

剥皮处理对杜仲树干生长 及叶片内 3 种保护酶活性的影响

程娜¹, 王鸿耀², 彭少兵¹, 董娟娥^{1,①}

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省略阳县国有西淮坝林场, 陕西 略阳 724300)

摘要: 对经过不同剥皮量(50%、75%和100%)处理后116 d内杜仲(*Eucommia ulmoides* Oliv.)叶片的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)活性及树干地径和树干直径的变化进行了分析比较。结果表明,经过剥皮处理后,杜仲叶片的SOD、CAT和POD酶活性均高于对照,不同酶活性的峰值随剥皮量的不同而有差异,其中剥皮量为100%的杜仲叶片3种酶活性的峰值最高;在116 d的生长期,杜仲叶片3种酶的活性均在剥皮后14 d内达到最高值,在实验末期接近对照水平;不同剥皮量对杜仲树干的直径和直径均有一定的影响,其中75%和50%的剥皮量对树干地径和树干直径生长的影响较小。研究结果说明,剥皮处理对杜仲植株有一定程度的伤害,但经过一定时期的生长,这种伤害能得到修复;在实际生产中杜仲树干采用75%剥皮量,可以达到经济效益最大化和保护杜仲资源的双重目的。

关键词: 杜仲; 剥皮; 保护酶活性; 树干地径; 树干直径

中图分类号: Q554; S567.1.099 文献标志码: A 文章编号: 1004-0978(2009)01-0061-06

Effects of girdling on trunk growth and activities of three protective enzymes in leaf of *Eucommia ulmoides* CHENG Na¹, WANG Hong-yao², PENG Shao-bing¹, DONG Juan-e^{1,①} (1. Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling 712100, China; 2. Xihuaiba National Forest Farm of Lueyang County in Shaanxi Province, Lueyang 724300, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2009, 18(1): 61-66

Abstract: Activities of SOD, CAT and POD in leaf and changes of ground diameter and trunk diameter of *Eucommia ulmoides* Oliv. in 116 days after trunk girdled (50%, 75% and 100% girdling amount) were analyzed. The results show that activities of SOD, CAT and POD in leaf of the girdled trees of *E. ulmoides* are higher than that of the control group, and the peak values of enzyme activity of different treatment groups are various with different girdling amounts, and the peak value of the three enzyme activities in the treatment group of 100% girdling amount of *E. ulmoides* is the highest. During the growth period (116 d) after girdled, the activities of the three enzymes in *E. ulmoides* leaf all reach peak value at 14 d, and decline to the level of the control group at the end of experiment. The different girdling amounts also have some effects on the ground diameter and trunk diameter of *E. ulmoides* tree, in which the effects of 75% and 50% girdling amount are smaller. It is concluded that girdling treatment does injury to *E. ulmoides* in some degree, but after growth of a certain period, the injury will be repaired. In practical production, using 75% girdling amount to *E. ulmoides* is an optimal measure, which can achieve the purpose of maximizing economic benefit and protecting *E. ulmoides* resources.

Key words: *Eucommia ulmoides* Oliv.; girdling; activity of protective enzyme; ground diameter of trunk; trunk diameter

收稿日期: 2008-06-16

基金项目: 中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(2005DF02); 国家科技支撑计划项目(2006BAD18B03)

作者简介: 程娜(1981—), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要研究方向为植物资源保护与利用。

①通讯作者 E-mail: dje009@126.com

一般情况下,外界环境对植物体的伤害程度与一定条件下植物体内活性氧累积导致膜脂过氧化而引起的膜伤害有关^[1-3]。自由基伤害学说认为,正常情况下,植物细胞中存在着自由基及活性氧的产生和清除两个过程。在逆境中,植物细胞内自由基的代谢平衡受到破坏从而产生自由基,过剩的自由基能引发和加剧植物细胞的膜脂过氧化,造成细胞膜系统的损伤。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)等是植物酶促防御系统(即保护酶系统)的重要组成成分,能够有效地清除植物细胞内的自由基。目前,人们应用自由基理论对胁迫环境中植物生理指标的变化进行了研究^[4-6],SOD、CAT和POD等保护酶活性的改变已成为评价植物抗逆性的重要指标。

