

# 沈阳城市和城郊油松凋落叶的分解动态\*

郭芳琴<sup>1,2</sup> 何兴元<sup>1</sup> 陈 玮<sup>1\*\*</sup> 黄彦青<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>森林与土壤生态国家重点实验室, 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110164; <sup>2</sup>中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要** 为了检测分解地点和凋落物类型对分解的影响, 采用交互分解实验分析了油松凋落叶在城市林分和城郊林分中分解时不同立地条件(城市和城郊)以及不同油松凋落叶类型(城市油松凋落物和城郊油松凋落物)对凋落物的分解速率以及 N、P 残留率的相对作用。结果表明: 不同的立地条件对油松凋落叶分解速率有显著影响( $P < 0.05$ ); 城郊林分中的油松凋落叶比城市林分中分解快, 说明外在环境条件对分解的影响显著; 在同一林分里, 凋落物类型对凋落叶分解速率也有显著影响( $P < 0.05$ ); 城市凋落物分解快于城郊凋落物, 说明凋落物内在特性对分解的影响显著。分解地点对于 N、P 残留率没有显著的影响, 然而凋落物类型对 N、P 残留率有显著影响: 城郊凋落物由于具有较高的 C/N 以及 C/P 初始值, 比城市凋落物更容易富集 N、P。

**关键词** 凋落叶; 交互分解; 油松

**中图分类号** Q948 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)6-1397-07

**Decomposition dynamics of *Pinus tabulaeformis* leaf litter at urban and suburban sites of Shenyang, Northeast China.** GUO Fang-qin<sup>1,2</sup>, HE Xing-yuan<sup>1</sup>, CHEN Wei<sup>1\*\*</sup>, HUANG Yan-qing<sup>1</sup> (<sup>1</sup>State Key Laboratory of Forest and Soil Ecology, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110164, China; <sup>2</sup>Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(6): 1397–1403.

**Abstract:** To examine the effects of site location and litter type on litter decomposition, a reciprocal decomposition experiment was conducted to study the effects of contrasting sites (urban vs. suburban) and leaf litter types (urban leaf litter vs. suburban leaf litter) on the mass loss rate and N- and P remaining percentages of *Pinus tabulaeformis* leaf litters when decomposing in urban stand and suburban stand, respectively. The one year experiment showed that different sites had significant effects on the decomposition rate of *P. tabulaeformis* leaf litters ( $P < 0.05$ ). The leaf litters decomposed faster at suburban site than at urban site, suggesting that environmental conditions had significant effects on the decomposition. In the same stands, different litter types had significant effects on the litter decomposition ( $P < 0.05$ ). The decomposition rate of the litters was faster at urban site than at suburban site, suggesting the significant effects of inherent characters of the litters. Site had no significant effects on the N- and P remaining percentages, but litter type had significant effects. Urban leaf litter, due to its higher initial C/N and C/P, were easy to enrich N and P during decomposition, as compared with suburban leaf litter.

**Key words:** leaf litter; reciprocal decomposition; *Pinus tabulaeformis*.

森林凋落物是森林植物在其生长发育过程中新陈代谢的产物, 在森林生态系统养分循环中起着重要作用。森林凋落物分解是森林生态系统物质循环的关键过程, 是森林生态系统物质循环和能量转换的主要途径, 通过分解逐步把养分归还给土壤, 所以

分解过程和速率对森林土壤肥力有重要影响。因此研究森林凋落物分解动态对于研究森林生态系统中物质循环具有重要意义。

凋落物分解快慢受到凋落物内在特性和外在环境条件的制约 (Swift *et al.*, 1979)。前者即指凋落物自身理化性质 (Melillo *et al.*, 1982, 1989; Vitousek, 1984; Vitousek *et al.*, 1994; Berg, 2000)。

\* 国家科技支撑计划项目(2012BAC05B05)资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: chenwei5711@163.com

收稿日期: 2011-12-09 接受日期: 2012-02-29

后者指分解过程中的外部环境条件 (Liski *et al.* , 2003; Laiho *et al.* , 2004), 即各种生物和非生物环境条件如土壤微生物、土壤理化性质、气候条件 (温度和降雨等)。近年来城市周边越来越多的土地正在转化为城市栖息地 (Grimm *et al.* , 2008), 并且城市化带来一系列的环境变化包括温度升高、温室气体浓度增加, 大气污染物的浓度增加等。环境变化可以通过干湿沉降、气孔吸收以及改变植物的新陈代谢 (Nihlgård, 1985) 来改变叶子的理化性质, 进而影响凋落物品质 (Smith, 1990; Findlay *et al.* , 1996; Nikula *et al.* , 2010); 或者可以通过改变土壤养分状况 (Haines & Carlson, 1989) 影响分解的环境条件。因此城市环境变化可以通过改变凋落物品质以及外在环境条件来间接影响到凋落物分解。与自然森林生态系统中的树木凋落物分解相比, 城市树木凋落物由于受到城市环境变化的影响, 可能会呈现不同的分解特性。而国内外对城市树种凋落物分解规律研究甚少。对比城市和城郊的树木凋落叶分解特点, 可以分析研究两个地点凋落物分解的不同特点。

