

浙江省森林凋落物碳密度空间分布的影响因素

张佳佳^{1,2}, 傅伟军^{1,2}, 杜群³, 张国江³, 姜培坤^{1,2}

(1. 浙江农林大学 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 临安 311300; 3. 浙江省森林资源监测中心, 浙江 杭州 310020)

摘要: 基于浙江省森林资源清查固定样地信息数据和森林监测中心 2010 年 6–9 月采集的森林凋落物碳密度数据, 探讨浙江省森林凋落物碳密度空间分布的影响因素。研究表明: 浙江省森林凋落物碳密度空间分布在全省大尺度范围和不同地级市的县域小尺度范围都存在差异。浙江省森林凋落物碳密度随着海拔的升高而增大, 但局部地势较低地区森林凋落物碳密度很高; 生物量覆盖度和地上腐殖质层厚度两者与森林凋落物碳密度无相关关系, 而土壤有机碳密度和凋落物氮密度两者与凋落物碳密度具有极显著的正相关关系; 优势树种对于凋落物量积累有很大影响, 桦类为主的落叶乔木凋落物碳密度较高, 经济林则最低。图 2 表 4 参 25

关键词: 森林生态学; 森林凋落物; 碳密度; 空间分布; 影响因素; 浙江省

中图分类号: S718.55 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2013)06-0814-07

Determinants of spatial distribution of forest litter carbon densities in Zhejiang Province

ZHANG Jiajia^{1,2}, FU Weijun^{1,2}, DU Qun³, ZHANG Guojiang³, JIANG Peikun^{1,2}

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Forest Resources Monitoring Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310020, Zhejiang, China)

Abstract: Based on data of the permanent sample plots of continuous forest inventory (CFI) system, and forest litter carbon densities collected by Forest Resources Monitoring Center of Zhejiang Province from June to September, 2010, determinants of spatial distribution of forest litter carbon densities in Zhejiang Province was studied. The results showed that the spatial distribution of forest litter carbon densities had differences in both large-scale scope of the whole province and small-scale scope of different counties. Forest litter carbon densities increased with the rising elevation, but some areas at lower elevation also had high densities. Forest litter carbon densities had no correlation with biomass coverage and humus layer, but had significantly positive correlation with soil organic carbon densities and forest litter nitrogen densities. Tree species had significant impacts on the accumulation of litters. The oak-based arbor had high value of litter carbon densities, while economic forest had lowest value. [Ch, 2 fig. 4 tab. 25 ref.]

Key words: forest ecology; forest litter; carbon density; spatial distribution; determinants; Zhejiang Province

森林凋落物是森林生态系统的重要组成部分, 参与森林生态系统物质和能量循环, 对森林资源的保护和永续利用以及水土保持有重要意义^[1]。森林凋落物空间分布在特定范围内的属性特征变化是连续

收稿日期: 2012-12-28; 修回日期: 2013-05-14

基金项目: 浙江省重点科技创新团队资助项目(2010R50030); 浙江省林业厅资助项目(20452000127)

作者简介: 张佳佳, 从事土壤资源与生态环境研究。E-mail: zhangjj1520@126.com。通信作者: 姜培坤, 教授, 从事土壤与环境学等研究。E-mail: jiangpeikun@zafu.edu.cn

的,气候^[2]、海拔^[3]、土壤^[4]、凋落物本身特性^[5]及人为扰动^[6]等影响森林凋落物量积累和凋落物分解,从而导致森林凋落物碳密度存在普遍的空间变异性。许多学者对不同区域的凋落物量和凋落物分解影响因素做了研究,如凌华等^[2]研究了中国森林凋落物量的影响因素,张新平等^[7]研究了中国东北主要森林类型凋落物量的影响因素,黄锦学等^[8]研究了中国森林凋落物分解速率的影响因素等等。关于浙江省森林凋落物的研究不多,如袁位高等^[9]、黄承才等^[10]分别对浙江省常绿阔叶林凋落物和马尾松 *Pinus massoniana* 生态公益林凋落物作了研究,而浙江省森林凋落物量和凋落物分解影响因素方面的文献很少。2010年浙江省森林资源清查首次将森林凋落物列入清查范围,基于浙江省森林资源监测中心2010年6-9月的森林凋落物碳密度数据和浙江省森林资源清查固定样地信息数据,分析浙江省森林凋落物碳密度空间分布情况,着重从海拔、腐殖质层厚度、生物量覆盖度、土壤有机碳密度、凋落物氮密度和优势树种等方面,探讨浙江省森林凋落物碳密度空间分布的影响因素。

