

凋落叶多样性对杉木幼苗生长及吸收¹⁵N标记硫铵的影响*

黄志群¹ 汪思龙¹ 廖利平¹ 高洪¹ 陈龙池¹

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016)

【摘要】 利用¹⁵N 硫铵研究了凋落叶多样性对杉木幼苗生长及养分吸收的影响。结果表明, 凋落叶多样性的增加有利于盆栽杉木幼苗的生长。杉木、火力楠、红栲和刺楸 4 种凋落叶混合处理后, 杉木幼苗的生长量最大; 杉木、火力楠、刺楸 3 种凋落叶混合处理后的杉木幼苗生长量次之, 其它依次为杉木、火力楠、红栲 3 种凋落叶混合处理 > 杉木和刺楸凋落叶处理 > 杉木和红栲凋落叶处理 > 对照 > 杉木和火力楠 2 种凋落叶混合处理 > 杉木凋落叶处理。就杉木幼苗对硫铵氮的吸收率而言, 不作任何处理的杉木幼苗吸收率最高, 其次为杉木、火力楠、红栲和刺楸 4 种凋落叶混合处理, 其它依次为杉木、火力楠、刺楸 3 种凋落叶混合处理和杉木、火力楠、红栲 3 种凋落叶混合处理 > 杉木和刺楸凋落叶处理 > 杉木和红栲凋落叶处理 > 杉木和火力楠 2 种凋落叶混合处理 > 杉木凋落叶处理。另外, 用凋落叶处理后, 土壤中硫铵氮的残留量比不作凋落叶处理的土壤多, 硫铵氮的总回收量也比不作凋落叶处理的土壤大幅增加, 而且凋落叶多样性的增加也会增加硫铵氮的残留量。

关键词 ¹⁵N 硫铵 杉木 幼苗 凋落叶多样性

文章编号 1001-9332(2002)10-1287-04 **中图分类号** S718, S512.106 **文献标识码** A

Effects of plant foliar litter diversity on the growth of Chinese fir seedling and the absorption of (¹⁵NH₄)₂SO₄. HUANG Zhiqun, WANG Silong, LIAO Liping, GAO Hong and CHEN Longchi (*Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2002, **13**(11):1287~1290. Effects of plant foliar litter species composition on the growth of the potted Chinese fir seedling and the absorption of (¹⁵NH₄)₂SO₄ was studied. The result showed that there were significant growth responses to foliar litter treatments. A very noticeable trend was that as the tree species of foliar litter placed on pots increases, the growth of Chinese fir seedlings increases steadily. Seedling growth in four species mixed foliar litter were the largest and that in *Cunninghamia lanceolata* + *Michelia macclurei* + *Kalooanax septemlobus* foliar litter mixture were the second. The others were in order of seedlings in *C. lanceolata* + *M. macclurei* + *Castanopsis carlesii* foliar litter mixture > *C. lanceolata* + *K. septemlobus* foliar litter mixture > *C. lanceolata* + *C. carlesii* > control (no foliar litter) > *C. lanceolata* + *M. macclurei* foliar litter mixture > Chinese fir foliar litter treatment. The recovery of (¹⁵NH₄)₂SO₄ by Chinese fir seedlings in no foliar litter treatment was maximum, and seedlings grown in four foliar litter mixture was the second, then it was in order of *C. lanceolata* + *C. carlesii* + *K. septemlobus* = *C. lanceolata* + *C. carlesii* + *M. macclurei* > *C. lanceolata* + *K. septemlobus* > *C. lanceolata* + *C. carlesii* > *C. lanceolata* + *M. macclurei* > *C. lanceolata* foliar litter treatment. In addition, the residue of (¹⁵NH₄)₂SO₄ was greater in soil with foliar litter treatment than in no foliar litter soil. Both of the residual amount of (¹⁵NH₄)₂SO₄ in soil and the total recovery of (¹⁵NH₄)₂SO₄ increased with the increasing tree species of applied foliar litter.

