

浙江农林大学学报, 2014, 31(2): 272 – 279

Journal of Zhejiang A & F University

doi:10.11833/j.issn.2095-0756.2014.02.016

林地覆盖经营对雷竹叶片主要养分特征的影响

陈 珊, 陈双林, 郭子武, 樊艳荣

(中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江富阳 311400)

摘要: 为揭示林地覆盖经营雷竹 *Phyllostachys violascens* 林退化机理, 给退化雷竹林恢复提供参考, 探讨了短期覆盖(覆盖 1 a), 休养式覆盖(覆盖 3 a 休养 3 a), 长期覆盖(覆盖 6 a) 和不覆盖雷竹林 2 年生和 3 年生立竹叶片主要养分含量及其相关性和养分再吸收的变化规律。结果表明: 相同覆盖经营年限雷竹林立竹成熟叶主要养分含量和再吸收率总体上 2 年生立竹大于 3 年生立竹。林地覆盖经营对雷竹 2 年生和 3 年生立竹成熟叶、老化叶氮、磷、钾和镁质量分数均有较明显的影响($P<0.05$), 其中, 短期和休养式覆盖经营雷竹林成熟叶氮、磷和钾质量分数升高, 长期覆盖经营雷竹林成熟叶氮和钾质量分数显著下降($P<0.05$), 磷质量分数显著升高($P<0.05$), 而成熟叶镁质量分数不同覆盖年限雷竹林均有下降。短期和休养式覆盖经营能提高立竹叶片主要养分再吸收率($P<0.05$), 增强立竹叶片养分元素间相关性, 而长期覆盖经营虽显著提高了叶片氮和磷再吸收率, 但降低了钾和镁再吸收率, 并使立竹叶片养分元素间相关性明显减弱。研究表明: 林地覆盖经营不仅影响雷竹林立竹叶片的养分状况, 而且会干扰叶片养分的再吸收性。长期林地覆盖经营对雷竹生长发育会产生负面影响, 生产中应采用休养式林地覆盖经营方式。图 1 表 3 参 29

关键词: 森林培育学; 雷竹; 林地覆盖经营; 养分含量; 养分再吸收

中图分类号: S795.7 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2014)02-0272-08

Leaf nutrient degradation due to mulching in a *Phyllostachys violascens* stand

CHEN Shan, CHEN Shuanglin, GUO Ziwu, FAN Yanrong

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Forestry Academy, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

Abstract: To determine degradation in a *Phyllostachys violascens* stand due to mulching and to provide theoretical guidance for regeneration of degraded bamboo stands. Treatments included stands with short-term (1 year), respite (mulched 3 years and rested 3 years), long-term mulching (6 years), and with no mulching (ck) as a control. With 3 plots of each treatments, plots were chosen that had similar slope, aspect, area(each plot not less than 0.1 hectares) etc. Bamboo leaves of 2- and 3-year-old culms was collected in each plots, and a total of 18 replications of each age bamboo. The leaves nutrients concent of bamboo were determined, and the significant analysis of nutrients concent, resorption efficiency along with leaf content, the correlation analysis of major leaf nutrients in 2- and 3-year-old culms with different mulch management durations was done with Office-Excel software and SPSS 10.0 software($P = 0.05$). Results showed that nutrient content of mature leaves and their resorption efficiency for 2-year-old culms was significantly higher ($P<0.05$) than that of 3-year-old culms. Compared with the control, N, P, and K increased significantly($P<0.05$) in short-term and respite mulched stands; N declined significantly ($P<0.05$), but P was in adverse ($P<0.05$) in long-term mulched stands; and Mg

收稿日期: 2013-04-25; 修回日期: 2013-06-05

项目基金: 国家林业局林业科学技术推广项目[(201102)号]; 浙江省林业科技推广项目(2011B01); 浙江省农业科技成果转化项目(2012T201-03)

作者简介: 陈珊, 从事竹林生态与培育研究。E-mail: chenshan927@163.com。通信作者: 陈双林, 研究员, 博士, 从事竹林生态与培育研究。E-mail: cslbamboo@126.com

decreased significantly ($P<0.05$) in all stands. Nutrient resorption efficiency and the correlation between different nutrient elements both increased significantly ($P<0.05$) in short-term and respite mulched stands; whereas in long-term mulched stands, apart from a significant increase ($P<0.05$) of N and P resorption efficiency, both declined significantly ($P<0.05$). Thus, mulch management affected nutrient content and resorption efficiency of leaves with long-term mulching causing negative impacts on growth and development of *Ph. violascens* stands; respite mulched treatments should be adopted in production.[Ch, 1 fig. 3 tab. 29 ref.]

