

温度和盐胁迫对榆树种子萌发的影响

高亚军,王 圳,黄建庭

(连云港市林业技术指导站,江苏 连云港 222000)

摘要:以新采收成熟、饱满的榆树种子为试验材料,采用人工控制温度、模拟盐胁迫环境的方法,研究不同温度(5,15,25,35℃)与不同浓度(0,50,100,200,300 mmol/L) NaCl 胁迫对其种子发芽率、发芽指数及平均发芽时间的影响。结果表明:(1)温度、NaCl 胁迫及其 2 者的交互作用均极显著影响榆树种子的萌发过程;(2)在蒸馏水(对照)与 50 mmol/L 的 NaCl 胁迫下,25,35℃ 的温度更有利于种子萌发,种子的发芽率均超过 83%,种子发芽指数高,种子活力强,平均发芽时间短,种子萌发速度快。随着 NaCl 胁迫浓度的增大,与 25℃ 下的各项发芽指标相比,35℃ 与 NaCl 胁迫处理产生的交互作用抑制种子萌发,种子的发芽率和发芽指数显著降低,平均发芽时间有所延长;(3)5℃ 条件下,无论采用蒸馏水(对照)还是不同浓度 NaCl 胁迫处理,榆树种子的萌发均受到较强的抑制,且 NaCl 浓度越高,低温与高浓度盐胁迫综合处理对种子萌发的抑制作用就越强,以 5℃ 低温与 300 mmol/L NaCl 胁迫综合处理的抑制作用最强,此时种子发芽率和发芽指数最低,分别为 24% 和 2.24,平均发芽时间最长,达 10.26 d。

关键词:榆树;种子;温度;NaCl;胁迫;发芽率;发芽指数;发芽时间

中图分类号:Q945.34;Q945.78;S792.19

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2020.03.002

土壤盐碱化是全球普遍面临且需亟待解决的环境问题之一,治理盐碱化土壤已成为各国环境科学研究的热点和难点^[1]。连云港位于江苏北部,总面积 744 390 hm²,其中沿海滩涂面积高达 48 000 hm²^[2]。近年来,连云港市投入大量人力、物力与财力,在东部城区和沿海滩涂开展园林绿化工作。由于东部城区大部分土壤 pH 在 8.1—8.7 之间^[2],部分沿海滩涂 pH 甚至在 9 以上,虽然选择的部分树木栽植前采取了改良土壤、开沟起垄排盐等技术措施,但也还是难以达到预期的绿化效果,树势过早衰退,树木甚至死亡,造成巨大的经济损失。沿海地区的土壤盐碱化,已严重制约当地经济、社会的可持续发展和人民群众幸福指数的提高。筛选并推广具有较强耐盐碱能力的乡土树种用于沿海地区绿化,改善连云港大片盐碱地的生态环境,显得尤为迫切。

榆树(*Ulmus pumila* L.)又称白榆,家榆,属于榆科榆属落叶乔木,广泛分布于我国大部分地区。朝鲜、俄罗斯、蒙古国也有分布。榆树在我国栽培历史悠久,最早可追溯到先秦时期,这与它浑身是宝紧密相关,有大量文献资料记载其救荒功能,树皮、树根、树叶和果实均具有食用价值和药用功效^[3]。

由于果实(俗称“榆钱”)含有丰富的膳食纤维、蛋白质、水分、维生素及多种微量元素^[4],经多年野外观测发现,每年结“榆钱”时总会吸引喜鹊、灰喜鹊、白头鹎、麻雀等鸟类取食,为城乡鸟类提供丰富的食物,对维持生态平衡、保护生物多样性具有重要意义。榆树高大荫浓,适应性强,生长快,耐干旱、瘠薄,耐盐碱,耐寒,抗污染能力强;萌蘖能力强,根系发达,抗风,保持水土能力强^[3],是城乡绿化、营造沿海防护林带的优良乡土树种。

