

# 80份紫花苜蓿引进品种萌发期耐盐性评价

王宁<sup>1,2</sup>, 万畅<sup>2</sup>, 高山<sup>2</sup>, 闫程铭<sup>2</sup>,  
李忠和<sup>2</sup>, 王俊乔<sup>2</sup>, 任伟<sup>2</sup>, 王志锋<sup>2</sup>

(1. 吉林师范大学生命科学学院, 吉林 四平 136000; 2. 吉林省农业科学院(中国农业科技东北创新中心), 吉林 长春 130124)

**摘要:**通过室内萌发试验,以80份引进紫花苜蓿主推品种为材料,研究1.2% NaCl处理对紫花苜蓿萌发期根长、芽长、发芽指数、发芽率、发芽势、活力指数及根芽比的影响。采用主成分分析、隶属函数及聚类分析相结合的方法,对紫花苜蓿萌发期的耐盐性开展综合性评价。结果表明:盐胁迫显著影响紫花苜蓿的发芽势、发芽率和发芽指数( $P<0.01$ ),不同品种间的变异系数介于0.008~0.723。两个主成分的累计贡献率为73.922%。发芽势与根芽比可作为紫花苜蓿萌发期耐盐性筛选的主要评价指标。聚类分析结果将80份紫花苜蓿品种划分为5个级别,其中强耐盐级别包括9份品种;较强耐盐级别包括14份品种;中等耐盐级别包括43份品种;弱耐盐级别包括13份品种;最弱耐盐级别包括1份品种。在此基础上,筛选出萌发期强耐盐级别紫花苜蓿品种为:WL168HQ、游客、天马、迪特、巨能801和巨能995。

**关键词:**紫花苜蓿;引进品种;萌发期;耐盐性评价

**中图分类号:**S551<sup>+</sup>.7;S338 **文献标志码:**A

## Evaluation of salt tolerance of 80 introduced alfalfa varieties during germination

WANG Ning<sup>1,2</sup>, WAN Chang<sup>2</sup>, GAO Shan<sup>2</sup>, YAN Chengming<sup>2</sup>,  
LI Zhonghe<sup>2</sup>, WANG Junqiao<sup>2</sup>, REN Wei<sup>2</sup>, WANG Zhifeng<sup>2</sup>

(1. School of Life Science, Jilin Normal University, Siping, Jilin 136000, China;

2. Jilin Academy of Agricultural Sciences (Northeast Agricultural Research Center of China), Changchun, Jilin 130124, China)

**Abstract:** In this study, the effects of salt stress on root length, bud length, germination index, germination rate, germination energy, vitality index and root-bud ratio of 80 introduced alfalfa varieties treated with 1.2% NaCl were studied through laboratory germination test. A comprehensive evaluation of the salt tolerance of alfalfa during its germination period was conducted using a combination of principal component analysis, membership function, and cluster analysis. The results showed that salt stress significantly affected the germination energy, germination rate, and germination index of alfalfa ( $P<0.01$ ), and the coefficient of variation between different varieties ranged from 0.008 to 0.723. The cumulative contribution rate of the two principal components was 73.922%. The germination energy and root-bud ratio were used as the main salt tolerance indicators for salt tolerance screening during the germination period of alfalfa. The clustering analysis results divided 80 alfalfa varieties into 5 levels, including 9 varieties with strongest salt tolerance, 14 varieties with strong salt tolerance, 43 varieties with moderate salt tolerance, 13 varieties with weak salt tolerance, and 1 variety with the weakest salt tolerance. On this basis, varieties of alfalfa with strong salt tolerance during the germination period were selected as follows: WL168HQ, Tourists, Tianma, Dite, Juneng 801, and Juneng 995.

收稿日期:2023-07-05

修回日期:2023-11-10

基金项目:吉林省科技发展计划人才项目(20230508015RC);现代农业产业技术体系(CARS-34)

作者简介:王宁(2000-),女,吉林松原人,硕士研究生,研究方向为植物-微生物互作。E-mail: 2661408417@qq.com

通信作者:任伟(1984-),男,河北井陘人,副研究员,主要从事牧草育种研究。E-mail: renwei@cjass.com

王志锋(1967-),男,甘肃宁县人,研究员,主要从事牧草育种研究。E-mail: wzf1223@163.com

**Keywords:** alfalfa; introduced variety; germination period; salt tolerance evaluation

土壤盐渍化是世界性难题,严重影响牧草生长发育和草地畜牧业发展,成为限制草牧业生产的主要因素之一<sup>[1-2]</sup>。开展牧草耐盐性研究,培育耐盐品种,并深入研究其耐盐机理<sup>[3]</sup>,能够为树立大食物观、构建多元供给体系、保障粮食安全、保护黑土地提供有力科技支撑。紫花苜蓿是豆科多年生草本植物,高产、优质、蛋白质含量高,被誉为“牧草之王”<sup>[4-5]</sup>。但紫花苜蓿耐盐性较弱,加快选育耐盐紫花苜蓿新品种是合理开发盐渍化土地资源的有效途径。研究表明,植物萌发期耐盐性最弱,显著低于其他生长阶段<sup>[6]</sup>。而幼苗的萌发与定植是盐渍化土地种植紫花苜蓿的首要关键步骤。因此,开展紫花苜蓿萌发期耐盐性筛选与研究至关重要。

已有研究对国内搜集、保存的苜蓿种质资源开展了诸多耐盐性鉴定评价。李雪等<sup>[7]</sup>通过对 59 份紫花苜蓿种质进行萌发期耐盐性评价,筛选出 5 份耐盐性强的品种,将发芽指数和活力指数确定为耐盐评价指标。李诗琴等<sup>[8]</sup>研究了混合盐碱胁迫对 16 份紫花苜蓿品种材料萌发的影响,结果表明混合盐碱胁迫显著降低紫花苜蓿的发芽率、发芽势、胚芽长及胚根长,并通过隶属函数分析发现‘公农 1 号’品种耐盐碱性较强。宫文龙等<sup>[9]</sup>研究了 4 种不同浓度 NaCl 处理对 22 份苜蓿种质萌发的影响,结果表明 1.2% 为适宜的 NaCl 处理浓度,并筛选出 3 份耐盐性强的苜蓿品种。陈小芳等<sup>[10]</sup>研究了 7 种不同浓度 NaCl 处理对 23 个苜蓿品种萌发期耐盐性的影响,亦发现 1.2% 为适宜的 NaCl 处理浓度,并通过隶属函数和聚类分析筛选出 1 个强耐盐苜蓿品种。但是,我国苜蓿产业发展进程中国外引进品种占比较大,目前对这些国外引进的主推苜蓿品种耐盐性评价研究较少。

