

文章编号: 1001-3776 (2016) 02-0037-07

不同施肥处理对细叶楠容器苗耐寒性的综合评价

马俊伟^{1,2}, 柳新红¹, 李因刚^{1*}, 何云核², 石从广¹, 杨少宗¹, 蒋冬月¹

(1. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023; 2. 浙江农林大学, 浙江 临安 311300)

摘要: 以同一种源的细叶楠 (*Phoebe hui*) 容器苗为试验材料, 对其进行 NPK4 种不同配比施肥 (N: P: K = 1: 1: 1、2: 1: 1、1: 2: 1 和 1: 1: 2) 和 3 种叶面施肥 (0、0.3% 硼酸钠和 5 mmol/L 水杨酸) 12 种处理, 研究其对细叶楠容器苗高生长、耐寒性生理指标和田间耐寒力的影响。结果表明: NPK 比例为 1: 1: 1 和 1: 2: 1 的各自 3 个处理间, 叶面施肥的苗高显著低于不施肥; 在所有 12 个处理中, NPK 比例为 1: 1: 1、2: 1: 1 和 1: 2: 1 且叶面不施肥的 3 个处理的苗高与其他处理间的差异达显著性水平。超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD) 性和丙二醛 (MDA) 含量在不同施肥处理间表现出一定的差异, 脯氨酸 (Pro)、可溶性糖 (SS) 和可溶性蛋白 (SP) 含量在 NPK 4 种比例的各自 3 个处理间的差异均达到了显著性水平。NPK 比例保持不变时, 叶面不施肥处理的隶属度显著低于叶面施肥处理, 但田间耐寒力指标的差异不显著。本研究表明, N: P: K = 1: 1: 2 且叶面喷施 5 mmol/L 水杨酸的处理为细叶楠容器苗最佳的施肥方式, 其容器苗的田间耐寒力最优、苗高生长较高。

关键词: 细叶楠; 施肥; 苗高生长; 耐寒力

中图分类号: S723.1⁺33

文献标识码: A

Integrated Evaluation on Cold Resistance of Container *Phoebe hui* Seedlings by Different Fertilization Treatments

MA Jun-wei^{1,2}, LIU Xin-hong¹, LI Yin-gang^{1*}, HE Yun-he², SHI Cong-guang¹, YANG Shao-zong¹, JIANG Dong-yue¹

(1. Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023, China; 2. Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, China)

Abstract: Experiments were conducted on container seedling of *Phoebe hui* from the same provenance treated with four different ratio of N, P and K, and with two different foliage fertilizer to study influence of different treatment on height growth, cold resistance indicators and field cold hardiness of seedlings. The result showed that height growth of seedlings treated with N: P: K ratio of 1:1:1 and 1:2:1, and with foliar fertilizer was significantly lower than that without foliar fertilizer. Height growth of seedlings treated with N: P: K ratio of 1:1:1, 2:1:1 and 1:2:1, and without foliar fertilizer had significant difference with the other 9 treatments. SOD, POD activity and MDA content varied among fertilization treatments. There were significant differences among three treatments of four N: P: K ratios in Pro, SS and SP contents. The average membership grade with no foliar fertilization was significantly lower than that with foliar fertilization with the same N: P: K ratio, but cold hardiness index was not significantly different. Integrated evaluation resulted that seedlings treated by N: P: K ratio 1:1:2 and foliar spraying of 5 mmol/L salicylic acid had the optimal cold hardiness and higher seedling height.

Key words: *Phoebe hui*; fertilization; seedling height growth; cold hardiness

低温冻害是农林业生产中一种严重的自然灾害, 世界每年因此造成的直接经济损失达数千亿美元。探索

收稿日期: 2015-09-09; 修回日期: 2015-12-18

基金项目: 浙江省重大科技专项重点项目 (2010C12009), 浙江省农业新品种选育重大科技专项项目 (2012C12908-4)