目前,国内关于温度或盐分等单一因子对树木的种子萌发与生长的影响已有部分研究^[5],而有关温度和 NaCl 胁迫交互处理对树木种子,尤其是榆树种子萌发影响方面的研究较少。本文以此为出发点,研究在不同温度下,模拟不同浓度 NaCl 胁迫处理对榆树种子萌发的影响,旨在探讨榆树种子萌发期在不同温度下的耐盐程度,为榆树在本地沿海地区造林中推广应用提供技术参考。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

榆树种子于 2019 年 4 月底采自苍梧绿园。试验前期,将采集的榆树种子放入玻璃容器中,加入

收稿日期:2020-04-10;修回日期:2020-04-25

基金项目:中央财政林业科技推广示范资金项目“光叶楮、乔木桑等优良耐盐抗污染树种繁育技术示范与推广”(苏[2017]TG07)

作者简介:高亚军(1989-),男,甘肃天水人,工程师,硕士。主要从事林木种苗管理、林木遗传育种等方面的工作。E-mail:1328785091@qq.com。

足量的清水,并用玻璃棒搅拌,静置后捞出浮在水面的瘪粒和杂质,经水选后得到相对饱满的种子,室内晾干,即为试验用种子。

1.2 试验设计与方法

将试验用榆树种子,先用 1%高锰酸钾溶液浸泡 15 min 消毒,再用蒸馏水冲洗 4 次,并用吸水纸吸干种子表面水分。设计 4 个不同温度(A):5,15,25,35℃(将实验室的冰箱设定为 5℃,并用恒温光照培养箱设定 15,25,35℃)和 5 个不同浓度 NaCl 盐溶液(B):0,50,100,200,300 mmol/L(用 NaCl 分析纯药品配制,以蒸馏水作为对照),共 20 个处理,每个处理 3 个重复,试验设计如表 1 所示。每个培养皿(直径 12 cm)内先铺设 2 层圆形的定性滤纸,然后整齐摆放榆树种子 100 粒,最后在培养皿中移入 9 mL 不同浓度的 NaCl 溶液,使紧贴内壁的滤纸浸渍饱和,对照组也按照上述操作移入同等体积的蒸馏水。试验过程中每天称重补充蒸发散失的水分,以平衡萌发过程中蒸发量,保持培养环境的相对湿度在 65%—75%范围内,连续培养 15 d^[6]。每天记录培养箱中榆树种子发芽情况,以胚根长至种子长度 1/2 作为发芽标准,直到连续 3 d 内无新种子发芽视为发芽结束^[6]。

表 1 试验设计

处理	编号	温度(A)/ ℃	NaCl 溶液浓度(B)/ (mmol/L)
温度处理组	A ₁ B ₀	5	0
	A ₂ B ₀	15	0
	A ₃ B ₀	25	0
	A ₄ B ₀	35	0
综合处理组	A ₁ B ₁	5	50
	A ₂ B ₁	15	50
	A ₃ B ₁	25	50
	A ₄ B ₁	35	50
	A ₁ B ₂	5	100
	A ₂ B ₂	15	100
	A ₃ B ₂	25	100
	A ₄ B ₂	35	100
	A ₁ B ₃	5	200
	A ₂ B ₃	15	200
	A ₃ B ₃	25	200
	A ₄ B ₃	35	200
	A ₁ B ₄	5	300
	A ₂ B ₄	15	300
	A ₃ B ₄	25	300
	A ₄ B ₄	35	300

