

不同种源香椿苗木茎部抗寒性的研究

杨玉珍¹, 陈刚¹, 彭方仁², 王国霞¹, 罗青¹, 马晓³

(1. 郑州师范学院 生命科学系, 河南 郑州 450044; 2. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037;

3. 河南职业技术学院 环境艺术工程系, 河南 郑州 450046)

摘要:以 10 个种源 1 年生香椿实生苗为试材, 研究了不同低温处理对其茎部的含水量、自由水含量、束缚水含量、自由水/束缚水比值等水分状态及可溶性糖、脯氨酸等渗透调节物质含量的影响。结果表明: 5~-5℃ 范围内, 茎部含水量、自由水含量、自由水/束缚水比值逐渐降低; 束缚水含量、可溶性糖含量、脯氨酸含量逐渐升高, 不同种源各试验指标含量与其低温半致死温度呈现显著或极显著负相关关系。

关键词:香椿; 种源; 茎部; 抗寒性; 渗透调节物质

中图分类号:S 644.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)18-0001-04

香椿 (*Toona sinensis* Roem) 属楝科香椿属落叶乔木, 偶数(稀奇数)羽状复叶, 圆锥花序, 两性花白色, 长椭圆形蒴果, 翅状种子, 可播种繁殖。原产于中国, 广泛分布于长江南北, 香椿叶厚芽嫩, 香味浓郁, 有“树上蔬菜”的美誉, 且营养价值远高于其它蔬菜。

植物体内的水分含量及存在状态、渗透调节物质的含量都与抗寒适应性有关。可溶性糖是寒害条件下细胞内的保护物质, 其含量与植物的抗寒性基本呈正相关^[1]。脯氨酸作为一种有机溶剂, 在低温胁迫下, 许多植物体内的游离脯氨酸含量增加^[2]。脯氨酸还可保护蛋白质而在冷冻适应中起重要作用^[3]。该研究通过测定不同种源香椿茎部在低温胁迫下水分和渗透调节物的变化, 进一步探索香椿的抗寒适应性机理, 以期对香椿的引种、防寒栽培提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料选择江苏南京、四川广元、湖南洞口、湖北随州、河南西峡、陕西安康、贵州黔西南、福建霞浦、山东济南、山东菏泽等 10 个种源地(简称为南京、广元、洞口、随州、西峡、安康、黔西南、霞浦、济南、菏泽)的香椿 1 年生实生苗, 2006 年 3 月中旬盆栽, 每盆 1 株, 装入干土 8 kg, 置于南京林业大学树木园日光温室。为了保证苗木的相对一致性, 定植后进行平茬处

理, 萌芽生长至 20 cm 左右, 留 1 个长势较好的嫩枝, 使其正常生长, 常规管理。

1.2 试验方法

2006 年 10 月下旬将温室培育的香椿苗木移入人工气候室进行低温处理。以温室盆栽苗(25℃)为对照, 在人工气候室逐渐降温至 5℃ 锻炼 7 d 后, 分为 3 组, 分别置于 0、-5、-10℃ 处理 48 h, 取相同部位的茎部用于分析。

1.3 项目测定

茎部含水量、自由水、束缚水含量参照郝建军等^[4]方法测定; 可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法; 脯氨酸含量测定采用茚三酮溶液显色法^[5]。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 软件预处理, SPSS 11.5 统计软件对各指标进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫下不同种源香椿茎部含水量的变化与抗寒性

2.1.1 低温胁迫下不同种源香椿茎部含水量的变化
含水量是衡量植物组织水分状况最直接的指标。由表 1 可以看出, 低温胁迫下不同种源香椿茎部含水量呈下降趋势。在 5℃ 低温锻炼期间和 0℃ 胁迫下, 茎部含水量虽在下降, 但下降幅度较小。在 -5℃ 胁迫下, 茎部含水量下降幅度最大; 而置于 -10℃ 低温胁迫下, 下降幅度却明显小于 -5℃ 甚至 0℃ 胁迫下的情况, 有些品种的含水量甚至高于 -5℃ 和 0℃ 胁迫下的含水量。方差分析表明, 相同胁迫温度不同种源香椿茎部含水量达差异极显著水平 ($P < 0.001$)。

第一作者简介:杨玉珍(1965-), 女, 博士, 教授, 现主要从事植物生理生态等教学与科研工作。E-mail: yzhyang@163.com.