1 研究区概况与方法

1.1 研究区概况

浙江省($27^{\circ}06' \sim 31^{\circ}11'N$, $118^{\circ}01' \sim 123^{\circ}10'E$)下辖杭州、宁波、温州、绍兴、湖州、嘉兴、金华、衢州、舟山、台州、丽水等11个地级市,地貌上属于东南沿海低山丘陵、华中华东低山和丘陵及江浙冲积平原的一部分。浙江省海拔多在500 m以下,西南部海拔较高,在1 000 m以上。土壤主要是红壤、红黄壤和黄壤,还有少量的石灰土、紫色土等^[11]。属亚热带季风气候,水热基本同期。境内森林群落丰富,种类繁多,地带性植被为常绿阔叶林、常绿阔叶和落叶混交林,除此之外还有落叶阔叶林、针叶林、竹林等多种植被类型^[9]。

1.2 研究方法

1.2.1 GIS网格布点 森林资源连续清查^[12]是指定期对同一对象重复进行的、可对比的森林调查。浙江省森林资源清查采用全球信息系统(GIS)网格,南北地区4.0 km,东西地区6.0 km进行样地布置,共获取4 252个固定样地,其中森林样地2 528个。浙江省森林资源清查5 a进行1次,2010年以12.0 km×6.0 km网格获取森林样地930个,野外实际固定样地839个。浙江省森林凋落物碳密度调查采用直接收集法,不涉及年凋落物量和月凋落物量。

1.2.2 森林凋落物收集和处理 在固定样地内选取3个100 cm×100 cm小样方,收集样方内全部的枯枝落叶装入编织袋称量并记录。倒出样品混匀,获取一部分装入塑料袋中(做上编号)带回实验室。称取从野外采集的枯落物鲜质量,然后按流程依次分批放入烘箱(105°C 恒温)并称其烘干后的质量。研磨凋落物干物质,称取500 mg放入有机元素分析仪测定(Vario MAX CN),获得森林凋落物碳质量分数和氮质量分数数据。

1.2.3 数据分析和处理 通过计算公式将凋落物碳质量分数数据转换为单位面积凋落物碳密度。公式如下(森林凋落物氮密度计算公式相同):

$$y=10\ 000 \times a \times x / 3。 \quad (1)$$

$$z=b \times y。 \quad (2)$$

式(1)和式(2)中: a 表示部分带入实验室的凋落物干质量百分比; x (kg)表示3个100 cm×100 cm小样方内凋落物鲜质量; y (kg·hm⁻²)表示单位面积凋落物干质量; z (kg·hm⁻²)表示单位面积凋落物碳密度; b 表示元素分析仪测定的凋落物碳元素百分比。采用SPSS 18.0对浙江省森林资源清查样地信息数据进行描述性统计分析和相关性分析,其中单样本Kolmogorov-Smirnov检验可用于检验变量是否为正态分布。若 $P>0.05$,表示数据服从正态分布; $P<0.05$,表示数据不服从正态分布^[11]。

2 结果分析与讨论

2.1 浙江省森林凋落物碳密度描述性统计分析

2.1.1 全省森林凋落物碳密度分布情况 森林凋落物碳密度表示单位面积的凋落物碳储量,反映了某一区域的平均凋落物碳储量水平。对森林凋落物碳密度进行描述性统计分析,可以定量了解森林凋落物碳密度的区域变化,描述项目包括极小值、极大值、均值、变异系数。极小值、极大值能反映森林凋落物

