文章编号:1000-7601(2022)06-0023-11 **doi**:10.7606/j.issn.1000-7601.2022.06.03

240 份糜子种质资源萌芽期耐冷性综合评价及筛选

董 扬

(黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院,黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘 要:耐冷品种的选育是农业生产上解决低温冷害问题最直接有效的手段。以 240 份糜子资源为供试材料,研究了 10℃低温胁迫(将 25℃环境视为对照处理)对糜子萌芽期生长发育的影响,采用描述统计分析、相关线性分析、主成分分析和聚类分析,评估各糜子品种资源对冷胁迫的耐受性。结果表明:240 份糜子资源在 10℃冷胁迫下,萌发期各项指标平均值均低于对照处理,但不同品种的降幅存在显著差异,各指标变异系数的变化范围为20.59%~100.03%,表明参试糜子资源具有丰富的遗传多样性。相关分析表明:相对发芽势、相对发芽指数和相对发芽率之间呈极显著正相关,相对芽鲜重、相对活力指数和相对根鲜重之间呈极显著正相关,表明上述耐冷性状存在很大关联。主成分分析表明,前 3 个主成分累计贡献率达到 87.22%,第 1 主成分主要与发芽势、发芽率、发芽指数有关,第 2 主成分主要与芽鲜重和根鲜重有关,第 3 主成分主要与根长和芽长有关。糜子资源耐冷性综合得分聚类分析结果显示,'景泰疙瘩红'等 22 个品种为高度耐冷品种资源、'张川麻糜子'等 138 个品种为耐冷品种资源、'札达糜'等 64 个品种为冷敏感品种资源、'PAN 21'等 16 个品种为高度冷敏感品种资源。

关键词:糜子;萌芽期;耐冷性;综合评价

中图分类号:S516 **文献标志码**:A

Comprehensive evaluation and screening of cold tolerance of 240 broomcorn millet germplasm resources at germination stage

DONG Yang

(*Qiqihaer Sub-academy of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences*, *Qiqihar*, *Heilongjiang* 161006, *China*)

Abstract: Breeding of cold-resistant varieties is the most direct and effective means to solve the problem of cold damage in agricultural production. In this study, 240 millet resources were used as test materials and 25℃ environment was considered as the control treatment. The effects of low temperature stress at 10℃ on the growth and development of broomcorn millet at germination stage were studied. The tolerance of different broomcorn cultivars to cold stress was evaluated by descriptive statistical analysis, correlation linear analysis, principal component analysis and cluster analysis. The results showed that under cold stress at 10℃, the average values of each index at germination stage of 240 broomcorn millet resources were lower than those of the control group, but there were significant differences among different varieties. The variation coefficients of each index ranged from 20.59% to 100.03%, indicating that the broomcorn millet resources tested had rich genetic diversity. Correlation analysis showed that the relative germination potential, relative germination index and relative germination rate were significantly positively correlated, and the relative bud fresh weight, relative vigor index and relative root fresh weight were significantly positively correlated, indicating that these cold tolerance traits had a great degree of correlation. The results of principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of the first three principal components reached 87.22%. The first principal component was mainly related to germination potential, germination rate and

收稿日期:2021-12-30 **修回日期**:2022-01-22

基金项目:黑龙江省农业科学院院级课题(2020YYYF035);国家农业现代产业技术体系建设专项(CARS-06-14.5-B21);齐齐哈尔市科技计划创新激励项目(CNYGG-2020030);农业科技创新跨越工程杂粮杂豆科技创新专项(HNK2019CX05-06)

作者简介:董扬(1982-),女,河北丰润人,助理研究员,主要从事杂粮作物遗传育种及栽培方面的研究。Email:dongyang0717@126.com.

germination index. The second principal component was mainly related to fresh bud weight and root weight. The third principal component was mainly related to root and bud length. The cluster analysis of the comprehensive score of cold tolerance of the millet resources showed that Jingtai pimple red and other 22 varieties cultivars were highly cold tolerant, Zhangchuan sesame millet and other 138 varieties cultivars were cold tolerant, Zada millet and other 64 varieties cultivars were cold sensitive, and PAN 21 and other 16 varieties cultivars were highly cold sensitive.

Keywords: broomcom millet; bud stage; cold resistance; comprehensive evaluation

糜子(*Panicum miliaceum* L.)是 C4 作物,对营养和水分要求较低,耐盐碱、干旱和高温等极端条件[1],是北方旱作地区重要的粮食作物[2-3]。我国具有丰富的糜子种质资源,目前为止共有 1 万余份种质资源,其中地方品种资源较多[4],具有广泛的遗传变异性和丰富的抗逆基因[5-6]。糜子的生育期短,是东北等冷凉地区的救灾抗逆作物,在北方有较大的生产优势和地区优势[7]。萌发期和幼苗期是植物生长发育过程中最脆弱而又十分重要的时期,春播时期遭遇的低温冷害不仅能够使农作物种子萌发和幼苗生长发育延迟[8],甚至使大部分种子失去发芽能力。有研究显示东北三省每 3~4 a 就会遭受一次低温冻害[9-10],造成出苗不齐、苗势弱、出苗时间延长等后果,最终导致大幅度减产[11]。因此,冻害是东北糜子产区的主要问题之一。

植物的耐冷性是为适应低温环境而产生的一种生理反应,同一物种的不同品种之间在耐低温性能上存在一定差异[12-13]。在农业生产上,耐冷品种的选育是解决低温冷害最直接和最有效的手段[14]。种子在萌发阶段对低温反应最为敏感,低温破坏了种子细胞的生物活性,从而大幅度减少种子的发芽势、发芽率和发芽指数等[15]。近年来,已有研究者在种质资源耐冷性鉴定筛选上做了大量工作,Janda 等[16]发现作物生长温度低于 10℃时就容易发生低温冷害。Marocco 等[17]研究表明,玉米在温度低于 10℃时生长明显缓慢,当环境温度在 6℃~8℃时停止生长。糜子种子萌发的最适宜温度为 20℃~30℃[18],最低萌发温度为 8℃~10℃[19]。刘杰等[20]测定 10℃低温下 81 份杂交玉米种子的发芽率和发芽势等性状,并采用主成分分析和聚类分析等统计方法筛选出耐冷种质材料。张鹤等[21]对 68 个花生品种进行萌发期耐冷性鉴定试验,通过低温处理和萌发期性状测定,最终筛选出 18 份耐冷型材料。袁雨豪等[22]通过盐胁迫对 100 份糜子资源进行萌发试验,测定萌发期的发芽势、根鲜重和根长等指标,通过综合值计算筛选出高度耐盐糜子。

目前糜子抗逆研究主要集中在抗旱、抗倒伏和抗盐碱等方面[22-24],对耐冷能力的研究鲜见报道。因此,对糜子进行耐冷种质资源筛选和评价以及培育专用品种,对推进糜子生产和产业发展具有重要实践意义。本研究以 240 份糜子种质资源为材料,通过萌发期低温处理,调查耐冷性相关指标,应用描述统计分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析等分析方法,筛选出适宜北方冷凉地区种植的糜子优异耐冷种质资源,为高寒地区的糜子种植提供种质参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院试验科研基地位于黑龙江省西部干旱半干旱地区,试验区糜子季平均年降水量 410 mm,年均温度 3.4℃,活动积温 2 900℃。糜子品种选取以来源广泛、适宜本地种植、成熟度好、农艺性状和产量性状突出为原则,故本试验材料是从适宜在该科研基地种植的 820 份糜子品种资源中,根据 2017—2019 年测量的株高、落粒性、穗重、千粒重等农艺性状和产量性状指标初步筛选出的 240 份优质糜子资源。