Key words (¹⁵NH₄)₂SO₄, Chinese fir, Seedling, Foliar litter diversity.

1 引言

针叶纯林连栽存在许多生态缺陷是一个不争的事实^[1,7,15], 因此, 越来越多的生态学家和林业学家提倡营造人工混交林^[8]. 过去几十年来, 人们在混交林研究方面积累了许多资料^[8,10,13]. 这些研究包括混交林的生长效应^[13]、营养循环^[8]及种间化感作用^[3]的研究. 在森林生态系统中, 有很大一部分净初级生产力是以凋落物的形式进入分解者系统.

这些凋落物的“死后效应”很大程度上决定了生态系统的生产力. 凋落物一方面为植物或微生物的生长提供养分, 另一方面也释放一些有机物质, 通过各种机制, 从而抑制或促进植物的生长^[11]. 目前, 人们对植物多样性是否及如何决定生态系统的结构和功能的研究越来越感兴趣. 但是, 绝大多数的研

*中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX2-406).

**通讯联系人.

2002-01-06 收稿, 2002-03-15 接受

集中在活体植物的多样性方面,而且大部分是在地上部分的过程上。既然植物凋落物对生态系统性质如此重要,那么凋落物多样性对于决定整体的多样性-功能关系也同样重要^[14]。但现有较多研究仅考虑凋落物多样性(通过将不同种类凋落物混合在一起而产生)对分解过程的影响^[8],还很少有人考虑凋落物多样性对植物发育、生长和群落的影响。而营造混交林后所形成的凋落物多样性对主要树种生长及养分吸收影响的研究却未见报道。本文在盆栽实验的条件下,通过施用¹⁵N 硫酸来研究不同凋落物多样性对杉木幼苗生长及养分吸收的影响。

2 材料与方法

本研究在中国科学院会同森林生态实验站(约 110°E, 27°N)进行,该地海拔 200~500m 左右,为低山丘陵地貌类型,亚热带湿润气候,平均温度 16.5℃,年降雨量约 1200mm,年平均相对湿度 80%以上,土壤为红壤。实验所用土壤为天然次生林中采集的表层土壤(0~20cm)。土壤 pH5.5,有机质和全 N 含量分别为 30 和 4.9g·kg⁻¹,硝态氮和铵态氮含量分别为 6 和 42mg·kg⁻¹土,阳离子代换量 13.68cmol(+)·kg⁻¹。每陶瓷盆装经风干、粉碎和过筛的土壤 5kg。

取杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、火力楠(*Michelia macclurei*)、红栲(*Castanopsis carlesii*)、刺楸(*Kalooanax septemlobus*)凋落叶若干,在 45℃下烘干后粉碎备用。各凋落叶的有机质、全 N 和 C/N 见表 1。试验设 8 个处理(每个处理重复 4 次);分别用上述几种凋落叶组成 7 个组合,从而形成不同的凋落叶多样性,另设一个对照(不加任何凋落叶处理)。8 个处理分别为:A(杉木凋落叶 30g);B(杉木凋落叶 15g+火力楠凋落叶 15g);C(杉木凋落叶 15g+红栲凋落叶 15g);D(杉木凋落叶 15g+刺楸凋落叶 15g);E(杉木凋落叶 10g+火力楠凋落叶 10g+红栲凋落叶 10g);F(杉木凋落叶 10g+火力楠凋落叶 10g+刺楸凋落叶 10g);G(杉木凋落叶 7.5g+火力楠凋落叶 7.5g+红栲凋落叶 7.5g+刺楸凋落叶 7.5g);H(对照,不施任何凋落叶)。将上述凋落叶与土壤充分拌和后,每盆移植大小基本相同的杉木 1 年生幼苗 1 株。然后将标记 ¹⁵N 的硫酸(丰度 20.97%)溶液深施于土壤下 5cm,所有处理都施硫酸氮 200mg·盆⁻¹。