基金项目:河南省科技攻关资助项目(112102110153)。

收稿日期:2014-04-17

表 1 低温胁迫下不同种源香椿茎部水分含量变化

Table 1 Change of water content in stem of *Toona sinensis* from different provenances under low-temperature stress

种源 Provenance	茎部含水量 Water content in stem/%				
	25℃	5℃	0℃	-5℃	-10℃
南京 Nanjing	46.13±0.16	44.74±0.86	43.37±0.41	40.85±1.36	44.43±0.76
广元 Guangyuan	47.28±0.97	46.07±0.75	45.07±0.11	40.23±0.98	45.88±0.11
洞口 Dongkou	46.77±0.48	45.97±1.19	45.10±0.28	42.67±0.44	44.12±0.43
随州 Suizhou	46.80±1.40	42.79±0.71	42.49±1.42	41.28±0.52	44.60±1.06
西峡 Xixia	45.49±0.89	44.75±0.48	43.90±0.60	41.11±0.07	43.70±0.50
安康 Ankang	46.50±1.29	45.31±0.51	44.42±0.73	39.42±1.32	44.28±0.82
黔西南 Southwest Guizhou	54.55±5.32	51.66±1.37	48.22±0.16	43.03±0.17	50.80±2.23
霞浦 Xiapu	53.59±4.32	52.09±2.57	51.31±0.74	46.30±1.52	49.16±0.22
济南 Jinan	45.11±0.12	45.95±1.49	42.34±0.79	40.78±0.04	45.66±0.88
菏泽 Heze	45.25±0.23	45.04±1.47	43.49±1.54	41.08±0.24	45.04±1.90

2.1.2 低温胁迫下不同种源香椿茎部自由水和束缚水的变化与抗寒性 低温胁迫下不同种源香椿茎部自由水含量的变化如图 1 所示,随着温度的下降,自由水含量呈下降趋势,且与含水量的变化趋势基本一致。在-5℃胁迫下,茎部自由水含量最低,降幅最大。-10℃低温胁迫下的降幅却明显小于-5℃甚至 0℃胁迫下的情况,甚至有些品种的自由水含量与 5℃锻炼时的自由水含量持平。抗寒性较弱的南方种源黔西南和霞浦茎部自由水含量相对较高,北方种源的自由水含量相对较低。相关分析表明,不同种源香椿茎部自由水含量在不同温度胁迫下,与其低温半致死温度显著或极显著负相关(相关系数 $R_{0℃} = -0.875, R_{-5℃} = -0.809, P < 0.01$)。方差分析表明,相同胁迫温度不同种源香椿茎部自由水含量达差异极显著水平($P < 0.001$)。低温胁迫下不同种源香椿茎部束缚水含量的变化见图 2,不同种源香椿茎部束缚水含量随着锻炼与低温胁迫温度的降低逐渐升高,与含水量和自由水含量的变化趋势相反。除个别种源外,茎部束缚水含量在 0℃最高,-5℃次之,-10℃最低。洞口、随州与西峡 3 个品种茎部束缚水含量以-5℃最高,0℃次之,-10℃最低。相关分析表明,茎部束缚水含量在 0、-5℃胁迫下,与其低温半致死温度显著负相关(相关系数 $R_{5℃} = -0.689, R_{-5℃} = -0.643,$

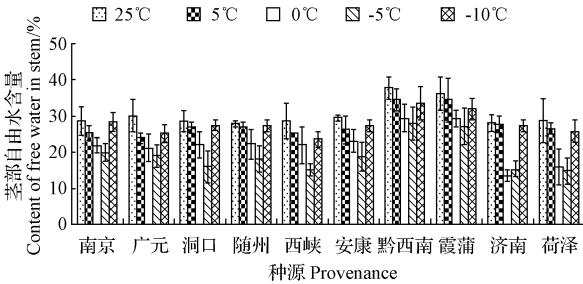


图 1 低温胁迫下不同种源香椿茎部自由水含量的变化

Fig. 1 Change of free water content in stem of *Toona sinensis* from different provenances under low-temperature stress

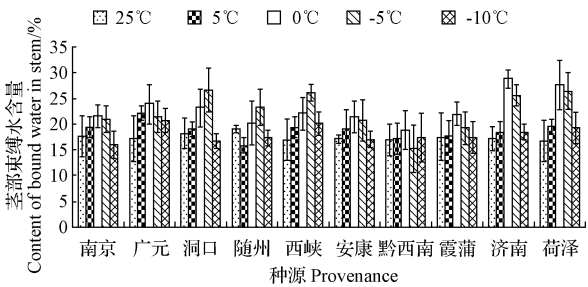


图 2 低温胁迫下不同种源香椿茎部束缚水含量的变化

Fig. 2 Change of bound water content in stem of *Toona sinensis* from different provenances under low-temperature stress

