

间伐对杉木人工林林下植被多样性及其营养元素现存量影响

成向荣¹, 徐金良², 刘佳^{1,3}, 虞木奎^{1*}

1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 浙江省开化县林场, 浙江 开化 324300;

3. 西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100

摘要: 间伐改变了林分结构, 影响林下植被的生长和发育, 但长期间伐对杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林下植被多样性的影响尚缺乏系统研究。在浙江开化通过样地调查, 采用 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数研究 3 种间伐处理下杉木人工林林下植被多样性的变化; 分析林下植被主要营养元素含量, 研究间伐对营养元素现存量的影响。以试验区传统经营方式为对照, 即林木生长中期 (第 14 年) 进行 1 次轻度间伐 (间伐强度约 15%, T1); 中度 (总间伐强度约 35%, T2) 和强度 (总间伐强度约 50%, T3) 间伐均在第 7 年和第 14 年进行了 2 次间伐。间伐 15 年后的结果表明, 3 种间伐处理下, 林下植物种类数分别为 18 种 (T1)、17 种 (T2) 和 20 种 (T3), 林下植被总密度和盖度均随间伐强度增加而增大; 林下植物 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数在不同间伐处理之间均没有显著差异 ($P>0.05$)。林下植被全碳 (TC)、全磷 (TP) 和全钾 (TK) 含量在不同间伐处理之间差异不显著 ($P>0.05$), 全氮 (TN) 含量随间伐强度增加而降低, 其中 T3 处理显著低于 T1 ($P<0.05$)。林下植被生物量随间伐强度增大而增加, 林下植被 TC、TN、TP 和 TK 现存量在不同间伐处理之间均没有显著差异 ($P>0.05$)。这些试验结果说明杉木人工林间伐 15 年后间伐强度不会显著影响林下植被多样性和营养元素的积累。

关键词: 杉木; 间伐; 林下植被多样性; 营养元素; 生物量

中图分类号: Q948

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2014) 01-0030-05

引用格式: 成向荣, 徐金良, 刘佳, 虞木奎. 间伐对杉木人工林林下植被多样性及其营养元素现存量影响[J]. 生态环境学报, 2014, 23(1): 30-34.

CHENG Xiangrong, XU Jinliang, LIU Jia, YU Mukui. Effect of thinning on understory vegetation diversity and its nutrient stocks in *Cunninghamia lanceolata* plantation [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(1): 30-34.

杉木 *Cunninghamia lanceolata* 是我国南方山地最重要的用材林造林树种, 具有生长快、生物产量高、经济效益显著等特点, 其木材广泛用于建筑、家具等方面, 在我国林业建设中具有重要的地位。通常杉木造林密度较大, 为了改善林分结构, 提高林分质量, 必须通过抚育间伐合理调整林分密度。间伐通过调整林分结构, 改变了林内光、温度及土壤养分、水分等资源, 因而对林下植被发育和分布等有重要影响 (毛志宏和朱教君, 2006; Verschuyt et al., 2011; Cheng et al., 2013)。现有的多数研究表明, 杉木、马尾松 *Pinus massoniana*、红松 *Pinus koraiensis* 等主要造林树种间伐后短期内林下植物种类和多样性比对照显著增加 (于立忠等, 2006; 毛志宏等, 2006; 李瑞霞等, 2012; 王祖华等, 2010)。但对油松 *Pinus tabulaeformis* 人工林的间伐试验表明, 间伐 6 a 后不同间伐处理油松林下植物

种类、多样性指数、均匀度指数均比间伐 1 a、2 a 后降低 (马履一等, 2007), 这表明随林木的生长, 间伐对林下植物多样性的影响将会发生变化。间伐后随林木生长, 林内环境逐渐趋于一致, 是否会导致不同间伐强度林下植物种类组成和多样性差异逐渐消失? 然而间伐对林下植被多样性的长期影响尚缺乏系统研究 (Verschuyt et al., 2011)。此外, 林下植被组成及其生物量大小在森林生态系统养分循环过程中发挥了重要作用 (杨昆和管东生, 2006; 李春义等, 2006; 陈民生等, 2008)。方海波等 (1998) 研究证实, 不同林下植物营养元素含量呈现较大差异。因此, 间伐导致林下植被多样性的变化必然影响其营养元素储存量的大小。但间伐如何影响林下植被营养元素的积累, 相关研究仍十分贫乏。为此, 在浙江开化县林场, 以 2 次间伐的 22 年生杉木人工林为研究对象, 研究间伐 15 年后

