

DOI: 10.13332/j.1000-1522.20150099

# 林木应用声波技术试验报告及树木发声原理的假说

周章义<sup>1</sup> 林华忠<sup>2</sup> 方禄明<sup>2</sup> 林胜彪<sup>3</sup> 陈亮<sup>4</sup> 何遵卫<sup>5</sup>

(1 北京林业大学林学院 2 福建将乐国有林场 3 福建泰宁杉阳山区综合开发有限责任公司

4 北京香山公园绿化科 5 北京林业大学理学院)

**摘要:**为探究声波技术在林业生产上的应用前景,2013—2014年,采用植物声频发生器对若干树种分别进行了苗圃与林地试验,结果显示:声波能促进树木的生长,如油松、侧柏苗木的高生长分别比对照增加了32.4%、49.7%;杉木林的材积生长量是对照的2.16倍;能促进豆目树种根瘤的繁殖,声波区刺槐苗根瘤量是对照的7.1倍。声波还能增强树势,提高树木的抗病虫害能力,并有增加化学防治效果的作用。试验结果表明,声波技术在林业生产上有着广泛的推广应用前景。关于树木是如何发声、声波为什么能增强树木的光合速率从而促进树木生长等问题,本文第一作者提出了一个树木发声原理的假说来解释这些问题,即基于运动产生摩擦振动的发声原理:树木的发声主要源于水分在树木木质部导管或管胞中流动的振动信号;蒸腾拉力是树木水分流动的主要动力,也是树木发声的主要动力。

**关键词:**植物声频控制技术;林木应用;杉木;树木发声原理

中图分类号:S718.43 文献标志码:A 文章编号:1000-1522(2015)10-0086-10

ZHOU Zhang-yi<sup>1</sup>; LIN Hua-zhong<sup>2</sup>; FANG Lu-ming<sup>2</sup>; LIN Sheng-biao<sup>3</sup>; CHEN Liang<sup>4</sup>; HE Zun-wei<sup>5</sup>.

**Test of sound frequency treatment in timber and the hypothesis of trees' sound principle.** *Journal of Beijing Forestry University* (2015)37(10) 86-95 [Ch, 21 ref.]

1 College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing, 100083, P. R. China;

2 Fujian Jiangle State-owned Forest, Fujian 353300, P. R. China;

3 Fujian Taining County Shanyang Mountainous Area Comprehensive Exploitation Corporation Ltd., Fujian 350429, P. R. China;

4 Greening Branch, Beijing Fragrant Hill Park, Beijing, 100093, P. R. China;

5 School of Science, Beijing Forestry University, Beijing 100083, P. R. China.

To explore application of acoustic wave technology in forestry production, we used acoustic frequency generator of plant to carry out a number of nursery and woodland tests on different plant species during the year 2013 and 2014. The results showed that the acoustic wave can promote the growth of trees. It increases the height of *Pinus tabulaeformis* and *Platycladus orientalis* seedlings by 32.4% and 49.7%, respectively, and improves the volume growth of *Cunninghamia lanceolata* forest by 2.16 times, compared to the control. It can also promote the breeding of *Rhizobium legume* species and the amount of nodule volume of *Robinia pseudoacacia* seedlings is 7.1 times that of the control group. Besides, sonic wave can also enhance vigor, improve the capacity of pest-resistance of trees and increase the effects of chemical control. The results have shown that there is a wide range of promotion prospects about sonic technology in the forestry production. Nevertheless, questions such as how the trees sound, and why the sonic wave can enhance the photosynthetic rate of trees and promote the growth of trees still remain unclear. We come up with a hypothesis to explain these issues. Based on the sound principles, the sound of trees comes from the vibration of water passing through the xylem vessels and tracheids. Transpirational pull is not only the driving force of water flowing of trees, but also the main driver of vocalization of trees.

收稿日期:2015-03-30 修回日期:2015-06-01

第一作者:周章义,教授。主要研究方向:林木抗虫原理与应用。Email:62338989@163.com 地址:100083 北京市海淀区清华东路35号北京林业大学离退休处。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

**Key words** sound frequency control technology; timber application; *Cunninghamia lanceolata*; trees' sound principle

1986年侯天侦教授赴美合作研究,发明了植物声频控制技术,并研制出具有8个波段、能随环境温度变化而自动调频的植物声频发生器;1994—1998年,在美国对棉花(*Gossypium* sp.)、葡萄(*Vitis vinifera*)、扁桃(*Amygdalus communis*)、西红柿(*Lycopersicon esculentum*)、菠菜(*Spinacia oleracea*)等20余种作物进行试验,一般增产10%~30%左右,还提高了作物抗病虫害能力与产品品质;1999年应国家科委邀请回国进行试验、示范和推广至今,在我国13个省市对50余种农作物进行了试验,在农作物增产、提高品质、抗病虫、减少化肥、农药用量等方面都有明显效果<sup>[1]</sup>。

为了解声波技术对林业生产的作用,是否可引用到林业生产中来?2013—2014年,我们进行了引用试验。结果表明,声波技术在促进林木生长、增加林木材积以及在增强树势、提高林木抗病虫害能力等方面,都有广泛的推广应用前景。

## 1 试验方法

### 1.1 试验仪器技术参数及样地设置

在北京林业大学与香山公园苗圃,用BL01-2011型声频发生器(北京乐和同丰农业科技公司生产)进行苗木试验。仪器工作频率20~2000 Hz;音量55~95 dB;有效作用半径15~50 m;有效作用面积0.06~0.66 hm<sup>2</sup>(1~10亩)左右。早晨(07:30)开机,隔天播声1次,每次3 h,雨天停播。

2013年进行移栽苗试验。试验苗从苗圃现有1年生苗木中选苗移栽,每树种40盆,处理与对照各20盆。2014年进行元宝枫(*Acer truncatum*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)等树种的播种育苗试验,每个树种播种2个花盆。

