

黄土高原小叶杨与其他树种枯落叶混合分解对养分释放的影响

祝振华¹, 刘增文^{1*}, 袁 娜¹, 杜良贞²

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100, 2. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要:人工纯林的长期连续生长或连栽所引起的土壤性质极化是导致土壤退化和影响人工林生态系统稳定及可持续发展的重要原因, 防治的根本途径是选择种间关系协调的树种进行混交改造。通过室内模拟混合分解试验, 研究小叶杨与其他树种枯落叶混合分解对养分释放的影响, 从而为人工纯林混交改造提供理论依据。研究结果表明: ①对C释放的影响: 辽东栎枯落叶表现为极强的促进作用, 释放率提高21.32%, 油松枯落叶表现为较弱的抑制作用, 释放率降低14.78%, 其他树种枯落叶作用不明显; ②对N释放的影响: 辽东栎枯落叶表现为极强的促进作用, 释放率提高28.69%, 檫子松、刺槐枯落叶促进作用较弱, 释放率分别提高14.98%、13.36%, 油松枯落叶表现为强烈的抑制作用, 释放率降低20.33%, 其他树种枯落叶作用不明显; ③对P释放的影响: 刺槐、辽东栎、沙棘枯落叶表现为超强的促进作用, 释放率分别提高57.60%、43.06%、38.60%, 紫穗槐枯落叶表现为强烈的促进作用, 释放率提高22.64%, 油松、樟子松枯落叶表现为超强的抑制作用, 释放率分别降低62.63%、47.99%, 其他树种枯落叶作用不明显; ④对K释放的影响: 油松枯落叶表现为较弱的抑制作用, 释放率降低10.41%, 其他树种枯落叶作用均不明显。

关键词:小叶杨; 枯落叶; 混合分解; 养分释放

中图分类号:S718.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2012)02-0001-05

Influence of Nutrient-release of Mix-leaf Litter Decay of *Populus simonii* with Other Trees in the Loess Plateau

ZHU Zhen-hua¹, LIU Zeng-wen^{1*}, YUAN Na¹, DU Liang-zhen²

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Soil polarization resulted from continuous growth and planting of pure forest stands is main cause of soil degradation and unbalanced or unsustainable development of artificial forest ecosystem. Fundamental way of controlling soil polarization is to select friendly tree species to form mixed forests. Indoor mixed decomposition experiment was conducted to study the effect of decomposition of mixed leaves of *Populus simonii* and other species on nutrient release, and to provide theoretical basis for artificial mixed forest formation. The results were as follows. (1). *Quercus liaotungensis* leaf litter strongly promoted organic carbon release with a promotion percentage of 21.32%, while *Pinus tabulaeformis* demonstrated suppression effect, and the release rate decreased by 14.78%. No significant effects on the organic carbon release were observed among the leaves of other tree species. (2) *Q. liaotungensis* leaf litter strongly increased nitrogen release with a promotion rate of 28.69%, showing significant promotion effect, for *P. sylvestris* var. *mongolica* and *Robinia pseudoacacia* leaf litters, however, the promotion effects were relatively weaker and nitrogen release rate increased by 14.98% and 13.36% respectively. *P. tabulaeformis* leaf litter ex-

收稿日期:2011-04-10 修回日期:2011-06-29

基金项目:国家自然科学基金(31070630);西北农林科技大学大学生创新实验计划项目(2010)。

作者简介:祝振华,男,在读研究生,研究方向:林业生态工程研究。

* 通讯作者:刘增文,男,博士,教授,主要从事森林生态与水土保持研究。E-mail:zengwenliu2003@yahoo.com.cn

hibited strong inhabiting effect on nitrogen release, the release rate decreased by 20.33%. For the leaves of other tree species, no significant effects on nitrogen release were observed. (3) *R. pseudoacacia*, *Q. liaotungensis*, and *Hippophae rhamnoides* leaf litters very strongly promoted the phosphorus release rate with promotion percentages of 57.60%, 43.06%, and 38.60% respectively. *Amorpha fruticosa* leaf litter strongly promoted phosphorus release, the promotion rate increased by 22.64%. *P. tabulaeformis* and *P. sylvestris* var. *mongolica* leaf litters significantly inhabited phosphorus release, the release rate reduced by 62.63% and 47.99%, respectively. The leaf litters of other tree species showed no significant influence on the phosphorus realeass. (4). Potassium(K) released: *P. tabulaeformis* leaf litter showed weak inhabiting effect on potassium release, the release rate reduced by 10.41%, no significant effects of others were observed.