基金项目: 国家自然科学基金 (31300519); 浙江省自然科学基金 (LY12C16007); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 (RISF61257)

作者简介: 成向荣 (1979 年生), 男, 博士, 主要从事林业生态工程研究。E-mail: chxrd@sohu.com

*通讯作者, E-mail: ylsymk@gmail.com

收稿日期: 2013-09-05

不同间伐强度对杉木人工林林下植被多样性，营养元素含量及其现存量的影响。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

试验区位于浙江省开化县林场城关分场小桥头林区（东经 118°25′，北纬 29°09′）。供试林分为 1991 年春季采用优良家系群体无性化扦插苗造林，初植密度为 3 000 株·hm⁻²。

试验区年平均气温 16.4 ℃，年平均降雨量 1 814 mm，无霜期 252 d，年日照总时数 1 334.1 h，气候属亚热带季风气候。试验地前茬为马尾松疏林，海拔 180~300 m，土壤为红黄壤，土层厚度 80 cm 以上，质地疏松，平均坡度 20°，立地指数 18（基准年龄 20 a）。

1.2 间伐试验

1997 年 7 月，在小桥头林区选择坡向一致的 7 年生杉木人工林，在上、中、下坡位设置 3 个区组。每个区组设置对照（T1）、中度间伐（T2）和强度间伐（T3）3 种间伐处理小区，小区面积 20 m×20 m，共 9 个小区。间伐前林分生长特征基本一致，没有显著差异。间伐前对每个小区所有林木逐株编号、划定胸径线，进行每木检尺。按照留优去劣、间密留匀、兼顾株间距的原则，采用下层间伐法对林分进行间伐（主要伐去平均木以下的个体）。杉木林分于 1997 年 7 月和 2004 年 11 月进行 2 次间伐，第 1 次间伐强度间伐处理为 33%（以林分密度计），中度间伐为 20%，对照不间伐；第 2 次间伐：强度间伐 18%，中度间伐 16%，对照 15%左右。需要指出的是，本文对照处理为研究区杉木用材林传统经营方式，整个轮伐期（25 年）仅在林木生长中期进行 1 次轻度间伐。2012 年 10 月对所有试验小区进行每木检尺，林分基本状况见表 1。

1.3 样地调查

在每块样地内，在样地对角线设置 6 个 1 m×1 m 的小样方（每条对角线上 3 个），记录每个样方内的植物种类，个数（丛数）、盖度、高度等，然后刈割地上部分，地下部分采用全挖法实测生物量。将收集的林下植被样品在 75 ℃下烘至恒质量。然后根据样方内林下植被干生物量推算单位面积生物量。取适量烘干样品测定全碳（TC）、全氮

（TN）、全磷（TP）和全钾（TK）含量。林下植被这 4 种营养元素现存量根据其含量和生物量来计算。样品 TC 采用重铬酸钾氧化-外加热法测定，TN 采用凯氏定氮法测量，TP 用钼蓝比色法，TK 用火火焰光度法（鲍士旦，2000）。

物种多样性指标包括 Shannon-Wiener 多样性指数 H' 、Simpson 多样性指数 D' 和 Pielou 群落均匀度指数 J' ，具体计算如下：

$$H' = - \sum_{i=1}^N P_i \ln(P_i), \quad (1)$$

$$D' = 1 / \sum_{i=1}^N P_i^2, \quad (2)$$

$$J' = (- \sum_{i=1}^N P_i \ln(P_i)) / \ln S, \quad (3)$$

式中： S 为样方内物种总数， N 为样方内所有植物总个体数， N_i 表示第 i 种植物个体数， P_i 是第 i 种植物个体数 N_i 占总个体数 N 的比例。

1.4 数据分析

所有数据用 Excel 2003 和 SPSS17.0 进行分析处理，不同间伐处理之间植被多样性、营养元素含量和元素现存量的差异采用单因素方差分析来检验，并进行 Duncan 多重比较。

