

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201508001

闫荣玲, 廖阳, 黄玉钱, 等. 油茶叶片营养元素、叶脉密度及生理指标随树龄变化规律及其与产量的相关性 [J]. 广西植物, 2016, 36(8):980-985  
YAN RL, LIAO Y, HUANG YQ, et al. Changes laws of nutrient elements, veins density, physiological index in *Camellia oleifera* leaves with different tree ages and their correlation with yield [J]. *Guihaia*, 2016, 36(8):980-985

## 油茶叶片营养元素、叶脉密度及生理指标 随树龄变化规律及其与产量的相关性

闫荣玲, 廖阳\*, 黄玉钱, 殷小林, 徐文, 许路路, 王静

(湖南科技学院 化学与生物工程学院, 湖南 永州 425199)

**摘要:** 该研究关注了不同树龄油茶叶片的营养元素含量、叶脉密度及生理指标,旨在了解它们随树龄的变化规律及其对产量的影响。结果表明:(1)不同树龄间金属或稀土元素含量差异显著;大部分元素随树龄的增加表现为先增后减的变化趋势,但不同元素达到最大含量的树龄不尽相同;(2)叶脉呈网络状分布,根据叶脉直径大小分为粗、中、细三个等级;粗、中叶脉密度随树龄的变化不明显,细叶脉密度随树龄呈先增后减变化趋势。(3)叶绿素、MDA、可溶性糖、可溶性蛋白质含量以及 POD 活性等生理指标均随树龄的变化,表现出各自变化规律。(4)叶绿素含量、POD 活性、稀土元素总量以及细叶脉密度与产量表现出明显正相关关系 ( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ )。该研究结果丰富了油茶的基础资料,可为油茶的栽培与管理提供些许参考,并提示人们可以利用叶片的部分营养、生理、结构指标来跟踪监测植株状态和预测产量。

**关键词:** 树龄, 营养元素, 叶脉密度, 生理指标, 产量, 油茶叶片

中图分类号: Q945.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2016)08-0980-06

## Chang laws of nutrient elements, veins density, physiological index in *Camellia oleifera* leaves with different tree ages and their correlation with yield

YAN Rong-Ling, LIAO Yang\*, HUANG Yu-Qian, YIN Xiao-Lin,  
XU Wen, XU Lu-Lu, WANG Jing

(School of Chemistry and Bioengineering, Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou 425199, China)

**Abstract:** In the present research, the nutrient element, veins density and physiological index in *Camellia oleifera* leaves of different tree ages were compared to understand their change laws with tree age and the responding effects on yield. The results were as follows: (1) There were significant differences in the content of metal elements or rare earth elements among different ages; almost all elements showed the regularity of increasing first then decreasing with tree age while they reached the maximum content at the different ages. (2) Veins distributed in a network pattern and could be divided into three categories of great, medium and fine vein by diameter; density of great and medium vein did not change significantly while density of fine vein showed a change law of increasing first then decreasing with tree age. (3) Physiological indexes such as the content of chlorophyll, MDA, soluble sugar and soluble protein and the POD activity

收稿日期: 2015-08-02 修回日期: 2015-12-07

基金项目: 湖南省科技厅科研项目 (2013NK4112, 2014NK3133); 2014 年湖南科技学院科研课题及校大学生研究性学习课题 [Supported by Research Project of Science and Technology Department of Hunan Province(2013NK4112,2014NK3133); Research Project and Students' Research Learning Project of Hunan University of Science and Engineering in 2014].

作者简介: 闫荣玲 (1982-), 女, 河北石家庄人, 硕士, 讲师, 主要从事生理学与天然产物利用研究, (E-mail) yanrongling0912@163.com.

\*通讯作者: 廖阳, 硕士, 讲师, 主要从事生理学与天然产物利用研究, (E-mail) liaoyang1127@163.com.

showed unique change laws with three ages. (4) Chlorophyll content, POD activity, total content of rare earth element and density of fine vein showed significant positive correlation with the yield ( $P < 0.05$ , or  $P < 0.01$ ). This study will provide the reference for its cultivation and management, the parameters of nutrition, physiological and structural of the leaves can be used for tracking plant state and predicting yield.