Key words: *Populus simonii*; leaf litter; mixed decomposition; nutrient release

小叶杨(*Populus simonii*)是一种抗旱性强的速生树种,也是我国北方干旱半干旱地区主要的造林树种。随着小叶杨纯林面积不断扩大和其生长发育过程的进行,已经发现许多树龄偏大或者多代连栽的小叶杨纯林出现生长发育不良、土壤退化和更新困难等连生(连续生长)或连栽障碍现象,严重影响着当地森林生态系统的稳定和可持续发展。

针对人工纯林长期经营引起的这一问题,刘增文^[1]等曾经提出了“土壤性质极化”的理论,其概念是“由于人工纯林树种生物生态学特性的单一性、对物质吸收利用的选择性和对环境效应的特殊性,在其长期经营过程中,土壤性质往往呈现偏离原平衡态并朝正向或负向极端化发展的趋势”。人工纯林土壤性质极化是一种必然的自然现象。目前最有效的途径是选择最佳混交树种与小叶杨人工纯林进行混交改造^[2]。由于枯落叶分解是森林对土壤影响和实现养分循环的主要途径,所以,混交树种之间的种间关系是否协调也在很大程度上取决于混交后枯落叶分解是否有利于土壤性质的改善。因此通过研究黄土高原小叶杨与其他树种枯落叶混合分解对养分(C、N、P、K)释放的影响,探究不同树种间枯落叶混合分解的相互作用,对混交树种的选择,缓减土壤性质极化,提高生态系统稳定性,具有十分重要的意义,可以为我国黄土高原人工纯林混交改造提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集及预处理

在黄土高原3个不同生物气候区(由北向南包括半干旱荒漠风沙区、半干旱黄土丘陵区和半湿润黄土残塬沟壑区),针对主要乔木树种(包括油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、樟子松(*P. sylvestris* var. *mongolica*)、小叶杨(*Populus*

simonii)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、白榆(*Ulmus pumila*))和灌木树种(包括沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条(*Caragana microphylla*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*))组成的人工或天然纯林,于秋末冬初采集当年枯落叶,经过仔细挑拣(剔除病虫害叶、腐烂叶)、漂洗、晾干,统一剪成φ=1 cm 大小的碎片或短针叶(为使混合分解试验枯落叶能够充分混合)备用。

同时,以半湿润黄土残塬沟壑区无林荒草地腐殖质层(0~20 cm)土壤为分解介质(属黄土母质上发育的黄善土,土壤容重 1.261 g·cm⁻³,水稳定性团粒(1~5 mm)含量 42.80 %,有机质 2.19 %, pH 7.8,全 N 0.122 %,全 P 0.087 %,全 K 1.811 %,具体选取具有代表性的无林荒草地,设置 5 个 1 m × 1 m 的小样方,全部收集 0~20 cm 腐殖质层土壤,剔除根系、石砾、动物残骸等杂物,充分混合后取足量土壤运回实验室,以鲜土粉碎过 5 mm 筛,装入密封袋内备用。

1.2 枯落叶混合分解试验

首先将不同树种枯落叶碎片或短针叶,在 60℃ 下烘干至恒重,按照小叶杨枯落叶与落叶松、刺槐、白桦、辽东栎、白榆、沙棘、柠条、紫穗槐枯落叶混合质量比例为 1:1(混合总量为 7.5 g);小叶杨枯落叶与油松、樟子松、侧柏枯落叶混合质量比例为 1:2(混合总量为 15 g),用感量为 0.01 g 的电子天平准确称取后两两充分混合,装入网眼直径 0.5 mm、大小为 14 cm × 20 cm 的尼龙网袋中^[2,4-5,8]。每种枯落叶混合类型称装 5 袋(即每种处理 5 个重复,并以单种枯落叶为对照),合计 11 个混合分解类型,12 个单种枯落叶分解类型,共 115 个分解袋。其次分别称取 4.0 kg 经充分混合的鲜土样,以蒸馏水调节土壤湿度为田间持水量的 50%(预先测定土壤的田间持水量,通过计算确定应加水量),再经充分混合

