

网络出版时间:2018-04-26 15:24

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.10.005

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180426.1522.010.html>

# 油茶凋落叶养分及其化学计量特征

陈隆升<sup>1,2</sup>, 王湘南<sup>1,2</sup>, 唐 炜<sup>1,2</sup>, 陈永忠<sup>1,2</sup>, 彭映赫<sup>1,2</sup>

(1 湖南省林业科学院, 湖南 长沙 410004; 2 国家油茶工程技术研究中心, 湖南 长沙 410004)

**【摘要】**【目的】研究油茶凋落叶养分及其化学计量特征的变化规律,为进一步探索油茶养分循环提供依据。**【方法】**以油茶幼林、成林为研究对象,测定夏季、秋季凋落叶 C、N、P、K、Fe、Cu、Mn、Zn 等养分含量并分析其养分化学计量特征(C/N、C/P、N/P)。**【结果】**(1)油茶凋落叶中 C、N、P 等大量元素含量均受林龄与季节的影响。油茶成林凋落叶中的 C 含量极显著高于幼林( $P < 0.01$ ),夏季极显著高于秋季( $P < 0.01$ );N、K 含量显著高于幼林( $P < 0.05$ ),但是夏季与秋季之间无显著差异( $P > 0.05$ );P 含量极显著高于幼林( $P < 0.01$ ),秋季极显著高于夏季( $P < 0.01$ )。(2)幼林凋落叶中的 Zn 含量显著高于成林( $P < 0.05$ ),夏季极显著高于秋季( $P < 0.01$ );Fe 含量以幼林显著高于成林( $P < 0.05$ ),夏季与秋季无显著差异( $P > 0.05$ );Cu 含量不受林龄与季节的影响;Mn 含量以幼林极显著低于成林( $P < 0.01$ ),夏季极显著高于秋季( $P < 0.01$ )。(3)油茶幼林凋落叶的 C/N、C/P 极显著高于成林( $P < 0.01$ ),而 N/P 极显著低于成林( $P < 0.01$ )。**【结论】**季节和林龄对油茶凋落叶中的 C、N、P、K、Fe、Zn、Mn 含量有明显影响,其中幼林凋落叶中的大量元素含量均显著低于成林,并具有较高的 C/N、C/P 和较低的 N/P,说明油茶幼林凋落叶的养分含量较低。

**【关键词】** 油茶;凋落叶;养分;化学计量特征

**【中图分类号】** S718.55<sup>+</sup>4.2

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1671-9387(2018)10-0035-05

## Nutrients and their stoichiometric characteristics of *Camellia oleifera* Abel litters

CHEN Longsheng<sup>1,2</sup>, WANG Xiangnan<sup>1,2</sup>, TANG Wei<sup>1,2</sup>,  
CHEN Yongzhong<sup>1,2</sup>, PENG Yinghe<sup>1,2</sup>

(1 Hunan Academy of Forestry, Changsha, Hunan 410004, China; 2 National Engineering Research  
Center for Oil-tea *Camellia*, Changsha, Hunan 410004, China)

**Abstract:** **【Objective】** The nutrients and their stoichiometric characteristics of *Camellia oleifera* Abel litters were studied to provide basis for further understanding of the nutrient cycle. **【Method】** Litter nutrient contents including C, N, P, K, Fe, Cu, Mn and Zn as well as nutrient stoichiometry (C/N, C/P and N/P) of young and mature oil-tea camellia forests in summer and autumn were studied. **【Result】** (1) C, N and P contents were significantly affected by seasons and ages ( $P < 0.01$ ). C content of the mature forest was significantly higher than the young forest ( $P < 0.01$ ), and it was significantly higher in summer than that in autumn ( $P < 0.01$ ). N and K contents of mature forest were significantly higher than that of the young forest ( $P < 0.05$ ), but there was no significant difference between summer and autumn ( $P > 0.05$ ). P content of mature forest was significantly higher than that of the young forest ( $P < 0.01$ ), and it was significantly higher in autumn than in summer ( $P < 0.01$ ). (2) Zn content of young forest litter was significantly higher

