

# 间伐对杉木人工林土壤理化性质的季节影响

王东, 王艳平, 陈信力, 关庆伟

(南京林业大学 森林资源与环境学院, 南京 210037)

**摘要:**以南京市溧水林场实施了 4 种间伐强度(CK:0%、LIT:30%、MIT:50%、HIT:70%)的 25 a 生杉木人工林为研究对象,探讨了间伐 7 a 后 0—20 cm 土层的土壤温度、含水率、土壤全 C、全 N、全 P、C/N 和 N/P 的季节变化。结果表明,间伐对土壤理化性质的影响存在明显的季节差异性。春季,间伐对土壤温度、含水率和全 C 均无显著影响,MIT 显著降低了土壤全 N 和全 P 的 22% 和 26%,HIT 显著降低了土壤全 N 的 11%。夏季,间伐对土壤温度、全 N、全 P 和 N/P 无显著影响,但 3 种间伐强度均显著提高了土壤含水率,平均为 22%,MIT 和 HIT 均显著降低了土壤全 C 和 C/N。秋季,间伐对土壤理化性质的各个指标均有不同程度的显著影响。其中,3 种间伐强度均显著提高了土壤温度、含水率、N/P,但显著降低了全 P。冬季,间伐对土壤理化性质影响较小,除 MIT 显著降低了土壤温度而提高了土壤 C/N 及 HIT 显著提高了土壤全 P 外,间伐对其余指标均无显著影响。这些结果表明,在评价间伐对土壤理化性质影响时应考虑季节差异。间伐 7 a 后林内土壤全 N 和全 P 在一定程度上有所降低,尤其是土壤全 P,建议在春季对 LIT 施适量的氮肥,对 MIT 施适量的氮肥和磷肥,在秋季对 3 种间伐处理施适量的磷肥,以提高土壤肥力促进林木生长。从土壤 N 和 P 年平均值来看,HIT 最有利于保持林地的氮磷养分,LIT 次之,MIT 最差。

**关键词:**土壤理化性质; 季节影响; 间伐强度; 杉木人工林

中图分类号:S753

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)02-0069-05

## Seasonal Dynamics of Soil Physical and Chemical Properties after Thinning for 7 Years in Chinese Fir Plantation

WANG Dong, WANG Yanping, CHEN Xinli, GUAN Qingwei

(School of Forestry Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** Seasonal dynamics of soil temperature, soil water content, soil total C, soil total N, soil total P, C/N and N/P at 0—20 cm soil depth among four thinning intensities (CK:0%, LIT:30%, MIT:50%, HIT:70%) of Chinese fir (25 years) plantation in Nanjing Lishui Forest Farm were examined. Results showed that the effect of thinning on soil physical and chemical properties varied among seasons. In spring, thinning had no significantly effect on soil temperature, soil water content and soil total C. Compared with control treatment, MIT and HIT significantly decreased soil total N by 22% and 11%, respectively, and MIT also significantly decreased soil total P by 26%. In summer, no any significant difference was observed for soil temperature, soil total N, soil total P and soil N/P between thinned and control treatments, while all thinned intensities significantly increased soil water content, with an average of 22%, and both MIT and HIT significantly decreased soil total C and soil C/N. In autumn, all studied indexes of soil significantly changed under thinning. Soil temperature, soil water content, soil N/P in all thinned plots were significantly higher than those of control plot, but the changes of soil total P was opposite. In winter, the effect of thinning on soil was not so obvious, except that MIT significantly decreased soil temperature, and MIT and HIT significantly increased soil C/N and soil total P, respectively, no other significantly differences were observed between thinned and control plots. These results showed that it was important to take seasonal differences into consideration in evaluating the effect of thinning on soil physical and chemical properties.