Key words: silviculture; *Phyllostachys violascens*; mulch management; nutrient content; nutrient resorption efficiency

叶片养分含量是土壤养分吸收、大气沉降等输入过程与养分再吸收、淋溶等输出过程平衡作用的结果^[1],既能反映植物生长发育对养分的需求,又能反映土壤养分的供应状况^[2],可以用来对植物进行养分诊断^[3-4]。而叶片养分的再吸收反映了植物对养分的吸收利用特性,不仅可以降低植物对土壤养分可利用性波动的影响,而且能减少凋落物分解时的养分淋溶量,从而减缓养分从整个系统中的损失,降低了植物对环境养分供应的依赖,是植物保持营养最重要的策略之一,也是植物适应养分贫乏环境的重要机制^[5-6],对植物的竞争、营养吸收和适应性等都有着重要的影响^[7]。有研究表明:当土壤养分供应充足时,植物主要依靠提高养分含量来维持生命活动的进行,而当土壤养分贫乏时,主要通过提高养分再吸收来适应环境的变化^[8]。也有研究表明:养分有效性对养分再吸收效率^[9]和养分含量^[10]没有明显的控制作用。这些不尽相同的研究结果可能与物种、生活型以及立地环境等的不同有关。雷竹 *Phyllostachys violascens* 是优良笋用竹种,具有出笋早、产量高、笋味鲜美等特点,在中国许多省份有规模化引种栽培。20世纪90年代以来,浙江省一些雷竹产区采用早产高效经营技术,不仅出笋时间明显提前,而且竹笋产量和经济效益显著提高,对区域雷竹林资源发展和竹笋业经营水平提高起到了极大的推动作用。但随着林地覆盖经营年限的增加,雷竹林土壤性状发生劣变,如土壤酸化、有机态营养耗竭^[11]、酶活性异常、重金属含量升高^[12]等,导致雷竹林鞭竹系统的结构稳定性降低,功能下降,如竹鞭明显上浮,幼龄化严重,总鞭长下降,鞭芽数减少,鞭径变小^[13],立竹冠长缩短,叶片叶绿素含量降低^[14],立竹年龄结构不合理^[15],立竹胸径减小,整齐度、均匀度降低^[16],竹子开花现象严重^[17]等,已影响到雷竹林的可持续经营。为此,鉴于林地覆盖经营对雷竹生长发育和生长环境的明显影响,本试验开展了不同林地覆盖经营年限雷竹林不同年龄立竹叶片主要养分元素含量及其相关性和再吸收的比较研究,分析林地覆盖经营对雷竹叶片养分储存与利用能力的可能影响,这对于揭示林地覆盖经营雷竹林退化机制,指导退化雷竹林恢复具有重要的科学价值和生产指导意义。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

试验地位于浙江省临安市太湖源镇,30°20' N, 119°37' E, 属中亚热带季风气候,温暖湿润,四季分明。该区年降水量为1 250~1 600 mm,年平均气温15.4℃,极端低温-13.3℃,极端高温40.2℃,≥10℃的年均积温5 100℃,年均无霜期235 d,年日照时数1 850~1 950 h。土壤为红壤。试验区属临安市雷竹重点产区,全镇有雷竹林面积0.4万hm²,是雷竹林覆盖高效栽培技术推广最早、面积最大的乡镇,竹笋业是区域农村家庭经济收入的主要来源。由于长期集约经营和林地连年覆盖,雷竹林地力衰退现象严重。

