

程 贝,韩如冰,刘家齐,等. 不同品种紫花苜蓿种子耐硒能力研究[J]. 江苏农业科学,2020,48(12):150-155.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.12.032

不同品种紫花苜蓿种子耐硒能力研究

程 贝,韩如冰,刘家齐,赵世玉,张丹璐,樊文娜

(河南科技大学动物科技学院,河南洛阳 471000)

摘要:研究不同品种苜蓿在硒溶液处理条件下的发芽特性,比较其耐硒性,为富硒紫花苜蓿的栽植利用提供依据。试验采用水培法,以 WL343HQ、WL353LH、WL363HQ、WL903、劲能 5010、拉迪诺、甘农 5 号等 7 种苜蓿种子为研究对象,设置 5 个亚硒酸钠梯度,分别为 0、8.647、17.294、25.941、34.588 mg/L。试验使用人工培养箱,以滤纸作为发芽床,每个品种 3 次重复试验,单因素分析。根据发芽率、苗长、鲜质量、活力指数等指标来评判各个品种的耐硒能力以及分析随着硒浓度的增加各个指标的变化。结果表明,随着硒浓度的增加,发芽率、苗长、鲜质量、活力指数都呈现减小的趋势,各个浓度之间差异显著($P < 0.05$);通过综合比较 7 种紫花苜蓿品种的各个指标,耐硒能力表现为甘农 5 号 > WL343HQ = WL903 > 劲能 5010 > WL363HQ > 拉迪诺 > WL353LH。

关键词:紫花苜蓿;发芽势;发芽率;耐硒能力;活力指数

中图分类号: S541⁺.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)12-0150-06

硒(selenium)为半金属元素,最先被瑞典科学家 Berzelius 于 1817 年发现,并被命名为“月亮女神”^[1]。微量元素硒有着自身特殊的生化特性,在动植物的生理过程中起着重要作用^[2],对人畜健康有着重要影响,例如硒有抗氧化、抗癌、调节免疫力等作用,人体和动物体不能自发合成硒,且硒在人体内易排泄,因此人体必须每天摄入一定量的硒来保证机体正常的代谢^[3]。但是我国大部分土壤中缺乏微量元素硒,所以仅靠自然生长的植物很难满

足动植物对硒的生长需要。对作物施硒可提高食物链中的硒水平^[4],牧草施用硒肥对解决低硒地区的人畜补硒问题有着重要意义^[5]。已经证明植物在硒的生态链中可以更有效地将无机硒转化为有机硒,而人和动物对有机硒的吸收与利用远大于无机硒,我国属于缺硒国家,但仍发现有少量富硒地区,并根据各地区特点,在这些典型区域内开发了多种富硒农牧产品,如湖北恩施和陕西紫阳的富硒茶,可见富硒植物开发潜力巨大^[6-7]。

紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)简称苜蓿,是古老的牧草,原产于伊朗,现分布于世界各国^[8],是世界上分布最广、种植面积最大的深根多年生豆科牧草,具有“牧草之王”的称号^[9],是我国分布最广泛和栽培最早及利用效益最高的豆科类牧草之一^[10],含有丰富的粗蛋白质、无机盐和氨基酸^[11],配比合理,堪称畜禽最好的牧草^[12]。同时,它能保持水土、

收稿日期:2019-06-02

基金项目:河南科技大学大学生研究训练计划(SRTP)(编号:2018377)。

作者简介:程 贝(1994—),女,河南周口人,主要从事牧草分子研究。E-mail:18438699622@163.com。

通信作者:樊文娜,博士,讲师,主要从事牧草分子研究。E-mail:chou0516@163.com。

[15] Edgar R C. Muscle; multiple sequence alignment with high accuracy and high throughput[J]. Nucleic Acids Research, 2004, 32(5): 1792-1797.

[16] Kumar S, Stecher G, Li M, et al. Mega X; molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms[J]. Molecular Biology and Evolution, 2018, 35(6): 1547-1549.

[17] Darriba D, Taboada G L, Doallo R, et al. jModelTest 2: more models, new heuristics and parallel computing[J]. Nature Methods, 2012, 9(8): 772.

[18] Silvestro D, Michalak I R. A graphical front-end for RAxML[J].

Organisms Diversity and Evolution, 2012, 12(4): 335-337.