**【收稿日期】** 2017-07-28

**【基金项目】** 湖南省自然科学基金项目“湘西北区油茶林养分响应特征规律研究”(2016JJ5001)

**【作者简介】** 陈隆升(1983-),男,福建泉州人,副研究员,硕士,主要从事经济林研究。E-mail:clongsheng@163.com

**【通信作者】** 王湘南(1967-),女,湖南衡阳人,研究员,硕士,主要从事经济林研究。E-mail:502815860@qq.com

than that of the mature forest, and it in summer was significantly higher than that in autumn. Fe content of young forest was higher than that of mature forest, and there was no significant difference between summer and autumn. Cu content was not affected by stand age and season. Mn content of the mature forest was very significantly higher than that of the young forest ( $P < 0.01$ ), and it was extremely significant higher in summer than that in autumn ( $P < 0.01$ ). (3) C/N and C/P ratios of the young forest was significantly higher than that of the mature forest ( $P < 0.01$ ), and N/P of the young forest was significantly lower than that of the mature forest ( $P < 0.01$ ). 【Conclusion】 C, N, P, K, Fe, Zn and Mn contents of *Camellia oleifera* Abel forest litter were significantly affected by stand age and season. The macro-element contents of the young forest were significantly lower than that of the mature forest. The young forest also had higher C/N and C/P but lower N/P.

**Key words:** *Camellia oleifera* Abel; litter; nutrient; stoichiometry

凋落物是森林生态系统中土壤与植物养分循环的重要链接纽带,其养分的归还决定着森林生态系统林地生产力的[1]。一方面,凋落物中木质素、纤维素等有机成分的降解是自然界中维持碳(C)素平衡不可缺少的过程[1];另一方面,凋落物分解后,为植物生长发育提供了养分,同时凋落物分解过程中释放的有机质、有机酸等物质对于提高土壤有机质含量、改善土壤结构、提高土壤微生物数量、增加土壤肥力等均具有非常重要的作用。目前,凋落物养分元素的化学计量特征已成为研究森林生态系统林地生产力的重要指示性指标[2-3]。而近年来的大量研究发现, N、P 含量及 C/N、C/P、N/P 是制约凋落物分解速率的重要质量因素[4-8]。

油茶虽然是常绿树种,但具有“抱籽怀胎”的特点,一年四季花果不断,对养分的需求大,且易受生理、气候、环境等因素的影响,不断地产生枝、叶、果等凋落物。据观测,油茶一年四季均存在落叶现象,油茶植株新老叶片的更替周期为 2~3 年。因此,油茶凋落物养分的归还对油茶林地的生产力有重要影响。目前虽已有关于油茶林养分分配规律[9]以及施

肥[10-16]、修剪[17]、源库调控[18]等技术措施对养分吸收利用影响的大量研究报道,但从油茶落叶特征方面着手,对其树体养分吸收、转移以及归还动态的研究尚属空白。为此,本研究对油茶凋落叶养分及其化学计量特征的变化规律进行分析,以期为进一步探索油茶养分循环提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于湖南省长沙市南郊雨花区湖南省林业科学院试验林场,其气候、立地条件与文献[19]一致。

试验林为油茶成林(2006 年 4 月采用 2 年生容器苗造林,造林密度  $2.5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ ,树高  $1.8 \sim 2.2 \text{ m}$ ,冠幅  $4.5 \sim 5.0 \text{ m}^2$ ,平均单株产果量约  $10 \text{ kg}$ )、幼林(2010 年 5 月采用 3 年生容器大苗造林,造林密度  $2.5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ ,树高  $1.0 \sim 1.5 \text{ m}$ ,冠幅  $1.5 \sim 2.5 \text{ m}^2$ ,平均单株产果量约  $1 \text{ kg}$ ) 2 种类型,品种均为湘林 210,试验林土壤基本理化性质见表 1。

