

果园化栽培模式杜仲雄花、果实和 叶片产量的调查分析*

吴敏^{1,3}, 赵阳^{1,3}, 马志刚^{1,2,3}, 刘攀峰^{1,2,3}, 杜红岩^{1,2,3}, 孙志强^{1,2,3**}

(1. 中国林业科学研究院经济林研究开发中心,河南 郑州 450003; 2. 国家林业局杜仲工程技术研究中心,河南 郑州 450003;
3. 国家林业局泡桐研究开发中心,河南 郑州 450003)

关键词:杜仲;果园化栽培模式;立地条件;平均标准木法;采收效率

中图分类号:S727.3

文献标识码:A

Investigation of Male Flower, Fruit and Leaf Yield from An *Eucommia ulmoides* Orchard System

WU Min^{1,2}, ZHAO Yang^{1,3}, MA Zhi-gang^{1,2,3}, LIU Pan-feng^{1,2,3}, DU Hong-yan^{1,2,3}, SUN Zhi-qiang^{1,2,3}

(1. Non-timber Forestry R&D Center, Chinese Academy of Forestry, Zhengzhou 450003, He'nan, China;
2. Eucommia Engineering Research Center of State Forestry Administration, Zhengzhou 450003, He'nan, China;
3. Paulownia R&D Center of China, Chinese Academy of Forestry, Zhengzhou 450003, He'nan, China)

Abstract: In order to explore the key site conditions affecting *Eucommia* fruit and leaf yield from an *Eucommia* Orchard-Like System, the fruit and leaf yields of *Eucommia* trees over 6 years after grafted were measured by the method of mean sample tree from permanent plots in Lingbao *Eucommia* Base, He'nan Province, China. Meanwhile, the harvest efficiency was calculated by means of measuring the real harvest of male flower and fruit to assess the productivity under such cultivation model. The male flower yield per tree, fruit yield per tree and leaf yield per tree differed statistically significant, and they were not positively correlated with the age of tree. In terms of site conditions, elevation and soil depth were main factors affecting fruit and leaf yield. The highest mean fruit and leaf yield per tree was achieved at the soil depth of 40–70 cm, followed by the soil depth > 70 cm and the lowest yield at the soil depth <40 cm. This study revealed that the base diameter and tree height of *Eucommia* tree over 8 years old in different permanent plots differed significantly, while there was no significant positively correlation between the above growth indexes and the age of tree. The mean tree height ranged from 5.36 m to 7.48 m.

Key words: *Eucommia ulmoides*; orchard-like system; site condition; mean sample tree method; productivity

杜仲 (*Eucommia ulmoides* Oliv) 属杜仲科 (Eucommiaceae), 本科仅 1 属 1 种, 是仅存于我国的第三纪孑遗植物, 名贵经济树种, 国家二级保护树种^[1, -2]。杜仲叶、雄花、果皮和杜仲皮都含有多种具有独特的医疗保健功能的活性物质^[2-3]。例如,

杜仲叶富含绿原酸、京尼平苷酸等活性成分, 其中绿原酸含量达 5.28%。杜仲雄花中的黄酮类化合物含量高于皮和叶, 而且同样富含绿原酸、桃叶珊瑚苷、京尼平甙酸等活性物质^[3-6]。这些活性物质在促进体内胶原蛋白的合成、抗衰老, 降血压, 降低血

收稿日期: 2013-04-06

基金项目: 国家十二五科技支撑计划项目(2012BAD21B0502)

作者简介: 吴敏(1987—), 女, 在读硕士, 研究方向为经济林栽培和育种。E-mail: wumin@qq.com.

