

人工林凋落叶分解对土壤性质的影响

张丽萍¹,张兴昌²,刘增文¹,孙 强³,王书斌³,孙红彦³,于维峰⁴,刘玉杰⁴

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;2 中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业
国家重点实验室,陕西 杨凌 712100;3 烟台市水利建筑勘察设计院,山东 烟台 264001;4 烟台市莱山水利局,山东 烟台 264001)

【摘 要】 【目的】研究人工林凋落叶分解对土壤性质的影响,为防止土壤退化、增加土壤肥力提供理论指导。
【方法】采集四川岷江流域上游的 4 种(连香树(*Cercidiphyllum japonicum*)、云南松(*Pinus yunnanensis*)、糙皮桦(*Betula utilis*)和云杉(*Picea asperata*))林木凋落叶及林地土壤样品,通过对当年凋落叶进行 240 d 室内分解培养试验,探讨不同凋落叶在分解过程中对土壤性质的影响。【结果】云杉和云南松凋落叶分解使土壤 pH 值降低,糙皮桦和连香树凋落叶分解使土壤 pH 值增加;4 种凋落叶分解过程中,土壤有机质和全氮含量,土壤微生物量 C、N 以及 4 种土壤酶(蔗糖酶、过氧化氢酶、脲酶和蛋白酶)活性均有所增加。【结论】土壤有机质、全 N、微生物量、酶活性增加的幅度与凋落叶分解速率及养分释放率有密切关系,凋落叶分解的越快,土壤状况改善的越明显。

【关键词】 人工林;凋落叶分解;土壤性质;土壤酶活性

【中图分类号】 S714 【文献标识码】 A 【文章编号】 1671-9387(2008)09-0087-06

Effect of plantation litter decomposition on soil properties

ZHANG Li-ping¹,ZHANG Xing-chang²,LIU Zeng-wen¹,SUN Qiang³,
WANG Shu-bin³,SUN Hong-yan³,YU Wei-feng⁴,LIU Yu-jie⁴

(1 College of Resource & Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, State Key Laboratory of Soil
Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3 Yantai Building Conservancy Investigation & Design
Academy, Yantai, Shandong 264001, China; 4 Yantai Laishan Water Conservancy Department, Yantai, Shandong 264001, China)

Abstract: 【Objective】The effect of litter decomposition of forests on soil characteristics were studied in order to prevent the soil degeneration and increase the soil fertility. 【Method】Collected leaf litter and soil in four kinds of artificial forests (*Cercidiphyllum japonicum*, *Pinus yunnanensis*, *Betula utilis* and *Picea asperata*) on the upriver of Minjiang River in Sichuan. Through decomposition experiments for 240 days in laboratory, the change of soil properties in the course of litter decomposition was comprehensively appraised. 【Result】Decomposition of *Picea asperata* and *Pinus yunnanensis* leaf litter decreased the soil pH value. Decomposition of *Betula utilis* and *Cercidiphyllum japonicum* increased the soil pH value. In the process of leaf litter decomposition, the organic, total N, the content of microorganism biomass C (MB-C), microorganism biomass N (MB-N) and the enzyme activity (catalase enzyme, urea enzyme, invertase enzyme and protease enzyme) of soil were increased. 【Conclusion】There is a close relationship between the soil organic, total N, microorganism biomass C (MB-C), microorganism biomass N (MB-N), enzyme activity and the decomposition rate, C, N releasing rate of leaf litter. When leaf litter decomposed rapidly, the soil

* [收稿日期] 2007-09-17
[基金项目] 国家科技支撑计划项目(2006BAD09);西北农林科技大学科研创新团队支持计划项目;中国科学院成都生物研究所开放实验室基金项目
[作者简介] 张丽萍(1980—),女,宁夏吴忠人,在读博士,主要从事土壤环境质量研究。
[通讯作者] 张兴昌(1965—),男,陕西武功人,教授,博士,博士生导师,主要从事土壤学研究。E-mail: zhangxc@ms.iswc.ac.cn

status improved in evidence.