[19] Ronquist F, Teslenko M, van der Mark P, et al. MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space[J]. Systematic Biology, 2012, 61(3): 539-542.

[20] 熊荣川,田应洲,李 松,等. 咸宁中华蟾蜍的分子鉴定[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(12): 32-36.

[21] Aktas C. Haplotypes; Manipulating DNA sequences and estimating unambiguous haplotype network with statistical parsimony[R]. Available from: <https://CRAN.R-project.org/package=haplotypes>, 2019.

培肥地力、增加饲料^[13],兼有菜用、药用、保健等多种功能,其应用领域涉及食品、饮料、医药生产等各个行业^[14-19]。紫花苜蓿有着强烈的蒸腾作用和根系吸水能力^[20],目前对不同品种紫花苜蓿的耐盐性^[21]、耐镉性^[22]已经有很多研究,但对紫花苜蓿耐硒性的研究较少。

本试验以紫花苜蓿为研究对象,使亚硒酸钠溶液作用于紫花苜蓿种子,比较不同紫花苜蓿对硒

的耐受性,以期富硒紫花苜蓿的栽植利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验种子 试验材料为 7 种不同品种的苜蓿种子,分别为 WL343HQ、WL353LH、WL363HQ、WL903、劲能 5010、拉迪诺、甘农 5 号,详见表 1。

表 1 紫花苜蓿供试品种

中文名称	英文名称	种子来源	种子特性
WL343HQ	WL343HQ	北京正道生态科技有限公司	适应性强,产量高
WL353LH	WL353LH	北京正道生态科技有限公司	丰产性高,营养品质优良,适应性好
WL363HQ	WL363HQ	北京正道生态科技有限公司	抗寒性好,产量高
WL903	WL903	北京正道生态科技有限公司	秋眠级最高
劲能 5010	Power5010	郑州华丰草业科技有限公司	侧根型苜蓿,成株时耐受水淹
拉迪诺	Ladino	郑州华丰草业科技有限公司	抗病虫害能力突出,营养价值高
甘农 5 号	Ganong NO. 5	郑州华丰草业科技有限公司	高秋眠级,产草量高,高抗蚜虫

1.1.2 试验试剂 亚硒酸钠配制溶液。

1.1.3 试验仪器 人工气候培养箱、1 L 容量瓶、100 mL 容量瓶、培养皿(直径为 9 mm)、滤纸、万分之一天平、烧杯、玻璃棒、游标卡尺等。

1.2 试验设计

本试验采用水培法。每个品种 3 次重复,以蒸馏水作为对照。

1.2.1 配制溶液 本试验共设置 5 个亚硒酸钠的浓度梯度,分别为 0、8.647、17.294、25.941、34.588 mg/L。准确称量 1.729 4 g Na_2SeO_3 ,用蒸馏水定容至 1 L,得到 1 729.4 mg/L 硒标准溶液。0 mg/L:取蒸馏水定容到 100 mL 的容量瓶中;8.647 mg/L:取 0.5 mL 的硒标准溶液用蒸馏水定容到 100 mL 容量瓶;17.294 mg/L:取 1 mL 硒标准溶液用蒸馏水定容到 100 mL 容量瓶;25.941 mg/L:取 1.5 mL 硒标准溶液用蒸馏水定容到 100 mL 容量瓶;34.588 mg/L:取 2 mL 的硒标准溶液用蒸馏水定容到 100 mL 容量瓶。

1.2.2 整理种子 挑选颗粒大小均匀且饱满的种子,将选取的苜蓿种子均匀地平铺于铺有双层滤纸的 9 mm 玻璃培养皿中,每皿 50 粒,3 次重复。相应的不同品种做好标记;在放入人工培养箱前对应不同品种分别滴入等量相应浓度梯度的硒溶液并做好标记,保持基质湿润。

1.2.3 调节人工培养箱 分别调节光照时间为

18 h、黑暗时间为 6 h,光照时温度为 25 ℃,黑暗时温度为 22 ℃,人工培养箱内相对湿度为 70%,光照度为 8 000 lx。放入人工培养箱时室内的光照度须与人工培养箱内的光照度保持一致。每天定时观察培养皿中基质的状态,使滤纸保持浸润状态。