2 结果与讨论

2.1 不同间伐处理林下植物种类的变化

林下植物的调查结果显示，3 种间伐处理林下共出现植物 29 种，隶属于 20 科 27 属（表 2）。其中 T1 处理出现 18 种植物，T2 处理 17 种，T3 处理 20 种。林下植被总密度和盖度均随间伐强度增加而增大。T1、T2 和 T3 处理草本植物种类数分别为 13、12 和 13 种；灌木种类数分别为 4、3 和 5 种，藤本植物占的比例较小。由此可见，3 种间伐处理均以草本植物为主，各间伐处理样地内优势植物种均为蕨类植物（如狗脊蕨 *Woodwardia japonica*、金星蕨 *Parathelypteris glanduligera*）。多数研究发现，间伐后短期内（1~5 a）林下植物种类和盖度增加。本研究仅强度间伐处理（T3）林下植物种类数增加，

表 1 不同间伐处理林分基本情况
Table 1 Basic stand characteristics in different thinning treatments

间伐处理	立地指数	林龄/a	密度 ρ /株·hm ⁻²	平均树高 H /m	平均胸径 d /cm	郁闭度 η /%
T1	18	22	1 985	16.8	19.6	0.98
T2	18	22	1 530	17.2	21.5	0.96
T3	18	22	1 334	17.7	22.3	0.93

表 2 不同间伐处理林下植物种类
Table 2 Understory plants species in different thinning treatments

植物名称	属名	科名	T1	T2	T3
金星蕨 <i>Parathelypteris glanduligera</i>	金星蕨属	金星蕨科	✓	✓	✓
淡竹叶 <i>Herba Lophateri</i>	淡竹叶属	禾本科			✓
耳草 <i>Hedyotis auricularia</i>	耳草属	茜草科	✓	✓	✓
一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	飞蓬属	菊科			✓
裸果苔草 <i>Carex brunnea</i>	苔草属	莎草科	✓	✓	✓
海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	海金沙属	海金沙科	✓		
求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	求米草属	禾本科	✓	✓	✓
芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	芒萁属	里白科	✓	✓	✓
鸡矢藤 <i>Paederia scandens</i>	鸡矢藤属	茜草科		✓	✓
山胡椒 <i>Litsea cubeba</i>	山胡椒属	樟科	✓		
黑莎草 <i>Gahnia tristis</i>	黑莎草属	莎草科	✓	✓	
覆盆子 <i>Rubus idaeus</i>	悬钩子属	蔷薇科	✓		
山矾 <i>Symplocos caudata</i>	山矾属	山矾科	✓		✓
豆腐柴 <i>Premna microphylla</i>	豆腐属	马鞭草科	✓	✓	✓
紫金牛 <i>Ardisia japonica</i>	紫金牛属	紫金牛科	✓		
商陆 <i>Phytolacca acinosa</i>	商陆属	商陆科		✓	✓
乌蕨 <i>Stenoloma chusanum</i>	乌蕨属	鳞始蕨科	✓		✓
华紫珠 <i>Callicarpa cathayana</i>	紫珠属	马鞭草科		✓	✓
狗脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i>	狗脊属	乌毛蕨科	✓	✓	✓
油茶 <i>Camellia oleifera</i>	山茶属	山茶科			✓
木防己 <i>Cocculus orbiculatus</i>	木防己属	防己科			✓
菝葜 <i>Smilax china</i>	菝葜属	百合科		✓	✓
白背叶 <i>Mallotus apelta</i>	野桐属	大戟科	✓		✓
紫萁 <i>Osmunda japonica</i>	紫萁属	紫萁科	✓	✓	
里白 <i>Diplopterygium glaucum</i>	里白属	里白科		✓	
乌毛蕨 <i>Blechnum orientale</i>	乌毛蕨属	乌毛蕨科	✓	✓	✓
光叶菝葜 <i>Smilax corbularia</i>	菝葜属	百合科	✓		
苦竹 <i>Pleioblastus amarus</i>	大明竹属	禾本科		✓	✓
山莓 <i>Rubus buergeri</i>	悬钩子属	蔷薇科		✓	
灌木			4	3	5
草本			13	12	13
藤本			1	2	2
合计物种数			18	17	20
总密度/ (10 ⁴ ·株·hm ⁻²)			10.2	10.8	12.5
总盖度/%			79.3	84.6	92.1