该盆栽试验从 2001 年 2 月 1 日开始至 9 月 1 日结束。实验在温室大棚中进行,各苗木在每天早晨定时浇一次水。实验结束时测定各苗木整株和根、叶及茎的鲜重和干重。上

表 1 各凋落叶的有机质含量及全 N 含量

Table 1 Organic matter and total N content of foliar litter

含量 Content (g·kg ⁻¹)	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	红栲 <i>Castanopsis carlesii</i>	刺楸 <i>Kalooanax septemlobus</i>	火力楠 <i>Michelia macclurei</i>
有机质 Organic C	513.6	439.3	457.8	469.3
全 N Total N	8.9	12.26	23.56	19.27
C/N	57.7	35.8	19.4	24.4

述植物样品和土壤样品均测定有机质含量、全 N 和 ¹⁵N,全 N 分析采用半微量凯氏定 N 法。¹⁵N 分析用 VG602 型质谱仪测定,由中国农业科学研究院原子能研究所质谱分析室完成。

3 结果与讨论

3.1 不同凋落叶多样性对杉木幼苗生长的影响

从试验结果来看,不同凋落叶组成及凋落多样性对杉木幼苗生长有显著影响(表 2)。杉木、火力楠、红栲和刺楸 4 种凋落叶混合处理后,杉木幼苗的生长量最大平均为 26.3g·株⁻¹,杉木、火力楠、刺楸 3 种凋落叶混合处理后的杉木幼苗生物量次之,平均为 26.2g·株⁻¹。其它依次为杉木、火力楠、红栲 3 种凋落叶混合处理>杉木和刺楸凋落叶处理>杉木和红栲凋落叶处理>对照>杉木和火力楠两种凋落叶混合处理>杉木凋落叶处理。对于凋落叶处理后的杉木幼苗,随着凋落叶多样性的增加,杉木幼苗的生物量增大,可见这种凋落叶多样性的增加有利于杉木幼苗的生长。然而,通过检验发现,3 种和 4 种凋落叶处理间并没有显著差异,其原因可能是测试的杉木幼苗生长期太短。另外,2 种凋落叶处理与对照间也没有显著差异。杉木凋落叶处理后杉木幼苗的鲜重生长显著小于不作任何处理的杉木幼苗,其原因可能与杉木的自毒作用有关^[5]。此外,施加高 C/N 的杉木凋落叶后显著提高了土壤中的 C/N,从而引起较大的 N 素固定作用,减少了土壤中有效 N 的含量,也可能导致杉木幼苗生长受影响^[6]。

表 2 不同凋落物组成对杉木幼苗生物量生长的影响(g)

Table 2 Effect of plant foliar litter diversity on the growth of Chinese fir seedling (g)

处理 Treatment	总鲜重 Total fresh weight	根(鲜重) Root (FW)	叶(鲜重) Leaf (FW)	茎(鲜重) Shoot (FW)
A *	16.9 ±1.1a **	5.8 ±0.5	7.8 ±0.3	3.3 ±0.4
B	19.9 ±1.3b	7.2 ±0.6	8.8 ±0.5	3.9 ±0.6
C	22.1 ±2.0bc	6.7 ±0.5	11.2 ±0.5	4.2 ±0.5
D	22.3 ±1.9c	7.2 ±0.6	10.3 ±0.4	4.8 ±0.5
E	25.2 ±1.9d	8.1 ±0.5	12.2 ±0.7	4.9 ±0.5
F	26.2 ±1.9d	8.2 ±0.5	12.9 ±0.7	5.1 ±0.5
G	26.3 ±1.5d	8.2 ±0.3	12.9 ±0.6	5.2 ±0.6
H	21.1 ±1.3bc	7.0 ±0.5	9.9 ±0.4	4.2 ±0.5

*A:杉木凋落叶 *C. lanceolata* litter; B:杉木+火力楠凋落叶 *C. lanceolata* + *M. macclurei* litter; C:杉木+红栲凋落叶 *C. lanceolata* + *C. carlesii* litter; D:杉木+刺楸凋落叶 *C. lanceolata* + *K. septemlobus* litter; E:杉木+火力楠+红栲凋落叶 *C. lanceolata* + *M. macclurei* + *C. carlesii* litter; F:杉木+火力楠+刺楸凋落叶 *C. lanceolata* + *M. macclurei* + *K. septemlobus* litter; G:杉木+火力楠+红栲+刺楸凋落叶 *C. lanceolata* + *M. macclurei* + *K. septemlobus* + *C. carlesii* litter; H:对照(不施任何凋落叶) Control, no litter treatment. 下同 The same below.