Key words: artificial forests;decomposition of foliar litter;soil properties;soil enzyme activity

森林凋落物是森林生态系统生物产量、养分循环和能流中一项极为重要的指标。凋落物分解是生态系统物质循环和能量转化的重要环节,可将养分归还给土壤,对森林土壤肥力有重要影响^[1-2]。凋落物的类型、化学组成、矿化速率以及腐殖化条件等在一定程度上制约着森林土壤的主要理化性质。以往的研究表明^[3-8],不同林木凋落叶下土壤的养分组成、腐殖质性质、酸碱状况以及微生物的活动行为存在明显的差异。但迄今为止,有关不同凋落叶对土壤性质,特别是对土壤酶活性影响的研究较少^[9-10]。为此,本试验在实验室模拟条件下,研究了连香树、云南松、云杉和糙皮桦 4 种林木凋落叶分解过程中土壤性质的动态变化规律,以期揭示这 4 种凋落叶分解对土壤性质的影响,为防止土壤退化、增加土壤肥力提供理论指导。

1 材料与方法

试验地位于四川岷江上游中国科学院茂县生态站附近的大沟流域中段,地理位置 103°54′04″~103°56′52″E 和 31°37′20″~31°44′53″N,海拔 2 100~2 300 m。年平均气温 8.9 ℃,≥10 ℃ 积温为 2 690.8 ℃,年降雨量 900~1 100 mm,年蒸发量 795.5 mm,属暖温带气候。成土母岩为志留系千枚

岩,土壤为棕壤。于 2003 年 11 月中旬林木停止生长进入休眠期之前,选取连香树(*Cercidiphyllum japonicum*)、云南松(*Pinus yunnanensis*)、云杉(*Picea asperata*)和糙皮桦(*Betula utilis*)4 片具有典型代表性的林地(表 1),收集当年凋落叶,挑出杂物,迅速漂洗干净后在 80 ℃ 下烘干并剪碎($\Phi<0.5$ cm)备用。同时在 4 片林地用混合采样法采集 0~10 cm 土层腐殖质土壤,除去根系、石块等杂物,风干磨碎过孔径 5 mm 土壤筛备用。

取混匀后的土样一份,用作土壤初始样品分析及对照。将其余的土壤装入不透水塑料培养杯中(每杯 100 g,大约 5 cm 厚),并在土壤表面等量覆盖一层剪碎的凋落叶(每杯 1 g,凋落叶与土壤之间用 $\Phi=0.1$ mm 尼龙网布隔开)。试验共设 4 个处理,每种样地为一个处理,每处理设 15 个重复,总计 60 个培养杯。开始培养时,在每个培养杯中加一定量的蒸馏水,调节土壤湿度为田间持水量的 50%(事先测定田间持水量,通过计算确定应加水量),用塑料薄膜封闭杯口保湿,并在薄膜上用针刺 2~3 个通气孔,然后将培养杯放在 25 ℃ 恒温培养箱中进行培养。在培养过程中,每隔 2~3 d 称量培养杯质量,根据失重情况补充水分。

表 1 供试 4 片林地的基本状况
Table 1 Status of four forests

林地 Forests	海拔/m Altitude	坡向 Aspect	林龄/年 Age	胸径/cm Diameter	树高/m High of tree	枯落量/(kg·hm ²) Forest litters
连香树 <i>Cercidiphyllum japonicum</i>	2 058	阴坡 Shade slope	16	9.8	9.19	4 916.5
云南松 <i>Pinus yunnanensis</i>	2 140	阴坡 Shade slope	23	12.1	10.76	9 635.2
云杉 <i>Picea asperata</i>	2 108	半阳坡 Semi-sunny slope	39	13.0	11.77	7 176.5
糙皮桦 <i>Betula utilis</i>	2 178	半阳坡 Semi-sunny slope	39	17.3	11.89	1 062.0