作者简介: 马俊伟 (1989-), 男, 安徽滁州人, 硕士研究生, 主要从事园林植物培育与育种研究; *通讯作者。

植物抗寒性的生理机制,不仅在理论上具有重要意义,而且在生产上也具有广泛的应用价值。植物抗寒基因的表达与环境条件和植物生理活动密切相关^[1~2]。对农林植物的相关研究表明,耐寒性与酶保护系统、渗透调节物质等一系列生理生化指标有紧密关系^[3~4]。在植物的生长过程中,合理施肥和叶面施肥对提高植物的耐寒能力具有重要的作用^[5~7]。合理施肥可以使植物在越冬前积累更多的营养物质,增加膜脂中不饱和脂肪酸的含量,保持膜结构的稳定^[8~9]。叶面施肥可以诱导活性氧清除功能增强,利于糖类、可溶性蛋白等渗透调节物质的积累,调节植物生长发育,增强植物的耐寒性^[10]。但目前对植物的耐寒性研究多限于单一施肥,有关均衡施肥对植物的耐寒性报道很少,也尚未见叶面施肥对楠属植物的耐寒性影响研究。水杨酸是一种简单的酚类化合物,能够激活植物过敏反应和系统获得性抗性的重要内源信号分子。近年来,人们已经在水杨酸对植物的耐寒性^[11~13]、耐盐性^[14~15]等方面做了相关研究,但仍未见水杨酸在楠属植物应用上的报道。

细叶楠 (*Phoebe hui*), 又名小叶桢楠, 为樟科 (Lauraceae) 楠属 (*Phoebe*) 高大乔木, 天然分布于四川、陕西、云南、湖南和重庆等省 (市) 海拔 1 500 m 以下的密林中^[16~17], 为著名的珍贵用材树种, 喜温暖和高湿湿润气候, 不耐干旱和寒冷, 抗风性较强, 并具有抗大气污染的特性。树干通直, 材质坚硬, 可作建筑、家俱等用材, 树姿挺拔, 树形优美, 树冠广阔, 绿荫效果较好, 亦是优良的园林绿化树种^[18]。与其他楠属植物相似, 细叶楠为耐阴树种, 幼苗和幼树在林下更新。在秋冬季节温度下降时, 上层高大乔木的天然遮挡减轻了低温对细叶楠的危害, 从而使其安全越冬。在细叶楠的人工培育过程中, 苗木营养生长大幅增加, 但缺少了天然的保护, 安全越冬成为栽培的难点之一, 因此亟待加强对其耐寒性的研究。本文通过细叶楠容器苗在氮磷钾不同配比施肥和叶面施肥的条件下, 测定相关耐寒生理指标并进行了田间耐寒试验, 综合评价了既能提高苗木生长又有利于增强苗木抗寒性的最佳施肥方式, 以期对细叶楠越冬和栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于浙江省杭州市西湖区浙江省林业科学研究院试验苗圃, 120°01' E, 30° 13' N。属亚热带季风性气候, 四季分明, 温暖湿润。年均温 16.2℃, 1 月均温 3.8℃, 7 月均温 28.6℃, 极端最高气温 42.9℃, 极端最低气温 -9.0℃, 无霜期 230~260 d, 年平均降水量 1 435 mm, 平均相对湿度 76%。

1.2 试验设计

试验用同一个种源的 1 年生容器苗。育苗容器为黑色聚丙烯塑料, 直径×高为 10 cm×20 cm, 培养基质为泥炭土: 蛭石: 珍珠岩 = 3: 1: 1。2014 年 4 月 20 日在温室苗床选择生长健壮、苗高相近的细叶楠芽苗, 将其移植入已准备好的容器内, 置于 50% 透光率的自控荫棚。2014 年 9 月 1 日撤除遮荫网, 直至试验结束。

本试验设计不同比例氮磷钾及不同叶面追肥对细叶楠耐寒生理指标和田间耐寒力的影响, 12 个试验处理如表 1, 每处理 20 株, 3 次重复。氮磷钾 3 元素的有效成分分别按 N、P₂O₅、K₂O 计, 设置 N: P: K = 1: 1: 1、2: 1: 1、1: 2: 1、1: 1: 2 共 4 个水平; 叶面喷施 0、0.3% 硼酸钠和 5 mmol/L 水杨酸 (添加 0.2% Tween-80 作为表面活性) 3 种处理。处理 1、4、7 和 10 作为各水平氮磷钾叶面不施肥的对照。试验用氮肥为尿素, 磷肥为磷酸二氢钙, 钾肥为氯化钾。磷肥、钾肥作为基肥与基质搅拌均匀; 氮肥作为追肥使用, 以氮肥量 0.1 g 尿素/株为标准进行换算, 2014 年 6~7 月每 7 d 以水肥形式均匀施用, 氮肥采用指数施肥模型^[19]。叶面追肥采用喷雾器喷施的方法, 分别于 2014 年 9 月 1 日、9 月 21 日、10 月 7 日和 10 月 27 日进行, 以叶片有水珠明显下滴为标准。