收稿日期:2013-06-25

修回日期:2013-07-23

资助项目:国家林业公益性行业科研专项(201104075);国家重点基础研究发展计划(973 计划,2012CB416904);江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

第一作者:王东(1986—),男,四川西昌人,硕士生,主要研究方向为土壤生态学。E-mail:459289120@163.com

通信作者:关庆伟(1964—),男,辽宁沈阳人,教授,主要研究方向为城市生态学。E-mail:guanjuan999@163.com

After seven years of thinning, soil total N and total P in thinned plots were lower than those of control plot in some degree. Therefore, in order to increase soil nutrient resources in thinned plots, we suggested that nitrogen fertilizer should be applied in LIT plot in the spring, phosphorus fertilizer was highly needed in all thinned plots in the autumn, and both nitrogen and phosphorus fertilizers should be applied in MIT in the spring. From the perspective of annual soil total N and total P, HIT was the best thinning intensity to maintain the soil N and P among three treatments, and then it was followed by LIT.

**Keywords:** physical and chemical properties of soil; seasonal difference; thinning intensity; Chinese fir plantation

长期以来,杉木人工林连栽引起严重的地力衰退,在一定程度上成为制约我国林业生产发展的重要因素,引起我国广大林业工作者的高度重视<sup>[1-3]</sup>。如何通过合理有效的经营措施,改善杉木人工林土壤肥力,提高林地生产力,显得尤其重要。间伐作为杉木人工林经营的最重要措施,被认为是促进林下植被更新,提高土壤肥力的重要途径<sup>[4-5]</sup>。间伐初期,由于林分密度的减小,林内光照和土壤温度显著提高<sup>[6]</sup>,土壤有机质分解加快<sup>[7]</sup>,土壤微生物多样性和数量的提高等<sup>[5]</sup>,均会在不同程度上加速土壤养分的循环,从而提高土壤养分。一般而言,土壤质量随着林下植被的增加而增加<sup>[8]</sup>。但随着间伐期的延长,林下植被和保留木的迅速生长会从土壤中吸收较多的营养物质,同时从林内移出的间伐木也带走了大量的养分,减少了枯落物的归还,而作为杉木人工林土壤养分重要来源的枯落物和细根分解通常较慢<sup>[9]</sup>,难以在短期内向土壤中输送足够的营养元素。因此,间伐后期,由于杉木人工林土壤养分的“取”和“给”的平衡的改变,很可能会出现“取”多“给”寡,反而引起地力衰退。通过了解间伐 7 a 后杉木人工林土壤理化性质的变化对于正确评价林地土壤养分的长期变化,以及在后期经营中是否采取适当的施肥措施具有一定指导意义。

据全国第 7 次森林资源清查结果,我国杉木人工林面积达 1 239.1 万  $\text{hm}^2$ ,蓄积量为 47 357.33 万  $\text{m}^3$ ,分别占全国人工林面积和蓄积量的 26.55% 和 46.89%,在我国林业生产和生态建设中占有重要地位。当前,有关间伐对杉木人工林土壤理化性质的影响的报道主要集中于短期<sup>[5-6]</sup>,而中期间伐的研究相对较少,间伐如何影响不同季节土壤理化性质,有待深入。笔者以间伐 7 a 后的 25 a 生杉木人工林为研究对象,探讨了杉木人工林土壤理化性质的动态变

化,旨在了解土壤理化性质对间伐响应的季节差异性,为杉木人工林的可持续经营提供一定理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于江苏省南京市溧水林场,该区域隶属于无想寺国家森林公园(31°36'N,119°01'E)的秋湖生态风景林区,地处丘陵岗地,平均海拔约 100 m,主峰无想山最高海拔 209.8 m。景区内岩石由石英粗石岩、粗安岩及砂岩组成,山地土壤多属地带性“黄棕壤”,厚度 10—100 cm,微酸性,局部地段岩石裸露较多。气候属亚热带向温带过渡的气候带,年平均气温 15.5℃,年均日照 2 146 h,年平均降水 1 005.7 mm,无霜期 220 d,四季分明。土壤均为结构疏松的黄棕壤,含石量约为 20%,枯枝落叶层厚度 11.5~21.5 cm。植被以人工林和通过封山育林形成的次生林为主。林分类型有马尾松、杉木、麻栎+小叶栎、杉木+麻栎、马尾松+麻栎等。