1.3 指标测定

发芽率= $n/N\times 100\%$,式中 n 为 15 d 内正常发芽的种子粒数, N 为供试种子粒数^[1,6]。

发芽指数= $\sum(G_t/D_t)$,式中, G_t 为时间 t 日的发芽数, D_t 为相应的发芽天数^[1]。

平均发芽时间= $\sum(hn_1)/\sum n_1$,式中, h 为从种子放入培养皿之日算起的天数, n_1 为相应各日发芽粒数^[7]。

1.4 数据分析处理

用 Excel 和 SPSS13.5 等统计软件对测定指标进行统计、方差分析、相关性分析及因子分析。

2 结果与分析

2.1 温度和 NaCl 胁迫对榆树种子发芽率的影响

由表 2 可知,各浓度 NaCl 溶液处理的榆树种子,随着温度的升高,其发芽率呈不同程度地先上升后下降的趋势。采用蒸馏水(对照)与 50—100 mmol/L NaCl 溶液处理的榆树种子,在 5℃与 15—35℃的温度中的种子发芽率存在极显著差异($P<0.01$),且 5℃的种子发芽率始终低于 15—35℃发芽率;当 NaCl 溶液为 200 mmol/L 时,在 5—35℃温度下,种子发芽率分别为 51%,53%,60%,37%,其中以 25℃下的发芽率最高,而 35℃下的发芽率最低;当 NaCl 溶液浓度达到 300 mmol/L 时,4 个温度下,种子发芽率分别为 24%,40%,44%,24%。此时,虽然 15℃和 25℃下种子的发芽率无显著差异,5℃和 35℃下种子的发芽率亦无明显差异,但种子的发芽指数存在极显著差异($P<0.01$),且 15℃和 25℃下发芽指数高,而 5℃和 35℃下发芽指数低。从表 3 可以看出,在榆树种子的萌发过程中,不但温度、NaCl 溶液浓度等单一因子极显著影响榆树种子的发芽率($P<0.01$),这 2 因子交互作用也极显著影响种子的发芽率($P<0.01$)。表明适宜的温度下,一定浓度 NaCl 胁迫对榆树种子发芽率没有影响或提高种子发芽率,而低温以及低温与高盐产生的交互作用均会抑制种子萌发,而高温与高盐产生的交互作用也会抑制种子萌发,降低种子的发芽率。

2.2 温度和 NaCl 盐胁迫对榆树种子发芽指数的影响

由表 2 可知,各浓度 NaCl 溶液处理的榆树种子,随着温度的升高,种子的发芽指数呈不同程度的先上升后下降的趋势。采用蒸馏水(对照)与 50

mmol/L 的 NaCl 溶液处理的榆树种子,在 25 ℃ 与 35 ℃ 温度下,种子的发芽指数极显著高于 5 ℃ 和 15 ℃ 的发芽指数($P<0.01$),但 25 ℃ 与 35 ℃ 下的种子发芽指数之间不存在显著差异;采用 100—300 mmol/L 的 NaCl 溶液处理的榆树种子,在 25 ℃ 与 35 ℃ 下,种子的发芽指数存在极显著差异($P<0.01$)。此外,也可以发现,在 5 ℃ 下,各浓度的 NaCl 溶液中处理的榆树种子的发芽指数最低,而 25 ℃ 下种子的发芽指数最高。由表 3 可知,温度、NaCl 胁迫及其 2 者之间产生的交互作用均极显著影响种子的发芽指数($P<0.01$)。表明在适宜的温度下,一定浓度的盐胁迫对种子的发芽指数无影响或有所提高,种子保持较高的活力,而低温、低温与高盐产生的交互作用均会降低种子的发芽指数,高温与高盐产生的交互作用也会降低种子的发芽指数,使种子活力降低。