后装入 $20\text{ cm}\times40\text{ cm}\times30\text{ cm}$ 的箱式不透水塑料培养钵中,共23个培养钵。然后,将每类装有枯落叶的5个尼龙分解袋斜状间隔排列,埋入装有土壤的培养钵中(保证每个分解袋四周均与土壤充分接触,分解袋之间间隔一定距离),用塑料薄膜覆盖钵口(保湿),并在薄膜上留4个直径 1.5 cm 的通气孔,放在室内常温下($20^{\circ}\text{C}\sim25^{\circ}\text{C}$)进行分解试验培养。每隔1周称量培养钵重量,根据失水情况,揭开钵口用喷雾器均匀补充水分,始终调节土壤湿度不变(培养钵重量保持恒定),连续培养345 d终止。

1.3 室内分析测定

混合分解试验前,用常规分析方法测定纯树种枯落叶养分(C、N、P、K)含量。待混合分解试验完成之后,取出分解袋进行彻底漂洗,在 60°C 下烘干,测定袋内枯落叶分解后的残留量。再将每份烘干剩余样品进行粉碎,过 0.5 mm 筛,用常规分析方法对其分解后的养分(C、N、P、K)含量进行测定。

2 结果与分析

枯落叶分解养分释放量用Olson模型 $R=x/x_0=e^{-kt}$ 来拟合^[3],式中,R为枯落叶养分残留率; x_0 、x分别为初始和分解t(a)后的枯落叶养分含量;k为模型参数。当t取1 a时,得年平均养分释放率 $d=1-e^{-k}$ 和周转期 $T=1/d$ 。假定不同树种枯落叶混合分解过程中不存在相互作用的前提下,枯落叶混合分解养分释放速率的理论预测值可用公式表示

为: $P_{AB}=aT_A+bT_B$ (式中:A、B代表不同树种; T_A 、 T_B 分别表示纯树种A和树种B的枯落叶年养分释放率实测值; P_{AB} 为混合后年释放率的理论预测值; a 、 b 分别表示混合枯落叶中A、B树种所占的质量比例)。根据对枯落叶混合分解养分释放速率的实测值 T_{AB} 与理论预测值 P_{AB} ,按公式 $\Delta\% = 100 \times (T_{AB} - P_{AB})/P_{AB}$ 可以计算出枯落叶混合对养分释放的提高率($\Delta\%$),当 $\Delta\%$ 为正值时,表明A与B混合有促进养分释放的作用;相反,当 $\Delta\%$ 为负值,则表明A与B混合存在抑制养分释放的作用。按照 $\Delta\%$ 的绝对值将相互作用强度划分为:N不明显($0\%\sim5\%$),LL微弱($5\%\sim10\%$),L较弱($10\%\sim15\%$),S较强($15\%\sim20\%$),SS强烈($20\%\sim25\%$),VS极强($25\%\sim30\%$),SM超强($>30\%$)。

2.1 小叶杨与其他树种枯落叶混合分解对C释放的影响

从表1中可知,与小叶杨枯落叶混合分解对C释放率有促进作用的是落叶松、刺槐、辽东栎、沙棘、紫穗槐枯落叶,其中辽东栎枯落叶对C的释放率具有强烈的促进作用,释放率提高21.32%,其他树种枯落叶无明显促进作用;油松、樟子松、侧柏、白桦、白榆与小叶杨枯落叶的混合分解对C释放率的影响表现为抑制作用,其中油松枯落叶表现为较弱的抑制作用,释放率降低14.78%,其他树种枯落叶抑制作用不明显。

表1 小叶杨与其他树种枯落叶混合分解对C释放的影响

Table 1 Effects of the decomposition of mixed leaf litters of *P. simonii* and other tree species on organic carbon release