因此,为了科学地选择利用国外引进苜蓿品种,更加有效地指导盐渍化土地草、牧业发展,本试验在前人研究基础上探究盐胁迫对国外引进的 80 份紫花苜蓿品种萌发特性的影响,采用多种统计方法开展综合性评价,同时确定主要耐盐指标,划分耐盐等级,筛选耐盐品种,以期为选育耐盐紫花苜蓿新品种及解析耐盐分子调控机理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

80 份引进的紫花苜蓿品种提供单位:吉林省农业科学院草地与生态研究所 9 份,北京正道生态科

技有限公司 14 份,百绿(天津)国际草业有限公司 17 份,丹麦丹农种子集团 12 份,克劳沃(北京)生态科技有限公司 28 份。品种编号及来源详见表 1。

### 1.2 试验设计

将 80 份紫花苜蓿品种的种子用 0.1% 升汞消毒 10 min,蒸馏水冲洗 2~3 次后,每份品种取 40 粒无菌种子置于铺设 5 层滤纸的培养皿中。然后将培养皿放置于人工气候箱,萌发条件为:光照 24℃/14 h、黑暗 20℃/10 h。设置正常萌发(CK)和盐胁迫(T) 2 个处理,每个处理 3 次重复,共计 480 个培养皿。其中,CK 处理的培养皿添加 10 ml 的蒸馏水,T 处理的培养皿添加 10 ml 的 1.2% NaCl 溶液。

### 1.3 测定指标

观测紫花苜蓿种子萌发情况,包括发芽指数(Germination index, *GI*)、发芽势(Germination energy, *GE*)、发芽率(Germination ratio, *GR*)、根长(Root length, *RL*)、芽长(Bud length, *BL*)、活力指数(Vitality index, *VI*)。

参照《国际种子检验规程》<sup>[11]</sup>,分别在盐处理第 2、4、6、8 天,观测并记录每个培养皿中正常萌发的种子数,根据公式(1)计算发芽指数(*GI*)。其中,盐处理后第 4 天,培养皿中正常萌发的种子数占总种子数的百分率为发芽势(*GE*);盐处理后第 8 天,培养皿中全部萌发的种子数占总种子数的百分比为发芽率(*GR*);同时选取长势一致的 10 株萌发幼苗,测量每株幼苗从种子胚到叶尖的长度,为芽长(*BL*);测量每株幼苗从种子胚到根尖的长度,为根长(*RL*)。根据公式(4)计算根芽比(*R/B*),根据公式(5)计算活力指数(*VI*)。

$$\text{发芽指数 } (GI) = \sum (G_i/D_i) \quad (1)$$

式中, $G_i$ 表示盐胁迫第  $i$  天的种子发芽率; $D_i$ 表示测量天数(d)。

$$\text{发芽势 } (GE) = 4 \text{ 天内正常萌发种子数} / \text{总种子数} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{发芽率 } (GR) = \text{第 8 天全部萌发种子数} / \text{总种子数} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{根芽比 } (R/B) = \text{根长 } (RL) / \text{芽长 } (BL) \quad (4)$$

$$\text{活力指数 } (VI) = GI \times S \quad (5)$$

式中, $S$ 表示盐胁迫第  $i$  天每培养皿正常萌发的种子平均根长(cm)。

表1 80份紫花苜蓿品种来源  
Table 1 Source of 80 alfalfa varieties

编号 Number	品种 Variety	保存单位 Conservation unit	编号 Number	品种 Variety	保存单位 Conservation unit
33	阿尔冈金 Algonquin	吉林省农业科学院 Jilin Academy of Agricultural Sciences	81	天马 Tianma	百绿(天津)国际草业有限公司 Bailu (Tianjin) International Grass Industry Co., Ltd
34	挑战者 Challenger	吉林省农业科学院 Jilin Academy of Agricultural Sciences	82	紫花一级 Purple Flower Level 1	百绿(天津)国际草业有限公司 Bailu (Tianjin) International Grass Industry Co., Ltd
35	骑士2 Knight 2	吉林省农业科学院 Jilin Academy of Agricultural Sciences	83	阿罗拉 Arora	百绿(天津)国际草业有限公司 Bailu (Tianjin) International Grass Industry Co., Ltd
36	骑士T Knight T	吉林省农业科学院 Jilin Academy of Agricultural Sciences	84	一年生紫 花苜蓿 Annual Alfalfa	百绿(天津)国际草业有限公司 Bailu (Tianjin) International Grass Industry Co., Ltd
37	3010	吉林省农业科学院 Jilin Academy of Agricultural Sciences	96	WL358HQ	北京正道生态科技有限公司 Beijing Zhengdao Ecological Technology Co., Ltd
38	标靶 Target	吉林省农业科学院 Jilin Academy of Agricultural Sciences	97	WL363HQ	北京正道生态科技有限公司 Beijing Zhengdao Ecological Technology Co., Ltd
39	阿迪纳 Adina	吉林省农业科学院 Jilin Academy of Agricultural Sciences	98	WL366HQ	北京正道生态科技有限公司 Beijing Zhengdao Ecological Technology Co., Ltd
40	龙威 6010 Longwei 6010	吉林省农业科学院 Jilin Academy of Agricultural Sciences	99	WL440HQ	北京正道生态科技有限公司 Beijing Zhengdao Ecological Technology Co., Ltd
41	磐石 Monolith	吉林省农业科学院 Jilin Academy of Agricultural Sciences	100	WL525HQ	北京正道生态科技有限公司 Beijing Zhengdao Ecological Technology Co., Ltd
50	WL168HQ	北京正道生态科技有限公司 Beijing Zhengdao Ecological Technology Co., Ltd	101	WL656HQ	北京正道生态科技有限公司 Beijing Zhengdao Ecological Technology Co., Ltd
51	WL298HQ	北京正道生态科技有限公司 Beijing Zhengdao Ecological Technology Co., Ltd	102	WL712	北京正道生态科技有限公司 Beijing Zhengdao Ecological Technology Co., Ltd
52	WL319HQ	北京正道生态科技有限公司 Beijing Zhengdao Ecological Technology Co., Ltd	103	WL903	北京正道生态科技有限公司 Beijing Zhengdao Ecological Technology Co., Ltd
53	WL343HQ	北京正道生态科技有限公司 Beijing Zhengdao Ecological Technology Co., Ltd	110	巨能耐盐 Juneng salt resistant	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
54	WL354HQ	北京正道生态科技有限公司 Beijing Zhengdao Ecological Technology Co., Ltd	111	驯鹿 Reindeer	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
55	普通王道 Ordinary royal path	北京正道生态科技有限公司 Beijing Zhengdao Ecological Technology Co., Ltd	112	沃苜1号 Wolong No.1	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
56	TEREZA	丹麦丹农种子集团 Danish Dannon Seed Group (DLF SEEDS A/S)	113	斯贝德 Spider	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
57	FADA	丹麦丹农种子集团 Danish Dannon Seed Group (DLF SEEDS A/S)	114	探戈 Tango	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
58	FORTUNE	丹麦丹农种子集团 Danish Dannon Seed Group (DLF SEEDS A/S)	115	威斯顿 Weston	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
59	MEZZO	丹麦丹农种子集团 Danish Dannon Seed Group (DLF SEEDS A/S)	116	维多利亚 Victoria	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
60	MAGDA	丹麦丹农种子集团 Danish Dannon Seed Group (DLF SEEDS A/S)	117	皇冠 Crown	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
61	PS2065MF	丹麦丹农种子集团 Danish Dannon Seed Group (DLF SEEDS A/S)	118	威神 Weishen	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
62	INSTINCT	丹麦丹农种子集团 Danish Dannon Seed Group (DLF SEEDS A/S)	119	迪特 Dite	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
63	SUPER NOVA	丹麦丹农种子集团 Danish Dannon Seed Group (DLF SEEDS A/S)	120	英斯特 Inst	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd

续表 1  
Continued table 1

编号 Number	品种 Variety	保存单位 Conservation unit	编号 Number	品种 Variety	保存单位 Conservation unit
64	SIBEMOL	丹麦丹农种子集团 Danish Dannon Seed Group (DLF SEEDS A/S)	121	要塞 Yaosai	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
65	GIBALTAR	丹麦丹农种子集团 Danish Dannon Seed Group (DLF SEEDS A/S)	122	旱地 Handi	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
66	SALSA	丹麦丹农种子集团 Danish Dannon Seed Group (DLF SEEDS A/S)	123	角斗士 Gladiator	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
67	VISION	丹麦丹农种子集团 Danish Dannon Seed Group (DLF SEEDS A/S)	124	金皇后 Golden Empress	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
68	PAOLA	百绿(天津)国际草业有限公司 Bailu (Tianjin) International Grass Industry Co., Ltd	125	SR4030	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
69	Blue moon	百绿(天津)国际草业有限公司 Bailu (Tianjin) International Grass Industry Co., Ltd	126	SK3010	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
70	CLAUDIA	百绿(天津)国际草业有限公司 Bailu (Tianjin) International Grass Industry Co., Ltd	127	MT4015	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
71	CENTRAL	百绿(天津)国际草业有限公司 Bailu (Tianjin) International Grass Industry Co., Ltd	128	MF4020	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
72	420YQ	百绿(天津)国际草业有限公司 Bailu (Tianjin) International Grass Industry Co., Ltd	129	巨能 2 Juneng 2	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
73	416WET	百绿(天津)国际草业有限公司 Bailu (Tianjin) International Grass Industry Co., Ltd	130	巨能 201 Juneng 201	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
74	310SC	百绿(天津)国际草业有限公司 Bailu (Tianjin) International Grass Industry Co., Ltd	131	巨能 401 Juneng 401	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
75	218TR	百绿(天津)国际草业有限公司 Bailu (Tianjin) International Grass Industry Co., Ltd	132	巨能 551 Juneng 501	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
76	赛迪 7 Saidi 7	百绿(天津)国际草业有限公司 Bailu (Tianjin) International Grass Industry Co., Ltd	133	巨能 601 Juneng 601	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
77	赛迪 10 Saidi 10	百绿(天津)国际草业有限公司 Bailu (Tianjin) International Grass Industry Co., Ltd	134	巨能 7 Juneng 7	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
78	游客 Tourist	百绿(天津)国际草业有限公司 Bailu (Tianjin) International Grass Industry Co., Ltd	135	巨能 7 耐湿 Juneng 7 moisture resistant	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
79	皇后 Queen	百绿(天津)国际草业有限公司 Bailu (Tianjin) International Grass Industry Co., Ltd	136	巨能 801 Juneng 801	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd
80	三得利 Suntory	百绿(天津)国际草业有限公司 Bailu (Tianjin) International Grass Industry Co., Ltd	137	巨能 995 Juneng 995	克劳沃(北京)生态科技有限公司 Crowo (Beijing) Ecological Technology Co., Ltd

#### 1.4 数据分析与处理

利用 Microsoft Excel 2010 进行数据整理,使用 SPSS 21.0 进行差异性分析、相关性分析、隶属函数分析、主成分分析及聚类分析。

根据公式(6)计算盐胁迫下紫花苜蓿萌发指标的单项耐盐系数( $a$ ),然后基于  $a$  值,根据公式(7)计算盐胁迫下紫花苜蓿萌发指标的综合耐盐系数( $B$ ),并进行相关性分析和主成分分析。根据公式(8)和(9)分别计算因子权重系数( $W_i$ )、不同紫花苜蓿品种综合指标的隶属函数值[ $U(X_{ij})$ ],根据因子权重  $W_i$  及隶属函数值[ $U(X_{ij})$ ],根据公式(10)计算耐盐性度量值( $D$ )。根据  $D$  值进行聚类分析划

分耐盐级别,结合排序和聚类分析结果,筛选耐盐的紫花苜蓿品种。单项耐盐系数( $a$ )反映不同紫花苜蓿品种在盐胁迫条件下的萌发状况。综合耐盐系数( $B$ )和耐盐性度量值( $D$ )反映紫花苜蓿的耐盐能力,耐盐能力与数值大小成正比。

单项耐盐系数( $a$ )= 盐胁迫处理值/正常萌发处理值 (6)

$$\text{综合耐盐系数}(B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a \quad (7)$$

$$\text{因子权重系数}(W_i) = C_i / \sum_{i=1}^n C_i \quad (8)$$

式中, $C_i$  为  $i$  指标的综合贡献率,表示该指标在所有指标中的重要程度。

$$U(X_{ij}) = (X_{ij} - X_{ij\min}) / (X_{ij\max} - X_{ij\min}) \quad (9)$$

式中,  $U(X_{ij})$  为  $j$  品种  $i$  指标的隶属函数;  $X_{ij}$  表示  $j$  品种  $i$  指标的平均值;  $X_{ij\max}$  是  $j$  品种  $i$  指标均值的最大值;  $X_{ij\min}$  为  $j$  品种  $i$  指标均值的最小值。

$$\text{耐盐性度量值}(D) = \sum_{i=1}^n [U(X_i \times W_i)] \quad (10)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 紫花苜蓿品种耐盐指标测定值分析