* 国家林业局泡桐研究开发中心研究生黄海燕, 灵宝天地公司贺万森协助布设样地, 收集本底数据, 在此一并致谢。

** 通讯作者: 研究员, 研究方向为杜仲栽培与有害生物生态控制。E-mail: sun371@163.com.

脂和胆固醇,治疗心、脑血管疾病,补肝肾等方面具有独特的效果,且无毒副作用。

杜仲果皮、树皮、树叶等均含有丰富的杜仲胶^[7-10]。杜仲天然橡胶(杜仲胶),是一种特殊的天然高分子材料,具有低温可塑、形状记忆、透雷达波、耐磨、耐腐蚀、减振、隔音等多种特性,具有与相关材料的共混、集成、改性等多种功能^[11-12]。这些特性赋予了杜仲胶独有的“橡胶—塑料双重特性”^[10, 13-14]。杜仲果皮内杜仲胶含量高达20%~26%^[15],是大规模提取杜仲胶最理想的原料;同时,杜仲籽提取物富含 α -亚麻酸,具有降血脂、降血压、抑制过敏、预防冠心病和脑血管疾病等作用,是宝贵的药用和食用新资源^[16-17]。此外,杜仲雄花茶已成为当前市场上炙手可热的新功能食品。因此,如何提高杜仲雄花和果实产量成为当前杜仲产业化开发的重点研究领域之一。

杜仲雌雄异株,自然生长状态下第7年开始开花结果。传统的实生苗造林雌株通常占30%~55%,年产果实(干质量)40~150 kg·hm⁻²,收获期40~60年,但存在严重的大小年现象^[2]。中国林业科学研究院经济林研究开发中心基于9年的定点控制试验,提出了杜仲“果园化栽培模式”^[18]。该模式采用杜仲优良品种,按照雌雄比9:1造林,对树木进行矮化,通过系统的园艺化管理措施,初步解决了长期以来困扰杜仲产业化中低产和高成本的问题。采用果园化栽培,杜仲第3年开始开花结果,第8年果实产量超过4 000 kg·hm⁻²,大幅度提高了杜仲胶和 α -亚麻酸的产量^[18]。尽管在可控条件下短期内杜仲果园的果实产量得到成倍提高,但这种栽培模式在不同立地条件下的推广应用对果实产量影响的研究还鲜见报道,特别是对于果园的后期管理方面亟待开展相关的研究。

目前,杜仲果园化栽培模式在我国部分地区进行了推广。例如,在河南省灵宝市建立了全国最大面积的杜仲果园栽培示范基地。通过实地调查,发现灵宝杜仲果园由于管理较为粗放,树形特别是树高生长失控,导致结实大小年现象重新出现;同时,由于水肥管理的缺乏导致产量下降。因此,本研究根据灵宝杜仲果园的生态系统结构、立地条件、依据树龄、密度、栽植类型(矮化、乔木)、管理方式等,设置了永久性样地10块。以灵宝杜仲果园高接换优后生长6年以上杜仲为研究对象,通过对不同立地条件下杜仲雄花、果实和叶片产量进行比较,探究影

响果实和叶片产量的关键立地因子,并结合生产上雄花和果实的实际采收量,一方面用以评价目前这种栽培模式的生产效率,另一方面为提出针对杜仲果园的中长期管理策略,为进一步发掘提高杜仲产量的潜力提供理论依据。

1 研究区概况

灵宝杜仲种植基地始建于1996年,位于灵宝市朱阳镇闫驮乡(110°39'37" E, 34°16'18" N),最高海拔1 072 m,总面积近1 500 hm²,其中杜仲果园化栽培面积约占总面积的60%,是目前世界上最大的杜仲果园化种植园。从2001年开始对当时4~6年的杜仲采用高接换优的方式进行改造,开展集约化的果园化栽培。建立了杜仲雄花茶园示范林和杜仲果园,雄花茶园全部由雄树组成,面积约33 hm²;杜仲果园按雌树与雄树9:1的比例进行配置。雄树主要嫁接杜仲优良无性系‘华仲1号’(*Eucommia ulmoides* ‘Huazhong 1’)和‘华仲5号’(*Eucommia ulmoides* ‘Huazhong 5’)、雌树主要嫁接优良无性系‘华仲6号’(*Eucommia ulmoides* ‘Huazhong 6’)、‘华仲7号’(*Eucommia ulmoides* ‘Huazhong 7’)、‘华仲8号’(*Eucommia ulmoides* ‘Huazhong 8’)和‘华仲9号’(*Eucommia ulmoides* ‘Huazhong 9’)。其中‘华仲1号’和‘华仲6号’是我国培育出的第一批杜仲良种。‘华仲1号’是以杜仲树皮(药材)为利用目标的雄株,雄花量大;‘华仲6号’为雌株,具有稳产高产的特点。

