



陈雪梅,刘骅峻,杨翌,等.盐碱胁迫对苜蓿种子萌发性状的影响及耐盐碱性评价[J].黑龙江农业科学,2024(3):64-70.

# 盐碱胁迫对苜蓿种子萌发性状的影响及耐盐碱性评价

陈雪梅<sup>1</sup>,刘骅峻<sup>2</sup>,杨翌<sup>3</sup>,朱琨<sup>4</sup>,李波<sup>4</sup>

(1.贵州省兴义市第三中学,贵州 兴义 562499; 2.黑龙江省扎龙国家级自然保护区管理局,黑龙江 齐齐哈尔 161002; 3.黑龙江省农业科学院 畜牧兽医分院,黑龙江 齐齐哈尔 161005; 4.齐齐哈尔大学 生命科学与农林学院/抗性基因工程与寒地生物多样性保护黑龙江省重点实验室,黑龙江 齐齐哈尔 161006)

**摘要:**为了研究不同苜蓿品种在硫酸钠盐碱胁迫下的耐受性,筛选抗性强的苜蓿品种,以4种紫花苜蓿品种为试材,研究50,100,150,200和250 mmol·L<sup>-1</sup>硫酸钠胁迫对紫花苜蓿种子耐盐碱性的影响,并运用隶属函数法对种子萌发期的耐盐碱能力进行综合评价。结果表明,4种苜蓿品种种子在不同浓度硫酸钠胁迫下种子萌发指标(发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数)和芽苗生长指标(胚根长度、胚轴长度、单株鲜重和单株干重)均表现出不同的变化趋势,100 mmol·L<sup>-1</sup>的盐碱浓度能较好地反映苜蓿品种间的耐盐碱性差异,其中WL343HQ苜蓿种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数的耐盐碱系数最高,分别为44.08,20.00,20.73和20.55,WL343HQ苜蓿芽苗胚根长度、胚轴长度和龙牧806苜蓿芽苗单株鲜重和单株干重的耐盐碱系数最高,分别为49.93,29.38,48.55和69.23。对种子萌发期各指标耐盐碱系数的隶属函数值和综合评价D值分析可知,4种苜蓿品种的耐盐碱性依次为WL343HQ>WL525HQ>龙牧806>龙牧807,本研究选择的4个苜蓿品种对硫酸钠的抗性有较大差异,其中WL343HQ抗盐碱能力最强。

**关键词:**紫花苜蓿;盐碱胁迫;种子萌发;隶属函数法;综合评价

盐碱胁迫是一种常见的非生物胁迫,主要通过渗透作用和离子毒性抑制种子萌发,极大程度

地限制了植物的生长和发育<sup>[1-2]</sup>。在植物生长发育过程中,种子的萌发期是对盐碱胁迫最为敏感

收稿日期:2024-01-25

基金项目:科技创新 2030—重大项目(2022ZD04012);黑龙江省省属高等学校基本科研业务费科研项目(145109312,135409216, YSTSXK201886);2021年大学生创新创业训练计划项目(国家级重点领域,202110232012);2022年黑龙江省大学生创新创业训练计划项目(S202210232024,S202210232026S)。

第一作者:陈雪梅(1989—),女,硕士,中学一级教师,从事生物学研究。E-mail:1047193299@qq.com。

通信作者:李波(1962—),女,学士,教授,从事细胞生物学研究。E-mail:libo1962@163.com。

## Effects of Exogenous Nitrogen Addition on Feeding Quality of Main Plants in Mountainous Grassland of Zhalute Banner

SONG Yifan, LIU Zhihao, TAN Guojuan, YAN Baolong, GAO Kai, CONG Longli

(Grass Industry College, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028000, China)

**Abstract:** In order to promote the rational utilization of grassland, nitrogen addition was continuously carried out in 2021 and 2022, and the indexes of crude protein, crude fiber, crude fat and crude ash of sample plots and main plants were determined. The principal component analysis method was used for quantitative comprehensive evaluation to explore the effect of nitrogen addition on the feeding quality of main plants in mountainous grassland. The results showed that the order of nitrogen levels of grassland plants was: *Digitaria ischaemum* > *Agropyron cristatum* > *Carex duriuscula* > *Lespedeza daurica* > *Cleistogenes squarrosa* > *Medicago ruthenica*. Short-term nitrogen addition could significantly increased the contents of crude protein, crude fat and neutral detergent fiber in mountainous grassland plants, but had no significant effect on acid detergent fiber, crude ash and dry matter yield. With the increase of nitrogen ratio, the contents of crude protein, crude fat, neutral detergent fiber and dry matter yield in the community increased first and then decreased, while the contents of acid detergent fiber and ash decreased. The application of nitrogen fertilizer can significantly improve the nutritional value of gramineous plants, but has no significant effect on leguminous forage. The nitrogen application rate that could significantly improve the nutritional value was O<sub>1</sub>I<sub>0</sub> (organic nitrogen 4 g·m<sup>-2</sup>).