**Key words:** tree age, nutrient elements, vein density, physiological index, yield, *Camellia oleifera* leaves

植物在内因或外因的作用下,组织结构、营养水平、生理状态往往会发生变化。生命周期的转变即为其中一个重要内因。不同植物种类虽生命周期长短不同,但一般均经历萌发、生长、繁殖、衰老、死亡等阶段。在生命周期的不同阶段,植物体表观与内部、整体与局部、宏观与微观上均会有不同程度的差异,并表现在营养、结构、生理、代谢上(戚元春等, 2012;徐漫平等, 2009;祖元刚等, 2000)。如植物随年龄增加,生长速度减慢、抵抗逆境能力减弱,叶绿体发生解体,光合作用下降(王亚琴等, 2003;马林, 2007)。实质上是一系列相关基因通过影响细胞内生物大分子的降解,氮素、脂类的转移控制着这些事件的发生与发展(袁政等, 2002; Gan & Amasino, 1997)。

叶片作为植物的光合器官,对植株的正常生长发育与新陈代谢等生命活动有重要影响,是人们进行不同树龄植株之间比较的重要器官。同一植株上不同叶龄的油茶叶片,其在生理生化以及光合特性上存在不同程度差异(胡哲森和李荣生, 2000;王瑞等, 2009)。而油茶是重要的木本油料作物,其生命周期可达上百年。那么,不同树龄植株上相同叶龄的叶片,其营养状态、组织结构、生理特性等是否存在显著差异,又是否会影响到植株的产量?目前还鲜见相关报道,本研究对此进行了初步探讨。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

油茶叶片于 2014 年 5 月采集于衡阳县金溪镇。根据栽培记录确定植株树龄为 1、5、12、20、32、47、55 a,各树龄植株均采集 2 年生叶片。新鲜叶片采集后用塑料密封袋分装并做好标记后置于冰盒中,于采集当日带回实验室进行后续处理。

### 1.2 元素含量测定

采用密闭高压消解 ICP-MS 法进行金属以及稀土元素含量的测定(林立等, 2007)。取适量混合标准液,用硝酸配制成浓度为 0、0.1、0.5、1.0、3.0、5.0

$\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  的标准系列,分别注入电感耦合等离子体质谱仪(Agilent 7700),测定相应的信号响应值,绘制标准曲线。样本测量时,称取 0.500 0 g 干燥粉碎后的各树龄叶片于消解内罐中,加 5 mL 硝酸浸泡过夜(冷消化)。盖好内盖,旋紧不锈钢外套,放入恒温干燥箱,160 °C 保持 6 h,在箱内自然冷却至室温后取出消解内罐,放在控温电热板上于 140 °C 赶酸(当内罐中的消化液大约剩 2 mL 时,加 5 mL 超纯水继续赶酸至 2 mL 左右,重复以上步骤直至赶酸完成)。消解内罐放冷后,将消化液转移至 10 mL 容量瓶中,洗罐 3 次,洗液合并于容量瓶中定容至刻度,混匀待测。将试样溶液注入电感耦合等离子体质谱仪中,得到相应信号响应值,根据标准曲线得到待测液中相应元素的浓度,平行测定 3 次求平均值。

### 1.3 叶脉显微组织结构观察

新鲜油茶叶片清水洗净后置于煮沸的 75% 乙醇中,5 min 后用镊子取出置于自来水下冲洗。再将叶片置于煮沸的 75% NaOH 溶液中,15~20 min 后用镊子取出置于自来水下冲洗至叶肉全部脱落,呈现出完整清晰的叶脉网络。吸水纸轻轻吸干后置于载玻片上进行显微观察,并随机选取三个视野进行拍照,依据陈伟月等(2014)的报道计算视野中各树龄下各级叶脉的密度(单位面积各类型叶脉长度,  $\text{mm} \cdot \text{mm}^{-2}$ )。由于叶脉并非全是直线,需用细绳沿待测叶脉分布路线进行比对之后再测量细绳长度间接获得叶脉长度。