对盐胁迫条件下 80 份紫花苜蓿品种的 7 个萌发指标进行测定分析, 如表 2 所示, 正常萌发条件

下, 80 份紫花苜蓿品种变异系数 ( $CV$ ) 介于 0.008 ~ 0.243, 说明试验选用的紫花苜蓿品种遗传背景丰富, 能够满足试验要求。盐胁迫条件下, 不同紫花苜蓿品种各指标的变异系数范围介于 0.015 ~ 0.723, 表明盐处理对紫花苜蓿萌发指标产生影响, 不同品种间存在明显差异。与对照组相比, 处理组极显著影响紫花苜蓿的发芽指数、发芽率、发芽势 ( $P < 0.01$ ), 说明试验选取的 7 个萌发指标对盐胁迫响应敏感。此外, 紫花苜蓿品种在对照和盐处理条件下的相关系数 ( $R$ ) 介于 0.002 ~ 0.590, 表明 7 个萌发指标对盐胁迫的响应程度存在差异。

表 2 盐胁迫和正常萌发条件下不同紫花苜蓿品种萌发指标差异性分析

Table 2 Analysis of differences in germination indicators among different alfalfa varieties under salt stress and normal germination conditions

处理 Treatment	参数 Parameter	根长 $RL/cm$	芽长 $BL/cm$	根芽比 $R/B$	发芽指数 $GI$	活力指数 $VI$	发芽率 $GR$	发芽势 $GE$
CK	最大值 Max.	7.350	2.467	5.135	26.790	23.078	0.967	0.894
	最小值 Min.	1.133	1.867	0.907	10.970	2.623	0.550	0.367
	均值 Average	3.466	1.431	2.560	23.360	7.120	0.907	0.808
	标准差 $SD$	0.823	0.368	0.810	2.170	2.312	0.058	0.073
	变异系数 $CV$	0.092	0.041	0.091	0.243	0.258	0.065	0.008
T	最大值 Max.	3.067	2.750	7.750	22.135	35.730	0.861	0.739
	最小值 Min.	0.383	0.067	0.307	1.381	1.450	0.028	0.044
	均值 Average	1.063	1.043	1.134	9.270	11.253	0.535	0.420
	标准差 $SD$	0.597	0.327	0.919	3.233	6.467	0.130	0.110
	变异系数 $CV$	0.067	0.037	0.102	0.361	0.723	0.015	0.123
	$t$	24.017	8.010	11.193	40.268	-5.388	31.121	36.296
	$P$	0.034	0.045	0.225	0.000 **	0.984	0.000 **	0.000 **
	相关系数 $R$	0.237	0.225	0.137	0.382	0.002	0.590	0.517

注: \*\* 表示在  $P < 0.01$  水平上差异显著, 下同。

Note: \*\* indicates significant differences at  $P < 0.01$  level, the same below.

### 2.2 单项耐盐系数及其相关性分析

由表 3 可见, 同一萌发指标的单项耐盐系数值 ( $a$ ) 在 80 份紫花苜蓿品种间存在明显差异, 变异系数介于 0.234 ~ 0.702。同一品种在 7 个萌发指标间的  $a$  值变化较大, 说明各指标的响应程度不同。

对 80 份紫花苜蓿品种萌发指标的  $a$  值进行相关性分析 (表 4), 结果表明, 根芽比与根长极显著正相关, 相关系数为 0.684; 根芽比与芽长极显著负相关, 相关系数为 -0.611; 活力指数与根长、根芽比极显著负相关, 相关系数分别为 -0.372、-0.371; 活力指数与发芽指数极显著正相关, 相关系数为 0.496; 发芽率与发芽指数、活力指数极显著正相关, 相关系数分别为 0.822、0.402; 发芽势与发芽指数、活力指数、发芽率极显著正相关, 相关系数分别为 0.842、0.484、0.894。可见, 盐胁迫下各萌发指标间存在相互关联性, 无法准确客观反映紫花苜蓿的耐盐性。

表 3 紫花苜蓿品种萌发指标单项耐盐系数

Table 3 Single salt tolerance coefficient for germination indicators of alfalfa varieties

编号 Number	根长 $RL$	芽长 $BL$	根芽比 $R/B$	发芽指数 $GI$	活力指数 $VI$	发芽率 $GR$	发芽势 $GE$
33	0.161	0.667	0.242	0.307	0.381	0.500	0.447
34	0.706	0.747	0.945	0.378	0.184	0.649	0.612
35	0.266	0.908	0.293	0.310	0.613	0.497	0.447
36	0.171	0.545	0.314	0.312	2.634	0.565	0.379
37	0.335	0.488	0.687	0.385	1.712	0.621	0.500
38	0.252	0.623	0.405	0.541	2.892	0.686	0.599
39	0.255	0.904	0.282	0.528	2.155	0.779	0.699
40	0.280	0.795	0.352	0.625	2.070	0.787	0.611
41	0.278	0.713	0.391	0.438	2.072	0.728	0.622
50	0.509	0.884	0.575	0.478	7.575	0.678	0.740
51	0.795	0.670	1.186	0.309	1.396	0.553	0.510
52	0.641	0.608	1.054	0.410	1.539	0.735	0.639
53	0.813	0.724	1.121	0.462	0.568	0.785	0.649
54	0.582	0.917	0.635	0.415	0.713	0.746	0.637
55	0.308	0.788	0.391	0.317	1.031	0.512	0.521
56	0.224	0.690	0.325	0.377	1.682	0.544	0.542
57	0.352	0.322	1.093	0.401	1.139	0.615	0.633
58	0.320	0.778	0.411	0.400	1.252	0.602	0.458

