

# 川西亚高山人工云杉林地有机物 和养分库的退化与调控\*

庞学勇<sup>1</sup> 刘世全<sup>2</sup> 刘庆<sup>1</sup> 林波<sup>1</sup> 吴彦<sup>1</sup> 何海<sup>1,3</sup> 包维楷<sup>1</sup>

(1 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041)

(2 四川农业大学, 四川雅安 625014)

(3 重庆师范学院, 重庆 400047)

**摘要** 研究了川西亚高山云杉人工林地有机物和养分库状况, 结果表明: 该区云杉人工林有机物和养分库严重退化, 表现为, 其凋落物的分解速率和周转期均较次生阔叶林和原始云杉林慢, 致使地表枯枝落叶干物质和各种养分贮量滞留于凋落物层而不能进入土壤, 土壤中有有机质、全 N、全 P 和碱解 N 含量随人工云杉林龄的增加而大幅度下降。人工云杉林份组成单一, 其凋落物分解慢, 归还土壤凋落物和养分数量少, 是川西亚高山云杉人工林地土壤有机物和养分库退化的重要原因, 人为收集凋落物积肥和人工抚育清灌, 不断带走植被中养分是土壤有机物和养分库不断耗竭的另一重要原因。建议对该区人工成熟林抚育间伐和营造针阔混交林, 改善成熟林下微环境和改变林份组成, 可在很大程度上防治云杉人工林土壤有机物和养分库的退化。

**关键词** 土壤有机物; 土壤养分库; 退化与调控; 川西亚高山; 人工云杉林

中图分类号 S153.62, S114.8

文献标识码 A

四川西部亚高山针叶林是四川森林的主体, 主要分布在长江上游的金沙江及支流雅砻江、岷江等流域, 是长江上游重要的水源涵养和水土保持林, 对该区域以及长江中、下游地区的生态平衡起着重大调节作用。但自 20 世纪 40 年代以来, 该区域原始林被大规模采伐, 其生态屏障功能逐步减弱, 随后陆续在皆伐迹地上营造云杉林进行人工恢复, 目前约有  $4.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$  云杉林已郁闭成林<sup>[1]</sup>。近年来对人工林重建过程中的群落结构动态<sup>[2]</sup>、养分循环特征<sup>[3]</sup>、土壤退化严重<sup>[4]</sup> 以及生物多样性对土壤性质的影响<sup>[5]</sup> 等方面进行了相关研究, 主要侧重于植物群落的结构和物种变化, 但对土壤肥力退化的机制与调控途径的研究却少有报道。

由地表枯枝落叶层和土壤有机质构成的森林土壤有机物和养分库是森林生态系统物质循环的枢纽, 也是森林土壤肥力维持的基础<sup>[6-8]</sup>。林业管理措施和人为驱动机制引起的土壤有机质、C 和 N 含

量的长期变化会直接影响森林的生产力和生态功能的恢复<sup>[9]</sup>。

本文选择川西亚高山原始云杉林砍伐后抚育的一系列不同林龄云杉人工林地土壤有机物和养分库为研究对象, 以原始云杉林和次生桦木林为对照, 根据凋落物贮量、养分含量和贮量及凋落物分解特征和土壤理化性质变化, 从林份组成和森林演替过程的角度探讨其退化机制, 并提出防治对策。这一问题的研究对于合理利用森林和森林土壤资源, 保护生态环境, 建立良性物质循环和可持续发展的森林生态系统有着重大意义, 也可为退化生态系统的恢复和重建提供一定理论依据。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区域概况

研究区位于四川省理县米亚罗林区, 北纬  $31^{\circ}35'$ ,

\* 国家重点基础研究发展规划项目专题(G2000046802-05: G199804814)、中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-07-02)、“十五”国家重大科技攻关项目课题(2001BA606A-05)和“西部之光”人才计划项目资助

- 通讯作者: Liu qing@cib.ac.cn

作者简介: 庞学勇(1974-), 男, 四川巴中人, 硕士, 主要从事土壤生态和退化生态系统的恢复与重建工作。E-mail: pangxy@cib.ac.cn

收稿日期: 2002-12-11; 收到修改稿日期: 2003-05-04

东经  $102^{\circ}35'$ , 海拔 2 850~ 4 200m, 属于青藏高原向四川盆地过渡的高山峡谷区。夏季温凉多雨, 冬季寒冷干燥, 1月均温为  $-8^{\circ}\text{C}$ , 7月均温为  $12.6^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的年积温为 1 200~ 1 400 $^{\circ}\text{C}$ , 年降水量为 600~ 1 100 mm, 年蒸发量为 1 000~ 1 900 mm, 属季风性山地气候<sup>[1]</sup>。成土母岩主要为千枚岩、板岩和白云岩等残坡积风化物, 土壤为棕壤。本次研究主要涉及该区域砍伐迹地人工更新后的一系列云杉林, 乔木层较单一, 灌木大都被人工抚育清灌过程砍伐掉, 主要种有川滇高山栎 (*Quercus aguif olioides*)、红毛五加 (*Acanthopanax giraldi*)、疏花槭 (*Acer laxiflorum*) 等, 草本较稀疏。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 样地选择