**同一列内字母不同者为差异显著(P<0.05)。Different letter in the same column means significance at the 95% level.

凋落叶多样性的增加有利于杉木幼苗的生长,其原因很复杂.廖利平等^[9]研究发现,杉木凋落叶与火力楠、红栲和刺楸凋落叶混合后,能促进分解及某些元素的释放.例如,杉木与火力楠凋落叶混合能促进杉木凋落叶的分解,杉木与红栲凋落叶混合能促进凋落叶中 P 与 Ca 的释放,而杉木与刺楸凋落叶混合能促进凋落叶中 K、Ca、Mg 的释放.因此,凋落叶混合后对分解和养分释放的促进作用,可能是促进杉木幼苗生长的原因之一.凋落物的化感作用也可能是凋落叶混合促进杉木幼苗的生长原因.黄志群等^[4,5]用火力楠、红栲、刺楸和杉木凋落叶水浸液处理杉木 1 年生幼苗后,发现火力楠、红栲凋落叶水浸液能促进杉木细根生长,而杉木凋落叶水浸液却抑制杉木幼苗生物量及细根的生长.除此之外,由于杉木凋落叶与火力楠、红栲和刺楸凋落叶混合后整体的 C/N 降低,其分解过程中固定的矿质氮也少.所有这些都可能是凋落叶多样性的增加有利于杉木幼苗生长的原因.

3.2 不同凋落叶处理对杉木幼苗吸收硫酸铵氮量的影响

研究结果表明,该生长期间杉木幼苗吸收的铵态氮被大部分分配在地上部分,地上部分叶片和茎吸收量占杉木幼苗总吸收量的 63% 和 73% (表 3). 叶片中分配的硫酸铵 > 根系中分配的硫酸铵 > 茎中分配的硫酸铵.就杉木幼苗对硫酸铵的吸收率而言,对照的杉木幼苗吸收率最高,为 8.02%. 其次为杉木、火力楠、红栲和刺楸 4 种凋落叶混合处理后的杉木幼苗,其总吸收率为 6.43%,其它依次为杉木、火力楠、刺楸 3 种凋落叶混合处理后的杉木幼苗 = 杉木、火力楠、红栲 3 种凋落叶混合处理 > 杉木和刺楸凋落叶处理 > 杉木和红栲凋落叶处理 > 杉木和火力楠两种凋落叶混合处理 > 杉木凋落叶处理.其总吸收率分别为 6.07%、6.07%、5.50%、5.41%、

表 3 不同凋落叶处理对杉木幼苗吸收硫酸铵氮量的影响
Table 3 Effect of plant foliar litter diversity on recovery rate of fertilizer N by Chinese fir seedling

处理 Treatment	根系 Root		茎 Shoot		叶片 Leave		合计 Total	
	A	B	A	B	A	B	A	B _总
A	2.12	1.06	0.59	0.30	2.87	1.44	5.58	2.79
B	3.09	1.55	0.87	0.44	5.34	2.67	9.30	4.65
C	2.99	1.50	1.15	0.58	6.67	3.34	10.81	5.41
D	3.11	1.56	1.18	0.59	6.71	3.36	11.0	5.50
E	3.25	1.63	1.35	0.68	7.53	3.77	12.13	6.07
F	3.27	1.64	1.32	0.66	7.55	3.78	12.14	6.07
G	3.52	1.76	1.37	0.69	7.97	3.99	12.86	6.43
H	4.38	2.19	1.92	0.96	9.74	4.87	16.04	8.02

*吸收率=吸收的硫酸铵 ×100/ 每盆施加的硫酸铵. Recovery rate = fertilizer N in plant ×100/ N applied per pot. A: 吸收量 Recovery (mg pot⁻¹). B: 吸收率 Recovery rate (%). B_总: 总吸收率 Total recovery rate (%).