杜仲(*Eucommia ulmoides* Oliv.)的树皮是名贵的中药材之一,已有悠久的历史。但由于过去一直采用伐木的方式获取杜仲树皮,导致其资源日趋匮乏。从1975年大面积环剥试验成功开始^[7],研究者们对杜仲剥皮技术的研究逐渐深入,涉及剥皮部位的选择、剥皮后保护措施技术的应用、影响剥皮再生的条件、剥皮再生的机理、剥皮对再生林木生产的影响以及新皮再生过程中病虫害的发生和防治等各个方面^[8-15],而有关剥皮量对生长期内杜仲生长与生理变化的影响研究尚属空白。

作者通过对杜仲树干进行不同程度的剥皮处理,研究了剥皮后杜仲在生长期内叶片中保护酶活性的变化规律和植株生长量变化的差异,并探讨了杜仲剥皮的生理机制,确定了杜仲树干的最佳剥皮量,为杜仲树皮的可持续利用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

实验位于西北农林科技大学教学实验苗圃的杜仲优树汇集圃内。选择高约5 m、胸径约5 cm,生长状况一致且无病虫害的12年生杜仲植株为实验材料,分株标号。

1.2 方法

1.2.1 杜仲剥皮处理的方法 采用随机区组实验设计。于2007年6月下旬在晴天上午7:00,分别按照树干周长的50%、75%和100%对供试杜仲进行环剥。剥皮处理后,立即用洁净的薄膜包裹整

个树干,以免雨水和微生物侵入剥皮处;剥皮后约3 d切口处呈现淡黄绿色,表明已形成愈伤组织;1个月后将塑料薄膜剥去,以利于木栓层细胞的栓质化。剥皮部位从树干基部距地面10 cm处开始直到树干上端距分叉10 cm处为止。每一剥皮量处理设置3个重复,对照植株不进行剥皮处理。

1.2.2 酶活性的测定方法 分别于剥皮处理后的0、3、7、14、21、36、41、56、86和116 d,在距离地面1.2~1.7 m的树冠上,分东、南、西、北4个方位于枝条中部各采集叶片4~8片,立即密封于塑封袋内并标号,装入冰盒中带回实验室,迅速用冰水清洗表面的灰尘,吸干水分后,置于-10℃冰箱中保存、备用。

称取各样品叶片0.25 g,置于冷冻后的研钵中,在冰浴条件下按文献[16]的方法迅速加入5 mL酶提取缓冲液,充分研磨至匀浆,在4℃条件下,于12 000 r·min⁻¹离心15 min,取上清液进行酶活性测定。SOD活性测定采用氮蓝四唑还原法^{[16]198-199},CAT活性测定采用紫外吸收法^{[16]192-193},POD活性测定采用愈创木酚显色法^{[16]194-195}。

1.2.3 树干地径和树干直径的测定方法 分别在杜仲剥皮处理后的7、21、41、86和116 d,利用游标卡尺测量杜仲剥皮植株的地径和树干直径,即用游标卡尺在距地面5 cm树干处的不同方向分别测量地径,重复3次;在树干分叉处以下5 cm树干处的不同方向分别测量树干直径,重复3次。杜仲植株的地径和树干直径取3次测定的平均值。

1.3 数据处理

采用DPS 6.85数据分析软件对实验数据进行处理和分析;采用Duncan's新复极差法对不同剥皮处理组各指标间的差异性进行分析,并进行显著性检验^[17]。

2 结果和分析

2.1 剥皮处理对杜仲叶片中SOD、CAT和POD活性的影响

2.1.1 对SOD活性的影响 不同剥皮量对生长期内杜仲叶片SOD活性的影响见表1。

由表1可见,经过剥皮处理的杜仲植株叶片的SOD活性在大部分时间都显著高于对照组,且随着剥皮量的提高而显著增加,但剥皮量为50%和75%

的2个处理组杜仲叶片的SOD活性间无显著差异。剥皮后第3天,剥皮量为50%和100%的2个处理组杜仲植株叶片的SOD活性与对照差异显著,而剥皮量为75%的处理组则与对照差异不显著;在剥皮后的第7天,各处理组杜仲叶片的SOD活性与对照无显著差异;在剥皮后第14天,各处理组杜仲叶片的SOD活性均达到最大值,并显著高于对照,其中剥皮量为100%的杜仲植株叶片的SOD活性最高($2\,496.0\text{ U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$),剥皮量为75%和50%的杜仲植株叶片的SOD活性分别为 $1\,423.0$ 和 $1\,046.0\text{ U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$,明显低于剥皮量为100%的杜仲植株。