2 测定指标与方法

分别于室内分解培养后的第 16,48,96,160 和 240 天取不同处理的培养杯,仔细收集分解残留的凋落叶,迅速漂洗后在 80 ℃ 下烘干至恒重并称质量,计算失重率。测定残留凋落叶中的 N 和 C 含量,将土壤充分混合后取样测定 pH 值及有关生物化学指标。土壤和植物有机碳采用 K₂Cr₂O₇ 容量

法测定;全氮采用半微量凯氏定氮法测定;脲酶(URE)活性采用 Hoffmann 与 Teicher 法测定;过氧化氢酶(CAT)活性采用 Johnson 和 Temple 法测定;蛋白酶(PRO)活性采用 Галстян 与 Арутюнян 法测定;蔗糖酶(INV)活性采用 Hoffmann 与 Seegerer 法测定;土壤微生物量碳、氮(MB-C,MB-D)采用氯仿熏蒸 K₂SO₄ 浸提碳氮分析仪测定;pH 值采用 PHS-2 型酸度计测定^[11]。

3 结果与分析

3.1 凋落叶的失重率及 C、N 释放率

由表 2 可知,4 种凋落叶的失重率及 C、N 释放率均随分解时间的延长而增大,在分解 48~96 d 变

化幅度较大,凋落叶分解较快;试验结束时,失重率及 C、N 释放率由大到小依次为:糙皮桦>连香树>云杉>云南松;糙皮桦和连香树凋落叶较云杉和云南松容易分解,相应的失重率及 C、N 释放率也较大。

表 2 4 种凋落叶分解时的失重率及 C、N 释放率

Table 2 Weightless rate and C, N release rate of four leaf litters decomposition

凋落叶 Leaf litter	培养时间/d Time of incubation	失重率/% Weightless rate	C 释放率/% C release rate	N 释放率/% N release rate	凋落叶 Leaf litter	培养时间/d Time of incubation	失重率/% Weightless rate	C 释放率/% C release rate	N 释放率/% N release rate
糙皮桦 <i>Betula utilis</i>	0	0	0	0	云杉 <i>Picea asperata</i>	0	0	0	0
	16	8.67	8.70	3.21		16	4.55	6.18	0.31
	48	19.33	16.65	9.95		48	8.52	13.97	0.61
	96	30.59	36.79	21.64		96	16.06	25.52	2.51
	160	35.35	39.20	22.89		160	20.39	29.72	7.85
	240	41.18	40.47	27.01		240	25.60	37.54	8.11
连香树 <i>Cercidiphyllum japonicum</i>	0	0	0	0	云南松 <i>Pinus yunnanensis</i>	0	0	0	0
	16	7.21	6.98	3.08		16	3.56	6.14	-1.49
	48	18.02	15.87	5.54		48	8.02	12.22	-1.44
	96	26.97	31.29	6.73		96	15.92	24.24	2.39
	160	28.47	33.31	9.24		160	18.64	27.80	5.27
	240	32.51	39.24	14.54		240	24.01	35.84	7.98

3.2 凋落叶分解对土壤 pH 值的影响

表 3 表明,土壤 pH 初始值大小顺序为糙皮桦>连香树>云杉>云南松;云杉和云南松凋落叶在试验过程中使土壤 pH 值降低,向酸性化方向发展,这可能是由于云杉和云南松凋落叶中盐基成分少,在分解及微生物大量繁衍过程中,土壤盐基饱和

度下降,致使 pH 值降低;糙皮桦和连香树凋落叶使土壤 pH 值增加,缓解了土壤酸化,其机理可能是凋落叶增加了土壤有机质,提高了土壤和下渗液的盐基量,降低了土壤水解性总酸度,从而提高了土壤 pH 值,这与王福升等^[12]、徐秋芳等^[3]的研究结果一致。