研究现行人工林生长过程中土壤有机物和养分库状况的演变过程, 最理想方法

是在固定样地上进行长期的定位试验。然而, 由于森林生长长达数十年, 从事这样的研究需要大量的资金和长期的时间投入<sup>[8]</sup>。因此, 本研究以空间代替时间的方法, 选择立地条件基本一致, 不同年代更新人工云杉林地 (10a、20a、30a、40a、50a 和 60a 生云杉林) 为研究对象, 以原始云杉林和次生桦木林地为对照。在样地选择时, 尽量选择地形要素 (坡度、坡向、坡长与坡形)、土壤与成土母质的类型基本一致, 以便使它们在更新前后具有同源性和一致性<sup>[8]</sup>。在此基础上, 选择的样地基本情况见表 1。

### 1.2.2 研究方法

在 2001 年 6 月 1 日~ 20 日, 在选择的代表性样地内同时进行土壤、植被、凋落物以及样地立地情况调查, 并采集配套的土壤和凋落物分析样品。

表 1 各样地基本情况

Table 1 Basic situation of the sample plots

林地类型 <sup>1)</sup> Stand	海拔 (m) Altitude	坡向/坡度 Aspect/Slope	林龄 (a) Forest age	郁闭度 Canopy density	植物种数 Species	土壤特性 Soil properties		
						容重 ( $\text{g cm}^{-3}$ ) Bulk density	pH (KCl)	CEC ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )
I	3 240	NE35°/40°	8~9	0.60	18	0.75	4.23	37.76
II	3 025	SW68°/25°	18~21	0.75	11	0.99	5.05	32.65
III	3 230	SW55°/30°	28~31	0.90	8	0.96	4.38	26.22
IV	2 800	SW75°/35°	40~42	0.75	7	1.05	4.50	22.33
V	3 310	SW78°/15°	50~52	0.85	4	0.86	3.74	22.67
VI	3 110	SW55°/30°	54~58	0.90	12	1.00	5.03	23.27
VII	3 210	SW60°/33°	70~72	0.70	25	0.89	4.99	39.24
VIII	2 850	NE30°/30°	50~52	0.70	22	0.75	6.42	30.93

1) I、II、III、IV、V、VI 分别代表: 10 a、20 a、30 a、40 a、50 a、60 a 生人工云杉林 Spruce plantation of 10 a, 20 a, 30 a, 40 a, 50 a and 60 a, respectively; VII: 原始云杉林 Natural spruce forest; VIII: 次生桦木林 Secondary birch forest (下同 The same below)

在每个样地内随机布设 8 个尼龙网收集框 (60 cm × 60 cm), 每隔 30 d 收集凋落物一次, 持续测定 1 年, 计算年凋落量。同时, 在各样地内按面积 40 cm × 25 cm 收集地表凋落物, 包括未分解层 (L 层) 和分解层 (F 层), 重复 4 次, 计算单位面积内凋落物贮量。并模拟自然条件下凋落物的分解情况, 取地表新鲜凋落物, 混合称重后装入分解袋, 放置于凋落物和土壤表层之间进行分解研究, 重复 3 次, 按公式  $X_0/X_t = e^{-kt}$  计算凋落物的分解速率和周转期, 式中  $X_0$  为凋落物的初始烘干重,  $X_t$  为放置  $t$  时间的凋落物残留量,  $k$  为凋落物的年分解速率。土壤养分测定样品按土壤发生学层次 (A、B 层) 采样, 重复 2 次, 另外测定土壤 pH、CEC、容重等 (表 1)。

土壤和植物样品分析方法见中国科学院南京土

壤研究所编《土壤理化分析》<sup>[10]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同林地土壤有机物和养分库特征

#### 2.1.1 枯枝落叶层中干物质与各种养分的贮量及年凋落量

在森林生态系统中, 凋落物作为养分的载体, 是森林土壤有机质和养分的主要补给者, 在维持土壤肥力、促进森林生态系统良性的生物循环和养分平衡等方面起着重要作用<sup>[11]</sup>。对各林地枯枝落叶层的野外观测与取样分析, 由图 1 表明, 次生桦木林凋落物贮量为  $12.50 \times 10^3 \text{ kg hm}^{-2}$ , 略高于人工云杉幼林, 但低于人工云杉成熟林, 而人工云杉林的凋落物贮量则先随抚育林龄增加而大幅度增加,

而后下降,在40年生人工云杉林地达最大值 $26.6 \text{ kg hm}^{-2}$ ,原始云杉林与30年生人工云杉林地接近,为 $19.20 \times 10^3 \text{ kg hm}^{-2}$ 。年凋落量大小顺序为:次生桦木林>原始云杉林>人工林,人工林演替过程中,年凋落量与凋落物贮量的变化趋势一致。凋落物的贮量是其产生量与分解量动态平衡的结果。桦木林