240 份糜子资源来自 21 个国家和地区,其中中国资源 209 份,国外资源 31 份。中国资源中包括新疆 11 份、山西 27 份、宁夏 16 份、陕西 16 份、青海 10 份、内蒙古 33 份、辽宁 8 份、吉林 8 份、湖北 1 份、黑龙江 31 份、山东 7 份、云南 2 份、甘肃 17 份、西藏 1 份、江苏 3 份、河北 13 份、海南 2 份、北京 3 份(表 1)。

1.2 试验设计

将 240 份糜子资源放置于人工气候箱内培养,种子在 0.1% 的 $HgCl_2$ 溶液消毒 10 min,后用蒸馏水冲洗 3 次,将种子表面水分吸干,并放置在铺双层滤纸直径为 8 cm 的培养皿中,每个培养皿中均等摆放籽粒饱满、大小颜色一致的 30 粒种子,分别于 25℃(CK)和 10℃(前期最适低温筛选温度试验)等两个温度条件下进行萌发试验,处理 10 d 后,转入 25℃条件下恢复生长 6 d。每个试验均设置 3 次重复。低

表 1　供试糜子材料信息

Table 1　Information of tested broomcorn materials

编号 Code	种质名称 Name of germplasm	来源地 Origin	编号 Code	种质名称 Name of germplasm	来源地 Origin
1	黍子 Shuzi	北京 Beijing	62	五原小黄糜 Wuyuanxianghuangmi	内蒙古 Inner Mongolia
2	黄黍子 Huangshuzi	北京 Beijing	63	巴盟白糜子 Bamengbaimizi	内蒙古 Inner Mongolia
3	A85-29	北京 Beijing	64	巴盟黑糜子 Bamengheimizi	内蒙古 Inner Mongolia
4	靖远堡青糜 Jingyuanbuqingmi	甘肃 Gansu	65	达旗青糜子 Daqiqingmizi	内蒙古 Inner Mongolia
5	清水粘糜子 Qingshuinianmizi	甘肃 Gansu	66	准旗紫秆红糜 Zhunqiziganhongmi	内蒙古 Inner Mongolia
6	甘谷黑蝉背 Ganguheichanbei	甘肃 Gansu	67	小红黍 Xiaohongshu	内蒙古 Inner Mongolia
7	民乐红糜子 Minlehongmeizi	甘肃 Gansu	68	红糜子 Hongmizi	内蒙古 Inner Mongolia
8	景泰疙瘩红 Jingtaigadahong	甘肃 Gansu	69	黑黍 Heishu	内蒙古 Inner Mongolia
9	靖远紫秆红 Jingyuanziganhong	甘肃 Gansu	70	小红黍 Xiaohongshu	内蒙古 Inner Mongolia
10	60 天紫秆红糜 60tianziganhongmi	甘肃 Gansu	71	惠农黄粘黍 Huinonghuangnianshu	宁夏 Ningxia
11	张川麻糜子 Zhangchuanmamizi	甘肃 Gansu	72	小黄糜子 Xiaohuangmizi	宁夏 Ningxia
12	古浪半个红 Gulangbangehong	甘肃 Gansu	73	红河黑糜子 Hongheheimizi	宁夏 Ningxia
13	鼓鼓头糜 Gugutoumi	甘肃 Gansu	74	大红糜子 Dahongmizi	宁夏 Ningxia
14	S02036	海南 Hainan	75	海原紫秆红 Haiyuanziganhong	宁夏 Ningxia
15	糯黍 Nuoshu	海南 Hainan	76	红花糜子 Honghuamizi	宁夏 Ningxia
16	五咀子 Wuzuizi	河北 Hebei	77	贺兰大红 Helandahong	宁夏 Ningxia
17	黑黍子 Heishuzi	河北 Hebei	78	A85-88	宁夏 Ningxia
18	粘黍子 Nianshuzi	河北 Hebei	79	大黄糜 Dahuangmi	青海 Qinghai
19	高粱黍 Gaoliangshu	河北 Hebei	80	蚤糜 Saomi	青海 Qinghai
20	黍子 Shuzi	河北 Hebei	81	黄糜子 Huangmizi	青海 Qinghai
21	大黄黍 Dahuangshu	河北 Hebei	82	小糜子 Xiaomizi	青海 Qinghai
22	大紫秆 Dazigan	河北 Hebei	83	黑子 Heizi	青海 Qinghai
23	小红黍 Xiaohongshu	河北 Hebei	84	土黄糜 Tuhuangmi	青海 Qinghai
24	黍子 Shuzi	河北 Hebei	85	牛尾黄 Niuweihuang	青海 Qinghai
25	紫秸白 Zijiebai	河北 Hebei	86	白圪塔糜 Baigadami	青海 Qinghai
26	白黍子 Baishuzi	河北 Hebei	87	黄粒糜 Huanglimi	青海 Qinghai
27	大粒糜子 Dalimizi	黑龙江 Heilongjiang	88	二白糜 Erbaimi	青海 Qinghai
28	黄糜子 Huangmizi	黑龙江 Heilongjiang	89	黑黍子 Heishuzi	山东 Shandong
29	黑鹅头 Heietou	黑龙江 Heilongjiang	90	苏子白 Suzibai	山东 Shandong
30	鹌鹑尾 Anchunwei	黑龙江 Heilongjiang	91	白银黍子 Baiyinshuzi	山东 Shandong
31	大红袍 Dahongpao	黑龙江 Heilongjiang	92	红谷腿 Honggutui	山东 Shandong
32	黑糜子 Heimizi	黑龙江 Heilongjiang	93	大粘穗 Daniansui	山东 Shandong
33	熟谷 Shugu	黑龙江 Heilongjiang	94	老来黑 Laolaihei	山东 Shandong
34	2048	黑龙江 Heilongjiang	95	黄黍子 Huangshuzi	山东 Shandong
35	2096	黑龙江 Heilongjiang	96	60 天小红黍 60tianxiaohongshu	山西 Shanxi
36	太原 1036 Taiyuan 1036	黑龙江 Heilongjiang	97	疙瘩白 Gedabai	山西 Shanxi
37	嫩黍 23 Nenshu 23	黑龙江 Heilongjiang	98	小白黍 Xiaobaishu	山西 Shanxi
38	单尾巴糯 Danweibanuo	湖北 Hubei	99	大瓦灰 Dawahui	山西 Shanxi
39	黎糜子 Limizi	吉林 Jilin	100	葡萄黍 Putaoshu	山西 Shanxi
40	黄糜子 Huangmizi	吉林 Jilin	101	金软黍 Jinruanshu	山西 Shanxi
41	黑糜子 Heimizi	吉林 Jilin	102	白粘黍 Bainianshu	山西 Shanxi
42	红壳粘糜子 Hongkenianmizi	吉林 Jilin	103	大红糜子 Dahongmizi	山西 Shanxi
43	黑糜子 Heimizi	吉林 Jilin	104	红软黍 Hongruanshu	山西 Shanxi
44	翰章黄糜子 Hanzhanghuangmizi	吉林 Jilin	105	小黄黍 Xiaohuangshu	山西 Shanxi
45	吉林黍 Jilinshu	吉林 Jilin	106	当地糜 Dangdimi	山西 Shanxi
46	狸黍子 Lishuzi	江苏 Jiangsu	107	雁北天糜 Yanbeitianmi	山西 Shanxi
47	黄稷 Huangji	江苏 Jiangsu	108	紫秆糜 Ziganmi	山西 Shanxi
48	白稷子 Baijizi	江苏 Jiangsu	109	一点黄黍 Yidianhuangshu	陕西 Shaanxi
49	清源褐糜子 Qingyuanhemizi	辽宁 Liaoning	110	稗穗糜 Baisuimi	陕西 Shaanxi
50	新宾黑糜子 Xinbinheimizi	辽宁 Liaoning	111	圪堵穗红软糜 Gedusuihongruanmi	陕西 Shaanxi
51	大白黍 Dabaishu	辽宁 Liaoning	112	大红糜 Dahongmi	陕西 Shaanxi
52	黄糜子 Huangmizi	辽宁 Liaoning	113	黑软糜 Heiruanmi	陕西 Shaanxi
53	A75-2	辽宁 Liaoning	114	黄软糜 Huangruanmi	陕西 Shaanxi
54	黄旗糜子 Huangqimizi	内蒙古 Inner Mongolia	115	黑糜子 Heimizi	陕西 Shaanxi
55	呼盟黑粘糜 Humengheinianmi	内蒙古 Inner Mongolia	116	白壳糜(黍) Baikemi(shu)	陕西 Shaanxi
56	巴林左疙塔黍 Balinzuogatashu	内蒙古 Inner Mongolia	117	灰糜子 Huimizi	陕西 Shaanxi
57	五原黑黍子 Wuyuanheishuzi	内蒙古 Inner Mongolia	118	B85-68	陕西 Shaanxi
58	临河双粒黍 Linheshuanglishu	内蒙古 Inner Mongolia	119	A85-101	陕西 Shaanxi
59	杭后小青黍 Hanghouxiaoqingshu	内蒙古 Inner Mongolia	120	B85-72	陕西 Shaanxi
60	巴盟黄黍子 Bamenghuangshuzi	内蒙古 Inner Mongolia	121	札达糜 Zadami	西藏 Tibet
61	和林红糜子 Helinhongmizi	内蒙古 Inner Mongolia	122	白糜子 Baimizi	新疆 Xinjiang