该地区属暖温带大陆性半湿润季风型气候,气候温和,四季分明;年均温13.8℃,年平均降水量641.8 mm。该地区土壤以褐土为主,质地多为砂壤质,结构疏松,层次明显;土层厚薄不一,有机质含量在8.3~28.2 g·kg⁻¹之间,全N 80~140 mg·kg⁻¹、全P 48~98 mg·kg⁻¹、全K 16.8~21.7 g·kg⁻¹,pH值在7.8~8.8之间。

按照该地区的生态系统结构、功能及其环境特点,于2012年布设了具有代表性的10块永久性标准样地,其中在杜仲雄花茶园中布设2个,样地内均为‘华仲1号’,在杜仲果园中布设8个,样地内雌树均为‘华仲6号’,每个样地面积30 m×30 m,样地保护带宽度为30 m。测量并记录样地的土壤厚度、海拔高度、坡位、坡向、坡度等指标,并在样地四角及边线中点用水泥桩作永久性固定标志。对样地中杜仲树木顺序标号并分别钉上标牌,测量每株树木的

树高、基径、枝下高、分枝数量、冠幅等指标。因杜仲果园内杜仲定干高度一般在1 m左右,所以无胸径指标。本研究重点调查杜仲雄花、果实和叶片生物量,并结合实际重点调查了雄花和果实的采收量。样地详细信息见表1。

2 研究方法

2.1 雄花、果实和叶片生物量调查方法

杜仲果园样地内立木大小较为一致且是分布均匀的同龄人工林,因此采用平均标准木法测定果实

和叶片产量^[19]。在整理好每木调查的结果后,在每个样地中,选择基径和分枝数量在平均值附近的3株立木作为平均标准木,于2012年10月杜仲果实成熟后期、2013年4月雄花盛期开展调查。方法是按照主要侧枝分别采集各侧枝上所有的雄花、果实和叶片,分别测定各个侧枝雄花、果实、树叶的鲜质量,并取其各部分的部分样品,装入袋中带回室内,在65℃烘干至恒质量后称量。计算样品的含水量,并在野外测定鲜质量值的基础上将其换算成干质量,计量单位最终换算成 $\text{kg} \cdot \text{株}^{-1}$ 。

表1 灵宝杜仲果园标准地信息

样地号	小地名	经纬度		树龄/高接换优龄/a	密度/(株·hm ⁻²)	海拔/m	土壤厚度/cm	坡向	郁闭度
1	场部后	34°16'39.5"N	110°39'49.2"E	14/10	1 078	1 036	40	E	0.85
2	水壶洼	34°16'18.5"N	110°39'37.2"E	14/10	733	960	70	E	0.75
3	场部西	34°16'41.2"N	110°39'50.8"E	15/11	856	1 027	50	E	0.95
4	后洼	34°16'39.4"N	110°40'15.7"E	14/10	1 011	1 038	40	E	0.85
5	牌子西	34°16'40.8"N	110°40'12.0"E	13/9	833	1 018	50	W-S	0.75
6	梁庄	34°16'52.4"N	110°39'45.2"E	12/9	856	1 018	30	W	0.70
7	东洼	34°16'45.7"N	110°39'25.7"E	11/7	950	957	80	W	0.65
8	姜子岭	34°16'24.2"N	110°40'14.5"E	11/7	1 100	995	30	W	0.50
9	后烟终	34°17'54.1"N	110°41'7.1"E	10/6	533	882	30	N-E	0.50
10	丁家凹	34°17'42.9"N	110°41'16.8"E	10/6	444	910	100	N-W	0.70

注:样地4、6为雄花茶园。

2.2 雄花和果实采收效率调查

2012年10月杜仲果实成熟后期、2013年4月雄花盛期分别对样地内的果实和雄花采用当地现有采摘技术进行采摘。果实的采收方法是在树下铺上塑料膜,用竹竿敲击枝干致成熟果实脱落,然后集中掉落的果实和叶片进行人工分拣;雄花完全靠上树进行采摘。分别称量各样地采集到的果实和雄花鲜质量,根据单位面积果实和雄花的平均生物量计算采收效率,因雄花茶园样地只有2个,故在调查中新设立临时样地3个,面积20 m × 20 m,由于雄花茶园分布较为集中,其单株生物量参照标准地的平均生物量计算采收效率。计算公式如下:

$$\text{采收效率}(\%) = \frac{\text{实际采收量}(\text{kg})}{\text{平均单位面积生物量}(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})} \times 100\%$$