沈阳作为东北老工业基地重要城市, 城市化带来的环境变化比较明显。同时油松 (*Pinus tabulaeformis*) 也是沈阳城市树种种植面积最大的针叶树种。为了区分出凋落物分解时凋落物自身的理化性质和分解过程中的外部环境条件对分解快慢的影响, 选取沈阳市城市林分和城郊林分两个分解地点,

采用凋落物交互分解实验进行研究: 为了检测外部环境条件的区别, 在两个地点用同一种油松凋落叶进行分解, 比较凋落物分解率和 N、P 元素剩余率和 C/N、C/P; 为了检测凋落物自身理化性质的贡献性, 在同一个分解地点, 用来自两个地点油松凋落叶进行分解。本研究在城市环境变化下的大背景下, 研究沈阳市油松凋落叶分解在城市和城郊两个分解地点时的不同分解特性, 旨在为我国城市树种凋落物分解的研究提供一定的理论基础和理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

研究区位于辽宁省沈阳市, 该区域属于暖温带半湿润季风型大陆性气候, 四季分明, 雨热同季, 年均温度 6.2 ~ 9.7 °C, 年总降水量 600 ~ 800 mm, 属于长白植物区系、华北植物区和蒙古植物区系交界处。为了区分城市和城郊不同分解地点的差异, 在中国科学院沈阳应用生态研究所树木园 (41°46'N, 123°26'E) 和辉山分园 (41°54'N, 123°35'E) 分别建立了一个 20 m×20 m 的样地 (图 1), 其中树木园位于沈阳市人口密集的商业文化中心地带, 样地内为油松纯林, 油松的胸径大约为 18 ~ 27 cm, 年龄大约为 30 ~ 40 年, 树高大约为 9 ~ 13 m, 郁闭度为 0.7。辉山园位于城郊边缘, 受人为干扰较少, 样地内也为油松纯林, 油松的平均胸径大约为 18 ~ 26 cm, 年龄