1.2 试验雷竹林选择

2012年7月,在试验区20世纪90年代末发展起来的雷竹林中,根据覆盖实际情况,分别选择短期覆盖(覆盖1 a, A),休养式覆盖(覆盖3 a后休养3 a, B),长期覆盖(覆盖6 a, C)和不覆盖雷竹林(ck)各3块,雷竹林面积不小于0.1 hm²·块⁻¹。A, B, C和ck试验雷竹林立竹密度分别为16 900, 18 200, 14 420, 16 400株·hm⁻²,立竹胸径分别为4.35, 4.19, 4.25, 3.75 cm,年龄结构(3年生:2年生:1年生)分别为1.00:1.12:2.65, 1.00:1.06:1.81, 1.00:0.76:2.47, 1:0.98:3.04。试验雷竹栽植前均为种植水稻 *Oryza sativa* 的农业耕作地,土地平整,雷竹栽植时立地条件一致。

雷竹林覆盖方法为在11月中下旬用稻草、砻糠或竹叶覆盖，覆盖前先将林地浇透水，后铺设稻草10 cm左右(增温层)，再铺上砻糠或竹叶20~30 cm左右(保温层)，至翌年3月自然出笋时将覆盖物清除出林外。雷竹林除正常的留笋长竹、伐竹和林地垦复等措施外，施肥3次·a⁻¹，施肥时间分别为5~6月，8~9月和覆盖前，施肥量为无机复合肥[m(氮):m(五氧化二磷):m(氧化钾)=16:16:16]2.25 t·hm⁻²和尿素(含氮46%)1.125 t·hm⁻²，或施养分含量基本相同的有机肥。2012年7月分别在试验雷竹林中按对角线法随机选取3个点，取0~30 cm混合土样各500 g·点⁻¹测定土壤主要养分质量分数和pH值(表1)。

表1 试验雷竹林土壤有效养分含量和pH值

Table 1 Soil available nutrient content and pH value in *Phyllostachys violascens* forests under different mulching management years

经营类型	水解性氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	pH值
长期覆盖(C)	301.0 ± 6.00	172.3 ± 11.93	136.7 ± 14.47	3.27 ± 0.88
休养式覆盖(B)	249.0 ± 21.00	128.0 ± 15.40	113.3 ± 17.62	3.52 ± 0.34
短期覆盖(A)	197.7 ± 39.63	61.6 ± 5.65	91.7 ± 14.20	3.72 ± 0.27
不覆盖(ck)	186.0 ± 10.15	58.5 ± 4.00	89.4 ± 4.55	3.72 ± 0.49

1.3 叶片样品采集与分析

2012年7月在每块试验林中分别选择2年生和3年生立竹各6株(1年生立竹5月份完成抽枝长叶，极少有老化叶，故未选取)，分别在每株立竹的上部、中部和下部取成熟叶(叶色浓绿)共200 g，并轻摇立竹秆部，收集落下的黄色叶片(老化叶)200 g，剔除受病虫危害的叶片。将所取叶片样品清洗干净后杀青，再置于85 °C烘箱中烘干，用植物样品粉碎机粉碎，过40目筛，用分析天平准确称0.3 g左右的样品放入凯氏瓶中，加入V(浓硫酸):V(浓高氯酸)=10:1的混合液10 mL，放置过夜，第2天在调温电炉上消煮至无色(LY/T1271—1999)。雷竹成熟、老化叶氮测定采用凯氏定氮法，磷测定采用钼锑抗法，镁测定采用原子吸收光谱仪，钾测定采用火焰光度法^[18]。

叶片养分再吸收率由植物老化叶养分质量分数与成熟叶养分质量分数关系得出^[19]，计算公式为：养分再吸收率=[(A₁-A₂)/A₁]×100%，A₁为成熟叶养分质量分数(干质量)，A₂为老化叶养分质量分数(干质量)。

1.4 数据分析

试验数据在Excel 2003统计软件中进行整理与图表制作，不同覆盖经营年限雷竹林不同年龄立竹叶片养分质量分数、再吸收率比较在SPSS 10.0统计软件中进行，采用单因素(one-way)方差分析和双尾(two-tailed)的Pearson相关性分析。试验数据均表示为平均值±标准差。

