

杉木人工林生态系统中氮素的动态特征

湛小勇 潘维伟

(中南林学院森林生态研究室, 株洲)

摘 要

本文介绍会同县18年生杉木人工林生态系统中氮素的分布、转化、消长和循环方面的初步研究。结果表明, 该系统总氮量为12287.6公斤/公顷, 其中约有97%存在土壤库中, 植物固定的氮仅占总氮量的2.5%。杉木枝叶中的氮含量因受“稀释效应”的影响, 表现为随时间的推移而降低, 尤其是在当年生枝叶的萌发初期。该生态系统每年经水文学途径获得7.35公斤N/公顷, 径流输出0.98公斤N/公顷, 即该系统每年以6.37公斤/公顷的速率净积累氮, 表明杉木林生态系统对氮素的保存和利用的能力较高。文章还建立了氮素动态数学模型并进行初步模拟。

关键词: 杉木人工林, 生态系统, 氮素。

森林生态系统中的养分循环是该系统功能的主要表现之一。作为生命必需元素之一的氮同样受到人们的关注。氮常作为一种限制因素影响森林生态系统的生产力^[1-3], 为更有效地利用自然资源, 采取不同措施来提高森林生产力, 开展对氮素的研究显然是十分必要的。

一、试验地概况

试验地设在湖南会同县广坪林区(北纬26°30', 东经109°45'), 海拔300—500米之间, 相对高度在150米以下。该区气候温暖湿润, 降水量在1300毫米/年左右; 年相对湿度大于80%; 年平均气温16.2℃。1981年在该区内建立了4个小集水区, 本文着重反映第2号集水区1983—1984年期间的研究结果。

第2号集水区面积为2公顷。土壤是由变质页岩、砂页岩发育而成的山地黄壤, 土壤pH在4.9—5.1之间。集水区内的杉木林为18年生, 林分平均胸径14.5厘米, 平均树高13.8米, 密度2400株/公顷, 杉木生物量120.29吨/公顷。林下植被以桫欏(*Eurya japonica*)、杜茎山(*Maesa japonica*)、狗脊(*Woodwardia japonica*)为代表种。

二、研究方法

1. 取样 按集水区不同部位、不同土壤层次采取土样。

在集水区不同部位、采各林木生长级的标准枝, 并将枝叶果分开, 按龄级取枝叶样品。干材、干皮、根的分析样品是在测定林木生物量的同时, 分别按林木生长级采取。将土壤和植物样品烘至恒重, 碾碎后进行化学分析。

逐月收集降水、穿透水、树干流、地表水和地下水的样品, 分别进行化学测定。

在化学分析过程中得到田大伦副教授的帮助, 特此致谢。
本文于1988年1月27日收到。

2. 生物量测定 对集水区内固定样地上所有林木分级, 根据各级林木的平均测树指标分别选取标准木共 6 株, 伐倒后按干、皮、枝、叶、根和果等组分测其鲜重, 并取各组分样品置于 85℃ 恒温下烘至恒重, 再计算标准木和每公顷林木的生物量。在固定样地内随机布设的 9 个 1×1 米的样方上测定林下植被和死地被物的现存量, 然后换算为每公顷的干物质重。

3. 化学分析 土壤、植物和死地被物的全氮分析用半微量凯氏法; 土壤水解性氮用碱解蒸馏法; 土壤速效氮用蒸馏法; 水样中铵离子、硝酸根离子分别采用直接蒸馏法和酚二磺酸比色法。

三、结果与讨论

1. 杉木人工林生态系统中氮素的分布

资料表明, 在整个杉木林生态系统中, 绝大部分的氮存在于土壤库中, 而杉木所含的氮仅占系统总氮量的 2.1% (表 1)。由此可见, 杉木对氮素的利用是非常有限的。

表 1 会同杉木人工林生态系统中各分室的氮素分布

Table 1 Distribution of nitrogen in the Compartments of the chinese fir plantation ecosystem in Hui tong