差异显著性分析结果(表1)表明,剥皮14 d后,随着剥皮量的增加,杜仲体内SOD的活性显著升高,剥皮量为100%的杜仲植株的SOD活性显著高于剥皮量为75%和50%的杜仲植株,且这种差异一直持续到剥皮后的第56天。剥皮后的第21天至第56天,各处理组杜仲叶片的SOD活性几乎均与对照有显著差异。剥皮后的第86天和第116天,各处理

组杜仲叶片的SOD活性均与对照无显著差异。

上述实验结果表明,虽然剥皮量不同,但经过剥皮处理后,杜仲叶片的SOD酶均能正常启动,外部的机械损伤刺激导致杜仲体内的SOD活性增高,表明其抗氧化能力增强,能有效抑制活性氧的大量产生,削弱剥皮对杜仲树体造成的机械伤害。

实验中还观察到,剥皮处理后的杜仲植株经过一段时间的自身调节,植株能够恢复正常生长,且剥皮量为75%和50%的杜仲植株恢复生长比剥皮量为100%的杜仲植株快,这种现象可能与生长期SOD活性升高对剥皮杜仲的生理调节作用有一定的相关性。

由表1数据还可以看出,在剥皮处理后的初期(剥皮后7 d内),3个处理组杜仲植株的SOD活性并未显著升高,这一变化趋势可能与SOD活性对外部机械损伤刺激的应答滞后有关。在剥皮处理后的生长后期,各处理组杜仲植株的SOD活性逐渐降低且变化趋势平缓,这可能是由于杜仲的被动休眠期临近^[18]、生理活动开始变缓所致。

表1 不同剥皮量对杜仲叶片SOD活性的影响¹⁾

Table 1 Effect of different girdling amounts on SOD activity of *Eucommia ulmoides* Oliv. leaf¹⁾

时间/d Time	不同处理组的SOD活性/ $\text{U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ SOD activity of different treatment groups			
	对照 CK	50%剥皮量 50% girdling amount	75%剥皮量 75% girdling amount	100%剥皮量 100% girdling amount
0	299.5 ± 20.63 b	356.1 ± 15.67 a	327.6 ± 35.75 ab	348.5 ± 6.66 a
3	307.6 ± 17.67 b	279.4 ± 17.62 c	341.1 ± 10.38 bc	376.8 ± 45.15 a
7	285.4 ± 17.18 a	311.9 ± 31.07 a	321.1 ± 30.28 a	313.4 ± 47.94 a
14	211.4 ± 87.40 c	1 046.0 ± 93.64 b	1 423.0 ± 69.64 b	2 496.0 ± 93.63 a
21	189.6 ± 74.66 c	491.7 ± 12.73 b	753.0 ± 73.40 b	1 045.0 ± 12.37 a
36	265.0 ± 14.24 c	513.4 ± 35.54 ab	581.6 ± 82.04 a	347.9 ± 17.85 bc
41	282.7 ± 49.31 c	489.2 ± 36.04 b	495.6 ± 57.29 b	709.8 ± 17.96 a
56	294.1 ± 44.12 b	411.4 ± 36.61 a	455.5 ± 48.66 a	489.6 ± 31.65 a
86	301.0 ± 14.93 a	290.5 ± 3.84 a	333.1 ± 53.73 a	335.9 ± 52.34 a
116	194.4 ± 11.64 a	218.4 ± 43.78 a	208.9 ± 12.04 a	205.3 ± 63.68 a

¹⁾同行中不同的字母表示在5%水平上差异显著 Different letters in the same row indicate the significant difference at 5% level.