碳密度的变化范围。变异系数是标准差和均值的比值,能够反映数据的离散程度,表示森林凋落物碳密度变异性的大小,变异系数 ≤ 0.1 时为弱变异性, $0.1 < \text{变异系数} < 1.0$ 时为中等变异性,变异系数 ≥ 1.0 时为强变异性^[13]。表1为浙江省森林凋落物碳密度统计表。从表1中可知:浙江省森林凋落物碳密度均

表1 浙江省森林凋落物碳密度

Table 1 Statistical characteristic value of forest litter carbon densities in Zhejiang

样本数量/个	极小值/(kg·hm ⁻²)	极大值/(kg·hm ⁻²)	均值/(kg·hm ⁻²)	标准差	变异系数
839	10.18	8 841.26	1 785.10	1 191.73	0.67

值为 $1 785.10 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,明显低于方精云等^[14]全国森林凋落物碳密度的 $6 470.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,李海奎等^[15]的 $6 170.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。浙江省森林凋落物碳密度的极小值和极大值分别为 $10.18 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $8 841.26 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,两者相差极大,变异系数值为0.67,属于中等变异。结果表明:浙江省森林凋落物碳密度低于全国平均水平,主要是浙江地处长江三角洲地区,经济区位优势明显以及浙江省森林植被林龄主要以中幼年林^[16]为主有关。森林凋落物碳密度空间分布全省范围内具有中等的空间自相关性,不同区域森林凋落物碳密度差异明显,这可能和浙江省不同的地貌类型有关。浙江省自西南向东北倾斜,东北部为冲积平原,中部为丘陵,西南部为山区。各个地区植被分布不一样导致森林凋落物碳密度空间分布存在差异性。基于SPSS软件对浙江省森林凋落物碳密度进行正态分析, $P=0.032(<0.05)$,不服从正态分布,并输出全省森林凋落物碳密度直方图和Q—Q图(图1)。从图1中可以直观地看出:浙江省森林凋落物碳密度集中为 $2 000.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,在 $6 000.00 \sim 8 000.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 出现零星值。直方图中可以看出:浙江省森林凋落物碳密度为正偏态分布,高值区明显;Q—Q图中可以看出:浙江省森林凋落物碳密度中间部分沿期望正态线分布,而在期望正态线的两端,观测值或高或低,分布在直线左右。结果显示和描述性统计分析一致。

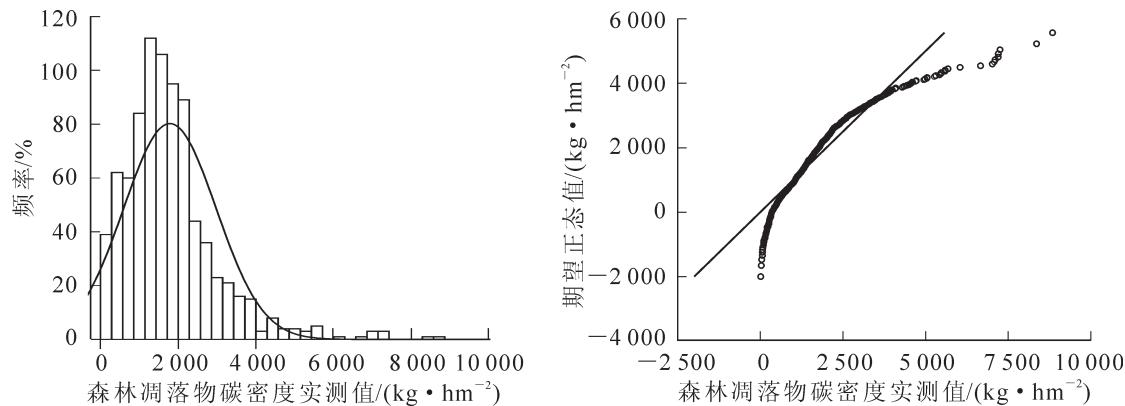


图1 浙江省森林凋落物碳密度直方图(左)和Q—Q图(右)