**Keywords:** exogenous nitrogen; pasture plant; feeding quality; crude protein; coarse fiber; crude fat; coarse ash

和最为关键的时期,因此该阶段抗盐碱能力强弱可以衡量植物的抗盐碱能力<sup>[3-4]</sup>。盐碱胁迫下植物种子的萌发和芽苗的生长等性状指标均遭受不同程度的危害<sup>[5-7]</sup>,而中国东北盐碱化土地的主要致害盐碱为 NaCl、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 和 NaHCO<sub>3</sub><sup>[8-9]</sup>,目前盐碱地改良利用的主要措施是种植耐盐碱作物,因此,挖掘耐盐碱牧草品种(系)对实现牧草高产尤为重要<sup>[9-10]</sup>。

紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)是一种营养价值丰富的豆科牧草,具有产量高、适应性强、易于家畜消化等特点<sup>[11]</sup>,与其他牧草相比,具有更高的耐盐碱性和改善土壤盐碱化的能力,可作为修复盐碱化土壤的理想牧草<sup>[12]</sup>。生长在盐碱地的苜蓿在生长发育的各阶段都受到一定盐碱胁迫的影响,对种子萌发阶段胁迫效应远高于其他生长发育阶段。在苜蓿种子萌发期耐盐种质筛选和综合评价研究中,前人主要集中在 NaCl 胁迫,而对硫酸钠胁迫的研究相对比较少,马亚丽等<sup>[13]</sup>报道 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 对 7 个苜蓿品种种子发芽的影响,其中新牧 1 号杂花苜蓿耐盐性最强,Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 胁迫下种子萌发的耐受临界浓度为 99~141 mmol·L<sup>-1</sup>;武伟等<sup>[14]</sup>选用两种中性盐(NaCl、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)和两种碱性盐(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、NaHCO<sub>3</sub>)对黄花苜蓿种子发芽的影响进行研究,随着盐和碱胁迫浓度的增加,种子发芽率和发芽速度降低,且碱性盐的胁迫作用大于中性盐。不同的苜蓿品种对盐碱的抗性表现不同,本研究利用隶属函数法,对 4 个紫花苜蓿种质材料进行萌发期耐盐碱性综合评价,初步筛选出抗盐碱胁迫能力强的苜蓿品种,以期对盐碱土种植紫花苜蓿和提高其产量提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

以 4 种国内外不同的紫花苜蓿品种种子为试验材料,分别为龙牧 806(中国黑龙江)、龙牧 807(中国黑龙江)、WL525HQ(美国)、WL343HQ(美国),其种子由黑龙江省农业科学院畜牧兽医分院提供。

### 1.2 方 法

1.2.1 试验设计 试验于 2019 年春季于齐齐哈尔大学生命科学与农林学院进行。供试的每个苜蓿品种种子各挑选 600 粒,均匀摆放在铺有两层滤纸的发芽盒中,将不同浓度的 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液(50, 100, 150, 200 和 250 mmol·L<sup>-1</sup>)约 20 mL 分别倒入发芽盒中,对苜蓿种子进行胁迫处理,对照组(CK)用蒸馏水,每天称重补水维持胁迫液的浓度,各处理浓度设有 3 个生物学重复。将发芽

盒置于 25 °C 光照培养箱中,光周期为光照 16 h/黑暗 8 h,光照强度为 108 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,每隔 24 h 观察发芽种子个数,观察萌发总天数为 7 d。

1.2.2 测定项目及方法 试验期间以胚根长度大于种子长度的 1/2 作为种子发芽的标准,直到第 7 天发芽试验结束。测定发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、胚根长度和胚轴长度等指标。采用以下的公式进行计算。

$$\text{发芽率}(\%) = G_7 / N \times 100$$

式中, $G_7$ 为试验结束后的发芽种子数, $N$ 为总种子数。

$$\text{发芽势}(\%) = G_3 / N \times 100$$

式中, $G_3$ 为试验第 3 天发芽种子数。

$$\text{发芽指数} = \sum G_i / D_i$$

式中, $G_i$ 为相对应的每天种子发芽数, $D_i$ 为相应的发芽试验天数。

$$\text{活力指数} = \text{发芽指数} \times \text{平均主根长}$$

种子萌发结束后,在每个发芽盒中取 10 株长势基本一致的芽苗,用直尺测量每株的胚根长度(Radicle Length, RL)和胚轴长度(Hypocotyl Length, HL),对不同处理下的 10 株芽苗的胚根和胚轴长度取平均值。将芽苗用吸水纸吸干其上的水分,后称量 10 株芽苗的总鲜重,对称量完鲜重的芽苗在 60 °C 下烘干至恒重即为总干重,分别计算单株质量,3 次平均值即为芽苗的单株鲜重(Fresh Weight, FW)和单株干重(Dry Weight, DW)。