贮量低于云杉纯林(凋落物以难分解的针叶为主)。在人工云杉林中,幼林处在旺盛生长期,年凋落量少,故其贮量低于生长成熟的纯林,但随抚育林龄的增加而凋落物贮量增大,大约在云杉40龄时,凋落物贮量达最大值,之后凋落物贮量随着抚育林龄的增加而降低,可能与人工云杉自疏和凋落物累计分解量随时间加长而增大有关<sup>[4]</sup>。

同样,枯枝落叶层中的各种植物养分数也有很大差异,凋落物的养分贮量是凋落物贮量与养分含量的乘积。由表2可见,在人工云杉林中,凋落物的养分贮量(N、P、K、Ca和Mg)表现出“^”形变化,即云杉幼林(I、II)较低,40年生云杉纯林(IV)升到最高,而后云杉纯林凋落物的养分贮量又大幅度降低,60年生人工云杉林氮、磷、钾、钙和镁分别为40年生云杉林的48.6%、28.9%、48.6%、75.2%和56.9%,甚至低于云杉幼林,其氮、磷和镁贮量也低于桦木林。由于林地凋落物是土壤有机质和养分的主要供给者,人工云杉林达到成熟纯林(顶极群落)后,凋落物及其养分贮量急剧下跌,势必导致土壤有机质、养分和综合肥力的降低。

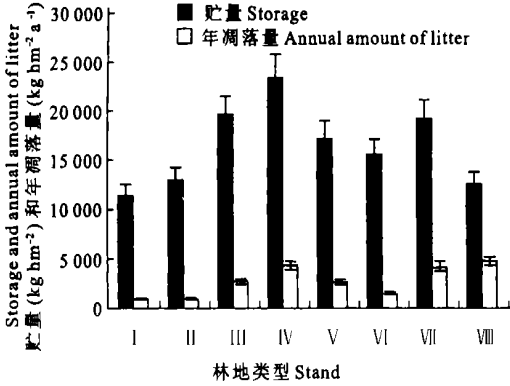


图1 不同林地类型凋落物贮量和年凋落量

Fig. 1 Storage of litter and annual amount of litter under different forest type

凋落物以阔叶为主,易于腐烂分解,因此,其凋落物

表2 不同林地类型凋落物各种养分含量(g kg<sup>-1</sup>)和贮量(kg hm<sup>-2</sup>)

Table 2 Content and storage of nutrient in the litter layers under different forest type

林地 Stand	N		P		K		Ca		Mg	
	含量 Content	贮量 Storage	含量 Content	贮量 Storage	含量 Content	贮量 Storage	含量 Content	贮量 Storage	含量 Content	贮量 Storage
I	12.68	145.19	0.27	3.10	1.63	18.67	16.83	192.69	3.69	42.25
II	12.93	167.70	0.39	5.10	1.51	19.64	16.96	219.93	3.73	48.40
III	11.50	224.60	0.35	6.84	1.83	35.74	13.30	259.75	3.00	58.59
IV	10.45	244.84	0.32	7.47	1.54	36.16	16.54	387.43	3.86	90.39
V	9.80	168.36	0.40	6.86	1.80	31.01	16.75	287.77	3.84	65.97
VI	7.70	118.97	0.14	2.16	1.14	17.56	18.86	291.45	3.33	51.45
VII	10.87	208.70	0.14	2.68	1.09	20.87	18.16	348.62	3.53	67.74
VIII	14.63	182.88	0.46	5.76	1.02	12.76	19.79	247.32	4.68	58.50

2.1.2 土壤有机质及腐殖质组成 土壤有机质是评价土壤肥力的一项重要指标。由表3可见,各林地土壤有机质含量表层大于底层,主要原因为林地土壤表层有机质大多来源于凋落物的分解,受凋落物分解速率制约。但各林地之间土壤有机质含量又存在差别(表3),人工云杉林随着抚育林龄的增加,土壤表层有机质含量减少,10 a生人工云杉林地土壤表层有机质含量分别是20 a、30 a、40 a、50 a

和60 a生云杉林地的1.43、1.59、2.48、2.19和3.48倍。原始云杉林土壤表层有机质含量与成熟人工云杉林地接近,次生桦木林土壤有机质含量高于人工云杉林地。人工云杉林地随着恢复过程的演替,林地土壤有机质呈下降趋势。10~20 a生云杉林地土壤有机质含量高可能原因为继承了原始云杉林积累的大量凋落物,在原始云杉林被砍伐后,林地光照和水分条件改善,微生物和土壤动物活动加强,凋落物

分解加快, 转化进入土壤中有有机质增多, 同时, 10~20 a 生的云杉和草本、灌丛不断向地面返还凋落物, 尤其是草类, 它们通过生草过程在土壤中大量积累有机质, 故此阶段土壤有机质含量高。随着人工云杉林龄的增加, 林内处于郁闭状态, 林地光照和水分条件变差, 林下植物因清林或缺少光照而消失, 微生物活动减弱, 凋落物分解慢而难归还土壤, 故土壤有机质含量呈下降趋势。