2014年在福建省将乐县将乐国有林场杉木林、泰宁县杉阳公司的马尾松林内,用BL02-2011型声频发生器进行大田试验。仪器的工作频率20~2000 Hz;工作音量50~120 dB;有效作用半径150 m;有效作用面积6.66 hm<sup>2</sup>(100亩)。

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)幼林试验地,设在中央政府投资林业基本建设项目的大径材示范林内,2009年造林,面积19.6 hm<sup>2</sup>(294亩)。声波处理前,在声波与对照区各随机选60株样树,用围尺(测树钢围尺)测量胸径、塔尺测量树高。5月24日开始播声,播2 d停1 d。早晨07:00—08:00开机,每次3 h,雨天停播。

杉木母树林试验地设置在明头山种子园内,面积6.06 hm<sup>2</sup>(91亩),树龄7年生。在声波与对照区各随机选取了40株样树,对其编号后进行基本情况调查。5月24日开始播声,方法同幼林。

### 1.2 树木病害分级调查标准

杨树(*Populus* spp.)叶锈病分级标准:0级,整株无病叶;1级,有零星(5%以下)病叶,并且病叶的孢子堆零星、分散;2级,病叶1/3以下,并且病叶的孢子堆零星、分散;3级,病叶2/3以下,或零星病叶的孢子堆成片(占叶面积的一半以上);4级,病叶2/3以上,仅1/3以下病叶的孢子堆成片;5级,病叶2/3以上,但1/3以上病叶的孢子堆成片。

杉树叶枯病分级标准:无,整个树冠无病害枝、叶;零星,仅有零星(5%以下)的枝、叶有病害;轻,1/3以下的枝、叶有病害;中,2/3以下的枝、叶有病害;重,2/3以上的枝、叶有病害。

## 2 结果与分析

### 2.1 声波对林木生长的影响

#### 2.1.1 声波对苗木生长的影响

移栽苗试验表明,声波对不同树种的作用效果不同,但对多种树种有促进生长的作用。如油松(*Pinus tabulaeformis*)的高生长比对照增加32.4%;侧柏(*Platyclusus orientalis*)增加49.7%;元宝枫增加34.6%(见表1)。

如图1所示:1年生侧柏移栽苗,试验前,声波组平均苗高(5月26日)比对照低2.99 cm;声波后(10月23日),平均高超过对照3.96 cm,比对照平均多生长了6.95 cm。

播种育苗试验表明:声波处理35 d后,元宝枫的苗高、地径、根长分别比对照增加43.2%、3.5%、49.1%;刺槐播种苗的苗高、地径、根长分别比对照增加49.8%、10.2%、30.3%(见表2)。

方差分析结果显示:元宝枫、刺槐的苗高、根长与对照的差异极显著。

#### 2.1.2 声波对杉木立木蓄积量的影响

声波对杉木立木材积的增长有很好的效果(表3)。播声后5个月调查显示:声波区林木高生长量比对照区低3.19%;但胸径生长量比对照区高7.50%;声波区的平均单株立木材积生长量是对照的2.16倍。

#### 2.1.3 声波对杉木种子园母树生长的影响

2014年10月17日,根据母树品系相同、各品

表1 声波对不同树种苗木生长的影响

Tab. 1 Effects of sound treatment on different tree species growth

树种 Plant species	处理 Treatment	播声前高 Height before treatment/cm		播声后高 Height after treatment/cm		播声后增高 Height increment/%	声波区比 对照区增加 Comparison to control/%
		日期 Date	平均高 Mean height	日期 Date	平均高 Mean height		
		油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	声波 Sonic wave	05-26	8.12		
	对照 Control		9.61		11.74	22.2	
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	声波 Sonic wave	05-26	21.72	10-23	60.52	178.6	49.7
	对照 Control		24.71		56.56	128.9	
元宝枫 <i>Acer truncatum</i>	声波 Sonic wave	05-26	9.63	10-25	48.31	401.7	34.6
	对照 Control		10.69		49.93	367.1	
红端木 <i>Cornus alba</i>	声波 Sonic wave	05-26	15.66	10-28	30.70	96.0	56.8
	对照 Control		15.37		21.40	39.2	
北美红栎 <i>Quercus rubra</i>	声波 Sonic wave	05-26	10.47	10-24	17.78	69.8	-41.1
	对照 Control		9.94		20.97	110.9	

注:红端木是测量标准枝的生长量。Note: For *Cornus alba*, the growth of standard branch is measured.

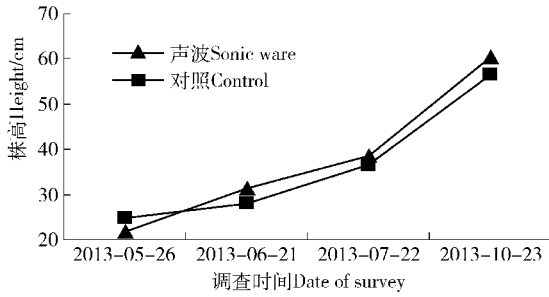


图1 1年生侧柏试验苗声波前后高生长对比

Fig. 1 Comparison of one-year-old *Platycladus orientalis* seedlings height growth before and after sound treatment

系株数相同,声波前的树高大体一致的原则,又选取了20株样树,进行效果对比调查。

由表4可知:播声5个月后,声波区的冠幅增长量是对照区的1.6倍;冠高增长量是对照区的1.5倍;树冠(锥形体)体积(即树冠可结果实的空间)增长量是对照的4倍。

## 2.2 声波对豆目树种根瘤的影响

在花盆播种试验中首次发现,声波能促进刺槐根瘤的生长。如表5所示:声波区仅1株苗无根瘤,有瘤株达96%,平均每株有根瘤8个;对照区有12

表2 声波对元宝枫、刺槐播种苗生长的影响

Tab. 2 Effects of sound treatment on *Acer truncatum* and *Robinia pseudoacacia* seedlings growth