表 3 凋落叶分解过程中土壤 pH 值的变化

Table 3 Change of soil pH in the course of litter decomposition

凋落叶 Leaf litter	0 d	16 d	48 d	96 d	160 d	240 d
糙皮桦 <i>Betula utilis</i>	5.73	5.54	5.36	5.68	5.73	5.94
连香树 <i>Cercidiphyllum japonicum</i>	5.42	5.34	5.04	5.42	5.62	5.66
云 杉 <i>Picea asperata</i>	5.29	5.24	4.96	5.09	4.99	4.88
云南松 <i>Pinus yunnanensis</i>	5.24	5.25	5.18	5.12	5.12	5.03

3.3 凋落叶分解对土壤有机质、全 N 含量的影响

图 1 表明,土壤初始有机质及全氮含量均为糙皮桦>连香树>云杉>云南松;随着凋落叶的分解,土壤有机质和全氮含量均呈现先升高后降低的变化趋势;4 种凋落叶土壤有机质含量在 48 d 达到峰值;试验结束时,土壤有机质含量与初始值相比增加比例大小为糙皮桦(13.42%)>连香树(8.66%)>云杉(7.19%)>云南松(6.94%)。土壤全氮含量的峰值出现在 96 d;试验结束时,土壤全氮含量与初始值相比增加比例大小为糙皮桦(5.56%)>连香树(5.25%)>云杉(4.71%)>云南松(2.61%)。总体来看,凋落叶分解能够增加土壤有机质及氮素含量,

不同凋落叶分解和养分释放速率不同,导致其对林地土壤有机质和全氮的影响也不同。与阔叶相比,针叶质地粗硬,纤维素含量高,表面富蜡质层,透水性差,C/N 比高,分解速率及养分释放率低,造成大量养分元素在凋落物层的积累,不能及时进入土壤,因此云杉和云南松土壤有机质及全氮含量均低于糙皮桦和连香树,土壤有机质及全氮增加的幅度也小。土壤有机质和全氮含量分别在 48 和 96 d 达到峰值,这是由于凋落叶在此前的一段时间内迅速分解,失重率及 C、N 释放率最大,相应的土壤中有有机质及全氮含量增加的幅度也最大。

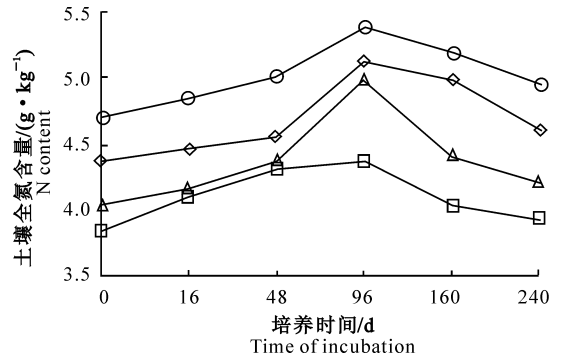
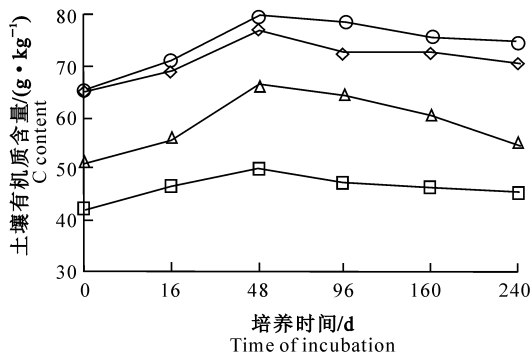


图 1 凋落叶分解过程中土壤有机质、全 N 含量的变化

—○—, 糙皮桦; —◇—, 连香树; —△—, 云杉; —□—, 云南松

Fig. 1 Change of soil C, N content in the course of litter decomposition

—○—, *B. utilis*; —◇—, *C. japonicum*; —△—, *P. asperata*; —□—, *P. yunnanensis*

3.4 凋落叶分解对 MB-C、MB-N 含量的影响

MB-C 能促进土壤形成活性较高的新生腐殖质, 对改善土壤环境质量有重要意义。MB-N 能够反映土壤供氮能力和土壤生物活性, 对土壤氮的矿化和固定过程有调节作用。