表 2 温度和盐胁迫处理对榆树种子发芽率、发芽指数和平均发芽时间的影响

编号	发芽率/%	发芽指数	平均发芽时间/d
A ₁ B ₀	63±5 Bb	9.81±0.42 Cc	6.83±0.34 Aa
A ₂ B ₀	88±3 Aa	27.42±1.04 Bb	3.90±0.17 Bb
A ₃ B ₀	94±4 Aa	35.55±1.92 Aa	3.19±0.06 Cc
A ₄ B ₀	87±6 Aa	33.65±0.42 Aa	3.17±0.11 Cc
A ₁ B ₁	61±3 Bb	9.38±0.18 Cc	7.06±0.15 Aa
A ₂ B ₁	85±3 Aa	22.53±1.28 Bb	4.54±0.16 Bb
A ₃ B ₁	87±1 Aa	37.04±1.67 Aa	2.99±0.08 Cc
A ₄ B ₁	83±2 Aa	36.23±0.07 Aa	2.91±0.06 Cc
A ₁ B ₂	55±4 Bc	8.23±0.77 Cc	7.07±0.11 Aa
A ₂ B ₂	76±3 Aa	19.57±2.00 Bb	4.79±0.11 Bb
A ₃ B ₂	74±1 Aab	27.90±0.78 Aa	3.35±0.07 Cc
A ₄ B ₂	69±2 Ab	20.79±0.84 Bb	3.35±0.07 Cc
A ₁ B ₃	51±2 Bb	5.72±0.29 Cd	9.30±0.36 Aa
A ₂ B ₃	53±3 Bb	9.64±0.56 Bb	5.91±0.07 Bb
A ₃ B ₃	60±2 Aa	17.97±1.47 Aa	4.10±0.17 Cd
A ₄ B ₃	37±2 Cc	7.70±1.15 BCc	5.35±0.17 Bc
A ₁ B ₄	24±2 Bb	2.24±0.12 Dd	10.26±0.41 Aa
A ₂ B ₄	40±2 Aa	6.16±0.13 Bb	6.97±0.27 Bb
A ₃ B ₄	44±3 Aa	9.39±1.06 Aa	5.46±0.05 Cc
A ₄ B ₄	24±3 Bb	4.39±0.71 Cc	5.81±0.38 Cc

注:采用 Duncan's 多重比较分析,方差分析在相同 NaCl 溶液浓度的 4 个结果之间进行,数值后的不同小写字母表示在 0.05 水平上存在显著差异,不同大写字母表示在 0.01 水平上存在极显著差异。

表 3 温度和 NaCl 胁迫处理对榆树种
子发芽指标影响的双因素方差分析

变异来源	发芽率	发芽指数	平均发芽时间
A	161.792 **	870.067 **	1 314.123 **
B	640.561 **	1 021.397 **	439.551 **
A×B	17.731 **	77.691 **	10.735 **

注:表中数据为双因素方差分析中的 F 值,**表示在 0.01 水平上存在极显著差异。

2.3 温度和 NaCl 胁迫对榆树种子平均发芽时间的影响

由表 2 可知,随着温度的升高,在蒸馏水(对照)与 50—100 mmol/L 的 NaCl 胁迫处理下,榆树种子的平均发芽时间呈不同程度的下降趋势,而在 200—300 mmol/L 的 NaCl 胁迫处理下,榆树种子的平均发芽时间呈不同程度先下降后上升的趋势。其中蒸馏水(对照)与 50—100 mmol/L 的 NaCl 胁迫处理的榆树种子,在 5 ℃ 下,榆树种子平均发芽时间最长($P<0.01$),在 25 ℃ 和 35 ℃ 下,榆树种子的平均发芽时间最短($P<0.01$);采用 200—300 mmol/L 的 NaCl 胁迫处理的榆树种子,在 5 ℃ 下,平均发芽时间最长($P<0.01$),而在 25 ℃ 下,平均发芽时间最短($P<0.01$)。由表 3 可以看出,温度、NaCl 胁迫及其两者之间产生的交互作用均极显著影响种子的平均发芽时间($P<0.01$)。表明适宜的温度下,一定浓度的盐胁迫处理有助于促进榆树种子萌发,缩短种子的平均发芽时间,而低温、低温与高盐产生的交互作用均会延缓种子萌发进程,延长种子平均发芽时间,高温与高盐也产生交互作用使种子的平均发芽时间延长。