树种 Species	处理 Treatment	株数/(株·盆 <sup>-1</sup> ) Number of seedlings/ (seedlings·pot <sup>-1</sup> )	平均苗高 Mean height		平均地径 Mean collar diameter		平均根长 Mean root length	
			高度 Height/cm	增加 Increment/%	粗度 Diameter/mm	增加 Increment/%	长度 Length/cm	增加 Increment/%
			元宝枫 <i>Acer truncatum</i>	声波 Sonic wave	21	23.02	43.2	2.67
	对照 Control	23	16.08**		2.58		27.64**	
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	声波 Sonic wave	26	20.36	49.8	2.06	10.2	27.13	30.3
	对照 Control	26	13.59**		1.87		20.82**	

注:\*\*表示差异极显著( $P < 0.01$ )。Note:\*\* means extremely difference ( $P < 0.01$ ).

表3 声波处理后杉木生长量比较

Tab. 3 Effects of sound treatment on *Cunninghamia lanceolata* growth

处理 Treatment	5月16日(播声前) Before treatment		10月16日(播声后) After treatment		播声后5个月生长量 Growth 5 months after treatment		
	胸径 DBH/cm	树高 Height/m	胸径 DBH/cm	树高 Height/m	胸径 DBH/cm	树高 Height/m	材积/(m <sup>3</sup> ·株 <sup>-1</sup> ) Volume/(m <sup>3</sup> ·tree <sup>-1</sup> )
	声波 Sonic wave	7.35	5.55	8.61	6.42	1.26	0.87
对照 Control	8.21	5.45	9.00	6.48	0.79	1.03	$0.5 \times 10^{-4}$

注:材积按圆柱形体积  $V = \pi r^2 h = sh$  进行计算和比较。Note: Volume is calculated and compared by  $V = \pi r^2 h = sh$ .

表 4 声波对杉木种子园树冠体积的影响

Tab. 4 Effects of sound treatment on *Cunninghamia lanceolata* seed orchard growth

处理 Treatment	5 月 15 日 (播声前)		10 月 17 日 (播声后)		播声后 5 个月生长量		
	Before treatment		After treatment		Growth 5 months after treatment		
	冠幅 Canopy size/m	冠高 Canopy height/m	冠幅 Canopy size/m	冠高 Canopy height/m	冠幅 Canopy size/m	冠高 Canopy height/m	冠体积/(m <sup>3</sup> ·株 <sup>-1</sup> ) Canopy volume/ (m <sup>3</sup> ·tree <sup>-1</sup> )
声波 Sonic wave	2.57	2.36	3.37	3.48	0.80	1.12	0.188
对照 Control	3.10	2.47	3.59	3.22	0.49	0.75	0.047

注：树冠体积按圆锥形体积进行计算。Note: Canopy volume is calculated as a cone shape.

表 5 声波对刺槐播种苗根瘤量的影响

Tab. 5 Effects of sound treatment on *Robinia pseudoacacia* rhizobium

处理 Treatment	总株数/(株·盆 <sup>-1</sup> ) Total number of seedlings/ (seedlings·pot <sup>-1</sup> )	有根瘤株 Seedlings with rhizobia		根瘤数量 Number of rhizobia			F 值 F value
		株数 Number of seedlings	比例 Percentage%	大瘤总数 Number of big rhizobia	小瘤总数 Number of small rhizobia	平均/(个·株 <sup>-1</sup> ) Mean number (per seedling)	
声波 Sonic wave	25	24	96.0	21	178	7.96	29.81 **
对照 Control	26	14	53.8	3	26	1.12	

注： $n_1$  为组间自由度， $n_2$  为组内自由度， $n_1 = 1, n_2 = 49, F_{0.05} = 4.03, F_{0.01} = 7.17$ 。Note:  $n_1$  is among-group degree of freedom, and  $n_2$  is within-group degree of freedom,  $n_1 = 1, n_2 = 49, F_{0.05} = 4.03, F_{0.01} = 7.17$ .

株苗无根瘤，有瘤株为 53.8%，平均每株有根瘤 1.1 个。声波区根瘤量是对照的 7.1 倍，经方差分析，差异极显著。

这个结果为声波技术在豆目 (Leguminosales) 树种和豆目作物上的应用提供了依据 (见图 1 和图 2)。



图 1 不同处理刺槐播种苗的对比

Fig. 1 Comparison of *Robinia pseudoacacia* seedlings with different treatments



图 2 声波处理的刺槐苗的根瘤

Fig. 2 *Robinia pseudoacacia* rhizobium with sonic wave treatment

## 2.3 声波对光合速率的影响

### 2.3.1 播声前后的比较

采用 Li-6400 光合仪测定。夹好叶片后，先测播声前的光合速率 ( $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )，然后测播声后的光合速率，每 10 min 记录一次。由表 6 可知，播声 10 min 后，光合速率增加 6.1% ~ 53.0%，以后基本稳定或增速减慢下来。

### 2.3.2 不同处理的比较

用声波区播声后 30 min 测量值，与对照区 3 株树的测量值进行比较 (见表 7)，声波区杜仲的光合速率比对照增加 6.5% ~ 26.1%，杨树增加 22.0% ~ 33.4%，说明声波能提高林木的光合速率。

## 2.4 声波对林木病害的抑制作用

### 2.4.1 声波对杨树叶锈病的抑制作用

北京林业大学苗圃杨树插条繁殖苗区的杨树叶锈病 (*Melampsora larici-populina*) 非常严重。由表 8 可知发病指数达 84.0%。声波试验苗是从此区移植的，10 月份的调查发现，试验苗叶锈病的“0”级 (无病害叶) 株数都是 0，说明试验苗每株树都有叶