续表 1：

编号 Code	种质名称 Name of germplasm	来源地 Origin	编号 Code	种质名称 Name of germplasm	来源地 Origin
123	杂糜子 Zamizi	新疆 Xinjiang	182	PI 427248	尼泊尔 Nepal
124	糜子 Mizi	新疆 Xinjiang	183	PI 427250	尼泊尔 Nepal
125	额敏红糜 Eminhongmi	新疆 Xinjiang	184	Shiroishikei NG-33	日本 Japan
126	糜子 Mizi	新疆 Xinjiang	185	Tajikistan	塔吉克斯坦 Tajikistan
127	黄糜子 Huangmizi	新疆 Xinjiang	186	PAN 108	塔吉克斯坦 Tajikistan
128	红糜 Hongmi	新疆 Xinjiang	187	TU-86-42-03	土耳其 Turkey
129	黄糜 Huangmi	新疆 Xinjiang	188	TU-85-074-03	土耳其 Turkey
130	野糜子 Yemizi	新疆 Xinjiang	189	PODOLIAN 24/273	乌克兰 Ukraine
131	吐鲁番糜 Tulufanmi	新疆 Xinjiang	190	Veselopodoljanskoe	乌克兰 Ukraine
132	白黍 Baishu	云南 Yunnan	191	Spain 9676 24	西班牙 Spain
133	黑糜子 Heimizi	云南 Yunnan	192	Spain 10161 26	西班牙 Spain
134	陇糜 10 号 Longmi 10	甘肃 Gansu	193	PAN750	匈牙利 Hungary
135	陇糜 9 号 Longmi 9	甘肃 Gansu	194	LOVASZPATONAI	匈牙利 Hungary
136	陇糜 4 号 Longmi 4	甘肃 Gansu	195	Vol'noe	白俄罗斯 Belarus
137	哈选 1 号 Haxuan 1	黑龙江 Heilongjiang	196	PAN91	奥地利 Austria
138	龙黍 23 号 Longshu 23	黑龙江 Heilongjiang	197	PAN950	克罗地亚 Croatia
139	齐黍 1 号 Qishu 1	黑龙江 Heilongjiang	198	列根特 Liegente	俄罗斯 Russia
140	粘丰 7 号 Nianfeng 7	黑龙江 Heilongjiang	199	龙黍 5 Longshu 5	黑龙江 Heilongjiang
141	辽糜 3 号 Liaomi 3	辽宁 Liaoning	200	龙黍 7 Longshu 7	黑龙江 Heilongjiang
142	辽糜 56 Liaomi 56	辽宁 Liaoning	201	龙黍 9 Longshu 9	黑龙江 Heilongjiang
143	赤糜 2 号 Chimi 2	内蒙古 Inner Mongolia	202	龙黍 10 Longshu 10	黑龙江 Heilongjiang
144	赤黍 9 号 Chishu 9	内蒙古 Inner Mongolia	203	龙黍 13 Longshu 13	黑龙江 Heilongjiang
145	内糜 5 号 Neimi 5	内蒙古 Inner Mongolia	204	龙黍 16 Longshu 16	黑龙江 Heilongjiang
146	内糜 7 号 Neimi 7	内蒙古 Inner Mongolia	205	龙黍 18 Longshu 18	黑龙江 Heilongjiang
147	伊选黄糜 Yixuanhuangmi	内蒙古 Inner Mongolia	206	龙黍 21 Longshu 21	黑龙江 Heilongjiang
148	内糜 9 号 Neimi 9	内蒙古 Inner Mongolia	207	年丰 1 Nianfeng 1	黑龙江 Heilongjiang
149	宁糜 17 号 Ningmi 17	宁夏 Ningxia	208	年丰 2 Nianfeng 2	黑龙江 Heilongjiang
150	宁糜 13 号 Ningmi 13	宁夏 Ningxia	209	年丰 3 Nianfeng 3	黑龙江 Heilongjiang
151	宁糜 4 号 Ningmi 4	宁夏 Ningxia	210	年丰 4 Nianfeng 4	黑龙江 Heilongjiang
152	固糜 13 Gumi 13	宁夏 Ningxia	211	年丰 5 Nianfeng 5	黑龙江 Heilongjiang
153	晋黍 4 号 Jinshu 4	山西 Shanxi	212	年丰 6 Nianfeng 6	黑龙江 Heilongjiang
154	晋黍 9 号 Jinshu 9	山西 Shanxi	213	雁黍 3 号 Yanshu 3	山西 Shanxi
155	品糜 1 号 Pinmi 1	山西 Shanxi	214	内糜 6 号 Neimi 6	内蒙古 Inner Mongolia
156	雁黍 7 号 Yanshu 7	山西 Shanxi	215	固糜 7 号 Gumi 7	宁夏 Ningxia
157	榆糜 2 号 Yumi 2	陕西 Shaanxi	216	晋黍 5 号 Jinshu 5	山西 Shanxi
158	榆糜 3 号 Yumi 3	陕西 Shaanxi	217	伊糜 1 号 Yimi 1	内蒙古 Inner Mongolia
159	榆黍 1 号 Yushu 1	陕西 Shaanxi	218	陇糜 5 号 Longmi 5	甘肃 Gansu
160	冀黍 3 号 Jishu 3	河北 Hebei	219	晋黍 7 号 Jinshu 7	山西 Shanxi
161	黄黍 Huangshu	河北 Hebei	220	龙糜 2 号 Longmi 2	黑龙江 Heilongjiang
162	静宁黄糜 Jingninghuangmi	甘肃 Gansu	221	内糜 1 号 Neimi 1	内蒙古 Inner Mongolia
163	吉林 1 Jilin 1	吉林 Jilin	222	内糜 3 号 Neimi 3	内蒙古 Inner Mongolia
164	大同-1 Datong-1	山西 Shanxi	223	雁黍 8 号 Yanshu 8	山西 Shanxi
165	野糜子 Yemizi	山西 Shanxi	224	宁糜 9 号 Ningmi 9	宁夏 Ningxia
166	野糜子 Yemizi	山西 Shanxi	225	赤糜 1 号 Chimi 1	内蒙古 Inner Mongolia
167	野糜子 Yemizi	新疆 Xinjiang	226	晋黍 2 号 Jinshu 2	山西 Shanxi
168	IPM 1036	阿根廷 Argentina	227	固糜 21 Gumi 21	宁夏 Ningxia
169	WHITE FRENCH	澳大利亚 Australia	228	内糜 4 号 Neimi 4	内蒙古 Inner Mongolia
170	White French	澳大利亚 Australia	229	品糜 2 号 Pinmi 2	山西 Shanxi
171	IPM 1118	巴基斯坦 Pakistan	230	宁糜 15 号 Ningmi 15	宁夏 Ningxia
172	BOLGAR 161	保加利亚 Bulgaria	231	陇糜 4 号 Longmi 4	甘肃 Gansu
173	GE.2013-20	格鲁吉亚 Georgia	232	赤黍 1 号 Chishu 1	内蒙古 Inner Mongolia
174	URAL	哈萨克斯坦 Kazakhstan	233	朝糜 1 号 Chaomi 1	辽宁 Liaoning
175	Chuushuugunsan	韩国 Korea	234	陇黍 1 号 Longshu 1	甘肃 Gansu
176	Teisengun Suizanme	韩国 Korea	235	雁黍 11 号 Yanshu 11	山西 Shanxi
177	DOMACE BIELE	捷克 Czech Republic	236	伊糜 5 号 Yimi 5	内蒙古 Inner Mongolia
178	HANACKE MANA	捷克 Czech Republic	237	赤黍 2 号 Chishu 2	内蒙古 Inner Mongolia
179	PAN 19	罗马尼亚 Romania	238	榆黍 1 号 Yushu 1	陕西 Shaanxi
180	PAN 21	罗马尼亚 Romania	239	齐黍 2 号 Qishu 2	黑龙江 Heilongjiang
181	PI 427247	尼泊尔 Nepal	240	内糜 155 Neimi 155	内蒙古 Inner Mongolia

