

# 温度对不同品种紫花苜蓿种子发芽特征的影响

向上,汪辉,田莉华,陈有军,孙万斌,周青平

(西南民族大学青藏高原研究院,成都 四川 610041)

**摘要:**为了解不同品种紫花苜蓿在低温下的发芽表现,采用常规纸上发芽法,测定了20个紫花苜蓿品种在4、8和20℃下的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、平均发芽时间等发芽指标,并采用打分法对其在低温下的发芽表现进行综合评价。结果表明:随着温度的降低,各品种的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数以及苗长显著降低,发芽时间延长。相对发芽率、相对发芽指数、相对活力指数、相对苗长之间均极显著正相关,与相对平均发芽时间均呈显著负相关。综合评价结果为,8℃时,巨能418Q、SG403、巨能耐湿、中苜3号、4020MF、SG402等6个品种的总得分为50以上;4℃时,只有巨能耐湿得分在50以上,为57分。

**关键词:**紫花苜蓿;耐寒性;相关性分析;打分制

**中图分类号:**S541 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)02-0074-09

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyyep.2022.02.011



紫花苜蓿(*Medicago sativa*)因其适口性好、品质优良、适应性广而在世界范围内被广泛种植。2018年,全球干草出口755万吨,其中,紫花苜蓿干草出口量最高,占55%<sup>[1]</sup>。随着我国振兴奶业苜蓿发展行动、粮改饲和草牧业政策的实施,紫花苜蓿种植规模迅速增长,紫花苜蓿在我国现代草地畜牧业生产和人工草地建植中发挥着重要作用。为满足种植需求,我国每年进口大量紫花苜蓿种子,2020年进口量为0.35万吨,同比增加37%<sup>[2]</sup>。相比国内培育的紫花苜蓿品种,引进的品种存在种植适应性差的风险。我国紫花苜蓿主要的栽培区域在北方,晚秋或早春播种时,低温是影响其萌发和出苗的主要因素之一。因此,了解主要栽培品种在低温下的发芽和幼苗生长特性对筛选紫花苜蓿适生品种及其推广种植具有一定的参考价值。

种子萌发是植物生命周期的起点,对种植环境十

分敏感<sup>[3-4]</sup>,植物种子的萌发特性直接影响幼苗个体适合度和存活能力<sup>[5]</sup>。适宜的温度是植物种子萌发的必要条件,低温胁迫对种子萌发具有抑制作用。贾祥等<sup>[6]</sup>研究表明,在4℃低温胁迫下,紫花苜蓿、天蓝苜蓿、白花草木犀和黄花草木犀等4种豆科牧草的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、胚根长和胚芽长均低于对照(25℃)。高茜等<sup>[7]</sup>的研究也表明,相比25℃,紫花苜蓿种子在10℃下的发芽率显著降低,发芽时间延长,幼苗生长缓慢,植株较弱。低温主要通过影响种子生理活动,使其发芽率降低、使幼苗生长缓慢<sup>[8]</sup>。低温胁迫下,植物种子内活性氧(ROS)水平将会升高<sup>[9]</sup>,ROS的过量产生将会对植物的细胞和代谢功能产生危害,并对蛋白质、脂类、碳水化合物和DNA造成损伤,进而导致膜损伤<sup>[10]</sup>,细胞呼吸减少<sup>[9]</sup>,从而导致细胞死亡<sup>[11]</sup>,最终致使种子发芽率降低,使产量严重受损<sup>[12]</sup>。

本研究以20个紫花苜蓿品种为试验材料,测定4、8和20℃下各品种的发芽指标,初步分析紫花苜蓿种子萌发特性对不同温度条件的响应,以期了解各品种的耐低温萌发特性,为筛选低温下适宜种植的紫花苜蓿品种,促进紫花苜蓿人工草地建植提供理论参考。

**收稿日期:**2021-09-24; **修回日期:**2021-10-10

**基金项目:**财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系(CARS-34);西南民族大学研究生创新型科研项目(CX2020SZ21)

**作者简介:**向上(1996-),女,四川成都人,硕士研究生。

E-mail:1317178600@qq.com

周青平为通信作者。

E-mail:qpqingzh@aliyun.com

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

试验材料包括金皇后、SG401、SG402、SG403、巨

能 418Q、巨能耐湿、巨能耐盐、4010、巨能 CR、WL525、4020MF、亮牧、敖汉、草原 3 号、中草 3 号、中苜 1 号、中苜 3 号、肇东等 20 个紫花苜蓿品种 (表 1)。

表 1 供试紫花苜蓿品种种子来源  
Table 1 Seed source of alfalfa cultivars

序号	品种名称	供试种子来源	休眠级
1	金皇后	北京正道种业有限公司	2.3
2	SG401	北京正道种业有限公司	—
3	SG402	北京正道种业有限公司	—
4	SG403	北京正道种业有限公司	—
5	巨能 418Q	北京正道种业有限公司	—
6	巨能耐湿	北京正道种业有限公司	4
7	巨能耐盐	北京正道种业有限公司	2.3
8	巨能 CR	北京正道种业有限公司	—
9	WL525	北京正道种业有限公司	—
10	4010	北京正道种业有限公司	—
11	4020MF	北京正道种业有限公司	4
12	亮牧	北京阳光绿地生态有限公司	—
13	敖汉	赤峰市草原站	1.1
14	草原 3 号	内蒙古农业大学	3
15	中草 3 号	中国农业科学院草原研究所	0.9
16	中苜 1 号	中国农业科学院北京畜牧兽医研究所	2.3
17	中苜 3 号	中国农业科学院北京畜牧兽医研究所	2.5
18	肇东	黑龙江省畜牧研究所	0.2
19	龙牧 801	黑龙江省畜牧研究所	0.3
20	龙牧 806	黑龙江省畜牧研究所	—

### 1.2 试验设计

将 20 个紫花苜蓿品种种子分别放到 20、8 和 4 °C 恒温培养箱中发芽,每个品种随机挑选 100 粒健康种子摆放到铺有 2 层滤纸的直径为 12 cm 的培养皿中,加入适量蒸馏水湿润滤纸,之后将培养皿移至恒温培养箱中,重复 4 次,并设置恒温培养箱的发芽环境为每天光照 16 h,光照强度为 600 mmol/(m<sup>2</sup>·s),相对湿度为 60%。每天补充水分,胚根突破种皮 2 mm 视为发芽。

### 1.3 指标测定

记录每天的发芽种子数,20 和 8 °C 于第 10 天结束发芽,4 °C 于第 15 天结束发芽,发芽结束时从每个重复中随机挑选 10 个种苗,测量苗长。按照以下公式计算相应指标:

(1)发芽势(%)=第 4 天时发芽种子总数/供试种子数×100%。

(2)发芽率(%)=发芽种子数/供试种子数×

100%。

(3)发芽指数(GI)= $\sum(Gt/Dt)$ 式中:Gt 为第 t 日的出苗数;Dt 为相应出苗天数。

(4)活力指数(VI)=GI×S;式中,S 为平均芽长。

(5)平均发芽时间( $\bar{t}$ )

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i t_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

式中, $t_i$  为第 i 日出苗天数; $n_i$  为第 i 日出苗种子数;k 为结束发芽时间。

(6)同步指数(the synchronization index,Z)