3 讨论与结论

种子萌发期是植物生活史中最脆弱的阶段^[1],受外界环境的影响较大。温度是调控种子萌发的主要环境因子之一,不同植物在自然界长期进化过程中对萌发温度的需求也存在差异^[8]。本研究将榆树种子置于蒸馏水(对照)中,在 5 ℃ 的低温环境下,种子的发芽率最高仅为 63%;随着温度的升高,在 15—35 ℃ 下,种子的发芽率均超过 87%,且在 25—35 ℃ 范围内种子的发芽指数更高,种子活力更强,平均发芽时间缩短,萌发速度加快,表明蒸馏水中培养的榆树种子在相对较高的温度下有利于种子萌发,在 25—35 ℃ 范围更适宜榆树种子萌发,而 5 ℃ 的低温对榆树种子萌发有较强的抑制作用,这

与前人对榆树^[3]、刺榆^[9]、烟草^[10]、香紫苏^[11]等种子萌发的研究结果类似。对大多数种子来说,其萌发所需温度有明显的最低阈值和最高阈值,种子在这 2 者之间都能萌发^[12],适宜的温度能提高种子内各种酶的活性,使各种贮藏物质被分解为易于利用的小分子物质,为种子萌发提供充足的能量;而低温环境下种子吸水缓慢,酶活性降低,还可能会诱导种子进入休眠状态,降低种子的耐盐性,但过高的发芽温度则会使酶活性降低,甚至会使酶变性失活,影响种子的萌发进程。

水分也是影响种子萌发的关键因子,植物种子的萌发过程是种子内各种物质由静止状态转向活跃状态的过程,种子吸水量在达到一定程度后激活控制酶,并发生相关的生化反应^[12]。目前,关于盐胁迫对植物种子萌发的影响已有较多研究,大多数植物在无盐条件下萌发较好,部分耐盐碱植物低盐胁迫会刺激促进种子萌发,而高盐胁迫会降低种子发芽率,使种子活力降低,延缓种子萌发^[7,13-20],且盐胁迫影响种子萌发的主要原因可归结于渗透胁迫和离子毒害。在本研究中,与蒸馏水对照相比,50 mmol/L 的低浓度盐胁迫对榆树种子的萌发有促进作用,这是由于榆树种子具有一定的耐盐性,低浓度的盐胁迫会刺激榆树种子的种皮,加快种子内外离子交换,同时增强了榆树种子的吸水速率,在发芽率无差异的情况下,增强了种子的发芽指数,缩短了种子的平均发芽时间;而在 100—300 mmol/L 的浓度处理下,随着 NaCl 胁迫浓度的增加,榆树种子发芽率和发芽指数均降低,平均发芽时间延长,这可能是由于榆树种子受到渗透胁迫和离子毒害所致,其中在 100 mmol/L 的中等浓度盐胁迫下起主导作用的是可能是渗透胁迫,但在 200—300 mmol/L 的高浓度盐胁迫下种子短时间内可能先遭受渗透胁迫,使种子细胞内水分流失,待细胞膜慢慢被破坏后又遭受高浓度的离子毒害。

前人在有关温度和盐、碱胁迫对野生大豆^[8]、紫花苜蓿^[13]、猪毛蒿^[21]、小麦^[22]、银沙槐^[23]等种子萌发影响的研究中,发现温度与盐、碱胁迫之间存在一定的交互作用,影响种子的萌发。本研究亦发现温度和盐胁迫之间存在交互作用,影响榆树种子的发芽率、发芽指数及平均发芽时间等发芽指标。在 50 mmol/L 的低浓度 NaCl 胁迫下,在 5 ℃ 的低温下,榆树种子的发芽率最高仅为 61%,而在 15—35 ℃ 下,种子的发芽率均在 83% 以上;在 100—300