温胁迫处理期间无光照,生长恢复阶段中每天光照 12 h(7∶00—19∶00),光强度和相对湿度分别设置为 2 500 lx 的 70%。每天记录发芽过程中的发芽粒数,计算发芽指数,生长恢复第 3 天测定发芽势,第 6 天测发芽率、根长、根鲜重、芽长、芽鲜重,并计算活力指数和冷害率。

1.3　测定指标与计算方法

糜子种子根长和芽长均采用游标卡尺测定,其中根长(*RL*)指从种子胚到最长根尖的长度,芽长(*SL*)指从种子胚到最长叶尖的长度。种子发芽势(*GE*)、发芽率(*GP*)、发芽指数(*GI*)、活力指数(*VI*)、发芽相对冷害率(*CDR*)和各指标相对值等指标计算方法分别如式(1)~(6)所示:

发芽势(%)= 恢复第 3 天发芽种子个数/供试种子个数×100%　　(1)

发芽率(%)= 发芽种子个数/供试种子个数×100%　　(2)

发芽指数(*GI*)= ∑(第 T 日的发芽种子个数/相应的发芽天数)　　(3)

活力指数(*VI*)= 发芽指数(*GI*)×胚根鲜重(*RFW*)　　(4)

发芽相对冷害率(%)= (对照发芽率-处理发芽率)/对照发芽率×100%　　(5)

指标相对值=各指标处理值/对照值　　(6)

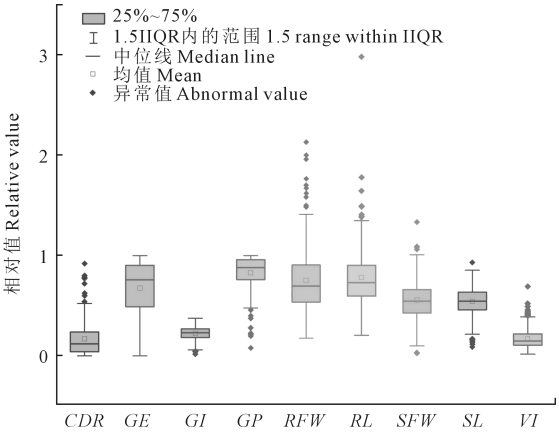
1.4　数据处理与分析

用 Microsoft Excel 2019 软件进行数据统计分析,用 SPSS 19.0 软件进行相关性分析和主成分分析,用 R studio 软件进行聚类分析和绘图。

2　结果与分析

2.1　萌发期糜子资源对冷胁迫的响应

240 份糜子品种在 10℃环境下萌发期的各项指标相对值整体小于 1,平均值均小于 1(如图 1 所示),糜子种子相对发芽势为 0~100%、相对发芽率为 8%~100%、相对发芽指数为 1.86%~37.49%、相对芽长为 8.99%~93.2%、相对根长为 20.59%~298%、相对芽鲜重为2.63%~133.43%、相对根鲜重为 17.66%~213.1%、相对活力指数为 1.68%~69.27%、相对发芽冷害率为 0~92%。其中,相对根鲜重、相对活力指数、相对发芽冷害率的差异性较大,变异系数分别为 43.27%、58.35%、100.03%。表明不同品种资源的耐冷性存在显著差异,具有丰富的遗传多样性,糜子出苗/生长指标对低温反应敏感,故可在冷胁迫下可以筛选出耐冷的品种资源。



注:*GE*:发芽势;*GP*:发芽率;*GI*:发芽指数;*SL*:芽长;*RL*:根长;*SFW*:芽鲜重;*RFW*:根鲜重;*VI*:活力指数;*CDR*:冷害率。下同

Note: *GE*: Germination energy; *GP*: Germination percentage; *GI*: Germination index; *SL*: Sprout length; *RL*: Root length; *SFW*: Shoot fresh weight; *RFW*: Root fresh weight; *VI*: Vitality index; *CDR*: Chilling damage rate. The same below

图 1　萌发期冷胁迫下性状相对值描述统计分析

Fig.1　Analysis of relative value traits of broomcorn millet under chilling stress at germination stage

2.2　萌发期冷胁迫下糜子性状相关性分析

从图 2 看出(见 31 页),相对发芽势、相对发芽率、相对发芽指数与相对芽鲜重、相对根鲜重、相对活力指和相对冷害率指标均呈现极显著负相关关系($P<0.01$);相对根长与相对冷害率、相对芽鲜重、相对活力指数和相对根鲜重均呈现显著负相关关系($P<0.05$),与相对发芽率呈显著正相关关系($P<0.05$),与相对芽长、相对发芽指数和相对发芽势呈极显著正相关($P<0.01$);相对发芽率、相对发芽势、相对芽长和相对发芽指数指标间呈现极显著正相关($P<0.01$);相对芽鲜重、相对根鲜重、相对活力指数和相对冷害率等指标间呈现极显著正相关($P<0.01$)。相对发芽势、相对发芽指数和相对发芽率指标中,每两个指标之间的相对系数均大于 0.80,相对芽鲜重、相对活力指数和相对根鲜重指标中,每两个指标之间的相对系数均大于 0.80,表明上述指标之间受到冷胁迫的程度是相互关联的。

2.3　萌发期冷胁迫下糜子性状主成分分析

对 240 份糜子冷胁迫下 9 个相对性状进行主成分分析,选取 3 个特征值大于 1 的主成分。第 1 主成分的特征值为 4.73,贡献率为 52.57%;第 2 主成分的特征值为 2.06,贡献率为 22.87%;第 3 主成分的特征值为 1.06,贡献率为 11.78%。3 个主成分的累计贡献率为 87.22 %,共涵盖了 9 个相对指标 87%以上的数据信息,如表 2 所示。9 个测量性状的变化趋势可以通过前三个主成分进行表征,且相