$Z = \sum C_{n_i,2}/N, C_{n_i,2} = n_i(n_i - 1)/2, N = \sum n_i(\sum n_i - 1)/2$ ,式中, $n_i$  为第 i 日出苗种子数。

### 1.4 数据分析

运用方差分析比较 3 个温度条件下 20 个紫花苜蓿品种的发芽率、发芽势、发芽指数、同步指数、平均发芽时间、活力指数、平均苗长,并采用最小显著差异法(LSD)对其进行多重比较。在计算各发芽指标相关性时为减少和消除紫花苜蓿种子初始指标间的差异性,

选择相对萌发指标来评价。20℃下各指标值为1,4和8℃低温培养下的各指标值占20℃下相应指标值的比例即为相对指标值。运用简单相关分析法比较发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、平均发芽时间、同步指数、平均苗长等7个萌发指标之间的相关性。

选取发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、苗长等5个指标对20个品种进行打分制综合评价<sup>[13]</sup>。以4、8℃低温处理下的指标值(T)占20℃测定的指标(CK)值的百分数( $T/CK \times 100\%$ )作为该指标的变化率。根据材料各个指标变化率的大小进行打分,打分的标准是把每一种指标的最大变化率与最小变化率之间的差值均分为10个级别,每级分别赋予不同的得分,即1分、2分……、10分。各个指标均以抗寒性最强的品种得分最高,即10分,抗寒性最弱的品种得分最低,即1分,依此类推。最后把各个指标的得分进行

相加得到试验材料萌发期的抗寒性总分,根据各品种苗期的抗寒性总分可得到抗寒性排序。

方差分析、相关分析均用SPSS 21.0软件辅助完成,使用Origin完成制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 温度对紫花苜蓿种子发芽指标的影响

2.1.1 发芽种子数 20℃下,各紫花苜蓿品种均在第1天开始发芽,第3天时各品种发芽种子数皆达到50个以上,第4天后各品种发芽种子数恒定(图1-A)。8℃下,第3天时,SG403等品种开始发芽,至发芽结束各品种发芽种子数缓慢增加(图1-B)。4℃下,第6天时,仅有亮牧、巨能耐盐、金皇后等部分品种开始发芽;第10天时,巨能耐湿等12个品种发芽的种子数小于5个(图1-C)。

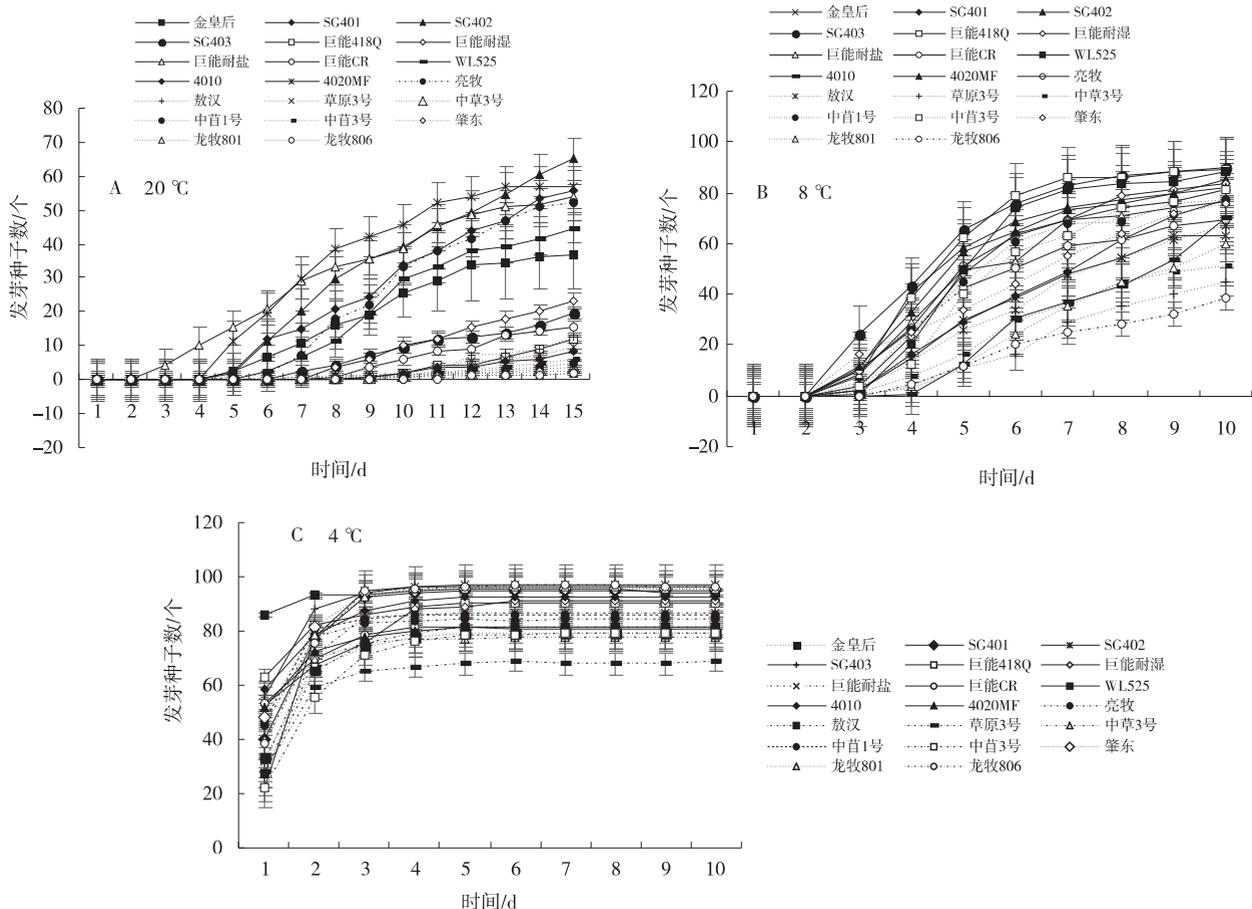


图1 20个品种紫花苜蓿种子的发芽过程

Fig.1 Germination rate of 20 alfalfa varieties

2.1.2 发芽势 20℃时,SG403发芽势最高,达97%,与龙牧806、龙牧801、SG402、WL525、SG401、4010、巨能418Q、肇东之间差异不显著,但显著( $P <$

0.05)高于其余品种;草原3号发芽势最低,为71%(表2)。8℃时,同样,SG403发芽势最高,为43%,与巨能418Q、亮牧、4020MF、巨能耐盐、SG402差异不显著,但

显著( $P < 0.05$ )高于其余品种;4010 发芽势最低,只有 1%(表 2)。而 4 ℃时的发芽势,除了巨能耐盐发芽势为 10%以外,几乎都为 0(表 2)。

同一品种在不同温度下的发芽势存在差异,所有参试品种在 20 ℃时的发芽势均显著( $P < 0.05$ )高于 8 和 4 ℃时;且除了 4010、龙牧 806、龙牧 801 草原 3 号以外,其余品种在 8 ℃的发芽势均显著( $P < 0.05$ )高于 4 ℃时。

