG H X, *et al.* Correlation study of lodging resistance and plant height panicle traits in foxtail millet[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2015, 16(6): 1188-1193.
- [24] 李 杰,张洪程,龚金龙,等. 不同种植方式对超级稻植株抗倒伏能力的影响[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(11): 2234-2243.
- LI J, ZHANG H CH, GONG J L, *et al.* Effects of different planting methods on the culm lodging resistance of super rice[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(11): 2234-2243.
- [25] 樊高琼,李金刚,王秀芳,等. 氮肥和种植密度对带状种植小麦抗倒伏能力的影响及边际效应[J]. *作物学报*, 2012, 38(7): 1307-1317.
- FAN G Q, LI J G, WANG X F, *et al.* Lodging resistance of winter wheat in response to nitrogen and planting density and border effect under relay intercropping condition[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(7): 1307-1317.
- [24] 李 杰,张洪程,龚金龙,等. 不同种植方式对超级稻植株

Interrelation of Lodging Resistance, Agronomic Traits and Mechanical Properties of Germplasm Resources in Broomcorn Millet

DONG Kongjun, LIU Tianpeng, HE Jihong, REN Ruiyu, ZHANG Lei and YANG Tianyu

(Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

Abstract Lodging resistance of 59 broomcorn millet germplasms from different ecological areas in China were identified and evaluated in Dunhuang Oasis Irrigation region in 2016. The results showed that there were 17 germplasm resources resisted to lodging, accounting for 28.8% of the materials, 42 germplasm resources had different degrees of lodging, accounting for 71.2% of the lodging materials. The correlation analysis between agronomic traits and lodging rate showed that plant height, panicle mass and stem diameter were significantly correlated with lodging rate. The stem mechanical strength, lodging index and lodging rate of correlation coefficient was -0.364 and 0.833, respectively. The collection of lodging index, agronomic traits and lodging rate was consistent, so, instead of the lodging rate, the lodging index was comprehensively reliable to evaluate the lodging resistance of millet germplasm. By lodging index, 3 accessions of ‘Longmei 7’, ‘Longmei 10’ and ‘Neimei 3’ had strong lodging resistance, its comprehensive characters were ideal materials for germplasm resources in resistance to broomcorn millet lodging.

Key words Broomcorn millet; Lodging resistance; Germplasm resources; Agronomic traits; Mechanical properties

Received 2018-01-15 **Returned** 2018-04-18

Foundation item The China Agriculture Research System (No. CARS-06-13.5-A9); the National Science Foundation of China (No. 31460381); Disciplinary Team of Gansu Academy of Agricultural Sciences (No. 2017GAAS21).

First author DONG Kongjun, male, associate research fellow. Research area: broomcorn millet and genetic breeding of foxtail millet. E-mail: broommillet@163.com

Corresponding author YANG Tianyu, male, research fellow. Research area: genetic breeding and cultivation of millet crops. E-mail: 13519638111@163.com

(责任编辑:顾玉兰 Responsible editor: GU Yulan)