2.1.2 对CAT活性的影响 不同剥皮量对生长期杜仲叶片CAT活性的影响见表2。

由表2数据可知,经过不同程度的剥皮处理后,杜仲叶片的CAT活性均在剥皮后第7天达到峰值,虽然不同处理间杜仲叶片的CAT活性不同,但差异并不显著,其中剥皮量为100%的杜仲植株叶片的CAT活性最高($533.20\text{ U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$),而剥皮量为75%和50%的杜仲植株叶片的CAT活性则分别

为 448.50 和 $430.30\text{ U}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$,均明显高于对照;剥皮后第14天,各处理组杜仲叶片的CAT活性明显下降,但仍以剥皮量为100%的杜仲叶片的CAT活性最高。

差异显著性分析结果(表2)表明,剥皮后第21天,剥皮量为75%和50%的2个处理组杜仲叶片的CAT活性与对照无显著差异,但剥皮量为100%的杜仲叶片的CAT活性却与对照有显著差异;剥皮后第

36 天开始,3 个处理组杜仲叶片的 CAT 活性均与对照无显著差异。

以上实验结果说明,75% 和 50% 的剥皮量对杜仲植株生理代谢影响较小,植株恢复正常生长的速度较快。

CAT 能够与 SOD 协同反应,将细胞内由 SOD 等酶类清除活性氧时产生的 H_2O_2 转化成 H_2O ,使细胞内的活性氧维持在较低水平^[19]。剥皮后,杜仲叶片 CAT 活性的升高可能与剥皮处理引起的杜仲细胞膜损伤并导致细胞内活性氧含量增加有关。

2.1.3 对 POD 活性的影响 POD 广泛存在于植物体中,与呼吸作用、光合作用及生长素的氧化等代谢过程相关,并与 SOD 和 CAT 协同作用防止细胞膜脂过氧化。不同剥皮量对生长期内杜仲叶片 POD 活

性的影响见表 3。

由表 3 可见,各处理组杜仲叶片 POD 活性的最高值出现在剥皮后第 7 天,与经过剥皮处理后杜仲叶片 CAT 活性最高值的出现时间一致;从剥皮处理后的第 7 天开始,不同剥皮量对杜仲叶片的 POD 活性均产生了一定的影响,且剥皮量越大 POD 活性的峰值越高,剥皮量为 100% 的杜仲植株叶片 POD 活性显著高于剥皮量为 50% 和 75% 的杜仲植株,其中,剥皮量为 100% 的杜仲植株叶片的 POD 活性最高值达到 $610.00 U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$,剥皮量为 75% 和 50% 的杜仲植株叶片的 POD 活性最高值分别为 447.60 和 $424.80 U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$,均明显高于对照组的最高值($56.09 U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$)。

表 2 不同剥皮量对杜仲叶片 CAT 活性的影响¹⁾

Table 2 Effect of different girdling amounts on CAT activity of *Eucommia ulmoides* Oliv. leaf¹⁾

时间/d Time	不同处理组的 CAT 活性/ $U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$ CAT activity of different treatment groups			
	对照 CK	50% 剥皮量 50% girdling amount	75% 剥皮量 75% girdling amount	100% 剥皮量 100% girdling amount
0	12.13 ± 2.27 c	20.64 ± 2.72 b	14.07 ± 2.70 c	33.26 ± 4.14 a
3	23.76 ± 3.67 c	49.97 ± 2.82 b	29.13 ± 1.31 c	76.85 ± 9.50 a
7	22.75 ± 0.45 b	430.30 ± 60.48 a	448.50 ± 3.56 a	533.20 ± 29.83 a
14	19.94 ± 1.75 b	215.80 ± 2.99 ab	238.50 ± 9.62 a	347.70 ± 26.50 a
21	19.57 ± 1.93 b	19.80 ± 1.00 b	21.31 ± 3.65 b	25.82 ± 4.27 a
36	20.69 ± 1.42 a	18.60 ± 1.27 a	19.91 ± 3.09 a	17.45 ± 1.93 a
41	17.40 ± 0.92 a	18.61 ± 1.38 a	20.29 ± 2.71 a	18.76 ± 2.93 a
56	17.67 ± 0.26 a	17.99 ± 1.75 a	18.68 ± 0.83 a	18.66 ± 0.85 a
86	18.92 ± 1.07 a	19.13 ± 0.46 a	18.95 ± 0.89 a	19.20 ± 1.48 a
116	12.20 ± 0.37 a	11.85 ± 0.50 a	12.04 ± 0.92 a	11.21 ± 0.65 a

¹⁾ 同行中不同的字母表示在 5% 水平上差异显著 Different letters in the same row indicate the significant difference at 5% level.