2.1.3 发芽率 20 ℃时,龙牧 806 发芽率最高,达到 100%,与肇东、龙牧 801、SG402、4010、SG403、SG401、WL525 差异不显著,但显著( $P < 0.05$ )高于其余品种;草原 3 号 20 ℃发芽率最低,为 72%(表 2)。8 ℃时,巨能 418Q 发芽率最高,达 92%,与 SG403、巨能耐湿、中苜 3 号、亮牧、SG402、WL525、肇东差异不显著,但显著( $P < 0.05$ )高于其余品种;龙牧 806 在 8 ℃发芽率为最低,为 40%(表 2)。4 ℃时,SG402 发芽率最高,达 65%,与巨能耐盐、4020MF、亮牧、SG401 之间差异不显著,但显著( $P < 0.05$ )高于其余品种;龙牧 806 在 4 ℃时发芽率最低,为 4%(表 2)。

同一品种在不同温度下的发芽率存在差异,除中苜 3 号、巨能耐湿、巨能 418Q、SG402、龙牧 801、WL525、4020MF、肇东以外,其余参试品种皆是在 20

℃时的发芽率显著( $P < 0.05$ )高于 8 ℃和 4 ℃;8 ℃时的所有品种发芽率都显著( $P < 0.05$ )高于 4 ℃。

2.1.4 发芽指数 20 ℃时,WL525 发芽指数最高,达 267.82,显著( $P < 0.05$ )高于其余品种;草原 3 号发芽指数最低,为 144.25(表 2)。8 ℃时,SG403 发芽指数最高,达 86.10,与巨能 418Q 差异不显著,但显著( $P < 0.05$ )高于其余品种;龙牧 806 发芽指数最低,达 21.29。4 ℃时,巨能耐盐发芽指数最高,达 45.96,与 4020MF、SG402 差异不显著,但显著( $P < 0.05$ )高于其余品种;龙牧 806 发芽指数为最低,为 0.47。

除了金皇后在 8 ℃与 4 ℃条件下的发芽指数之间不存在显著差异,其余各品种在 20 ℃时的发芽指数均最高,在 4 ℃时均最低,不同温度间差异显著( $P < 0.05$ )。

2.1.5 活力指数 20 ℃时,WL525 活力指数最高,达 688.54,与肇东、龙牧 806、龙牧 801 差异不显著,但显著( $P < 0.05$ )高于其余品种;草原 3 号活力指数最低,为 227.21(表 2)。8 ℃时,巨能 418Q 活力指数最高,达 89.91,与 SG403、SG402 差异不显著,但显著( $P < 0.05$ )高于其余品种;龙牧 806 活力指数最低,为 12.10(表 2)。4 ℃时,巨能耐盐活力指数最高,达 39.10,显著( $P < 0.05$ )高于其余参试品种;龙牧 806 活力指数最低,为 0.23(表 2)。

表 2 紫花苜蓿各品种发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数

Table 2 Germination potential, germination rate, germination index and vigor index of alfalfa varieties