项目	系统分室	杉木	林下植被	死地被物	土壤 (土深 0—80 厘米)					整个系统
					铵态氮	硝态氮	速效氮	水解性氮	土壤总氮	
氮素贮量 (公斤/公顷)/(%)		257.3 2.1	62.6 0.4	72.1 0.6	81.1	22.5	103.6	815.0	11905.6 96.9	12287.8 100

2. 杉木枝叶果中氮素含量的季节性变化

试验期间杉木枝叶果的氮含量的变化虽然不显著, 尤其在林木生长的中后期, 各组分的氮含量大体稳定在一定的水平上。然而, 从图 1 可以看到, 随着时间的推移, 杉木枝叶果的氮含量逐渐呈下降趋势则是确定无疑的。这种现象也和枝叶的氮含量与枝叶的龄级成反比这一事实的主要原因一样, 实质上是一种“稀释效应”。也就是说, 这些器官在生长过程中虽然积累氮, 但其积累速率赶不上它们积累光合产物的速率, 于是使氮在这些器官中的百分含量降低。

当年生枝叶在最初生长时, 其氮含量下降尤为显著, 这是由于它们的组织幼嫩, 生长迅速, 稀释效应明显所致。

3. 杉木人工林生态系统中的氮素循环

养分生物循环是系统内部的循环, 它反映植物与土壤之间在养分数量分配上的相对变化。

依照养分生物循环平衡式: 吸收量 = 存留量 + 归还量, 得出该林分氮素生物循环模式 (见表 2)。

养分的再迁移通常是指树叶在衰老脱落前, 将其中的部分营养元素转移到其它器官或年幼器官并重新加以利用的过程。

我们用下式: 氮素再迁移量 = (凋落叶在脱落前的氮量) - (凋落叶中的氮量 + 凋落叶在脱落期间被淋溶的氮量)

计算了杉木林氮素的再迁移量。由于杉木叶的脱落是一个连续的全年各时期均发生的过程, 所以采用杉木多年生叶 (即三年生以上的叶) 氮含量的年平均值来表示叶脱落前的氮含量,

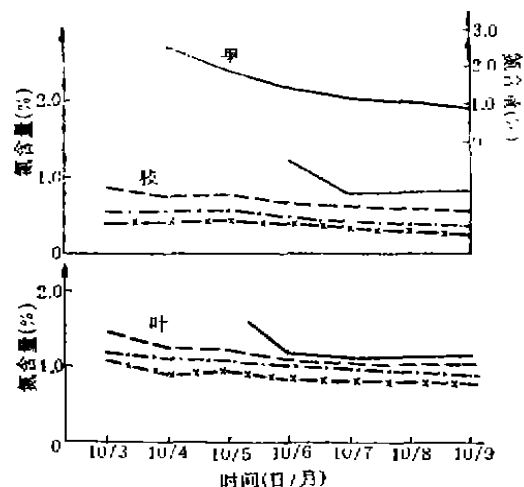


图 1 杉木枝叶果中氮含量的季节变化 —— 当年生;
—— 一年生 —— 二年生; —×—×— 多年生
Fig. 1 Seasonal change of the content of nitrogen
in the branch, leaf and fruit —— present-
year growth; —— one-yr growth; —·—·—
two-yr growth; —×—×— old leaf.

与各龄级叶面积成比例。于是得到杉木氮素的再迁移量为 2.13 公斤/公顷·年。

氮素的生地化循环与森林水文过程是紧密相关联的。该系统通过水文途径输出的氮为 0.98 公斤/公顷·年。氮的水文输出主要是经地下水的输出, 它占氮素径流(地表水和地下水)输出的 71%。

该系统全年经降水输入的氮为 7.35 公斤/公顷, 其中 4—6 三个月份中氮的输入占年输入的 67.5%, 而这个时期正是杉木需氮与土壤供氮的矛盾尖锐期, 因而降水中氮的输入缓和了这种紧张状况。

化学分析表明, 杉木林内降水中的无机氮含量一般都比林冠上降水中的高, 尤其在林木生长季节。通过计算, 该系统林内降水中的总氮量为 9.78 公斤/公顷·年, 其中随穿透水的氮占 93.4%。