土壤腐殖质是有机物在土壤酶及微生物作用下形成的, 并在一定的条件下缓慢分解释放出养分供植物生长, 它不仅是植物营养元素的源泉之一, 而且对土壤理化性质也有很大的影响, 并改善土壤的生物学特性, 因此研究林地土壤腐殖质特性的变化对评价林地土壤肥力有重要作用。从表 3 可见, 各林地土壤表层腐殖质、胡敏酸(HA)和富里酸(FA)含量大于下层, 土壤腐殖质占全 C 的比例较低, 表层在

23.8%~35.1% 之间, 下层在 27.6%~57.3% 之间, 腐殖质残渣较高, 大部分在 60% 以上, 微生物和土壤酶降解难, 各林地 HA/FA 表层在 0.50~0.70 之间, 下层变化较大, 在 0.20~0.71 之间, 上下层的 HA/FA 均小于 1, 说明腐殖质组成中以 FA 酸为主, HA/FA 一般为表层大于下层, 主要原因为 FA 的移动性较 HA 大。但各林地之间又存在差别, 人工云杉林随着抚育林龄的增加, 其土壤表层腐殖质、胡敏酸和富里酸含量变化随着与全 C 的减少而降低, 其原因为土壤中一部分有机质经腐殖化过程直接转化为腐殖质, 腐殖化过程的快慢与土壤条件和有机化合物本身有关, 云杉林有机物纤维素和木质素含量较高, 微生物和酶分解慢, 且随着人工云杉林郁闭度的加大, 土壤条件变差, 也不利于微生物作用。原始云杉林地土壤腐殖质组成与成熟人工云杉林地相似, 次生林地土壤腐殖质组成比原始林地好。

表 3 不同林地类型下土壤中有有机质及腐殖质组成

Table 3 Soil organic matter and humus composition under different forest type

样地类型 Stand	土层 Soil horizon	有机质 O. M. (g kg <sup>-1</sup> )	腐殖质组成 Humus composition (C, g kg <sup>-1</sup> )						HA/FA	残渣 <sup>2)</sup> 占全 C R/TC (%)
			总量(A) Amount	占全碳 <sup>1)</sup> A/TC (%)	HA	占全碳 HA/TC (%)	FA	占全碳 FA/TC (%)		
I	A	152.9	28.9	32.5	11.1	12.5	17.8	20.0	0.62	67.5
	B	41.8	13.9	57.3	4.9	20.1	9.0	37.2	0.54	42.7
II	A	106.8	18.2	29.3	7.3	11.8	10.8	17.5	0.68	70.7
	B	26.8	5.1	32.5	1.9	12.2	3.2	20.3	0.60	67.5
III	A	96.2	18.2	32.6	7.0	12.6	11.2	20.0	0.63	67.4
	B	30.9	6.3	35.4	2.2	12.5	4.1	22.9	0.55	64.6
IV	A	61.7	10.2	28.5	4.2	11.7	6.0	16.8	0.70	71.5
	B	15.2	2.6	29.2	0.8	9.1	1.8	20.1	0.45	70.8
V	A	69.7	13.6	33.6	4.5	11.2	9.1	22.4	0.50	66.4
	B	16.7	3.5	36.5	0.6	6.0	3.0	30.5	0.20	63.5
VI	A	44.0	6.1	23.8	2.4	9.4	3.7	14.4	0.65	76.2
	B	24.6	4.2	29.6	1.6	11.1	2.6	18.5	0.60	70.4
VII	A	57.3	11.7	35.1	4.6	13.7	7.1	21.4	0.64	64.9
	B	20.1	3.2	27.6	1.0	8.3	2.3	19.3	0.43	72.4
VIII	A	113.7	18.9	28.6	6.8	10.3	12.1	18.3	0.56	71.4
	B	35.9	5.9	28.3	1.8	8.7	4.1	19.6	0.44	71.7

1) 全 C(TC) Total C; 2) 残渣(R) Remains

2.1.3 土壤中 N 素 土壤全 N 与有机质变化趋势一致, 由图 2 可知, 各林地土壤表层全 N 含量大于底层, 在人工云杉林地中, 土壤表层全 N 含量随着人工云杉林龄的增加而降低, 到 40 a、50 a 和 60 a

生云杉林土壤表层全 N 含量分别为 10 a 生人工云杉林地的 43.51%、41.41% 和 22.71%。原始云杉林土壤有机质含量与人工成熟林地相似, 低于次生桦木林地, 主要原因为次生林中凋落物成分以阔叶为