表6 播声前后光合速率的变化

Tab. 6 Change of photosynthetic rates before and after sound treatment

树种 Species	播声前光合速率 Photosynthetic rate before treatment/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	播声后 10 min 时		播声后 20 min 时		播声后 30 min 时	
		10 min after treatment		20 min after treatment		30 min after treatment	
		光合速率	增加	光合速率	增加	光合速率	增加
		Photosynthetic rate/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Increment/ %	Photosynthetic rate/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Increment/ %	Photosynthetic rate/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Increment/ %
杜仲 <i>Eucommia ulmoides</i>	15.84	16.81	6.1	16.38	-2.6	16.31	-0.4
黄栌 <i>Cotinus coggygria</i>	5.13	7.85	53.0	9.59	22.2	10.61	10.6

注:每次的增加都是与前一次数据作比较。Note: Each increment is the value compared with the previous data.

表7 不同处理光合速率的比较

Tab. 7 Comparison of photosynthetic rates with different treatments

树种 Species	声波区光合速率	对照区光合速率			声波区比
	Photosynthetic rate after wave treatment/( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Photosynthetic rate of control/( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )			对照区增加 Increment/%
		第1株 No. 1	第2株 No. 2	第3株 No. 3	
杜仲 <i>Eucommia ulmoides</i>	16.50	13.79	13.08	15.49	6.5 ~ 26.1
杨树 <i>Populus sp.</i>	21.94	16.45	16.52	17.99	22.0 ~ 33.4

表8 杨树叶锈病发病情况调查

Tab. 8 Survey of poplar leaves disease

地点 Locality	杨树叶锈病株数						发病指数 Percentage of infection/%
	Number of seedlings at different stages						
	0级 Class 0	1级 Class 1	2级 Class 2	3级 Class 3	4级 Class 4	5级 Class 5	
声波试验区 Sonic wave area	0	3	4	3	0	0	40.0
对照试验区 Control area	0	0	1	3	3	3	76.0
插条繁殖苗区 Cuttings propagation area	0	0	2	5	8	15	84.0

锈病,然而对照区的发病指数达76.0%,发病程度接近插条繁殖苗区。声波区的发病指数40.0%,发病程度比插条繁殖苗区减轻一半。该结果表明,声波对杨树叶锈病的繁殖蔓延有明显的抑制作用。

#### 2.4.2 声波对杉木细菌性叶枯病的抑制情况

杉木细菌性叶枯病,由丁香假单胞杆菌杉木致病变种(*Pseudomonas syringae pv. cunninghamiae*)引起。普遍发生在江苏、浙江、安徽、湖南、福建、广西、贵州、四川等地,是我国杉木林区的重要病害。它引起杉木针叶与枝条的枯死,减少林木的材积生长量。

杉木叶枯病病原细菌在病叶的病斑中越冬,翌年春末、夏初子囊孢子成熟并借风、雨传播。将乐林场5月24日才开始播声试验,因此在没有试验前,试验区内的杉木已经感染上了叶枯病。

调查发现,不论是幼林还是种子园,声波区有病害株都是100%,比对照区大。可是声波区的发病指数都略低于对照区,这是因为声波区病害零星树的株数比对照区多,而病害严重树的株数比对照区少造成的(见表9)。这一结果说明,声波对杉木细菌性叶枯病害的发展与蔓延,有一定的抑制作用。

表9 杉木细菌性叶枯病发病情况调查

Tab. 9 Survey of *Cunninghamia lanceolata* bacterial leaf blight incidence

调查林分 Surveyed stand	处理 Treatment	各级叶枯病病害的株数					调查总株数 Total number of surveyed seedlings	发病指数 Infection index/%
		Number of seedlings at different stages						
		无 None	零星 Sporadically	轻 Lightly	中 Moderately	重 Seriously		
幼林 Young growth stand	声波 Sonic wave	0	46	9	2	1	58	31.9
	对照 Control	7	28	9	3	3	50	33.5
种子园 Seed orchard	声波 Sonic wave	0	8	8	4	0	20	45.0
	对照 Control	1	5	6	4	2	18	51.4
代表值 Typical value		0	1	2	3	4		

2.5 声波增加化学防治效果的作用

2014 年 6 月下旬,北京林业大学苗圃声波区黄栌木虱严重,发生指数比对照区高 20% 以上(见表 10)。7 月 10 日,在声波与对照区各选 4 株黄栌,其

中 2 株家用灭蚊喷雾器杀虫,2 株不杀虫作对照。喷药后,8 月 5 日和 16 日的 2 次调查结果显示,声波区的杀虫效果比对照区的杀虫效果好得多(表 11)。

表 10 黄栌木虱发生情况调查

Tab. 10 Survey of *Cotinus coggygia* psyllids occurrence

日期 Date (Month-Day)	声波区 Wave treatment					声波区 发生指数 Infection index/%	对照区 Control					对照区 发生指数 Infection index/%
	无 None	零星 Sporadically	轻 Lightly	中 Moderately	重 Seriously		无 None	零星 Sporadically	轻 Lightly	中 Moderately	重 Seriously	
06-02	8	5				9.6	15					0.0
06-22	3			4	8	73.3	5		3	4	4	53.1
07-05	2		2	4	7	73.3	4		2	7		48.1

注:表 10 按株调查。木虱调查分级标准:“无”表示整株或大枝上无虫害叶片;“零星”表示整株或大枝上仅零星(5% 以下)叶片上有木虱;“轻”表示 1/3 以下的叶片上有木虱;“中”表示 2/3 以下的叶片上有木虱;“重”表示 2/3 以上的叶片上有木虱。下同。Notes: Data in Table 10 are presented based on a survey of whole seedlings. Classification standard of psyllids survey: None: no infected leaves are found in the whole seedling or big branches; Sporadically: only 5% of leaves or less infection are found in the whole seedling or big branches; Lightly: 1/3 of leaves are infected; Moderately: 2/3 leaves are infected; Seriously: more than 2/3 of leaves are infected.