Figure 1 Histogram and Q—Q plot in forest carbon densities of Zhejiang Province

2.1.2 不同地级市森林凋落物碳密度统计分析 表2为浙江省不同地级市的森林凋落物碳密度统计。从表2中可以看出:11个地级市的森林凋落物碳密度变异系数为 $0.46 \sim 0.78$,具有中等空间自相关性;森林凋落物碳密度极小值和极大值也相差明显,和全省森林凋落物碳密度相似。表2数据显示:浙江省11个地级市的森林凋落物碳密度均值大小为舟山>丽水>衢州>宁波>杭州>台州>绍兴>金华>温州>湖州>嘉兴。结果表明:浙江省森林凋落物碳密度在地级市县域小尺度范围的森林凋落物碳密度空间分布也存在差异性,浙江西部和北部地区(丽水、衢州、杭州)大于浙江东部和中部地区(金华、温州),而浙北沿海地区分布最少(嘉兴)。其中,舟山地区凋落物碳密度均值 $2 079.02 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,高于全省平均值。原因可能是采样点设置较少,该地级市只在定海区和普陀区共设置7个固定样地,局部地区的森林凋落物碳密度不能反映整个区域的水平,只能说明舟山小尺度范围内森林资源丰富,凋落物量比较多。而同样采样比较少的嘉兴地区,由于其位于杭嘉湖平原,森林覆盖率较低,故固定样地设置只在秀城区、秀洲区和桐乡市共设置7个点。位于杭嘉湖平原的杭州地区,森林凋落物碳密度为 $1 807.40 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

hm⁻²,主要是该地级市行政区范围横跨浙东、浙西地区,虽然位于浙东的钱塘江流域范围森林资源较少,但是位于浙西的临安市、淳安县等地区森林资源极其丰富,森林凋落物量累积较多,从而杭州市的森林凋落物碳密度较高。

表2 不同地级市森林凋落物碳密度统计分析

Table 2 Statistical characteristic value of forest litter carbon densities in 11 cities

地级市	极小值/(kg·hm ⁻²)	极大值/(kg·hm ⁻²)	均值/(kg·hm ⁻²)	标准差	变异系数
丽水	10.18	8 841.26	1 869.84	1 277.20	0.68
杭州	230.01	7 102.51	1 807.40	1 022.71	0.57
温州	96.97	7 251.31	1 698.76	1 331.17	0.78
衢州	205.57	8 358.37	1 827.31	1 366.00	0.75
金华	39.41	5 471.88	1 756.42	1 135.79	0.65
台州	28.36	5 590.17	1 789.82	1 121.37	0.63
绍兴	143.72	7 019.16	1 759.49	1 163.67	0.66
宁波	204.04	6 043.30	1 827.11	1 253.86	0.69
湖州	140.20	3 961.76	1 534.43	974.79	0.64
舟山	151.51	3 106.10	2 079.02	956.45	0.46
嘉兴	272.20	1 853.81	888.89	683.52	0.77

2.2 浙江省森林凋落物碳密度空间分布影响因素

2.2.1 海拔和森林凋落物碳密度的关系 浙江省地势呈自西南向东北倾斜趋势。西南部为平均海拔800 m的地区,1 500 m以上的山峰大多集中在此;中部为丘陵、盆地相间,海拔多在100~500 m;东北部为海拔10 m以下的太湖、杭州湾水网平原^[11]。据此将浙江省森林资源分布的海拔分为5个分组,分别为0~10 m,11~100 m,101~500 m,501~800 m,801~1 503 m。从表3中可以看出:浙江省森林资源固定样地集中分布在101~500 m的海拔上,森林凋落物碳密度均值随着海拔升高而增加,最高值在801~1 503 m的海拔上。可是,森林凋落物碳密度均值在海拔11~100 m之间出现异常。结果表明:浙江省森林凋落物碳密度随着海拔的升高而增大,局部地势较低地区森林凋落物碳密度很高。可能是海拔较低的局部地区森林资源相对丰富,凋落物量积累多,从而使整体的平均水平提高。相关研究显示中国凋落物量随海拔的升高而降低^[2],与本研究相反。原因主要是浙江省位于长江三角洲平原地区,地势低于全国平均水平。浙江省高海拔地区相对全国而言刚好适合植被生长,导致森林凋落物碳密度在浙江省高海拔地区出现高值。