关性可通过因子负荷量反映(表 3)。第 1 主成分与发芽势、发芽率和发芽指数有较强的正相关关系,表明冷胁迫下糜子发芽性状可作为鉴定和评价耐冷性的重要指标。第 2 主成分与芽鲜重和根鲜重有较强的正相关关系,表明冷胁迫与鲜重有较大关系。第 3 主成分与根长和芽长存在较显著的正相关关系,表明根长和芽长对其起主要作用。

2.4 萌发期糜子资源耐冷性综合分析

为更直观地评价 240 份糜子资源的耐冷性,根据因子得分计算出总 F 值,并对其进行排序。设相对发芽势、发芽率、发芽指数、芽长、根长、芽鲜重、根鲜重、活力指数和冷害率的标准化数值分别为 X_1、X_2、X_3、X_4、X_5、X_6、X_7、X_8 和 X_9,则根据相对性状主成分特征向量(表 4)可得到 3 个主成分表达式:

$$Y_1 = 0.18X_1 + 0.181X_2 + 0.18X_3 + 0.067X_4 + 0.057X_5 - 0.153X_6 - 0.158X_7 - 0.158X_8 - 0.181X_9$$

$$Y_2 = 0.171X_1 + 0.2061X_2 + 0.181X_3 + 0.167X_4 + 0.029X_{5+} 0.327X_6 + 0.319X_7 + 0.319X_8 - 0.206X_9$$

$$Y_3 = -0.042X_1 - 0.185X_2 - 0.071X_3 + 0.536X_4 + 0.761X_5 - 0.037X_6 - 0.011X_7 + 0.001X_8 + 0.185X_9$$

以主成分的贡献率为权重系数构建各供试材料综合得分:

$$F = 0.5257Y_1 + 0.22868Y_2 + 0.11783Y_3$$

对 240 份资源综合得分排序后,将其分为四大类(图 3):第 1 类属于高度耐冷资源,包括‘89 号黑黍子’、‘8 号景泰疙瘩红’、‘81 号黄糜子’等 22 份资源,占供试材料的 9.17%;第 2 类属于耐冷资源,包括‘11 号张川麻糜子’、‘12 号古浪半个红’、‘60 号巴盟黄黍子’等 138 份资源,占供试材料的 57.5%;第 3 类属于冷敏感资源,包括‘121 号札达糜’、‘143 号赤糜 2 号’、‘94 号老来黑’等 64 份资源,占供试材料的 26.66%;第 4 类属于高度冷敏感资源,包括‘130 号野糜子’、‘180 号 PAN 21’、‘209 号年丰 3’等 16 份资源,占供试材料的 6.67%。详见表 5。

2.5 萌发期糜子资源耐冷相关性状聚类分析

根据系统聚类中基于欧式距离的 Ward 联接法,对 240 份糜子资源采用 R studio 软件进行耐冷相关性状排序聚类分析如图 4 所示,供试资源被分为 4 个组群,第 1~4 组群分别共计 5、19、23、193 份

表 2 3 个主成分的特征值以及贡献率

Table 2 Eigen values of 3 principal components and their contribution and cumulative contribution

主成分 Principal component	特征值 Eigen value	贡献率/% Contribution	累计贡献率/% Cumulative contribution
1	4.73	52.57	52.57
2	2.06	22.87	75.44
3	1.06	11.78	87.22

表 3 各因子载荷矩阵

Table 3 Loading matrix of all components

主成份 Principal component	*GE*	*GP*	*GI*	*SL*	*RL*	*SFW*	*RFW*	*VI*	*CDR*
1	0.850	0.856	0.852	0.319	0.271	−0.724	−0.749	−0.746	−0.856
2	0.351	0.425	0.372	0.344	0.060	0.672	0.656	0.657	−0.425
3	−0.044	−0.196	−0.075	0.569	0.807	−0.040	−0.012	0.001	0.196

表 4 各相对性状主成分特征向量矩阵

Table 4 Eigenvectors matrix of all traits of principal components

主成份 Principal component	*GE*	*GP*	*GI*	*SL*	*RL*	*SFW*	*RFW*	*VI*	*CDR*
1	0.180	0.181	0.180	0.067	0.057	−0.153	−0.158	−0.158	−0.181
2	0.171	0.206	0.181	0.167	0.029	0.327	0.319	0.319	−0.206
3	−0.042	−0.185	−0.071	0.536	0.761	−0.037	−0.011	0.001	0.185

表 5　22 份高度耐冷糜子品种资源来源、各性状相对值及耐冷性排序

Table 5　The resource source, relative value of each character and ranking of cold tolerance of 22 broomcorn millet resources with high cold tolerance

品种资源 Germplasm	来源 Source	相对值 Relative value									F 值 F value	排序 Order
		GE	*GP*	*GI*	*SL*	*RL*	*SFW*	*RFW*	*VI*	*CDR*		
黑黍子 Heishuzi	山东 Shandong	0.61	0.72	0.23	0.56	2.98	0.49	0.61	0.12	0.28	0.63	1
景泰疙瘩红 Jingtaigedahong	甘肃 Gansu	1.00	0.96	0.28	0.66	1.38	0.19	0.30	0.05	0.04	0.54	2
黄糜子 Huangmizi	青海 Qinghai	0.92	0.96	0.26	0.73	1.41	0.48	0.59	0.12	0.04	0.53	3
巴盟白糜子 Bamengbaimizi	内蒙古 Inner Mongolia	0.84	0.88	0.23	0.68	1.65	0.43	0.55	0.11	0.12	0.53	4
土黄糜 Tuhuangmi	青海 Qinghai	0.96	0.98	0.34	0.66	1.31	0.48	0.60	0.12	0.02	0.53	5
小红黍 Xiaohongshu	内蒙古 Inner Mongolia	0.79	0.88	0.28	0.93	1.20	0.45	0.56	0.11	0.12	0.51	6
小黄糜子 Xiaohuangmizi	宁夏 Ningxia	0.92	0.98	0.31	0.69	1.16	0.45	0.56	0.12	0.02	0.50	7
宁糜 4 号 Ningmi 4	宁夏 Ningxia	1.00	0.98	0.34	0.71	1.02	0.59	0.79	0.18	0.02	0.50	8
达旗青糜子 Daqiqingmizi	内蒙古 Inner Mongolia	1.00	0.98	0.35	0.70	0.98	0.44	0.55	0.11	0.02	0.50	9
野糜子 Yemizi	山西 Shanxi	1.00	0.98	0.29	0.80	0.96	0.62	0.85	0.20	0.02	0.50	10
和林红糜子 Helinhongmizi	内蒙古 Inner Mongolia	0.96	0.98	0.37	0.61	1.07	0.43	0.53	0.11	0.02	0.50	11
额敏红糜 Eminhongmi	新疆 Xinjiang	0.92	0.96	0.27	0.66	1.22	0.55	0.71	0.15	0.04	0.50	12
黑黍 Heishu	内蒙古 Inner Mongolia	1.00	0.98	0.31	0.57	1.13	0.45	0.56	0.11	0.02	0.49	13
黄黍子 Huangshuzi	北京 Beijing	0.72	0.92	0.26	0.69	1.28	0.03	0.21	0.02	0.08	0.49	14
靖远紫秆红 Jingyuanziganhong	甘肃 Gansu	0.96	0.96	0.23	0.68	1.04	0.23	0.30	0.05	0.04	0.49	15
大红袍 Dahongpao	黑龙江 Heilongjiang	1.00	0.96	0.32	0.68	0.92	0.37	0.43	0.08	0.04	0.48	16
准旗紫秆红糜 Zhunqiziganhongmi	内蒙古 Inner Mongolia	0.92	0.96	0.35	0.77	0.88	0.44	0.55	0.11	0.04	0.48	17
五原小黄糜 Wuyuanxiaohuangmi	内蒙古 Inner Mongolia	0.88	0.98	0.30	0.65	1.07	0.43	0.54	0.11	0.02	0.48	18
内糜 155 Neimi155	内蒙古 Inner Mongolia	0.75	0.84	0.25	0.81	1.49	1.33	2.13	0.69	0.16	0.48	19
大红糜 Dahongmi	陕西 Shaanxi	0.95	0.98	0.36	0.57	1.01	0.53	0.67	0.14	0.02	0.48	20
静宁小黄糜 Jingningxiaohuangmi	甘肃 Gansu	0.96	0.98	0.30	0.73	0.90	0.62	0.83	0.19	0.02	0.47	21
小糜子 Xiaomizi	青海 Qinghai	1.00	0.98	0.32	0.52	0.99	0.48	0.59	0.12	0.02	0.47	22