氮素循环过程表明: (1) 该系统目前每年以 6.37 公斤/公顷的速率净积累氮; (2) 林冠被降水淋溶出的氮为 2.43 公斤/公顷·年; (3) 增加到土壤无机氮分室中的氮为 55.26 公斤/公顷·年*, 其中仅有 1.8% 通过径流方式从系统中损失(参看表 3)。

4. 杉木林系统氮素动态模型的建立及分析

系统各分室 (X_i , $i=1, \dots, n$) 保存其

表 2 杉木林分氮素的生物循环模式

Table 2 Biological cycle of nitrogen in the
chinese fir stand

项目	循环过程	存留	归还	吸收
氮素循环量 (公斤/公顷·年)		33.25	21.03	54.28
百分比 (%)		61.3	38.7	100

由此算出全年的凋落叶在其脱落前的氮量为 15.73 公斤/公顷。

用多年生叶的叶面积占林木总叶面积的百分比 (8.9%) 及林木淋溶的氮 (2.43 公斤/公顷·年) 求出凋落叶所淋溶的氮 (0.22 公斤/公顷·年), 这里假定氮的淋溶

表 3 杉木林生态系统氮素循环平衡表

Table 3 Balance of nitrogen cycling in the
chinese fir plantation ecosystem (kg/ha·a)

序号	循环过程	数量(公斤/公顷·年)
(1)	林冠上降水输入	7.35
(2)	林内降水	9.78
(3)	径流输出	0.98
(4)	凋落物	18.60
(5)	再迁移	2.13
(6)	植物存留	33.25
(7)	(1)-(3)=系统净积累	6.37
(8)	(2)-(1)=淋溶	2.43
(9)	(4)+(8)=植物归还	21.03
(10)	(6)-(9)=植物吸收	54.28
(11)	(6)+(10)=植物利用	56.41
(12)	(2)+(4)=土壤获得	28.38
(13)	(13)-(12)=土壤转移	55.26
(14)	(10)+(3)=土壤净转移	26.88

* 该值为土壤氮净矿化量与林内降水中氮量之和。该系统土壤氮净矿化量为 45.48 公斤/公顷·年。

氮素的动态在数学上可被描述为:

$$\frac{dX_i}{dt} = \text{流入} - \text{流出} \quad (1)$$

流入可分为从系统外部的获得 ($U_{0,i}$) 和从系统其它分室的获得 ($F_{i,j}, i=1, \dots, n, i \neq j$)。流出也可分为损失到系统外部 ($F_{i,0}$) 和转移到系统其它分室 ($F_{j,i}$)，于是 (1) 式可写成:

$$\frac{dX_i}{dt} = (U_{0,i} + \sum_{j=1}^n F_{j,i}) - (F_{i,0} + \sum_{j=1}^n F_{i,j}) \quad (2)$$

其中, $F_{i,j}$ 表示氮素从 i 分室流入分室 j 的流通量, $F_{j,i}$ 表示氮素从 j 分室流入 i 分室的流通量。物质在一定时间里的转移量称为流通量, 这里假定它只与源的物质成正比, 即

$$F_{i,j} = a_{i,j} X_i \quad (F_{i,j} \propto X_i)$$

同理有 $F_{j,i} = a_{j,i} X_j$

$$\frac{dX_i}{dt} = (U_{0,i} + \sum_{j=1}^n a_{j,i} X_j) - (a_{i,0} X_i + \sum_{j=1}^n a_{i,j} X_i) \quad (3)$$

式中 $a_{i,j}$ 定义为周转率, 它表示物质从 i 分室流向 j 分室的流通性。

依据上述建模原理求出各分室相应的氮素周转率:

$$a_{1,2} = \frac{18.6}{230.4} = 0.08073 \quad a_{1,3} = \frac{2.43}{230.4} = 0.01055$$

$$a_{2,3} = \frac{45.48}{11874.1} = 0.00383 \quad a_{3,0} = \frac{0.98}{103.6} = 0.00946$$

$$a_{3,4} = \frac{45.28}{103.6} = 0.52394 \quad a_{4,1} = \frac{45.19}{79.5} = 0.56843$$