1.2.3 耐盐性评价及分析 用不同盐浓度下的测定值和对照组测定值计算单项指标耐盐碱系数。

$$\text{耐盐碱系数}(\%) = (\text{不同盐浓度处理下平均测定值} / \text{对照组测定值}) \times 100 \quad (1)$$

运用模糊数学隶属函数法对各指标的耐盐系数进行标准化处理,对测定数据运用模糊数学隶属度公式进行转换。

$$U(X_{ij}) = (X_{ij} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

式中, $U(X_{ij})$ 为第  $i$  个品种第  $j$  项指标的隶属度; $X_{ij}$ 表示第  $i$  个品种第  $j$  项指标测定值; $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 分别为  $j$  项指标的最大值和最小值。

各综合指标权重和综合评价值的计算:采用标准差系数法,用公式(3)计算标准差系数( $V_j$ ),经公式(4)归一化后得到各个耐盐碱指标的权重系数( $W_j$ ),再计算耐盐碱综合评价值( $D$ )。

$$V_j = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_{ij})^2}}{\bar{X}_{ij}} \quad (3)$$

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^n V_j} \quad (4)$$

$$D = \sum_{j=1}^n (U(X_{ij}) \times W_j) \quad (5)$$

式中,  $\bar{X}_{ij}$  表示第  $i$  个品种第  $j$  个指标平均值;  $V_j$  表示第  $j$  个指标标准差系数;  $W_j$  表示第  $j$  个指标权重系数;  $D$  表示各材料的综合评价价值。

1.2.4 数据分析 利用 SPSS 21.0 统计学软件对数据进行差异显著性分析 ( $P < 0.05$ ), 采用 Excel 2020 对各指标数据进行整理和耐盐碱系数计算, 结合隶属函数法求出不同供试品种的  $D$  值并排序。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐碱胁迫对苜蓿种子萌发性状的影响

2.1.1 发芽率和发芽势 由图 1 可知, 在未经  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫时, 除龙牧 807 外其他 3 个品种种子的发芽率和发芽势均较高, 龙牧 806 发芽率和发芽势均最高。经  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫后, 与 CK 比较各品种种子发芽率和发芽势均随胁迫浓度的增加呈不同程度下降, WL343HQ 种子发芽率高于其他 3 个品种, 除 50  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的 WL525HQ 和 WL343HQ 种子的发芽率与 CK 差异不显著外, 其他胁迫组种子发芽率和发芽势均显著低于 CK ( $P < 0.05$ )。

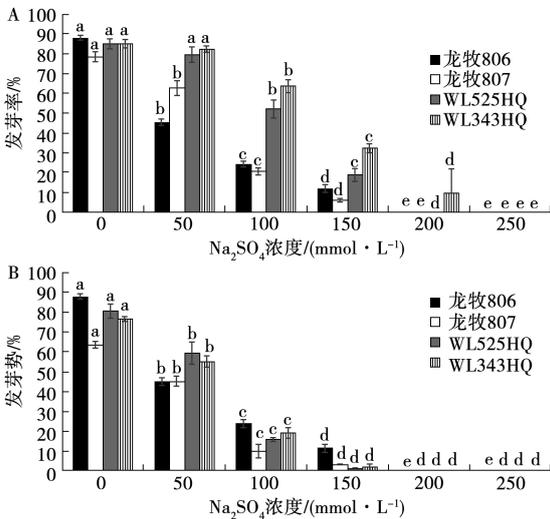


图 1 盐碱胁迫对苜蓿种子发芽率(A)和发芽势(B)的影响

注: 不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

在  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫浓度为 100  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 龙牧 806、龙牧 807、WL525HQ 和 WL343HQ 种子发芽率分别比 CK 降低了 72.62%、73.62%、39.22%

和 25.10%, 发芽势分别比 CK 降低了 72.62%、84.21%、80.08% 和 74.67%, 该浓度下龙牧 806 和龙牧 807 发芽率显著低于 WL525HQ 和 WL343HQ, 龙牧 806 发芽势高于其他 3 个品种, 且与 CK 比较龙牧 807 发芽率和发芽势下降幅度最大。盐碱胁迫浓度为 200~250  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 其种子发芽率和发芽势极低或种子未能萌发, 说明高浓度  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫对 4 种苜蓿种子的萌发产生了明显的抑制作用。