| 枯落叶混合树种 | 释放模型 $\ln R=-kt$ | 年释放率d | | | 相互作用 | |
|---------|---------------------|--------------|--------------|------------|------|----|
| | | 实测值 T_{AB} | 理论值 P_{AB} | $\Delta\%$ | 促进 | 抑制 |
| 油松 | $\ln R=-0.8530t$ | 0.5856 | 0.6872 | -14.78 | | L |
| 樟子松 | $\ln R=-1.0360t$ | 0.6596 | 0.6879 | -4.11 | | N |
| 落叶松 | $\ln R=-1.3370t$ | 0.7591 | 0.7515 | 1.01 | N | |
| 侧柏 | $\ln R=-2.1746t$ | 0.9225 | 0.9423 | -2.10 | | N |
| 刺槐 | $\ln R=-1.7489t$ | 0.8556 | 0.8212 | 4.19 | N | |
| 白桦 | $\ln R=-2.0960t$ | 0.9123 | 0.9223 | -1.08 | | N |
| 辽东栎 | $\ln R=-2.1086t$ | 0.9139 | 0.7533 | 21.32 | SS | |
| 白榆 | $\ln R=-2.6820t$ | 0.9741 | 0.9847 | -1.08 | | N |
| 沙棘 | $\ln R=-2.7560t$ | 0.9799 | 0.9769 | 0.31 | N | |
| 柠条 | $\ln R=-2.6340t$ | 0.9702 | 0.9781 | -0.81 | | N |
| 紫穗槐 | $\ln R=-2.3535t$ | 0.9435 | 0.8855 | 6.56 | LL | |

2.2 小叶杨与其他树种枯落叶混合分解对N释放的影响

由表2可知,樟子松、侧柏、刺槐、辽东栎、白榆、沙棘、柠条、紫穗槐与小叶杨枯落叶混合分解对N释放率的影响表现为促进作用,其中辽东栎枯落叶对N释放速率的影响表现为极强的促进作用,释放

率提高28.69%,樟子松、刺槐枯落叶表现为较弱的促进作用,释放率分别提高14.98%、13.36%,其他树种枯落叶促进作用不明显;油松、落叶松与小叶杨枯落叶混合分解对N释放率的影响表现为抑制作用,其中油松枯落叶具有强烈的抑制作用,释放率降低20.33%,落叶松枯落叶的抑制作用不明显。

2.3 小叶杨与其他树种枯落叶混合分解对 P 释放的影响

由表 3 可知,小叶杨与落叶松、刺槐、白桦、辽东栎、白榆、沙棘、柠条枯落叶混合分解对 P 释放速率的影响表现为促进作用,其中刺槐、辽东栎、沙棘枯落叶表现为超强的促进作用,释放率分别提高 57.6%、43.06%、38.6%,紫穗槐枯落叶表现为强烈的促进作用,释放率提高 22.64%,其他树种枯落叶促进作用不明显;油松、樟子松、侧柏与小叶杨枯落

叶混合分解对 P 释放速率的影响表现为抑制作用,其中油松、樟子松枯落叶表现为超强的抑制作用,释放率分别降低 62.63%、47.99%,侧柏枯落叶抑制作用不明显。

2.4 小叶杨与其他树种枯落叶混合分解对 K 释放的影响

由表 4 可知,油松与小叶杨枯落叶的混合分解对 K 释放率的影响表现为较弱的抑制作用,释放率降低 10.41%,其他树种枯落叶不具有明显的相互作用。

表 2 小叶杨与其他树种枯落叶混合分解对 N 释放的影响

Table 2 Effects of the decomposition of mixed leaf litters of *P. simonii* and other tree species on nitrogen release

| 枯落叶混合树种 | 释放模型 $\ln R = -kt$ | 年释放率 d | | | 相互作用 | |
|---------|-----------------------|--------------|--------------|-------------|------|----|
| | | 实测值 T_{AB} | 理论值 P_{AB} | $\Delta \%$ | 促进 | 抑制 |
| 油松 | $\ln R = -0.3977t$ | 0.3315 | 0.4161 | -20.33 | | SS |
| 樟子松 | $\ln R = -0.9406t$ | 0.6231 | 0.5419 | 14.98 | L | |
| 落叶松 | $\ln R = -1.2730t$ | 0.7401 | 0.7476 | -1.00 | | N |
| 侧柏 | $\ln R = -2.5914t$ | 0.9667 | 0.9510 | 1.65 | N | |
| 刺槐 | $\ln R = -1.6890t$ | 0.8434 | 0.7440 | 13.36 | L | |
| 白桦 | $\ln R = -2.0270t$ | 0.9021 | 0.9109 | -0.97 | | N |
| 辽东栎 | $\ln R = -1.9780t$ | 0.8948 | 0.6953 | 28.69 | VS | |
| 白榆 | $\ln R = -2.8460t$ | 0.9857 | 0.9757 | 1.01 | N | |
| 沙棘 | $\ln R = -2.8810t$ | 0.9885 | 0.9405 | 5.10 | LL | |
| 柠条 | $\ln R = -2.6680t$ | 0.9731 | 0.9717 | 0.14 | N | |
| 紫穗槐 | $\ln R = -2.4760t$ | 0.9563 | 0.8932 | 7.06 | LL | |