mmol/L 的盐胁迫范围内,随着盐浓度的增大,5 ℃ 的低温、35 ℃ 的高温及其 2 者与高浓度盐胁迫产生的交互作用均抑制种子萌发,使种子的发芽率和发芽指数均降低,平均发芽时间延长;虽然在 5 ℃ 和 35 ℃ 温度下,采用 300 mmol/L 的盐胁迫处理,榆树种子的发芽率相等,但采用 5 ℃ 温度与 300 mmol/L 盐胁迫综合处理的榆树种子的发芽指数更低,平均发芽时间更长。表明低温、高浓度盐胁迫及 2 者综合处理之后产生的交互作用均严重抑制榆树种子萌发,高温与高浓度盐胁迫综合处理之后也产生了交互作用,对榆树种子的萌发亦有较强抑制作用,且低温与高盐胁迫综合处理产生交互作用对种子萌发的抑制效果强于高温与高盐胁迫综合处理。这可能由于在低温与高浓度盐双重胁迫下,低温使得种子内酶启动慢,物质转化速度也较慢,抵抗低温与高浓度的盐胁迫的不良环境能力弱,长时间处于高浓度盐胁迫中遭受渗透胁迫和离子毒害的影响,对种子萌发产生较强的抑制作用,而榆树种子在受到高温与高浓度的盐胁迫交互胁迫时,高温使得种子内酶快速响应,种子吸水速率加快,促进了种子内外离子交换,在短期内破坏了细胞膜,产生了离子毒害,降低了种子的活力。

本研究通过不同温度和模拟不同浓度盐胁迫对榆树种子萌发特性进行比较分析,发现榆树种子具有一定耐盐性,在适宜的温度下,一定浓度的盐胁迫处理有助于促进榆树种子萌发,提高种子的发芽率和发芽指数,缩短种子的平均发芽时间,而低温、高浓度盐胁迫及 2 者存在的交互作用均抑制榆树种子萌发,延缓种子萌发进程,延长种子平均发芽时间,高温与高浓度盐胁迫之间也同样存在交互作用抑制榆树种子萌发的作用。此次试验仅研究了温度与 NaCl 胁迫对榆树种子萌发的影响,由于连云港沿海地区的盐渍化土壤中除了有以 NaCl 为主的中性盐外,还有多种碱性盐成分,因此,温度与盐、碱胁迫综合处理对榆树种子萌发的影响有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 李志萍,张文辉,崔豫川.NaCl 和 Na₂CO₃ 胁迫对栓皮栎种子萌发及幼苗生长的影响[J].生态学报,2015,35(3):742-751.
- [2] 尚庆伟,黄国兵,梁 玲,等.连云港市东部城区土壤盐碱化情况调查与分析[J].现代农业科技,2009(2):140-141.
- [3] 朱小虎,马兰菊.不同温度下 4 种榆树种子发芽特征[J].防护林科技,2010(6):5-7.

(下转第 55 页)

构人员须加强培训,认真学习,深刻理解全面掌握这一行业标准,不断完善提高自身综合素质,能够满足对产品的环境保护和资源节约属性进行评价的知识和技能,需要掌握对可再生能源利用产品认证的专业能力,熟悉运用对有机产品进行认证的能力,面对复杂的多场所或较大组织能顺利开展认证,确保认证结果的公平性和一致性。

4 结语

森林认证为经营者提供了更为科学先进的管理理念,既能促进森林资源的有效保护,又能促进森林生态系统的良性循环,高度契合林业高质量发展的要求和内涵。社会呼唤森林认证,市场需求森林认证,政府推动森林认证,林农依托森林认证。只要认识到位,形成合力,落实政策,措施扎实,规范有序,森林认证一定会继续蓬勃发展。

参考文献:

- [1] 李冬林,江浩,张亚楠,等.江苏开展森林认证试点的初步认

识与思考[J].江苏林业科技,2015,42(3):50-54.