与间伐前相比,更新层侵入树种主要有刺楸、茅栗、山核桃、乌桕、朴树、盐肤木、臭椿、短柄枹、山胡椒等,灌草层主要侵入种有菝葜、豆腐柴、悬钩子、柘树、海金沙、铁线蕨、豆腐柴、商陆等。

### 1.2 样地设置

本试验样地为 2006 年设置的 12 块标准固定样地。按坡位(上、中、下)设置了 3 个区组,每个区组随机设置 4 种处理,采用单株间伐方式,按间伐株数所占比率分为对照(CK,0%)、弱度间伐(LIT,30%)、中度间伐(MIT,50%)、强度间伐(HIT,70%),每种处理重复 3 次,每块样地面积 20 m×20 m,且不同区组之间、同一区组不同处理之间的间隔均为 5 m。间伐 7 a 后,试验样地基本状况如表 1 所示。

表 1 试验样地的基本状况

间伐强度	林分平均密度/(株· $\text{hm}^{-2}$ )	平均胸径/cm	平均树高/m	林下植被生物量/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	林下植被丰富度指数
CK	3517	10.69	11.83	879	1.51
LIT	2579	12.39	12.58	1306	1.99
MIT	1834	12.48	14.85	2025	1.85
HIT	1235	15.71	15.42	1837	2.54

### 1.3 土壤取样

于 2012 年 4, 8, 10, 12 月中旬, 在每块固定样地内, 用土钻(内径为 6 cm)随机钻取 20 cm 深的土柱。每块标准样地内采取 9 个点, 每个处理共 27 个点。挖取的土柱分别放入相应的自封袋内, 自封袋置于装有冰块的储存箱内, 并及时将样品带回实验室用于土壤理化性质的测定。

### 1.4 土壤理化性质的测定

土壤温度: 采用温度传感器(DS1921G-F5#, Maxim, USA)对土壤 10 cm 处温度进行连续测定, 每隔 1 h 记录 1 次。每块标准样地按上、中、下坡位依次设置 3 个采样点, 每个处理共 12 个观测点, 采样周期 2012 年 1 月—12 月。各间伐处理内, 土壤春、夏、秋、冬四季的土壤温度分别为温度传感器记录的 12—1 月、3—5 月、6—8 月及 9—11 月温度的平均值。

土壤含水率采用传统烘干法测定, 土壤全 C、全 N 采用元素分析仪测定(Vario Element III, German), 全磷含量用 NaOH 烧融钼锑抗比色法测定

### 1.5 林下植被生物量与丰富度指数

取样与计算方法见王祖华等<sup>[10]</sup>。

### 1.6 统计分析

采用 Excel 2003 计算数据的平均值和标准误,

SigmaPlot 10.0 制图, Spass 20.0 进行数据处理与分析。先利用单因素方差分析不同处理间的差异, 再用 LSD 法进行多重比较( $p \leq 0.05$ )。将每块标准样地内的土壤理化性质数据求平均, 得到 1 个平均值, 调查样地内全年共有 48 个样本数, 用 Person 相关分析法比较各指标间的显著相关性。

## 2 结果与分析

### 2.1 间伐对土壤理化性质的影响

2.1.1 间伐对土壤温度和含水率的影响 间伐对土壤温度和含水率的影响见表 2。

从表中可知, 间伐对土壤温度和含水率的影响存在明显的季节差异性, 且不同的间伐强度对其影响不一致。春季, 间伐对土壤温度和含水率无显著影响; 夏季, 间伐对土壤温度无显著影响, 但 3 种间伐强度分别极显著提高了土壤含水率的 21.97%, 23.12%, 24.54%; 秋季, 3 种间伐强度均显著提高了土壤温度, 平均为 0.85℃, LIT 显著提高了土壤含水率的 9%; 冬季, 仅 MIT 显著降低了土壤温度, 而间伐对土壤含水率无显著影响。从年平均来看, 仅 LIT 显著提高了土壤温度和含水率, 分别为 0.23℃和 4%, 而 MIT 和 HIT 对其没有显著影响。