图 2 显示, 土壤初始 MB-C 和 MB-N 含量均为糙皮桦 > 连香树 > 云杉 > 云南松, 且随分解的进行, 均呈现先增大后减小的变化趋势。糙皮桦和连香树

土壤 MB-C 含量在 160 d 达到峰值, 云杉和云南松在 96 d 达到峰值; 到分解 240 d 时, 土壤 MB-C 含量增幅大小顺序为糙皮桦 (15.42%) > 连香树 (11.8%) > 云杉 (9.53%) > 云南松 (6.69%)。4 种土壤 MB-N 含量均在 160 d 达到峰值, 到分解 240 d 时, 增幅大小顺序为糙皮桦 (8.34%) > 连香树 (7.67%) > 云杉 (7.68%) > 云南松 (5.68%)。

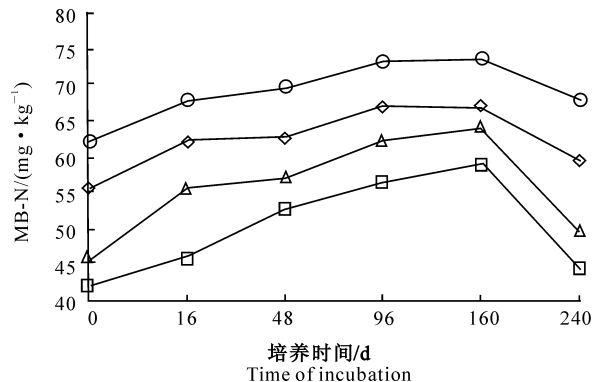
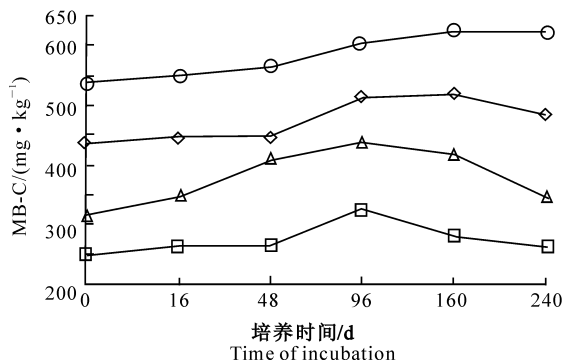


图 2 凋落叶分解过程中土壤 MB-C、MB-N 含量的变化

—○—, 糙皮桦; —◇—, 连香树; —△—, 云杉; —□—, 云南松

Fig. 2 Change of soil MB-C, MB-N in the course of litter decomposition

—○—, *B. utilis*; —◇—, *C. japonicum*; —△—, *P. asperata*; —□—, *P. yunnanensis*

随着凋落物的分解, 相当一部分丧失的营养元素归还给了土壤, 由于不同凋落物所含有机质, 如碳、氮的比例和成分不同, 腐解速率不同, 对微生物生命活动产生的影响也不同, 从而引起土壤 MB-C 和 MB-N 含量的差异^[13]。通常认为, 随着凋落物进入土壤, 土壤有机质和微生物含量增大, 且在凋落叶分解最快的时期增加的幅度最大。分解前期, 凋落叶中含有易分解的有机碳, 分解后补充了土壤有机碳, 刺激了土壤微生物的新陈代谢, 导致 MB-C 含量

增加; 剩下纤维素、木质素等难分解物质, 使后期分解速度变慢, 土壤 MB-C 含量有所降低。糙皮桦和连香树凋落叶分解较快, 土壤微生物增加迅速且明显, 相应的土壤 MB-C 和 MB-N 含量也高于云杉和云南松, 这与钟哲科等^[10]的研究结论一致。