续表 3  
Continued table 3

编号 Number	根长 <i>RL</i>	芽长 <i>BL</i>	根芽比 <i>R/B</i>	发芽 指数 <i>GI</i>	活力 指数 <i>VI</i>	发芽率 <i>GR</i>	发芽势 <i>GE</i>
59	0.219	0.932	0.235	0.337	1.538	0.582	0.536
60	0.139	0.885	0.157	0.307	2.216	0.555	0.393
61	0.209	0.881	0.237	0.337	1.616	0.564	0.477
62	0.364	0.585	0.621	0.293	0.807	0.506	0.444
63	0.249	0.900	0.277	0.327	1.313	0.599	0.500
64	0.182	0.814	0.224	0.314	1.722	0.556	0.461
65	0.168	1.047	0.161	0.215	1.279	0.353	0.365
66	0.204	0.771	0.265	0.367	1.800	0.639	0.601
67	0.236	0.879	0.269	0.367	1.553	0.562	0.496
68	0.116	0.985	0.118	0.383	3.294	0.476	0.479
69	0.173	0.750	0.230	0.286	1.656	0.453	0.451
70	0.304	0.694	0.438	0.471	1.550	0.638	0.548
71	0.176	0.658	0.268	0.420	2.383	0.590	0.518
72	0.146	0.835	0.175	0.512	3.509	0.657	0.595
73	0.200	0.914	0.219	0.348	1.739	0.551	0.461
74	0.194	0.847	0.229	0.413	2.126	0.706	0.487
75	0.337	0.937	0.359	0.455	1.351	0.650	0.574
76	0.437	0.604	0.723	0.601	1.377	0.582	0.601
77	0.468	0.622	0.751	0.748	1.601	0.764	0.709
78	0.262	0.592	0.443	0.626	2.387	0.802	0.854
79	0.244	1.038	0.235	0.083	0.340	0.172	0.082
80	0.574	0.723	0.793	0.291	0.506	0.545	0.424
81	0.133	0.974	0.136	0.511	3.840	0.750	0.662
82	0.263	0.646	0.408	0.222	0.841	0.416	0.304
83	0.261	0.870	0.300	0.692	2.654	0.791	0.768
84	0.124	0.066	1.883	0.131	1.064	0.051	0.121
96	0.591	0.732	0.808	0.312	0.528	0.607	0.395
97	0.529	0.943	0.561	0.351	0.663	0.568	0.513
98	0.477	0.905	0.528	0.290	0.608	0.553	0.401
99	0.529	0.600	0.882	0.387	0.731	0.532	0.442
100	0.511	0.521	0.979	0.393	0.770	0.494	0.426
101	0.640	0.493	1.297	0.357	0.558	0.470	0.432
102	0.632	0.534	1.184	0.282	0.446	0.412	0.317
103	0.425	0.545	0.780	0.333	0.783	0.491	0.440
110	0.120	0.564	0.213	0.375	3.121	0.494	0.434
111	0.313	0.304	1.029	0.344	1.102	0.591	0.528
112	0.377	0.390	0.967	0.362	0.960	0.590	0.540
113	0.261	0.708	0.369	0.265	1.015	0.440	0.408
114	0.233	0.724	0.322	0.442	1.895	0.631	0.559
115	0.298	0.660	0.452	0.589	1.974	0.698	0.552
116	0.163	0.800	0.204	0.412	2.524	0.604	0.533
117	0.246	0.756	0.325	0.307	1.249	0.538	0.507
118	0.281	0.579	0.484	0.445	1.587	0.642	0.634
119	0.273	2.037	0.134	0.473	1.735	0.626	0.603
120	0.260	1.474	0.177	0.354	1.360	0.503	0.454
121	0.492	0.659	0.509	0.516	1.541	0.897	0.639
122	0.277	0.843	0.329	0.362	1.307	0.593	0.568
123	0.280	0.775	0.361	0.316	1.129	0.446	0.408
124	0.175	0.253	0.694	0.261	1.491	0.366	0.385
125	0.333	0.808	0.412	0.344	1.031	0.564	0.388
126	0.136	0.727	0.187	0.478	3.513	0.735	0.630
127	0.174	0.806	0.216	0.330	1.901	0.527	0.452
128	0.148	0.649	0.229	0.296	1.999	0.509	0.440
129	0.222	0.808	0.275	0.386	1.735	0.633	0.631
130	0.267	0.721	0.370	0.349	1.310	0.592	0.563
131	0.126	0.812	0.155	0.369	2.933	0.595	0.483
132	0.400	0.663	0.604	0.269	0.673	0.500	0.437
133	0.285	1.055	0.270	0.341	1.196	0.564	0.451
134	0.225	0.810	0.278	0.322	1.432	0.515	0.490
135	0.325	0.896	0.363	0.354	1.090	0.516	0.408
136	0.251	0.638	0.393	0.977	3.893	0.923	0.905
137	0.209	1.018	0.205	0.724	3.468	0.767	0.649
平均值 Average	0.313	0.667	0.242	0.307	1.662	0.500	0.447
变异系数 CV	0.520	0.329	0.702	0.342	0.656	0.234	0.255

## 2.3 主成分分析

主成分分析可以将多个指标转换为一组互相独立的综合指标,能够准确反映数据的特征,且相互之间不存在重叠,进而获得更精准的数据分析结果<sup>[12]</sup>。

对 80 份紫花苜蓿的 7 个萌发指标进行主成分分析(表 5),获得特征根、贡献率与因子权重。在所有因子中前两个因子的特征根大于 1,分别是 3.161 和 2.013,累积贡献率达到 73.922%。这两个因子可视作两个相对独立的综合指标,作为紫花苜蓿盐胁迫的有效成分,分别用  $F_1$ 、 $F_2$  表示。其中,发芽势在  $F_1$  主成分中占有最高载荷;根芽比在  $F_2$  主成分上占有最高载荷。因此,发芽势与根芽比可作为紫花苜蓿品种萌发期耐盐性评价的主要指标。

表 4 紫花苜蓿品种萌发指标单项耐盐系数相关性分析

Table 4 Correlation analysis of single salt tolerance coefficient for germination indicators of alfalfa varieties

指标 Index	根长 <i>RL</i>	芽长 <i>BL</i>	根芽比 <i>R/B</i>	发芽 指数 <i>GI</i>	活力 指数 <i>VI</i>	发芽率 <i>GR</i>
芽长 <i>BL</i>	-0.140					
根芽比 <i>R/B</i>	0.684**	-0.611**				
发芽指数 <i>GI</i>	0.030	0.072	-0.128			
活力指数 <i>VI</i>	-0.372**	0.128	-0.371**	0.496**		
发芽率 <i>GR</i>	0.168	0.144	-0.199	0.822**	0.402**	
发芽势 <i>GE</i>	0.106	0.101	-0.141	0.842**	0.484**	0.894**

表 5 紫花苜蓿品种萌发指标主成分向量特征及贡献率

Table 5 Principal component vector characteristics and contribution rates for germination indicators of alfalfa varieties

指标 Index	因子载荷 Factor loading	
	$F_1$	$F_2$
根长 <i>RL</i>	-0.155	0.821
芽长 <i>BL</i>	0.307	-0.545
根芽比 <i>R/B</i>	-0.447	0.828
发芽指数 <i>GI</i>	0.880	0.292
活力指数 <i>VI</i>	0.690	-0.247
发芽率 <i>GR</i>	0.885	0.322
发芽势 <i>GE</i>	0.900	0.326
特征根 Characteristic root	3.161	2.013
贡献率 Contribution rate/%	45.159	28.763
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	45.159	73.922
因子权重 Factor weight	0.577	0.423