### 1.4 叶片生理指标测定

参照张志良和瞿伟菁(2003)分别采用愈创木酚法、硫代巴比妥酸法、蒽酮法、考马斯亮蓝法、分光光度法进行叶片过氧化物酶(POD)活性以及丙二醛(MDA)、可溶性糖、可溶性蛋白质、叶绿素含量的测定,各指标均进行 3 次重复。

### 1.5 产量计算

每个树龄选取 3 株正常植株,采集各植株所有果实,分别称重(鲜重)后所得平均值为此树龄单株产量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同树龄油茶叶片营养元素含量比较

2.1.1 Zn、Mn、Fe 和 Cu 含量的比较 不同树龄油茶叶片中 Zn、Mn、Fe、Cu 元素的含量差异明显(表 1)。表 1 显示, Mn、Fe 含量远高于 Zn 与 Cu, 尤其是 Mn 的含量。Zn、Cu 分别在  $7.06 \sim 10.63 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  与  $4.28 \sim 7.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  之间变化, Mn 与 Fe 分别在  $920.32 \sim 1\ 200.42 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  与  $54.29 \sim 65.89 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  之间变化。除 Zn 与 Fe 含量在初始 1~5 a 树龄间稍有减少外, 各元素含量随树龄增加均表现为先增加后减少的变化趋势, 但不同元素达到最大值的树龄不同, Zn 为 32 a, 而 Mn、Fe、Cu 均为 47 a。

表 1 不同树龄下油茶叶片中金属元素含量

Table 1 Content of metal elements in the leaves of *Camellia oleifera* with different tree ages ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

树龄 Tree age (a)	锌 Zn	锰 Mn	铁 Fe	铜 Cu	总含量 Total content
1	8.07	920.32	56.15	4.28	988.82
5	7.06	960.27	54.29	4.37	1 025.99
12	9.54	1 000.80	60.11	4.69	1 075.14
20	10.22	1 080.25	61.34	6.05	1 157.86
32	10.63	1 180.34	64.61	6.15	1 261.73
47	9.77	1 200.42	65.89	7.05	1 283.13
55	9.43	1 103.61	58.51	4.61	1 176.16

2.1.2 稀土元素含量的比较 不同树龄油茶叶片中 16 种稀土元素含量汇总于表 2。由表 2 可知, 稀土元素含量间差异明显。含量较多的有钇、铈、镧、铈, 其中钇含量最高。含量极少的为铽、铪、镱, 其中铽含量最为稀少, 几乎检测不到。除钇、钆、铈、铪在 1~10 a 树龄之间出现波动外, 各稀土元素含量均随树龄先逐渐增加, 到 5 a (仅铪)、12 a (铈、铈)、20 a (钆、镱、镱、铈、铈) 或 32 a (铈、铈、铈) 达最大值后逐渐下降, 55 a 时未检测到铽、镱、铪的存在。

### 2.2 叶脉密度随树龄变化规律

如图 1 所示, 油茶叶脉呈网络状分布。根据叶脉直径大小, 可明显分为 3 级, 分别是 I 级粗叶脉(箭头所示); II 级中叶脉(圆圈所示); III 级细叶脉(矩形所示)。网络架构主要通过大叶脉与中叶脉的联通而形成, 小叶脉全部由中叶脉发出, 如同毛细

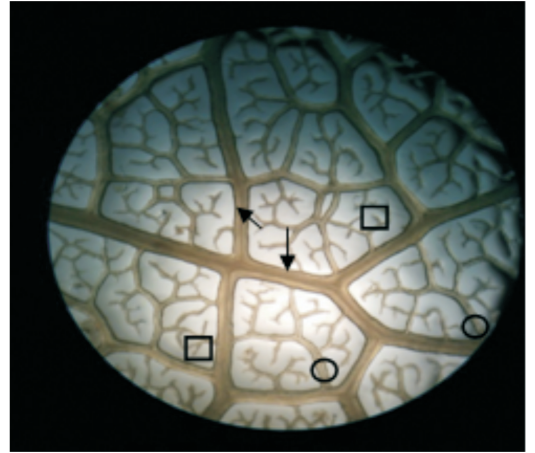


图 1 油茶叶片叶脉分布(12 a, 40 倍)  
Fig. 1 Vein distribution in leaves of *Camellia oleifera* (12 a, 40 ×)