资源,分别占供试材料的 2.08%、7.92%、9.58%、80.42%。从各性状分别在 4 个聚类组群中的相对平均值来看(图 5),第 1 组群相对根长与相对根鲜重的平均值明显高于其他组群,说明第 1 组群中地下部分具有较明显的耐冷特性;第 2 组群的相对芽势、相对芽率、相对发芽指数、相对芽长、相对根长、相对冷害率等 6 个相对性状的平均值均处于最低水平,因此在第 2 组群的 19 份供试资源中,有 14 份是耐冷性排序中的后 14 位,说明第 2 组群中的资源具有极明显的冷敏感特性,可定为萌发期高度冷敏感种质资源;第 3 组群相对芽长与相对芽鲜重的平均值均高于其他组群,说明第 3 组群地上部分具有一定的耐冷特性;第 4 组群相对芽势、相对芽率、相对发芽指数与相对冷害率性状处于较高水平,说明第 4 组群的发芽特性具有明显的耐冷特性。

3　讨　论

选育耐冷性强的品种是应对低温冷害的重要途径,选择耐冷性评价的适宜低温是第一步,种质资源难以在过低温度下发芽,而在过高温度下不能对耐冷性进行区分。李玉环等[19]研究表明当温度低于 12℃时容易对糜子造成冷害。在本试验之前的预试验中已经确定 10℃可作为糜子资源耐冷性评价的适宜温度,并且通过对本试验结果的描述性

图 3　240 份糜子资源耐冷性排序聚类分析

Fig.3　The ranking cluster analysis of cold tolerance of 240 broomcorn millet resources

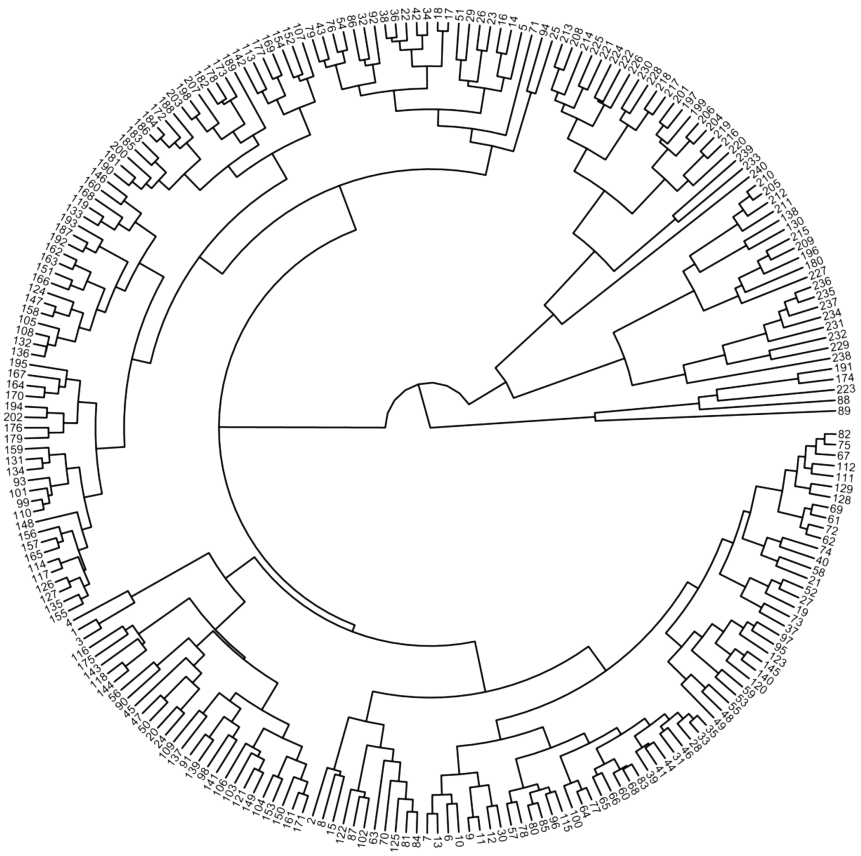
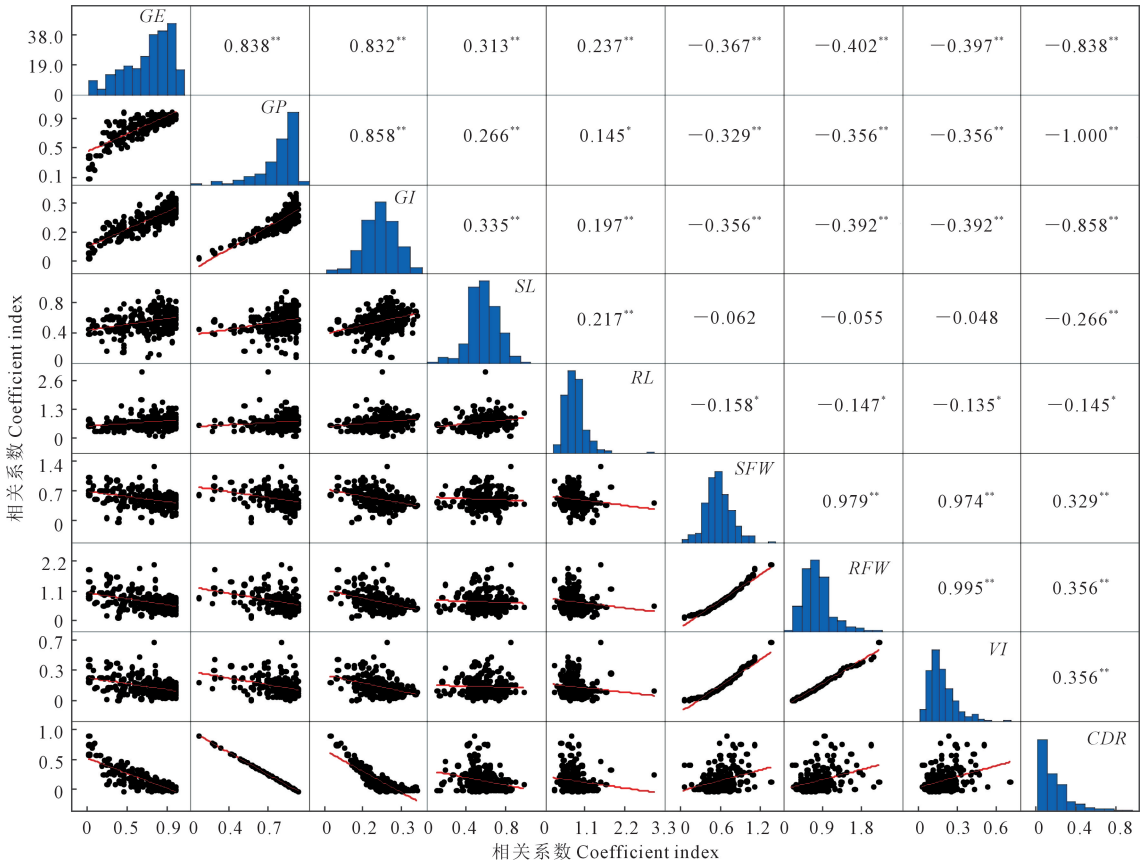


图 4　240 份糜子资源耐冷相对性状值聚类分析

Fig.4　Cluster analysis of cold-tolerant traits of 240 broomcorn millet resources



注:*:在 0.05 水平差异显著;**:在 0.01 水平差异极显著。下同。

Note: *: significant difference at 0.05 level; **: significant difference at 0.01 level. The same below.