表 2 不同间伐强度内土壤理化性质的季节变化

季节	处理	温度/℃	含水率/%	全 C/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全 N/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全 P/ (g · kg <sup>-1</sup> )	C/N	N/P
春	CK	13.14±0.17a	25.33±0.73a	17.78±0.89ab	2.17±0.05a	0.36±0.03a	7.92±0.13bc	6.17±0.52b
	LIT	13.09±0.14a	23.33±1.01a	16.32±0.72ab	2.06±0.08ab	0.30±0.01a	7.76±0.12c	6.87±0.30ab
	MIT	13.23±0.01a	24.17±0.67a	15.28±0.99b	1.73±0.07c	0.21±0.01b	8.52±0.33ab	8.15±0.46a
	HIT	13.08±0.18a	23.5±0.58a	18.20±0.84a	1.93±0.06bc	0.31±0.03a	9.23±0.24a	6.45±0.70b
夏	CK	23.50±0.26a	20.67±0.17d	19.11±1.79a	1.59±0.07a	0.33±0.00ab	11.68±0.53a	4.88±0.21ab
	LIT	23.51±0.08a	22.00±0.00c	15.21±0.83b	1.40±0.05a	0.27±0.02b	10.61±0.25b	5.18±0.17a
	MIT	23.76±0.06a	23.17±0.17b	15.41±1.00b	1.40±0.08a	0.31±0.02ab	10.61±0.21b	4.61±0.30ab
	HIT	23.66±0.07a	24.67±0.00a	17.49±0.04a	1.55±0.03a	0.36±0.02a	11.01±0.16ab	4.35±0.23b
秋	CK	15.10±0.10b	27.00±0.50b	16.26±0.03b	1.75±0.05b	0.46±0.03a	8.79±0.22dc	3.81±0.11b
	LIT	15.96±0.16a	29.50±0.29a	18.17±0.75a	1.78±0.04ab	0.39±0.02b	10.08±0.18a	4.57±0.31a
	MIT	15.95±0.16a	26.67±0.33b	18.01±0.07a	1.86±0.03ab	0.38±0.01b	9.53±0.16b	4.96±0.04a
	HIT	15.95±0.01a	27.00±0.10b	17.72±0.16a	1.87±0.02a	0.40±0.01b	9.17±0.07bc	4.72±0.14a
冬	CK	4.92±0.09ab	19.33±1.01ab	17.74±1.46a	1.81±0.06a	0.37±0.01bc	9.34±0.41ab	4.91±0.21ab
	LIT	5.05±0.06a	21.67±0.60a	15.85±1.74a	1.69±0.10a	0.31±0.01c	9.00±0.51ab	5.41±0.32a
	MIT	4.49±0.05c	19.33±0.93ab	16.74±0.85a	1.69±0.03a	0.41±0.03ab	9.69±0.46a	4.22±0.38b
	HIT	4.67±0.10bc	18.33±0.44b	15.64±0.51a	1.90±0.10a	0.45±0.02a	7.92±0.53b	4.21±0.23b
平均	CK	14.17±0.09b	23.42±0.3b	17.72±0.81a	1.83±0.04a	0.38±0.01a	9.43±0.17a	4.82±0.07ab
	LIT	14.4±0.05a	24.33±0.17a	16.39±0.49a	1.73±0.04ab	0.32±0.01b	9.36±0.08a	5.46±0.24a
	MIT	14.36±0.03a	23.58±0.22ab	16.36±0.28a	1.67±0.01b	0.33±0.01b	9.59±0.18a	5.15±0.12ab
	HIT	14.34±0.05ab	23.58±0.33ab	17.26±0.28a	1.81±0.03a	0.38±0.00a	9.33±0.18a	4.78±0.07b