$P < 0.05$),其它温度下相关性不显著。方差分析表明,相同胁迫温度不同种源香椿茎部束缚水含量差异达极显著水平($P < 0.001$)。自由水/束缚水比值可以较为全面的反映植物水分含量状态与抗寒性的关系,表 2 列出了低温胁迫下不同种源香椿茎部自由水/束缚水比值的变化,常温下,不同种源香椿茎部自由水/束缚水比值最大。除随州种源外,在 5℃锻炼结束后皆有不同程度的降低,在 0、-5℃最小,-10℃较 0、-5℃有所增高,其中南京和洞口 2 个种源香椿的茎部自由水/束缚水比值比

表 2 不同种源香椿自由水/束缚水比值变化

Table 2 Comparison value of free water/bound water in stem of *Toona sinensis* from different provenances under low-temperature stress

种源 Provenance	茎部自由水/束缚水比值 Ratio of free water to bound water in stem				
	25℃	5℃	0℃	-5℃	-10℃
南京 Nanjing	1.63	1.32	1.02	0.95	1.77
广元 Guangyuan	1.75	1.09	0.89	0.89	1.22
洞口 Dongkou	1.57	1.42	0.95	0.60	1.65
随州 Suizhou	1.47	1.70	1.11	0.77	1.58
西峡 Xixia	1.70	1.32	0.99	0.58	1.17
安康 Ankang	1.73	1.37	1.08	0.91	1.61
黔西南 Southwest Guizhou	2.24	2.00	1.56	1.83	1.92
霞浦 Xiapu	2.08	1.96	1.34	1.42	1.84
济南 Jinan	1.63	1.52	0.47	0.59	1.49
菏泽 Heze	1.72	1.35	0.57	0.56	1.34

常温的高。相关分析表明,茎部自由水/束缚水比值在不同温度胁迫下,皆与其低温半致死温度显著或极显著正相关(相关系数 $R_{5^{\circ}\text{C}} = 0.659$, $R_{-5^{\circ}\text{C}} = 0.739$, $R_{-10^{\circ}\text{C}} = 0.724$, $P < 0.05$; $R_{0^{\circ}\text{C}} = 0.843$, $P < 0.01$)。说明不同温度胁迫下,茎部自由水/束缚水比值与抗寒性强弱呈显著的负相关关系。

2.2 低温胁迫下不同种源香椿茎部渗透调节物质的变化与抗寒性

2.2.1 低温胁迫下不同种源香椿茎部可溶性糖含量的变化与抗寒性

由图3可以看出,常温下,各种源可溶性糖含量较低。随着胁迫温度的降低,可溶性糖含量升高, -5°C 时含量升高幅度较大,可溶性糖含量达到峰值,但在 -10°C 低温胁迫下,可溶性糖含量并没有升高,而是降低至小于 0°C 甚至 5°C 的水平,但仍高于常温对照下的含量。说明在一定低温范围内,香椿苗木茎部可通过提高可溶性糖含量来抵御低温的伤害,而超过一定温度范围,可溶性糖含量开始下降。方差分析表明,相同胁迫温度不同种源香椿茎部可溶性糖含量达差异极显著水平($P < 0.001$)。黔西南、霞蒲等南方种源增幅较小,北方种源增幅较大。相关分析表明,不同种源香椿茎部可溶性糖含量除 -5°C 外,在其它低温水平下,皆与其低温半致死温度呈显著或极显著负相关关系(相关系数 $R_{0^{\circ}\text{C}} = -0.672$, $P < 0.05$; $R_{-5^{\circ}\text{C}} = -0.879$, $R_{-10^{\circ}\text{C}} = -0.872$, $P < 0.01$)。说明不同温度胁迫下,香椿茎部可溶性糖含量变化与抗寒性强弱呈显著的正相关关系。

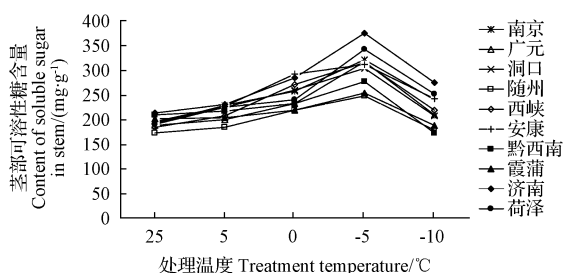


图3 低温胁迫下不同种源香椿可溶性糖含量的变化

Fig. 3 Change of soluble sugar content in stem of *Toona sinensis* from different provenances under low-temperature stress