表 3 小叶杨与其他树种枯落叶混合分解对其 P 释放的影响

Table 3 Effects of the decomposition of mixed leaf litters of *P. simonii* and other tree species on phosphorus release

| 枯落叶混合树种 | 释放模型 $\ln R = -kt$ | 年释放率 d | | | 相互作用 | |
|---------|-----------------------|--------------|--------------|-------------|------|----|
| | | 实测值 T_{AB} | 理论值 P_{AB} | $\Delta \%$ | 促进 | 抑制 |
| 油松 | $\ln R = -0.3197t$ | 0.2759 | 0.7383 | -62.63 | | SM |
| 樟子松 | $\ln R = -0.5271t$ | 0.4151 | 0.7981 | -47.99 | | SM |
| 落叶松 | $\ln R = -1.2310t$ | 0.7272 | 0.7128 | 2.02 | N | |
| 侧柏 | $\ln R = -1.6850t$ | 0.8427 | 0.8573 | -1.70 | | N |
| 刺槐 | $\ln R = -1.2349t$ | 0.7287 | 0.4618 | 57.60 | SM | |
| 白桦 | $\ln R = -0.6264t$ | 0.8441 | 0.8062 | 4.70 | N | |
| 辽东栎 | $\ln R = -2.0230t$ | 0.9017 | 0.6303 | 43.06 | SM | |
| 白榆 | $\ln R = -1.5610t$ | 0.8158 | 0.7987 | 2.14 | N | |
| 沙棘 | $\ln R = -2.4450t$ | 0.9530 | 0.6876 | 38.60 | SM | |
| 柠条 | $\ln R = -1.6120t$ | 0.8273 | 0.7939 | 4.20 | N | |
| 紫穗槐 | $\ln R = -2.4284t$ | 0.9543 | 0.7781 | 22.64 | SS | |

表 4 小叶杨与其他树种枯落叶混合分解对 K 释放的影响

Table 4 Effects of the decomposition of mixed leaf litters of *P. simonii* and other tree species on potassium release

| 枯落叶混合树种 | 释放模型 $\ln R = -kt$ | 年释放率 d | | | 相互作用 | |
|---------|-----------------------|--------------|--------------|-------------|------|----|
| | | 实测值 T_{AB} | 理论值 P_{AB} | $\Delta \%$ | 促进 | 抑制 |
| 油松 | $\ln R = -1.8111t$ | 0.8194 | 0.9146 | -10.41 | | L |
| 樟子松 | $\ln R = -2.1040t$ | 0.8631 | 0.8867 | -2.66 | | N |
| 落叶松 | $\ln R = -3.4080t$ | 0.9601 | 0.9666 | -0.67 | | N |
| 侧柏 | $\ln R = -4.0491t$ | 0.9782 | 0.9669 | 1.17 | N | |
| 刺槐 | $\ln R = -3.6852t$ | 0.9690 | 0.9780 | -0.92 | | N |
| 白桦 | $\ln R = -4.6863t$ | 0.9880 | 0.9880 | 0.00 | — | — |
| 辽东栎 | $\ln R = -4.1660t$ | 0.9805 | 0.9378 | 4.55 | N | |
| 白榆 | $\ln R = -4.5771t$ | 0.9868 | 0.9835 | 0.34 | N | |
| 沙棘 | $\ln R = -6.8324t$ | 0.9984 | 0.9834 | 1.53 | N | |
| 柠条 | $\ln R = -4.8782t$ | 0.9910 | 0.9873 | 0.27 | N | |
| 紫穗槐 | $\ln R = -4.2893t$ | 0.9827 | 0.9650 | 1.83 | N | |