2.2.2 腐殖质层厚度、生物量覆盖度和森林凋落物碳密度的关系 生物量覆盖度包括灌木覆盖度、草本覆盖度和植被覆盖度。从表4中可知:生物量覆盖度和腐殖质层厚度与森林凋落物碳密度无相关关系。原因可能是2010年浙江省森林资源连续清查不涉及年凋落物量或月凋落物量,凋落物碳密度和生物量覆盖度、腐殖质层厚度之间没有动态的关系,短期的凋落物收集和两者之间的相关度很小。

表3 浙江省森林凋落物不同海拔的碳密度均值

Table 3 Mean value of forest litter carbon density at different altitudes

分组	海拔/m	固定样地数目/个	碳密度均值/(kg·hm ⁻²)
1	0~10	19	1 272.43
2	11~100	87	1 853.41
3	101~500	454	1 779.19
4	501~800	181	1 778.53
5	801~1 503	98	1 863.37

表4 浙江省森林凋落物碳密度与影响因素的相关系数

Table 4 Correlation coefficients between forest litter carbon density and controlling factors

影响因素	相关系数	影响因素	相关系数
腐殖层厚度	0.005	植被覆盖度	0.041
灌木覆盖度	0.039	土壤有机碳密度	0.136**
草本覆盖度	0.006	凋落物氮密度	0.835**

说明: ** 为极显著相关($P<0.01$), $d_f=1 000$ 。

2.2.3 土壤有机碳密度和森林凋落物碳密度的关系 土壤有机质(soil organic matter, SOM)是指通过微生物作用所形成的腐殖质、动植物残体和微生物体的合称,其中的碳即为土壤有机碳(SOC)^[17]。森林土壤有机碳主要集中在土壤表层,分布在深度1.0 m以内的土壤层中,以土壤0~10 cm的有机碳含量最多^[18]。凋落物层为森林生态系统中土壤—植物系统碳循环的联结库,同时也是土壤有机碳的最重要来源,在土壤有机碳的积累过程中起着极为重要的作用^[19]。从表4可知:土壤有机碳密度与森林凋落物碳密度相关系数为0.136,具有极显著的正相关关系。结果表明:土壤有机碳密度与凋落物碳密度有密切的联系,土壤是森林资源生长的基础,土壤有机碳高反映植被生长优势明显,有利于凋落物量累积。土壤有机碳密度在一定程度上反映了凋落物碳密度大小,因为土壤有机碳的积累主要由土壤有机质的输入与输出间的净平衡决定的^[17],凋落物的输入在土壤恢复过程中起着至关重要的作用。研究表明,凋落物的输入对土壤影响最早、最显著的是土壤的活性组分。随着凋落物的输入,土壤溶解有机碳(DOC)会明显增加^[20]。

2.2.4 凋落物氮密度和森林凋落物碳密度的关系 凋落物作为森林碳库的重要组成部分,其分解快慢直接影响到地表凋落物积累。常见的凋落物分解指标有碳氮(C/N)比、木质素/氮比、氮及磷的初始浓度等。其中,凋落物中C/N比愈高、氮质量分数愈低、木质素质量分数愈高,凋落物分解速率越慢^[21]。随着分解的进行,凋落物中氮浓度逐渐升高,C/N比降低^[22]。从表4可知:森林凋落物氮密度和碳密度的相关系数为0.835,也具有极显著的正相关关系。这主要是碳、氮元素作为凋落物中主要的残留元素,是微生物能量和酶活性的来源。碳氮比是凋落物中碳元素与氮元素的含量比率,森林凋落物氮和凋落物碳之间的关系主要反映在碳氮比上,碳氮比控制着凋落物分解过程中微生物的活性。土壤中碳氮比的大小决定了微生物分解有机质的快慢^[23~24]。