注: 同一列不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。

2.1.2 间伐对土壤全 C、全 N、全 P 的影响 由表 2 可知,间伐对土壤全 C、全 N 及全 P 的影响也因季节的不同而不同。春季,间伐对土壤全 C 无显著影响,MIT 和 HIT 分别显著降低了土壤全 N 的 22% 和 11%,MIT 显著降低了土壤全 P 的 42%;夏季,LIT 和 MIT 分别显著降低了土壤全 C 的 22% 和 19%,而间伐对土壤全 N 和全 P 没有显著影响;秋季,3 种间伐强度均显著提高了土壤全 C,分别提高了 11%,10%,8%,但分别显著降低了土壤全磷的 15%,17% 和 13%,仅 HIT 显著提高了土壤全 N;冬季,间伐对土壤全 C 和全 P 均无显著影响,仅 HIT 显著增加了土壤全 P 的 22%。从年平均值来看,间伐对土壤全 C 无显著影响,LIT 显著降低了土壤全 P 的 16%,MIT 分别显著降低了土壤全 N 和全 P 的 9% 和 14%,HIT 对土壤全 C、全 N 和全 P 均没有显著影响。

2.1.3 间伐对土壤 C/N 和 N/P 的影响 由表 2 可

表 3 土壤温度、含水率与土壤全 C、全 N、全 P、C/N 和 N/P 的相关性

指标	全 C/(g·kg <sup>-1</sup> )	全 N/(g·kg <sup>-1</sup> )	全 P/(g·kg <sup>-1</sup> )	C/N	N/P
温度/℃	0.066	-0.501**	-0.289*	0.633**	-0.076
含水率/%	-0.097	-0.597**	-0.370**	0.565**	-0.057

注: \* 表示差异显著, \*\* 表示差异极显著,在 0.05 水平差异显著。

## 3 讨论与结论

### 3.1 间伐对杉木人工林土壤温度和含水率的影响

土壤温度是土壤理化性质的重要生态因子之一,土壤温度的改变会直接影响到土壤有机质的分解<sup>[9]</sup>和植物根系的生长<sup>[11]</sup>,进而影响林木对土壤资源的吸收和利用<sup>[12]</sup>。通过了解间伐对土壤温度影响的动态变化,对于进一步揭示杉木林土壤养分和林木生长的变化具有重要意义。当前,由于间伐期、间伐强度和研究土层及季节的不同,有关间伐对土壤温度的影响难以得到一致的研究结果。López 等<sup>[13]</sup>对间伐 2 a 后的橡树林研究发现,土壤温度随间伐强度的增加而增加。Tian 等<sup>[14]</sup>对湖南会同杉木人工林研究发现,间伐 2 a 后土壤表层温度(0—5 cm)显著大于对照,但间伐 4~8 a 后没有影响。Jonsson 等<sup>[15]</sup>对白杨木人工林研究发现,间伐 1 a 后,中度间伐(50%)土壤温度(10 cm)没有影响,强度间伐(80%)增加了春夏季土壤温度,而对秋冬季没有显著影响。

经过对杉木人工林土壤温度(10 cm)1 a 的动态观测,我们也发现土壤温度的变化不仅与间伐强度有关,同时还受季节变化的影响,但与 Jonsson 等<sup>[15]</sup>的研究结果相反,本研究表明间伐增加了秋季土壤温度,而降低了冬季温度,但春夏季没有影响,这很可能与间伐后林下植被的生长节律有关。林下植被主要

知,间伐对各个季节的 C/N 或 N/P 均有显著影响,而对年平均值没有显著影响。春季,HIT 和 MIT 分别显著提高了土壤 C/N 和 N/P 的 17% 和 32%,而 LIT 没有影响。夏季,LIT 和 MIT 均显著降低了土壤 C/N,均为 9%,但间伐对土壤 N/P 没有显著影响;秋季,LIT 和 MIT 均显著提高了秋季土壤 C/N 和 N/P,C/N 分别提高了 15% 和 8%,N/P 分别提高了 20% 和 30%;冬季,间伐对土壤 C/N 和 N/P 均无显著差异。综上,间伐显著增加了春秋土壤 C/N 和 N/P,但显著降低了夏季土壤 C/N,而对冬季土壤 C/N 和 N/P 均无显著影响。

### 2.2 土壤温度和含水率与土壤化学性质的相关性

由表 3 可知,土壤温度和含水率均与土壤全 N 和全 P 呈显著的负相关性( $p \leq 0.05$ ),而与土壤 C/N 呈极显著的正相关性( $p \leq 0.01$ ),但与土壤全 C 和 N/P 没有显著相关性( $p > 0.05$ )。