1.2.4 测量指标 根据 GB/T 3543—1995《农作物种子检验规程》中的试验要求,从种子放入培养箱中的第 2 天开始,每天定时察看并记录种子发芽和幼苗生长的情况(当胚根伸出种皮时即为发芽),确保种子处于正常的试验运作之中,试验于 4 d 后统计发芽势,于 10 d 后计算发芽率,对种子的鲜质量、苗长进行测定和记录,试验数据的计算公式如下:

$$\text{发芽率}(GR) = G_i/T \times 100\%;$$

$$\text{发芽势}(GP) = G_i'/T \times 100\%;$$

$$\text{发芽指数}(GI) = \sum(G_i/D_i);$$

$$\text{活力指数}(VI) = GI \times S。$$

式中: G_i 为 10 d 内的发芽个数,个; T 为培养皿中的种子个数,此试验为 50 个; G_i' 为 4 d 内种子萌发的个数,个; D_i 为在数发芽率当天到放种子那天的天数,d,本试验为 10 d; S 为单株幼苗的平均鲜质量,g。

苗长:种子发芽 10 d 后,从每个培养皿中随机取出 10 株,用游标卡尺测定并记录苗长,计算单株平均值。

鲜质量:种子发芽 10 d 后,从每个培养皿中随机取出 10 株,测量并记录 10 株幼苗的鲜质量,计算

单株平均值。

1.3 数据分析

采用 Excel 2016 画图和整理计算数据,采用 SPSS 21.0 作方差分析。在分析中, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 硒胁迫对不同品种紫花苜蓿种子发芽势的影响

由表 2 可知,在硒胁迫处理下,不同品种紫花苜蓿的发芽势受到不同影响。当硒浓度为 0 mg/L 时,

WL353LH、劲能 5010 的发芽势较其他品种的发芽势低,差异显著($P < 0.05$);当硒浓度为 8.647 mg/L 时,WL343HQ、WL353LH、劲能 5010 的发芽势较其他品种的发芽势低,差异显著($P < 0.05$);当硒浓度为 17.294 mg/L 时,WL353LH、WL363HQ、甘农 5 号的发芽势较其他品种高,差异显著($P < 0.05$);当硒浓度为 25.941 mg/L 时,WL363HQ、拉迪诺、甘农 5 号的发芽势较其他品种的高,差异显著($P < 0.05$);当硒浓度为 34.588 mg/L 时,WL343HQ、劲能 5010 的发芽势较其他品种的发芽势低,差异显著($P < 0.05$)。

表 2 硒胁迫对不同品种紫花苜蓿种子发芽势的影响

硒浓度 (mg/L)	发芽势 (%)						
	WL343HQ	WL353LH	WL363HQ	WL903	劲能 5010	拉迪诺	甘农 5 号
0	86.00 ± 1.00a	82.00 ± 1.45b	91.33 ± 0.67a	86.00 ± 0.00a	78.00 ± 1.53b	90.00 ± 0.88a	91.00 ± 0.58a
8.647	83.3 ± 1.33b	80.00 ± 2.89b	91.30 ± 0.67a	85.00 ± 1.00a	86.67 ± 0.88b	96.67 ± 0.33a	98.00 ± 1.45a
17.294	84.00 ± 1.15b	90.00 ± 0.00a	94.00 ± 0.58a	80.00 ± 1.20b	85.00 ± 0.88b	79.33 ± 0.33b	97.00 ± 0.58a
25.941	83.33 ± 1.45b	82.00 ± 0.58b	93.30 ± 0.88a	84.33 ± 1.86b	83.00 ± 3.76b	83.00 ± 0.33a	99.67 ± 1.58a
34.588	70.60 ± 1.20b	82.00 ± 0.88a	85.33 ± 2.96a	85.33 ± 2.08a	72.00 ± 1.00b	86.00 ± 1.00a	92.00 ± 2.60a

注:同行数据后不同小写字母表示同一处理下不同品种间差异显著($P < 0.05$)。表 3 至表 5 同。

2.2 硒胁迫对不同品种紫花苜蓿种子发芽率的影响

由表 3 可知,当硒浓度为 0 mg/L 时,WL363HQ、WL903、甘农 5 号的发芽率较其他品种的高,差异显著($P < 0.05$);当硒浓度为 8.647 mg/L 时,拉迪诺、甘农 5 号的发芽率较其他品种的高,差异显著($P < 0.05$);当硒浓度为 17.294 mg/L 时,WL363HQ、劲能 5010、甘农 5 号的发芽率较其他品种的高,差异显著($P < 0.05$);当硒浓度为