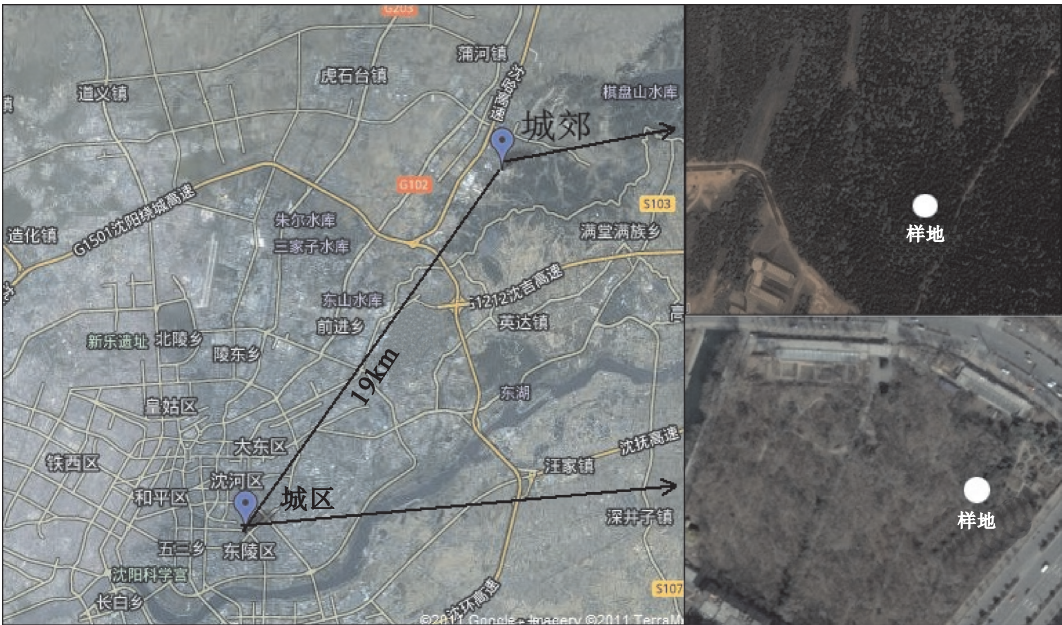


图 1 样地的位置示意图  
Fig. 1 Location of sample sites

表 1 城市和城郊分解地点的气候特征

Table 1 Climate characters of urban and suburb sites

地点	年均温 (℃)	年降水量 (mm)	6—8 月 均温 (℃)	6—8 月 降水 (mm)	6—8 月 土壤含 水量 (%)
城市	7.4	755	23.4	486	19
城郊	6.3	760	21.4	495	26

大约为 30 ~ 40 年,树高大约为 9 ~ 15 m,郁闭度为 0.9。两个园区的土壤类型都为呈微酸性的森林棕壤草甸土(徐文铎等,2006)。两个园区相距大约 19 km,由于相隔较远,两个园区的气候呈现明显的差别。树木园是典型的城市气候,受到城市的影响(城市热岛,大气污染等)比较明显;而辉山园区是典型的城郊气候,离市中心较远,受到城市化影响较弱。因此,选择这两个园区进行城市和城郊的不同地点分解的对比。两个地点的具体气候特征见表 1。

1.2 研究方法

1.2.1 交互分解实验 于凋落高峰期内(2010 年 10 月)收集城市中心树木园和城郊辉山分园的油松林新鲜凋落叶,将收集来的落叶一部分于 55℃ 条件下烘干至恒重,用作初始化学成分分析,另一部分在室温下风干用做交互分解实验。

凋落物交互分解采用常规的分解袋法,分解袋网孔为 1 mm,大小为 20 cm×25 cm。分解实验中,首先在采集的凋落叶中称取 8 g 样品装入尼龙网袋中,进行编号。同时,将风干后的叶子放烘箱里烘干至恒重,测含水率。然后将在树木园的油松分解袋分成两部分,一半放到树木园的油松样地上进行分解实验,另一半放到辉山园的油松样地上进行分解实验。同上,从辉山园样地的分解袋也分两部分进行分解实验。

于 2010 年 11 月初在样地里随机放置分解袋,放到土壤表面,上面覆盖凋落叶。于 2011 年 4—11 月每月初随机从样地里收集 3 个网袋。取回网袋将分解袋上的杂物洗净、于烘箱里烘干至恒重,称重。然后将样品进行化学成分分析,测定指标有 C、N、

P。C 浓度用重铬酸钾和硫酸(K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)氧化法测定。N 用半微量凯氏定氮法测定,P 用钼锑抗比色法测定。

1.2.2 数据处理 分解速率采用 Olson 指数模型来计算:

$$X_t/X_0 = \exp(-kt)$$

式中: $X_t$ 为凋落物在  $t$  时刻的重量; $X_0$ 为初始重量; $k$ 为分解速率( $a^{-1}$ ); $t$ 为分解时间( $a$ )。凋落物袋中干物质和化学成分含量用剩余率来表示,即凋落物袋中剩余物质含量占该物质初始含量的百分比。利用此公式计算凋落物分解系数和半分解期及分解 95% 时所需时间。

交互移植实验是由两种凋落物类型(城市凋落物和城郊凋落物)和两个分解地点(城市林分和城郊林分)组成的。由于是两种凋落物类型和两个分解地点的交互,因此,需要用到析因设计的方差分析研究凋落物类型之间、不同分解地点之间分解的差异以及凋落物类型与分解地点之间的交互作用。而在统计同一凋落物的质量损失和 N、P 残留率在两个地方是否有区别以及同一地方的不同凋落物是否有区别时,由于是在不同的时间重复的取样,用重复测量试验方差分析来进行统计分析。所有统计分析用 SPSS 16.0 完成。

2 结果与分析

2.1 凋落叶的分解速率

通过 Olson 指数模型计算出来凋落叶的分解方程见表 2,从表 2 可以看出,无论是来自城市林分还是城郊林分的凋落物,在城郊的分解常数都大于在城市中的分解常数,1 年的干重失重率也是城郊的凋落物比城市中的凋落物大出至少 10%,从分解 50% 以及 95% 所需的时间也可以看出,凋落物在城市林分中分解 50% 所需的年数比在城郊林分中分解的时间平均多 1 年,这些都说明了凋落物在城郊的分解要更快些。而在同一个地点,来自城市林分

表 2 油松凋落物分解回归方程  
Table 2 Regression function of litter decomposition of *Pinus tabulaeformis*