品种	发芽势/%			发芽率/%			发芽指数			活力指数		
	20 ℃	8 ℃	4 ℃	20 ℃	8 ℃	4 ℃	20 ℃	8 ℃	4 ℃	20 ℃	8 ℃	4 ℃
金皇后	78 <sup>ghA</sup>	15 <sup>defgB</sup>	0 <sup>aC</sup>	82 <sup>ghiA</sup>	64 <sup>ghB</sup>	39 <sup>cC</sup>	176.80 <sup>ghiA</sup>	43.77 <sup>fgB</sup>	23.06 <sup>dB</sup>	326.06 <sup>fghijA</sup>	39.22 <sup>efB</sup>	17.41 <sup>fB</sup>
SG401	94 <sup>abA</sup>	17 <sup>cdefgB</sup>	0 <sup>aC</sup>	97 <sup>abcA</sup>	79 <sup>cdeB</sup>	58 <sup>aC</sup>	212.71 <sup>bcdefA</sup>	47.49 <sup>efB</sup>	31.52 <sup>bcC</sup>	444.11 <sup>cdefA</sup>	43.19 <sup>defB</sup>	24.84 <sup>cdB</sup>
SG402	96 <sup>aA</sup>	40 <sup>abB</sup>	0 <sup>aC</sup>	98 <sup>abA</sup>	86 <sup>abcdA</sup>	65 <sup>aC</sup>	198.73 <sup>efgA</sup>	71.13 <sup>bcB</sup>	37.93 <sup>abC</sup>	339.78 <sup>efghijA</sup>	76.13 <sup>abB</sup>	26.57 <sup>bcB</sup>
SG403	97 <sup>aA</sup>	43 <sup>aB</sup>	0 <sup>aC</sup>	97 <sup>abcA</sup>	91 <sup>aB</sup>	22 <sup>deC</sup>	236.40 <sup>abA</sup>	86.10 <sup>abB</sup>	8.37 <sup>cC</sup>	538.01 <sup>bcA</sup>	89.18 <sup>abB</sup>	3.84 <sup>fB</sup>
巨能 418Q	89 <sup>abcdA</sup>	39 <sup>abB</sup>	0 <sup>aC</sup>	92 <sup>bcdeA</sup>	92 <sup>aA</sup>	15 <sup>defgC</sup>	231.67 <sup>bcA</sup>	80.63 <sup>abB</sup>	2.96 <sup>cC</sup>	505.59 <sup>bcdeA</sup>	89.91 <sup>abB</sup>	1.00 <sup>fC</sup>
巨能耐湿	88 <sup>bcdeA</sup>	23 <sup>bcdeB</sup>	0 <sup>aC</sup>	91 <sup>cdefA</sup>	89 <sup>abA</sup>	26 <sup>dC</sup>	214.48 <sup>bcdefA</sup>	64.51 <sup>cdB</sup>	8.81 <sup>cC</sup>	326.59 <sup>fghijA</sup>	67.73 <sup>bcB</sup>	4.10 <sup>fC</sup>
巨能耐盐	86 <sup>cdefA</sup>	29 <sup>abcdB</sup>	10 <sup>bC</sup>	88 <sup>defghA</sup>	79 <sup>deB</sup>	55 <sup>abC</sup>	190.57 <sup>bcdefA</sup>	63.57 <sup>cdB</sup>	45.96 <sup>aC</sup>	454.79 <sup>cdeA</sup>	58.79 <sup>bcdeB</sup>	39.10 <sup>abB</sup>
巨能 CR	82 <sup>efghA</sup>	26 <sup>bcdeB</sup>	0 <sup>aC</sup>	84 <sup>fghiA</sup>	72 <sup>efB</sup>	17 <sup>defC</sup>	204.32 <sup>cdefA</sup>	57.11 <sup>deB</sup>	5.66 <sup>cC</sup>	400.66 <sup>defgA</sup>	54.89 <sup>cdefB</sup>	1.9 <sup>fC</sup>
WL525	95 <sup>abA</sup>	21 <sup>cdefB</sup>	0 <sup>aC</sup>	94 <sup>abcdA</sup>	90 <sup>abA</sup>	46 <sup>bcC</sup>	267.82 <sup>aA</sup>	67.65 <sup>cdB</sup>	23.00 <sup>dC</sup>	688.54 <sup>aA</sup>	56.60 <sup>cdeB</sup>	14.20 <sup>fB</sup>
4010	91 <sup>abcA</sup>	1 <sup>gB</sup>	0 <sup>aB</sup>	93 <sup>abcdeA</sup>	72 <sup>efB</sup>	9 <sup>gC</sup>	227.41 <sup>bcdeA</sup>	31.38 <sup>ghB</sup>	2.36 <sup>cC</sup>	536.04 <sup>bcA</sup>	20.00 <sup>ghB</sup>	0.79 <sup>fB</sup>
4020MF	80 <sup>fghA</sup>	33 <sup>abcB</sup>	0 <sup>aC</sup>	81 <sup>hiA</sup>	82 <sup>bcdB</sup>	57 <sup>abC</sup>	202.27 <sup>defgA</sup>	71.12 <sup>bcB</sup>	45.34 <sup>aC</sup>	384.65 <sup>defghiA</sup>	64.39 <sup>bcB</sup>	32.25 <sup>bbB</sup>
亮牧	84 <sup>defgA</sup>	27 <sup>abcdB</sup>	0 <sup>aC</sup>	89 <sup>defgA</sup>	87 <sup>abcA</sup>	56 <sup>abC</sup>	204.41 <sup>cdefA</sup>	66.66 <sup>cdB</sup>	27.04 <sup>cdC</sup>	390.67 <sup>defghA</sup>	61.73 <sup>bcdeB</sup>	19.41 <sup>deC</sup>
敖汉	79 <sup>ghA</sup>	14 <sup>defgB</sup>	0 <sup>aC</sup>	81 <sup>iA</sup>	68 <sup>fgB</sup>	16 <sup>defC</sup>	165.43 <sup>hijA</sup>	42.91 <sup>fgB</sup>	3.37 <sup>cC</sup>	263.52 <sup>ijA</sup>	36.69 <sup>fgB</sup>	1.10 <sup>fB</sup>
草原 3 号	71 <sup>iA</sup>	3 <sup>fgB</sup>	0 <sup>aB</sup>	72 <sup>jA</sup>	50 <sup>ibB</sup>	12 <sup>efgC</sup>	144.25 <sup>jA</sup>	23.25 <sup>shB</sup>	3.20 <sup>cC</sup>	227.21 <sup>jA</sup>	12.97 <sup>hB</sup>	1.18 <sup>fB</sup>
中草 3 号	77 <sup>ghA</sup>	8 <sup>efgB</sup>	0 <sup>aC</sup>	79 <sup>iA</sup>	57 <sup>hibB</sup>	7 <sup>gC</sup>	172.04 <sup>hiA</sup>	32.15 <sup>hbB</sup>	1.36 <sup>cC</sup>	269.35 <sup>hijA</sup>	20.98 <sup>ghB</sup>	0.38 <sup>fB</sup>
中苜 1 号	86 <sup>cdefA</sup>	26 <sup>bcdeB</sup>	0 <sup>aC</sup>	86 <sup>efghiA</sup>	78 <sup>deB</sup>	6 <sup>gC</sup>	209.32 <sup>bcdefA</sup>	59.43 <sup>cdeB</sup>	1.14 <sup>cC</sup>	291.59 <sup>efghijA</sup>	52.22 <sup>cdefB</sup>	0.30 <sup>fC</sup>
中苜 3 号	76 <sup>hiA</sup>	13 <sup>defgB</sup>	0 <sup>aC</sup>	81 <sup>iA</sup>	84 <sup>abcdA</sup>	8 <sup>gC</sup>	159.97 <sup>ijA</sup>	56.56 <sup>deB</sup>	1.63 <sup>cC</sup>	265.71 <sup>ijA</sup>	55.04 <sup>cdefB</sup>	0.55 <sup>fB</sup>
肇东	95 <sup>abA</sup>	25 <sup>bcdeB</sup>	0 <sup>aC</sup>	99 <sup>abA</sup>	84 <sup>abcdA</sup>	2 <sup>efgC</sup>	224.78 <sup>bcdeA</sup>	56.94 <sup>deB</sup>	1.01 <sup>cC</sup>	595.88 <sup>abA</sup>	50.58 <sup>cdefB</sup>	0.38 <sup>fB</sup>
龙牧 801	96 <sup>aA</sup>	4 <sup>fgB</sup>	0 <sup>aB</sup>	99 <sup>abA</sup>	82 <sup>bcdeA</sup>	7 <sup>gC</sup>	215.12 <sup>bcdefA</sup>	29.57 <sup>hbB</sup>	0.72 <sup>cC</sup>	660.94 <sup>aA</sup>	19.41 <sup>shB</sup>	0.31 <sup>fB</sup>
龙牧 806	96 <sup>aA</sup>	5 <sup>fgB</sup>	0 <sup>aB</sup>	100 <sup>aA</sup>	40 <sup>jbB</sup>	4 <sup>gC</sup>	213.22 <sup>bcdefA</sup>	21.29 <sup>hbB</sup>	0.47 <sup>cC</sup>	676.74 <sup>aA</sup>	12.10 <sup>hbB</sup>	0.23 <sup>fB</sup>
平均值	87 <sup>A</sup>	20 <sup>B</sup>	0 <sup>C</sup>	89 <sup>A</sup>	76 <sup>A</sup>	27 <sup>C</sup>	203.59 <sup>A</sup>	53.66 <sup>B</sup>	13.74 <sup>C</sup>	391.31 <sup>A</sup>	49.09 <sup>B</sup>	9.49 <sup>B</sup>

注:同列小写字母代表不同品种同一温度下的差异显著( $P < 0.05$ ),同行大写字母代表同一品种不同温度下的差异显著( $P < 0.05$ ),下同

20 个品种在 20 ℃时的活力指数,均显著( $P < 0.05$ )高于 8 ℃和 4 ℃;巨能 CR、巨能 418Q、巨能耐湿、中苜 1 号、亮牧等 5 个品种在 4 ℃时的活力指数,均显著( $P < 0.05$ )低于 8 ℃时,其余品种 4 和 8 ℃时的活力指数之间差异不显著。

20 ℃时各品种活力指数为 688.54~277.21,8 ℃时各品种活力指数的变幅为 89.91~12.10,4 ℃时各品种活力指数为 39.10~0.23,且 20 ℃时的活力指数均值为 429.32,8 ℃时的活力指数均值为 49.09,4 ℃时的活力指数均值为 0.23。

2.1.6 苗长 20 ℃时,龙牧 806 的苗长最大,为 3.17 cm,与龙牧 801 差异不显著,但显著( $P < 0.05$ )高于其余品种;中苜 1 号苗长最小,为 1.39 cm,各品种的平均苗长为 1.9 cm(表 3)。8 ℃时,巨能 418Q 的苗长最大,为 1.10 cm,与巨能 CR、SG403、巨能耐湿、中苜 3 号、SG402 差异不显著,但显著( $P < 0.05$ )高于其余品种;草原 3 号苗长最小,为 0.56 cm,各品种的平均苗

长为 0.86 cm。4 ℃时,巨能耐盐的苗长最大,为 0.85 cm,与金皇后,SG401、亮牧、4020MF、SG402、差异不显著,但显著( $P < 0.05$ )高于其余参试品种;中苜 1 号苗长最短,达 0.23 cm,各品种的平均苗长为 0.47 cm。20 ℃下各品种的苗长均显著( $P < 0.05$ )高于 8 和 4 ℃。