3.5 凋落叶分解对土壤酶活性的影响

图 3 显示, 土壤 INV、URE、CAT 和 PRO 活性的初始值均为糙皮桦 > 连香树 > 云杉 > 云南松; 随着凋落叶分解时间的延长, 各种酶活性均有增加的

趋势;糙皮桦、连香树、云杉和云南松土壤 INV 活性随着凋落叶的分解均呈先升高后降低的变化趋势,分别在 160,96,96 和 96 d 达到峰值,峰值分别较初始值增加了 4.85%,2.97%,2.54%和 1.7%。4 种土壤 CAT 活性的变化趋势为先升高后降低,其中糙皮桦、连香树和云杉土壤 CAT 活性在分解试验的 96 d 达到峰值,而云南松的峰值出现在 160 d;240 d 时,土壤 CAT 活性增幅大小为糙皮桦(14.19%)>连香树(7.64%)>云南松(7.47%)>云杉(6.02%)。4 种土壤 URE 活性随凋落叶分解有所增加;云南松土壤 URE 活性呈现先升高后降低再升高的变化趋势,在分解 96 d 达到峰值;其他 3

种土壤 URE 活性均呈现先升高后降低的变化趋势,在分解 48 d 达到峰值。4 种土壤 PRO 活性在分解过程中也呈现先升高后降低的变化趋势,其中糙皮桦土壤 PRO 活性的峰值出现在 48 d,其他 3 种土壤 PRO 活性的峰值出现在 96 d。结果表明,以上凋落叶的分解及养分的释放可以为微生物提供较多的营养,使微生物活性增强,土壤酶活性增加,生物学特性得到改善。由于不同凋落叶及同种凋落叶在不同时间分解的速率和养分释放率不同,致使其对土壤中酶活性的影响也不同。一般来说,凋落叶分解得越快,养分释放量越大,土壤微生物活性越大,相应的土壤酶活性也越大。