据图 2 中各分室流入和流出状况, 建立杉木林生态系统氮素动态数学模型式 (4), 其中每个微分方程代表一个分室中氮素的数量变化。

$$\begin{cases} \frac{dX_1}{dt} = -0.09128X_1 + 0.56843X_4 \\ \frac{dX_2}{dt} = 0.08073X_1 - 0.00383X_2 \\ \frac{dX_3}{dt} = 0.01055X_1 + 0.00383X_2 - 0.53340X_3 + U_{0,3} \\ \frac{dX_4}{dt} = 0.52394X_3 - 0.56843X_4 \end{cases} \quad (4)$$

用模型对不同的氮输入进行了模拟, 模拟时均以目前各分室氮的贮量作为初态考虑。

A. $U_{0,3} = 7.35$ 时, 即为当前的情况 (参看表 4); B. $U_{0,3} = 14.7$ 时, 可认为是施肥的效果。模拟结果表明 (表 4): 虽然该系统每年净获得 6.4 公斤/公顷左右的氮, 但系统各分室的反应却不相同, 氮素净积累的绝对值却是逐步降低的。因随着年龄阶段的提高, 植物逐渐成熟, 生理功能减弱, 生长速度下降, 归还量增多, 存留量减少, 植物虽积累氮, 但积累率降低。而土壤有机氮分室获得较多的氮的归还, 其转移量就相对减少。土壤无机氮分室中氮贮量的变化幅度很小, 其氮素净积累在 10 年间不超过 0.3 公斤/公顷·年。表明土壤无机氮的数

量状态是处于一定的平衡基础上的。植物地下部分表现出随时间的推移氮贮量增加,但其氮素净积累值降低得很快,表明林分的根系目前已趋于完善。从流通量来看,10年间只有凋落 ($F_{1,2}$) 和淋溶 ($F_{1,3}$) 这两个过程的值有明显增加,说明林分逐渐成熟,生长在降低。按照养分生物循环的概念,计算了第1、5、10年该林分氮素的循环强度(归还量/吸收量),其值分别为42.9%,58.7%和73.0%。

由表4可看到,在B条件下,氮素输入的加倍,植物地上部分表现出很显著地积累氮,B条件下氮素净积累高峰由A条件下的第

表4 系统内各分室氮贮量(公斤/公顷)、净积累(公斤/公顷·年)随时间的反应

Table 4 Response of store (kg/ha) net accumulation (kg/ha·a) the compartments in the system

时 间 (年)	植物地上部分		净积累		土壤有机氮		净积累		土壤无机氮		净积累	植物地下部分		净积累	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	A	B	A	B
0	230.4	230.4			11874.1	11874.1			103.6	103.6		79.5	79.5		
1	255.6	255.8	25.4	25.4	11848.3	11848.3	-25.8	-25.8	103.7	109.4	0.1	86.4	87.8	6.9	8.3
2	281.1	283.1			11824.8	11824.7			103.9	112.9		90.4	94.3		
3	306.7	311.0			11803.1	11803.4			104.1	115.1		92.8	99.0		
4	330.8	338.6			11783.7	11784.5			104.4	116.6		94.2	102.4		
5	353.4	365.6	22.6	26.9	11766.2	11767.8	-17.5	-16.7	104.7	117.6	0.3	95.1	104.9	0.9	2.5
6	374.4	391.0			11750.6	11753.3			105.0	118.4		95.8	106.6		
7	393.9	415.2			11736.6	11740.9			105.3	119.0		96.3	107.8		
8	412.0	437.8			11724.2	11730.4			105.6	119.5		96.7	108.8		
9	428.7	458.9			11713.3	11721.7			105.9	120.0		97.0	109.5		
10	444.1	478.5	15.4	19.6	11703.7	11714.6	-9.6	-7.1	106.1	120.4	0.2	97.3	110.1	0.3	0.6

二年推迟到第三、四年。而且十年间的平均年积累氮量高出A条件3.4公斤/公顷·年。氮素净积累高峰的推迟以及平均年积累氮量的增加从一个侧面反映林分生长高峰期的延长和林分生物量的增多。在B条件下,土壤有机氮分室氮素净积累绝对值下降速率比A条件快。土壤无机氮分室和植物地下部分的氮贮量达到一定值后便逐步趋于稳定。输入加倍使氮素的生物循环强度相对降低。