表 1 试验油茶林 0~40 cm 土层土壤的基本理化性质

Table 1 Characteristics of soil nutrients in the soil layer of 0-40 cm for *Camellia oleifera* Abel forest

林龄 Stand age	pH	有机质/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Organic matter content	全氮/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Total N content	全磷/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Total P content	全钾/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Total K content	水解氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Hydrolysable N content	有效磷/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Available P content	速效钾/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Available K content
成林(8 年) Mature forest(8 years old)	4.71	7.38	0.98	0.29	27.4	52.1	1.15	42.1
幼林(4 年) Young forest(4 years old)	4.62	6.52	0.76	0.26	25.3	45.4	0.25	34.6

### 1.2 试验设计

在每块试验林中各选择 5 株长势、大小相对一致的植株,2013-05-15 在每株树下布置凋落物收集网,收集网由尼龙网(网眼  $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ )制成,大小依据油茶植株冠幅确定,以 4 根木桩固定四角,收集

网离地面  $0.2 \text{ m}$ 。自 2013-05-15 起,每月 15 日收取网中的凋落物(包括果、叶、枝),用封口袋封好后带回实验室处理,直至 2013-11-15。自收集网设置起将每 3 个月收集的共 3 次凋落物混合,分别计为夏季和秋季的油茶凋落物,具体时间段分别为 2013 年

05-15-08-15 及 08-15-11-15。

### 1.3 样品的测定与分析

将收集的凋落物于室内拣出凋落叶,洗净后于 65 °C 条件下烘至质量恒定,用万分之一天平称质量,用粉碎机粉碎,过 0.25 mm 筛后用于营养元素含量的测定。其中 C 采用  $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$  氧化法测定;全 N、P、K 含量用  $H_2SO_4-H_2O_2$  消煮后,分别用凯氏定氮法、钼锑抗比色法和原子吸收法测定;Cu、Fe、Zn、Mn 含量(均为全量)用 HP3510 原子吸收分光光度计测定<sup>[20]</sup>。C、N、P 的化学计量特征以其质量比表示。

表 2 不同林龄和季节油茶凋落叶中的大量元素含量及其方差分析

Table 2 Macro-element contents and variance analysis of *Camellia oleifera* Abel litter in different seasons and ages

林龄 Stand age	季节 Season	大量元素含量/(g·kg <sup>-1</sup> ) Macro-element content			
		C	N	P	K
成林(8年)Mature forest(8 years old)	夏 Summer	457.23±10.56	13.32±0.92	1.77±0.07	1.34±0.08
	秋 Autumn	420.15±16.09	12.06±0.24	2.14±0.12	1.27±0.10
幼林(4年)Young forest(4 years old)	夏 Summer	398.06±10.56	7.28±0.81	1.37±0.13	1.24±0.08
	秋 Autumn	381.41±5.83	7.18±1.08	1.42±0.08	1.13±0.07
F 值(模型)F value (model)		24.98**	44.59**	33.92**	3.48
F 值(季节)F value (season)		16.78**	2.03	11.84**	4.04
F 值(林龄)F value (stand age)		55.73**	130.25**	83.42**	6.23*
F 值(季节×林龄)F value (season×stand age)		0.15	1.48	6.05*	0.17

注: \*、\*\* 分别表示有显著( $P<0.05$ )或极显著( $P<0.01$ )差异。下同。

Note: \* and \*\* mean significant difference at  $P<0.05$  level and  $P<0.01$  level, respectively. The same below.