3 结论与讨论

通过对小叶杨与其他树种枯落叶混合分解对养分释放影响的研究得出,落叶松、侧柏、白桦、白榆、柠条枯落叶对养分释放影响不明显;刺槐、辽东栎、沙棘、紫穗槐枯落叶除了对K释放率影响不明显之外,对C、N、P释放率的影响都表现为促进作用,其中尤以辽东栎枯落叶促进作用最为明显;油松枯落叶对养分释放的影响均表现为抑制作用,其中对N、P释放率的抑制作用最为明显;樟子松枯落叶对N释放率表现为弱的促进作用,而对P的释放率表现为超强的抑制作用,对C、K释放率影响不明显。

客观讲,仅研究不同树种枯落叶混合分解对养分释放的影响是不能确定小叶杨的最佳混交树种的,因为混交林树种间关系是否协调,是否具有防治土壤性质极化的功能,需要考虑研究的因素众多^[4-9]。但是,由于树叶凋落和分解是林木与土壤相互影响的主要途径,枯落叶在土壤性质变化中起着至关重要的作用,所以,本研究所得出的结论仍然具有一定的实际参考价值。

参考文献:

- [1] 刘增文,段而军,付刚,等.一个新概念:人工纯林土壤性质的极化[J].土壤学报,2007,44(6):1119-1126.
LIU Z W,DUAN E J,FU G,*et al.* A new concept:soil polarization in planted pure forest[J]. Acta Pedologica Sinica,2007,44(6):1119-1126. (in Chinese)
- [2] 刘增文,李茜,潘岱立,等.黄土丘陵区引入阔叶树种枯落叶对针叶林土壤极化防治效应[J].水土保持学报,2011,25(1):132-136.
LIU Z W,LI Q,PAN D L,*et al.* Effects of introducing litter of broad-leaved trees to control soil polarization under stands of needle-leaved forests in the Loess hilly area[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2011,25(1):132-136. (in Chinese)
- [3] 刘增文,高文俊,潘开文,等.枯落物分解研究方法和模型讨论[J].生态学报,2006,26(6):1993-2000.
- [4] 樊光辉,马玉林.青海4种灌木的营养成分测定和分析[J].西北林学院学报,2010,25(6):138-139.
FAN G H,MA Y L. Proximate nutrients of 4 shrubs in Qinghai[J]. Journal of Northwest Forestry University,2010,25(6):138-139. (in Chinese)
- [5] 张丽萍,刘增文,高祥斌,等.不同森林凋落叶混合分解试验研究[J].西北林学院学报,2006,21(2):57-60.
ZHANG L P,LIU Z W,GAO X B,*et al.* Study on decomposition of different mixed leaf litter[J]. Journal of Northwest Forestry University,2006,21(2):57-60. (in Chinese)
- [6] 林开敏,章志琴,叶发茂,等.杉木人工林下杉木、楠木和木荷叶凋落物分解特征及营养元素含量变化的动态分析[J].植物资源与环境学报,2010,19(2):34-39.
LIN K M,ZHANG Z Q,YE F M,*et al.* Dynam ic analysis of decomposition characteristics and content change of nutrient elements of leaflitter of *Cunninghamia lanceolata*, *Phoebe bournei* and *Schima superba* under *C. lanceolata* artificial forest[J]. Journal of Plant Resources and Environment,2010,19(2):34-39. (in Chinese)
- [7] 廖利平,LINDLEY D K,杨永辉.森林叶凋落物混合分解的研究 I. 缩微(Microcosm)实验[J].应用生态学报,1997,8(5):459-464.
LIAO L P,LINDLEY D K,YANG Y H. Decomposition of mixed foliar litter I. A microcosm study[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,1997,8(5):459-464. (in Chinese)
- [8] 王谨,黄建辉.暖温带地区主要树种叶片凋落物分解过程中主要元素释放的比较[J].植物生态学报,2001,25(3):375-380.
WANG J,HUANG J H. Comparison of major nutrient release patterns in leaf litter decomposition in warm temperate zone of China[J]. Acta Phytocologica Sinica ,2001,25(3):375-380. (in Chinese)
- [9] 肖慈英,黄青春,阮宏华.松、栎纯林及混交林凋落物分解特性研究[J].土壤学报,2002,39(5):763-767.
XIAO C Y,HUANG Q C,RUAN H H. Characteristics of decomposition of litter from pine,oak and pink-oak mixed forests [J]. Acta Pedologica Sinica,2002,39(5):763-767. (in Chinese)