

文章编号: 1001-1498(2008)05-0697-05

离体毛竹笋纤维素和木质素含量及 POD和 PAL活性研究

吴晓丽, 顾小平, 苏梦云, 岳晋军

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

摘要:研究了离体后毛竹笋纤维素、木质素含量以及苯丙氨酸解氨酶(PAL)、过氧化物酶(POD)活性的变化。结果显示:笋体纤维素、木质素含量从笋尖到笋基部逐渐增加;PAL、POD活性笋尖明显高于笋基部。离体后贮藏的竹笋纤维素、木质素含量随贮藏时间的延长而增加,在前5d纤维素的增加速度极快,在后5d增加速度明显趋缓,但木质素含量随贮藏时间的延长基本呈匀速态势增加;POD、PAL活性随贮藏时间的延长,活性均显著增加。对离体竹笋进行低温处理(4℃)可显著降低竹笋的PAL、POD活性,减少木质素和纤维素合成,低温对纤维素的影响高于木质素。

关键词:竹笋;纤维素;木质素;苯丙氨酸解氨酶;过氧化物酶

中图分类号: S795.7

文献标识码: A

Study on Contents of Cellulose, Lignin and Activities of POD, PAL in Excised Bamboo Shoots of *Phyllostachys edulis*

WU Xiao-li, GU Xiao-ping, SU Meng-yun, YUE Jin-jun

(Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

Abstract: The contents of cellulose, lignin and activities of POD, PAL in excised bamboo shoots of *Phyllostachys edulis* were studied. The result showed that in excised bamboo shoots from top part to base part, the contents of cellulose and lignin increased gradually, while the activities of POD and PAL on top part of shoot was more than that of base part. Along with prolongation of the storage time, the contents of cellulose and lignin increase rapidly. In the first 5 days cellulose increase rapidly, in the second 5 days it becomes to slow down apparently. But the lignin content increased in a even speed during the storage time. At the same time the activities of POD and PAL increased significantly with the storage time. Bamboo shoots treated by low temperature (4℃) showed that low temperature could decrease the activities of POD and PAL significantly, as well as decrease the contents of cellulose and lignin significantly. The influence of low temperature for cellulose was bigger than that for lignin.

Key words: bamboo shoot; cellulose; lignin; PAL; POD

我国现有竹林面积约 440 万 hm^2 , 每年笋产量达 160 万 $\text{t}^{[1]}$ 。由于竹笋采收季节较短, 高峰期大量鲜笋如果不能及时加工、销售, 在常温下保存往往短时间内便会老化, 失去商品、食用价值, 给竹农和销

售商造成损失。因此, 采后竹笋的保鲜一直受到高度重视。已有的研究认为, 离体后竹笋的木质化是竹笋老化的主要原因^[2-3], 并对采后竹笋的木质素形成与有关酶的关系进行了研究。

收稿日期: 2007-02-02

基金项目: 国家“十一五”科技支撑子课题(2006BAD19B0303)和国家林业局中试项目(QT2005-34K)资助

作者简介: 吴晓丽(1959—), 女, 浙江东阳人, 副研究员, 主要从事微生物工程研究。

在实际生产和生活中,尤其在竹笋的烹饪和食用中人们可以明显感到,贮藏后的竹笋和新采挖的鲜笋相比,不仅鲜味丧失,苦涩味增加,而且食用和咀嚼时可以感到粗纤维明显增加,影响口感。因此采后竹笋的老化,除木质化外,纤维化应该也是重要原因之一。

本文对离体后毛竹 (*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie) 笋的纤维素和木质素含量的动态变化及有关酶活性进行了研究,同时探讨低温对纤维素和木质素及酶活性的影响,以期对竹笋贮藏保鲜提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验竹笋采自本所毛竹试验林,于 2004 年 4 月 14 日选取长约 30 cm,直径约 6 cm 的无病虫害竹笋。除首日需分析测定的外,其余的笋分成 2 组,每组 10 支,一组存放在 4℃ 冷藏箱中,另一组放在室内 (20℃),5 d 和 10 d 后,分别取样进行分析。