主,比原始针叶林易于分解。碱解N主要受全N的控制,二者呈极显著正相关( $r = 0.940^{**}$ ,  $n = 62$ ),故在人工云杉林地中,土壤碱解N表现出随有机质含量的减少而降低(图3)。相关分析表明,土壤表层全N( $y_1$ )、碱解速效N( $y_2$ )与有机质含量( $y_3$ )呈显著性正相关( $r_{13} = 0.922^{**}$ ,  $r_{23} = 0.920^{**}$ ,  $n = 62$ ),三者简单线性关系式为: $y_1 = 0.303 + 0.0315y_3$ ,  $R^2 = 0.85$ ;  $y_2 = 20.948 + 1.296y_3$ ,  $R^2 = 0.85$ ;  $y_2 = 13.635 + 38.819y_1$ ,  $R^2 = 0.88$ 。式中: $y_1$ 为全N( $g\ kg^{-1}$ ); $y_2$ 为碱解N( $mg\ kg^{-1}$ ); $y_3$ 为有机质( $g\ kg^{-1}$ )。这是因为林地土壤表层的有机质和N素均主要来源于凋落物,并受凋落物的分解率控制。据有关研究报道<sup>[3,4]</sup>,人工林随着抚育林龄的增加,林地凋落物贮量增加,但人工幼林向成熟林演替阶段,林地郁闭度加大,林地光照和水分条件变差,凋落物分解十分缓慢,导致进入土壤中有有机质和氮素降低,从而表现为随着人工林抚育过程的演替,土壤表层有机质和氮素含量降低。

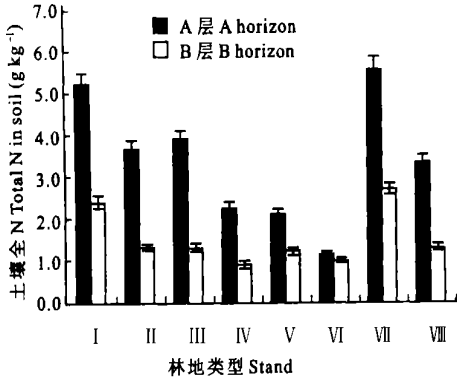


图2 不同林型下土壤全N含量

Fig. 2 Total N in soil under different forest type

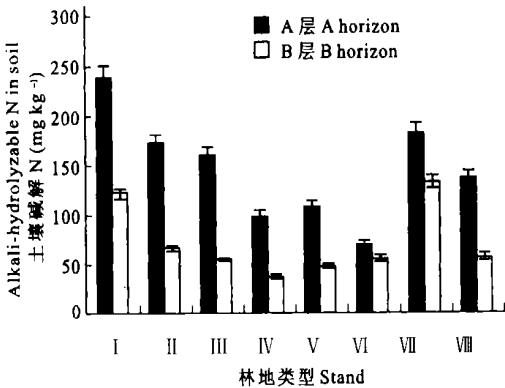


图3 不同林型下土壤碱解N含量

Fig. 3 Alkali-hydrolyzable N in soil under different forest type

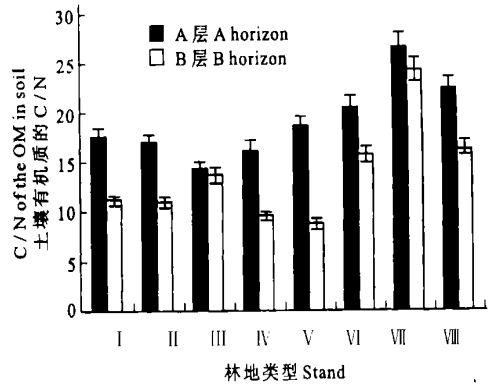


图4 不同林型下土壤有机质C/N

Fig. 4 C/N of soil organic matter under different forest type

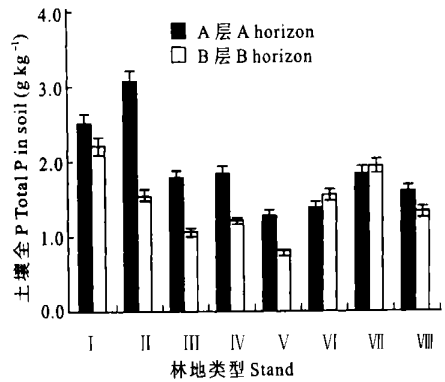


图5 不同林型下土壤全P含量

Fig. 5 Total P in soil under different forest type

土壤有机质的C/N比值反映土壤有机质的矿质化和腐质化程度,图4的结果表明,各林地中土壤有机质的C/N表土大于底土,表现为随剖面深度增加而降低。各林地间土壤表层有机质的C/N以原始云杉林最高,次生桦木林略低于原始云杉林,人工云杉林演替过程中土壤表层有机质的C/N先降低后升高。

2.1.4 土壤全P 从图5可见,60年生云杉人工林和原始云杉林土壤表层磷含量低于底层,其它林地均以表层磷含量大于底层,表层与底层的差异也不如土壤氮素差异那么大。各林地之间土壤全磷含量也不如土壤氮素差异那么显著,其变化规律性较复杂,不如全氮与有机质那么相似。相关分析表明,土壤全磷含量与有机质呈极显著正相关( $r = 0.528^{**}$ ,  $n = 62$ ),但相关系数远小于土壤中全氮与有机质的相关系数( $r = 0.922^{**}$ ,  $n = 62$ )。说明磷在森林生态系统物质循环中仍起一定的作用,通过凋落物分解回归土壤,并随土壤有机质的积累而不断向土壤表层集中和聚积,有明显的生物表聚