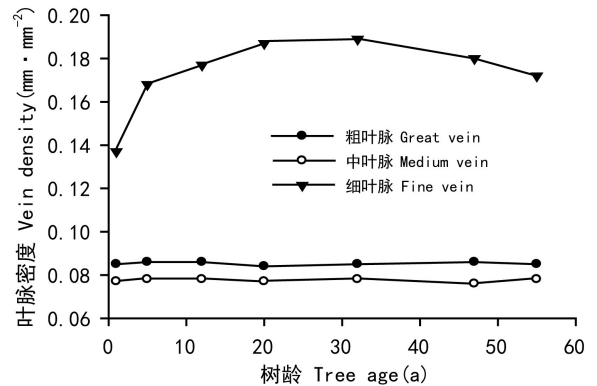


图 2 不同树龄下油茶叶脉密度比较  
Fig. 2 Comparison of vein density in the leaves of *Camellia oleifera* with different tree ages

血管布满大叶脉与中叶脉连接围成空间。对不同树龄植株的叶脉密度进行对比发现, 粗叶脉与中叶脉密度随树龄的变化不明显, 而细叶脉密度随树龄增加表现出先增后减的规律, 具体见图 2。

### 2.3 叶片生理指标随树龄变化规律

表 3 显示, 油茶叶片叶绿素含量随树龄增加表现为先增后减的变化规律, 叶绿素含量的增加主要集中在 1~12 a, 第 20 年时达到最大值  $0.89 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 之后逐渐减少。MDA 含量在树龄为 32 a 之前变化不明显, 32 a 之后逐渐增加。POD 活性, 在 1~12 a 树龄间逐渐增加, 之后在 20~47 a 树龄间逐渐减少, 55 a 出现小幅增加。可溶性糖与可溶性蛋白质含量的变化规律则较复杂, 前者随树龄增加呈增

表 2 不同树龄下油茶叶片中稀土元素含量

Table 2 Contents of rare earth elements in the leaves of *Camellia oleifera* with different tree ages (mg · kg<sup>-1</sup>)

树龄 Tree age (a)	钪 Sc	钇 Y	镧 La	铈 Ce	镨 Pr	钕 Nd	钐 Sm	铕 Eu	树龄 Tree age (a)	钆 Gd	铽 Tb	镝 Dy	钬 Ho	铒 Er	铥 Tm	镱 Yb	镱 Lu	总含量 Total content	
1	0.048	0.459	0.087	0.116	0.027	0.107	0.028	0.184	1	0.057	0.000	1	0.047	0.012	0.072	0.012	0.043	0.007	1.306
5	0.055	0.763	0.104	0.198	0.063	0.144	0.059	0.204	5	0.036	0.000	1	0.052	0.016	0.086	0.008	0.084	0.007	1.879
12	0.090	0.656	0.112	0.453	0.066	0.239	0.034	0.286	12	0.061	0.000	3	0.065	0.023	0.086	0.007	0.099	0.013	2.290
20	0.092	0.824	0.305	0.301	0.061	0.258	0.041	0.179	20	0.081	0.000	2	0.111	0.012	0.041	0.015	0.066	0.014	2.401
32	0.106	0.921	0.286	0.437	0.068	0.243	0.059	0.305	32	0.077	0.000	4	0.102	0.026	0.056	0.012	0.089	0.016	2.803
47	0.064	0.875	0.278	0.344	0.037	0.252	0.015	0.112	47	0.045	0.000	0	0.024	0.008	0.030	0.010	0.037	0.011	1.342
55	0.021	0.768	0.202	0.251	0.004	0.202	0.001	0.102	55	0.001	0.000	0	0.001	0.003	0.001	0.000	0.001	0.000	0.058