✓表示间伐处理中此种植物出现

中度间伐 (T2) 与对照 (T1) 处理接近。这可能是因为间伐后短期内林分环境改善 (增加林下光照) 促进林下植被发育, 但随着林木生长, 郁闭度增加, 不同间伐处理林下环境逐渐趋于一致, 间伐处理林下阳性植物逐渐消失, 导致不同间伐处理林下植物种类差异减小。油松人工林的间伐试验表明, 间伐 6 a 后油松林下植物种类比间伐 1 a、2 a 后降低 (马履一等, 2007)。美国花旗松 *Pseudotsuga menziesii* 间伐试验也表明, 间伐 11 a 后林下植被盖度和丰富度随间伐强度增加而增大 (Ares et al., 2010), 间伐 27 a 后林下植被盖度和丰富度与对照处理之间没有显著差异 (He 和 Barclay, 2000)。这些研究结果说明间伐后林下植物种类数量和组成将会发生改变。

2.2 不同间伐处理林下植被多样性和丰富度的变化

杉木人工林林下植被多样性的调查显示, 林下

植物 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数在不同间伐处理之间均没有显著差异 ($P>0.05$) (表 3), 这表明相对于传统间伐处理 (T1), 经过 2 次间伐的杉木人工林不同间伐强度 (T2 和 T3) 林下植被多样性不会发生显著变化, 其原因可能是随着林分生长、郁闭度增加, 林下环境接近,

表 3 不同间伐处理林下植被多样性指数和
均匀度指数 (平均值±标准误差)

Table 3 Understory plants diversity index and evenness index in
different thinning treatments (means ± standard error)

间伐处理	Simpson 指数 <i>D</i>	Shannon-Wiener 指数 <i>H'</i>	Pielou 均匀度指数 <i>J</i>
T1	0.852±0.037a	0.939±0.090a	0.905±0.029a
T2	0.858±0.024a	0.926±0.055a	0.896±0.015a
T3	0.876±0.019a	0.948±0.034a	0.906±0.024a

表中不同字母表示各处理之间差异显著 ($P<0.05$)

因而林下植物生长差异较小，导致不同间伐处理之间林下植物多样性差异不显著。这与现有的一些研究结果一致。雷向东等（2005）对落叶松 *Larix olgensis*+云杉 *Picea asperata*+冷杉 *Abies nephrolepis* 混交林间伐 12 a 后的观测得出，20%和 30%左右的间伐强度没有显著改变林下植被多样性。Sullivan 等（2002）指出间伐（5 a 后）不会显著影响美国黑松 *Pinus contorta* 林下植被丰富度和多样性。然而多数研究表明，间伐后短期内林下植被多样性显著增加。王祖华等（2010）研究指出，杉木间伐 4 a 后，间伐处理显著提高了林下植被的物种丰富度、Simpson 指数、Shannon-Weiner 指数和生物量，而对均匀度指数无显著影响。李瑞霞等（2012）研究也发现，马尾松间伐 1 a 和 5 a 后，与对照相比，中强度间伐林下植物种类、数量、丰富度 Margalef 指数、多样性 Simpson、Shannon-Weiner 指数和均匀度指数均显著提高。其他对油松和红松等树种的间伐研究也得出类似结论（于立忠等，2006；马履一等，2007；Sullivan et al., 2009）。此外，也有研究认为间伐和其他的人为干扰会导致草本植物丰富度或多样性的长期下降（Buongiorno 和 Dahir, 1994）。目前，有关间伐对植物多样性的影响尚没有一致结论（Verschuyl et al., 2011）。因此，研究不同间伐强度林下植物多样性的动态变化，还有待进行长期的定位观测。

2.3 不同间伐处理林下植被营养元素含量及其现存量

森林林下植被组成复杂，分解速率快，因而在森林生态系统养分循环中发挥了重要作用。从表 4 可以看出，林下植被 TC、TP 和 TK 在不同间伐处理之间均没有显著差异（ $P>0.05$ ），TN 含量随间伐强度增加而降低，其中 T3 处理显著低于 T1（ $P<0.05$ ）。一些研究表明，林下植物营养元素含量因植物种类不同而存在较大差异（方海波等，1998；Bauhus et al., 2001）。本研究在林下植被营养元素含量（TN 除外）在 3 种间伐处理之间没有显著差异，可能主要与林下植被组成中优势物种基本一致有关。

林下植被 TC、TP 和 TK 现存量均随间伐强度增加而增大，3 种间伐处理 TN 现存量接近，但这 4 种营养元素现存量在不同间伐处理之间均没有显著差异（ $P>0.05$ ）（表 5）。林下植被这 4 种主要元素现存量大小取决于元素含量和生物量。林下植被生物量在不同间伐处理之间差异不显著。尽管林下植被 TN 含量随间伐强度增加而降低，但生物量随间伐强度增加而增大，因而林下植被 TN 现存量在 3 种间伐处理之间接近。方海波等（1998）研究