表 1 施肥试验的 12 种处理
Table 1 Twelve treatments

处理	氮磷钾比例	叶面施肥
1	N: P: K=1: 1: 1	0
2	N: P: K=1: 1: 1	0.3% 硼酸钠 SB
3	N: P: K=1: 1: 1	5 mmol/L 水杨酸 SA
4	N: P: K=2: 1: 1	0
5	N: P: K=2: 1: 1	0.3% 硼酸钠 SB
6	N: P: K=2: 1: 1	5 mmol/L 水杨酸 SA
7	N: P: K=1: 2: 1	0
8	N: P: K=1: 2: 1	0.3% 硼酸钠 SB
9	N: P: K=1: 2: 1	5 mmol/L 水杨酸 SA
10	N: P: K=1: 1: 2	0
11	N: P: K=1: 1: 2	0.3% 硼酸钠 SB
12	N: P: K=1: 1: 2	5 mmol/L 水杨酸 SA

注: SB—硼酸钠; SA—水杨酸; 下同。

1.3 取样与测定方法

2014 年 9 月 1 日施叶面肥, 并在各处理中随机选取 10 株苗木进行高生长的测定。根据离试验点 3.7 km 的浙江省森林生态系统定位研究网络西湖站气象数据, 11 月 3 日日最低温度开始明显下降, 由 15.0 ℃降到 9.7 ℃以下。11 月 3–10 日, 日最低温度 5.5~9.7℃, 平均 8.0℃。11 月 11 日, 对经过 8 d 露天自然低温过程的苗木进行苗高生长测定与样品采集。11 月 11 日和 9 月 1 日两次苗高之差, 即为苗高净生长量。测定耐寒性相关酶活性和渗透调节物质含量用的采样植株与苗高测定植株相同, 每个单株采 1 片成熟的叶片, 混合后放入冰袋中并带回实验室保存在 -80℃冰箱中备用。

试验测定了过氧化物酶 (POD)、超氧化物歧化酶 (SOD)、丙二醛 (MDA)、脯氨酸 (Pro)、可溶性糖 (SS) 和可溶性蛋白质 (SP) 等与植物抗寒性密切相关的生理指标。POD 活性采用愈创木酚法, SOD 活性采用氮蓝四唑光还原法, MDA 含量采用硫代巴比妥酸法, SS 含量采用蒽酮比色法^[20], Pro 含量采用磺基水杨酸提取法, SP 含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法^[21]。每个指标 3 次重复, 取其平均值。

西湖站气象数据显示, 苗木田间自然越冬期间 (2014 年 11 月 11 日至 2015 年 2 月 28 日) 平均温度 6.5℃, 极端最低温 -4.1℃, 日最低温度低于 0℃有 34 d。2015 年 4 月 10 日, 参照 GB/T 14175-93, 对自然越冬的苗木进行寒害症状及等级调查 (表 2), 并计算其耐寒力指标。

1.4 数据处理和评价方法

采用 Microsoft Excel 和 SPSS 17.0 统计软件进行数据处理, 应用 Fuzzy 数学中隶属度函数法对多个生理生化指标进行综合评判^[22], 对与抗寒性呈正相关参数的 Pro、SS、SP、POD 和 SOD 的公式:

表 2 不同寒害症状及等级
Table 2 Chilling damages and grade

寒害等级	寒害症状
1	顶梢挺拔或有轻度萎蔫, 能恢复正常生长, 无寒害或基本无寒害
2	主干顶部枯萎
3	主干冻枯约达 1/3
4	主干冻枯 1/3~1/2 左右
5	不能萌芽, 全株冻害致死

$$F_{ij} = (X_{ij} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min})$$

式中, F_{ij} 为 i 品种的 j 性状测定的具体隶属值; X_{ij} 为 i 品种 j 性状测定值; $X_{j\min}$ 为 i 品种 j 性状中测定的最小值; $X_{j\max}$ 为 i 品种 j 性状中测定的最大值, 下同。

对与抗寒性呈负相关参数的 MDA 的公式:

$$F_{ij} = 1 - (X_{ij} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min})$$