2 结果与分析

2.1 林地覆盖经营对雷竹林立竹成熟叶和老化叶养分质量分数的影响

如表2所示：相同林地覆盖经营年限雷竹林立竹成熟叶氮质量分数，雷竹林A和C的2年生立竹显著大于3年生立竹，磷质量分数均是2年生立竹显著大于3年生立竹，而钾质量分数2年生和3年生立竹间无显著差异，镁质量分数除雷竹林B的2年生、3年生立竹间无显著差异外，其他均为2年生立竹显著大于3年生立竹；立竹老化叶氮质量分数3年生立竹显著大于2年生立竹，磷质量分数2年生、3年生立竹间差异不显著，钾质量分数雷竹林B的3年生立竹显著大于2年生立竹，镁质量分数雷竹林A的2年生、3年生立竹间差异不显著外，其他均为2年生立竹显著大于3年生立竹。不同林地覆盖经营年限雷竹林不同年龄立竹成熟叶氮、磷、钾、镁质量分数均显著高于老化叶($P<0.05$)，且2年生立竹叶片养分含量总体上高于3年生立竹。

2年生立竹成熟叶氮质量分数为雷竹林C和ck显著低于雷竹林A和B，且雷竹林A和B间差异显著；磷质量分数雷竹林B和ck显著低于雷竹林A和C，且雷竹林A和C间差异显著；钾质量分数雷竹林A显著高于雷竹林C和ck；镁质量分数林地覆盖经营雷竹林显著低于对照，且雷竹林A显著高于雷竹林B和C。2年生立竹老化叶氮质量分数雷竹林A和B显著高于雷竹林C，而显著低于雷竹林ck磷

表2 不同林地覆盖经营年限雷竹林立竹叶片养分质量分数

Table 2 Nutrient contents in leaves of *Phyllostachys violascens* forest under different mulching management years

立竹年龄	样品	经营类型	氮/(g·kg ⁻¹)	磷/(g·kg ⁻¹)	钾/(g·kg ⁻¹)	镁/(g·kg ⁻¹)
2年生	成熟叶	C	21.14 ± 0.03 c a	1.86 ± 0.01 a a	16.81 ± 0.14 c a	1.83 ± 0.02 c a
		B	21.38 ± 0.16 b a	1.58 ± 0.01 c a	18.01 ± 0.81 ab a	1.83 ± 0.01 c a
		A	22.76 ± 0.08 a a	1.66 ± 0.03 b a	18.83 ± 0.31 a a	1.88 ± 0.02 b a
		ck	21.16 ± 0.01 c a	1.59 ± 0.05c a	17.32 ± 0.97 bc a	1.92 ± 0.02 a a
	老化叶	C	14.04 ± 0.03 c b	1.26 ± 0.01 a a	9.86 ± 0.04 a b	1.65 ± 0.04 a a
		B	14.65 ± 0.17 b b	1.07 ± 0.03 c a	7.34 ± 0.41 b b	1.50 ± 0.04 b a
		A	14.69 ± 0.02 b b	1.09 ± 0.02 c a	9.86 ± 0.63 a a	1.50 ± 0.01 b a
		ck	15.03 ± 0.02 a b	1.13 ± 0.02 b a	9.94 ± 0.08 a a	1.69 ± 0.02 a a
	3年生	C	20.91 ± 0.10 d b	1.65 ± 0.02 a b	16.56 ± 0.13 c a	1.71 ± 0.02 b b
		B	21.48 ± 0.03 a a	1.45 ± 0.02 b b	17.79 ± 0.37 b a	1.75 ± 0.05 ab a
		A	21.33 ± 0.08 b b	1.43 ± 0.01 bc b	18.65 ± 0.17 a a	1.73 ± 0.02 ab b
		ck	21.15 ± 0.02 c a	1.41 ± 0.01 c b	16.95 ± 0.30 c a	1.78 ± 0.03 a b
	成熟叶	C	16.10 ± 0.03 b a	1.27 ± 0.01 a a	10.28 ± 0.09 a a	1.57 ± 0.03 a b
		B	16.14 ± 0.03 b a	1.06 ± 0.01 c a	10.04 ± 0.03 b a	1.36 ± 0.03 c b
		A	15.75 ± 0.11 c a	1.07 ± 0.01 c a	9.97 ± 0.12 b a	1.51 ± 0.04 b a
		ck	16.64 ± 0.03 a a	1.12 ± 0.02 b a	10.11 ± 0.09 b a	1.59 ± 0.02 a b

说明: 前面字母表示不同林地覆盖经营年限雷竹林相同年龄立竹间比较, 后面字母表示相同林地覆盖经营年限雷竹林不同年龄立竹间比较。相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