2.1.7 平均发芽时间 20 ℃时,WL525 平均发芽时间最短,为 5.55 d,显著( $P < 0.05$ )低于其余品种,中苜 3 号平均发芽时间最长,为 6.02 d(表 3);8 ℃时,SG403 平均发芽时间最短,为 7.21 d,与 SG402、巨能 418Q、巨能耐盐、巨能 CR、4020MF、中苜 1 号、肇东差异不显著,但显著( $P < 0.05$ )低于其余品种,4010 平均发芽时间最长,为 8.25 d(表 3)。4 ℃时,龙牧 801 平均发芽时间最短,为 10.09 d,与 SG401、SG402、SG403、金皇后等 12 个品种差异不显著,但显著( $P < 0.05$ )低于其余品种,中苜 1 号发芽时间最长,为 13.51 d(表 3)。

表 3 紫花苜蓿各品种苗长、平均发芽时间和同步指数

Table 3 Seedling length, mean germination time and synchronization index of alfalfa varieties

品种	苗长/cm			平均发芽时间/d			同步指数		
	20 ℃	8 ℃	4 ℃	20 ℃	8 ℃	4 ℃	20 ℃	8 ℃	4 ℃
金皇后	1.83 <sup>efghiA</sup>	0.91 <sup>bcdB</sup>	0.74 <sup>abB</sup>	5.88 <sup>bedefC</sup>	7.73 <sup>edefB</sup>	11.69 <sup>abA</sup>	0.102 <sup>9bcdefB</sup>	0.163 <sup>6cdefA</sup>	0.114 <sup>7defB</sup>
SG401	2.09 <sup>edefgA</sup>	0.91 <sup>bcdB</sup>	0.78 <sup>abC</sup>	5.87 <sup>bedeC</sup>	7.81 <sup>edeB</sup>	11.72 <sup>abA</sup>	0.102 <sup>7cdefgC</sup>	0.165 <sup>3cdeA</sup>	0.116 <sup>4cdefB</sup>
SG402	1.71 <sup>fghiA</sup>	1.06 <sup>abB</sup>	0.68 <sup>abC</sup>	5.97 <sup>abC</sup>	7.36 <sup>ghB</sup>	11.64 <sup>abA</sup>	0.105 <sup>7aB</sup>	0.144 <sup>9fghA</sup>	0.114 <sup>5defC</sup>
SG403	2.27 <sup>bedeA</sup>	1.03 <sup>abcB</sup>	0.45 <sup>cdC</sup>	5.74 <sup>defC</sup>	7.21 <sup>hb</sup>	12.29 <sup>abA</sup>	0.100 <sup>9efghiB</sup>	0.140 <sup>8hA</sup>	0.133 <sup>4bcdefA</sup>
巨能 418Q	2.18 <sup>bedefA</sup>	1.1 <sup>aB</sup>	0.33 <sup>cdC</sup>	5.69 <sup>ic</sup>	7.33 <sup>ghB</sup>	13.36 <sup>aA</sup>	0.099 <sup>9hiB</sup>	0.145 <sup>2fghA</sup>	0.211 <sup>6aA</sup>
巨能耐湿	1.52 <sup>hiA</sup>	1.05 <sup>abB</sup>	0.47 <sup>cdC</sup>	5.82 <sup>defC</sup>	7.55 <sup>defgB</sup>	12.66 <sup>abA</sup>	0.1011 <sup>defghiB</sup>	0.154 <sup>4efghA</sup>	0.151 <sup>8efgA</sup>
巨能耐盐	2.37 <sup>bcdA</sup>	0.92 <sup>bcdB</sup>	0.85 <sup>abB</sup>	5.89 <sup>abcdC</sup>	7.42 <sup>fghB</sup>	10.76 <sup>abA</sup>	0.103 <sup>5abcdB</sup>	0.147 <sup>6efghA</sup>	0.092 <sup>7efgB</sup>
巨能 CR	1.96 <sup>defghA</sup>	0.97 <sup>abcdB</sup>	0.34 <sup>cdC</sup>	5.73 <sup>efC</sup>	7.41 <sup>fghB</sup>	12.81 <sup>abA</sup>	0.100 <sup>2ghiB</sup>	0.145 <sup>4fghA</sup>	0.155 <sup>2abcdA</sup>
WL525	2.58 <sup>bcA</sup>	0.84 <sup>dB</sup>	0.62 <sup>bcB</sup>	5.55 <sup>gC</sup>	7.60 <sup>defgB</sup>	12.14 <sup>abA</sup>	0.099 <sup>1iB</sup>	0.158 <sup>2cdefghA</sup>	0.132 <sup>4bcdefC</sup>
4010	2.37 <sup>bcdA</sup>	0.64 <sup>eB</sup>	0.31 <sup>deB</sup>	5.75 <sup>defC</sup>	8.25 <sup>abB</sup>	13.30 <sup>aA</sup>	0.100 <sup>7efghiB</sup>	0.197 <sup>3aA</sup>	0.190 <sup>0abA</sup>
4020MF	1.92 <sup>defghA</sup>	0.9 <sup>bcB</sup>	0.71 <sup>abB</sup>	5.71 <sup>ic</sup>	7.34 <sup>ghB</sup>	11.09 <sup>abA</sup>	0.100 <sup>4fghiB</sup>	0.143 <sup>2ghA</sup>	0.101 <sup>6defgB</sup>
亮牧	1.92 <sup>defghA</sup>	0.93 <sup>bcdB</sup>	0.71 <sup>abC</sup>	5.76 <sup>defC</sup>	7.42 <sup>fghB</sup>	12.04 <sup>abA</sup>	0.101 <sup>1defghiC</sup>	0.147 <sup>7efghA</sup>	0.127 <sup>8cdefB</sup>
敖汉	1.58 <sup>hiA</sup>	0.85 <sup>dB</sup>	0.33 <sup>cdC</sup>	5.96 <sup>abcC</sup>	7.79 <sup>cdB</sup>	13.08 <sup>aA</sup>	0.104 <sup>8abcB</sup>	0.163 <sup>2cdefA</sup>	0.172 <sup>4abcA</sup>
草原 3 号	1.56 <sup>hiA</sup>	0.56 <sup>eB</sup>	0.35 <sup>cdC</sup>	6.00 <sup>abC</sup>	8.13 <sup>abB</sup>	12.77 <sup>abA</sup>	0.105 <sup>2abcB</sup>	0.186 <sup>54abA</sup>	0.151 <sup>1bcdeA</sup>
中草 3 号	1.54 <sup>hiA</sup>	0.65 <sup>eB</sup>	0.29 <sup>cdC</sup>	5.87 <sup>bcdeC</sup>	7.87 <sup>bcdB</sup>	12.55 <sup>abA</sup>	0.103 <sup>3abcdeB</sup>	0.169 <sup>0cdA</sup>	0.104 <sup>4defgB</sup>
中苜 1 号	1.39 <sup>iA</sup>	0.88 <sup>cdB</sup>	0.23 <sup>cdC</sup>	5.75 <sup>defC</sup>	7.50 <sup>efghB</sup>	13.51 <sup>aA</sup>	0.101 <sup>0defghiB</sup>	0.154 <sup>8defghA</sup>	0.175 <sup>0abcC</sup>
中苜 3 号	1.65 <sup>ghiA</sup>	0.96 <sup>abcdB</sup>	0.33 <sup>cdC</sup>	6.02 <sup>afC</sup>	7.71 <sup>cdB</sup>	13.16 <sup>aA</sup>	0.105 <sup>3abB</sup>	0.162 <sup>2cdefgA</sup>	0.154 <sup>6abcdA</sup>
肇东	2.64 <sup>bA</sup>	0.88 <sup>cdB</sup>	0.36 <sup>deB</sup>	5.80 <sup>defC</sup>	7.49 <sup>efghB</sup>	13.10 <sup>aA</sup>	0.101 <sup>9defghAB</sup>	0.147 <sup>2efghA</sup>	0.075 <sup>5fgB</sup>
龙牧 801	3.08 <sup>aA</sup>	0.64 <sup>eB</sup>	0.35 <sup>deB</sup>	5.87 <sup>bedeC</sup>	8.17 <sup>abB</sup>	9.37 <sup>bA</sup>	0.103 <sup>2abcdeB</sup>	0.189 <sup>9abA</sup>	0.052 <sup>1gB</sup>
龙牧 806	3.17 <sup>aA</sup>	0.57 <sup>eB</sup>	0.38 <sup>deB</sup>	5.89 <sup>abcdC</sup>	7.99 <sup>abcB</sup>	10.19 <sup>abA</sup>	0.103 <sup>1abcdeAB</sup>	0.175 <sup>4bcA</sup>	0.074 <sup>5fgB</sup>
平均值	1.90 <sup>A</sup>	0.86 <sup>B</sup>	0.47 <sup>C</sup>	5.82 <sup>C</sup>	7.65 <sup>B</sup>	12.16 <sup>A</sup>	0.1023 <sup>C</sup>	0.160 <sup>1A</sup>	0.130 <sup>1abcdB</sup>