2.1.2 发芽指数和活力指数 由图 2 可知, 在未经  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫时, 4 个品种的发芽指数和活力指数整体较高, WL525HQ 种子发芽指数和龙牧 807 种子活力指数均最高, 分别为 164.95 和 8792.96。经  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫后, 与 CK 比较各品种种子发芽指数和活力指数均随盐碱胁迫浓度的增加呈不同程度下降趋势, 盐碱胁迫组苜蓿种子发芽指数和活力指数与 CK 比较差异均显著。

在  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫浓度为 100  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 龙牧 806、龙牧 807、WL525HQ、WL343HQ 种子发芽指数分别比 CK 降低了 88.70%、85.11%、74.16% 和 67.68%, 活力指数分别比 CK 降低了 94.39%、95.82%、88.49% 和 76.50%, 且该浓度下龙牧 806、龙牧 807 发芽指数和活力指数低于 WL525HQ、WL343HQ, 且与 CK 比较龙牧 806 发芽指数和龙牧 807 活力指数下降最大。盐碱胁迫浓度为 200~250  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 几乎完全抑制苜蓿种子活力和胚根生长及发育, 致使种子发芽指数和活力指数无法测定。

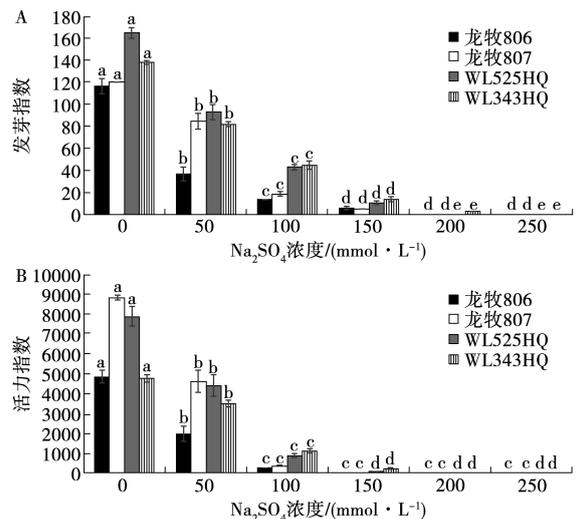


图 2 盐碱胁迫下苜蓿种子发芽指数(A)和活力指数(B)的影响

## 2.2 盐碱胁迫对苜蓿芽苗生长指标的影响

2.2.1 胚根和胚轴长度 由图 3 可知,在未经  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫时,4 个品种中龙牧 807 芽苗的胚根和胚轴长度较长,分别为 73.187 mm 和 18.96 mm。 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫后,与 CK 比较各品种芽苗胚根和胚轴长度均随盐碱胁迫浓度的增加而不同程度下降,除 50  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  的 WL525HQ 芽苗的胚根长度与 CK 差异不显著外,其他各芽苗胚根和胚轴长度与 CK 比较差异均显著。

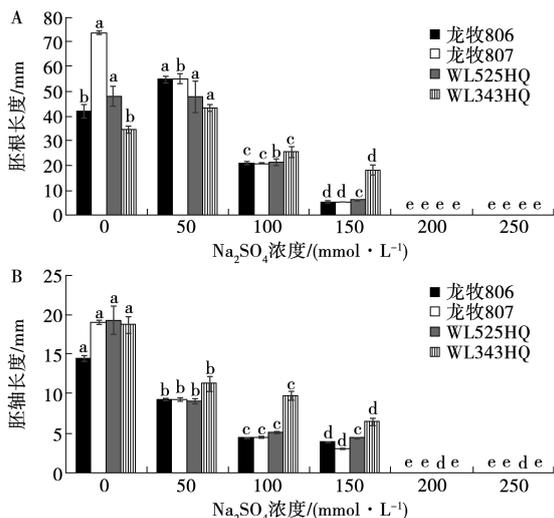


图 3 盐碱胁迫对苜蓿芽苗胚根长度(A)和胚轴长度(B)的影响

在 50  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫下,能够促进龙牧 806 和 WL343HQ 芽苗胚根的生长, $\text{Na}_2\text{SO}_4$  浓度超过 100  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  时,各品种芽苗胚根和胚轴长度均低于 CK,在  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  浓度达到 200  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  以上时,培养的芽苗出现坏死现象,无法测定其芽苗的胚根和胚轴长度。 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  浓度为 100  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  时,龙牧 806、龙牧 807、WL525HQ、WL343HQ 芽苗的胚根长度分别比 CK 降低了 50.00%、72.02%、55.47% 和 27.24%,胚轴长度分别比 CK 降低了 69.37%、74.41%、73.71% 和 47.90%,该浓度下龙牧 806、龙牧 807 胚根和胚轴长度低于 WL525HQ、WL343HQ,且与 CK 比较龙牧 807 芽苗胚根和胚轴长度下降幅度最大。