2.3 数据分析

采用SPSS 15.0开展数据分析。首先对杜仲基径、树高与树龄的相关关系进行分析和双尾(Two-tailed)显著性检验;采用方差分析比较不同林龄(也是不同样地)杜仲平均基径和平均树高的差异,对差异显著的进行多重比较;采用方差分析比较不同样

地杜仲平均单株果实产量和叶片产量的差异,对差异显著的进行多重比较。采用t检验对2块雄花茶园雄花生物量进行差异性比较。

为了考察土壤厚度这一关键立地条件对杜仲果实和叶片产量的影响,将土壤厚度分为<40 cm、40~70 cm和>70 cm 3组,采用方差分析判别不同土壤厚度下杜仲果实和叶片产量差异性,对差异显著的进行多重比较。

运用主成分分析法和多元回归分析,找出影响杜仲平均单株果实产量和叶片产量的主要因子,如土壤理化因子、海拔高度、土壤厚度以及林分特征因子包括林龄、密度、郁闭度。

3 结果与分析

3.1 树高与基径生长差异比较

相关关系分析表明,灵宝杜仲果园内杜仲的基径与树龄无显著相关性($R^2 = 0.548, P = 0.159 > 0.05$),树高与高接换优后生长年龄的相关关系亦不显著($R^2 = 0.455, P = 0.305 > 0.05$)。方差分析结果表明,高接换优后不同生长年龄的杜仲基径($F =$

18.937, $p=0.000$)和树高($F=17.136$, $p=0.000$)的差异达到极显著水平。

对差异显著的平均基径进行多重比较,结果见图1。2号样地(嫁接10年)的杜仲基径(15.43 ± 4.33 cm)显著大于其他各个样地的杜仲基径;其他样地中,3号(嫁接11年)与5号(嫁接9年)样地的杜仲基径无显著差异(13.17 ± 2.16 cm和 13.34 ± 4.72 cm),但均显著大于1、7、8、9、10号样地的杜仲基径,而同时,1、7、8、9、10号样地之间的杜仲基径无显著差异。由表1可知,1号样地杜仲为嫁接生长10年,7、8、9、10号样地杜仲分别为7年和6年。

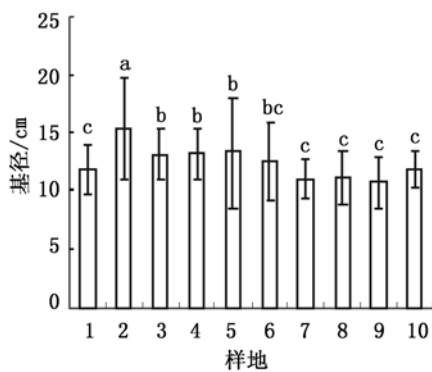


图1 不同样地杜仲基径比较
(图中字母相同者表示差异不显著)

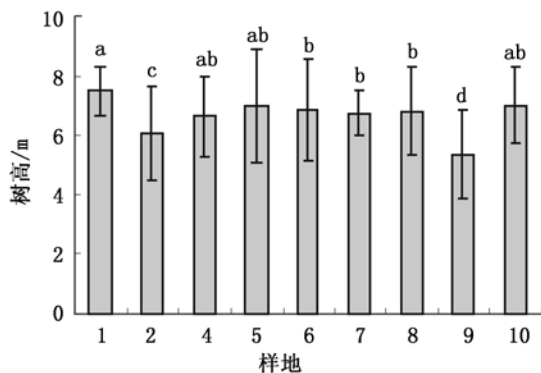


图2 不同样地杜仲树高比较
(图中字母相同者表示差异不显著)

图2显示平均树高的多重比较结果(3号样地数据缺失),1号样地杜仲树高(7.48 ± 0.81 m)显著高于2、7、8、9号样地,同时与5号样地(7.01 ± 1.93 m)和10号样地(7.01 ± 1.26 m)树高之间差异不显著;而5、10号样地树高与7、8号样地内的杜仲树高无显著差异,但均显著高于2号和9号样地中的树高;2号样地树高(6.08 ± 1.59 m)显著高于9号样地的树高(5.36 ± 1.50 m)。从表1可知,样地