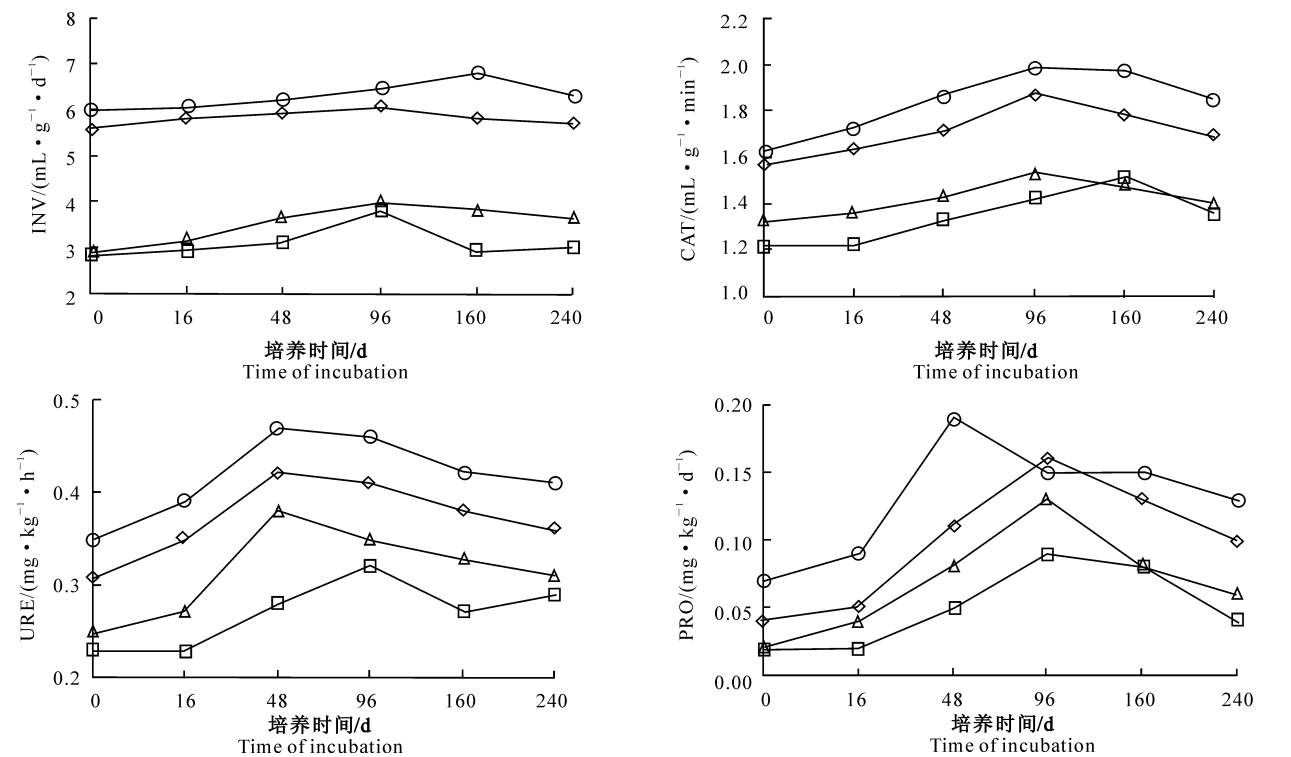


图 3 凋落叶分解过程中土壤酶活性的变化
-○-, 糙皮桦; -◇-, 连香树; -△-, 云杉; -□-, 云南松
Fig. 3 Influence on soil enzymes activity of leaf litter decomposition
-○-, *B. utilis*; -◇-, *C. japonicum*; -△-, *P. asperata*; -□-, *P. yunnanensis*

4 结论与讨论

(1)凋落叶的分解对土壤 pH 值的变化有一定影响,云杉和云南松凋落叶分解造成了土壤 pH 值的下降;糙皮桦和连香树凋落叶的分解使土壤 pH 值增加,缓解了土壤的酸化。

(2)凋落叶分解过程中,土壤有机质、全氮及 MB-C、MB-N 含量均有所增加,增加的幅度与凋落叶分解速率及养分释放率有关;同时,凋落叶的分解还促进了土壤蔗糖酶、过氧化氢酶、脲酶和蛋白酶活

性的增加;不同凋落叶在不同分解时间对土壤有机质、全 N 和微生物含量及酶活性的影响不同。糙皮桦和连香树凋落叶分解较快,土壤有机质、全氮及 MB-C、MB-N 增加较快;云杉和云南松凋落叶分解较慢,土壤有机质、全氮及 MB-C、MB-N 增加较慢。

凋落叶分解状况对土壤各种性状产生极大的影响^[14-15]。凋落叶分解迅速,并且转化为土壤腐殖质的过程越强烈,土壤状况的改善就越明显;反之,凋落叶分解缓慢且大量累积,造成土壤酸性增加,营养元素淋溶作用加强,使土壤养分状况恶化,生产力降

低。

[参考文献]