## 2.4 紫花苜蓿品种萌发期的耐盐性综合评价

80 份紫花苜蓿品种的综合耐盐系数( $B$ )介于 0.313~1.634,平均值为 0.666,变异系数为 0.268(表 6)。依据  $B$  值结果排名,耐盐性强的前 10 份品种编号分别为:50、136、137、81、72、126、83、38、78、119。80 份紫花苜蓿品种的耐盐性度量值( $D$ )介于 0.160~0.734,平均值为 0.482,变异系数为 0.226,按照  $D$  值的结果,耐盐性强的前 10 份品种编号分别

表 6 紫花苜蓿萌发期耐盐性隶属函数分析

Table 6 Membership function analysis of salt tolerance of alfalfa during germination stage

编号 Number	隶属函数 Membership function			$D$		$B$	
	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	数值	排序	数值	排序
				Value	Ranking	Value	Ranking
33	0.418	0.858	0.454	0.568	18	0.386	79
34	0.470	0.275	0.689	0.441	53	0.603	48
35	0.432	0.837	0.577	0.587	12	0.476	75
36	0.474	0.283	0.285	0.381	69	0.703	26
37	0.491	0.273	0.361	0.399	66	0.675	28
38	0.658	0.558	0.335	0.574	17	0.857	8
39	0.717	0.458	0.517	0.600	11	0.800	13
40	0.707	0.425	0.475	0.578	16	0.789	14
41	0.627	0.487	0.443	0.552	20	0.749	19
50	0.817	0.460	0.276	0.614	10	1.634	1
51	0.398	0.487	0.600	0.459	45	0.774	16
52	0.544	0.870	0.536	0.649	9	0.804	12
53	0.545	0.866	0.704	0.675	5	0.732	22
54	0.571	1.000	0.711	0.734	1	0.663	35
55	0.460	0.675	0.518	0.540	21	0.552	63
56	0.518	0.374	0.414	0.454	48	0.626	40
57	0.484	0.346	0.310	0.411	59	0.651	37
58	0.498	0.764	0.511	0.587	13	0.603	49
59	0.531	0.408	0.533	0.491	34	0.626	41
60	0.493	0.265	0.443	0.410	60	0.664	32
61	0.505	0.144	0.499	0.386	68	0.617	43
62	0.390	0.250	0.455	0.354	73	0.517	70
63	0.508	0.490	0.544	0.508	28	0.595	53
64	0.492	0.298	0.456	0.423	57	0.610	45
65	0.372	0.234	0.551	0.355	72	0.513	71
66	0.577	0.067	0.452	0.390	67	0.664	33
67	0.515	0.335	0.509	0.455	46	0.623	42
68	0.562	0.287	0.403	0.447	51	0.468	78
69	0.442	0.093	0.417	0.324	76	0.571	59
70	0.563	0.212	0.455	0.431	55	0.663	34
71	0.563	0.468	0.349	0.498	31	0.716	23
72	0.689	0.311	0.357	0.513	25	0.918	5
73	0.507	0.260	0.500	0.425	56	0.633	38
74	0.591	0.225	0.467	0.452	50	0.715	24
75	0.583	0.292	0.586	0.488	36	0.666	30
76	0.570	0.419	0.446	0.501	30	0.704	25
77	0.712	0.670	0.470	0.660	8	0.809	11
78	0.784	0.793	0.369	0.721	2	0.852	9
79	0.144	0.609	0.601	0.369	70	0.313	80
80	0.373	0.000	0.606	0.288	79	0.551	54
81	0.761	0.628	0.408	0.661	7	1.001	4

为:54、78、137、119、53、136、81、77、52、50。可见, $B$ 值和  $D$  值的耐盐评价结果基本吻合。综合二者排序结果可知(表 6),耐盐性强的紫花苜蓿品种编号为 50、78、81、119、136、137,分别为 WL168HQ、游客、天马、迪特、巨能 801 和巨能 995。

## 2.5 聚类分析及耐盐级别划分

如图 1 所示,通过系统聚类分析方法,当欧氏距离为 4.0 时,可将 80 份紫花苜蓿品种划分为 5 个耐

续表 6

Continued table 6

编号 Number	隶属函数 Membership function			$D$		$B$	
	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	数值	排序	数值	排序
				Value	Ranking	Value	Ranking
82	0.316	0.243	0.440	0.312	77	0.443	78
83	0.807	0.288	0.468	0.583	15	0.905	7
84	0.000	0.488	0.000	0.160	80	0.491	74
96	0.389	0.570	0.621	0.485	38	0.450	77
97	0.463	0.651	0.684	0.559	19	0.590	55
98	0.403	0.530	0.653	0.484	39	0.537	67
99	0.401	0.456	0.512	0.437	54	0.586	56
100	0.377	0.674	0.458	0.487	37	0.585	57
101	0.326	0.694	0.490	0.473	41	0.607	47
102	0.254	0.846	0.511	0.488	35	0.544	65
103	0.380	0.743	0.450	0.510	26	0.543	66
110	0.514	0.579	0.238	0.492	33	0.760	17
111	0.428	0.214	0.291	0.336	74	0.602	50
112	0.439	0.684	0.362	0.507	29	0.598	51
113	0.383	0.693	0.461	0.497	32	0.495	73
114	0.579	0.302	0.428	0.464	44	0.678	27
115	0.631	0.378	0.414	0.514	24	0.746	21
116	0.587	0.510	0.401	0.532	23	0.748	20
117	0.472	0.256	0.477	0.402	65	0.561	61
118	0.578	0.326	0.398	0.467	43	0.665	31
119	0.684	0.512	1.000	0.678	4	0.840	10
120	0.513	0.064	0.770	0.407	63	0.655	36
121	0.672	0.112	0.546	0.469	42	0.750	18
122	0.532	0.696	0.527	0.585	14	0.611	44
123	0.408	0.364	0.486	0.406	64	0.517	69
124	0.322	0.305	0.184	0.259	78	0.518	68
125	0.440	0.411	0.538	0.446	52	0.555	62
126	0.708	0.373	0.323	0.537	22	0.915	6
127	0.491	0.304	0.435	0.421	58	0.629	39
128	0.465	0.219	0.354	0.367	71	0.610	46
129	0.589	0.228	0.476	0.453	49	0.670	29
130	0.516	0.351	0.471	0.455	47	0.596	52
131	0.572	0.394	0.372	0.482	40	0.782	15
132	0.378	0.185	0.510	0.336	75	0.506	72
133	0.491	0.481	0.621	0.508	27	0.595	54
134	0.477	0.263	0.479	0.407	62	0.582	58
135	0.445	0.278	0.563	0.409	61	0.564	60
136	1.000	0.329	0.296	0.669	6	1.140	2
137	0.812	0.668	0.459	0.709	3	1.006	3
平均值 Average				0.482		0.666	
变异系数 CV				0.226		0.268	