由灌木和草本植物组成,在一年四季中具有明显的消长规律,即春季开始生长,夏季达到生长旺季,秋季开始死亡,冬季几乎殆尽。在之前的研究中,王祖华等发现该间伐样地内林下灌木和草本生物量提高了 4.26 倍;物种丰富度指数分别提高了 3.08 和 2.50 倍<sup>[10]</sup>。春夏季是植物重要生长季,与对照相比,间伐样地虽然林分密度小,但林下植被茂盛,可以吸收和阻挡部分林下光照,从而减少了到达地表的热量,因而间伐对春夏季土壤温度无显著影响。秋季来临,间伐样地内林下植被大量枯死,林分密度也较小,但此时土壤温度仍然较高(平均 15.75℃),因而间伐样地可以获得更多的地表热量出现秋季土壤温度显著提高(0.85℃)这一结果。冬季温度最低(4.78℃),对照林分密度高,林下枯落物较多,可能对土壤具有一定的保温作用,因而土壤温度高于间伐样地。

土壤中的各种生理生化反应,微生物的活动,植物的生长,均离不开土壤水分的参与。本研究表明,随着间伐强度的增加,夏季土壤含水率极显著地增加,其原因很可能与林下植被及其耗水特性有关。夏季,间伐样地内林下植被生长旺盛,可以起到涵养土壤水分的作用。同时,不同植物群落对土壤水分的消耗作用不同<sup>[16]</sup>,间伐样地内林下植被主要由灌木和草本组成,其叶面积相对较小,蒸腾作用较弱,减少了土壤水分的耗散。然而,王克勤等<sup>[6]</sup>对间伐 6 个月左

右的黄土高原土刺槐的研究发现,尽管间伐样地增加了整个生长季的林内降雨量,但 0—20 cm 土层土壤含水率反而降低。出现上述差异的原因,很可能是王克勤等研究样地间伐时间过短,间伐林地地表温度高,蒸发量大。此外,3 种间伐强度相比,LIT 提高了秋冬季及年平均土壤含水率,这很可能与 LIT 间伐样地内的降雨量较多,蒸发量较少有关,这表明间伐 30%(LIT)有利于增加土壤水分。

### 3.2 间伐对杉木人工林土壤全 N、全 P 的影响

营养元素对森林初级生产力和生物化学过程的限制作用已经得到了广泛的研究,N 和 P 营养常见的限制因子<sup>[17]</sup>。在一些研究中,土壤 N 的有效性甚至是限制植物生长的最重要影响因子<sup>[18]</sup>,土壤全 P 是我国亚热带森林的限制因子<sup>[19]</sup>。盛炜彤等<sup>[1]</sup>对我国南方杉木人工林开展了长期研究,研究表明土壤中的 N 和 P 作为杉木人工林的限制因子会影响到杉木人工林的生产力。林下植被作为森林生态系统的重要组成部分,林下植被的抚育被认为是改善杉木人林地力衰退的重要途径<sup>[4-5]</sup>。然而我们的研究表明,林下植被生物多样性和生物量均增加<sup>[10]</sup>,但土壤 N、P 反而降低。其中,壤全 N 年平均值在 MIT 中,显著降低了 9%,土壤全 P 分别在 LIT 和 MIT 中显著降低了 16%和 14%。

凋落物和细根是土壤养分的重要来源,在改善杉木人林地力衰退方面发挥着重要作用。研究表明,凋落物和细根周转较慢的林分,其土壤有机质的和全 N 较低<sup>[20]</sup>。盛炜彤等<sup>[1]</sup>认为,间伐对土壤肥力的影响主要有以下三方面:间伐因疏开林冠可能会产生水土流失;移走间伐木带走林地养分;促进林下植被发育。笔者认为,本试验中间伐样地内 N、P 的降低很可能与上述原因中的第 2 和 3 点有关。解释如下:1) 我们将间伐木整株移除林内,而这种收获方式会带走间伐木中大量的 N、P。另一方面,由于杉木自身速生丰产的特性,养分吸收量多而归还少<sup>[8]</sup>。因而,间伐后保留木的快速生长及间伐木的移除,林地土壤养分的“取”多“给”寡,在一定程度上降低土壤全 N 和全 P。2) 间伐后林分密度的急剧减小的同时,林内凋落物也随之减少,通过凋落物分解进入土壤的 N、P 也随之减少。3) 在此之下,细根则成为间伐样地土壤养分的重要来源。但我们在对细根周转的研究中发现,间伐显著减小了细根(0~2 mm)的年周转率(未发表数据)。因而,通过死亡细根向土壤返还的 N、P 不足。4) 我们间伐后林下非目的树种细根生物量显著增加了 34%(未发表数据),而植物每年用于细根生产所消耗的 N 占林木总消耗 N 的 45%~63%<sup>[21]</sup>,