- [1] Klemmedson J O. Litter fall transfers of dry matter and nutrients in ponderosa pine stands [J]. Can J Fes, 1990, 20: 1105-1115.
- [2] Isanework N L, Michelsen A. Litterfall and nutrient release by decomposition in three plantations compared with a natural forest in Ethiopian hig [J]. For blandest Ecology and Management, 1994, 65: 149-164.
- [3] 徐秋芳, 钱新标, 桂祖英. 不同林木凋落物分解对土壤性质的影响 [J]. 浙江林学院学报, 1998, 15(1): 27-31.
Xu Q F, Qian X B, Gui Z Y. Effects of litter decomposition of different stands on soil properties [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 1998, 15(1): 27-31. (in Chinese)
- [4] 赵吉, 邵玉琴, 孔祥辉. 黄甫川地区枯枝落叶的分解及其对土壤生物环境的影响 [J]. 农业环境保护, 2002, 21(6): 543-545.
Zhao J, Shao Y Q, Kong X H. Decomposition of litters and its effects on soil biological environment in Huangfuchuan basin [J]. Agro-environmental Protection, 2002, 21(6): 543-545. (in Chinese)
- [5] 林波, 刘庆, 吴彦, 等. 川西亚高山针叶林凋落物对土壤理化性质的影响 [J]. 应用与环境学报, 2003, 9(4): 346-351.
Lin B, Liu Q, Wu Y, et al. Effect of forest litters on soil physical and chemical properties in subalpine coniferous forests of western sichuan [J]. Chin J Appl Environ Biol, 2003, 9(4): 346-351. (in Chinese)
- [6] 曹群根, 罗佩韬. 毛竹林凋落叶分解过程中土壤微生物学特性的研究 [J]. 竹子研究汇刊, 1996, 15(3): 58-66.
Cao Q G, Luo P T. Study on the microbiological charactristics of leaf-litter decomposition in phylost achys pubescens bamboo stands [J]. Journal of Bamboo Research, 1996, 15(3): 58-66. (in Chinese)
- [7] 杨雨霞, 潘剑军, 苑韶峰. 黎平县森林土壤分解过程中有机碳的动态变化 [J]. 水土保持学报, 2004, 8(6): 71-74.
Yang Y X, Pan J J, Yuan S F. Dynamics of forest soil organic carbon during decomposition in Liping county [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 8(6): 71-74. (in Chinese)
- [8] 梁宏温. 田林老山中山杉木人工林凋落物及其分解作用的研究 [J]. 林业科学, 1993, 29(4): 355-359.
- [9] 林德喜, 樊后保, 苏兵强. 马尾松林下套种阔叶树土壤理化性质的研究 [J]. 土壤学报, 2004, 41(4): 655-659.
Lin D X, Fan H B, Su B Q. Effect of inter-plantation of broad leaved trees in *Pinus massoniana* forest on physical and chemical properties of the soil [J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(4): 655-659. (in Chinese)
- [10] 钟哲科, 高智慧, 杨树, 水杉林带枯落物对土壤微生物 C、N 的影响 [J]. 林业科学, 2003, 39(2): 153-157.
Zhong Z K, Gao Z H. Impacts of litter of *Populus* and *Metasequoia* on soil microbial biomass [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2003, 39(2): 153-157. (in Chinese)
- [11] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Soil physical and chemical analysis [M]. Shanghai: Sci&Tech Press, 1978. (in Chinese)
- [12] 王福升, 孙多. 栽杉保阔法对杉木林凋落物形状的影响 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 1999, 23(6): 10-14.
Wang F S, Sun D. An influence on the features of litter in Chinese fir forest by means of conserving broadleaved trees [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 1999, 23(6): 10-14. (in Chinese)
- [13] 张成娥, 王栓全. 作物秸秆腐解过程中土壤微生物量的研究 [J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 96-99.
Zhang C E, Wang S Q. Study on soil microbial biomass during decomposition of crop straws [J]. Journal of Soil Water Conservation, 2000, 14(3): 96-99. (in Chinese)
- [14] 郭剑芬, 杨玉盛, 陈光水, 等. 森林凋落物分解研究进展 [J]. 林业科学, 2006, 42(4): 93-100.
Guo J F, Yang Y S, Chen G S, et al. A review on litter decomposition in forest ecosystem [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(4): 93-100. (in Chinese)
- [15] 陈立新, 陈祥伟, 段文标. 落叶松人工凋落物与土壤肥力变化的研究 [J]. 应用生态学报, 1998, 9(6): 581-586.
Chen L S, Chen X W, Duan W B. Study on the litter decomposition and soil fertilizer of larch plantations [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1998, 9(6): 581-586. (in Chinese)