表 3 不同树龄油茶叶片中生理及产量比较

Table 3 Comparison of physiological index of leaf and annual yield of *Camellia oleifera* with different tree ages

项目 Item	树龄 Tree age (a)						
	1	5	12	20	32	47	55
叶绿素含量 Chlorophyll content (mg · g <sup>-1</sup> )	0.45	0.67	0.82	0.89	0.85	0.76	0.61
MDA 含量 MDA content (mmol · g <sup>-1</sup> )	0.015	0.011	0.010	0.010	0.012	0.022	0.037
POD 活性 POD activity (ΔA <sub>470</sub> · g <sup>-1</sup> · min <sup>-1</sup> )	2.57	3.37	4.86	4.84	4.61	4.02	4.34
可溶性糖含量 Soluble sugar content (mg · g <sup>-1</sup> )	12.4	16.7	20.4	21.8	21.2	21.6	29.4
可溶性蛋白含量 Soluble protein content (mg · g <sup>-1</sup> )	2.3	4.4	7.4	7.3	7.1	6.1	8.7
产量 Annual yield (g)	0	5 145.2	12 430.7	18 093.7	19 549.1	17 445.2	11 472.8

表 4 叶片中元素含量、生理指标与产量的相关性

Table 4 Correlation between the elements content, physiological index of the leaves and annual yield

考察指标 Index	金属元素总量 Total content of metal elements	稀土元素总量 Total content of rare earth elements	可溶性糖含量 Soluble sugar content	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content
与产量相关性 Correlation	$P > 0.05$	$y = 11\ 894x - 12\ 427$ $R^2 = 0.71$ $P < 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$
考察指标 Index	叶绿素含量 Chlorophyll content	MDA 含量 MDA content	POD 活性 Activity of POD	细叶脉密度 Density of fine vein
与产量相关性 Correlation	$y = 40\ 886x - 17\ 491$ $R^2 = 0.77$ $P < 0.05$	$P > 0.05$	$y = 7\ 302.7x - 17\ 842$ $R^2 = 0.73$ $P < 0.05$	$y = 387\ 873x - 55\ 041$ $R^2 = 0.87$ $P < 0.01$

加(1~20 a)-稳定(20~47 a)-增加(47~55 a),后者则呈增加(1~12 a)-稳定(12~32 a)-减少(32~47 a)-增加(47~55 a)的变化趋势。

#### 2.4 叶片营养元素含量、生理指标与产量之间的相关性

各树龄下植株产量见表 4(1 年龄产量为零)。

从表 4 分析发现,油茶果实产量随树龄的变化波动明显,5~32 a 间,果实产量随树龄的增加持续增加,32 a 达到最大值 19 549.1 g,5~12 a 树龄段增速远大于 12~20 a 树龄段增速;21~55 a 树龄段,产量逐渐减少且树龄越大减少越明显。表 4、表 5 显示各因素与产量间的相关性,稀土元素总量、细叶脉密

度、叶绿素含量与 POD 活性表现出明显正相关( $P < 0.05$  或  $P < 0.01$ ),其余各指标均与产量无显著相关性( $P > 0.05$ )。

### 3 讨论

尽管之前已有关于不同树龄油茶叶片的对比研究,如游离脯氨酸、木质素与纤维素含量等(文佳等,2013)。但关于油茶叶片营养元素含量、组织结构、生理指标随树龄变化规律所积累的资料仍还欠缺,而本研究丰富了油茶的基础研究资料。本研究表明,不同营养元素在叶片中的含量差异很大,稀土元素含量极稀少,树龄较大植株(55 a)叶片中甚至检测不到钷、镱、铕的存在;矿质元素与稀土元素的含量均随树龄发生变化,且不同营养元素达到含量最大值的树龄不尽相同(主要集中在 20 或 30 a)。这些区别与植株对不同元素的实际需要量及根系对某种元素的吸收能力不同密切相关(冯美利等,2012)。