随着温度的降低,20 个紫花苜蓿品种的平均发芽时间均显著( $P < 0.05$ )增加,20 ℃时的平均发芽时间最短,4 ℃最长,3 个温度间差异显著( $P < 0.05$ )。相对于 20 ℃,8 ℃时的平均发芽时间增加了 32%,4 ℃时的平均发芽时间增加了 109%。

2.1.8 同步指数 20 ℃时,WL525 同步指数最低,为 0.0991,与巨能 418Q、巨能 CR、4010、巨能耐湿等 8 个品种差异不显著( $P > 0.05$ ),但显著( $P < 0.05$ )低于其余参试品种,SG402 同步指数最高,达 0.1057(表 3)。8 ℃时,SG403 同步指数最低,为 0.1408,与

SG402、巨能 418Q、巨能耐湿、巨能耐盐等 10 个品种差异不显著,但显著( $P < 0.05$ )低于其余参试品种,4010 同步指数最高,达 0.1973(表 3)。4 ℃ 时,龙牧 801 同步指数最低,为 0.0521,与肇东、中草 3 号等 5 个品种差异不显著,但显著低于其余参试品种,巨能 418Q 同步指数最高,达 0.2116(表 3)。

同一品种在不同温度下的同步指数存在差异,20 与 8 ℃ 条件下除肇东与龙牧 806 差异不显著,其余参试品种均差异显著( $P < 0.05$ );金皇后、中草 3 号、4020MF、巨能耐盐等 4 个品种在 8 ℃ 时的同步指数显著高于 20 和 4 ℃,且 20 和 4 ℃ 的同步指数差异不显著。

## 2.2 相关性分析

8 ℃ 时,除相对发芽势与相对苗长显著( $P < 0.05$ )相关外,其余各指标之间均极显著( $P < 0.01$ )相关(表

4),其中,相对发芽率、相对发芽势、相对发芽指数、相对活力指数、相对苗长等 5 个指标间均呈极显著( $P < 0.05$ )正相关,并与相对发芽时间和相对同步指数呈极显著( $P < 0.01$ )负相关。4 ℃ 时,相对发芽率、相对发芽指数、相对活力指数、相对苗长之间呈极显著( $P < 0.01$ )正相关,并与相对发芽时间呈显著( $P < 0.05$ )负相关。相对发芽势与相对发芽指数、相对活力指数呈显著正相关( $P < 0.05$ ),与相对平均发芽时间呈显著负相关( $P < 0.05$ )。

## 2.3 紫花苜蓿发芽期抗寒性综合评价

根据发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、平均发芽时间、苗长等 6 个发芽指标综合评价各紫花苜蓿品种在低温下的发芽表现。8 ℃ 时,巨能 418Q、SG403、巨能耐湿、中草 3 号、4020MF、SG402 等 6 个品种的总得分为 50 以上(表 5)。4 ℃ 时,巨能耐盐得分最高,为 57 分(表 6)。

表 4 各相对发芽指标相关分析

Table 4 Correlation coefficients of relative germination index

		20 ℃						
		相对发芽率	相对发芽势	相对发芽指数	相对活力指数	相对发芽时间	相对同步指数	相对苗长
8 ℃	相对发芽率	1						
	相对发芽势	0.70**	1					
	相对发芽指数	0.87**	0.90**	1				
	相对活力指数	0.80**	0.77**	0.91**	1			
	相对发芽时间	-0.57**	-0.84**	-0.87**	-0.82**	1		
	相对同步指数	-0.63**	-0.91**	-0.88**	-0.77**	0.95**	1	
	相对苗长	0.67**	0.56*	0.72**	0.91**	-0.66**	-0.60**	1
4 ℃	相对发芽率	1						
	相对发芽势	0.32	1					
	相对发芽指数	0.95**	0.51*	1				
	相对活力指数	0.94**	0.47*	0.99**	1			
	相对发芽时间	-0.81**	-0.52*	-0.88**	-0.88**	1		
	相对同步指数	-0.20	-0.22	-0.29	-0.31	0.49*	1	
	相对苗长	0.90**	0.26	0.87**	0.89**	-0.82**	-0.16	1

注:\*表示在  $P < 0.50$  水平下差异显著;\*\*表示在  $P < 0.01$  水平下差异显著

表 5 8 ℃ 下各紫花苜蓿品种抗寒性综合评价

Table 5 Comprehensive evaluation of alfalfa at 8 ℃

品种	发芽率		发芽势		发芽指数		平均发芽时间		平均根长		活力指数		总分	排名
	变化率/%	得分	变化率/%	得分	变化率/%	得分	变化率/%	得分	变化率/%	得分	变化率/%	得分		
金皇后	77.51	6	19.29	5	24.76	6	131.96	6	54.19	7	12.03	5	35	10
SG401	82.12	7	17.82	4	22.33	5	133.16	6	43.37	6	9.73	4	32	11
SG402	87.53	8	40.93	10	35.79	10	123.24	10	62.23	9	22.41	10	57	1
SG403	93.56	9	44.82	10	36.42	10	125.48	9	45.42	6	16.58	8	52	3