将毛竹笋剥离笋箨,切除非可食部分后,横向平均分成 4 等份,按笋尖、中₁、中₂和笋基分别进行不同部位的测定,重复 3 次。

1.2 分析方法

纤维素含量测定:参照别洛杰尔斯基 A H 等^[4]

方法和 Southgate 方法^[5],略加修改。将待测样品制成干样,用 3% HCl 在沸水浴中水解 3 h,用尼龙布过滤,滤渣在 50℃ 下风干,再用 70% H₂SO₄ 在室温下浸泡 24 h,然后抽滤,收取滤液,滤渣用水冲洗 4 次,将收集的滤液合并、中和、定容,用蒽酮法测糖,乘以 0.9 折算成纤维素含量。

木质素含量测定:将按上述方法提取纤维素后的残渣用乙醇洗 1 次,乙醚洗 2 次后移入坩锅中,除去溶剂,于 100℃ 下烘干至恒质量,再移入 500℃ 高温炉灰化,称质量。前后质量之差为木质素含量^[5]。

过氧化物酶 (peroxidase, POD) 活性测定:按华东师范大学生物系植物生理教研组方法^[6],以每组中光密度变化 0.01 为 1 个酶活性单位 (U)。

苯丙氨酸解氨酶 (phenylalanine ammonia lyase, PAL) 活性测定:根据薛应龙^[7]的方法,以光密度变化 0.01 为 1 个酶活性单位 (U)。

2 结果与分析

2.1 毛竹笋不同部位纤维素、木质素含量及 POD、PAL 活性比较

对毛竹笋不同部位进行测定,其方差分析结果见表 1:毛竹笋纤维素、木质素含量和 POD、PAL 活性在不同部位的差异均达到了极显著水平。

表 1 毛竹笋不同部位纤维素、木质素含量和 POD、PAL 活性的方差分析

项目	误差来源	自由度	离差平方和	均方	F 值	F
纤维素含量	组间	3	1 408.45	469.48	988.38**	$F_{0.01} = 7.59$
	组内	8	3.85	0.475		
	总变异	11				
木质素含量	组间	3	881.05	293.68	74.53**	
	组内	8	31.49	3.94		
	总变异	11				
POD 活性	组间	3	8.770	2.923	139.19**	
	组内	8	0.166	0.021		
	总变异	11				
PAL 活性	组间	3	168.79	56.263	750**	
	组内	8	0.6	0.075		
	总变异	11				

注:表中 ** 表示差异极显著,表 3 同。

由表 2 的多重比较可以看出:除纤维素含量和 PAL 活性在笋基部和靠近笋基的中₂之间差异不显著外,其余均达到了显著或极显著水平。笋体纤维素、木质素含量从笋尖到笋基部逐渐增加,分别从 61.71 mg·g⁻¹和 62.96 mg·g⁻¹增加到 88.24 mg·g⁻¹和 86.45 mg·g⁻¹,同时各个部位纤维素、木质素含量数值比较接近;而 PAL、POD 活性则是笋尖明显

高于笋基部。

2.2 离体毛竹笋纤维素、木质素含量及 POD、PAL 活性变化

对离体后在室温 (20℃) 下存放 5 d 和 10 d 的毛竹笋进行纤维素、木质素含量及 POD、PAL 活性测定,方差分析均显示出不同存放时间下的极显著差异 (表 3)。

表 2 毛竹笋不同部位纤维素、木质素含量和 POD、PAL 活性的多重比较

项目	部位	平均值	笋尖	笋中 ₁	笋中 ₂	笋基部
纤维素含量 / (mg · g ⁻¹)	笋尖	61.71				
	笋中 ₁	74.29	12.58**			
	笋中 ₂	87.25	25.54**	12.96**		
	笋基部	88.24	26.53**	13.95**	0.99	
木质素含量 / (mg · g ⁻¹)	笋尖	62.96				
	笋中 ₁	72.53	9.57**			
	笋中 ₂	79.66	16.70**	7.13**		
	笋基部	86.45	23.46**	13.92**	6.79**	
POD 活性 / (u · g ⁻¹ · min ⁻¹)	笋尖	25.95				
	笋中 ₁	25.65	-0.30*			
	笋中 ₂	24.45	-1.50**	-1.20**		
	笋基部	23.86	-2.09**	-1.79**	-0.59**	
PAL 活性 / (u · g ⁻¹ · min ⁻¹)	笋尖	14.38				
	笋中 ₁	12.56	-1.82**			
	笋中 ₂	6.27	-8.11**	-6.29**		
	笋基部	5.90	-8.48**	-6.66**	-0.37	