凋落物类型	分解地点	Olson 指数模型	相关系数	年干重失重率 (%)	分解 50% 所需年数	分解 95% 所需年数
城市凋落物	城市	$y = 1.104\exp(-0.34t)$	0.949	21.9	2.3	9.1
城市凋落物	城郊	$y = 1.31\exp(-0.73t)$	0.873	35	1.3	4.5
城郊凋落物	城市	$y = 1.064\exp(-0.28t)$	0.943	18.4	2.7	11.1
城郊凋落物	城郊	$y = 1.278\exp(-0.625t)$	0.909	31.3	1.5	5.2



中的凋落物的分解常数要比来自城郊林分的凋落物要大,说明城市凋落物比城郊的凋落物较容易分解。

2.2 质量损失率

为了分析不同地点对同一种凋落物类型分解的影响,分别对比了同一种类型凋落物(城市凋落物和城郊凋落物)在不同地点(城市林分和城郊林分)分解后的质量剩余率(图 2)。从图 2 可以看出,城市凋落物在城市林分和城郊林分分解时在前 210 d 无明显的差别,然而在 210 d 以后城郊林分中的城市凋落物分解明显加快(图 2)。城市油松凋落叶在城郊和城市的分解速率(1-凋落物的剩余率)分别是 35% 和 21.9% (表 2),这种分解速率的差异达到了显著水平( $P<0.05$ )。而城郊凋落物在两个不同地点分解时,在前 270 d 没有差异,在 270 d 以后才表现出城郊林分中凋落物分解快于城市林分中(图 2)。城郊油松凋落叶在城郊和城市的分解速率分别是 31.3% 和 18.4%,这种分解速率的差异达到了显著水平( $P<0.05$ )。因此,从上面的结果可以得出,无论是城市凋落物还是城郊凋落物,放置在城郊林分时的分解速度在分解后期要快于放置在城市林分中的分解速率。

同样,为了分析不同类型凋落物在同一地点分解差异,分别对比了不同类型的凋落物(城市凋落物和城郊凋落物)在同一地点(城市林分和城郊林分)分解时的质量剩余率(图 2)。从图 2 可以看出,在城市林分中城市凋落物和城郊凋落物分解时的质量损失没有显著差别(图 2)。在城郊林分中,城郊凋落物在 240 ~ 270 d 时间内分解快,然而在 270 ~ 330 d 时间内,分解变慢,在 330 d 时,

两种凋落物的质量剩余率基本一致(图 2)。因此,总体上只有在分解后期,才表现出城市凋落物比城郊凋落物分解快些。

2.3 N、P 元素剩余率变化趋势

通过比较同一个凋落物类型在不同分解地点分解时的 N 和 P 剩余率,研究凋落叶分解地点对营养元素 N(图 3)、P(图 4)含量的影响。经过一年分解,可以看出,凋落叶分解地点对营养元素 N、P 含量的影响不明显。在两个分解地点,城市油松凋落叶的 N、P 含量呈现不太规律的波动,波动幅度也较小,总体显先缓慢上升后缓慢下降的趋势。分解末期时 P 元素剩余量在城市分解地点和城郊分解地点分别是 94% 和 78%。N 元素剩余率分别是 102% 和 103%。城市油松凋落叶的 P 元素在分解末期已呈释放的模式。无论在城市林分还是在城郊林分里,城郊的油松凋落叶 N、P 含量保持总体上升的趋势,呈富集趋势。360 d 时 P 剩余含量在城市和城郊分别达到了 210% 和 190%。而 N 含量也呈现总体上升的趋势,360 d 时 N 剩余含量在城市林分和城郊林分分别达到了 210% 和 180%。

通过比较不同凋落物类型在同一分解地点分解时 N 和 P 剩余率来研究凋落叶类型对营养元素 N(图 3)、P(图 4)含量的影响。可以看出,在一年的分解过程中,凋落物类型显著影响了油松针叶的 N 剩余量(图 3)和 P 剩余量(图 4) ( $P<0.01$ )。在城市林分,随着分解的进行,城市凋落叶的 N、P 含量没有显著变化。在一年后,N、P 元素剩余量分别达到 102% 和 99%,总体含量呈稳定的模式。但是城郊油松凋落物 N、P 元素含量则总体上呈现上升趋势。在一年后 N、P 元素剩余量分别达到 211% 和