质量分数雷竹林 A 和 B 显著低于差异显著的雷竹林 ck 和 C; 钾质量分数雷竹林 B 显著低于其他类型雷竹林; 镁质量分数雷竹林 C 和 ck 显著高于雷竹林 A 和 B。不同林地覆盖经营年限雷竹林立竹成熟叶氮、磷、钾质量分数为雷竹林 A 和 B 总体上高于雷竹林 C 和 ck, 老化叶片变化趋势相反。3 年生立竹成熟叶氮质量分数为 C < ck < A < B, 且差异显著; 磷质量分数为 ck < A < B < C, 雷竹林 A 和 ck, 雷竹林 A 和 B 间无显著差异, 其他均差异显著; 钾质量分数为雷竹林 A 显著高于雷竹林 B 和 C, 雷竹林 ck 和 C 显著低于雷竹林 B; 镁质量分数为雷竹林 C 显著低于雷竹林 ck。3 年生立竹老化叶氮质量分数为雷竹林 B 和 C 显著低于雷竹林 A 和 ck; 磷质量分数为雷竹林 A 和 B 显著低于差异显著的雷竹林 ck 和 C; 钾质量分数为雷竹林 ck, A 和 B 显著低于雷竹林 C; 镁质量分数为雷竹林 C 和 ck 显著高于雷竹林 A 和 B, 且雷竹林 A 和 B 间差异显著。不同林地覆盖经营年限雷竹林 2 年生和 3 年生立竹成熟叶氮、磷和钾质量分数为雷竹林 A 和 B 总体上高于雷竹林 ck, 老化叶片变化趋势相反; 雷竹林 C 的 2 年生和 3 年生立竹成熟叶磷质量分数显著高于对照(ck), 氮和钾质量分数低于对照, 老化叶片变化趋势相反。不同林地覆盖经营年限雷竹林 2 年生和 3 年生立竹成熟叶和老化叶镁质量分数均低于对照。

可见, 林地覆盖经营对雷竹林不同年龄立竹成熟、老化叶主要养分含量会产生一定的影响, 但对不同养分元素的影响程度有所不同。相同覆盖年限雷竹林 2 年生立竹成熟叶养分含量总体上高于 3 年生立竹, 2 年生和 3 年生立竹叶片养分含量随林地覆盖年限增加的变化规律基本一致。

2.2 林地覆盖经营对雷竹林立竹成熟叶养分元素相关性的影响

由表 3 可知: 2 年生立竹, 氮和磷质量分数在雷竹林 A 和 B 中呈显著或极显著正相关, 氮和钾质量分数在雷竹林 ck 和 A 中均呈显著正相关, 氮和镁质量分数在雷竹林 ck 中呈显著负相关, 磷和钾质量分数在雷竹林 ck, A 和 B 中呈显著或极显著正相关, 磷和镁、钾和镁质量分数在各雷竹林无显著相关性。3 年生立竹, 氮和钾质量分数在雷竹林 A 和 B 呈显著正相关, 氮和镁质量分数在雷竹林 B 呈显著负相关, 磷和钾质量分数在雷竹林 B 和 C 中呈显著正相关, 磷和镁质量分数在雷竹林 ck 和 B 中均呈显著正相关, 其他均无显著相关性。说明林地覆盖经营会影响雷竹林立竹叶片养分元素间的相关性, 对有效养分供应产生影响。

2.3 林地覆盖经营对雷竹林立竹叶片养分再吸收的影响

如图1所示：相同林地覆盖经营年限雷竹林不同年龄立竹叶片养分再吸收率总体上2年生立竹大于3年生立竹。覆盖经营的雷竹林与对照相比2年生和3年生立竹叶片氮再吸收率均有显著提高，并以雷竹林A最高，且雷竹林A、B和C间差异显著；雷竹林A、B和C叶片磷再吸收率也有不同程度的提高，其中，ck和雷竹林A差异显著；叶片钾再吸收率雷竹林B显著提高，且与雷竹林A、B、C间差异显著；叶片镁再吸收率仅雷竹林B显著提高，雷竹林A显著高于雷竹林C。2年生、3年生立竹叶片养分再吸收率除雷竹林B为钾>磷>氮>镁外，其他的覆盖经营年限雷竹林均为钾>氮>磷>镁。可见短期和休养式林地覆盖经营会提高雷竹林立竹叶片氮、磷、钾和镁再吸收率，而长期林地覆盖经营虽提高了立竹叶片氮和磷再吸收率，但降低了钾和镁再吸收率。说明林地覆盖经营对雷竹林立竹叶片主要养分再吸收性会产生影响，而且长期林地覆盖经营会阻碍一些主要养分元素的内循环，对雷竹生长发育会产生负面影响。