表 11 黄栌木虱化学防治效果比较

Tab. 11 Comparison of chemical control effect of *Cotinus coggygia* psyllids

处理 Treatment	日期 Date	树号 Tree No.	声波区木虱发生量(大枝)					有虫枝率 Percentage of infected branches/%	有虫指数 Infection index/%
			无 None	零星 Sporadically	轻 Lightly	中 Moderately	重 Seriously		
杀虫 Pest treatment	08-05	2	5	1			16.0	2.5	
		3	4				0.0		
不杀虫 No pest treatment	08-05	4	1	5			83.3	13.5	
		9	5	2			28.6		
杀虫 Pest treatment	08-16	2	6		2		25.0	14.3	
		3	4		2		33.3		
不杀虫 No pest treatment	08-16	4			3	3	100.0	47.1	
		9	4		5	1	60.0		

处理 Treatment	日期 Date	树号 Tree No.	对照区木虱发生量(大枝)					有虫枝率 Percentage of infected branches/%	有虫指数 Infection index/%
			无 None	零星 Sporadically	轻 Lightly	中 Moderately	重 Seriously		
杀虫 Pest treatment	08-05	3		1	2		100.0	50.0	
		4		1	1	2	100.0		
不杀虫 No pest treatment	08-05	6			1	2	100.0	82.1	
		15			1	3	100.0		
杀虫 Pest treatment	08-16	3				1	2	100.0	82.1
		4			2	2	100.0		
不杀虫 No pest treatment	08-16	6				3	100.0	100.0	
		15				4	100.0		

注:表中木虱发生量按大枝调查。Note: Data in Table 11 are based on big branches.

另外,从能反映树势的电容值<sup>[2]</sup>来看(图 2):杀虫前,声波区杀虫树的电容值为 2.815 nF,与对照区杀虫树基本一样。7 月 10 日杀虫后,声波区杀虫树的电容值上升最高,比对照杀虫树高 1.285 nF,说明声波区杀虫树的树势恢复与增强比对照杀虫树更

快、更好。说明声波能增加化学防治的效果,使树势恢复得更快、更好。

2.6 影响声波效果的因素

2.6.1 离声波源距离

BL01-2011 型声频发生器有效作用半径 15 ~

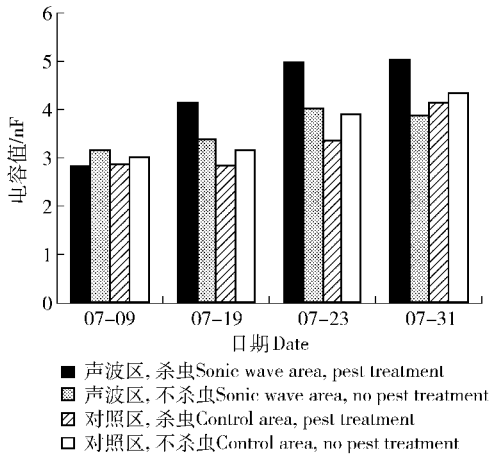


图2 7月10日杀虫前后黄栌树体电容值的变化  
Fig. 2 Change of tree body capacitance of *Cotinus coggygia* before and after pest treatment

表12 离声波源不同距离的黄栌生长与虫害叶数调查

Tab. 12 Survey of leaf growth and infection of *Cotinus coggygia* at different distances from the acoustic source

距离 Distance/m	枝长 Branch length/cm	叶数/(片·枝 <sup>-1</sup> ) Number of leaves/(leaves·branch <sup>-1</sup> )	虫害叶数/(片·枝 <sup>-1</sup> ) Number of infected leaves/(leaves·branch <sup>-1</sup> )	虫害叶率 Percentage of infection/%
0~5	91.40	43.1	0.67	1.55
20~25	65.90	34.4	0.47	1.37
40~45	62.87	31.8	0.67	2.11
60~65	49.50	27.3	1.80	6.59
F值	18.776**	6.564**	5.543**	

注:  $n_1$  为组间自由度,  $n_2$  为组内自由度,  $n_1 = 3, n_2 = 116, F_{0.05} = 2.7, F_{0.01} = 3.98$ 。Note:  $n_1$  is among-group degree of freedom, and  $n_2$  is within-group degree of freedom,  $n_1 = 3, n_2 = 116, F_{0.05} = 2.7, F_{0.01} = 3.98$ 。

在树荫下,约10:00左右才能见到太阳。14:00或15:00以后又被西面的高大树木遮阴,每天日照时间比外侧少得多。在08:30—16:30之间,每小时测量一次照度。内侧苗的平均光照度为14 351.4 lx,比外侧苗的光照少15 538.9 lx。

由表13可知:虽然在同一畦、同一声波范围内,内侧苗的生长量明显低于外侧。这个结果从另一个角度说明,声波是通过提高树木的光合作用来促进树木的生长,因此光照是声波作用的必需条件。

表13 侧柏生长量调查

Tabl. 13 *Platycladus orientalis* growth survey

声波区外侧 Trees outside the sonic wave area			声波区内侧 Trees inside the sonic wave area		
树号 Tree No.	树高 Height/cm	地径 Collar diameter/cm	树号 Tree No.	树高 Height/cm	地径 Collar diameter/cm
1	88	1.33	8	49	0.90
2	70	1.05	9	45	0.86
3	62	1.04	10	60	0.88
11	72	0.86	18	52	0.79
12	56	0.95	19	39	0.58
13	87	1.18	20	61	1.20
平均	72.5	1.07	平均	51.0	0.87