表 3 不同剥皮量对杜仲叶片 POD 活性的影响¹⁾

Table 3 Effect of different girdling amounts on POD activity of *Eucommia ulmoides* Oliv. leaf¹⁾

时间/d Time	不同处理组的 POD 活性/ $U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$ POD activity of different treatment groups			
	对照 CK	50% 剥皮量 50% girdling amount	75% 剥皮量 75% girdling amount	100% 剥皮量 100% girdling amount
0	26.27 ± 1.16 b	40.35 ± 1.90 a	29.74 ± 3.31 b	36.54 ± 3.65 a
3	27.32 ± 4.20 c	39.91 ± 2.08 ab	35.24 ± 1.66 b	41.64 ± 2.53 a
7	22.84 ± 2.41 c	424.80 ± 19.80 b	447.60 ± 15.38 b	610.00 ± 3.91 a
14	24.10 ± 3.87 c	271.30 ± 8.49 b	279.70 ± 14.27 b	316.15 ± 16.14 a
21	29.37 ± 8.40 a	59.85 ± 18.65 a	22.37 ± 0.59 a	67.50 ± 4.27 a
36	14.16 ± 1.83 a	15.65 ± 1.63 a	20.48 ± 1.38 a	28.54 ± 3.29 a
41	17.86 ± 0.42 b	18.06 ± 0.069 b	18.81 ± 0.60 b	20.16 ± 1.63 a
56	18.62 ± 0.73 a	18.16 ± 0.34 a	118.90 ± 0.29 a	19.01 ± 1.59 a
86	20.03 ± 2.45 a	20.08 ± 1.62 a	19.83 ± 1.13 a	20.15 ± 2.03 a
116	56.09 ± 2.45 ab	57.83 ± 0.61 c	53.59 ± 1.68 b	48.82 ± 1.66 a

¹⁾ 同行中不同的字母表示在 5% 水平上差异显著 Different letters in the same row indicate the significant difference at 5% level.

从 POD 活性的变化趋势来看,对照组杜仲叶片的 POD 活性变化趋势平缓,而各处理组杜仲叶片的 POD 活性则随时间的延长波动较大。剥皮后第 21 天以后,各处理组的 POD 活性与对照差异不显著(剥皮后第 41 天除外),说明当受到外部不同程度的机械损伤时,杜仲植株能够在短时间内启动体内的保护酶系统,抵御外界刺激对自身造成的伤害。

由表 3 还可以发现,在剥皮处理后的 116 d 内,杜仲叶片的 POD 活性出现 2 次峰值,但第 2 次峰值(剥皮后第 116 天)较第 1 次低。由于杜仲叶片组织老化趋于脱落,而 POD 能够使细胞中所含的某些碳水化合物转化成木质素,增加木质化程度^[18],维持叶片的生理功能,因而 POD 活性再次出现峰值,这是杜仲叶片正常的生理反应。

2.2 剥皮处理对杜仲树干地径和树干直径生长的影响

剥皮后不同生长时期各处理组杜仲树干地径和树干直径见表 4 和表 5。

由表 4 和表 5 可见,与对照组相比,在剥皮后的 116 d 内,各剥皮处理组杜仲树干的直径和地径的生长较缓慢,主要原因是剥皮后树体营养供给的通道被切断,在一定程度上影响了树体的生长^[14]。但由于细胞保护酶体系的启动使杜仲植株具有了一定的自我调节能力,植株能够继续生长。在剥皮后的第 7 天至第 21 天和第 21 天至第 41 天 2 个时段内,杜仲树干的新皮有 2 次生长高峰,尤其是在第 7 天至第 21 天,杜仲树干新皮的生长较旺盛,在这 2 个时段中 3 个处理组杜仲树干的地径和直径的变化也较明显,但剥皮量为 100% 的杜仲植株树干的地径和直径的生长量明显低于剥皮量为 75% 和 50% 的杜仲植株,而后 2 个处理组杜仲树干的地径和直径的生长量相近,且与对照组差异不显著。