然后将每一供试材料所有性状的具体隶属值进行累加, 求平均值得到该材料的隶属度, 隶属函数值越大, 该品种的抗寒性就越强。

耐寒力指标的公式为:

$$Y = (1X + 2X + \cdots + 5X) / \sum X$$

式中, 1、2、3、4、5 为不同受害等级; X 为不同受害等级的株数; $\sum X$ 为观察总株数。

2 结果与分析

2.1 施肥对细叶楠容器苗高生长的影响

从表 3 中可以看出, 在氮磷钾比例相同时, 叶面施硼肥或水杨酸处理的苗高生长都不同程度的小于其对照; 在 N: P: K = 1: 1: 1、N: P: K = 1: 2: 1 各自的 3 个处理中, 对照处理与叶面施硼、施水杨酸的 2 个处理间苗高生长的差异达显著性水平 ($P < 0.05$)。各处理间苗高净生长也类似; 在 N: P: K = 1: 1: 1 的 3 个处理间, 对照处理显著高于叶面施硼的处理。在 4 个叶面不施肥的对照间 (处理 1、4、7 和 10) 无显著差异, 不同氮磷钾比例的苗高及苗高净生长分别为 17.94~19.66 cm 和 2.35~2.70 cm。同样, 叶面施硼的、叶面施水杨酸的各 4 个处理间, 苗高生长也无显著差异。在所有 12 个处理中, 处理 7、4 和 1 三个处理的苗高生长显著优于除处理 10、12 之外的七个处理; 而苗高净生长, 仅处理 7 显著高于处理 5 和处理 2, 其他处理间差异不显著。

表 3 不同施肥处理的苗高、苗高净生长和耐寒性生理指标
Table 3 Seedling height, net height and cold resistance indicators of different treatments

处理	氮磷钾比例	叶面施肥	苗高 /cm	苗高净生长 /cm	POD 活性 / $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	SOD 活性 / $\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	MDA 含量 / $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$	Pro 含量 / $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	SS 含量 /%	SP 含量 / $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$
1	N: P: K=1: 1: 1	0	19.32aA	2.64aAB	9.84bD	1.30aBC	4.78aAB	10.68bE	20.88aC	10.16bFG
2		0.3%SB	15.23bBC	0.58bD	16.33aBC	1.87aABC	3.22bB	18.57abABC	20.49aC	14.19aBC
3		5 mmol/LSA	15.31bBC	1.82abABCD	16.93aBC	1.56aBC	3.92bB	23.18aA	24.36aABC	15.36aAB
4	N: P: K=2: 1: 1	0	19.52aA	2.61aAB	26.76aA	2.07aA	5.58abA	13.36aD	22.73aBC	16.26aA
5		0.3%SB	15.87aBC	1.22aCD	21.61bAB	1.33bBC	5.89aA	15.15aBCD	22.98aBC	16.79aA
6		5 mmol/LSA	15.90aBC	1.49aABCD	25.35aA	1.19bBC	3.51bB	14.85aCD	19.91bC	11.89bDE
7	N: P: K=1: 2: 1	0	19.66aA	2.70aA	20.84aAB	1.15aC	4.31aAB	17.68abABC	21.27bC	12.82bCD
8		0.3%SB	15.94bBC	1.28aBCD	20.02aABC	1.37aBC	4.62aAB	22.14aAB	21.90bC	15.26aAB
9		5 mmol/LSA	15.98bBC	1.97aABC	26.39aA	1.54aBC	3.13bB	14.11bCD	29.15aAB	11.16cEF
10	N: P: K=1: 1: 2	0	17.94aAB	2.35aABC	17.10bBC	1.52bBC	4.31aAB	21.10aABC	18.65cC	8.99bG
11		0.3%SB	14.71aC	1.40aABCD	12.99bC	2.42aA	3.37bB	17.08bABC	29.82aA	9.49bG
12		5 mmol/LSA	17.38aABC	2.03aABC	24.79aA	1.57bBC	2.84bC	15.45bBCD	23.84bABC	11.89aDE