四、总 结

1. 18年生杉木林生态系统中绝大部分的氮素(96.9%)存在土壤中,植物仅占2.5%。而土壤中又以有机氮占主导地位,它占土壤总氮量的90.1%。

2. 由于稀释效应,杉木枝叶果等器官的氮含量在生长季中表现随时间的推移而下降。当年生枝叶在萌发初期,这种稀释效应特别明显。

3. 杉木每年有2.13公斤/公顷的N从衰老的叶中作再迁移过程,这在一定程度上提高了

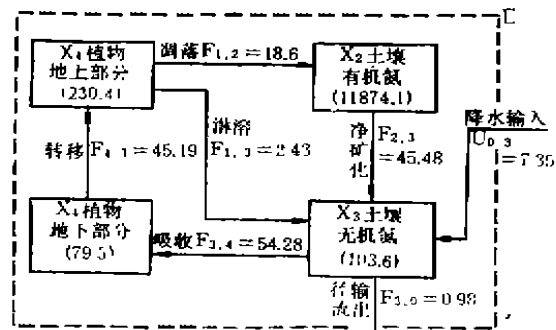


图2 杉木林生态系统氮素动态流程方框图

Fig.2 Dynamic flow diagram of nitrogen in the Chinese fir plantation ecosystem

图中箭头表示氮的流动方向,它旁边的数值为氮素的流通量(公斤N/公顷·年),虚线表示该系统的边界,虚线外为环境E。

林木对氮素的利用率,减少了氮的损失,使林木对氮的吸收利用有一定的独立性。

4. 该系统每年由降水输入的氮为 7.35 公斤/公顷,其中有 86.7% 被贮存在系统内,13.3% 则通过径流损失,即该系统每年以 6.37 公斤/公顷的速率净积累氮。

5. 氮素动态数学模型模拟表明,无论是在目前状况还是施肥条件下,土壤无机氮贮量的状态相当稳定。植物吸收氮的数量在目前状况下虽然逐年增加,但由于氮素存留量的减少和归还量的增加,导致植物和土壤有机氮这两个分室氮素净积累的绝对值逐年降低。这种现象表明,该系统各分室的氮素在其转移过程中相互协调而逐步趋向稳定。

考 参 文 献

- [1] Gosz, J.R., 1981, Nitrogen cycling in coniferous ecosystem. *Ecol Bull* 33:405—426.
- [2] Herrera, R. et al., 1981, Nitrogen cycling in a tropical Amazonian rain forest: The casting of low mineral nutrient status. *Ecol Bull* 33:493—505.
- [3] Melillo, J.M., 1981, Nitrogen cycling in deciduous forests. *Ecol Bull* 33:427—442.

DYNAMIC PROPERTIES OF NITROGEN IN THE CHINESE FIR PLANTATION ECOSYSTEM

Chen Xiaoyong Pan Weichou

(Section of Forest Ecology, Central-South Forestry College, Zhuzhou)

This paper presents recent studies on distribution, growth and decline, transformation and cycling of nitrogen in the Chinese fir plantation ecosystem. The results show that the total quantity of nitrogen in the ecosystem is 12287.6 kg/ha and the majority of the nitrogen of the system (about 97%) is found in the soil compartment as organically bound nitrogen, and only 2.5% is located in the vegetation. Nitrogen content in the branch and leaf decreases with increasing time because of "dilution effect". Nitrogen inputs to the system in bulk precipitation are greater than losses via leaching. Of the estimated 7.35 kg/ha·a entering the ecosystem by precipitation, about 86.7% is held or accreted within the ecosystem, as it accumulates netly 6.37 kg N/ha annually. These facts show that the Chinese fir plantation ecosystem has great ability for conserveing and utilizeing nitrogen. Besides, the dynamic mathematical model of nitrogen of the system has been established and primarily simulated.

Key words: Chinese firplantation, ecosystem, nitrogen,