图 2　萌发期冷胁迫下各性状指标间相关关系分析

Fig.2　Correlation analysis of each character index under cold stress during germination

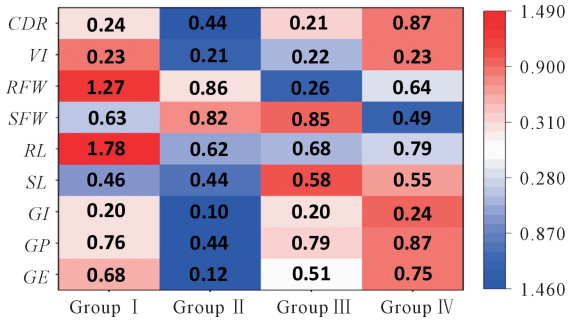


图 5　各性状在聚类组群中的相对平均值

Fig.5　The relative mean value of each trait in the cluster group

统计分析,发现各项指标的相对值整体小于 1,变异系数的变化范围为 20.59%~100.03%,说明 10℃ 低温可以筛选出耐冷的糜子种质资源。对种质资源进行抗性筛选时,选择适宜的评价性状能够减少误差,从而真实地表现出耐冷性[25]。萌芽期种质资源的抗性鉴定既要测定其发芽性状,也要测量发芽后其芽和根的生长情况[22],观察在低温下种子发芽后的强弱。因此本试验选择发芽势等 9 个性状作为萌芽期耐冷性鉴定的性状指标,通过相关性分析发现各性状之间都存在着显著或极显著相关性,表明各耐冷性状间具有很大的迭加和相互关联等特性,所以不能根据单一或少数几个指标进行精准评价。主成分分析是根据耐冷变量的相关性对各性状的反映进行综合分析,清除资源材料间的固有差异,使分析结果更为科学准确[26]。本试验中主成分分析结果表明发芽性状主要反映了糜子资源萌芽期的耐冷性,这与袁雨豪等[22]关于糜子耐盐碱性研究结果一致,并且与各性状在聚类组群中反映的结果一致。

本研究以 240 份糜子品种资源为材料,通过聚类分析完成了对糜子耐冷品种资源的分类,类群之间耐冷差异性较明显,并且相对性状聚类分析表明高度冷敏感资源的发芽性状均表现最差。糜子对非生物胁迫具有很强的耐受性[1],由于筛选出的萌芽期高度耐冷的糜子种质资源没有受到外界环境影响,因此需要进一步将筛选出的资源在大田中进行提前播种或在黑龙江高纬度地区进行播种,可更加全面地筛选出适宜冷寒地区种植或育种研究的耐冷糜子种质资源,以期保证东北地区糜子产量的同时可以扩大种植范围。

4 结 论

本研究综合采用描述统计分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析等分析方法对 240 份糜子资源 9 项耐冷性状进行评价分析,按贡献率高低可将 9 个耐冷性状总结为发芽性状因子、芽根鲜重因子及芽根长因子。根据种质资源耐冷性综合评价结果进行聚类分析,筛选出‘景泰疙瘩红’等 22 个萌发期高度耐冷品种资源、‘张川麻糜子’等 138 份耐冷品种资源、‘札达糜’等 64 份冷敏感品种资源、‘PAN 21’等 16 份高度冷敏感品种资源。根据各耐冷相关性状聚类分析结果,供试资源可被分为 4 组,即第 1 组群地下部分具有较明显的耐冷特性,第 2 组群具有极明显的冷敏感特性,第 3 组群地上部分具有一定的耐冷特性,第 4 组群的发芽特性具有明显的耐冷特性。

参 考 文 献:

[1] YANG Q H, ZHANG P P, QU Y, et al. Comparison of physicochemical properties and cooking edibility of waxy and non-waxy proso millet (*Panicum miliaceum* L.)[J]. Food Chemistry, 2018, 257: 271-278.

[2] 李顺国,刘猛,赵宇,等.2012 年谷子糜子产业政策建议及趋势分析[J].农业展望,2012,8(3):41-44.
LI S G, LIU M, ZHAO Y, et al. Policy suggestions and trend analysis of millet millet and millet in 2012[J]. Agricultural Outlook, 2012, 8(3): 41-44.

[3] 柴岩,万富世.中国小杂粮产业发展报告[M].北京:中国农业科学技术出版社,2007:51-56.
CHAI Y, WAN F S. Report on the development of minor grains industry in China[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2007: 51-56.

[4] 王纶,王星玉,温琪汾.黍稷种质资源繁殖更新技术[J].山西农业科学,2012,40(3):227-232,240.
WANG L, WANG X Y, WEN Q F. Regeneration and renew technical specification of broomcorn millet germplasm resources[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2012, 40(3): 227-232, 240.

[5] ARAB A, BRADARAN R, VAHIDIPOUR T H. Effect of irrigation and mycorrhizal bio-fertilizers on yield and agronomic traits of millet (*Panicum miliaceum* L.)[J]. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 2013, 6(2): 103-109.

[6] YUE H, WANG M, LIU S Y, et al. Transcriptome-wide identification and expression profiles of the WRKY transcription factor family in broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.)[J]. BMC Genomics, 2016, 17: 343.

[7] 李生秀.中国旱地农业[M].北京:中国农业出版社,2004:32-38.
LI S X. Dryland agriculture in China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2004: 32-38.

[8] LI M, SUI N, LIN L, et al. Transcriptomic profiling revealed genes involved in response to cold stress in maize[J]. Functional Plant Biology, 2019, 46(9): 830-844.

[9] 何学敏,刘笑,殷红,等.1986~2015 年中国东北地区主要农业气象灾害变化特征[J].沈阳农业大学学报,2019,50(4):392-398.
HE X M, LIU X, YIN H, et al. Characteristics of major agricultural meteorological disasters in Northeast China from 1986 to 2015[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2019, 50(4): 392-398.

[10] 杨若子,周广胜.1961-2013 年东北三省玉米低温冷害频率的时空动态研究[J].气象科学,2016,36(3):311-318.
YANG R Z, ZHOU G S. Temporal-spatial dynamics of maize chilling damage frequency in Northeast China during 1961-2013[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2016, 36(3): 311-318.

[11] SHEN X J, LIU B H, XUE Z S, et al. Spatiotemporal variation in vegetation spring phenology and its response to climate change in freshwater marshes of Northeast China[J]. Science of the Total Environment, 2019, 666: 1169-1177.

[12] DING Y L, SHI Y T, YANG S H. Advances and challenges in uncovering cold tolerance regulatory mechanisms in plants[J]. The New Phytologist, 2019, 222(4): 1690-1704.

[13] 李霞,戴传超,程睿,等.不同生育期水稻耐冷性的鉴定及耐冷性差异的生理机制[J].作物学报,2006,32(1):76-83.
LI X, DAI C C, CHENG R, et al. Identification for cold tolerance at different growth stages in rice (*Oryza sativa* L.) and physiological mechanism of differential cold tolerance[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(1): 76-83.

[14] 周亚峰,许彦宾,王艳玲,等.基于主成分-聚类分析构建甜瓜幼苗耐冷性综合评价体系[J].植物学报,2017,52(4):520-529.
ZHOU Y F, XU Y B, WANG Y L, et al. Establishment of a comprehensive evaluation system for chilling tolerance in melon seedlings based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2017, 52(4): 520-529.