可溶性糖和可溶性蛋白随树龄增加表现出相似的动态变化规律,二者含量高水期均处于油茶的高产年龄阶段。这从一定程度上反映出盛果期油茶叶片内更为活跃的生命活动诸如光合作用、呼吸作用、物质的代谢与转化等。叶绿素含量也在这一时期达到整个生命周期的高峰期,为叶片进行高效的光合作用提供了保障。但可溶性糖和可溶性蛋白质含量在增加和减少的过程中,不同年龄段的变化率不一致,这可能由于各自相关的生理活动及其强度存在差异导致(刘祖祺等,1994)。比如可溶性糖含量在 47~55 a 较 32~47 a 树龄段减小幅度小,这可能由于 47~55 a 树龄段的油茶叶片细胞需要更多的可溶性糖来调节其渗透压,以抵御树龄增大带来的不利影响而采取的策略。表征细胞过氧化反应强度与抗氧化能力的 MDA 含量及 POD 活性随树龄增加也发生着动态变化。在 1~12 a 间,POD 酶活性逐渐增加,MDA 含量逐渐减少说明植株的各项生理机能不断成熟,细胞活性包括抗氧化酶系统清除能力不断提升。当细胞氧化与抗氧化达到平衡,二者在一定年龄段(12~32 a)维持稳定。当树龄继续增大,平衡被打破,二者又会发生波动。值得注意的是,POD 活性在 55 a 时不减反增,这可能是细胞对衰老的一种应激响应,因为高 POD 活性是维持细胞结构完整和高效运转的重要保障。

叶片旺盛的生命活动需要与之匹配的组织结构来保障。叶脉是叶片中的维管组织,如同动物体内的“毛细血管”,为叶片输送水分与无机离子。不同进化地位、不同植物种类、以及不同环境因子(如水分、温度、光照)下的叶脉类型与特征均存在不同程度差异,并影响着叶片的功能(Roth-Nebelsick, et al, 2001; Brodribb et al, 2010; 李乐等, 2013)。本研究中叶脉密度随树龄的变化规律佐证了这一点:处于高产树龄阶段的油茶叶片单位面积叶脉密度(主要是细叶脉密度)比低产树龄阶段的更大,可确保水分等物质的充足、高效供给。这与卢振民(1990)发现光合作用越强的叶片,气孔密度越大以保证为光合作用提供更多的  $\text{CO}_2$  的结果类似。

本研究发现叶绿素含量、POD 活性、叶脉密度与产量间存在显著正相关,揭示它们直接或间接地影响着植株产量。因此,叶绿素含量、POD 活性和叶脉密度可作为跟踪监测油茶植株状态和预测产量的有效指标,当然也可作为在油茶栽培时进行高产干预的参考依据。值得一提的是,本研究还发现稀土元素总含量与产量之间存在显著正相关,这与之前所发现的适量稀土元素可以对植物产生积极的生物学效应并提高作物的产量与品质的结果相符(高华军等,2011;何跃君等,2005)。因此,在油茶林日常管理与维护中,在合适树龄阶段施加适量稀土肥料是一种重要的延长丰产期的高产干预举措。

### 参考文献:

- BRODRIBB TJ, FEILD TS, SACK L, 2010. Viewing leaf structure and evolution from a hydraulic perspective [J]. *Funct Plant Biol*, (37):488-498.
- CEN WY, LIU CH, LI YY, et al, 2014. Flag leaf vein traits in winter wheat varieties (lines) and their correlation with stomatal traits [J]. *Chin J Ecol*, 33(7):1 839-1 846. [陈伟月, 刘存海, 李秧秧, 等, 2014. 冬小麦品种(系)旗叶叶脉性状及其与气孔性状间的关联性 [J]. *生态学杂志*, 33(7):1 839-1 846.]
- FENG ML, LI J, SUN CX, et al, 2012. Contents of nutrient elements and yearly changes in oil palms of different ages [J]. *Chin J Trop Agric*, 32(10):6-9. [冯美利, 李杰, 孙程旭, 等, 2012. 不同树龄油棕营养元素含量及其年变化研究 [J]. *热带农业科学*, 32(10):6-9.]
- GAO HJ, HUAN J, LIN BS, et al, 2011. Effects of rare earth fertilizer on yield and quality of flue-cured tobacco [J]. *J Henan Agric Sci*, 40(5):77-79. [高华军, 黄瑾, 林北森, 等, 2011. 稀土元素肥料对烤烟产量及品质的影响 [J]. *河南农业科学*, 40(5):77-79.]
- GAN S, AMASINO RM, 1997. Making sense of senescence: molecular genetic regulation and manipulation of leaf senescence [J]. *Plant Physiol*, 113: 313-319.
- HE YJ, XUE L, 2005. Biological effects of rare earth elements and their action mechanisms [J]. *Chin J Appl Ecol*, 16(10):1 983-