2.2.2 低温胁迫下不同种源香椿茎部脯氨酸含量的变化与抗寒性

由图4可以看出,茎部脯氨酸含量的变化规律基本一致。常温下各种源含量较低。在 5°C 锻炼结束后和 0°C 低温下,茎部脯氨酸含量均大幅升高。 -5°C 低温胁迫下,不同种源香椿苗木茎部脯氨酸含量均达到试验处理的最大值。茎部在 -10°C 低温胁迫下,脯氨酸含量虽显著低于 -5°C 下的水平,但仍高于 5°C 下的水平。方差分析表明,相同胁迫温度不同种源香椿茎部脯氨酸含量达差异极显著水平($P < 0.001$)。黔西南、霞蒲

等南方种源增幅较小,北方种源增幅较大。相关分析表明,茎部脯氨酸含量在各低温水平下,皆与其低温半致死温度呈极显著负相关关系(相关系数 $R_{5^{\circ}\text{C}} = -0.828$, $R_{0^{\circ}\text{C}} = -0.917$, $R_{-5^{\circ}\text{C}} = -0.973$, $R_{-10^{\circ}\text{C}} = -0.877$, $P < 0.01$)。说明不同温度胁迫下,香椿茎部脯氨酸含量变化与抗寒性强弱呈显著的正相关关系。

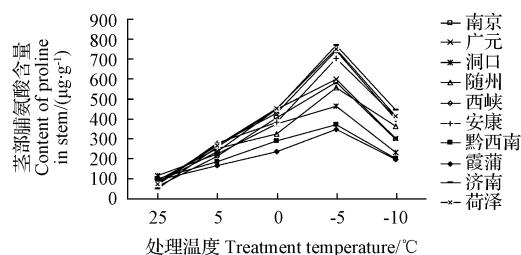


图4 低温胁迫下不同种源香椿茎部脯氨酸含量的变化

Fig. 4 Change of proline content in stem of *Toona sinensis* from different provenances under low-temperature stress

3 结论与讨论

研究结果表明,低温胁迫下,不同种源香椿苗木茎部含水量、自由水含量降低,自由水/束缚水比值也降低,除个别胁迫温度外,这三者与其低温半致死温度呈正相关关系;而束缚水含量与其各自的低温半致死温度呈负相关关系。

在低温胁迫下香椿苗木含水量逐渐下降,从而提高了细胞液的浓度,也提高了抗寒性。该试验研究中,在 5°C ~ -5°C 范围内,各个种源香椿苗木茎部含水量、自由水含量、自由水/束缚水比值随温度的降低而降低,束缚水含量却随温度的降低而升高。而 -10°C 低温胁迫下并没有随着温度的降低而出现降低趋势。这与其低温半致死温度是一致的,该研究中香椿苗木茎部最低半致死温度为 -7.94°C ,说明1年生香椿苗木对 -10°C 低温的抗性较差。

低温下植株中可溶性糖的积累可以降低细胞水势,增强持水力。植物细胞内可溶性糖含量高,可以增加原生质浓度,降低细胞内含物的冰点,从而起到抗脱水作用及减少细胞内结冰的概率,对原生质、冻敏感蛋白质、偶联因子等起到保护作用^[6]。

大量研究^[7-12]表明,在多数植物中可溶性糖含量与抗寒性表现出正相关关系,该研究与前人的结论一致,不同种源香椿苗木皆可通过提高可溶性糖含量来增加抗寒性。 -10°C 低温胁迫下可溶性糖含量增加幅度明显小于 0°C 和 5°C 下的水平,与束缚水含量的变化趋势一致,进一步说明1年生香椿苗木对 -10°C 低温的抗性较差。

逆境条件下游离脯氨酸的积累及其功能已有许多

报道^[13-17]。大量研究认为在植物低温胁迫下脯氨酸的大量积累是对低温的适应性反应。Jackson 等^[18]发现自然越冬过程中皱溪菜中脯氨酸含量随温度的下降而降低,认为植物在逆境胁迫下游离脯氨酸积累可能是对低温胁迫的一种适应,也可能是细胞结构和功能受损的一种表现。