续表 5

品种	发芽率		发芽势		发芽指数		平均发芽时间		平均根长		活力指数		总分	排名
	变化率/%	得分	变化率/%	得分	变化率/%	得分	变化率/%	得分	变化率/%	得分	变化率/%	得分		
巨能 418Q	99.19	10	43.14	10	34.8	10	128.86	8	50.57	7	17.78	8	53	2
巨能耐湿	97.52	9	26.42	6	30.08	8	129.87	7	68.8	10	20.74	10	50	4
巨能耐盐	89.71	8	33.62	8	33.36	9	126.02	9	38.79	5	12.93	6	45	7
巨能 CR	85.71	8	31.5	7	27.95	7	129.29	7	49.3	7	13.7	6	42	8
WL525	95.48	9	21.58	5	25.26	6	137.01	4	32.52	3	8.22	4	31	12
4010	77.63	6	0.55	1	13.8	2	143.35	1	26.9	2	3.73	1	13	16
4020MF	101.86	10	41.56	10	35.16	10	128.38	8	47.01	6	16.74	8	52	3
亮牧	97.75	9	32.24	8	32.61	9	128.81	8	48.18	6	15.8	7	47	5
敖汉	85.05	8	17.52	4	25.94	7	130.8	7	54.13	8	13.92	6	40	9
草原 3 号	68.86	5	4.61	1	16.12	3	135.5	4	35.68	4	5.71	2	19	14
中草 3 号	71.61	5	10.1	3	18.69	4	134.03	5	42.14	5	7.79	3	25	13
中苜 1 号	90.7	8	30.03	7	28.39	7	130.53	7	63.02	9	17.91	8	46	6
中苜 3 号	104.35	10	16.39	4	35.36	10	127.99	8	58.51	8	20.71	10	50	4
肇东	84.56	7	26.05	6	25.33	6	129.12	8	33.49	4	8.49	4	35	10
龙牧 801	62.94	4	3.66	1	13.75	2	139.35	8	20.86	1	2.94	1	17	15
龙牧 806	39.85	1	4.7	1	9.98	1	135.72	4	17.93	1	1.79	1	9	17

表 6 4℃下各紫花苜蓿品种牧草抗寒性综合评价

Table 6 Comprehensive cold resistance of alfalfa at 4℃

品种	发芽率		发芽势		发芽指数		平均发芽时间		平均根长		活力指数		总分	排名
	变化率/%	得分	变化率/%	得分	变化率/%	得分	变化率/%	得分	变化率/%	得分	变化率/%	得分		
金皇后	47.11	7	0	0	13.03	6	199.54	7	44.01	10	5.34	7	37	5
SG401	60.1	9	0	0	14.82	7	199.82	7	37.4	8	5.59	7	38	4
SG402	66.41	10	0	0	19.09	8	194.85	2	39.53	9	7.82	10	39	3
SG403	22.42	3	0	0	3.54	2	214.04	5	19.63	3	0.71	1	14	10
巨能 418Q	26.53	4	0	0	1.28	1	234.84	1	15.22	2	0.2	1	9	14
巨能耐湿	28.1	4	0	0	4.11	2	217.74	4	30.71	6	1.26	2	18	8
巨能耐盐	62.86	9	11.88	10	24.12	10	182.74	10	35.94	8	8.6	10	57	1
巨能 CR	20.54	3	0	0	2.77	2	223.52	3	17.45	2	0.47	1	11	12
WL525	49.47	7	0	0	8.59	4	218.81	6	23.98	4	2.06	3	24	7
4010	9.97	1	0	0	1.04	1	231.19	1	13.17	1	0.15	1	5	16
4020MF	70.59	10	0	0	22.42	10	194.01	8	36.98	8	8.38	10	46	2
亮牧	62.92	9	0	0	13.23	6	209.09	5	36.98	8	4.97	6	34	6
敖汉	20.56	3	0	0	2.04	1	219.65	3	21.05	3	0.42	1	11	12
草原 3 号	16.61	2	0.36	3	2.22	1	212.85	5	22.14	4	0.52	1	16	9
中草 3 号	8.52	1	0	0	0.79	1	213.79	5	18.75	3	0.14	1	11	12
中苜 1 号	6.4	1	0	0	0.55	1	235.21	1	16.7	2	0.1	1	6	15
中苜 3 号	9.63	1	0	0	1.02	1	218.54	4	20.31	3	0.21	1	10	13
肇东	11.65	2	0	0	0.45	1	225.84	8	13.76	1	0.06	1	13	11
龙牧 801	7.11	1	0	0	0.33	1	212.92	5	11.36	1	0.05	1	9	14
龙牧 806	3.76	1	0	0	0.21	1	230.87	9	11.85	1	0.03	1	13	11

### 3 讨论

低温作为一种主要的环境胁迫因子,不仅限制植物地理分布,而且严重影响植物生长发育和农作物产量。本研究结果表明,紫花苜蓿种子萌发期的活力随着温度的降低而降低,其表现为各紫花苜蓿品种的发芽率、发芽指数、活力指数的降低以及苗长的缩短;同时,其萌发一致性也随着温度的降低而降低,表现为发

芽势降低,发芽时间延长。萌发期种子活力以及发芽一致性的降低可能是因为低温打破了原有的代谢平衡,破坏生物体酶系统,使植物体内代谢紊乱,有毒物质累积,从而影响植物生长发育<sup>[14]</sup>。

低温胁迫显著延长种子萌发时间。本试验结果表明,在 20、8、4℃下,多数紫花苜蓿品种分别在第 1、3、7 天开始萌发。这可能是因为低温会降低种子的吸水速率,从而导致吸水后的种子代谢速率减慢,甚至扰乱

代谢修复,影响有机物代谢与运输,降低与种子萌发相关的酶活性,造成吸胀冷害,使胚根突出时间延长,最终导致发芽迟缓<sup>[15-18]</sup>。且有研究表明,温度的变化会影响植物对水分和养分的吸收<sup>[19-20]</sup>,间接影响植物的生长和生物量的积累<sup>[21]</sup>。

以往研究表明,15~25℃为紫花苜蓿最佳发芽温度<sup>[22-24]</sup>。Twain 等<sup>[22]</sup>在研究温度对豆科植物发芽影响时指出,大豆等暖季型植物最适发芽温度为 25℃,紫花苜蓿等冷季型植物的最适发芽温度为 20℃。沈忱等<sup>[23]</sup>研究 6 个紫花苜蓿品种在 5~40℃下的发芽表现时,得到,5~25℃时,各品种均具有较高的发芽率,在 25℃时发芽速率均显著高于其他温度;30℃时,各品种发芽率开始降低,胚根长度显著变短。本研究中,相比 4 和 8℃,20 个紫花苜蓿品种在 20℃的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、苗长等发芽活力特征上均表现了显著的优势。

作物通过多种代谢途径应答低温胁迫,表现出复杂的耐寒机理,应综合考虑多种指标对耐寒性的作用,即选取多个指标共同评价作物耐低温性,以合理有效地区分不同基因型间的耐低温性。关于作物耐寒性的评价方法很多,常用的有聚类分析、主成分分析、灰色关联度、平均隶属函数法等<sup>[25]</sup>。在评价植物其他抗逆性表现时,打分法也是一种综合评价方法。吐尔逊娜依等<sup>[13]</sup>选取活力指数、质膜相对透性、丙二醛含量、相对生长速度以及相对含水量 5 种指标对 8 种牧草的耐盐性进行打分;吕亚慈等<sup>[26]</sup>则选取发芽率、发芽指数、活力指数、根长、苗长 5 个指标对 6 种燕麦耐盐性进行打分;罗志娜等<sup>[27]</sup>使用发芽率、发芽势、根长和苗长等 4 个指标对 24 个燕麦品种的耐盐性进行评价。本研究中,相关性分析表明,发芽率、发芽指数、活力指数、苗长等指标两两之间均极显著( $P < 0.01$ )正相关,发芽势与以上 4 个指标均极显著( $P < 0.01$ )正相关,低温胁迫下的发芽时间与代表种子活力的 4 个指标以及发芽势之间均显著( $P < 0.05$ )负相关,这说明种子萌发活力与发芽一致性之间存在一定的联系。本研究采用打分法对紫花苜蓿在低温下的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、平均发芽时间、苗长等 6 个发芽指标综合评价各紫花苜蓿品种在低温下的发芽表现,得出巨能 418Q、SG403、巨能耐湿、中苜 3 号、4020MF、SG402 和巨能耐盐等品种在低温下的发芽表现较好。