特征。

## 2.2 人工云杉林地土壤有机物和养分库退化机制及其调控

### 2.2.1 人工云杉林地有机物和养分库退化的机制

人工林地力衰退实质上就是在人工培育过程中, 人类活动的影响或改变了成土过程的方向和土壤熟化过程的进程, 从而破坏了土壤的生态性质, 导致林木对土壤的需求与发生变化的土壤生态性质之间产生差异, 其表现就是土壤肥力下降。原因归结为:

(1) 人工云杉林地植物群落结构简单, 当林地郁闭以后, 培育树种(云杉)成为绝对优势树种, 林下植物难以生存, 形成单层结构, 生态位高度重叠, 造成物种多样性减少<sup>[5]</sup>、缓冲能力和反馈调节能力弱。由此引起物质循环等整个生态系统功能的降低, 尤其是针叶树种凋落物分解较慢, 且养分含量低, 其凋落物的分解率一般为 20% ~ 30%, 其归还率较低,

并且人工云杉生长主要吸收土壤中速效养分, 随着云杉生长, 植物体中占有相当一部分养分, 在归还土壤的养分中, 有相当部分短时间处于难以利用的状态, 从而引起人工云杉有机物和养分库退化。

(2) 人工林地凋落物分解慢和养分归还少, 各林地凋落物腐解率(表 4), 原始云杉林(0.46) > 次生桦木林(0.39) > 30 a 生人工云杉林(0.28) > 40 a 生人工云杉林(0.26)。以 95% 的干物质被分解后所需要的时间( $T_{0.95}$ )表示凋落物的周转期, 30 a 生人工云杉林、40 a 生人工云杉林、原始云杉林和次生桦木林地凋落物周转期分别为 10.85 a、11.54 a、6.49 a 和 7.59 a(表 4), 反映云杉人工林凋落物周转期较原始云杉林和次生桦木林长。从凋落物分解速率和周转期均反映出人工林的分解速度较原始云杉林和次生桦木林地慢, 造成人工成熟林凋落物贮量增大。

不同森林类型在归还土壤养分数量上表现出极

表 4 不同样地凋落物年腐解速率及周转期比较

Table 4 Decay rate and recycling period of litter under different forest type

林地类型 Stand	初始重( $X_0$ ) Initial weight (g)	残留量( $X_t$ ) Remains (g)	$X_t / X_0$	年腐解率(K) Decay rate (per year)	半分解时间( $T_{0.5}$ ) 50% decay time (a)	95% 分解时间( $T_{0.95}$ ) 95% decay time (a)
III	66.75	50.64	0.76	0.28	2.51	10.85
IV	64.14	49.47	0.77	0.26	2.67	11.54
VII	66.81	42.12	0.63	0.46	1.50	6.49
VIII	25.5	17.18	0.67	0.39	1.76	7.59

大的差异, 表现为: 次生桦木林 > 原始云杉林 > 人工云杉林, 原始云杉林与人工云杉成熟林在归还土壤养分数量上较为接近(表 5), 人工云杉林归还土壤养分数量呈“ $\wedge$ ”形变化, 即在随云杉的林龄增大过程中, 归还土壤养分数量先增加后降低, N、Ca、Mg、Al、Cu、Mn 和 S 归还数量在云杉 40 龄时达最大值,

P、K 和 Fe 则在云杉 30 龄时达最大值。在归还土壤养分中, 各林地都以 N、Ca 最大, 其次为 K、Mg、Al、Fe 和 S, 最少为 P、Cu 和 Mn 等。可见在亚高山针叶林地区, 阔叶林的枯枝落叶每年归还土壤的植物营养元素数量大于针叶林, 在针叶林中, 原始云杉林又大于人工云杉林。

表 5 不同林地年枯枝落叶归还土壤的各种养分

Table 5 Amount of nutrient returned annually to soil from litter under different forest type ( $\text{kg hm}^{-2}$ )

林地类型 Stand	N	P	K	Ca	Mg	Al	Fe	Cu	Mn	S
I	11.03	0.24	1.42	14.64	3.21	—	—	—	—	—
II	13.45	0.41	1.57	17.64	3.88	—	—	—	—	—
III	30.72	3.07	10.15	35.53	2.67	4.01	4.27	0.03	0.41	3.74
IV	45.77	1.40	6.76	72.43	16.90	13.14	1.75	0.11	0.51	6.57
V	26.56	1.08	4.89	45.39	10.41	—	—	—	—	—
VI	11.94	0.22	1.76	29.24	5.16	—	—	—	—	—
VII	46.41	0.60	4.64	77.53	15.06	5.72	5.24	0.11	1.15	6.20
VIII	69.79	2.20	4.87	94.38	22.32	6.83	6.41	0.10	1.98	6.83

(3) 强烈的人为干扰破坏了人工林地土壤有机物和养分库,如过度放牧、牛羊践踏、采药和收集林下调落物积肥等人为活动严重破坏了林下土壤性质。随着人为干扰强度的增加,土壤容重增大,孔隙度减小,持水供水能力减弱,渗透系数减小<sup>[13]</sup>,水土流失强度增加,造成土壤中养分流失增大。同时,随着地表凋落物被刮走和人工林抚育清灌,减少了土壤中有有机质的来源,严重破坏了人工林地土壤养分库。