该研究认为,低温胁迫下不同种源香椿脯氨酸含量升高,并与其低温半致死温度呈显著负相关关系,因而,脯氨酸是香椿的一种渗透调节物质,能调节细胞膜的稳定性、维持细胞水分平衡,甚至有冰冻保护作用。在-10℃低温下,脯氨酸含量增加缓慢,这预示着伤害的加重和细胞活性的丧失。

参考文献

- [1] 吴能表,吴峻岩,朱利泉,等. 低温对甘蓝逆境生理指标和蛋白质磷酸化的影响[J]. 园艺学报,2003,30(5):530-534.
- [2] 王小华,庄南生. 脯氨酸与植物抗寒性的研究进展[J]. 中国农学通报,2008,24(11):398-402.
- [3] Dorffling K, Dorffling H, Less L D. *In vitro* selection and regeneration of hydroxylprine-resistant lines of winter wheat with increased proline content and increased frost tolerance[J]. Journal of Plant Physiology, 1993, 142(2): 222-225.
- [4] 郝建军,刘延吉. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2001.
- [5] 王晶英,敖红,张杰,等. 植物生理生化实验技术与原理[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,2003.
- [6] 刘祖棋,张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京:中国农业出版社,1994:43-44.
- [7] 郑元,杨途熙,魏安智,等. 低温胁迫对仁用杏几个抗寒生理指标的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(1):163-167.
- [8] 林艳,郭伟珍,徐振华,等. 大叶女贞抗寒性及冬季叶片丙二醛和可溶性糖含量的变化[J]. 中国农学通报,2012,28(25):68-72.
- [9] 亓白岩,周冬琴,於朝广,等. 8种含笑属植物的抗寒性研究[J]. 江苏农业科学,2010(5):258-263.
- [10] 艾鹏飞,金晓静,靳占忠,等. 仁用杏抗寒性生理指标评价的研究[J]. 河北科技大学学报,2013,34(1):48-53,59.
- [11] 薛香,吴玉娥,郜庆炉,等. 不同类型小麦品种的主要抗寒性生理指标[J]. 贵州农业科学,2011,39(7):68-70.
- [12] 王勇,乔永胜,梅霞,等. 不同低温下核桃枝条抗寒性生理生化指标分析[J]. 中国农学通报,2013,29(10):40-44.
- [13] 李勃,刘成连,杨瑞红,等. 樱桃砧木抗寒性鉴定[J]. 果树学报,2006,23(2):196-199.
- [14] 罗丹,张喜春,田硕,等. 低温胁迫对番茄幼苗脯氨酸积累及其代谢关键酶活性的影响[J]. 中国农学通报,2013(16):90-95.
- [15] 姜慧,李永荣,徐迎春,等. 10个香橼半同胞家系子代苗抗寒性研究[J]. 林业科技开发,2012,26(2):36-41.
- [16] 郭爱华,陈钰,姚月俊,等. 杏品种抗寒性主成分分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2007,27(3):234-237.
- [17] 陈钰,郭爱华,姚延涛,等. 杏品种花蕾细胞膜透性和脯氨酸含量与抗寒性的关系[J]. 云南农业大学学报,2008,23(2):211-214.
- [18] Jackson A E, Seppelt R D. The accumulation of proline in *Prasiola crispata* during winter in Antarctica[J]. Physiologia Plantarum, 1995, 94:25-30.

Study on Cold Tolerance of Stems of *Toona sinensis* Seedlings from Different Provenances

YANG Yu-zhen¹, CHEN Gang¹, PENG Fang-ren², WANG Guo-xia¹, LUO Qing¹, MA Xiao³

(1. Department of Life Sciences, Zhengzhou Normal University, Zhengzhou, Henan 450044; 2. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037; 3. Department of Environment Artistic Engineering, Henan Vocational and Technical College, Zhengzhou, Henan 450046)

Abstract: Taking one-year-old *Toona sinensis* seedlings from 10 different provenances as materials, moisture content, free water content, bound water content, the ratio of free water to bound water and soluble sugar content, proline content of stems of *Toona sinensis* were analyzed. The results showed that moisture content, free water content and the ratio of free water to bound water reduced in five degree centigrade to five degree centigrade below zero. The bound water content, soluble sugar content, proline content increased in the same conditions. The results indicated that the contents of indicators and half lethal temperature showed (significantly) negative correlation.

Keywords: *Toona sinensis* Roem; provenances; stem; cold resistance; matter of osmotic adjustment