注：不同字母表示差异显著（ $P<0.05$ ），小写字母表示氮磷钾比例相同的 3 个处理间的差异，大写字母表示所有 12 个处理间的差异，下同。

2.2 施肥对耐寒性生理指标的影响

由表 3 可看出，POD、SOD 活性在 N: P: K = 1: 2: 1 的 3 个处理间差异不显著，SOD 活性在 N: P: K=1: 1: 1 的 3 个处理间差异也不显著。N: P: K = 2: 1: 1 的 3 个处理间，对照的酶活性显著优于叶面施硼或水杨酸的处理。N: P: K = 1: 1: 1 和 1: 1: 2 二组试验的各自 3 个处理间，叶面施硼和水杨酸处理的 MDA 含量均显著优于其对照。在 12 个处理中，处理 12、4、9 和 6 四个处理的 POD 活性较高，处理 11 和处理 4 的 SOD 活性显著高于处理 2 外的其他处理，处理 12 的 MDA 含量显著低于其他 11 个处理。Pro 含量在 N: P: K = 2: 1: 1 的 3 个处理间差异不显著，SS 含量在 N: P: K = 1: 1: 1 的 3 个处理间差异不显著，SP 含量在 NPK 4 种比例的各自 3 个处理间均差异显著。在 12 个处理中，处理 3 的 Pro 含量最高(23.18 $\mu\text{g/g}$)，处理 11 的 SS 含量最高，SP 含量在处理 5 和 4 中含量较高；Pro、SS 和 SP 含量最高的处理均与处理 1 和 6 间差异显著。

2.3 施肥对耐寒性生理指标隶属度的影响

由表 4 可知，在 N: P: K = 2: 1: 1 的 3 个处理间，对照处理的隶属度显著高于叶面施硼或水杨酸处理；在 N: P: K = 1: 1: 1、1: 2: 1 和 1: 1: 2 的各自 3 个处理间，对照的隶属度显著低于叶面施硼或水杨酸处理。这说明耐寒性生理指标隶属度在氮磷钾比例和叶面施肥间存在一定的交互效应。多重比较结果显示，处理 1、4、7 和 10 叶面不施肥的 4 个处理间平均隶属度差异达到显著性水平，以处理 4（0.541 3）为最优。处理 2、5、8 和 11 叶面施硼的 4 个处理间，处理 5（0.413 1）显著低于其他处理；处理 3、6、9 和 12 叶面施水杨酸的 4 个处理间，处理 6（0.409 6）显著低于其他处理。在所有的 12 个处理中，叶面施水杨酸的 3、9、12 三个处理的隶属度与 5、7、6、10 和 1 五个处理间差异显著。

表 4 不同施肥处理的苗木耐寒性生理指标隶属度、耐寒力指标及耐寒性综合评价
Table 4 Membership degree of cold resistance indicators, cold hardiness and integrated evaluation of different treated seedlings

处理	氮磷钾比例	叶面施肥	平均隶属度	排名	耐寒力指标	排名	苗高/cm	排名
1	N: P: K=1: 1: 1	0	0.1419bD	12	1.167bAB	6	19.32aA	3
2		0.3% SB	0.5445aAB	5	1.451aAB	11	15.23bBC	11
3		5 mmol/L SA	0.6078aA	1	1.216abAB	8	15.31bBC	10
4	N: P: K=2: 1: 1	0	0.5413aAB	6	1.076aB	3	19.52aA	2
5		0.3% SB	0.4131bC	8	1.622aA	12	15.87aBC	9
6		5 mmol/L SA	0.4096bC	10	1.120aB	5	15.90aBC	8
7	N: P: K=1: 2: 1	0	0.4128bC	9	1.069aB	2	19.66aA	1
8		0.3% SB	0.5242abB	7	1.221aAB	9	15.94bBC	7
9		5 mmol/L SA	0.5829aAB	3	1.175aAB	7	15.98bBC	6
10	N: P: K=1: 1: 2	0	0.3374bC	11	1.087aB	4	17.94aAB	4
11		0.3% SB	0.5977aAB	2	1.290aAB	10	14.71aC	12
12		5 mmol/L SA	0.5574aAB	4	1.057aB	1	17.38aABC	5

2.4 施肥对苗木耐寒力指标的影响

当氮磷钾 3 种元素的比例保持不变，叶面施肥与否对耐寒指标的影响甚微，仅在 N: P: K=1: 1: 1 的 3 个处理间，处理 1 的耐寒力指标显著低于叶面施硼的处理 2，表明对照的田间耐寒力优于处理 2；其他比例的处理间，耐寒力指标无显著差异（表 4）。多重比较发现，处理 1、4、7 和 10 叶面不施肥的 4 个对照处理间、处

理 2、5、8 和 11 叶面施硼的 4 个处理间及处理 3、6、9 和 12 叶面施水杨酸的 4 个处理间, 尽管存在着氮磷钾 3 种元素的比例差异, 但各处理间耐寒力指标的差异均未达到显著性水平。对 12 个处理间的多重比较表明, 12、7、4、10 和 6 五个处理的耐寒力指标均小于 1.120, 显著低于处理 5 的 1.622, 这说明上述 5 个处理的耐寒力显著优于处理 5。