注:采用的是 SSR 检验方法, **表示 P < 0.01 检验差异极显著, *表示 P < 0.05 检验差异显著,表 4 同。

表 3 毛竹笋离体不同时间纤维素、木质素含量和 POD、PAL 活性的方差分析

项目	误差来源	自由度	离差平方和	均方	F 值	F
纤维素含量	组间	2	8 419.09	4 209.55	16 316.09**	
	组内	6	1.55	0.26		
	总变异	8				
木质素含量	组间	2	3 410.06	1 705.03	315.16**	
	组内	6	32.45	5.41		
	总变异	8				F _{0.01} = 10.92
POD 活性	组间	2	9 481.36	4 740.68	105 348.44**	
	组内	6	0.27	0.045		
	总变异	8				
PAL 活性	组间	2	355.74	177.87	1 872.32**	
	组内	6	0.57	0.095		
	总变异	8				

如表 4 所示:随着竹笋离体时间的延长纤维素、木质素含量显著增加,离体后 5 d 和 10 d 的竹笋,其纤维素分别增加了 89.5% 和 94.8%,木质素分别增加了 27.6% 和 60.6%,显示竹笋离体后纤维素含量增加远高于木质素,尤其是离体后前 5 d,纤维素含量增加非常迅速,5 d 后增加速率明显降低。PAL、POD 活性测定显示,竹笋离体后其活性仍持续增长,并表现出极显著差异。

2.3 不同温度对离体毛竹笋纤维素、木质素含量及 POD、PAL 活性的影响

将竹笋分别放在 4 冷藏箱中和室温条件下(20)贮藏,再分别于当天、5 d 和 10 d 取样测定,研究低温对竹笋纤维素、木质素含量及 POD、PAL 活性的影响(图 1~4)。

表 4 毛竹笋离体不同时间纤维素、木质素含量和 POD、PAL 活性的多重比较

项目	离体时间	平均值	当天	5 d	10 d
纤维素含量 / (mg · g ⁻¹)	当天	70.37			
	5 d	133.35	62.98**		
	10 d	137.11	66.74**	3.76**	
木质素含量 / (mg · g ⁻¹)	当天	75.40			
	5 d	96.18	20.78**		
	10 d	121.12	45.72**	24.94**	
POD 活性 / (u · g ⁻¹ · min ⁻¹)	当天	24.95			
	5 d	87.82	62.87**		
	10 d	98.13	73.18**	10.31**	
PAL 活性 / (u · g ⁻¹ · min ⁻¹)	当天	9.78			
	5 d	15.42	4.64**		
	10 d	25.01	15.23**	10.59**	