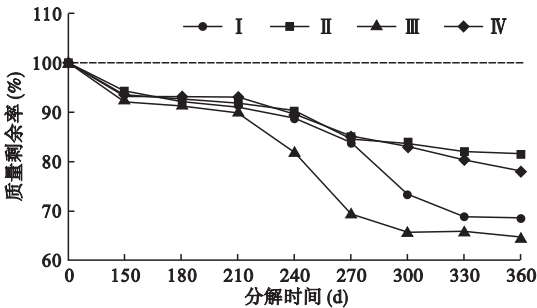


图 2 城郊凋落物在城郊林分 ( I ) 和城市林分 ( II ) 以及城市凋落物在城郊林分 ( III ) 和城市林分 ( IV ) 分解时的质量剩余率

Fig. 2 Mass remaining of suburban litter decomposing in suburban stand ( I ) and urban stand ( II ), and urban litter decomposing in suburban stand ( III ) and urban stand ( IV )

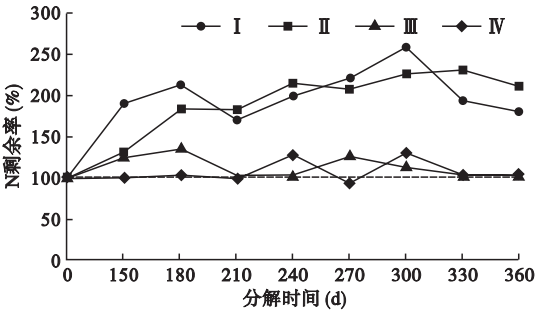


图 3 城郊凋落物在城郊林分 ( I ) 和城市林分 ( II ) 以及城市凋落物在城郊林分 ( III ) 和城市林分 ( IV ) 分解时的 N 剩余率

Fig. 3 N remaining of suburban litter decomposing in suburban stand ( I ) and urban stand ( II ), and urban litter decomposing in suburban stand ( III ) and urban stand ( IV )

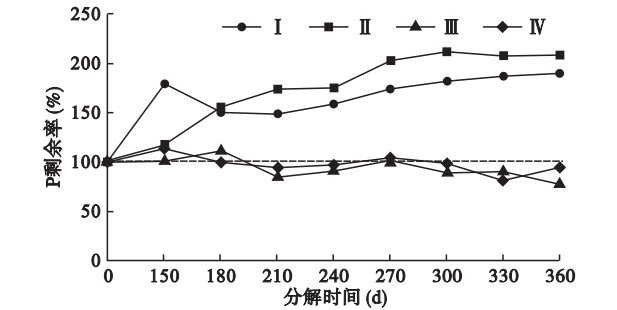


图 4 城郊凋落物在城郊林分 ( I ) 和城市林分 ( II ) 以及城市凋落物在城郊林分 ( III ) 和城市林分 ( IV ) 分解时的 P 剩余率

Fig. 4 P remaining of suburban litter decomposing in suburban stand ( I ) and urban stand ( II ), and urban litter decomposing in suburban stand ( III ) and urban stand ( IV )

209%。在城郊林分里,油松凋落物类型显著影响油松叶子的 N、P 元素剩余量 ( $P<0.01$ )。两种凋落物类型的 N、P 元素剩余量的变化趋势和在城市林分里表现一样的趋势。在城郊地点分解结束时,城市油松凋落叶的 N、P 元素剩余量分别达到了 103% 和 78%,P 释放了 22%。城郊油松凋落叶的 N、P 元素在后期略微下降,总体还是富集的趋势,末期残余量分别达到了 181% 和 190%。

2.4 凋落物的化学物质的变化特征

凋落叶的各种化学物质可以影响凋落物分解速率,各种化学物质的含量变化特征可以解释不同类型或者不同地点凋落物分解时发生差异的内部机制。城市油松和城郊油松凋落叶的各种化学物质特征初始值和最终值见表 3。从表 3 可以看出,城市油松凋落叶的初始 C 浓度比城郊油松凋落叶的稍高,前者的全 N、P 初始值显著高于后者初始值,前者初始 C/N、C/P 值显著低于城郊油松凋落叶初始值。

经过一年的分解以后,全C浓度显示出明显下

表 3 城市油松凋落叶和城郊油松凋落叶化学物质的特征初始值和最终值 (mg · g<sup>-1</sup>)

Table 3 Initial and final characteristic value of chemicals in urban and suburban *Pinus tabulaeformis* leaf litter