## 4 结论

本研究结果表明,随着温度的降低,紫花苜蓿的发芽活力以及发芽一致性均逐渐降低,表现为不同品种紫花苜蓿的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、苗长的降低以及平均发芽时间的延长。在我国北方播种紫花苜蓿时,气温较低的区域可考虑巨能 418Q、SG403、巨能耐湿、中苜 3 号、4020MF、SG402 以及巨能耐盐等 7 个品种。

### 参考文献:

- [1] 毛培胜,陈志宏. 牧草种子专业化生产的地域性[M]. 北京:中国农业出版社,2019.
- [2] 中国牧草产业. 2020 年草产品和牛羊肉贸易动态[EB/OL]. <http://www.forage.org.cn/front/article/1214.html>
- [3] Gai Y, Li X Z, Ji X L, *et al.* Chilling stress accelerates degradation of seed storage protein and photosynthetic protein during cotton seed germination[J]. *Journal of Agronomy & Crop Science*, 2010, 194(4): 278-288.
- [4] Liu Y, Zhang J. Rapid accumulation of NO regulates ABA catabolism and seed dormancy during imbibition in *Arabidopsis*[J]. *Plant Signaling & Behavior*, 2009, 4(9): 905-907.
- [5] Dawson J H, Bruns V F. Emergence of barnyardgrass, green foxtail, and yellow foxtail seedlings from various soil depths[J]. *Weeds*, 1962, 10(2): 136-139.
- [6] 贾祥,陈盼盼,王艳琳,等. 4 种豆科牧草种子萌发期对低温胁迫的响应[J]. *高原农业*, 2020, 4(2): 137-142.
- [7] 高茜,徐洪雨,李振松,等. 低温胁迫对紫花苜蓿种子萌发的影响[J]. *草原与草坪*, 2020, 40(4): 34-39+46.
- [8] 刘美君,丁鹿,王丽娜,等. 低温胁迫对紫花苜蓿根系呼吸作用的影响[J]. *草原与草坪*, 2020, 40(4): 22-26+33.
- [9] Yadav S K. Cold Stress Tolerance Mechanisms in Plants [M]. Springer Netherlands, 2011.
- [10] Wahid A, Close T J. Expression of dehydrins under heat stress and their relationship with water relations of sugarcane leaves[J]. *Biologia Plantarum*, 2007, 51(1): 104-109.
- [11] Gill S S, Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2010, 48(12): 909-930.
- [12] Ruelland E, Vaultier M N, Zachowski A, *et al.* Chapter 2

- Cold signalling and cold acclimation in plants[J]. *Advances in Botanical Research*, 2009, 49: 35–150
- [13] 吐尔逊娜依,高辉远,安沙舟,等. 8种牧草耐盐性综合评价[J]. *中国草地*, 1995(1): 30–32+29.
- [14] Zhu J, Zhang K X, Wang W S, *et al.* Low temperature inhibits root growth by reducing auxin accumulation via ARR1/12[J]. *Plant and Cell Physiology*, 2014, 56(4): 727–736.
- [15] hou W, Leul M. Uniconazole—induced alleviation of freezing injury in relation to changes in hormonal balance, enzyme activities and lipid peroxidation in winter rape [J]. *Plant Growth Regulation*, 1998, 26(1): 41–47.
- [16] 杨娜,赵和平,葛风伟,等. 2种独行菜萌发对低温胁迫的生理响应[J]. *干旱区研究*, 2015, 32(4): 760–765.
- [17] 蒋莉莉. 低温胁迫对西瓜种子萌发的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2016.
- [18] 刘禹辰,杨德光,李梁,等. 低温胁迫对玉米种子萌发及淀粉分解酶类活性的影响[J]. *玉米科学*, 2018, 26(1): 64–68.
- [19] Chapin F S, Shaver G R. Individualistic growth response of tundra plant species to environmental manipulations in the field[J]. *Ecology*, 1985, 66(2): 564–576.
- [20] Valpine D P, Harte J. Plant responses to experimental warming in a montane meadow [J]. *Ecology*, 2001, 82(3): 637–64.
- [21] Scott R S, John H, Margaret S T. The effect of experimental ecosystem warming on CO<sub>2</sub> fluxes in a montane meadow[J]. *Global Change Biology*, 1999, 5(2): 125–141.
- [22] Butler T J, Celen A E, Stephen L, *et al.* Temperature affects the germination of forage legume seeds [J]. *Crop Science*, 2014, 54(6): 2846–2853.
- [23] 沈忱. 不同苜蓿品种种子萌发及幼苗生长对温度和干旱的响应[D]. 长春:吉林农业大学, 2018.
- [24] 苏加楷. 苜蓿的适应性、分布和区划[C]//中国草学会. 第二届中国苜蓿发展大会论文集—S02 苜蓿基础研究. 北京, 2003.
- [26] 吕亚慈,白丽荣,李会芬,等. 不同燕麦品种萌发期耐盐性的比较[J]. *种子*, 2013, 32(12): 92–94.
- [27] 罗志娜,赵桂琴,刘欢. 24个燕麦品种种子萌发耐盐性综合评价[J]. *草原与草坪*, 2012, 32(1): 34–38, 41.

## Effect of temperature on germination characteristics of different alfalfa varieties

XIANG Shang, WANG Hui, TIAN Li-hua, CHEN You-jun,  
SUN Wan-bin, ZHOU Qing-ping

(*Institute of Qinghai-tibetan Plateau, Southwest Minzu University, Chengdu Sichuan 610041, China*)

**Abstract:** To study the germination performance of alfalfa at low temperatures, the germination rate, the germination potential, the germination index, the vigor index, the average germination time and the vigor index of 20 alfalfa varieties were determined by conventional paper germination method at 4 °C, 8 °C and 20 °C. The results showed that as the germination temperature decreased the germination rate, the germination potential, the germination index, the vigor index and the seedling length of each variety decreased significantly, and the germination time prolonged significantly. The relative germination rate, the relative germination index, the relative vigor index and the relative seedling length were significantly positively correlated, while were significantly negatively correlated with the relative average germination time. The comprehensive evaluation results showed that at 8 °C six varieties including Juneng 418Q, SG403, Junengnaishi, Zhongmu No. 3, 4020MF, and SG402 were scored over 50. At 4 °C, only Junengnaiyan achieved a cold tolerance score of 57, above 50.

**Key words:** alfalfa; cold tolerance; correlation analysis; scoring method