2.2.2 单株鲜重和单株干重 由图 4 可知,在未经  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫时,4 个品种中 WL343HQ 芽苗的单株鲜重和单株干重最大,分别为 29.483 mg 和 3.017 mg。除龙牧 807 和 WL525HQ 芽苗的单株鲜重外,其他各盐碱胁迫组芽苗的单株鲜重和单株干重均随盐胁迫浓度的增加呈下降的变化趋

势,除 50  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫浓度的龙牧 806 单株干重外,其他各苜蓿芽苗单株鲜重和单株干重均低于 CK。

50  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫可促进龙牧 806 芽苗单株干重的增加,其他各盐碱胁迫组的单株鲜重和单株干重均低于 CK,盐碱浓度达到 200  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  以上时,培养的苜蓿芽苗均死亡,无法测定其鲜重和干重。盐碱浓度为 100  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  时,龙牧 806、龙牧 807、WL525HQ、WL343HQ 单株鲜重分别比 CK 降低了 12.65%、25.87%、9.67% 和 34.63%,单株干重分别比 CK 增加了 21.74%、降低了 10.52%、22.00% 和 37.79%,该浓度下龙牧 806、龙牧 807 单株鲜重和单株干重低于 WL525HQ、WL343HQ,且与 CK 比较 WL343HQ 芽苗单株鲜重和单株干重下降幅度最大。

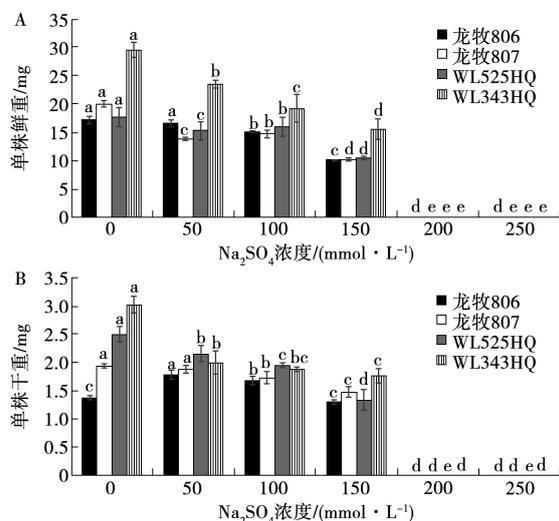


图 4 盐碱胁迫对苜蓿芽苗鲜重(A)和干重(B)的影响

## 2.3 耐盐系数及相关性分析

2.3.1 耐盐碱系数 耐盐碱系数是耐盐碱性评价的一个指标<sup>[15]</sup>。由表 1 可知,各单项指标的耐盐系数在 4 个苜蓿品种间变化不一。WL343HQ 苜蓿种子在发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数的耐盐系数均最高,分别为 44.08、20.00、20.73 和 20.55;而龙牧 806 苜蓿种子在发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数的耐盐系数均最低,分别为 18.40、18.40、9.54 和 9.54,说明  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫对 WL343HQ 苜蓿种子萌发和活力的影响均低于其他 3 个苜蓿品种。

而在芽苗生长指标变化上,WL343HQ 在胚根长度、胚轴长度和龙牧 806 芽苗在单株鲜重、单株干重的耐盐系数均最高,分别为 49.93、29.38、48.55 和 69.23;龙牧 807 芽苗在胚根长度、胚芽

长度、单株鲜重和 WL343HQ 芽苗单株干重的耐盐系数均最低,分别为 21.96,17.69,38.89 和 37.35,

说明  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫对苜蓿芽苗生长性状指标的影响不同。

表 1  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫下苜蓿种子萌发和生长各指标耐盐系数

品种	耐盐系数/%							
	发芽率	发芽势	发芽指数	活力指数	胚根长度	胚轴长度	单株鲜重	单株干重
龙牧 806	18.40	18.40	9.54	9.54	38.72	24.43	48.55	69.23
龙牧 807	22.81	18.42	17.80	11.39	21.96	17.69	38.89	52.62
WL525HQ	35.29	19.09	17.65	13.65	31.33	19.30	47.22	43.52
WL343HQ	44.08	20.00	20.73	20.55	49.93	29.38	39.55	37.35