2.2.5 优势树种和凋落物碳密度的关系 优势树种就是林分中蓄积量最大的那个树种,一般情况下是指这个树种蓄积量占林分蓄积量的65%以上(含65%),即在树种组成中占7成以上(含7成)^[25]。根据《国家森林资源连续清查主要技术规定》,本研究将浙江省森林资源调查的树种分为松属、杉属、栎类、针叶混、针阔混、竹林、经济类和其他树种等8类。图2为浙江省森林资源不同优势树种的凋落物平均碳密度。从图2中可以看出:栎类凋落物平均碳密度最高,为4 798.04 kg·hm⁻²。经济类和竹林凋落物碳密度较低,分别为1 054.33 kg·hm⁻²和1 469.78 kg·hm⁻²。其他树种凋落物平均碳密度基本在1 900.38 kg·hm⁻²左右。结果表明:树种的选择对于凋落物量的积累有很大的影响。浙江省在中国植被区划系统上,属亚热带常绿阔叶林区域。由于海拔、坡度等不同的地貌特征和气温、降水、湿度、光照等气候类型,使浙江省因地理位置不同而出现不同的植被类型。结果显示,浙江省生态公益林的凋落物量为常绿阔叶林最高,其次为针阔混交林,针叶林最低^[10]。此次调查的栎类以落叶乔木为主,具有十分丰富的凋落物量,而经济林和竹林由于人为的经营管理,凋落物量积累较少,故凋落物碳密度最低。

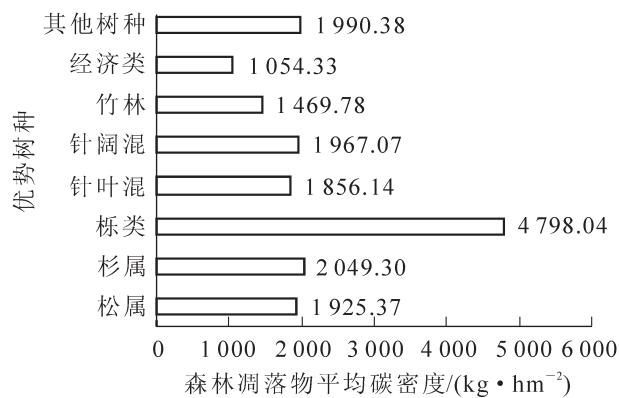


图2 浙江省森林不同优势树种的凋落物碳密度均值

Figure 2 Mean values of forest litter carbon density of various dominant trees

3 结论

浙江省森林凋落物碳密度在全省及不同地级市的县域范围出现不同的空间分布特征。森林凋落物碳

密度随着海拔的升高而增大, 局部地势较低地区森林凋落物碳密度很高。由于森林资源变化是一个长期的过程, 生物量覆盖度和腐殖质层厚度与森林凋落物碳密度无相关关系, 而土壤有机碳密度和凋落物氮密度两者与森林凋落物碳密度具有极显著的正相关关系。浙江省原生森林植被大多被破坏, 有些地区以经济林代替, 而有些地区则形成针阔混交林或落叶阔叶混交林^[10]。此次森林凋落物清查收集凋落物样本, 不同树种对凋落物量的积累贡献不同, 栎类为主的落叶乔木凋落物碳密度较高, 而经济林则最低。

参考文献:

- [1] 吴承祯, 洪伟, 姜志林, 等. 我国森林凋落物研究进展[J]. 江西农业大学学报, 2000, 22(3): 405 – 410.
WU Chengzhen, HONG Wei, JIANG Zhilin, *et al.* Advances in research of forest litter-fall in China [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2000, 22(3): 405 – 410.
- [2] 凌华, 陈光水, 陈志勤. 中国森林凋落物量的影响因素[J]. 亚热带资源与环境学报, 2009, 4(4): 66 – 71.
LING Hua, CHEN Guangshui, CHEN Zhiqin. Controlling factor of litterfall in China's forests [J]. *J Subtrop Resour Environ*, 2009, 4(4): 66 – 71.
- [3] 宋新章, 江洪, 张慧玲, 等. 全球环境变化对森林凋落物分解的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4414 – 4423.
SONG Xinzheng, JIANG Hong, ZHANG Huiling, *et al.* A review on the effects of global environment change on litter decomposition [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, 28(9): 4414 – 4423.
- [4] KOCHSIEK A E, KNOPS J M H, BRASSIL C E, *et al.* Maize and soybean litter-carbon pool dynamics in three no-till systems [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 2013, 77(1): 226 – 236.
- [5] 曹富强, 刘朝晖, 刘敏, 等. 森林凋落物及其分解过程的研究进展[J]. 广西农业科学, 2010, 41(7): 693 – 697.
CAO Fuqiang, LIU Zhaohui, LIU Min, *et al.* Research progress on the forest litter fall and its decomposition process [J]. *Guangxi Agric Sci*, 2010, 41(7): 693 – 697.
- [6] 周国模, 吴家森, 姜培坤. 不同管理模式对毛竹林碳储量的影响[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(6): 51 – 55.
ZHOU Guomo, WU Jiasen, JIANG Peikun. Effects of different management models on carbon storage in *Phyllostachys pubescens* forests [J]. *J Beijing For Univ*, 2006, 28(6): 51 – 55.
- [7] 张新平, 王襄平, 朱彪, 等. 我国东北主要森林类型的凋落物产量及其影响因素[J]. 植物生态学报, 2008, 32(5): 1031 – 1040.
ZHANG Xinping, WANG Rangping, ZHU Biao, *et al.* Litter fall production in relation to environmental factors in northeast China's forests [J]. *J Plant Ecol*, 2008, 32(5): 1031 – 1040.
- [8] 黄锦学, 黄李梅, 林智超, 等. 中国森林凋落物分解速率影响因素分析[J]. 亚热带资源与环境学报, 2010, 5(3): 56 – 63.
HUANG Jinxue, HUANG Limei, LIN Zhichao, *et al.* Controlling factors of litter decomposition rate in China's forests [J]. *J Subtrop Resour Environ*, 2010, 5(3): 56 – 63.
- [9] 袁位高, 沈爱华, 江波, 等. 浙江省常绿阔叶林凋落物特征研究[J]. 浙江林业科技, 2009, 29(3): 1 – 4.
YUAN Weigao, SHEN Aihua, JIANG Bo, *et al.* Study on litter fall characteristics of evergreen broadleaf forest in Zhejiang [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2009, 29(3): 1 – 4.
- [10] 黄承才, 葛滢, 朱锦茹, 等. 浙江省马尾松生态公益林凋落物及与群落特征关系[J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2507 – 2513.
HUANG Chengcai, GE Ying, ZHU Jinru, *et al.* The litter of *Pinus massoniana* ecological public-welfare forest in Zhejiang Province and its relationship with the community characters [J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, 25(10): 2507 – 2513.
- [11] 刘安兴, 张正寿, 丁衣冬. 浙江林业自然资源: 森林卷[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002: 9 – 11.
- [12] 孟翠英. 森林资源连续清查简介[J]. 林业科技情报, 2010, 42(1): 15 – 18.
MENG Cuiying. A brief talk on forest continuous inventory [J]. *For Sci Technol Inf*, 2010, 42(1): 15 – 18.
- [13] ZHANG Xingyi, SUI Yueyu, ZHANG Xudong, *et al.* Spatial variability of nutrient properties in black soil of northeast, China [J]. *Pedosphere*, 2007, 17(1): 19 – 29.
- [14] 方精云, 陈安平. 中国森林植被碳库的动态变化及其意义[J]. 植物学报, 2001, 43(9): 967 – 973.