50 m,但在50 m左右地方的音量微弱。为了解距离对声波效果的影响,2013年在北京香山公园黄栌移植苗培育区,进行了不同距离的调查。调查方法:在每段距离内随机抽取30株树;从每株树上选取最长的1枝新枝;量枝长、统计正常叶片数及被虫伤害(主要为黄栌跳甲危害)的叶片数。

调查结果显示:声波对林木生长及抗虫力的影响随距离的增加而逐渐减弱,差异为极显著(见表12)。

### 2.6.2 光照对声波效果的影响

光照时间的长短、强弱,对声波效果的影响很大。在光照时间短、强度弱的情况下,声波效果极差或无效果。例如北京林业大学苗圃声波区第一畦侧柏苗的内侧(北面),因东、北面都有高大的树木,早晨(08:30)时,外侧(南面)侧柏已见阳光,而内侧还

## 3 结论与讨论

### 3.1 声波促进树木的生长

本文的试验表明:声波是通过提高树木的光合作用来促进树木的生长的。

光合作用是绿色植物吸收太阳的光能,利用光能将水分解,放出氧气,并将二氧化碳还原为有机物质的过程。量子产量是吸收一个光量子所释放的氧分子数量或吸收CO<sub>2</sub>的分子数量,因此光合作用中的量子产量,更能说明光合作用的强弱和制造有机物质质量的多少。

樊荣等<sup>[3]</sup>和周清等<sup>[4]</sup>的研究表明,声频处理草莓(*Fragaria ananassa*)、黄瓜(*Cucumis sativus*)后,其叶绿素含量提高,光能捕获效率上升,有效光化学量子产量增加,其中,黄瓜增加2.8%,草莓增加20%。

树木的生长实质是细胞中生命物质增加引起细胞体积增加,最后导致细胞分裂的过程。李涛等<sup>[5]</sup>的研究发现,适度的声波刺激(声波频率400~800 Hz,强度90~110 dB内),促进了S期的DNA合成与细胞的有丝分裂,使S期的细胞明显增加。

还有研究发现,声波刺激后植物体内一些生长激素,如吲哚乙酸(IAA)、多胺类化合物(PAS)含量

增加<sup>[6]</sup>。而这些生长激素在细胞分裂与分化的过程中起着重要的作用,有时甚至是决定性的作用<sup>[7]</sup>。

前人深入到细胞、分子研究的这些成果,为声波技术在林业生产中的推广应用,在微观上提供了科学根据。

### 3.2 声波增强林木的免疫力

由于森林树高、面积大,又多生长在人烟稀少的崇山峻岭中,一旦发生病虫害,防治非常困难。大面积的飞机喷药,又会大面积的污染环境。国内外有许多研究表明,树势强壮后能增强树木抗病虫害能力。如通过营造混交林、封山育林、施肥等措施,使树势增强后所诱发的营养效应,不仅影响到害虫种群的数量,更深刻地影响到害虫种群的质量如雌虫减少、蛹重减轻、繁殖力下降<sup>[8]</sup>。因此,在现代森林保护上,要重视增强树势,要重视对树木自身免疫能力的研究与应用。

多年的研究表明,声波不仅能促进树木的生长,增强树势,还能增强林木的免疫力。如魏进民等<sup>[9]</sup>和王伯初等<sup>[10]</sup>报道,声波刺激会改变植物体内的氧化还原平衡,提高保护蛋白如超氧化歧化酶(SOD)、过氧化物同工酶(POD)、触酶(CAT)的活性,减少植物体内一些活性氧化物,如带负电的超氧离子( $O_2^-$ )与过氧化氢( $H_2O_2$ )对细胞的伤害,增强植物抗逆境、抗氧化和抗病毒的性能,如对水稻(*Oryza sativa*)纹枯病的抵抗能力。

### 3.3 声波促进根瘤生长的机理及其应用研究

豆目植物根瘤具有固氮功能,据统计,1  $hm^2$  结瘤的豆目植物 1 年内可从空气中吸收 100 ~ 300 kg 氮,对提高土壤肥力,促进与其混交树木的生长,增强树势与抗病虫害的免疫力,都具有非常重要的作用。

我国豆目树种有 3 个科,约 94 属 760 多种。据报道,能结瘤的只有 258 种,其中蝶形花科(Fabaceae)能结瘤的树种最多,高达 98.0%。其次是含羞草科(Mimosaceae),可结瘤树种达 90.5%。苏木科(Caesalpinaceae)的结瘤树种最少,其原因大体是:根毛稀少,表皮细胞壁厚不利于根瘤菌的入侵;根部单宁、酚类等抗菌物质含量多,抑制了根瘤菌的生长;缺少凝结素,凝结素是根毛与根瘤菌的共生介质;缺少染色体加倍的双倍体细胞,不能使根分生组织再次分裂成根瘤<sup>[11]</sup>。

我们首次发现声波能显著促进刺槐(蝶形花科)根瘤的生长,是否因为声波促进了根系的生长<sup>[12-13]</sup>,根毛增多?还是因为声波促进了 DAN 的合成,IAA、PAS 等激素的增多而有助于根瘤细胞的

分裂?还是声波与凝结素、双倍体细胞增多有关呢?