	城市油松凋落叶			城郊油松凋落叶		
	初始值	城市林分	城郊林分	初始值	城市林分	城郊林分
	最终值	最终值		最终值	最终值	
全 C	407.91	336.80	323.00	444.50	351.70	325.50
全 N	16.11	16.51	16.60	3.15	12.81 *	10.99
全 P	1.24	1.17	0.98	0.39	0.81 *	0.74 *
C/N	25.32	20.43	19.52	73.50	27.45 *	29.70 *
C/P	329.26	274.53	336.18	1146.4	439.55 *	447.11 *

\* 初始值以及最终值之间显著差异。

降,但是全 C 浓度最终值无论是在城市林分与城郊林分之间还是城市凋落叶与城郊凋落叶之间都没有显著的差别。在城市凋落叶分解时,全 N 浓度呈现出轻微的上升,然而城郊的油松凋落叶分解时,全 N 浓度表现出极显著的上升。对于全 P,城市凋落叶分解时表现出轻微的下降,而在城郊凋落叶分解时却呈现出显著的上升。C/N 以及 C/P 都是城市凋落叶分解时稍微下降,而在城郊凋落叶分解时却呈现出显著的下降。总之,在一年的分解后,放置在不同的地点(城市林分和城郊林分)的凋落物分解的差别不大,而不同类型的凋落物在分解后与分解前相比化学成分变化差异显著。

2.5 分解末期的化学特征值的统计分析

利用两因素方差分析研究经过 360 d 的分解后不同地点之间、不同凋落物类型之间以及它们的交互作用对于凋落物分解是否存在显著的差异。分解后质量残留率、N 残留率、N 含量和 C/N 的两因素方差分析的结果见表 4。

从表 4 可以看出,分解 360 d 后,对于质量残留率,只有在不同的地点进行分解时有显著的差别。对于 N 残留率,不同土地利用类型、不同凋落物类型以及它们的交互作用都有显著影响。对于 N 含量,只有不同凋落物类型之间分解时有显著差异。对于 C/N,凋落物类型以及土地利用类型和凋落物

表 4 在分解 360 d 后的质量残留率和 N 残留率,N 含量和 C/N 比的两因素方差分析

Table 4 Two-way ANOVA statistical analyses results for residual mass and N content, and percent N and C-to-N ratio in residual litter material after 360 days decay period

误差来源	自由度	均方误差	F	P
质量残留率				
土地利用类型	1	510.1	17.97	0.003
凋落物类型	1	38.5	1.4	0.278
Land-use×type	1	0.042	0.001	0.970
N 残留率				
土地利用类型	1	678.8	26.6	0.001
凋落物类型	1	26354	1034	<0.001
Land-use×type	1	728.5	28.57	0.001
N 含量				
土地利用类型	1	2.337	4.08	0.078
凋落物类型	1	65.3	114	<0.001
Land-use×type	1	2.82	4.9	0.057
C/N				
土地利用类型	1	1.43	2.467	0.151
凋落物类型	1	237	407.6	<0.001
Land-use×type	1	7.9	13.7	0.005

类型的交互作用有显著影响。

### 3 讨论

#### 3.1 凋落叶的质量损失

凋落物分解快慢受到凋落物自身理化性质以及分解过程中外部环境条件(各种生物和非生物环境条件)的影响(Swift *et al.*, 1979)。通过研究结果也可以看出,在本研究中不同类型的凋落物分解速率不同,城市凋落物分解快于城郊凋落物;不同外界环境条件下的同种凋落物的分解速率也不同,放置在城郊林分中的凋落物在分解时要比放置在城市林分的分解时快。

质量残留率表示整个凋落叶的分解的状况,影响质量残留率的最主要的因素是分解地点。放置在城郊林分中的凋落物比放置在城市林分中的凋落物分解快,然而并不是分解开始就表现出来的,从质量剩余率的结果来看,只有在分解后期城郊林分中的凋落物才表现出比在城市林分中的凋落物分解快(图2)。在分解末期,也是只有不同的分解地点对于质量剩余率有显著的影响(图4)。这可能是由于开始进行分解试验时是在10月份,这时的无论是城市还是城郊的温度都太低,温度在此时作为最主要的影响因素,低温限制了两个地点的凋落物的分解。而在分解后期,夏季6、7、8月份是高温高湿的特点,导致了凋落物分解速率较大。城郊的月平均气温只低于城市1~2℃,但是城郊样地的土壤年平均湿度显著高于城市油松样的土壤湿度(表1)。如同温度一样作为影响分解的外界环境,土壤湿度也是影响分解速率的极为重要的因素(Chen *et al.*, 2000; 王妮等, 2003; 张东来等, 2006),可能土壤湿度对凋落叶分解造成的影响超过了气温对分解的影响,导致了凋落物分解后期速率出现了明显的差异。本研究的结果和 Pavao-Zuckerman 等(2005)和 Nikula 等(2010)的研究结果一致。但这个研究结果和 Pouyat 等(2003)的研究结果不一致,他们认为蚯蚓活动导致的土壤破碎可能导致了城市林分快速的质量损失,而在本研究中没有这种差别,因此这也可能是导致本研究结果和他们的研究结果不一致的原因。总之,城市和城郊因为环境条件的不同而对凋落物的分解产生最重要的影响。放置在城市林分中的凋落物分解比放置在城郊中要慢,说明了随着城市化,林分中的凋落物的分解变慢,分解的周期变长。