**2.2.2 人工云杉林地土壤有机物和养分库退化的调控** 川西亚高山存在大面积以云杉纯林为主的单层林,其系统的生态位、吸收特性和与外界物质、能量的交换特性高度一致,生态系统物质、能量单向积累、缓冲能力减弱。为了减少人工云杉林地土壤有机物和养分库退化,应避免在皆伐迹地上清灌营林和人工抚育过程中的清灌措施。林下灌丛、草本是人工林植物群落的重要组成部分,有重要的生态功能,并且养分含量高,凋落物分解快,能弥补人工针叶纯林凋落物分解慢,加快物质循环,避免地力退化。

对现有人工云杉纯林因地制宜地进行间伐抚育,改善林地微环境,是避免人工林地有机物和养分库退化的又一重要措施。通过营造针阔混交林可以加快林地凋落物层的形成,有利于林地养分的积累<sup>[11,12]</sup>。同时,对该区大面积的人工云杉成熟林,如不采取合理措施,其地力衰退的趋势还将继续。应根据具体立地条件,如水分、坡度、坡向和海拔高度等,因地制宜地进行间伐抚育等措施,改善人工林地光照、水分条件等,为林地凋落物分解创造条件。

### 3 结论与讨论

1) 原始云杉林被砍伐更新为云杉人工林后,其林下有机物和养分库严重退化,表现为,凋落物的分解速率和周转期均较次生阔叶林和原始云杉林慢,并导致地表枯枝落叶干物质和各种养分贮量滞留于凋落物层而不能进入土壤,同时,云杉纯林为主的单层林对土壤中同一养分单向吸收,进入成熟期后,林下调落物被刮走,导致土壤中有有机质、全N、全P和碱解N含量随人工云杉林龄的增加而大幅度下降。

2) 川西亚高山云杉人工林地有机物和养分库退化表现为渐变过程,在云杉人工幼林期,林地光照和水分等条件较好,原始云杉林累积的凋落物大量分解,为云杉初期快速生长创造了良好的条件,随着

云杉郁闭度的增大,加之云杉密度大和树种配置单一,凋落物分解速率变缓,有机物和养分逐渐积累于凋落物层处于难利用的状态。人工云杉林份组成单一,其凋落物分解慢,归还土壤凋落物数量和养分含量少,是川西亚高山云杉人工林地土壤有机物和养分库退化的重要原因,同时,强烈的人为干扰,特别是该区老百姓习惯在人工林下收集凋落物积肥和人工林下灌木不断被清除,致使土壤中养分不断耗竭,是土壤养分退化的另一重要原因<sup>[13]</sup>。

3) 建议对该区人工成熟林抚育间伐和营造针阔混交林,改善成熟林下微环境和改变林份组成,可以在很大程度上防治人工林土壤有机物和养分库的退化。一些研究表明<sup>[14,15]</sup>,阔叶树种凋落物分解快,可及时弥补林地土壤肥力耗竭,同时针阔混交林有利于避免系统生态位重叠,迅速稳定森林环境,在一定程度上保持土壤肥力。

### 参考文献

- [1] 李承彪. 四川森林生态研究. 成都: 四川科学技术出版社, 1990. Li C B. Ecological Study of Sichuan Forest (In Chinese). Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1990
- [2] 潘开文, 刘照光. 暗针叶林采伐迹地几种人工混交群落乔木层结构及动态. 应用与环境生物学报, 1998, 4(4): 327~334. Pan K W, Liu Z G. Structures and dynamics of the tree layer of artificial mixed forests in clear-cut areas of subalpine dark coniferous forests (In Chinese). Chin. J. Appl. Environ. Biol., 1998, 4(4): 327~334
- [3] 庞学勇, 胡泓, 乔永康, 等. 川西亚高山云杉人工林与天然林养分分布和生物循环比较. 应用与环境生物学报, 2002, 8(1): 1~7. Pang X Y, Hu H, Qiao Y K, et al. Nutrient distribution and cycling of artificial and natural spruce forests in subalpine of western Sichuan (In Chinese). Chin. J. Appl. Environ. Biol., 2002, 8(1): 1~7
- [4] 胡泓, 刘世全, 陈庆恒, 等. 川西亚高山针叶林人工恢复过程的土壤性质变化. 应用与环境生物学报, 2001, 7(4): 308~314. Hu H, Liu S Q, Chen Q H, et al. Changes of soil property in the course of subalpine coniferous forests artificial recovery in western Sichuan (In Chinese). Chin. J. Appl. Environ. Biol., 2001, 7(4): 308~314
- [5] 吴彦, 刘庆, 乔永康, 等. 亚高山针叶林不同恢复阶段群落物种多样性变化及其对土壤理化性质的影响. 植物生态学报, 2001, 25(6): 641~647. Wu Y, Liu Q, Qiao Y K, et al. Species diversity changes in subalpine coniferous forests of different restoration stages and their effects on soil properties (In Chinese). Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(6): 641~647
- [6] 吴蔚东, 张桃林, 孙波, 等. 人工杉木林地有机物和养分库的退化与调控. 土壤学报, 2000, 37(1): 41~48. Wu W D, Zhang T L, Sun B, et al. Degradation and control of soil organic matter and nutrient pool under artificial Chinese fir forest (In Chinese). Acta Pedo-