- [2] 王红春.森林认证审核概论[M].北京:科学出版社,2014.
- [3] 梓叶.中国森林认证体系(CFCS)与森林认证体系认可计划(PEFC)实现互认[J].中国人造板,2014(4):43.
- [4] 王莉娟.中国森林认证 CFCC 简介及其发展现状[J].国际木业,2019(6):14-15.
- [5] PEFC全球认证数据统计(2019)[EB/OL].<https://www.pefc.org/resources/publications>.
- [6] FSC事实与数据报告(2019)[EB/OL].<https://fsc.org/en/facts-figures>.
- [7] 全国绿化委办公室.2019年中国国土绿化状况公报[EB/OL].[2020-02-12].<http://www.forestry.gov.cn/>.
- [8] 吕爱华,赵劼,张宏亮,等.森林认证对我国森林经营的效益分析[J].浙江林业科技,2013,33(2):79-83.
- [9] 王亚明,于玲,韩菲.关于中国开展森林认证的几点建议[J].林业经济,2011(4):36-39.
- [10] 刘霞.阳山水蜜桃追“绿”记[N].中国绿色时报,2019-03-11.
- [11] 徐斌,胡延杰,陈洁.中国集团林森林认证模式研究与联合认证实践指南[M].北京:中国林业出版社,2018.12.
- [12] 曹福亮.森林认证推进中国绿色进程[N].中国绿色时报,2019-03-11.

(上接第10页)

- [4] 于淑玲.榆钱的营养与保健的探讨[J].中国食物与营养,2009(9):60-61.
- [5] 郭金博,施钦,熊豫武,等.盐碱混合胁迫对‘中山杉406’生长及光合特性的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(1):61-68.
- [6] 陈宣,陈加利,郑道君,等.温度和NaCl胁迫对桑树种子发芽的影响[J].现代农业科技,2017(22):234-236.
- [7] 刘克彪,姜生秀.干旱和钠盐胁迫对罗布麻种子萌发的影响[J].草业学报,2016,25(5):214-221.
- [8] 张秀玲.温度和盐分胁迫对野生大豆种子萌发的影响[J].大豆科学,2014,33(2):195-198,202.
- [9] 曹宇.不同温度对刺榆种子发芽特性的影响[J].林业科技,2017,42(1):9-11.
- [10] 赵雨云,李阳林.不同温度对烟草种子萌发特征的影响[J].安徽农学通报(上半月刊),2011(23):53-54.
- [11] 杜锦华,刘东玲,常海飞,等.不同温度处理对香紫苏种子萌发特性的影响[J].安徽农业科学,2010,38(29):16227-16229.
- [12] 桑颖颖.无患子种子休眠与萌发特性的研究[D].南京:南京林业大学,2017.
- [13] 刘寅哲,张义.不同温度下复合盐胁迫及恢复对紫花苜蓿种

子萌发特性的影响[J].种子,2009,28(11):22-25.

- [14] 宋庆云,黄圣,吕艳伟.盐碱胁迫对白榆种子萌发和幼苗生长的影响[J].种子,2018,37(7):15-18.
- [15] 刘炳响,王志刚,杨敏生,等.模拟盐胁迫对白榆种子发芽、出苗及幼苗生长的影响[J].草业学报,2012,21(5):39-46.
- [16] 郑庆钟,李发明,朱淑娟,等.不同处理对沙生针茅种子萌发的影响[J].生态学杂志,2016,35(1):63-71.
- [17] 关雪莲,董连新.温度和盐分胁迫对新疆鼠尾草种子萌发的影响[J].中国野生植物资源,2013,32(4):24-25.
- [18] 岳莉然,程贝贝.盐碱胁迫及干旱胁迫对大花剪秋萝种子萌发的影响[J].北方园艺,2019(10):86-93.
- [19] 王志强,杨哲,杨凡,等.盐碱胁迫对酸枣种子萌发的影响[J].塔里木大学学报,2016,28(3):52-57.
- [20] 朱杰辉,林鹏,刘明月.温度和盐分胁迫对野大麦种子萌发的影响[J].草业科学,2007(12):30-34.
- [21] 张通颖,盛军,王柔懿,等.盐碱胁迫和温度对猪毛蒿种子萌发的影响[J].草地学报,2019,27(3):581-588.
- [22] 蔺吉祥,李晓宇,唐佳红,等.温度与盐、碱胁迫交互作用对小麦种子萌发的影响[J].作物杂志,2011(6):113-116.
- [23] 曹满航,李进,张婷,等.温度和水分及盐分胁迫对银沙槐种子萌发的影响[J].西北植物学报,2011,31(4):746-753.