4.65% 和 2.79%.

不做任何凋落叶处理的杉木幼苗,其吸收的硫酸铵氮量最高,高于所有凋落叶处理的杉木幼苗的吸收量.可见,凋落叶处理后,土壤中硫酸铵氮被固定的作用增强,而被杉木幼苗吸收的作用减弱.杉木凋落叶处理的杉木幼苗其吸收的硫酸铵氮量最低可能与杉木凋落叶有较高的 C/N 有关.黄志武^[6]研究指出,施加 C/N 过高的有机肥会引起强烈的 N 素固定作用.当其它 C/N 低的阔叶树凋落叶(表 1)与杉木凋落叶混合后,这种 N 素固定作用得到减轻,从而增加了杉木幼苗对硫酸铵氮的吸收率.由表 3 可见,随着添加的凋落叶中杉木凋落叶比重的下降,杉木幼苗对施加的硫酸铵氮的吸收率逐渐上升.

3.3 不同凋落叶处理对施加硫酸铵回收及损失的影响

由表 4 可知,当硫酸铵用量恒定时,用凋落叶处理后,土壤中硫酸铵氮的残留量比不作凋落叶处理的土壤多.土壤中施加凋落叶后,会提高硫酸铵在土壤中的残留量,而降低杉木幼苗对施加硫酸铵的吸收量.将不同凋落叶处理的杉木幼苗加以对比,结果表明,与只用杉木凋落叶处理相比,凋落叶多样性的增加既有利于提高杉木幼苗对硫酸铵氮的吸收,也能增加硫酸铵在土壤中的残留量.硫酸铵进入土壤后将经历生物固定、矿物固定和解固定等变化.硫酸铵被杉木幼苗吸收利用外,还会因硝化、反硝化、氨的挥发以及淋洗等作用从土壤中损失掉.上述各种过程相互密切相关,其强度视条件而异^[12].由于凋落叶的加入,凋落叶在分解过程中分解者将固定一部分硫酸铵,因此用凋落叶处理后,土壤中硫酸铵氮的残留量比不作凋落叶处理的土壤多,并且降低杉木幼苗对施加硫酸铵的吸收量,但是凋落叶加入后硫酸铵氮的损失量大大减少.另外,研究表明,化学氮肥中残留 N 的有效性要高于其它来源的残留 N^[2,12],因此凋落叶在分解过程中固定的硫酸铵氮有

表 4 不同凋落叶处理对硫酸铵氮量的回收和损失的影响
Table 4 Effect of plant foliar litter diversity on recovery and loss of (¹⁵NH₄)₂SO₄ (mg · pot⁻¹)

处理 Treatment	幼苗吸收量 Recovery by seedling	土壤残留量 Recovery by soil	总回收量 Total recovery	损失量 Loss
A	5.58	131.30	136.88	63.12
B	9.30	136.10	145.4	54.6
C	10.81	139.00	149.81	50.19
D	11.0	142.90	153.9	46.1
E	12.13	153.70	165.83	34.17
F	12.14	144.90	157.04	42.96
G	12.86	160.80	173.66	26.34
H	16.04	90.25	106.29	93.71

一部分将会被逐渐释放出来,供植物生长所用.土壤中硫铵氮的残留是一个复杂的问题,除了施加的外源有机物质外,还有许多因素影响会硫铵氮的残留.因此,凋落叶多样性的增加,这种 C/N 的降低反而增加了硫铵在土壤中的残留量,其原因还有待于进一步研究.