2.3.2 相关性分析 对 8 个数量性状进行相关性分析(表 2),结果表明测定的苜蓿性状中有 5 对性状显著相关( $\alpha=0.05$ ),其中发芽率与发芽势和活力指数、发芽势与活力指数、胚根长度与胚轴长度之间显著正相关,发芽指数和单株干重显

著负相关性( $\alpha=0.05$ ),且这 5 对性状间相关系数均为 0.95 以上,其他各指标间均有一定的正相关和负相关,说明盐碱胁迫下苜蓿不同农艺性状之间具有一定关联性。

表 2 供试苜蓿各指标耐盐碱系数的相关性

指标	发芽率	发芽势	发芽指数	活力指数	胚根长度	胚轴长度	单株鲜重	单株干重
发芽率	1.000							
发芽势	0.969*	1.000						
发芽指数	0.810	0.712	1.000					
活力指数	0.951*	0.982*	0.791	1.000				
胚根长度	0.580	0.749	0.095	0.685	1.000			
胚轴长度	0.493	0.690	0.076	0.657	0.979*	1.000		
单株鲜重	-0.346	-0.348	-0.737	-0.517	0.035	-0.090	1.000	
单株干重	-0.932	-0.836	-0.956*	-0.862	-0.263	-0.192	0.528	1.000

注:\*表示在  $\alpha=0.05$  水平上显著相关。

## 2.4 隶属函数值及耐盐性综合评价

单一指标的应用不能准确反映  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫对苜蓿种子萌发的胁迫效应。由表 3 各指标耐盐系数综合评价  $D$  值的变化可知,4 种苜蓿品种在  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫下,综合评价  $D$  值由大到小排序为:

WL343HQ>WL525HQ>龙牧 806>龙牧 807,表明 WL343HQ 耐  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫的能力最强,两个国外苜蓿品种的耐盐碱能力高于两个国内苜蓿品种。

表 3  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫各苜蓿品种各指标隶属值、权重系数、综合评价  $D$  值

品种	各指标隶属函数值								综合评价 $D$ 值	排序
	发芽率	发芽势	发芽指数	活力指数	胚根长度	胚轴长度	单株鲜重	单株干重		
龙牧 806	0.000	0.000	0.000	0.000	0.599	0.577	1.000	1.000	0.357	3
龙牧 807	0.172	0.011	0.738	0.168	0.000	0.000	0.000	0.479	0.233	4
WL525HQ	0.658	0.428	0.724	0.373	0.335	0.137	0.863	0.194	0.450	2
WL343HQ	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.069	0.000	0.812	1
权重系数	0.192	0.020	0.144	0.172	0.164	0.115	0.057	0.135		

## 3 讨论

### 3.1 硫酸钠胁迫对苜蓿种子萌发的影响

种子萌发期是植株生长发育的初始,对盐碱

胁迫最为敏感,决定了植物在盐碱环境下的生长状况和后期是否能生长发育<sup>[16-17]</sup>。盐碱胁迫下植物种子的发芽率等萌发性状常受到不同程度的

危害。本研究在种子萌发期对不同苜蓿品种的耐盐性进行比较研究,随着硫酸钠浓度的增加,种子萌发指标受到不同程度抑制,盐碱浓度超过  $150 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,影响苜蓿种子的活力,致使种子无法萌发,表明硫酸钠造成的渗透胁迫和离子毒害的抑制作用。这与高昆等<sup>[18]</sup>研究  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫对紫苏种子萌发和任琴等<sup>[19]</sup>研究硫代硫酸钠对小麦种子萌发影响的抑制观点一致。种子萌发后期的生长发育及对环境的耐受性直接关系到芽苗是否能成苗。本研究从芽苗的胚根长度、胚轴长度、鲜重、干物质量变化分析,一定盐害影响苜蓿芽苗生长和发育,当硫酸钠浓度达到  $150 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,苜蓿芽苗生长缓慢,超过  $200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,培养的芽苗腐烂坏死,这和司马义·巴拉提<sup>[20-21]</sup>研究 3 种盐胁迫对光果甘草和苦豆子芽苗生长影响的抑制作用相符。