- 1 989. [何跃君, 薛立, 2005. 稀土元素对植物的生物效应及其作用机理 [J]. 应用生态学报, 16(10):1 983-1 989.]
- HU ZS, LI RS, 2000. Study on the difference of physiology and biochemical index of *Camellia oleifera* leaf with different ages [J]. For Sci Technol Dev, 14(1):30-31. [胡哲森, 李荣生, 2000. 油茶不同叶龄叶片生理生化指标差异的研究 [J]. 林业科技开发, 14(1):30-31.]
- LIU ZQ, ZHANG SC, 1994. Plant resistance physiology [M]. Beijing: China Agriculture Press. [刘祖祺, 张石城, 1994. 植物抗性生理学 [M]. 北京: 中国农业出版社.]
- LIN L, CHEN G, CHEN HY, 2007. Determination of 16 rare earth elements in tea leaves by ICP-MS [J]. Environ Chem, 26(4):555-557. [林立, 陈光, 陈红玉, 2007. 电感耦合等离子体质谱法测定茶叶中的 16 种稀土元素 [J]. 环境化学, 26(4):555-557.]
- LI L, ZENG H, GUO DL, 2013. Leaf venation functional traits and their ecological significance [J]. Chin J Plant Ecol, 37(7):691-698. [李乐, 曾辉, 郭大立, 2013. 叶脉网络功能性状及其生态学意义 [J]. 中国植物生态学报, 37(7):691-698.]
- LU ZM, 1990. Difference of stomatal conductance between two sides of wheat and corn leaves and its relation with environmental factors [J]. J Ecol, 9(5):19-21. [卢振民, 1990. 小麦和玉米叶面两面气孔导性的差异及其与环境因素的关系 [J]. 生态学杂志, 9(5):19-21.]
- MA L, 2007. Advances in studies on physiological and biochemical changes during plant senescence [J]. J Biol, 24:12-16. [马林, 2007. 植物衰老期间生理生化变化的研究进展 [J]. 生物学杂志, 24:12-16.]
- QI YC, XIAO KL, WANG XD, et al, 2012. Physiological characteristics and rejuvenation comparison of ancient *Cinnamomum camphora* at different ages in the around West Lake area of Hangzhou [J]. Chin Agric Sci Bull, 28(25):32-38. [戚元春, 肖昆仑, 王小德, 等, 2012. 环西湖不同树龄古樟树生理特性及复壮对比 [J]. 中国农学通报, 28(25):32-38.]
- ROTH-NEBELSICK A, UHL D, MOSBRUGGER V, et al, 2001. Evolution and function of leaf venation architecture: a review [J]. Ann Bot, (87):553-566.
- WEN J, ZHANG CC, HU J, 2013. Chemical composition of shoots and leaves in different age *Camellia oleifera* [J]. J NE For Univ, 41(10):82-86. [文佳, 张诚诚, 胡娟, 2013. 不同树龄油茶枝叶主要化学成分分析 [J]. 东北林业大学学报, 41(10):82-86.]
- WANG R, CHEN YZ, WANG XN, et al, 2009. Influencing factors on photosynthetic characteristic of superior clones of *Camellia oleifera*—leaf age and leaf position [J]. Chin Agric Sci Bull, 25(17):113-118. [王瑞, 陈永忠, 王湘南, 等, 2009. 油茶优良无性系光合特性的影响因子—叶龄、叶位 [J]. 中国农学通报, 25(17):113-118.]
- WANG YQ, ZHANG KJ, HUANG JK, 2003. Molecular basis and regulation of plant senescence [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 23:182-189. [王亚琴, 张康健, 黄江康, 2003. 植物衰老的分子基础与调控 [J]. 西北植物学报, 23:182-189.]
- XU MP, ZHOU KK, Huang LX, 2009. The physical and chemical characteristics of wood of *Schema superbug* and *Liquidambar formosana* with different ages [J]. J Jiangsu For Sci Technol, 36(2):23-27. [徐漫平, 周侃侃, 黄丽霞, 2009. 木荷、枫香树不同树龄木材理化性能差异性研究 [J]. 江苏林业科技, 36(2):23-27.]
- YUAN Z, ZHANG DB, 2002. The molecular mechanism of plant leaf senescence [J]. Plant Physiol Mol Biol, 38(4):417-423. [袁政, 张大兵, 2002. 植物叶片衰老的分子机制 [J]. 植物生理学通讯, 38(4):417-423.]
- ZHANG ZL, QU WQ, 2003. Plant physiol exp guid [M]. 3rd. Beijing: Higher Education Press. [张志良, 瞿伟菁, 2003. 植物生理学实验指导 [M]. 第 3 版. 北京: 高等教育出版社.]
- ZU YG, MAO ZJ, YUAN XY, 2000. The blooming and production of reproductive modules in relation to tree age and their position within crowns in *Betula platyphylla* [J]. Acta Ecol Sin, 20(4):673-677. [祖元刚, 毛子军, 袁晓颖, 2000. 白桦的开花时间及生殖构件的数量与树龄和树冠层次的关系 [J]. 生态学报, 20(4):673-677.]