表 2 表明,受季节与林龄的影响,油茶凋落叶中的 C 含量为 381.41~457.23 g/kg,且以成林极显著高于幼林( $P<0.01$ ),夏季极显著高于秋季( $P<0.01$ ),季节与林龄的交互作用不显著( $P>0.05$ );N 含量为 7.18~13.32 g/kg,也以成林极显著高于幼林( $P<0.01$ ),但夏季与秋季之间无显著差异( $P>0.05$ );P 含量为 1.37~2.14 g/kg,以成林极显著高于幼林( $P<0.01$ ),秋季极显著高于夏季( $P<0.01$ ),且季节与林龄交互作用显著( $P<0.05$ );K 含量为 1.13~1.34 g/kg,以成林显著高于幼林( $P<0.05$ ),而季节对其无显著影响( $P>0.05$ )。

土壤养分含量对油茶凋落叶中的养分含量具有

表 3 不同林龄和季节油茶凋落叶中的微量元素含量及其方差分析

Table 3 Trace element contents and variance analysis of *Camellia oleifera* Abel litter in different seasons and ages

林龄 Stand age	季节 Season	微量元素含量/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Trace element content			
		Fe	Cu	Zn	Mn
成林(8年)Mature forest(8 years old)	夏 Summer	309.30±36.78	3.75±0.65	20.08±3.60	5 038.84±415.71
	秋 Autumn	224.51±41.54	3.71±0.21	13.69±1.12	2 996.78±334.66
幼林(4年)Young forest(4 years old)	夏 Summer	339.14±75.36	4.00±0.58	23.33±1.43	3 095.89±606.73
	秋 Autumn	318.59±66.32	4.27±1.00	16.51±2.51	1 528.35±389.95
F 值(模型)F value (model)		3.87*	0.74	12.89**	50.93**
F 值(季节)F value (season)		4.21	0.15	31.81**	79.34**
F 值(林龄)F value (stand age)		5.83*	1.81	6.82*	71.36**
F 值(季节×林龄)F value (season×stand age)		1.57	0.26	0.05	2.08

### 1.4 数据分析

采用 SAS 6.0 和 Excel 2013 进行数据处理与统计分析,采用 SAS 6.0 中析因设计的方差分析对不同季节(夏、秋)、林龄(成林、幼林)油茶凋落叶中的营养元素及 C/N、C/P、N/P 进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同林龄与季节油茶凋落叶中大量元素的变化

不同林龄和季节油茶凋落叶中的大量元素含量及其方差分析见表 2。

较大的影响,与幼林相比,成林的土壤由于经过较长时间的施肥改良,具有较高的土壤有效 N、P、K 含量(表 1),故凋落叶中的 N、P、K 含量也随之显著( $P<0.05$ )提高。

### 2.2 不同林龄与季节油茶凋落叶中微量元素的变化

表 3 显示,油茶凋落叶中的 Cu 含量为 3.71~4.27 mg/kg,几乎不受林龄与季节的影响;Fe、Zn、Mn 等 3 种微量元素含量几乎均受到季节与林龄的影响,并表现出显著(Fe,  $P<0.05$ )或极显著(Zn、Mn,  $P<0.01$ )的差异。

表 3 还表明,季节与林龄对 Cu、Fe、Zn、Mn 等 4 种微量元素含量的交互作用影响均不显著( $P > 0.05$ )。油茶凋落叶中的 Fe 含量为 224.51 ~ 339.14 mg/kg,幼林极显著高于成林( $P < 0.01$ ),夏季与秋季无显著差异( $P > 0.05$ ); Zn 的含量为 13.69 ~ 23.33 mg/kg,也以幼林显著高于成林( $P < 0.05$ ),且夏季极显著高于秋季( $P < 0.01$ ); Mn 含量为 1 528.35 ~ 5 038.84 mg/kg,但以成林极显著高于幼林( $P < 0.01$ ),夏季极显著高于秋季( $P <$