间的海拔和土壤厚度差异较为明显,因此,当地杜仲基径和树高的这种差异主要是受到立地条件的影响。

3.2 雄花、果实和叶片产量比较

T检验表明,4号和6号雄花茶园的雄花生物量差异极显著($t=7.003$, $p=0.01$);方差分析结果表明,不同样地杜仲平均单株果实产量($F=3.667$, $p=0.016$)和叶片产量($F=10.547$, $p=0.000$)的差异达到极显著水平。

对差异显著的平均单株果实产量进行多重比较,结果见图3。2号样地的平均单株果实产量(4.59 ± 1.50 kg·株⁻¹)显著高于其他各个样地;其他样地中,3号与10号(嫁接6年)样地的杜仲平均单株果实产量无显著差异(2.59 ± 0.93 kg·株⁻¹和 2.36 ± 2.04 kg·株⁻¹),但均显著高于9号样地(嫁接6年)的平均单株果实产量(0.49 ± 0.22 kg·株⁻¹)。同时,3号和10号样地的平均单株果实产量与1、5、7、8号样地无显著差异,而1、5、7、8号样地与9号样地的平均单株果实产量差异不显著。

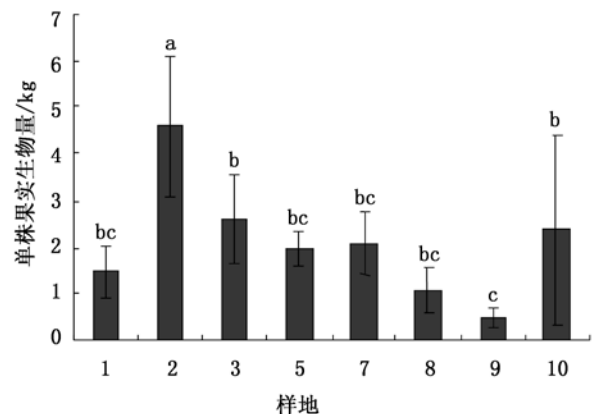


图3 不同样地杜仲果实产量比较
(图中字母相同者表示差异不显著)

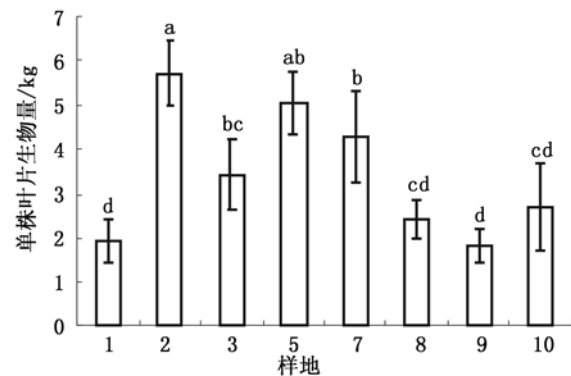


图4 不同样地杜仲叶片产量比较
(图中字母相同者表示差异不显著)

由图4看出,2号样地的平均单株叶片产量($5.7 \pm 0.75 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$)和5号样地($5.05 \pm 0.71 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$)的差异不显著,但2号样地的平均单株叶片产量显著高于其他所有样地。同时5号样地杜仲平均单株叶片产量与3号($3.43 \pm 0.79 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$)和7号($4.26 \pm 1.04 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$)样地无显著差异,其中,7号样地平均单株叶片产量显著高于1、8、9、10号样地。虽然1、8、9、10号样地的平均单株叶片产量差异不显著,这其中的8号和10号样地的平均单株叶片产量与3号样地差异不显著,但3号样地平均单株叶片产量显著高于1号($1.92 \pm 0.49 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$)和9号($1.81 \pm 0.38 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$)的产量。

3.3 土壤厚度对果实及叶片产量的影响

由表1可知,土壤厚度 $<40 \text{ cm}$ 的样地包括1、8、9号;土壤厚度 $40 \sim 70 \text{ cm}$ 的样地包括2、3、5号样地,这3块样地的杜仲均是由嫁接生长9年以上的大树构成;土壤厚度 $>70 \text{ cm}$ 的样地分布在7号和10号样地,高接换优后生长年限分别为7年和6年。方差分析结果表明,不同的土壤厚度下,平均单株果实($F = 5.987, p = 0.009$)和叶片($F = 14.295, p = 0.000$)的产量差异均达到极显著水平。