表3 不同林地覆盖经营年限雷竹林相同年龄立竹成熟叶养分元素间相关系数

Table 3 Correlation coefficient between nutrient element of mature leaves of the same age culm in *Phyllostachys violascens* forest under different mulching management years

立竹年龄	经营类型	氮—磷	氮—钾	氮—镁	磷—钾	磷—镁	钾—镁
2年生	C	0.327	0.372	0.327	-0.304	-0.250	0.192
	B	0.969**	0.176	-0.269	0.864**	-0.500	0.074
	A	0.816*	0.800*	-0.291	0.893**	-0.404	0.143
	ck	0.554	0.640*	-0.624*	0.677*	-0.178	-0.217
3年生	C	0.381	0.450	0.568	0.651*	0.269	-0.156
	B	0.569	0.756*	-0.632*	0.822*	0.630*	-0.613
	A	0.612	0.632*	0.133	0.582	-0.327	0.481
	ck	0.327	0.568	-0.500	-0.034	0.655*	0.478

说明：**表示相关极显著，*表示相关显著。

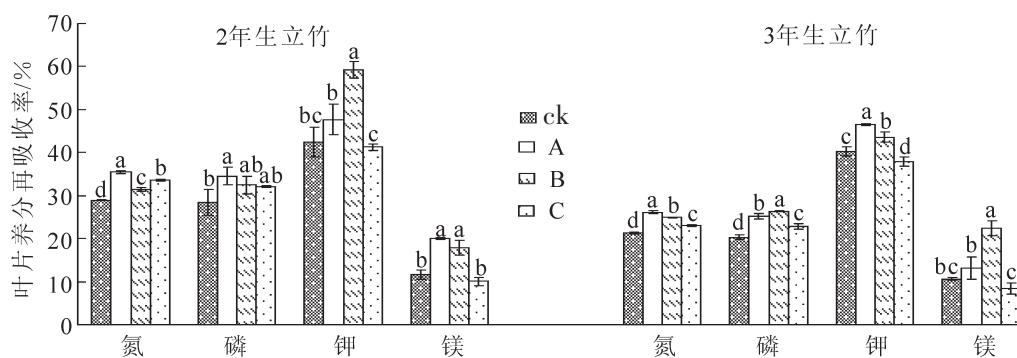


图1 不同林地覆盖经营年限雷竹林2年生和3年生立竹叶片养分再吸收率

Figure 1 Nutrient resorption efficiency of 2-, 3-year-old culm in *Phyllostachys violascens* forest under different mulching management years

3 讨论与结论

林地覆盖经营对雷竹成熟叶、老化叶氮、磷、钾和镁质量分数均有较明显的影响，这与氮、磷、钾和镁较强的可移动性有关^[20]。短期林地覆盖经营雷竹林耕作层土壤容重降低，团聚体含量和毛管孔隙度、饱和持水量等提高，土壤物理性质得到了一定程度的改善^[21]，肥料的施入提高了土壤养分含量与保肥能力，雷竹根系活力强，吸收养分能力强，从而使立竹成熟叶氮、磷和钾质量分数总体上较对照有不同程度的提高。长期林地覆盖经营雷竹林虽然土壤养分含量丰富，但土壤性状发生劣变^[11,12,22]，雷竹根系吸收养分能力下降，表现出叶片氮和钾质量分数的下降，这说明植物养分的吸收利用不仅与土壤养分状况有关，还受根系对养分的吸收、运输能力以及整个过程中能量的消耗制约^[23]；而叶片磷质量分数显著