因而林下植被的快速更新,很可能吸收了土壤中大量的 N。5) 经相关性分析,发现土壤温度和含水率与土壤 N、P 呈显著负相关关系(表 3)。因此,间伐后土壤温度和含水率升高很可能促进了土壤 N、P 的分解,使得更多的 N、P 被间伐样地内更新的林下植被所吸收,从而降低了土壤全 N 和全 P。

本研究还表明,间伐对土壤 N、P 的影响不仅与间伐强度有关,还与季节有关,这很可能与植物的生长节律密切联系。春季是植物最重要的生长季,与对照样地相比,间伐样地内植被较多,需要从土壤中获取较多的资源满足植物地上部分的生长,从而引起林地土壤全 N 和全 P 的降低。夏季,土壤温度高,土壤有机质分解最快,可以充分满足植物生长所需,因而间伐样地内未发现土壤养分降低。秋季,间伐样地的较多的林下植被开始大量枯萎,通过凋落物、细根分解向释放了丰富的 N、P 等重要营养元素,使土壤亚表层的全 N 和全 P 极显著增加。然而,以上解释原因均是作者的一些推论,间伐对土壤养分影响的季节差异具体是何原因,有待进一步从林内枯落物、细根向土壤释放养分归还的季节动态,植物从土壤吸收养分的季节动态方面展开深入研究。

### 3.3 结论

1) 间伐对土壤理化性质的影响存在明显的季节差异性,不同间伐强度对其影响不一致。

2) 在一定程度上,间伐 7 a 后杉木人工林土壤全 N 和全 P 有所降低,尤其是土壤全 P。

3) 从土壤 N 和 P 年平均值来看,HIT 最有利于保持林地的氮磷养分,LIT 次之,MIT 最差。

#### 参考文献:

- [1] 盛炜彤,范少辉.杉木人工林长期生产力保持机制研究[M].北京:科学出版社,2006.
- [2] 王清奎,汪思龙,冯宗炜.杉木人工林土壤可溶性有机质及其与土壤养分的关系[J].生态学报,2005,25(6):1299-1305.
- [3] 吴蔚东,张桃林.人工杉木林地有机物和养分库的退化与调控[J].土壤学报,2000,37(1):41-49.
- [4] 杨承栋,陈仲庐.发育林下植被是恢复杉木人工林地力的重要途径[J].林业科学,1995,31(3):275-283.
- [5] 张鼎华,叶章发,范必有,等.抚育间伐对人工林土壤肥力的影响[J].应用生态学报,2001,12(5):672-676.
- [6] 王克勤,王斌瑞.黄土高原刺槐林间伐改造研究[J].应用生态学报,2002,13(1):11-15.
- [7] 于海群,刘勇,李国雷,等.油松幼龄人工林土壤质量对间伐强度的响应[J].水土保持通报,2008,28(3):65-70.