表 4 不同剥皮量对杜仲树干地径的影响

Table 4 Effect of different girdling amounts on ground diameter of *Eucommia ulmoides* Oliv. trunk

时间/d Time	不同处理组的地径/mm Ground diameter of different treatment groups			
	对照 CK	50% 剥皮量 50% girdling amount	75% 剥皮量 75% girdling amount	100% 剥皮量 100% girdling amount
7	2.37	2.09	1.97	1.88
21	5.24	4.75	4.73	4.31
41	6.41	6.34	6.33	6.17
86	7.24	7.08	7.09	6.63
116	7.81	7.38	7.32	6.76

表 5 不同剥皮量对杜仲树干直径的影响

Table 5 Effect of different girdling amounts on trunk diameter of *Eucommia ulmoides* Oliv.

时间/d Time	不同处理组的树干直径/mm Trunk diameter of different treatment groups			
	对照 CK	50% 剥皮量 50% girdling amount	75% 剥皮量 75% girdling amount	100% 剥皮量 100% girdling amount
7	1.90	1.86	1.86	1.75
21	4.34	4.12	4.24	4.06
41	5.62	5.15	5.28	4.96
86	6.65	6.00	5.97	5.68
116	6.85	6.19	6.02	5.72

在实验过程中还观察到,同一时期剥皮量为 100% 的杜仲植株的落叶程度高于其他处理组,说明 100% 的剥皮量能够对杜仲树干的生长造成较明显的伤害。因此,75% 及其以下的剥皮量对杜仲树干的伤害相对较小,是较为适宜的剥皮量。

3 讨论和结论

在正常生长状态下,植物细胞内自由基的产生和消除处于动态平衡状态,各种保护酶活性维持在一定的水平。外部的机械伤害可直接导致植物体内代谢紊乱及细胞内活性氧累积,并诱发膜脂过氧化反应,此时,活性氧的酶促与非酶促两大清除系统为了维持植物体内活性氧的动态平衡而开始发挥作用。SOD、POD 和 CAT 是植物酶促防御系统中重要的保护酶,其活性与植物抗氧化能力有关。每种植物对活性氧的耐受均有各自的阈值,在低于阈值情况下,植物的保护酶系统被激活,酶活性提高,可有效清除自由基,使植物免受伤害;超过阈值,植物体内的保护酶活性下降,植物受到伤害^[16,21]。剥皮是对杜仲树体的机械伤害,因此,剥皮后杜仲体内的 SOD、POD 和 CAT 活性均有变化,经过剥皮处理后杜仲植株的保护酶活性均高于对照,且酶活性随剥皮量的增加而提高,到生长后期才恢复至对照水平,说明剥皮处理对杜仲植株造成的伤害是在杜仲可耐受的阈值以下。另外,受到剥皮伤害后的杜仲植株的恢复速度随剥皮量的增加而减缓,剥皮量为 50% 和 75% 的杜仲植株体内的各保护酶活性均可在短期内调节到与对照相同的水平,而剥皮量为 100% 的杜仲植株则需要较长的恢复时间。

树木的生长状态是决定树木剥皮后能否再生新

皮的基本内在条件^[13]。一般认为,剥皮处理会影响杜仲植株的生长,与创伤应激相关的指标也会发生相应的变化。研究表明,经剥皮处理后,各处理组杜仲树干地径和树干直径仍有增长,但增长的幅度较对照缓慢;剥皮量为50%的杜仲树干的地径和直径增长较快,但与其他处理组相比差异并不显著。这一结果说明,剥皮不会使杜仲植株生长停止,但剥皮量越大,对树干生长的影响程度就越大。