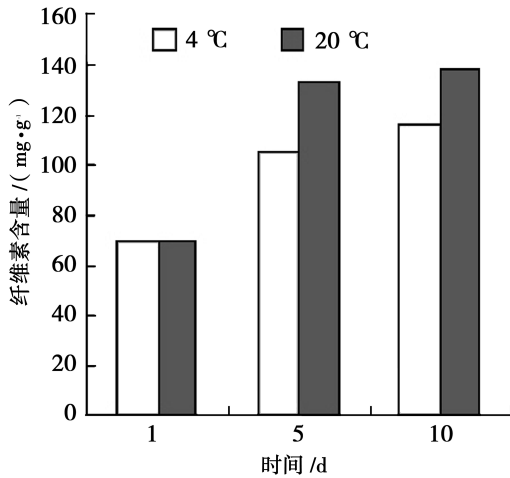


图 1 不同温度对离体竹笋纤维素含量的影响

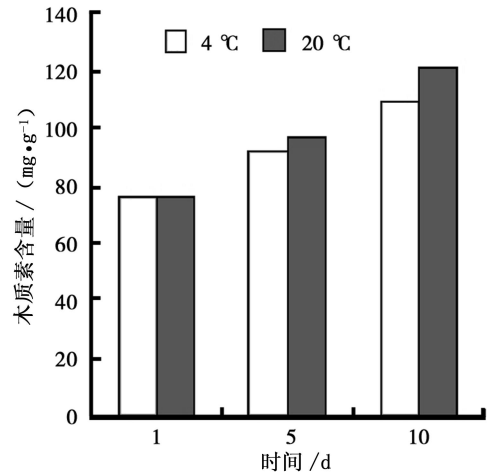


图 2 不同温度对离体竹笋木质素含量的影响

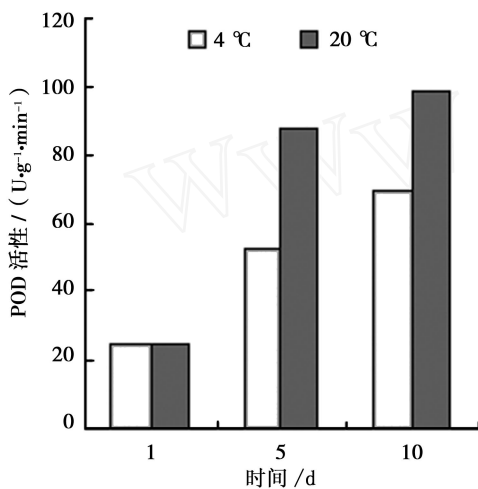


图 3 不同温度对离体竹笋 POD 活性的影响

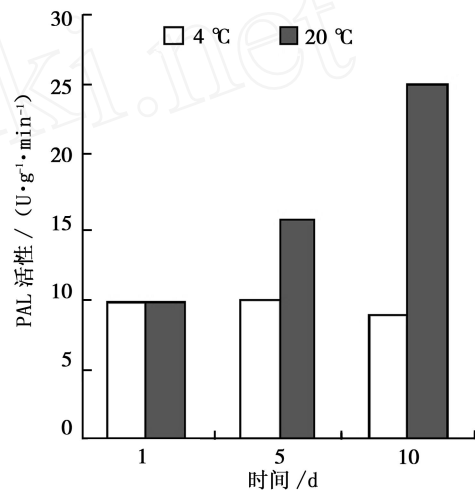


图 4 不同温度对离体竹笋 PAL 活性的影响

图 1 显示:虽然竹笋离体后纤维素含量依然增长,但 4 贮藏 5 d 和 10 d 后其纤维素含量比常温处理 (20 °C) 降低 21% 和 15%, 具有明显差异。图 2 显示:虽然竹笋离体后木质素含量依然增长,但 4 贮藏 5 d 和 10 d 后其木质素含量比常温处理 (20 °C) 降低 5% 和 10%, 同样差异明显。相比较而言,竹笋离体后纤维素的增长更快,低温对纤维素的抑制作用高于木质素。图 3 显示:竹笋离体后 POD 活性在常温下迅速增长,但 4 贮藏 5 d 和 10 d 后 POD 活性比常温处理 (20 °C) 降低 40% 和 64%。图 4 显示:竹笋离体后 PAL 活性迅速增长,但 4 贮藏 5 d, PAL 活性仅有微小增长,随后略微下降。说明低温可以抑制 POD、PAL 活性,但本研究显示低温对 POD、PAL 活性的影响远高于对木质素合成的影响。

3 小结与讨论

木质素和纤维素是植物细胞壁的主要组成成分之一^[8],植物木质化是木质素在植物细胞壁积累的结果^[9]。研究证实, PAL 是木质素生物合成中的关键酶,主要催化苯丙氨酸转化为肉桂酸^[10],而 POD 则在木质素生物合成中通过催化 H₂O₂ 分解而使木质素单体发生聚合反应形成木质素^[10-12]。本研究显示,竹笋在贮藏过程中木质素含量增加并伴随着 PAL、POD 活性增加,这和花哺鸡竹 (*Phyllostachys glabrata* S. Y. Chen et C. Y. Yao) 的研究结果类似^[2],说明竹笋离体后的老化和木质化是与 PAL、POD 活性增高相关的,但本研究显示低温对 POD、PAL 活性的影响远高于对木质素合成的影响,有待