- FANG Jingyun, CHEN Anping. Dynamic forest biomass carbon pools in China and their significance [J]. *J Plant Ecol*, 2001, **43**(9): 967 – 973.
- [15] 李海奎, 雷渊才, 曾伟生. 基于森林清查资料的中国森林植被碳储量[J]. 林业科学, 2011, **47**(7): 7 – 12.
- LI Haikui, LEI Yuancui, ZENG Weisheng. Forest carbon storage in China estimated using forestry inventory data [J]. *Sci Silv Sin*, 2011, **47**(7): 7 – 12.
- [16] 张峰, 杜群, 葛宏立, 等. 基于地统计学和CFI样地的浙江省森林碳空间分布研究[J]. 生态学报, 2012, **32**(16): 5275 – 5286.
- ZHANG Feng, DU Qun, GE Hongli, *et al.* Spatial distribution of forest carbon in Zhejiang Province with geostatistics based on CFI sample plots [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, **32**(16): 5275 – 5286.
- [17] DON A, SCHUMACHER J, FREIBAUER A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks-a meta-analysis [J]. *Global Change Biol*, 2011, **17**(4): 1658 – 1670.
- [18] CHANTIGNY M H, ANGER D A, BEAUCHAMP C J. Decomposition of de-inking paper sludge in agricultural soils as characterized by carbohydrate analysis [J]. *Soil Biol & Biochem*, 2000, **32**: 1561 – 1570.
- [19] 周玉荣, 于振良, 赵士洞. 我国主要森林生态系统碳储量和碳平衡[J]. 植物生态学报, 2000, **24**(5): 518 – 522.
- ZHOU Yurong, YU Zhenliang, ZHAO Shidong. Carbon storage and budget of major Chinese forest types[J]. *J Plant Ecol*, 2000, **24**(5): 518 – 522.
- [20] FRANCHINI J C, GONZALEZ-VILA F J, CABRERA F, *et al.* Rapid transformation of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid-oxisol [J]. *Plant Soil*, 2001, **231**: 55 – 63.
- [21] 王相娥, 薛立, 谢腾芳. 调落物分解研究综述[J]. 土壤通报, 2009, **40**(6): 1474 – 1478.
- WANG Xiang'e, XUE Li, XIE Tengfang. A review on litter decomposition [J]. *Chin J Soil Sci*, 2009, **40**(6): 1474 – 1478.
- [22] VALACHOVIC Y S, CALDWELL B A, CROMACK K Jr, *et al.* Leaf litter chemistry control on decomposition of pacific northwest trees and woody shrubs [J]. *Can J For Res*, 2004, **34**(10): 2131 – 2147.
- [23] 王春阳, 周建斌, 董燕婕, 等. 黄土区6种植物凋落物与不同形态氮素对土壤微生物量碳氮含量的影响[J]. 生态学报, 2010, **30**(24): 7092 – 7100.
- WANG Chunyang, ZHOU Jianbin, DONG Yanjie, *et al.* Effects of plant residues and nitrogen forms on microbial biomass and mineral nitrogen of soil in the Loess Plateau [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, **30**(24): 7092 – 7100.
- [24] PERAKIS S S, MATKINS J J, HIBBS D E. Interactions of tissue and fertilizer nitrogen on decomposition dynamics of lignin-rich conifer litter [J]. *Ecosphere*, 2012, **3**(6): 54.
- [25] 孙宝良. 优势树种和树种组划分及应用浅析[J]. 林业勘查设计, 2012(2): 69 – 70.
- SUN Baoliang. Discuss on division and application of dominant tree and dominant tree group [J]. *For Invest Des*, 2012(2): 69 – 70.