25.941 mg/L 时,WL363HQ、甘农 5 号的发芽率较其他品种的高,差异显著($P < 0.05$);当硒浓度为 34.588 mg/L 时,WL903、拉迪诺、甘农 5 号的发芽率较其他品种的高,差异显著($P < 0.05$)。当硒浓度为 0 ~ 34.588 mg/L 范围内,WL343HQ、WL353LH 与甘农 5 号的发芽率均存在显著差异($P < 0.05$),三者中甘农 5 号的品种发芽率最高,WL343HQ、WL353LH 的发芽率较低。

表 3 硒胁迫对不同品种紫花苜蓿种子发芽率的影响

硒浓度 (mg/L)	发芽率 (%)						
	WL343HQ	WL353LH	WL363HQ	WL903	劲能 5010	拉迪诺	甘农 5 号
0	84.67 ± 0.33b	84.00 ± 0.00b	93.33 ± 1.86a	88.00 ± 1.00a	74.67 ± 1.67c	82.67 ± 2.40b	90.67 ± 0.67a
8.647	74.00 ± 1.10b	72.00 ± 2.65c	80.00 ± 3.00b	77.33 ± 1.20b	77.33 ± 1.20b	87.33 ± 0.88a	94.67 ± 0.67a
17.294	76.77 ± 1.45b	77.33 ± 4.67b	80.00 ± 1.73a	70.00 ± 1.15b	84.00 ± 2.08a	67.33 ± 1.20b	93.00 ± 1.67a
25.941	64.00 ± 2.31b	77.33 ± 4.33c	80.67 ± 2.73a	74.67 ± 1.45b	78.00 ± 1.52b	77.33 ± 2.19b	94.67 ± 0.88a
34.588	41.33 ± 0.58b	44.67 ± 3.71b	43.33 ± 3.28b	65.00 ± 1.45a	44.67 ± 1.33b	69.33 ± 2.73a	69.33 ± 3.48a

2.3 硒胁迫对不同品种紫花苜蓿苗长的影响

由表 4 可知,当硒浓度为 0 ~ 17.294 mg/L 时,不同品种紫花苜蓿间苗长差异不显著;当硒浓度为 25.941 mg/L 时,WL363HQ、劲能 5010、拉迪诺较其他品种苗长短,差异显著($P < 0.05$);当硒浓度为 34.588 mg/L 时,WL343HQ 较其他品种苗长短,差

异显著($P < 0.05$)。劲能 5010 和拉迪诺的苗长在 5 个硒浓度处理下差异均不显著,WL353LH、WL903 和甘农 5 号的苗长在 5 个硒浓度下差异的不显著。当硒浓度为 0 ~ 17.294 mg/L 时,对不同品种紫花苜蓿的生长没有显著性影响;当硒浓度 ≥ 25.941 mg/L 时,苗长出现显著差异($P < 0.05$),硒溶液对苗长有

表 4 硒胁迫对不同品种紫花苜蓿苗长的影响

硒浓度 (mg/L)	苗长 (mm)						
	WL343HQ	WL353LH	WL363HQ	WL903	劲能 5010	拉迪诺	甘农 5 号
0	53.56 ± 6.64a	61.37 ± 4.88a	63.50 ± 6.34a	58.26 ± 0.91a	53.73 ± 9.93a	47.69 ± 8.99a	67.65 ± 3.43a
8.647	31.59 ± 0.33a	33.16 ± 1.48a	29.73 ± 8.55a	35.30 ± 1.30a	33.41 ± 2.22a	36.06 ± 5.85a	42.69 ± 5.22a
17.294	27.45 ± 3.98a	28.14 ± 8.40a	25.70 ± 0.96a	28.17 ± 1.25a	26.27 ± 6.47a	25.82 ± 1.62a	24.47 ± 2.63a
25.941	15.55 ± 1.03a	25.18 ± 0.00a	19.91 ± 2.85b	23.38 ± 1.28a	17.84 ± 2.87b	17.07 ± 1.94b	19.73 ± 1.96a
34.588	11.38 ± 0.54b	12.95 ± 0.69a	12.56 ± 1.32a	12.86 ± 0.83a	13.77 ± 0.46a	12.25 ± 0.47a	14.46 ± 1.39a