参考文献

- 1 Chen C-Y(陈楚莹), Zhang J-W(张家武), Zhou C-L(周崇莲). 1990. Researches on improving the quality of forest land and the productivity of artificial *Cunninghamia lanceolata* stands. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **1**(2): 97 ~ 106 (in Chinese)
- 2 Cheng L-L(程励励), Wen Q-X(文启孝), Li H(李洪). 1989. Transformation of ^{15}N labeled fertilizer N in soil under greenhouse and field conditions. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), **26**(2): 124 ~ 130 (in Chinese)
- 3 Huang Z-Q(黄志群), Liao L-P(廖利平), Wang S-L(汪思龙), et al. 2000. Allelopathy of several accompanying species on Chinese fir. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **11**(supp.): 216 ~ 218 (in Chinese)
- 4 Huang Z-Q, Liao L-P, Wang S-L, et al. 2000. Allelopathy of phenolics from decomposing stump-roots in replant Chinese fir woodland. *J Chem Ecol*, **26**(9): 2212 ~ 2219
- 5 Huang Z-Q, Terry Haig, Wang S-L, et al. 2002. Autotoxicity of Chinese fir on seed germination and seedling growth. *Allelopathy J*, **9**(2): 51 ~ 59
- 6 Huang Z-W(黄志武). 1993. Effects of rice straw + $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ application on availability of $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4\text{-N}$ and production of rice. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), **30**(2): 224 ~ 228 (in Chinese)
- 7 Fang Q(方奇). 1987. Effects of Chinese fir replanting on soil fertility and growth of the stands. *Sci Silvae Sin* (林业科学), **23**(4): 389 ~ 396 (in Chinese)
- 8 Feng Z-W(冯宗炜) and Chen C-Y(陈楚莹). 1988. A coniferous broad-leaved mixed forest with high productivity and ecological harmony in subtropics: Study on mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei*. *Acta Phytoecol Geobot Sin* (植物生态学与地植物学报), **12**(1): 27 ~ 33 (in Chinese)
- 9 Liao L-P(廖利平), Ma Y-Q(马越强), Wang S-L(汪思龙), et al. 2000. Decomposition of leaf litter of Chinese fir in mixture with major associated broad-leaved plantation species. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **24**(1): 27 ~ 33 (in Chinese)
- 10 Liao L-P(廖利平), Gao H(高洪), Yu X-J(于小军). 2000. Nutrient retranslocation in fine roots of *Cunninghamia lanceolata*, *Alnus cremastogyne* and *Kalooanax septemlobus* in the mixed plantations—a pilot study. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **11**(2): 161 ~ 164 (in Chinese)
- 11 Nilsson MC, Wardle DA and Dahlberg A. 1999. Effects of plant litter species composition and diversity on the boreal forest plant-soil system. *Oikos*, **86**: 16 ~ 26
- 12 Smith ST, Chichester FW and Kissel DE. 1978. Residual forms of fertilizer nitrogen in field soils. *Soil Sci*, **125**: 165 ~ 169.
- 13 Tan S-M(谭绍满), Xu Y-B(徐英宝), Chen H-Y(陈红跃), et al. 1990. Preliminary report on the mixed forests of *Cunninghamia lanceolata* with three kinds of broad-leaved trees. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), **19**(2): 183 ~ 191 (in Chinese)
- 14 Wardle DA, Bonner KI and Nicholson KS. 1997. Biodiversity and plant litter: experimental evidence which does not support the view that enhanced species richness improves ecosystem function. *Oikos*, **79**: 247 ~ 258
- 15 Yu X-T(俞新妥), Zhang Q-S(张其水). 1989. Studies on fertility and biochemical character of soils in Chinese fir repeated plantation woodland. *J Fujian For Coll* (福建林学院学报), **9**(3): 263 ~ 271 (in Chinese)

作者简介 黄志群,男,1973年生,硕士,助理研究员,主要从事森林生态学和化学生态学研究.发表论文10余篇. E-mail: zqjuan20@163.com