0.01)。

### 2.3 油茶凋落叶养分的化学计量特征

表 4 显示,油茶凋落叶中的 C/N、C/P、N/P 均受到季节与林龄的影响,幼林凋落叶中的 C/N 极显著高于成林( $P < 0.01$ ),但夏季与秋季间差异不显著( $P > 0.05$ );幼林凋落叶中的 C/P 极显著高于成林( $P < 0.01$ ),且夏季极显著高于秋季( $P < 0.01$ );幼林凋落叶中的 N/P 极显著低于成林( $P < 0.01$ ),夏季显著高于秋季( $P < 0.05$ )。

表 4 不同林龄和季节油茶凋落叶中的养分元素化学计量特征及其方差分析

Table 4 Stoichiometry of nutrient elements and variance analysis of *Camellia oleifera* Abel litter in different seasons and ages

林龄 Stand age	季节 Season	C/N	C/P	N/P
成林(8年)Mature forest(8 years old)	夏 Summer	34.43±2.55	258.55±16.20	7.53±0.67
	秋 Autumn	34.88±1.94	196.43±4.84	5.65±0.45
幼林(4年)Young forest(4 years old)	夏 Summer	55.07±5.29	293.16±27.16	5.33±0.43
	秋 Autumn	53.93±7.95	269.21±19.06	5.08±0.90
F 值(模型)F value (model)		15.55**	14.70**	9.12**
F 值(季节)F value (season)		0.01	16.02**	8.41*
F 值(林龄)F value (stand age)		46.56**	24.94**	14.10**
F 值(季节×林龄)F value (season × stand age)		0.07	3.15	4.84

## 3 讨论

由于油茶成林各器官均已发育成熟,且在夏季有着较大的光合速率,叶片积累了充足的光合产物,因此油茶成林凋落叶中的 C 含量在夏季最高。本试验中,油茶幼林凋落叶中的 N 含量极显著低于成林,可能是由于幼林处于以营养生长为主的快速生长阶段,需要更多的 N 素参与光合作用等生命代谢活动,在落叶之前更多的 N 素得到了转移利用。宗宁等<sup>[21]</sup>研究证实,贫瘠的土壤有较高的 P 等养分转移回收率。这是植物体对贫瘠环境的一种适应机制<sup>[22-23]</sup>。本试验中,油茶幼林凋落叶的全 N、P、K 含量均明显低于成林,也可能是由于幼林土壤 N、P、K 养分含量较低,在贫瘠土壤中生长的油茶存在较高的养分转移回收率以适应环境,但也可能是不同林龄阶段的养分吸收、代谢差异所导致,具体原因有待进一步深入研究。

Zn 为可参与循环利用的微量元素,对提高坐果率和促进果实生长具有显著效果<sup>[24]</sup>。秋季为油茶果实成熟与开花的关键时期,而且成林的花芽与挂果数量要多于幼林。本试验中,秋季油茶凋落叶的 Zn 含量极显著低于夏季( $P < 0.01$ ),成林显著低于幼林( $P < 0.05$ ),可能是由于油茶落叶之前叶片中的 Zn 被转移并循环利用,以达到促进油茶果实与花芽生长发育的目的。

目前,学者们普遍认为,植物组织中 C、N、P 等元素的化学计量比值的变化,可能是植物通过调整自身的生长速率来适应环境的一种表现<sup>[25-26]</sup>,凋落物养分分解以及归还速度的快慢在一定程度上受到凋落物养分元素化学计量比的制约<sup>[2]</sup>。夏季油茶凋落叶 C/P、N/P 均显著高于秋季( $P < 0.05$ ),这可能是由于夏季油茶处于生长发育的快速期,一方面叶片本身具有较高的光合产物积累,另一方面在落叶之前更多的 P 被转移重新利用以适应快速生长的需要。有研究表明,凋落叶中的 C/N、C/P 与凋落叶的分解速率呈正相关关系,N/P 值是制约凋落叶分解和养分循环的重要因素<sup>[27-28]</sup>。本研究中,油茶幼林凋落叶的 C/N、C/P 极显著高于成林( $P < 0.01$ ),而 N/P 极显著低于成林( $P < 0.01$ ),表明油茶幼林的凋落叶更容易分解并及时归还提供养分。