升高, 这与长期林地覆盖经营雷竹林大量磷的输入, 雷竹对磷产生奢侈吸收有关。休养式林地覆盖经营雷竹林立竹成熟叶氮、磷和钾质量分数总体上较对照有不同程度的提高, 说明休养式林地覆盖经营能够维护雷竹林较高的立地生产力, 保持竹林生态系统稳定。根据 Killingbeck^[7]直接用衰老叶中元素含量表示养分再吸收程度的理论分析, 短期和休养式林地覆盖经营雷竹林能充分地利用自身所储存的可移动性养分, 具有较强的养分内循环, 而长期林地覆盖经营不利于叶片养分的再吸收。林地覆盖经营雷竹林立竹成熟叶镁质量分数均有不同程度的下降, 特别是长期覆盖经营雷竹林有显著下降, 分析认为这可能与土壤酸化条件下雷竹对养分产生选择性吸收有关, 其中机制有待进一步研究。

林地覆盖经营不仅对雷竹叶片养分含量产生影响, 而且对叶片养分元素间的相关性也会产生较明显的影响。短期和休养式林地覆盖经营雷竹林立竹叶片氮、磷和钾养分间的正相关性较对照有不同程度的增强, 说明这 2 种林地覆盖经营方式促进了雷竹对大量元素的协同吸收。而长期林地覆盖经营雷竹林立竹叶片氮与磷、氮与钾相关性减弱, 且磷、钾间表现出负相关, 这显然阻碍了雷竹对氮、磷和钾的协同吸收, 打破了养分间的平衡关系。

立竹年龄对雷竹叶片养分再吸收有一定的影响, 2 年生立竹总体上高于 3 年生立竹, 这与养分再吸收需要消耗能量^[24], 2 年生立竹活力高, 具有较高的光合速率, 能为植株提供更多的能量有关, 也说明不同年龄植株叶片保存养分能力存在差异^[25]。林地覆盖经营对雷竹叶片养分再吸收也会产生影响, 且不同年龄立竹的影响规律一致。短期和休养式林地覆盖经营雷竹林叶片氮、磷、钾和镁养分再吸收率随着成熟叶养分含量的提高和老化叶养分含量的降低而升高, 与 Yuan 等^[26]研究认为叶片养分含量也是影响养分再吸收的重要因素的结果一致, 也反映出短期和休养式覆盖经营对雷竹生长更新并不会造成明显的不利影响。而长期林地覆盖经营雷竹林叶片钾和镁再吸收率下降, 这与不良的环境条件会促使植物叶片提早衰老^[27], 林地覆盖的环境改变作用也会加快植物叶片衰老进程, 缩短叶片寿命^[28]等密切相关。林地覆盖经营雷竹林叶片氮和磷再吸收率升高, 也说明植物生长所需的营养物质并不单纯依赖于根系和叶片的吸收来满足, 还能通过植物体内养分的内部再分配来满足至少一部分的需求^[29]。

综上所述: 林地覆盖经营对雷竹林立竹成熟叶、老化叶氮、磷、钾和镁质量分数均有较明显的影响。短期和休养式林地覆盖经营能提高立竹叶片主要养分再吸收率, 长期林地覆盖经营虽提高了叶片氮和磷再吸收率, 但降低了叶片钾和镁再吸收率, 立竹储存和利用养分能力下降, 不利于雷竹林生长发育。因此, 在生产中应实行休养式林地覆盖经营方式。

参考文献:

- [1] BLANO J A, IMBERT J B, CASTILLO F J. Thinning affects nutrient resorption and nutrient-use efficiency in two *Pinus sylvestris* stands in the Pyrenees [J]. *Ecol Appl*, 2009, **19**: 682 – 698.
- [2] 童根平, 王卫国, 张圆圆, 等. 大田条件下山核桃林地土壤和叶片养分变化规律[J]. 浙江林学院学报, 2009, **26**(4): 516 – 521.
TONG Genping, WANG Weiguo, ZHANG Yuanyuan, et al. Seasonal changes of soil and leaf nutrient levels in a *Carya cathayensis* orchard[J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, **26**(4): 516 – 521.
- [3] 冯玉龙, 姜淑梅, 敖红, 等. 长白落叶松氮素营养及生长的关系[J]. 植物研究, 1999, **19**(4): 428 – 434.
FENG Yulong, JIANG Shumei, AO Hong, et al. Nitrogen nutrition and its relationship with growth *Larix olgensis* henry [J]. *Bull Bot Res*, 1999, **19**(4): 42 – 434.
- [4] 丁壮, 张彦东, 齐学军. 红松人工林矿质营养元素含量与储量的研究[J]. 植物研究, 2008, **28**(4): 503 – 508.
DING Zhuang, ZHANG Yandong, QI Xuejun. Contents and storages of mineral nutritive elements in plantations of *Pinus koraiensis* [J]. *Bull Bot Res*, 2008, **28**(4): 503 – 508.
- [5] MAY J D, KILLINGBECK K T. Effects of preventing nutrient resorption on plant fitness and foliar nutrient dynamics [J]. *Ecol*, 1992, **73**(5): 1868 – 1878.
- [6] 薛立, 徐燕, 吴敏, 等. 4 种阔叶树种叶中氮和磷的季节动态及其转移[J]. 生态学报, 2005, **25**(3): 251 – 256.
XUE Li, XU Yan, WU Min, et al. Seasonal patterns in nitrogen and phosphorus and resorption in leaves of four tree species[J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, **25**(3): 251 – 256.
- [7] KILLINGBECK K T. Nutrient in senesced leaves: keys to the search for potential resorption and resorption proficiency