对果实产量而言,土壤厚度 $40 \sim 70 \text{ cm}$ 条件下,平均单株产量($2.86 \pm 1.35 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$)显著高于土壤厚度 $<40 \text{ cm}$ 的单株产量($1.02 \pm 0.58 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$),而与土壤厚度 $>70 \text{ cm}$ 的单株产量无差异($2.22 \pm 1.37 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$);土壤厚度 $<40 \text{ cm}$ 与土壤厚度 $>70 \text{ cm}$ 的杜仲单株果实产量无显著差异(图5)。

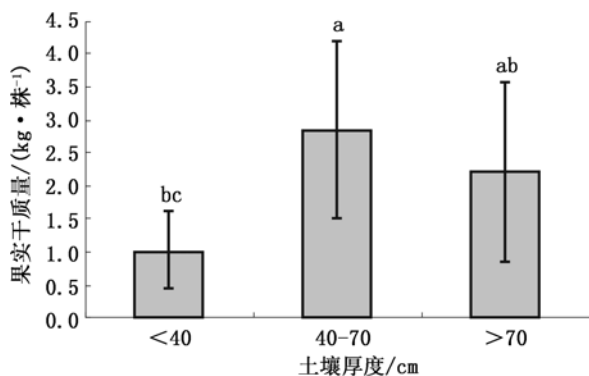


图5 不同土壤厚度的杜仲果实产量比较
(图中字母相同者表示差异不显著)

平均单株叶片产量在3个土壤厚度条件下表现出显著的差异性,最高的产量出现在土壤厚度 $40 \sim 70 \text{ cm}$ 条件下($4.6 \pm 1.2 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$),其次是在土壤厚度 $>70 \text{ cm}$ 条件下($3.47 \pm 1.25 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$),最低的产量出现在土壤厚度 $<40 \text{ cm}$ 条件下($2.05 \pm$

$0.47 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$),而且上述三者相互间均表现出显著性的差异(见图6)。

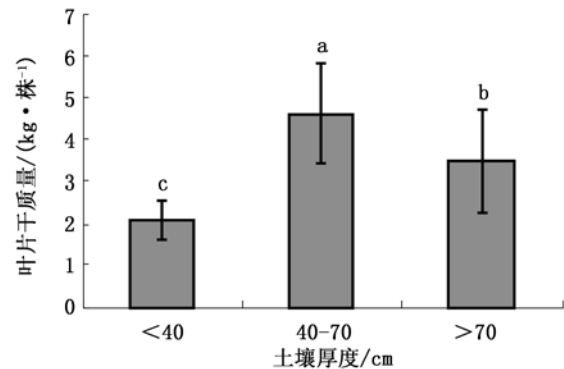


图6 不同土壤厚度的杜仲叶片产量比较
(图中字母相同者表示差异不显著)

3.4 影响果实及叶片产量的主要因子

经主成分分析可知,前3个主成分累积贡献率达到了83.41%。以前3个成分因子为解释变量,以果实干质量和叶片干质量为响应变量,进行回归分析,得到回归方程如下:

$$\text{果实干质量} = 0.194 + 0.106\text{PC}^1 + 0.060\text{PC}^2 - 0.499\text{PC}^3 \quad (R^2 = 0.399 \quad P = 0.031)$$

$$\text{叶片干质量} = 3.080 - 0.008\text{PC}^1 + 0.536\text{PC}^2 - 0.495\text{PC}^3 \quad (R^2 = 0.855 \quad P < 0.001)$$

将方程中各主成分因子转换为原始变量,得到如下方程:

$$\text{果实干质量} = -0.925 - 0.195 \text{土壤 pH} + 3.681 \text{N} - 6.975 \text{P} + 0.925 \text{K} + 0.001 \text{海拔} + 1.745 \text{郁闭度} + 0.046 \text{树龄} + 0.012 \text{土壤厚度}$$

$$\text{叶片干质量} = 3.849 - 0.856 \text{土壤 pH} - 0.030 \text{有机质} - 2.934 \text{N} - 18.672 \text{P} + 1.893 \text{K} + 0.003 \text{海拔} + 1.524 \text{郁闭度} + 0.057 \text{树龄} + 0.008 \text{土壤厚度}$$

由上可见,土壤养分无疑是果实和叶片产量最主要的影响因子,除此以外,立地因子中的海拔和土壤厚度对产量也有重要的影响,而林分因子中的郁闭度和树龄与产量也存在一定的相关关系。