### [参考文献]

- 刘亚迪,范少辉,蔡春菊,等. 地表覆盖栽培对雷竹林凋落物养分及其化学计量特征的影响 [J]. 生态学报, 2012, 32(22): 6956-6963.  
Liu Y D, Fan S H, Cai C J, et al. Litter characteristics of nutrient and stoichiometry for *Phyllostachys praecox* over soil-surface mulching [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(22): 6956-6963.
- 周存宇. 凋落物在森林生态系统中的作用及其研究进展 [J]. 湖北农学院学报, 2003, 23(2): 140-145.  
Zhou C Y. Litter's roles in forest ecosystem and its research

- progress [J]. Journal of Hubei Agricultural College, 2003, 23 (2): 140-145.
- [3] 彭少麟,刘 强. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应 [J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1534-1544.  
Peng S L, Liu Q. The dynamics of forest litter and its responses to global warming [J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22 (9): 1534-1544.
- [4] Vitousek P M. Nutrient cycling and limitation; hawaii as a model system [M]. New Jersey: Princeton University Press, 2004.
- [5] 李海涛,于贵瑞,李家永,等. 井冈山森林凋落物分解动态及磷、钾释放速率应用 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(2): 233-240.  
Li H T, Yu G R, Li J Y, et al. Dynamics of litter decomposition and phosphorus and potassium release in Jinggang Mountain region of Jiangxi Province, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(2): 233-240.
- [6] Xu X N, Hirata E. Decomposition patterns of leaf litter of seven common canopy species in a subtropical forest; N and P dynamics [J]. Plant and Soil, 2005, 273(1/2): 279-289.
- [7] 潘复静,张 伟,王克林,等. 典型喀斯特峰丛洼地植被群落凋落物 C : N : P 生态化学计量特征 [J]. 生态学报, 2011, 31 (2): 335-343.  
Pan F J, Zhang W, Wang K L, et al. Litter C : N : P ecological stoichiometry character of plant communities in typical Karst Peak-Cluster Depression [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (2): 335-343.
- [8] 阎恩荣,王希华,郭 明,等. 浙江天童常绿阔叶林、常绿针叶林与落叶阔叶林的 C : N : P 化学计量特征 [J]. 植物生态学报, 2010, 34(1): 48-57.  
Yan E R, Wang X H, Guo M, et al. C : N : P stoichiometry across evergreen broad-leaved forests, evergreen coniferous forests and deciduous broad-leaved forests in the Tiantong region, Zhejiang Province, eastern China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(1): 48-57.
- [9] 施晓云. 不同品种油茶林氮磷钾养分分配规律的研究 [D]. 南昌:江西农业大学, 2013.  
Shi X Y. Study on the nitrogen, phosphorus and potassium distributions in different varieties of *Camellia oleifera* forests [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2013.
- [10] 陈隆升,陈永忠,马 力. 油茶配方施肥技术研究进展 [J]. 林业科技开发, 2011, 25(1): 6-10.  
Chen L S, Chen Y Z, Ma L. Research progress of formulated fertilization techniques of *Camellia oleifera* [J]. China Forestry Science and Technology, 2011, 25(1): 6-10.
- [11] 王 华,牛德奎,胡冬南,等. 不同肥料对油茶林土壤氮素含量、微生物群落及其功能的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6): 1468-1476.  
Wang H, Niu D K, Hu D N, et al. Effects of different fertilization on soil nitrogen and microbial community and function in *Camellia oleifera* forest [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(6): 1468-1476.
- [12] 胡冬南,游美红,袁生贵,等. 不同配方施肥对幼龄油茶的影响 [J]. 西北林学院学报, 2005, 20(1): 94-97.  
Hu D N, You M H, Yuan S G, et al. The effect on young *Camellia oleifera* of different form formula fertilization [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005, 20 (1): 94-97.
- [13] 赵中华,郭晓敏,李发凯,等. 不同施肥处理对油茶光合生理特性的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(4): 576-581.  
Zhao Z H, Guo X M, Li F K, et al. Effects of different fertilizing treatments on the photosynthetic-physiological characters in oil-tea [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2007, 29(4): 576-581.
- [14] 郭春兰,张 露,雷 蕾,等. 不同林龄油茶林土壤酶活性及养分特征 [J]. 草业科学, 2012, 29(11): 1647-1654.  
Guo C L, Zhang L, Lei L, et al. Soil enzyme activity and nutrient characteristics of *Camellia oleifera* forest at different plantation ages [J]. Pratacultural Science, 2012, 29(11): 1647-1654.
- [15] 周裕新,胡玉玲,甘 青,等. 施肥与芸苔素内酯对赣无油茶叶片养分和生长的影响 [J]. 西南林业大学学报, 2012, 32(2): 1-6.  
Zhou Y X, Hu Y L, Gan Q, et al. Effect of fertilization and BRs application on leaf nutrition and plant growth of Ganwu' clone of *Camellia oleifera* [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2012, 32(2): 1-6.
- [16] 周裕新,郭晓敏,鲁顺保,等. 水、肥和芸苔素内酯对油茶叶片养分、种仁出油率和开花量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 387-395.  
Zhou Y X, Guo X M, Lu S B, et al. Effect of water, nutrient and BRs on number of blossom, leaf nutrition and seed oil content of *Camellia oleifera* [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013, 19(2): 387-395.
- [17] 王开良,姚小华,申 巍,等. 修剪措施对油茶枝条和叶片生长及营养元素的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(7): 13-17.  
Wang K L, Yao X H, Shen W, et al. Effect of different pruning treatments on branch and leaf growth and nutrients element of *Camellia oleifera* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2016, 44(7): 13-17.
- [18] 袁 军,石 斌,吴泽龙,等. 不同库源关系对油茶光合作用及果实品质的影响 [J]. 植物生理学报, 2015, 51(8): 1287-1292.  
Yuan J, Shi B, Wu Z L, et al. Response of fruit quality and leaf photosynthesis to different sink-source relationships in *Camellia oleifera* [J]. Plant Physiology Journal Plant Physiology Journal, 2015, 51(8): 1287-1292.
- [19] 陈隆升,陈永忠,王 瑞,等. 不同油茶新种质产量差异研究 [J]. 西南林业大学学报, 2015, 35(4): 95-98.  
Chen L S, Chen Y Z, Wang R, et al. Research on the difference of quality and yield of new oil-tea camellia varieties [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2015, 35(4): 95-98.