### 3.2 苜蓿耐盐性综合评价

植物的耐盐碱性是复杂的数量性状,常表现在形态和生理上的多样性,仅用一两个指标无法全面反映植物的耐盐碱性,应根据各指标和植物受抑制程度进行权重分配<sup>[22-23]</sup>。耐盐系数反映了对照和处理间的各指标比较结果,常用作评价作物耐盐性的标准<sup>[24-26]</sup>。本研究以 8 项指标的耐盐系数为基础,得到不同苜蓿品种种子萌发期的耐盐碱性综合评价  $D$  值,单一萌发指标与综合评价  $D$  值的耐盐碱性评价结果间存在不一致现象,如本研究选择的 4 种不同苜蓿品种中,龙牧 807 芽苗胚根和胚轴长度的耐盐系数最高,但其综合评价  $D$  值却最低,因此为保证评价结果的准确性,在苜蓿种质资源的耐盐性评价中应选择多个指标进行综合评价。这与张静等<sup>[27]</sup>研究燕麦种质资源耐盐碱性鉴定时运用综合评价的方法可系统地反映种质资源的耐盐碱性差异观点是一致的。通过赋予种子萌发各性状指标耐盐系数的权重,获得硫酸钠胁迫下 WL343HQ 综合  $D$  值排名第一,龙牧 807 综合  $D$  值排名最后,研究结果可为耐盐碱性优质苜蓿的选育提供一定理论依据。同时本研究未对硫酸盐与其他盐碱混合进行不同苜蓿品种抗盐碱性筛选,将在今后的研究中作进一步探讨。

## 4 结论

本研究以 4 种苜蓿种质为材料,分析  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫对其种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、胚根长、胚芽长、单株鲜重和单株干重的影响,并对种子萌发阶段耐盐碱性进行综合评价。随着  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫浓度的增加,苜蓿种子的萌发指标和芽苗生长指标均呈不同程度下降趋势,当  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  浓度大于  $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,盐碱胁迫对各品种种子萌发的抑制作用明显加重,4 种苜蓿品种种子萌发阶段耐盐碱性由高到低依次为 WL343HQ > WL525HQ > 龙牧 806 > 龙牧 807,生产中可优先选择 WL343HQ 作为改良硫酸盐碱含量高的盐碱地的优良品种。

### 参考文献:

- [1] 董飞,王焯楠,朱娇,等. NaCl 胁迫对 5 种菊科植物种子萌发的影响[J]. 山东农业科学, 2021, 53(11): 45-50.
- [2] LI J, YIN L Y, JONGSMA M A, et al. Effects of light, hydropriming and abiotic stress on seed germination, and shoot and root growth of pyrethrum (*Tanacetum cinerariifolium*) [J]. Industrial Crops and Products, 2011, 34(3): 1543-1549.
- [3] 朱建峰,张会龙,杨秀艳,等. 35 个白榆优良家系种子萌发期耐盐碱性评价[J]. 西北农业学报, 2020, 29(9): 1417-1429.
- [4] 张庆昕,张玉霞,刘庆鹏,等. 33 个油用向日葵品种种子萌发期抗盐碱性的综合评价[J]. 种子, 2015, 34(11): 23-25, 30.
- [5] 李珍,云岚,张玉霞,等. 10 个饲用燕麦品种种子萌发期耐盐碱性的综合评价[J]. 种子, 2019, 38(11): 90-95.
- [6] HOSSEINI M K, POWELL A A, BINGHAM I J. Comparison of the seed germination and early seedling growth of soybean in saline conditions[J]. Seed Science Research, 2002, 12(3): 165-172.
- [7] WANG L X, FANG C, WANG K. Physiological responses of *Leymus chinensis* to long-term salt, alkali and mixed salt-alkali stresses[J]. Journal of Plant Nutrition, 2015, 38(4): 526-540.
- [8] ALMODARES A, HADI M R, DOSTI B. Effects of salt stress on germination percentage and seedling growth in sweet *Sorghum* cultivars [J]. Journal of Biological Sciences, 2007, 7(8): 1492-1495.
- [9] 杨春武,李长有,张美丽,等. 盐、碱胁迫下小冰麦体内的 pH 及离子平衡[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5): 1000-1005.
- [10] DENG X X, ZHANG X Q, SONG X J, et al. Response of transgenic rice at germination traits under salt and alkali stress[J]. African Journal of Agricultural Research, 2011, 6(18): 4335-4339.
- [11] 张慧敏,高永,程波,等. 接种根瘤菌后 3 个紫花苜蓿品种耐盐性综合评价[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(2): 40-46.
- [12] 余如刚,王雪茹,王国良,等. 紫花苜蓿品种苗期耐盐性分