3.5 雄花和果实的采收效率

表2显示杜仲雄花各个样地平均雄花生物量和实际采收量,其中11~13号样地为临时样地。采收效率最低为20.1%,最高为36.4%,平均采收效率为29%。杜仲果实的采收效率如表3所示,最低为13.2%,最高达41.9%,平均采收效率为28%。

表2 杜仲雄花采收效率比较

样地编号	4	6	11	12	13
平均生物量/(kg·hm ⁻²)	3 345	2 746.5	3 045	3 120	3 120
实际采收量/(kg·hm ⁻²)	1 125	945	1 110	645	630
采收效率/%	33.5	34.4	36.4	20.6	20.1

表3 杜仲果实采收效率比较

样地编号	1	2	3	5	7	8	9	10
平均生物量/(kg·hm ⁻²)	1 591.5	3 370.5	2 220	1 641	1 972.5	1 195.5	261	1 047
实际采收量/(kg·hm ⁻²)	548.3	1 344.9	648.5	379.8	400.5	501.8	34.5	234
采收效率/%	34.4	39.97	29.2	23.1	20.3	41.9	13.2	22.3

4 结论与讨论

杜仲果园化栽培模式变革了沿用2000余年的传统药用经营模式,由传统的以生产杜仲皮为主转向以生产杜仲果实为主,大幅度提高了果实的产量,为实现果、皮、叶、雄花等综合利用奠定了基础,特别是为以杜仲果皮为原料规模化生产杜仲胶奠定了基础^[1, 20-21]。

本研究在灵宝杜仲种植园设立的标准地,立地条件具有相对的典型性,高接换优后生长年限涵盖了6~11年。树高可以反映出园艺化管理的水平,作者前期果园化控制实验表明,树高控制在4~5 m能较好的促进果实增产^[18]。灵宝杜仲种植园杜仲嫁接后不同样地杜仲的树高差异达到极显著水平,平均树高最高达到7.48 m,最低也达到5.36 m,但与高接换优后树龄无显著相关性,说明当地的立地条件是影响杜仲生长的关键因子。因此,目前树高这一生长指标反映出当地在杜仲果园化的中长期管理上存在较大的欠缺,即杜仲高生长未得到有效控制,这很可能是当地重新出现大小年现象的主要原因之一。

立地因子中,海拔高度和土壤厚度对产量有重要的影响。本文所调查的分布在土壤厚度40~70 cm的杜仲高接换优均超过9年,其平均单株果实产量 $2.86 \pm 1.35 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$,与分布在土壤厚度>70 cm,高接换优后7年和6年的单株产量($2.22 \pm 1.37 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$)无差异,但显著高于土壤厚度<40 cm的单株产量($1.02 \pm 0.58 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$)。平均单株叶片产量在3个土壤厚度条件下表现出相同的趋势,即土壤厚度40~70 cm产量最高、其次土壤厚度>70 cm、最后是土壤厚度<40 cm。周正贤等^[22]对贵州遵义、湖南慈利杜仲人工林进行2年的生物量研究后指出,相同立地条件下,不同年龄的杜仲林分的

生物量随年龄增大而增加,其中叶和根占林分总生物量的比例随年龄增大而下降,干和枝占林分总生物量的比例随年龄增大而增加,而皮却保持较为恒定比例。杜仲生物量在不同坡位表现依次为山凹部及平缓地,山下部,山中上部,山上部。在灵宝杜仲种植园,山凹部及平缓地的土壤较厚,有利于杜仲根系生长,这与周正贤等的研究结果有相似之处。

从平均单株果实和叶片产量看,2号样地的平均单株果实产量达 $4.59 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$,叶片产量达 $5.7 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}$,超过了作者早期的定点可控的试验产量^[18];但大多数样地的果实和叶片平均产量均较低,且与高接换优后生长年限之间无显著相关关系。9号和10号样地的叶片产量差异不显著,但10号样地的杜仲平均单株果实产量显著高于9号样地的平均单株果实产量,这两个样地的土壤厚度差异显著,这可能是造成具有相同树龄的杜仲产量差异显著的主要原因。尽管潘攀等^[19]指出,杜仲人工林的乔木层生物量会随着树龄增加而增大,但这一结论显然不能适用于杜仲果园化栽培的果实和叶片产量的预测。