了抑制作用;当硒浓度为 34.588 mg/L 时,甘农 5 号的苗长最长, WL343HQ 的苗长最短,且差异显著 ($P < 0.05$),说明甘农 5 号的耐硒性最好, WL343HQ 的耐硒性最差。

2.4 硒胁迫对不同品种紫花苜蓿鲜质量的影响

由表 5 可知,当硒浓度为 0 mg/L 时,劲能 5010 和拉迪诺的鲜质量较其他品种的小,差异显著 ($P < 0.05$);当硒浓度为 8.647 mg/L 时,各品种的鲜质量

均差异不显著;当硒浓度为 17.294 mg/L 时, WL363HQ 和拉迪诺的鲜质量较其他品种的小,差异显著 ($P < 0.05$);当硒浓度为 25.941 mg/L 时, WL343HQ、WL903 和甘农 5 号的鲜质量较其他品种的大,差异显著 ($P < 0.05$);当硒浓度为 34.588 mg/L 时, WL903 和拉迪诺的鲜质量较其他品种的小,差异显著 ($P < 0.05$)。

表 5 硒胁迫对不同品种紫花苜蓿鲜质量的影响

硒浓度 (mg/L)	鲜质量(g)						
	WL343HQ	WL353LH	WL363HQ	WL903	劲能 5010	拉迪诺	甘农 5 号
0	0.027 5 ±0.003 6a	0.026 1 ±0.000 2a	0.027 2 ±0.003 8a	0.029 8 ±0.003 2a	0.021 7 ±0.002 0b	0.022 3 ±0.000 0b	0.027 8 ±0.000 3a
8.647	0.022 7 ±0.018 3a	0.015 3 ±0.004 2a	0.014 3 ±0.001 2a	0.022 7 ±0.005 8a	0.018 2 ±0.000 7a	0.013 7 ±0.001 4a	0.018 5 ±0.003 0a
17.294	0.020 1 ±0.001 1a	0.014 8 ±0.000 8a	0.013 1 ±0.000 5b	0.018 5 ±0.002 4a	0.014 7 ±0.001 6a	0.012 8 ±0.002 9b	0.017 7 ±0.002 5a
25.941	0.018 1 ±0.010 0a	0.011 9 ±0.001 3c	0.013 1 ±0.001 8b	0.017 1 ±0.002 2a	0.012 3 ±0.001 0b	0.009 7 ±0.001 0d	0.013 9 ±0.000 9a
34.588	0.018 1 ±0.000 6a	0.010 5 ±0.000 4a	0.011 2 ±0.012 0a	0.005 8 ±0.004 8b	0.010 9 ±0.001 0a	0.009 2 ±0.000 0b	0.012 4 ±0.000 1a

2.5 硒胁迫对不同品种紫花苜蓿发芽指数的影响

由图 1 可知,在不同程度硒胁迫下,不同品种紫花苜蓿种子的发芽指数受到不同程度的影响。当硒浓度为 34.588 mg/L 时,紫花苜蓿种子的发芽指数全部明显降低,在此浓度下,紫花苜蓿种子的萌发受到抑制作用;当硒浓度为 0 ~ 25.941 mg/L 时,

发芽指数折线图比较平缓,在此浓度范围内,紫花苜蓿种子能够正常发芽。还可以看出,当硒浓度为 34.588 mg/L 时,紫花苜蓿种子的萌发受到抑制,但甘农 5 号的发芽指数优于其他品种,说明甘农 5 号的耐硒性优于其他品种。