综上所述,经过不同程度的剥皮处理后,杜仲体内的SOD、CAT和POD等3种保护酶均能迅速启动,发挥调节作用,使杜仲长出新皮并持续生长,保证杜仲树干的正常生长。其中,75%及其以下的剥皮量对杜仲树干地径和直径的增长和新皮生长均无较大影响,树干能较快恢复生长。因此,根据本研究结果,建议在实际生产中最好采用75%的剥皮量以获得最佳的经济效益,并能有效保护杜仲资源。

参考文献:

- [1] McCord J M, Fridovich I. Superoxide dismutase: an enzymic function for erythrocyte hemocuprein (hemocuprein) [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1969, 244(22): 6049-6055.
- [2] 杜秀敏,殷文璇,张慧,等.超氧化物歧化酶(SOD)研究进展[J].*中国生物工程杂志*, 2003, 23(1): 48-50.
- [3] 陈金峰,王宫南,程素满.过氧化氢酶在植物胁迫响应中的功能研究进展[J].*西北植物学报*, 2008, 28(1): 0188-0193.
- [4] 曾福礼,张明凤,李玉峰.干旱胁迫下小麦叶片微粒体活性氧自由基的产生及其对膜的伤害[J].*植物学报*, 1997, 39(12): 1105-1109.
- [5] 仇硕,黄苏珍,王鸿燕. Cd胁迫对黄菖蒲幼苗4种抗氧化酶活性的影响[J].*植物资源与环境学报*, 2008, 17(1): 28-32.
- [6] 彭方仁,杨玉珍,朱振贤.干旱胁迫对不同种源香椿叶片膜脂过氧化和保护酶系统的影响[J].*植物资源与环境学报*, 2007, 16(2): 44-47.
- [7] 王凤亭,袁正道.皮用药材树木剥皮后再生新皮的研究[J].*中药材科技*, 1979(4): 13-14.
- [8] 李正理,崔克明,余椿生.杜仲剥皮再生的解剖学研究[J].*植物学报*, 1981, 23(1): 6-11.
- [9] Tanaka C, Nakamura T, Nakazawa Y, et al. A new triterpenoid from the leaves of *Eucommia ulmoides* Oliv. [J]. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 1997, 45: 1379-1380.
- [10] Bamba T, Fukusaki E, Nakazawa Y, et al. *In-situ* chemical analyses of *trans*-polyisoprene by histochemical staining and Fourier transform infrared microspectroscopy in a rubber-producing plant, *Eucommia ulmoides* Oliver [J]. *Planta*, 2002, 215(6): 934-939.
- [11] Ge T D, Sui F G, Bai L P. Effects of water stress on the protective enzyme activities and lipid peroxidation in roots and leaves of summer maize [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2006, 5(4): 291-298.
- [12] Takamura C, Hirata T, Yamaguchi Y, et al. Studies on the chemical constituents of green leaves of *Eucommia ulmoides* Oliv. [J]. *Journal of Natural Medicines*, 2007, 61(2): 220-221.
- [13] 崔克明.杜仲剥皮再生的原理和技术[J].*中国中药杂志*, 1993, 18(4): 248-249.
- [14] Cui K M, Li Z L. Effect of regeneration after girdling on tree growth in *Eucommia ulmoides* [J]. *植物学报*, 2000, 42(11): 1115-1121.
- [15] 崔克明,汪向彬,段俊华,等.构树剥皮再生中内源IAA的变化及其组织定位[J].*北京大学学报:自然科学版*, 2000, 36(4): 495-502.
- [16] 高俊凤.植物生理学实验技术[M].西安:世界图书出版公司,2000.
- [17] 徐文科.概率论与数理统计[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,2003.
- [18] 戚向阳,陈维军,张声华.杜仲中活性成分的分布及其积累动态变化规律的研究[J].*中草药*, 2003, 34(12): 1129-1133.
- [19] 李合生.现代植物生理学[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [20] 张继澍.植物生理学[M].西安:世界图书出版公司,1999.
- [21] 刘建新,王鑫,王凤琴.水分胁迫对苜蓿幼苗渗透调节物质积累和保护酶活性的影响[J].*草业科学*, 2005, 22(3): 18-21.