- 析及评价指标筛选[J]. 草地学报, 2022, 30(7): 1781-1789.
- [13] 马亚丽,阿不来提·阿不都依木,孙宗玖,等. NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>胁迫对苜蓿种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2005, 28(4): 20-23.
- [14] 武祎,田雨,张红香,等. 盐、碱胁迫与温度对黄花苜蓿种子发芽的影响[J]. 草业科学, 2015, 32(11): 1847-1853.
- [15] 刘艺平,张一琪,苏少文,等. 不同品种荷花耐盐碱性评价及鉴定指标筛选[J]. 浙江农业学报, 2023, 35(1): 103-111.
- [16] 吴秀宁,赵麟,徐芳琴,等. 盐胁迫下黑小麦的萌发特性及耐盐评价指标与耐盐种质的筛选[J]. 贵州农业科学, 2023, 51(3): 19-26.
- [17] WAN H P, WEI Y K, QIAN J L, et al. Association mapping of salt tolerance traits at germination stage of rapeseed (*Brassica napus* L.)[J]. Euphytica, 2018, 214(10): 190.
- [18] 高昆,柳晓春. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>胁迫对紫苏种子萌发及其幼苗生理特性的影响[J]. 天津农业科学, 2020, 26(11): 23-27.
- [19] 任琴,白雪,周速芳. 硫代硫酸钠对小麦种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 河南农业大学学报, 2001, 35(3): 209-210.
- [20] 司马义·巴拉提. 3种盐胁迫对光果甘草种子萌发的影响研究[J]. 种子, 2014, 33(10): 15-19.
- [21] 司马义·巴拉提. 3种盐胁迫对苦豆子种子萌发的影响研究[J]. 种子, 2016, 35(10): 47-50.
- [22] 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.
- [23] 梁潇,侯向阳,王艳荣,等. 羊草种质资源耐盐碱性综合评价[J]. 中国草地学报, 2019, 41(3): 1-9.
- [24] 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.
- [25] 朱琨,刘骅峻,冯成龙,等. 盐胁迫对不同苜蓿品种种子萌发的耐盐性综合评价[J]. 草地学报, 2023, 31(12): 3724-3733.
- [26] 余如刚,张迪,余心悦,等. 13种小白菜苗期耐盐比较分析及耐性指标筛选[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2022, 37(1): 24-31.
- [27] 张静,高文博,晏林,等. 燕麦种质资源耐盐碱性鉴定评价及耐盐碱种质筛选[J]. 作物学报, 2023, 49(6): 1551-1561.

## Effects of Salt-Alkali Stress on Seed Germination Traits of Alfalfa and Its Salt Tolerance Evaluation

CHEN Xuemei<sup>1</sup>, LIU Huajun<sup>2</sup>, YANG Zhao<sup>3</sup>, ZHU Kun<sup>4</sup>, LI Bo<sup>4</sup>

(1. Xingyi Third Middle School in Guizhou Province, Xingyi 562499, China; 2. Heilongjiang Province Zhalong National Nature Reserve, Qiqihar 161002, China; 3. Branch of Animal Husbandry and Veterinary, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161005, China; 4. School of Life Sciences, Agriculture and Forestry, Qiqihar University / Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Resistance Gene Engineering and Protection of Biodiversity in Cold Areas, Qiqihar 161006, China)

**Abstract:** In order to study the tolerance of different alfalfa varieties under sodium sulfate alkali stress and screen for alfalfa varieties with strong resistance, four alfalfa varieties were used as experimental materials. The effect of different concentrations of sodium sulfate (50, 100, 150, 200, 250 mmol·L<sup>-1</sup>) on salt-alkali tolerance of different alfalfa varieties' seeds were studied. And the membership function method to comprehensively evaluate the salt-alkali tolerance of seeds during the germination period was used. The results showed that different alfalfa varieties exhibited different trends in seed germination indicators (germination rate, germination potential, germination index, vitality index) and seedling growth indicators (embryonic root length, embryonic axis length, fresh weight per plant, and dry weight per plant) under different concentrations of sodium sulfate stress. A salt-alkali concentration of 100 mmol·L<sup>-1</sup> can effectively reflected the differences in salt-alkali tolerance among alfalfa varieties. The WL343HQ alfalfa seeds had the highest salt-alkali tolerance coefficients for germination rate, germination potential, germination index, and vitality index, with values of 44.08, 20.00, 20.73 and 20.55, respectively. The WL343HQ alfalfa sprouts had the highest salt-alkali tolerance coefficients for embryonic root length, embryonic axis length, and fresh and dry weight per plant of Longmu 806 alfalfa sprouts, with values of 49.93, 29.38, 48.55 and 69.23, respectively. According to the analysis of the membership function values and comprehensive evaluation *D*-values of the salt alkali tolerance coefficients of various indicators during the seed germination period, the salt-alkaline tolerance of the four alfalfa varieties was as follows: WL343HQ > WL525HQ > Longmu 806 > Longmu 807. The four selected alfalfa varieties had significant differences in resistance to sodium sulfate salt alkali, WL343HQ had the strongest sal-alkali resistance.

**Keywords:** alfalfa; salt-alkali stress; seed germination; membership function method; comprehensive evaluation