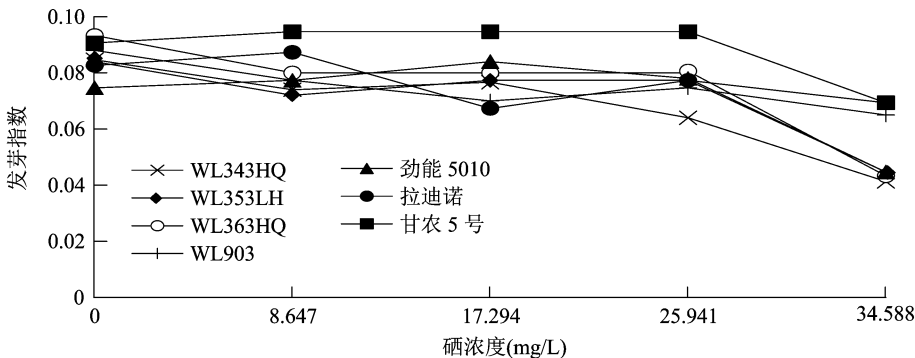


图1 硒胁迫对不同品种紫花苜蓿发芽指数的影响

2.6 硒胁迫对不同品种紫花苜蓿活力指数的影响

由图 2 可知,在不同程度硒胁迫下,不同品种紫花苜蓿的活力指数受到不同程度的影响。总体来

看,活力指数随着硒浓度的增加而降低。当硒浓度为 34.588 mg/L 时,活力指数明显降低,验证了高浓度的硒溶液对紫花苜蓿生长有抑制作用;当硒溶液

浓度为 8.647 ~ 25.941 mg/L 时,活力指数的折线图比较平缓,在此范围内紫花苜蓿能够正常生长;当硒溶液浓度为 34.588 mg/L 时,紫花苜蓿的活力指

数受到抑制,但甘农 5 号的活力指数较高,说明甘农 5 号的耐硒性优于其他品种。

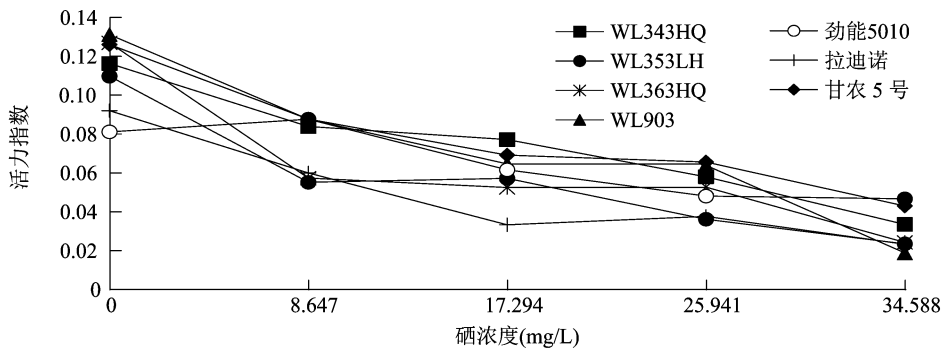


图2 硒胁迫对不同品种紫花苜蓿活力指数的影响

2.7 不同品种综合耐硒性系数比较

为了消除品种间固有的生物学特性差异,在分析过程中均采用相对值。某一指标的相对值在不同品种下,大小顺序是不一样的,因此不能单凭某一指标下的相对值大小来评价品种的耐硒能力,而应从整体上进行分析。本试验中根据每个苜蓿品种不同浓度硒胁迫下各个发芽指标(发芽势、发芽率、活力指数、苗长、鲜质量)相对值的平均值,从小到大分别赋值为 1 ~ 7 来计算不同苜蓿品种的耐硒性系数,综合评价 7 个苜蓿品种的耐硒能力差异^[23]。

由表 6 可以推断,各品种的耐硒能力表现为甘农 5 号 > WL343HQ = WL903 > 劲能 5010 > WL363HQ > 拉迪诺 > WL353LH。

表 6 各品种综合耐硒性系数比较

品种	苗长	发芽势	发芽率	鲜质量	活力指数	耐硒性系数
WL343HQ	1	2	6	6	7	22
WL353LH	3	1	2	4	1	11
WL363HQ	5	5	5	2	2	19
WL903	4	3	3	7	5	22
劲能 5010	6	4	4	3	4	21
拉迪诺	2	6	1	1	3	13
甘农 5 号	7	7	7	5	6	32

3 讨论

紫花苜蓿种子的发芽和生长指标是衡量紫花苜蓿种子品质的关键,在亚硒酸钠溶液胁迫试验中,紫花苜蓿不同品种在相同溶液中种子发芽率的差异表明它们对硒耐受性的不同。

参照世界其他国家居民硒摄入量在 250 μg/d 以下的情况,建议我国居民膳食硒供给量为 50 μg/d,生理需要量适宜范围为 50 ~ 250 μg/d,最高安全量为 400 μg/d,高硒区最大安全摄入量为 550 μg/d^[24]。我国 72% 的土壤缺硒,生产的牧草、饲料不能满足动物对硒的营养需求,添加富硒牧草可以显著提高蛋鸡粪硒含量,粪硒含量与添加富硒牧草硒含量呈显著正相关^[25]。紫花苜蓿对硒的吸收和贮存能力不容小觑,它是将无机硒进行有机化的优良载体。但北方牧区作为我国重要的苜蓿生产基地,土壤中硒的含量并不高,易造成苜蓿的硒缺乏^[26]。因此本试验采用 7 种紫花苜蓿品种为试验材料,比较其对硒的耐受性,为紫花苜蓿的富硒研究提供依据。