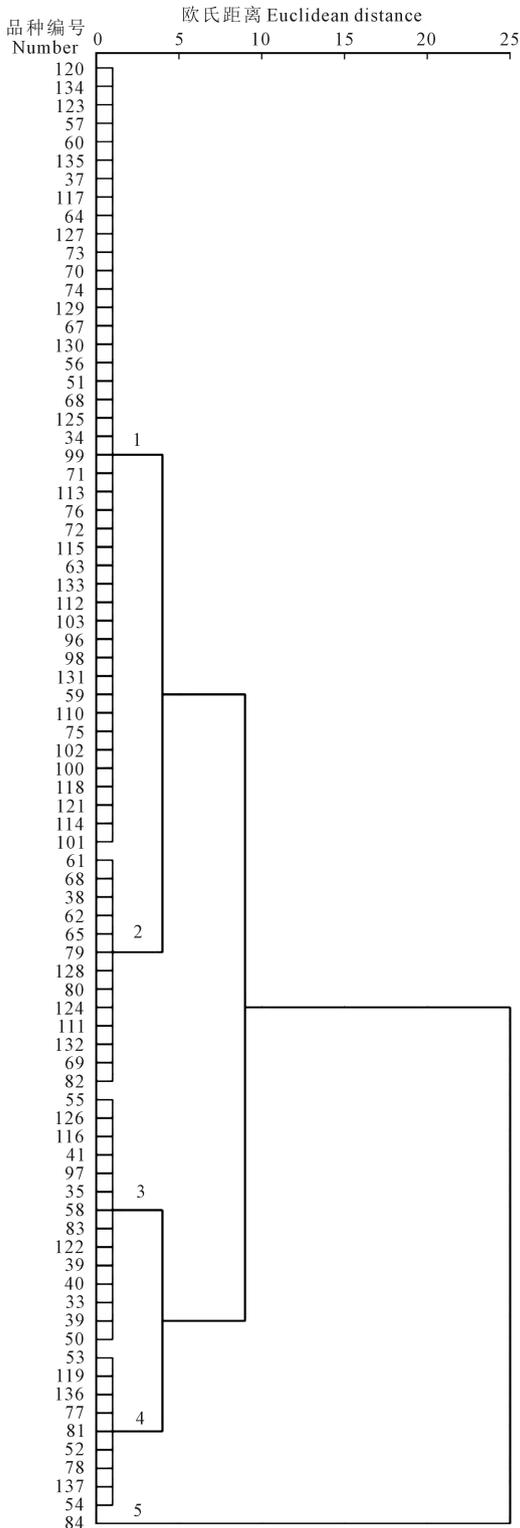


图 1 基于  $D$  值的紫花苜蓿品种萌发期耐盐性系统聚类图

Fig.1 Cluster diagram of salt tolerance system for alfalfa varieties during germination period based on  $D$  value

盐级别:强、较强、中等、弱、最弱。其中第 1 级别为中等耐盐材料,共有 43 份,占品种总数的 53.75%。第 2 级别为弱耐盐材料,包括 13 份,占品种总数的 16.25%。第 3 级别为较强耐盐材料,包括 14 份,占

品种总数的 17.50%。第 4 级别为强耐盐材料,包括 9 份,占品种总数的 11.25%,编号分别为 52、53、54、77、78、81、119、136 和 137,这 9 份品种的  $B$  值和  $D$  值也较高(表 6),与上述分析结果基本一致。第 5 类为最弱耐盐材料,仅 1 份,占品种总数的 1.25%。

### 3 讨论

#### 3.1 紫花苜蓿品种耐盐性鉴定及耐盐指标筛选

植物的耐盐性受多基因、多途径调控<sup>[13]</sup>,仅用单一评价指标具有局限性,应综合多个指标进行评价。牛远等<sup>[14]</sup>通过测定盐胁迫下 4 份大豆品种的芽期生长指标,采用隶属函数分析方法,发现大豆的下胚轴长、根干质量、含水量、鲜生物量、根鲜质量和主根长可作为大豆芽期耐盐性鉴定的主要评价指标。胡亮亮等<sup>[15]</sup>采用主成分分析、相关性分析、隶属函数分析及回归分析的方法,综合评价了盐胁迫下 346 份绿豆种质资源苗期耐盐性,发现地上部鲜质量、根鲜质量、根干质量、根长、根体积和根分枝数可作为绿豆苗期耐盐性评价指标。王瑞峰等<sup>[16]</sup>研究 11 份苜蓿品种萌发期耐盐性,通过方差分析和聚类分析,发现 1.25% NaCl 胁迫处理下不同苜蓿品种间的发芽势、发芽率、苗高、根长均存在极显著差异。马宗琪等<sup>[17]</sup>测定不同浓度盐胁迫下 16 份紫花苜蓿的耐盐能力,结果表明各品种的萌发势、萌发率、株高及地上鲜质量均受到抑制。张寒等<sup>[18]</sup>发现盐胁迫对苜蓿种子萌发和幼苗生长均有一定的抑制作用,发芽势、发芽率、萌发指数受抑制的程度较大。

本试验在前人研究基础上,选用发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、根长、芽长和根芽比 7 个主要萌发指标,开展紫花苜蓿引进品种萌发期耐盐性评价,结果表明盐胁迫下不同紫花苜蓿品种对盐胁迫的响应程度存在差异,不同的萌发指标对盐胁迫的响应程度也不同。主成分分析结果表明,发芽势与根芽比可作为紫花苜蓿品种萌发期耐盐性评价的主要指标,与已有研究结果相一致。

#### 3.2 紫花苜蓿品种耐盐性评价与筛选

植物的耐盐性受多种因素影响,耐盐性评价结果不仅与选择的评价指标密切相关,选用的分析方法也是关键所在<sup>[19]</sup>。已有研究大多采用多种分析方法开展植物耐盐性评价。张则宇等<sup>[20]</sup>通过采用聚类分析、相关性分析和灰色关联分析的方法,将 59 份苜蓿分为 5 个耐盐等级,确定了叶面积、叶绿素荧光、SPAD 值和根冠比为主要耐盐指标。荆瑞勇等<sup>[21]</sup>对 11 份水稻品种开展萌发期和幼苗期耐盐