尽管2012果实产量达120 t,为历年来最高,雄花产量18 t,但按照实际收获面积,其收获效率分别为果实13.6%和雄花18%,并分别低于小面积样地的果实平均采收效率29%和雄花平均采收效率28%。小样地内由于采摘更加仔细,因而造成整体上采摘效率远远高于实际生产的效率。例如,雄花主要靠人工攀爬树木采摘,树木上部的雄花由于过高而无法采摘,因而严重制约了整体的产量。

参考文献:

- [1] 杜红岩. 杜仲优质高产栽培[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996
- [2] 李芳东, 杜红岩. 杜仲[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2001: 232-256
- [3] 杜红岩. 杜仲活性成分与药理研究的新进展[J]. 经济林研究,

- 2003, 21(2): 58-61
- [4] 杜红岩, 李 钦, 杜兰英. 杜仲雄花茶的食品安全性毒理学研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2008, 28(2): 91-94
- [5] 杜红岩, 李 钦, 杜兰英, 等. 杜仲雄花茶内营养成分的测定分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2007, 27(6): 88-91
- [6] 金晓玲, 杜红岩, 李 钦. 杜仲雄花茶对小鼠抗疲劳作用的实验研究[J]. 食品科学, 2008, 29(7): 432-434
- [7] 杜红岩, 李芳东, 杜兰英. 不同产地杜仲果实含胶量的差异及其相关性分析[J]. 林业科学, 2006, 42(3): 35-39
- [8] 杜红岩, 谢碧霞. 杜仲胶的研究进展与发展前景[J]. 中南林业学院学报, 2003, 23(4): 95-99
- [9] 谢碧霞, 杜红岩, 杜兰英, 等. 不同变异类型杜仲果实含胶量变异研究[J]. 林业科学, 2005, 41(6): 144-146
- [10] 严瑞芳. 杜仲胶研究进展及发展前景[J]. 化学进展, 1995, 7(1): 65-71
- [11] Du H Y, Li F D, Du L Y. Gutta-percha research associated with *Eucommia ulmoides* Oliv[J]. Acta Horticulturae, 2008, 769: 509-514
- [12] Zhao H X, Zhang J C, Li X, et al. Damping properties of *Eucommia ulmoides* Gum and its blends[J]. International Symposium on *Eucommia ulmoides*, 2007, 1(1): 116-118
- [13] 严瑞芳. 杜仲橡胶的开发及应用概况[J]. 橡胶科技市场, 2010, 8(10): 65-71
- [14] 张继川, 薛兆弘, 严瑞芳, 等. 天然高分子材料—杜仲胶的研究进展[J]. 高分子学报, 2011(10): 1105-1117
- [15] Nakazawa Y, Bamba T, Takeda T, et al. Production of *Eucommia-rubber* from *Eucommia ulmoides* Oliv. (hardy rubber tree)[J]. Plant Biotechnology, 2009, 26(1): 71-79
- [16] Deyama T, Nishibe S, Nakazawa Y. Constituents and pharmacological effects of *Eucommia* and Siberian ginseng[J]. Acta Pharmacologica Sinica, 2001, 22(12): 1057-1070
- [17] 严晓敏. 一种从杜仲种子中提取种子油及杜仲胶的方法[P]. 中国发明专利 200810000161 2008.
- [18] Sun Z Q, Li F D, Du H Y, et al. A novel silvicultural model for increasing biopolymer production from *Eucommia ulmoides* Oliver trees[J]. Industrial Crops & Products, 2013, 42: 216-222. doi: 10.1016/j.indcrop.2012.06.001
- [19] 潘 攀, 全美景. 杜仲人工林生物量和生产力研究[J]. 长江流域资源与环境, 2000, 9(1): 71-77
- [20] 杜红岩, 杜兰英, 傅建敏, 等. 提高杜仲雄花产量的培育方法[P]. 中国发明专利 ZL 200510017465.9. 2007.
- [21] 杜红岩, 李芳东, 杜兰英. 一种提高杜仲产果量和产胶量的培育方法[P]. 中国发明专利 ZL 98123324.4. 2002.
- [22] 周政贤, 谢双喜. 杜仲人工林生物量及生产力研究[J]. 林业科学研究, 1994, 7(6): 646-651