不同类型的凋落物在同一地点分解时也表现出

差异,油松的城市凋落叶不论在城市还是在城郊样地中都表现出比城郊凋落物分解更快的特点。这可能是因为城市油松凋落叶较低的初始 C/N、C/P 值(表2)。C/N 比是凋落物质量的一般化指数(Heal *et al.*, 1997),凋落叶初始 C/N、C/P 比值与分解速率成负相关(黄建辉等, 1998; 李志安等, 2004; 熊燕等, 2005; 常雅军, 2009)。凋落物中较低的 C/N、C/P 值导致其分解较快(Lorenz *et al.*, 2004)。这个结果与 Pavao-Zuckerman 等(2005)以及 Nikula 等(2010)的研究结果一致。因此,城郊油松凋落叶较高的 C/N、C/P 是阻碍此种凋落物分解的一个非常重要的内部因素。

#### 3.2 N、P 动态

凋落物分解过程中所涉及的主要元素是 N 和 P。作为最主要的营养元素, N 和 P 的分解动态不仅涉及到凋落物分解时 N 和 P 的化合物的分解,而且涉及到土壤营养元素的归还。凋落物分解归还的养分在对树木的养分供给方面也起着重要的作用。

N 含量、N 残留率、P 含量以及 P 残留率是凋落物分解时的营养元素的动态变化的指标。影响 N、P 这些元素含量的主要的因素是凋落物的类型。来自城市的凋落叶的初始的 N、P 含量和来自城郊的凋落叶的有显著的差异,因此它们在分解时也表现出完全不同的动态变化,并且在分解的末期表现出显著的差异。由于凋落物自身品质的不同,城市凋落叶元素的变化不大,而城郊凋落叶变化比较大。然而,影响 N 残留率的因素不仅有凋落物类型,还有地点与凋落物类型的交互作用,因此不同的凋落物放置在不同的地点时对 N 的残留率也会有影响。

不同种类的凋落物、初始化学物质特征值以及在植物体中所起的作用不同,导致这些元素在凋落物分解过程中含量变化的差异。初始浓度越小,越容易发生富集作用。一般 N 和 P 元素在凋落物分解中首先富集,这是因为微生物对 N 进行固持作用,使 C/N 比值达到一个阈值(25)后才开始释放,所以一般 C/N 比值较低的首先结束富集。在本实验中,城郊油松凋落物的初始 C/N 值高(表2), N 和 P 在整个分解时间里处于一直富集的模式(图3和图4),与 Nikula 等(2010)的研究结果一致。具有初始值较高的 C/N 和较低的含 N 量的城郊凋落物在分解过程中首先进行养分元素的富集(Köchy & Wilson, 1997)。初始 C/N、C/P 比值较高的凋落叶更需要从外界环境中获取大量的 N、P 元素以加快



自身的分解速度,凋落叶 N、P 元素的聚集是为了满足微生物分解所需的 N、P 浓度(李志安等,2004;林开敏等,2006)。在 1 年的分解过程中,城郊凋落叶 C/N、C/P 一直呈下降的趋势,下降意味着凋落叶转化为更容易分解的状态,使得凋落叶更快的进行分解。城市凋落物在整个分解过程中 N、P 没有明显的固定趋势。分解末期表现了 N 有释放的趋势。然而,如果检测城市凋落物是否有较快的释放速度,还需要更长分解时间的研究。