紫花苜蓿种子的发芽和生长指标是衡量紫花苜蓿种子的关键,在亚硒酸钠溶液胁迫试验中,不同品种紫花苜蓿在相同溶液中种子发芽率的差异表示其对硒的耐受性。

张弛等研究发现,植物吸收硒的形态以硒酸盐、亚硒酸盐和有机硒为主,硒以硒酸盐、亚硒酸盐或有机硒的形式被植物吸收,植物的根和叶都具有一定的吸收能力,吸收硒的主要形态是 Se⁴⁺ 和 Se⁶⁺ 2 种价态,Se⁶⁺ 被吸收需要能量,Se⁴⁺ 被吸收为主动吸收过程^[6],因此本试验采用亚硒酸钠溶液为紫花苜蓿的营养液。郭秋菊等研究发现,硒能促进种子萌发,如硒酸钠溶液可促进荞麦 (*Fagopyrum esculentum*)、大豆 (*Glycine max*)、花生 (*Arachis hypogaea*)、芸豆 (*Phaseolus vulgaris*) 等种子的发芽,但这种促进作用与硒浓度有密切关系^[27];高扬等研究发现,硒元素具有二重性^[28];陈利云等的研

究表明,单独施加 5 mg/kg 的硒元素能促进紫花苜蓿的生长,单株株高增高 0.73 cm,但与对照间差异不显著,鲜质量和干质量分别增加 15.31%、19.8%,与对照间差异显著($P < 0.05$)^[29]。翁伯琦等研究发现,硒肥用量低于 150 g/hm² 时,圆叶决明(*Chamaecrista rotundifolia*)的株高、茎叶干质量及总生物量随着施硒量的提高而逐渐提高,在 150 g/hm² 时,产量增幅下降,随着施硒量的增加,紫花苜蓿草产量呈先升高后降低的趋势^[30]。刘芳等研究发现,以施硒量为 0.45 kg/hm² 效果最好,分枝期、现蕾期、初花期施硒处理的产草量分别比对照高 540.93、670.43、243.99 kg/hm²,施硒量高于此剂量时,产量增幅下降^[5]。本试验中,有些品种在硒浓度为 8.647 mg/L 时的发芽率比以蒸馏水为营养液时的发芽率高,说明低浓度的硒溶液对紫花苜蓿的发芽是有促进作用的,在 34.588 mg/L 时,各个品种所有指标都明显降低,说明高浓度硒溶液对紫花苜蓿品种种子的生长产生抑制作用,这与田春丽的试验中适量施硒可对农作物的生长起促进作用,过量则会抑制植物生长,甚至产生毒害作用的结论^[24]是一致的。

4 结论

各个苜蓿的品种在低浓度硒溶液中能够生长,高浓度的硒溶液会抑制紫花苜蓿生长;7 种紫花苜蓿种子的耐硒能力表现为甘农 5 号 > WL343HQ = WL903 > 劲能 5010 > WL363HQ > 拉迪诺 > WL353LH;7 种紫花苜蓿中甘农 5 号的耐硒能力最强。

参考文献:

- [1] 吴 信,孟田田,万 丹,等. 硒在畜禽养殖中的应用研究进展[J]. 生物技术进展,2017,7(5):428-432.
- [2] 郭秋菊,王志鸣,邓桢珍. 不同浓度亚硒酸钠溶液对水杉种子萌发的影响[J]. 广西植物,2018,38(10):1319-1325.
- [3] 王婷婷. 硒的生物学作用[J]. 农家参谋,2019(3):148.
- [4] 王 芳,林克惠. 植物硒素营养的研究进展[J]. 云南农业大学学报,2004,19(4):417-422.
- [5] 刘 芳,胡华锋,刘 曦,等. 基施硒肥对紫花苜蓿草产量及抗氧化作用的影响[J]. 草地学报,2013,21(1):109-113.
- [6] 张 驰,吴永尧,彭振坤. 硒对油菜苗期叶片色素的影响研究[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版),2002,20(3):63-65
- [7] 伍 艳,王玮屏,蔡怀森,等. 黄河下游滩区原阳段硒元素分布特征及影响因素[J]. 人民黄河,2019,16(3):1-7.
- [8] 吴晓丽. 不同紫花苜蓿品种的抗旱生理特性比较研究[D]. 杨

凌:西北农林科技大学,2008.