表 4 不同间伐处理林下植被营养元素含量

Table 4 Nutrients contents of the understory vegetation in different thinning treatments

间伐处理	$\eta_{TC} / \%$	$w_{TN} / (g \cdot kg^{-1})$	$w_{TP} / (g \cdot kg^{-1})$	$w_{TK} / (g \cdot kg^{-1})$
T1	43.15±2.97a	21.50±4.95a	0.96±0.17a	16.25±5.16a
T2	44.70±0.85a	18.20±2.83ab	1.06±0.06a	19.15±1.04a
T3	44.52±1.02a	14.73±1.83b	0.94±0.32a	15.25±4.48a

表中不同字母表示各处理之间差异显著（ $P<0.05$ ）

表 5 不同间伐处理林下植被营养元素现存量

Table 5 Nutrients storage of understory vegetation in different thinning treatments

间伐处理	$\rho_{TC} / (kg \cdot hm^{-2})$	$\rho_{TN} / (kg \cdot hm^{-2})$	$\rho_{TP} / (kg \cdot hm^{-2})$	$\rho_{TK} / (kg \cdot hm^{-2})$
T1	548.97±296.95a	26.94±12.82a	1.20±0.57a	20.37±9.69a
T2	604.62±357.41a	24.62±14.55a	1.43±0.84a	25.90±15.31a
T3	810.94±133.76a	26.97±4.43a	1.72±0.28a	27.93±4.58a

表中不同字母表示各处理之间差异显著（ $P<0.05$ ）

表明，杉木间伐后林下灌木和草本 TN、TP 和 TK 积累量均明显高于对照处理。这种差异主要与间伐后持续时间长短有关。

3 结论

对浙江开化不同间伐处理林下植被多样性及其营养元素含量的研究，可以得出：

- （1）相对于传统经营方式（轮伐期内进行 1 次轻度间伐），2 次间伐的中度和强度间伐处理林下植被多样性并没有发生显著变化。
- （2）林下植被 TC、TP 和 TK 在不同间伐处理之间均没有显著差异（ $P>0.05$ ），TN 含量随间伐强度增加而降低，其中 T3 处理显著低于 T1（ $P<0.05$ ）。
- （3）林下植被 TC、TN、TP 和 TK 现存量在不同间伐处理之间均没有显著差异（ $P>0.05$ ）。

参考文献：

ARES A, NEILL A R, PUETTMANN K J. 2010. Understory abundance, species diversity and functional attribute response to thinning in coniferous stands [J]. Forest Ecology and Management, 260: 1104-1113.

BAUHUS J, AUBIN I, MESSIER C, et al. 2001. Composition, structure, light attenuation and nutrient content of the understorey vegetation in a *Eucalyptus sieberi* regrowth stand 6 years after thinning and fertilization [J]. Forest Ecology and Management, 144:275-286.

BUONGIORNO J, DAHIR S. 1994. Tree size diversity and economic returns in uneven-aged forest stand [J]. Forest Science, 40(1):83-103.

CHENG Xiangrong, YU Mukui, WU Tonggui. 2013. Effect of forest structural change on carbon storage in a coastal *Metasequoia glyptostroboides* stand [J]. The ScientificWorld Journal. Volume 2013, Article ID 830509, 9 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/830509>.

HE F L, BARCLAY H J. 2000. Long-term response of understory plant species to thinning and fertilization in a Douglas-fir plantation on southern Vancouver Island, British Columbia [J]. Canadian Journal of Forest Research, 30: 566-572.

SULLIVAN T P, SULLIVAN D S, LINDGREN P M F, et al. 2002.