为了在林业生产上更好地推广应用声波技术,必须对声波促进豆目树种根瘤生长的机理及应用技术开展研究。

## 4 树木发声原理假说

植物能发声,但人们听不到。我国侯天侦教授与清华大学、美国的明尼苏达大学合作,首次测出海芋(*Alocasia macrorrhiza*)植物的自发声频率在 40 ~ 2 000 Hz 的低频范围内<sup>[1,14]</sup>。同时还发现,植物的自发声频率随环境温、湿度变化而变化。在高温、干旱环境条件下,自发声频率升高,而在低温、高湿的环境条件下,植物组织含水量增多时,自发声频率降低<sup>[1,15-16]</sup>。

许多研究表明:声波对植物生长的影响有双向效应,适度频率(1 000 Hz 左右)的声波可促进猕猴桃(*Actinidia chinensis*)幼苗根系的生长发育,超过 2 000 Hz 后,对根系生长的促进效应明显减弱,到 5 000 Hz 时,则开始抑制根系的生长<sup>[6,12-13,17-18]</sup>;适度频率的声波刺激,可使植物的叶绿素含量增加、光合作用增强<sup>[1,3-4,19-21]</sup>。

美国《大众科学》2013 年 4 月 16 日报道:树木渴了会发声,如果得不到补水会干旱至死。

为什么植物能发声?植物的发声频率为什么随环境温、湿度的变化而变化?外源声波对植物生长的影响为什么会有双向效应?为什么适度频率的声波刺激能增强植物的光合速率、叶绿素含量?“树木渴了会发声”,这个声音是怎么发的?树木也是植物,因此树木不渴也发声,那么渴与不渴的发声原理是否是同样的?

2 年来,周章义教授在林业上进行声波试验过程中,反复思考上述问题后,对树木的发声原理提出了一个假说。

树木的发声主要是水分在树木木质部导管或管胞中流动的振动信号。水分流动快,则振动快,声波频率则高;相反,流动慢,振动也慢,声波频率则低。水分流动与树木的蒸腾密切相关。植物根部吸收的水分,99.8%以上消耗在蒸腾作用上<sup>[16]</sup>。高大的乔木,水分要从根部运输到树冠主要靠蒸腾的拉力。蒸腾的拉力越大,水的流速也越快。因此,蒸腾的拉力是树木水分流动的主要动力,也是树木发声的主要动力。蒸腾拉力与蒸腾量有关,蒸腾量越大,则蒸腾的拉力也越大。

植物的生命活动与水分的关系极为密切:大量的水分,以保证植物体内各种代谢活动的旺盛进行;水是光合作用生产碳水化合物的重要原料;植物根



吸收的营养物质,必须溶入水中,才能被导管中的液流运送到植物的各个部分。

在正常情况下,植物在正常吸收、运送水分的振动时,外来声源振动的刺激,使植物的蒸腾加速,蒸腾的拉力加大,因而加快了植物对水分的吸收、运送与利用过程,使植物各种生理代谢活动更加旺盛,使光合作用增强与光合产物量增加,于是促进了植物的生长。

在高温、干旱的时候,植物的蒸腾量加大,水在导管和管胞中的流动振动加大;外来声源振动的刺激,更加大了植物的蒸腾与振动,如果土壤水分供应不足,吸收水量小于蒸腾量,植物体内就会缺水,就会使各种生理代谢活动减弱,就会使光合作用减弱、光合产物量减少,植物的生长就会减慢;如果土壤水分充足,吸收水量与蒸腾量持平,或有富余,就不会影响生长,当然,吸收水量的多少又与根系的吸收能力有关,根系健壮、茂盛则吸收量大,根系衰弱,土壤水分再多也不能增加吸收量。

树木蒸腾量的大小,与环境的温、湿度有关,在低温、高湿的环境条件下,树木的蒸腾量小,水分流动少、慢,因而树木自发声频率低。树木蒸腾量的大小还与树种有关,阔叶树有导管,树冠叶面积大,因而蒸腾量大;针叶树没有导管只有管胞,树冠叶面积小,因而蒸腾量小。另外,树木蒸腾量有季节与日夜的变化等。

根据这个假说,树木自发声频率的大小与树种、树龄、枝叶面积、根系的强弱等有关;还与环境的温、湿度,土壤的含水量及昼夜和季节变化有关。

根据这个假说,声波促进树木生长的效果应该比农作物更好,因为树木单株的枝叶面积、蒸腾量比单株的作物大。因此声波技术在林业生产上应用,应该有更好的前景。

法国物理学家菲利普·马尔莫唐在实验室的试验发现:树木渴了的发声,来自出现后又消失的气泡。气泡出现后又消失的过程被称为空穴现象(英国《每日邮报》网站2013年5月3日报道)。周章义认为,这种现象与树木的蒸腾与水分的运送有关。在干旱条件下,树木导管或管胞中的水分不能源源不断地供给蒸腾的需要,在强大的蒸腾拉力下,运送中的水分子常常被拉断而形成气泡,从而形成了空穴现象。