性综合评价,利用主成分分析、加权隶属函数和聚类分析等方法,确定发芽指数、根表面积、根体积、株高、根长和根冠比等作为主要耐盐性鉴定指标,将11份水稻品种划分成3个耐盐等级。彭智等<sup>[22]</sup>研究321份小麦材料芽期及苗期的耐盐性,采用主成分分析、隶属函数、聚类分析的方法,筛选出芽期高耐盐材料21份,苗期高耐盐材料18份,其中芽期和苗期均高耐盐的小麦材料共2份。

本试验在前人研究基础上,采用隶属函数分析计算出 $D$ 值介于0.160~0.734,平均值为0.482,变异系数为0.226; $B$ 值介于0.313~1.634,平均值为0.666,变异系数为0.268。根据 $B$ 值与 $D$ 值大小对紫花苜蓿品种进行耐盐性排序,综合筛选出6份耐盐性强的紫花苜蓿品种,分别为WL168HQ、游客、天马、迪特、巨能801和巨能995。聚类分析结果表明,游客、天马、迪特、巨能801和巨能995为强耐盐等级,WL168HQ为较强耐盐等级,二者分析结果一致。

## 4 结 论

盐胁迫显著影响紫花苜蓿萌发特征。发芽势与根芽比可作为紫花苜蓿萌发期耐盐性评价的主要指标。通过隶属函数和聚类综合分析,筛选出萌发期耐盐能力强的紫花苜蓿品种为WL168HQ、游客、天马、迪特、巨能801和巨能995。研究结果可为紫花苜蓿耐盐育种与耐盐分子机制研究提供理论依据。

### 参 考 文 献:

- [1] 李珍,云岚,石子英,等.盐胁迫对新麦草种子萌发及幼苗期生理特性的影响[J].草业学报,2019,28(8):119-129.  
LI Z, YUN L, SHI Z Y, et al. Physiological characteristics of *Psathyrostachys juncea* at seed germination and seedling growth stages under salt stress[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2019, 28(8): 119-129.
- [2] 雷俊锋,周青平,汪辉.不同紫花苜蓿品种幼苗期耐盐性评价[J].西南民族大学学报(自然科学版),2023,49(2):119-125.  
LEI J F, ZHOU Q P, WANG H. Comprehensive evaluation of seedling growth performance of different alfalfa varieties under salt stress[J]. Journal of Southwest University for Nationalities (Natural Science Edition), 2023, 49(2): 119-125.
- [3] 于馥榕,李毅丹,程云清,等.油莎豆种质资源苗期耐盐性鉴定与评价[J].干旱地区农业研究,2023,41(2):1-10,85.  
YU F R, LI Y D, CHENG Y Q, et al. Identification and evaluation of salt tolerance of *Tigernut germplasm* resources at seedling stage[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2023, 41(2): 1-10, 85.
- [4] 李源,游永亮,武瑞鑫,等.不同种植方式对紫花苜蓿生产性状及饲用品质的影响[J].草地学报,2019,27(1):257-262.  
LI Y, YOU Y L, WU R X, et al. Effect of different planting patterns on the production characters and forage quality of alfalfa in haihe plain [J]. Acta Agrestia Sinica, 2019, 27(1): 257-262.
- [5] 熊雪,桂维阳,刘沫含,等.不同紫花苜蓿品种在均匀与不均匀盐胁迫下的耐盐性评价[J].草业学报,2018,27(9):67-76.  
XIONG X, GUI W Y, LIU M H, et al. Evaluation of salt tolerance in different alfalfa varieties under uniform and non-uniform salt stress[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2018, 27(9): 67-76.
- [6] 王健胜,牛磊,侯桂玲,等.盐胁迫对不同品种苜蓿种子发芽性状的影响[J].河南农业科学,2014,43(6):39-43.  
WANG J S, NIU L, HOU G L, et al. Effects of salt stress on seed germination traits of different alfalfa varieties[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2014, 43(6): 39-43.
- [7] 李雪,沙栢平,高雪芹,等.不同紫花苜蓿种质材料萌发期耐盐性鉴定与综合评价[J].草地学报,2020,28(2):437-445.  
LI X, SHA B P, GAO X Q, et al. Identification and comprehensive evaluation of salt tolerance of alfalfa germplasm materials at germination stage[J]. Acta Agrestia Sinica, 2020, 28(2): 437-445.
- [8] 李诗琴,于洪柱,刘艺杉,等.混合盐碱胁迫对16个紫花苜蓿品种萌发期的影响[J].江苏农业科学,2020,48(3):194-198.  
LI S Q, YU H Z, LIU Y S, et al. Effects of mixed saline-alkali stress on germination period of sixteen alfalfa cultivars[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(3): 194-198.
- [9] 宫文龙,赵桂琴,刘欢.22个紫花苜蓿品种种子萌发期耐盐性综合评价[J].草原与草坪,2017,37(5):35-40.  
GONG W L, ZHAO G Q, LIU H. Comprehensive evaluation on salt tolerance of 22 alfalfa varieties in germination stage[J]. Grassland and Turf, 2017, 37(5): 35-40.
- [10] 陈小芳,于德花,宁凯,等.盐胁迫下苜蓿种质资源萌发特性综合评价[J].草地学报,2017,25(5):1115-1125.  
CHEN X F, YU D H, NING K, et al. The comprehensive assessment of saline resistance in the reed germination period of alfalfa germplasms [J]. Acta Agrestia Sinica, 2017, 25(5): 1115-1125.
- [11] 高燕.国际种子检验协会(ISTA)[J].中国标准化,2017,(1):150-155.  
GAO Y. International association for seed inspection (ISTA) [J]. China Standardization, 2017,(1): 150-155.
- [12] 庞丹波,李生宝,潘占兵,等.基于主成分分析和隶属函数的紫花苜蓿引种初步评价[J].西南农业学报,2015,28(6):2815-2819.  
PANG D B, LI S B, PAN Z B, et al. Preliminary evaluation of alfalfa introduction based on principal component analysis and subordinate function[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2015, 28(6): 2815-2819.
- [13] LIU T Y, YE N H, WANG X Y, et al. Drought stress and plant ecotype drive microbiome recruitment in switchgrass rhizosphere [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2021, 63(10): 1753-1774.
- [14] 牛远,杨修艳,戴存凤,等.大豆芽期和苗期耐盐性评价指标筛选[J].大豆科学,2018,37(2):215-223.  
NIU Y, YANG X Y, DAI C F, et al. Related indices selection of soybean salt tolerance at germination and seedling stages [J]. Soybean Science, 2018, 37(2): 215-223.