2.5 不同施肥处理的耐寒性综合评价

细叶楠耐寒性施肥应既能保证容器苗最大限度的耐寒力, 又要获得足够大的生长量。因此, 在评价细叶楠田间耐寒力指标的基础上, 综合考虑苗高生长量和平均隶属度, 对 12 个施肥处理进行评价筛选。从表 4 可以看出田间耐寒力指标最好的是处理 12, 其平均隶属度虽然排第 4, 但与排名前 3 位的处理 3、11 和 9 间的差异并未达到显著性水平 ($P < 0.05$); 处理 12 的苗高生长也较大, 达到 17.38 cm, 与苗高生长更大的处理 7、4、1、10 间也均未达到显著性差异水平 ($P < 0.05$)。因此综合考虑, 处理 12 为最优的施肥方式, 既能使苗木的耐寒力最优, 也能获取较高的苗高生长量。

3 结论与讨论

本试验中施硼肥和水杨酸处理的苗高和苗高净生长量都不同程度小于对照, 在 N: P: K=1: 1: 1、N: P: K=1: 2: 1 各自的 3 个处理中, 苗高差异达到显著性水平 ($P < 0.05$), 说明施硼肥和水杨酸抑制了细叶楠苗木的高生长。硼是植物必需的一种营养元素, 但不同植物对其需求量是有差异的, 过多的硼会抑制植物的株高和生物量^[23~24]。潘海发等的研究表明, 叶面喷施 0.2%~0.3% 的硼可促进砀山酥梨 (*Pyrus bretschneideri* cv. Dangshansu) 的新梢生长, 但 0.4% 的硼则抑制其生长^[25]。水杨酸作为一种植物生长物质和内源信号因子, 在适宜浓度下可促进植株生长^[26~27]。权俊花研究认为, 0.1% 水杨酸处理下的油松 (*Pinus tabulaeformis*) 株高提高 33.91%^[28]。向振勇等研究表明, 3.6 ~ 7.2 mmol/L 水杨酸处理下毛枝五针松 (*P. wangi*) 幼苗的形态指标与对照差异显著^[29]。本研究中, 叶面喷施 0.3% 的硼酸钠和 5 mmol/L 水杨酸可能超过了细叶楠的需求上限, 制约了细叶楠容器苗的高生长。

植物受到低温胁迫时, 自由基过多积累就会伤害细胞, 导致膜脂过氧化, 最明显的变化之一就是积累大量的膜脂过氧化产物 MDA, 其含量可以反映细胞膜脂过氧化程度及细胞遭受伤害的程度^[30]。SOD 和 POD 是酶促防御系统的重要保护酶类, 均具有清除自由基并防止自由基毒害的作用, 其活性的高低及加强幅度的大小直接关系到植物细胞的被伤害程度, 因此可用其确定植物抗逆性的强弱^[21]。本试验中在 N: P: K=1: 1: 1、N: P: K=1: 1: 2 中叶面施硼肥和水杨酸的处理 MDA 含量显著低于对照, 在 N: P: K=2: 1: 1 和 N: P: K=1: 2: 1 中, 叶面施水杨酸的 MDA 含量要显著低于对照, 而叶面施硼的 MDA 含量与对照间没有达到显著差异。说明叶面施水杨酸有利于减轻细叶楠的膜脂过氧化和受害程度, 叶面施硼肥在 NPK 不同比例的处理中对细叶楠的膜脂过氧化影响不同。在 N: P: K=1: 1: 1 中处理 2、3 的 POD 活性要显著高于对照, SOD 活性则没有达到显著差异; 在 N: P: K=1: 1: 2 中处理 12 的 POD 活性要显著高于对照, 处理 11 的 SOD 活性要显著高于对照; 而在 N: P: K=1: 2: 1 中, 叶面施硼肥和水杨酸的 POD 活性和 SOD 活性虽然值较高但并没有达到显著差异; 在 N: P: K=2: 1: 1 中叶面施硼肥和水杨酸 SOD 活性显著低于对照, 说明叶面施硼肥和水杨酸在 NPK 不同比例中对 POD 和 SOD 影响虽然不尽相同, 但总体来说叶面施硼肥和水杨酸有助于提高 POD 和 SOD 活性。