这个假说是否正确?树木的发声原理是什么?如何利用声波来为林业生产服务?有待进一步探索与研究。

致谢 北京林业大学左代华校友为本试验提供资助,特此致谢。

## 参 考 文 献

- [1] 侯天侦,李明保,腾光辉,等. 植物声频控制技术及应用进展[J]. 中国农业大学学报,2010,15(1):106-110.  
HOU T Z, LI B M, TENG G H, et al. Research and application progress of plant acoustic frequency technology [J]. Journal of China Agricultural University, 2010, 15(1): 106-110.
- [2] 周章义. 一项值得研究的树势探测技术:电容法[J]. 山东林业科技,2000(6):38-42.  
ZHOU Z Y. A method of measuring tree vigor worthy of future study:capacitance method [J]. Shandong Forestry Science and Technology, 2000(6):38-42.
- [3] 樊荣,周清,赵冬梅. 植物声频控制技术对黄瓜叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北农业学报,2010,19(1):194-197.  
FAN R, ZHOU Q, ZHAO D M. Effect on changes of chlorophyll fluorescence incucumber by application of sound frequency control technology [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2010, 19(1): 194-197.
- [4] 周清,曲英华,李保明,等. 声频处理对草莓植株性状及叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国农业大学学报,2010,15(1):111-115.  
ZHOU Q, QU Y H, LI B M, et al. Effects of sound frequency treatment on plant characters and chlorophyll fluorescence of the strawberry leaf [J]. Journal of China Agricultural University, 2010, 15(1): 111-115.
- [5] 李涛,侯月霞,蔡国友,等. 流式细胞术分析强声波对植物细胞周期的影响[J]. 生物物理学报,2001,17(1):195-198.  
LI T, HOU Y X, CAI G Y, et al. Analysis of the effect of strong sound wave on plant cells cycles using flow cytometry [J]. Acta Biophysica Sinica, 2001, 17(1):195-198.
- [6] JIA Y, WANG B C, WANG X J, et al. Effect of sound wave on the metabolism of chrysanthemum roots[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2003, 29(2): 115-118.
- [7] 王沙生,高荣孚,吴贯明. 植物生理学[M]. 2版. 北京:中国林业出版社,1991:192-201,281-282.  
WANG S S, GAO R F, WU G M. Plant physiology[M]. 2nd ed. Beijing: China Forestry Publishing House, 1991: 192-201, 281-282.
- [8] 周章义. 封山育林控制松毛虫灾害研究概述[J]. 林业科学研究,1993,6(专刊):68-74.  
ZHOU Z Y. Advance in the study of suppressing pine caterpillars through "forest enclosing and tending" [J]. Forest Research, 1993, 6(Special):68-74.
- [9] 魏进民,李标,王伯初,等. 声波刺激对铁皮石斛过氧化酶同工酶基因表达的影响[J]. 应用声学,2008,27(6):462-467.  
WEI J M, LI B, WANG B C, et al. Effect of sound wave stimulation on peroxidase isozyme gene expression in *Dendrobium candidum* [J]. Applied Acoustics, 2008, 27(6):462-467.
- [10] 王伯初,张小刚,黄文章,等. 空间声场对水稻纹枯病的生理效应[J]. 自然科学进展,2009,19(10):1068-1073.  
WANG B C, ZHANG X G, HUANG W Z, et al. Physiological effect of spatial sound field on rice sheath blight disease [J]. Progress in Natural Sciences, 2009, 19(10):1068-1073.
- [11] 韩素芬,林树燕. 豆目树种与根瘤菌[M]. 北京:中国林业出版

- 社,2013:3-23.  
HAN S F, LIN S Y. Legmina tree species and rhizobium [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2013:3-23.
- [12] 阳小成,王伯初,叶梅. 不同强度的声波对猕猴桃试管苗根系发育的影响[J]. 应用与环境生物学报,2004,10(3):274-276.  
YANG X C, WANG B C, YE M. Effects of different sound intensities on root development of *Actinidia chinensis* plantlet[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2004,10(3):274-276.
- [13] 阳小成,丁剑平,王伯初. 不同频率的声波刺激对猕猴桃组培苗根系发育的影响[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2008,30(11):72-74.  
YANG X C, DING J P, WANG B C. Effects of different sound frequency on roots development of *Actinidia chinensis* plantlet [J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2008, 30(11):72-74.
- [14] HOU T Z, LUAN J Y, WANG J Y, et al. Experimental evidence of a plant meridian system III: the sound characteristics of *Phylodendron* (*Alocasia*) and effects of acupuncture on those properties[J]. The American Journal of Chinese Medicine, 1994, 22(3-4):205-214.
- [15] 侯天侦,李保明,滕光辉,等. 植物声频控制技术在设施蔬菜生长中的应用[J]. 农业工程学报,2009,25(2):156-160.  
HOU T Z, LI B M, TENG G H, et al. Application of frequency technology to protected vegetable production [J]. Transactions of the CSAE,2009, 25(2):156-160.
- [16] 祁丽荣,滕光辉,侯天侦,等. 黄瓜幼苗自发声频率测定方法与试验[J]. 农业机械学报,2010,41(增刊):263-265.  
QI L R, TENG G H, HOU T Z, et al. Method and experiment of spontaneous acoustic frequency measurement on cucumber [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41 (Suppl. ):263-265.
- [17] 孙克利,席葆树,蔡国友,等. 交变应力作用下烟草细胞热力学相行为的研究[J]. 生物物理学报,1999,15(3):579-583.  
SUN K L, XI B S, CAI G Y. The effects of alternative stress on the thermodynamical properties of cultured tobacco cells [J]. Acta Biophysica Sinica, 1999, 15(3):578-583.
- [18] 阳小成,王伯初,段传人,等. 声波刺激对猕猴桃愈伤组织ATP含量的影响[J]. 中国生物工程杂志,2003,23(5):95-97.  
YANG X C, WANG B C, DUAN C R, et al. Effects of sound stimulation on ATP content of *Actinidia chinensis* callus [J]. China Biotechnology, 2003, 23(5):95-97.
- [19] 孟庆午,周清,郑劲婧,等. 植物声频控制技术对番茄生长特性、叶绿素及内源激素影响的研究[J]. 湖北农业科学,2012,51(8):1591-1595.  
MENG Q W, ZHOU Q, ZHENG S J, et al. Effects of plant acoustic frequency technology on the growth traits, chlorophyll content and endogenous hormones of *Lycopersicon esculentum* [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2012,51(8):1591-1595.
- [20] 孟庆午,周清,高杨,等. 声频处理对番茄光合荧光特性的影响[J]. 江西农业学报,2011,23(12):57-59.  
MENG Q W, ZHOU Q, GAO Y, et al. Effects of acoustic frequency treatment on photosynthetic and chlorophyll fluorescence characters of tomato [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2012 (12):57-59.
- [21] 白生龙,田光华,郝水源,等. 植物声频控制技术在玉米、向日葵上应用初探[J]. 华北农学报,2006,21(增刊3):86-88.  
BAI S L, TIAN G H, HAO S Y, et al. The plant voice the control technique [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2006,21 (Suppl. 3):86-88.

(责任编辑 冯秀兰  
责任编辑委 赵秀海)