## 4 结论

1) 内蒙古区域降水量呈减少趋势,但没有显著的变化趋势。内蒙古区域、东部、中部,在 1998 年前 39 a 降水量有明显增加趋势;1998 年后 13 a,内蒙古区域、东部和中部降水量有减少趋势。

2) 内蒙古全区的降水主要集中在夏季,占全年的 60%~70%之间,春秋两季所占比重相差无几,各占 15%左右,冬季的降水所占比重很少,只有 2.2%左右。从分区来看,降水量从东到西逐渐减少,各区多年平均各月降水量占全年的比例相近。东、中、西部降水量的季节分配规律相似。

3) 内蒙古降水量按分区以及全区平均的年代际分量和年际分量都存在减少趋势。区域、东部和中部 50 余年来共经历了 3 个比较明显的年代际变化。西部地区的降水量有 15 a 左右的旱涝交替周期。

4) 内蒙古区域和东部降水量突变点在 1999 年,

降水量趋势由增加转变为减少。东部和西部变化不显著,没有突变点。

### 参考文献:

- [1] 包刚,吴琼,包玉海. 近 30 年内蒙古气温和降水量变化分析[J]. 内蒙古师范大学学报:自然科学版,2012,41(6):668-674.
- [2] 兰玉坤. 内蒙古地区近 50 年气候变化特征研究[D]. 北京:中国农业科学院,2007.
- [3] 高晶. 内蒙古夏季降水变化特征及其影响因子的研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2013.
- [4] 格日勒,吴向东,尹小玲,等. 内蒙古中西部地区近 45 年冬、春季气温与降水量特征分析[J]. 内蒙古气象,2007(4):17-20.
- [5] 魏凤英. 现代气候统计诊断分析预测技术[M]. 北京:气候出版社,2007.
- [6] 雷璐,孙春敏. Mann-Kendall 检验方法在增江径流趋势分析中的应用[J]. 中国科技信息,2012(19):39.
- [8] 丁松,应学亮,吕丹,等. 赣南飞播马尾松林林下植被盖度对土壤质量的影响[J]. 水土保持研究,2014,21(3):31-36.
- [9] 陈龙池,汪思龙,陈楚莹. 杉木人工林衰退机理探讨[J]. 应用生态学报,2004,15(10):1953-1957.
- [10] 王祖华,李瑞霞,王晓杰,等. 间伐对杉木人工林林下植被多样性及生物量的影响[J]. 生态环境学报,2010,19(12):2778-2782.
- [11] Kaspar T C, Bland W L. Soil temperature and root growth[J]. Soil Science,1992,154(4):290-299.
- [12] Lahti M, Aphalo P J, Finér L, et al. Effects of soil temperature on shoot and root growth and nutrient uptake of 5-year-old Norway spruce seedlings[J]. Tree physiology,2005,25(1):115-122.
- [13] López B C, Sabate S, Gracia C A. Thinning effects on carbon allocation to fine roots in a Quercus ilex forest [J]. Tree physiology,2003,23(17):1217-1224.
- [14] Tian D L, Yan W D, Fang X, et al. Influence of thinning on soil CO<sub>2</sub> efflux in Chinese fir plantations [J]. Pedosphere,2009,19(3):273-280.
- [15] Jonsson J A, Sigurdsson B D. Effects of early thinning and fertilization on soil temperature and soil respiration in a poplar plantation[J]. Iceland Agric. Sci.,2010,23:97-109.
- [16] 苏嫻,焦菊英,马祥华. 黄土丘陵沟壑区主要群落地上生物量季节变化及其与土壤水分的关系[J]. 水土保持研究,2012,19(6):7-12.
- [17] Vitousek P M, Porder S, Houlton B Z, et al. Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen-phosphorus interactions [J]. Ecological Applications,2010,20(1):5-15.
- [18] Sigurdsson B D. Environmental control of carbon uptake and growth in a Populus trichocarpa plantation in Iceland[J]. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences,2001.
- [19] 刘兴诏,周国逸,张德强,等. 南亚热带森林不同演替阶段植物与土壤中 N,P 的化学计量特征[J]. 植物生态学报,2010,34(1):64-71.
- [20] 葛晓改,黄志霖,程瑞梅,等. 三峡库区马尾松人工林凋落物和根系输入对土壤理化性质的影响[J]. 应用生态学报,2012,23(12):3301-3308.
- [21] Guo D, Xia M, Wei X, et al. Anatomical traits associated with absorption and mycorrhizal colonization are linked to root branch order in twenty-three Chinese temperate tree species[J]. New Phytologist, 2008,180(3):673-683.

(上接第 73 页)