( 上接第 999 页 Continue from page 999 )

- roridum* Tode & Fries [J]. Plant Doctor, 11(1):42. [SRIVASTAVA SK, 赵云芬, 1998. 印度大豆不同株龄接种种露湿漆斑菌所致病害的产量损失估计 [J]. 植物医生, 11(1):42.]
- WU WP, 1991. Studies on hyphomycetes in Hebei III. species of the genus *Myrothecium* Tode:Fr. on plants [J]. J Hebei Acad Sci, (1):69-74. [吴文平, 1991. 河北省丝孢菌研究 III. 漆斑菌属 (*Myrothecium* Tode:Fr.) 的四个种 [J]. 河北省科学院学报, (1):69-74.]
- WU ZY, 1979. Flora Reipublicae Popularis Sinicae [M]. Beijing: Science Press, 55(1):31. [吴征镒, 1979. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 55(1):31.]
- XUE J, WANG N, MENG YQ, 2014. Synthesis and anti-tumor activity of asiatic acid derivatives [J]. J Shenyang Inst Chem Technol, 28(1):24-31. [薛菁, 王楠, 孟艳秋, 2014. 积雪草酸衍生物的合成及抗肿瘤活性的研究 [J]. 沈阳化工大学学报, 28(1):24-31.]
- YI RH, ZHU XR, ZHOU EX, 2003. Simplified CTAB method to extract the DNA of filamentous fungi [J]. J Zhanjiang Ocean Univ, 23(6):72-73. [易润华, 朱西儒, 周而勋, 2003. 简化 CTAB 法快速微量提取丝状真菌 DNA [J]. 湛江海洋大学学报, 23(6):72-73.]
- YING N, YIN ZJ, YU HY, et al, 2014. Effect of asiaticoside on cognition function of diabetic mice [J]. Zhejiang J Integr Trad Chin Western Med, 24(3):203-206. [应娜, 尹竹君, 于海洋, 等, 2014. 积雪草苷对糖尿病模型小鼠认知功能的干预作用 [J]. 浙江中西医结合杂志, 24(3):203-206.]