- Jiangsu Agriculture, 1983, 4(2): 53-57.
- [28] Renaut J, Hausman J F, Bassett C, et al. Quantitative proteomic analysis of short photoperiod and low-temperature responses in bark tissues of peach (*Prunus persica* L. Batsch) [J]. Tree Genetics & Genomes, 2008, 4(4): 589-600.
- [29] 王召元, 张立莎, 常瑞丰, 等. 桃枝条组织结构与抗寒性的关系研究 [J]. 河北农业科学, 2014, 18(4): 29-33.  
Wang Z Y, Zhang L S, Chang R F, et al. Study on the relationship between tissue structure and cold resistance of peach branches [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2014, 18(4): 29-33.
- [30] 杨建民, 李艳华, 杨敏生, 等. 几个仁用杏品种抗寒性的比较 [J]. 中国农业科学, 1999, 32(1): 46-50.  
Yang J M, Li Y H, Yang M S, et al. Comparative study on cold resistance of apricot varieties [J]. Scientia Agriculture Sinica, 1999, 32(1): 46-50.
- [31] 张昕欣, 芦建国, 朱亚丽. 三个蜡梅品种枝条组织结构与抗寒性关系的初步研究 [J]. 河北林果研究, 2012, 27(4): 432-434.  
Zhang X X, Lu J G, Zhu Y L. Study on the shoot tissue structure of *Chimonanthus* varieties in relation to cold resistance [J]. Hebei Journal of Forestry and Orchard Research, 2012, 27(4): 432-434.
- [32] 吴 瑕. 樱桃抗寒生理与抗寒性鉴定指标研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2004.  
Wu X. Study on cold resistant physiology and identification index of cold resistance in cherry [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2004.
- [33] 王丽雪, 李荣富, 马兰青, 等. 葡萄枝条中淀粉、还原糖及脂类物质变化与抗寒性的关系 [J]. 内蒙古农牧学院学报, 1994, 15(4): 1-7.  
Wang L X, Li R F, Ma L Q, et al. Changes of starch, reducing sugar and lipids in grape shoots, and their relationships to cold resistance [J]. Journal of Inner Mongolia Institute of Agriculture & Animal Husbandry, 1994, 15(4): 1-7.