于进一步探讨。

已有的研究认为^[13],竹笋的生长是居间分生组织经过细胞分裂、分化、伸长和老化,实现竹笋的节间生长。同一竹种不同竹龄的竹材中纤维素相对含量随竹龄增加而减小,木质素相对含量随竹龄增加而增加。如毛竹竹材中纤维素含量,嫩竹为 75%,1 年生竹仅为 66%;湘妃竹 (*Phyllostachys bambusoides* Sieb. et Zucc. f. *lacrima-deae* Keng f. et Wen) 中木质素含量,嫩竹为 15.84%,老竹为 39.51%。因此,作者认为,笋期竹子居间分生组织的细胞分裂、分化、伸长主要是纤维细胞的快速增殖和生长,当纤维细胞的增殖和生长停止后,竹子的高生长也随着停止,竹笋中细胞的生长便转为以木质化生长为主,以增加细胞厚度,增强竹材强度。试验显示,竹笋采后纤维素含量明显增加并显著高于木质素,尤其是采后 5 d 内的纤维化速度非常快,进一步说明笋期竹笋的纤维化强于木质化,即使竹笋离体后由于仍保持着一定的生理活性,纤维化速度仍相当强。由此可以推论,离体后竹笋的老化不仅表现为木质化,纤维化在离体初期可能是更主要的原因之一。试验得出低温处理能明显降低竹笋纤维素、木质素含量,为竹笋保鲜提供了有益的启示。因此,研究竹笋居间分生组织的细胞分裂、分化和纤维化机理,降低纤维细胞的增殖和生长速度,减缓竹笋的纤维化进程,对竹笋保鲜具有更重要的意义。

参考文献:

- [1] 裘福庚,丁兴萃,张立钦.竹笋保鲜研究和生产实践[J].竹子研究汇刊,1995,14(1):63-72
- [2] 席屿芳,罗自生,程 度,等.竹笋采后木质素与多酚氧化酶、过氧化物酶和苯丙氨酸解氨酶活性的关系[J].植物生理学通讯,2001,37(4):294-295
- [3] 余学军,陈庆虎,吴家森,等.保鲜处理对高节竹笋采后生理的影响[J].竹子研究汇刊,2004,23(1):46-48,58
- [4] 别洛杰尔斯基,普洛斯库利亚科夫.植物生物化学实验指导[M].曹宗巽,等译.北京:高等教育出版社,1956:46-57
- [5] 翟永信.现代食品分析手册[M].北京:北京大学出版社,1998:272-277
- [6] 华东师范大学生物系植物生理教研组.植物生理学实验指导[M].北京:人民教育出版社,1982:143-144
- [7] 薛应龙.植物生理学实验手册[M].上海:上海科学技术出版社,1982:191-192
- [8] 颜景琼,张孝琪,龙 程.高等植物细胞壁的结构和功能的分子生物学基础[M]/余叔文,汤章城.植物生理与分子生物学(2版).北京:科学出版社,1998:366-389
- [9] 丛 斌,杨茂成,粟 波,等.小麦根尖细胞分化过程中木质素合成及其相关酶的活性变化[J].复旦学报:自然科学版,1997,36(5):550-554
- [10] 陈晓亚.植物次生代谢及调控[M]/余叔文,汤章城.植物生理与分子生物学(2版).北京:科学出版社,1998:390-401
- [11] 贺立红,张进标,宾金华.苯丙氨酸解氨酶的研究进展[J].食品科技,2006,31(7):31-34
- [12] 杨顺楷,杨亚力,杨维力.苯丙氨酸解氨酶(PAL, EC4.3.1.5)反应机理研究新进展[J].生物加工过程,2004,2(4):1-5
- [13] 江泽慧.世界竹藤[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2002