## 参考文献

- 常雅军. 2009. 秦岭西部针叶林凋落叶分解及其对模拟氮沉降的响应(硕士学位论文). 兰州:兰州大学.
- 黄建辉,陈灵芝,韩兴国. 1998. 辽东栎枝条分解过程中几种主要营养元素的变化. 植物生态学报, **22**(5): 398–402.
- 李志安,邹碧,丁永祯,等. 2004. 森林凋落物分解重要影响因子及其研究进展. 生态学杂志, **23**(6): 77–83.
- 林开敏,章志琴,曹光球,等. 2006. 杉木与楠木叶凋落物混合分解及其养分动态. 生态学报, **26**(8): 2732–2738.
- 王妮,郭继勋. 2003. 东北松嫩草地羊草群落环境因素与凋落物分解季节动态. 草业学报, **12**(1): 47–52.
- 熊燕,刘强,陈欢,等. 2005. 鼎湖山季风常绿阔叶林凋落叶分解与土壤动物群落动态和多样性. 生态学杂志, **24**(10): 1120–1126.
- 徐文铎,何兴元,陈玮,等. 2006. 沈阳城市森林主要树种物候对气候变暖的响应. 应用生态学报, **10**(17): 1777–1781.
- 张东来,毛子军,张玲,等. 2006. 森林凋落物分解过程中酶活性研究进展. 林业科学, **42**(1): 105–109.
- Berg B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management*, **133**: 13–22.
- Chen H, Harmon ME, Griffiths RP, et al. 2000. Effects of temperature and moisture on C respired from decomposing woody roots. *Forest Ecology and Management*, **138**: 51–64.
- Findlay S, Carreiro M, Kriskich V, et al. 1996. Effects of damage to living plants on leaf litter quality. *Ecological Applications*, **6**: 269–275.
- Grimm NB, Faeth SH, Golubiewski NE, et al. 2008. Global change and the ecology of cities. *Science*, **319**: 756–760.
- Haines BL, Carlson CL. 1989. Effects of acid precipitation on trees// Adriano PC, Johnson AH, eds. *Acid Precipitation* (vol. 2): Biological and Ecological Effects. Berlin: Springer.
- Heal OW, Anderson JM, Swift MJ. 1997. Plant litter quality and decomposition: An historical overview// Cadisch G, Giller KE, eds. *Driven by Nature. Plant Litter Quality and Decomposition*: 3–30.
- Köchy M, Wilson SD. 1997. Litter decomposition and nitrogen dynamics in aspen forest and mixed-grass prairie. *Ecology*, **78**: 732–739.
- Laiho R, Prescott CE. 2004. Decay and nutrient dynamics of coarse woody debris in northern coniferous forests: A synthesis. *Canadian Journal of Forest Research*, **34**: 763–777.
- Liski J, Nissinen A, Erhard M, et al. 2003. Climatic effects on litter decomposition from arctic tundra to tropical rainforest. *Global Change Biology*, **9**: 575–584.
- Lorenz K, Preston CM, Krumrei S, et al. 2004. Decomposition of needle/leaf litter from Scots pine, black cherry, common oak and European beech at a conurbation forest site. *European Journal of Forest Research*, **123**: 177–188.
- Melillo JM, Aber JD, Linkins AE, et al. 1989. Carbon and nitrogen dynamics along the decay continuum: Plant litter to soil organic matter. *Plant and Soil*, **115**: 189–198.
- Melillo JM, Aber JD, Muratore JF. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology*, **63**: 621–626.
- Nihlgård B. 1985. The ammonium hypothesis: An additional explanation to the forest dieback in Europe. *Ambio*, **14**: 2–8.
- Nikula S, Vapaavuori E, Manninen S. 2010. Urbanization-related changes in European aspen (*Populus tremula* L.): Leaf traits and litter decomposition. *Environmental Pollution*, **58**: 2132–2142.
- Pavao-Zuckerman MA, Coleman DC. 2005. Decomposition of chestnut oak (*Quercus prinus*) leaves and nitrogen mineralization in an urban environment. *Biology and Fertility of Soils*, **41**: 343–349.
- Pouyat RV, Carreiro MM. 2003. Controls on mass loss and nitrogen dynamics of oak leaf litter along an urban-rural land-use gradient. *Oecologia*, **135**: 288–298.
- Smith WH. 1990. *Air Pollution and Forests: Interactions Between Air Contaminants and Forest Ecosystems* (2nd ed.). Berlin: Springer.
- Swift MJ, Heal W, Anderson J. 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Berkley, California, USA, University of California Press.
- Vitousek PM, Turner DR, Parton WJ, et al. 1994. Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawaii: Patterns, mechanisms, and models. *Ecology*, **75**: 418–429.
- Vitousek PM. 1984. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology*, **65**: 285–298.

作者简介 郭芳琴,女,1985年生,硕士研究生,主要从事城市森林凋落物方面的研究。E-mail: guofangqin0521@163.com

责任编辑 王伟