[15] LANDI P, FRASCAROLI E, LOVATO A. Divergent full-sib recurrent selection for germination at low temperature in a maize population[J]. Euphytica, 1992, 64(1): 21-29.

[16] JANDA T, KÓSA E I, SZALAI G, et al. Investigation of antioxidant activity in maize during low temperature stress[J]. Acta Biologica Szegediensis, 2005, 49(1/2): 53-54.

[17] MAROCCO A, LORENZONI C, FRACHEBOUD Y. Chilling stress in maize[J]. Maydica, 2005, 50(3): 571-580.

[18] 闫锋,李清泉,崔秀辉,等.糜子新品种齐黍 2 号选育及栽培要点[J].黑龙江农业科学,2019,(11):161-162.
YAN F, LI Q Q, CUI X H, et al. Breeding and cultivation key points of a new panicum miliaceum variety Qishu No.2[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2019,(11): 161-162.

[19] 李玉环,杨明君,谷茂.播期对黍子籽粒产量及其主要经济性状的影响[J].内蒙古农业科技,1999,(S1):52-53,55.
LI Y H, YANG M J, GU M. Effect of sowing date on grain yield and main economic characters of broomcorn millet[J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 1999,(S1): 52-53, 55.

[20] 刘杰,张春宵,李淑芳,等.81 份玉米杂交种萌发期耐冷性的鉴定和评价[J].玉米科学,2020,28(5):20-26,31.
LIU J, ZHANG C X, LI S F, et al. Identification and evaluation of eighty-one hybrids for chilling tolerance at maize germination stage[J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(5): 20-26, 31.

[21] 张鹤,蒋春姬,殷冬梅,等.花生耐冷综合评价体系构建及耐冷种质筛选[J].作物学报,2021,47(9):1753-1767.

ZHANG H, JIANG C J, YIN D M, et al. Establishment of comprehensive evaluation system for cold tolerance and screening of cold-tolerance germplasm in peanut[J]. Acta Agronomica Sinica, 2021, 47(9): 1753-1767.

[22] 袁雨豪,杨清华,党科,等.糜子资源耐盐性评价与盐胁迫生理响应[J].中国农业科学,2019,52(22):4066-4078.
YUAN Y H, YANG Q H, DANG K, et al. Salt-tolerance evaluation and physiological response of salt stress of broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.)[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(22): 4066-4078.

[23] 刘紫娟,李萍,宗毓铮,等.干旱胁迫对糜子生理及产量的影响[J].山西农业科学,2016,44(9):1279-1283.
LIU Z J, LI P, ZONG Y Z, et al. Effects of drought on physiology and yield in broomcorn millet[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2016, 44(9): 1279-1283.

[24] 王宇先.水分条件对糜子倒伏指标及产量的影响[J].黑龙江农业科学,2019,(10):18-21.
WANG Y X. Effects of water conditions on lodging index and yield of broomcorn millet[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2019, (10): 18-21.

[25] 刘杰,张春宵,李淑芳,等.95 份玉米自交系萌发期耐冷性鉴评与遗传基础分析[J].分子植物育种,2021,19(7):2391-2401.
LIU J, ZHANG C X, LI S F, et al. Evaluation and genetic basis analysis of cold tolerance of 95 maize inbred lines at germination stage[J]. Molecular Plant Breeding, 2021, 19(7): 2391-2401.

[26] 林海明,杜子芳.主成分分析综合评价应该注意的问题[J].统计研究,2013,30(8):25-31.
LIN H M, DU Z F. Some problems in comprehensive evaluation in the principal component analysis[J]. Statistical Research, 2013, 30(8): 25-31.

(上接第 11 页)

[15] 朱振东,王化波,王晓鸣,等.黑龙江省主要栽培大豆品种(系)对大豆疫霉根腐病的多抗性评价[J].植物遗传资源学报,2004,5(1):22-25.
ZHU Z D, WANG H B, WANG X M, et al. Evaluation of multi-resistance of main cultivated soybean varieties (lines) in Heilongjiang Province to soybean phytophthora root rot[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2004, 5(1): 22-25.

[16] EVANNO G, REGNAUT S, GOUDET J. Detecting the number of clusters of individuals using the software structure: a simulation study[J]. Molecular Ecology, 2005, 14(8): 2611-2620.

[17] 蒲媛媛.我国北方甘蓝型冬油菜抗寒性评价及冷冻胁迫下转录组分析[D].兰州:甘肃农业大学,2019.
PU Y Y. Cold tolerance evaluation and transcriptome analysis of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) in northern China in response to freezing stress[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2019.

[18] 武军艳,方彦,张朋飞,等.北方旱寒区冬油菜根系抗寒指标分析[J].干旱地区农业研究,2014,32(6):250-255.
WU J Y, FANG Y, ZHANG P F, et al. Analysis of cold-tolerant characters of winter rape roots in northern arid-cold area[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(6): 250-255.

[19] 刘自刚,孙万仓,杨宁宁,等.冬前低温胁迫下白菜型冬油菜抗寒性的形态及生理特征[J].中国农业科学,2013,46(22):4679-4687.
LIU Z G, SUN W C, YANG N N, et al. Morphology and physiological characteristics of cultivars with different levels of cold-resistance in winter rapeseed (*Brassica campestris* L.) during cold acclimation[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(22): 4679-4687.

[20] 孙万仓,武军艳,曾军,等.8 个白菜型冬油菜品种抗寒性的初步评价[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2007,(S1):151-155.
SUN W C, WU J Y, ZENG J, et al. Preliminary evaluation on cold resistance of 8 winter Brassica rape L. varieties[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2007, (S1): 151-155.

[21] 蒲媛媛,赵玉红,武军艳,等.北方强冬性甘蓝型冬油菜品种(系)抗寒性评价[J].中国农业科学,2019,52(19):3291-3308.
PU Y Y, ZHAO Y H, WU J Y, et al. Comprehensive assessment on cold tolerance of the strong winter *Brassica napus* L. cultivated in Northern China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(19): 3291-3308.

[22] 闫蕾,蔡俊松,高立兵,等.甘蓝型油菜抗寒性鉴定方法的建立和种质资源筛选[J].中国油料作物学报,2018,40(1):74-83.
YAN L, CAI J S, GAO L B, et al. Establishment of cold resistance identification method and selection of germplasm resources in *Brassica napus*[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2018, 40(1): 74-83.

[23] 敬丹,骆翔,陈利娜,等.基于 SSR 分子标记的 78 份核桃种质资源遗传多样性分析[J].江西农业学报,2020,32(6):11-16.
JING D, LUO X, CHEN L N, et al. Analysis of genetic diversity of 78 walnut germplasm resources based on SSR molecular markers[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2020, 32(6): 11-16.

[24] 王艳红,王辉,李志恒.分子标记在我国野生稻种质资源研究中的应用[J].干旱地区农业研究,2002,(3):93-96.
WANG Y H, WANG H, LI Z H. Application of molecular markers in the study of wild rice germplasm resources in my country[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2002, (3): 93-96.

[25] 许鲲,谷铁城,刘凤兰,等.甘蓝型油菜 2009-2010 年候选品种遗传多样性及群体结构[J].中国油料作物学报,2012,34(2):142-151.
XU K, GU T C, LIU F L, et al. Genetic diversity and population structure of candidate varieties of *Brassica napus* from 2009 to 2010[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2012, 34(2): 142-151.

[26] 聂平,杜德志,徐亮,等.不同生态类型甘蓝型油菜的 SSR 遗传多样性分析[J].西北农业学报,2008,(4):109-113.
NIE P, DU D Z, XU L, et al. SSR genetic diversity analysis of different ecological types of *Brassica napus*[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2008, (4): 109-113.