SS、SP 和 Pro 都是细胞渗透调节物质, 可以调节细胞的渗透势, 降低细胞结冰的温度, 提高植物的抗寒性。脯氨酸具有易于水合的趋势和较强的水合能力, Pro 的增加可以降低细胞内的水势, 保证细胞不会过度失水, 从而保证了蛋白质胶体的稳定^[31]。因此, Pro 可使植物具有一定的抗性和保护作用。一般认为 SS 能够增加细胞液浓度、降低冰点, 并与水结合, 会使细胞内束缚水含量增高, 细胞液的流动性和原生质粘性增强, 从而使细胞耐结冰脱水能力和耐冻性增强^[32~33]。SP 是植物逆境下的保护物质, 具有增强细胞持水力, 减少低温下原生质结冰伤害的作用。植物体内 SP 含量与植物的抗寒性呈正相关关系^[34]。本试验在 N: P: K=1: 1: 2 中 Pro 含量叶面施硼肥和水杨酸要显著低于对照, 而 SS 含量叶面施硼肥和水杨酸要显著高于对照, SP 含量叶面施硼肥和水杨酸的

值要高于对照,在其余NPK不同比例中Pro的差异显著性变化不一,总的来说叶面施硼肥和水杨酸对提高细叶楠的Pro有一定影响;在N: P: K = 2: 1: 1 中叶面施水杨酸的SS和SP要显著低于对照和叶面施硼肥的;在N: P: K = 1: 2: 1 和N: P: K = 1: 1: 2 中叶面施水杨酸SS含量要显著高于对照,说明叶面施水杨酸在NPK不同比例中影响不同,但总的来说还是起到一定促进作用。叶面施硼肥的SP含量都较高且在N: P: K = 1: 1: 1 和N: P: K = 1: 2: 1 中显著高于对照,说明叶面施硼肥对提高细叶楠的SP含量有一定促进作用。

植物抗寒性是受其生理生化综合作用的遗传表现,单一抗寒指标难以判断植物对寒冷的综合适应能力^[35-36]。本研究运用隶属函数法对POD、MDA、SOD酶活性及Pro、SS、SP含量 6 个生理指标对细叶楠不同处理的耐寒性进行系统分析,并综合了田间耐寒力和苗高生长,评价出处理 12 最优,其苗较高、田间耐寒力强、平均隶属度也较高,可作为最优措施在细叶楠苗木培育中应用。此外,本文研究结果表明,细叶楠容器苗的耐寒性生理指标和耐寒力在不同氮磷钾比例和叶面施肥间存在一定的交互效应,值得进一步研究。

参考文献:

- [1] Bajguz A, Hayat S. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses [J]. *Plant Physiol Biochem*, 2009, 47 (1): 1-8.
- [2] Cornelius L. Cell physiology of plants growing in cold environments [J]. *Protoplasm*, 2010, 244 (1): 53-73.
- [3] 龚月桦, 周永学, 樊军锋, 等. 美国黄松、班克松和油松的抗寒性比较[J]. *应用生态学报*, 2006, 17 (8): 1389-1392.
- [4] 郭玮龙, 岳春雷, 胡国伟, 等. 水团花不同种源抗寒性比较研究[J]. *浙江林业科技*, 2015, 35 (2): 32-36.
- [5] 徐艳丽, 鲁剑巍, 周世力. 氮磷钾肥对高羊茅生长及抗寒性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13 (6): 1173-1177.
- [6] 肖庆生, 夏志涛, 周灿金, 等. 氮磷钾肥对迟直播油菜产量和品质的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2010, 32 (2): 263-269.
- [7] 徐正华, 张晓红, 陈秀斌, 等. 不同栽培措施对油菜抗寒性的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2012, 31 (6): 661-667.
- [8] 吴家胜, 张往祥, 曹福亮. 氮磷钾对银杏苗生长和生理特性的影响[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2003, 27 (11): 63-66.
- [9] 周录英, 李向东, 汤笑, 等. 氮、磷、钾肥配施对花生生理特性及产量、品质的影响[J]. *生态学报*, 2008, 28 (6): 2707-2714.
- [10] González-Aguilar G A, Tiznado-Hernández M E, Zavaleta-Gatica R, *et al*. Methyl jasmonate treatments reduce chilling injury and activate the defense response of guava fruits[J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2004, 313 (3): 694-701.
- [11] 蔡汉, 李卫东, 陈颖, 等. 水杨酸预处理对低温胁迫下茉莉幼苗光合作用及相关生理特性的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2007, 12 (5): 29-33.
- [12] 李冬花, 陈银萍, 鲍美娥, 等. 外源水杨酸对低温胁迫下圆柏属植物幼苗生理特性的影响[J]. *广西植物*, 2012, 34 (2): 220-226.
- [13] 张蕊, 高志明, 吕俊, 等. 外源水杨酸对水稻幼苗耐寒性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40 (6): 62-65.
- [14] 宿越, 李天来, 李楠, 等. 外源水杨酸对氯化钠胁迫下番茄幼苗糖代谢的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 20 (6): 1525-1528.
- [15] 杨洪兵, 孙萍. 外源水杨酸和茉莉酸对荞麦幼苗耐盐生理特性的效应[J]. *植物生理学报*, 2012, 48 (8): 767-771.
- [16] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第31卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [17] 湖南植物志编辑委员会. 湖南植物志(第2卷)[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2000.
- [18] 江灶发, 董忠敏. 楠属植物资源的开发与利用研究[J]. *黑龙江农业科学*, 2008 (6): 119-121.
- [19] Hawkins B J, Burgess D, Mitchell A K. Growth and nutrient dynamics of western hemlock with conventional or exponential greenhouse fertilization and planting in different fertility conditions[J]. *Can J For Res*, 2005, 35 (4): 1002-1016.
- [20] 高峻风. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [21] 南丽丽, 师尚礼, 朱新强, 等. 田间越冬期不同根型苜蓿根系的生理生化特性[J]. *核农学报*, 2011, 25 (2): 369-374.
- [22] 张文娥, 王飞, 潘学军. 应用隶属函数法综合评价葡萄种间抗寒性[J]. *果树学报*, 2007, 24 (6): 849-853.
- [23] Nable R O, Banuelos GS, Paull J G. Boron toxicity[J]. *Plant Soil*, 1997, 193 (1): 181-198.
- [24] Lee C W, Choi J M, Pak C H. Micronutrient toxicity in seed Geranium (*Pelargonium × hortorum* Bailey)[J]. *J Am Soc Hor Sci*, 1996, 121 (1): 77-82.
- [25] 潘海发, 徐义流, 张怡, 等. 硼对砀山酥梨营养生长和果实品质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17 (4): 1024-1029.
- [26] 刘新, 李云. 水杨酸对蚕豆幼苗生长及内源细胞分裂素和生长素的影响[J]. *植物生理学通讯*, 2000, 36 (6): 512-514.
- [27] 薛建平, 张爱民, 方中明, 等. 水杨酸对半夏植株生长的影响[J]. *中国中药杂志*, 2007, 32 (12): 1134-1136.
- [28] 权俊花. 不同浓度水杨酸处理对油松幼苗高径生长的影响[J]. *防护林科技*, 2013 (12): 26-27.
- [29] 向振勇, 康洪梅, 张珊珊, 等. 水杨酸对毛枝五针松幼苗生长发育和防御酶活性的影响[J]. *东北林业大学学报*, 2015, 43 (9): 115-116.
- [30] Baek K H, Skinner D Z. Differential expression of manganese superoxide dismutase sequence variants in near isogenics lines of wheat during

cold acclimation [J]. Plant Cell Rep, 2006, 25 (1) : 223 – 230.

[31] 黄月华, 徐建民, 余雪标. 低温胁迫对桉树代谢的影响[J]. 热带农业科学, 2005, 25 (5) : 24 – 28.

[32] Gibson S I. Plant sugar – response pathways: Part of a complex regulatory web [J]. Plant Physiol, 2000, 124 (4) : 1532 – 1539.

[33] Price J, Laxmi A, Martin S K, *et al.* Global transcription profiling reveals multiple sugar signal transduction mechanisms in Arabidopsis[J]. Plant Cell, 2004, 16 (8) : 2128 – 2150.

[34] 张志伟, 王法宏, 李升东, 等. 不同类型小麦品种孕穗期低温生理反应及其抗寒性分析[J]. 麦类作物学报, 2012, 32 (5) : 900 – 906.

[35] 相昆, 张美勇, 徐颖, 等. 不同核桃品种耐寒特性综合评价[J]. 应用生态学报, 2011, 22 (9) : 2325 – 2330.

[36] 付连双, 王晓楠, 李卓夫, 等. 土壤水分处理对寒地冬小麦越冬期间生理生化特性的影响[J]. 核农学报, 2014, 28 (2) : 350 – 357.