(上接第 39 页)

- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000.  
Lu R K. Analysis methods of soil agricultural chemistry [M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [21] 宗 宁, 石培礼, 耿守保, 等. 北方山区主要森林类型树木叶片氮、磷回收效率研究 [J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(4): 520-529.  
Zong N, Shi P L, Geng S B, et al. Nitrogen and phosphorus reabsorption efficiency of forests in North China [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(4): 520-529.
- [22] 林宝平, 何宗明, 林思祖, 等. 不同林龄杉木针叶大量元素转移特征 [J]. 森林与环境学报, 2017, 37(1): 34-39.  
Lin B P, He Z M, Lin S Z, et al. Needles macronutrient concentrations and retranslocation characteristics in Chinese fir plantations of different ages [J]. Journal of Forest and Environment, 2017, 37(1): 34-39.
- [23] 殷秀琴, 宋 博, 邱丽丽, 等. 红松阔叶混交林凋落物-土壤动物-土壤系统中 N、P、K 的动态特征 [J]. 生态学报, 2017, 27(1): 128-133.  
Yin X Q, Song B, Qiu L L, et al. Dynamic characteristics of N, P, K in the litter-soil fauna-soil system of mixed *Pinus koraiensis* and broad-leaved forest [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 27(1): 128-133.
- [24] 高 超, 袁德义, 袁 军, 等. 花期喷施营养元素及生长调节物质对油茶坐果率的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(3): 505-510.  
Gao C, Yuan D Y, Yuan J, et al. The Effect of spraying nutrient elements and growth regulators at bloom on fruit setting rate of *Camellia oleifera* [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2012, 34(3): 505-510.
- [25] Sterner R W, Elser J J. Ecological Stoichiometry: the biology of elements from molecules to the biosphere [M]. Princeton: Princeton University Press, 2002.
- [26] Vanni M J, Flecker A S, Hood J M, et al. Stoichiometry of nutrient recycling by vertebrates in a tropical stream: linking species identity and ecosystem processes [J]. Ecology Letters, 2002, 5(2): 285-293.
- [27] 李雪峰, 韩士杰, 胡艳玲, 等. 长白山次生针阔混交林凋落物中有机物分解与碳、氮和磷释放的关系 [J]. 应用生态学报, 2008, 19(2): 245-251.  
Li X F, Han S J, Hu Y L, et al. Decomposition of litter organic matter and its relations to C, N and P release in secondary conifer and broad leaf mixed forest in Changbai Mountains [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(2): 245-251.
- [28] Gusewell S, Verhoeven J T A. Litter N : P ratios indicate whether N or P limits the decomposability of graminoid leaf litter [J]. Plant and Soil, 2006, 287(1/2): 131-143.