- logica Sinica, 2000, 37(1): 41~ 48
- [ 7 ] 吴蔚东, 张桃林, 高超, 等. 红壤地区杉木人工林土壤肥力质量性状的演变. 土壤学报, 2001, 38(3): 285~ 293. Wu W D, Zhang T L, Gao C, *et al.* Changes of soil fertility quality properties under artificial Chinese fir forest in red soil region (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2001, 38(3): 285~ 293
- [ 8 ] Bargali S S, Singh S P. Patterns of weight loss and nutrient release from decomposing leaf litter in an age series of eucalypt plantations. Soil Biol. Biochem., 1993, 25(12): 1731~ 1738
- [ 9 ] Jennifer D K, Wayne T S. Forest management effects on surface carbon and nitrogen. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997, 61: 928~ 935
- [ 10 ] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. ed. Physical and Chemical Analysis of Soil (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978
- [ 11 ] 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. 土壤学报, 2002, 39(5): 763~ 767. Xiao CY, Huang Q C, Ruan H H. Characteristics of decomposition of litter from pine, oak and pine-oak mixed forests (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(5): 763~ 767
- [ 12 ] 陈绍柱, 陈淑容. 杉木木荷混交林涵养水源功能和土壤肥力. 土壤学报, 2002, 39(4): 599~ 603. Chen S S, Chen S R. Functions of the mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Schima superba* in water conservation and soil fertility buildup (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(4): 599~ 603
- [ 13 ] 庞学勇, 刘庆, 刘世全, 等. 人为干扰对川西亚高山针叶林土壤物理性质的影响. 应用与环境生物学报, 2002, 8(6): 583~ 587. Pang X Y, Liu Q, Liu S Q, *et al.* Effect of human-induced disturbance on soil physical properties of subalpine coniferous forests in western Sichuan (In Chinese). Chin. J. Appl. Environ. Biol., 2002, 8(6): 583~ 587
- [ 14 ] Zheng Y S, Ding Y X. Effect of mixed forests of Chinese fir and tsoong's tree on soil properties. Pedosphere, 1998, 8(2): 161~ 168
- [ 15 ] Rustad L E, Cronan C S. Element loss and retention during litter decay in a red spruce stand in Maine. Can. J. For. Res., 1988, 18(6): 947~ 953

## DEGRADATION AND CONTROL OF SOIL ORGANIC MATTER AND NUTRIENT POOL UNDER SUBALPINE SPRUCE PLANTATION IN WESTERN SICHUAN

Pang Xueyong<sup>1</sup> Liu Shiquan<sup>2</sup> Liu Qing<sup>1</sup> Lin Bo<sup>1</sup> Wu Yan<sup>1</sup> He Hai<sup>1,3</sup> Bao Weikai<sup>1</sup>

(1 *Chendu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chendu 610041, China*)

(2 *Sichuan Agricultural University, Yaan, Sichuan 625014, China*)

(3 *Department of Biology, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China*)

**Abstract** Subalpine coniferous forest in western Sichuan is an important part of Sichuan forests. Because it mainly distributes in Jinshajiang River of upper reaches of the Yangtze River and its branches, Yalongjiang and Minjiang River and so on, it takes very important role in water conservation and soil protection in these area. Moreover, it also has a tremendous influence on economy and balance of ecosystem in this region and also as far as to the middle and lower reaches of the Yangtze River. Since 1940 s, natural coniferous forest was felled in grand scale, then spruce forests were planted on clear felled areas in succession. At present, there are  $4.3 \times 10^4$  hm<sup>2</sup> spruce plantation in these regions. But simple structure of artificial plant community had led to the degradation of forest ecosystem function. The soil organic matter and nutrient pool were studied under subalpine spruce plantation in western Sichuan. The results indicated that the soil organic matter and nutrient pool under spruce plantation degraded greatly. Decay rate and recycling period of spruce plantation were slower than those of secondary broad forest and natural coniferous forest, which led to that dry matter of forest floor and nutrients stored in the litter layer can't enter soil. Soil OM content, total N, total P and alkali-hydrolyzable N abruptly decreased with increasing of forest ages. The unitary composition of spruce plantation with less litter and nutrient returned to soil and the slower decay rate of litter were crucial factors inducing the degradation of the soil organic matter and nutrient pool in this area. In addition, human-induced disturbance, especially clearing out of litters and shrubs under plantation were another factor of the degradation of the soil organic matter and nutrient pool. It was suggested that the degradation of the soil organic matter and nutrient pool could be controlled by planting coniferous-hardwood and the rational thinning down after spruce plantation matured.

**Key words** Soil organic matter; Soil nutrient pool; Degradation and control; Subalpine of western sichan; Spruce plantation