- [9] 熊 雪,桂维阳,刘沐含,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.
- [10] 刘洪波,白云岗,张江辉,等. 紫花苜蓿田间滴灌毛管布置优化[J]. 中国农学通报,2018,34(35):135-142.
- [11] 梁庆伟,张晴晴,娜日苏,等. 28 个紫花苜蓿品种在阿鲁科尔沁旗的生产性能评价[J]. 黑龙江畜牧兽医,2018(23):130-137.
- [12] 时晓霞. 不同秋眠级紫花苜蓿品种在北方农牧交错区生产性能的比较研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2007.
- [13] 姜 华,毕玉芬,陈连仙,等. 旱作条件下紫花苜蓿生理特性的研究[J]. 草地学报,2012,20(6):1077-1080.
- [14] 胡华锋,李建平,郭 孝,等. 铜对紫花苜蓿草产量和矿质营养的影响[J]. 四川农业大学学报,2009,27(2):223-227.
- [15] Tesfaye M, Temple S J, Allan D L, et al. Overexpression of malate dehydrogenase in transgenic alfalfa enhances organic acid synthesis and confers tolerance to aluminum[J]. Plant Physiology,2001,127(4):1836-1844.
- [16] 王成章,徐向阳,杨雨鑫,等. 不同紫花苜蓿品种引种试验研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2002,30(3):29-31.
- [17] 杨春波,谢正军,金征宇. 苜蓿食用叶蛋白的提取及其在曲奇中的应用研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(26):8100-8101.
- [18] 刘青广,田丽萍,薛 琳,等. 苜蓿最佳生育期提取叶蛋白的研究[J]. 现代食品科技,2005,21(1):53-54.
- [19] 张东杰,夏美茹. 苜蓿的营养功能及在功能食品中的应用[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2002,14(4):69-72.
- [20] 杨 磊. 干旱荒漠绿洲区紫花苜蓿生长、耗水规律及调亏灌溉模式研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008:8.
- [21] 张则宇,李 雪,王 焱,等. 59 份苜蓿种质材料苗期耐盐性评价及耐盐指标筛选[J]. 草地学报,2020,28(1):112-121.
- [22] 尹国丽,师尚礼,寇江涛,等. Cd 胁迫对紫花苜蓿种子发芽及幼苗生理生化特性的影响[J]. 西北植物学报,2013,33(8):1638-1644.
- [23] 梅丽娜,袁庆华,姚 拓,等. 镉胁迫对四个苜蓿品种生理特性的影响[J]. 中国草地学报,2010,32(3):21-27.
- [24] 田春丽. 硒与锌对紫花苜蓿生长及品质的调控作用及其机理[D]. 郑州:河南农业大学,2014.
- [25] 胡华锋. 硒在土壤-苜蓿-饲料-蛋鸡系统中的迁移效应及其机理研究[D]. 武汉:华中农业大学,2011.
- [26] 韩 冰. 硒、钴肥对紫花苜蓿生长及品质的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2016:6-7.
- [27] 郭秋菊,王志鸣,邓桢珍. 不同浓度亚硒酸钠溶液对水杉种子萌发的影响[J]. 广西植物,2018,38(10):1319-1325.
- [28] 高 扬,韩德复,于海芹. 硒对大蒜根尖细胞有丝分裂影响的初探[J]. 长春师范大学学报(自然科学版),2007,26(4):54-57.
- [29] 陈利云,王弋博,李三相,等. 硒元素对铅、汞胁迫下紫花苜蓿生长的影响[J]. 中国草地学报,2016,38(5):109-114.
- [30] 翁伯琦,黄东风,熊德中,等. 硒肥对豆科牧草圆叶决明生长和植株养分含量及其固氮能力的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(6):1056-1060.