- Influence of conventional and chemical thinning on stand structure and diversity of plant and mammal communities in young lodgepole pine forest [J]. *Forest Ecology and Management*, 170:173-187.
- SULLIVAN T P, SULLIVAN D S, LINDGREN P M F, et al. 2009. Stand structure and the abundance and diversity of plants and small mammals in natural and intensively managed forests [J]. *Forest Ecology and Management*, 258S: S127-S141.
- VERSCHUYL J, RIFFELL S, MILLER D, et al. 2011. Biodiversity response to intensive biomass production from forest thinning in North American forests-A meta-analysis [J]. *Forest Ecology and Management*, 261: 221-232.
- 鲍士旦. 2000. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社:263-270.
- 陈民生, 赵京岚, 刘杰, 等. 2008. 人工林林下植被研究进展[J]. *山东农业大学学报:自然科学版*, 39(2):321-325.
- 方海波, 田大伦, 康文星. 1998. 林下植被营养元素含量特点与积累动态-杉木人工林间伐后林下植被养分动态的研究[J]. *中南林业学院学报*, 18(2):1-5.
- 黄丹, 惠晓萍, 韩玉洁, 等. 2012. 不同强度间伐对奉贤区水源涵养林及其林下植物多样性的影响[J]. *上海交通大学学报:农业科学版*, 30(6):41-46.
- 雷向东, 陆元昌, 张会儒, 等. 2005. 抚育间伐对落叶松云冷杉混交林的影响[J]. *林业科学*, 41(4):78-85.
- 李春义, 马履一, 徐昕. 2006. 抚育间伐对森林生物多样性影响研究进展[J]. *世界林业研究*, 19(6):27-32.
- 李瑞霞, 马洪靖, 闵建刚, 等. 2012. 间伐对马尾松人工林林下植物多样性的短期和长期影响[J]. *生态环境学报*, 21(5):807-812.
- 马履一, 李春义, 王希群, 等. 2007. 不同强度间伐对北京山区油松生长及其林下植物多样性的影响[J]. *林业科学*, 43(5):1-9.
- 毛志宏, 朱教君, 刘足根, 等. 2006. 间伐对落叶松人工林内草本植物多样性及其组成的影响[J]. *生态学杂志*, 25(10):1201-1207.
- 毛志宏, 朱教君. 2006. 干扰对植物群落物种组成及多样性的影响[J]. *生态学报*, 26(8):2695-2701.
- 王祖华, 李瑞霞, 王晓杰, 等. 2010. 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*, 19(12):2778-2782.
- 杨 昆, 管东生. 2006. 林下植被的生物量分布特征及其作用[J]. *生态学杂志*, 25(10):1252-1256.
- 于立忠, 朱教君, 孔祥文, 等. 2006. 人为干扰(间伐)对红松人工林林下植物多样性的影响[J]. *生态学报*, 26(11):3757-3764.

Effect of thinning on understory vegetation diversity and its nutrient stocks in *Cunninghamia lanceolata* plantation

CHENG Xiangrong¹, XU Jinliang², LIU Jia^{1,3}, YU Mukui^{1*}

1. Institute of Subtropical Forestry, CAF Fuyang 311400, China; 2. Kaihua Forestry Farm, Kaihua 324300, China;

3. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, China

Abstract: Thinning changed stand structure, which influenced growth and development of understory vegetation. Long term effect of thinning on understory vegetation diversity is still poorly understood. Simpson index、Shannon-Wiener index and Pielou index were used to evaluate understory vegetation diversity in three thinning treatments in Chinese fir plantations in Kaihua County, Zhejiang Province, China. Change of nutrient contents and current nutrient stocks of the understory vegetation in the three thinning treatments were also studied. Traditional silviculture operation as a control (stand was thinned approximately 15% (T1) at the 14th year during a rotation), moderate (total thinning intensity approximately 35%, T2) and heavy intensity (total thinning intensity approximately 50%, T3) thinning treatments were thinned twice (in the 7th year and 14th year). 15 years after thinning, the number of plant species in the three thinning treatments was 18 (T1), 17 (T2) and 20 (T3), respectively. Total plant density and coverage of the understory vegetation increased with the increase of thinning intensity. The Simpson index、Shannon-Wiener index and Pielou index of the understory vegetation were no significant differences among the three thinning treatments ($P>0.05$). Total carbon (TC), total phosphorus (TP) and total potassium (TK) contents of the understory vegetation were not significantly different among these three thinning treatments ($P>0.05$). Total nitrogen (TN) content reduced with increasing thinning intensity, TN in T3 treatment was significantly lower than that in T1 treatment ($P<0.05$). The biomass of understory vegetation increased with the increase of thinning intensity. No significant difference was detected in TC, TN, TP or TK stocks of understory vegetation among the three thinning treatments ($P>0.05$). These results illustrate thinning intensity may not have a significant impact on understory vegetation diversity and nutrient accumulation in Chinese fir plantation after 15 years treatment.

Key words: Chinese fir; thinning; understory vegetation diversity; nutrients; biomass