- [J]. *Ecology*, 1996, **77**: 1716 – 1727.
- [8] 安卓, 牛得草, 文海燕, 等. 氮素添加对黄土高原典型草原长芒草氮磷重吸收率及 C:N:P 化学计量特征的影响 [J]. 植物生态学报, 2011, **35**(8): 801 – 807.
AN Zhuo, NIU Decao, WEN Haiyan, et al. Effects of N addition on nutrient resorption efficiency and C:N:P stoichiometric characteristics in *Stipa bungeana* of steppe grasslands in the Loess Plateau, China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2011, **35**(8): 801 – 807.
- [9] ARCO J M D, ESCUDERO A, GARRIDO M V. Effects of site characteristics on nitrogen retranslocation from senescing leaves[J]. *Ecology*, 1991, **72**: 701 – 708.
- [10] 刘鹏, 郝朝运, 陈子林, 等. 不同群落类型中七子花器官营养元素分布及其与土壤养分的关系[J]. 土壤学报, 2008, **45**(2): 304 – 312.
LIU Peng, HAO Chaoyun, CHEN Zilin, et al. Nutrient element distribution in organs of *Heptacodium miconioides* in different communities and its relationship with soil nutrients[J]. *Acta Pedol Sin*, 2008, **45**(2): 304 – 312.
- [11] 李国栋, 刘国群, 庄舜尧, 等. 不同种植年限下雷竹林土壤的有机质转化[J]. 土壤通报, 2010, **41**(4): 845 – 849.
LI Guodong, LIU Guoqun, ZHUANG Shunyao, et al. Changes of organic matter in soils planted Lei bamboo with different years [J]. *Chin J Soil Sci*, 2010, **41**(4): 845 – 849.
- [12] 姜培坤, 叶正钱, 徐秋芳. 高效栽培雷竹林地土壤重金属含量的分析研究[J]. 水土保持学报, 2003, **17**(4): 61 – 63.
JIANG Peikun, YE Zhengqian, XU Qiufang. Changes in heavy metal elements of soil in ecosystem of *Phyllostachys praecox* under intensive management [J]. *J Soil Water Conserv*, 2003, **17**(4): 61 – 63.
- [13] 胡超宗, 金爱武, 郑建新. 雷竹地下鞭的系统结构[J]. 浙江林学院学报, 1994, **11**(3): 264 – 268.
HU Chaozong, JIN Aiwu, ZHENG Jianxin. Composition of Lei bamboo rhizomatic system [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1994, **11**(3): 264 – 268.
- [14] 李艳红. 林地覆盖退化雷竹林林分结构及光合生理特征研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2009.
LI Yanhong. *Study on the Structure and Physio-ecological Characteristics of Degenerated Bamboo Forest of Phyllostachys praecox with Covering Organic Material*[D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2009.
- [15] 周国模, 金爱武, 郑炳松, 等. 雷竹保护地栽培林分立竹结构的初步研究[J]. 浙江林学院学报, 1998, **15**(2): 111 – 115.
ZHOU Guomo, JIN Aiwu, ZHENG Bingsong, et al. Preliminary study on composition of Lei bamboo in protected plot[J]. *J Zhejiang For Coll*, 1998, **15**(2): 111 – 115.
- [16] 刘丽, 陈双林, 李艳红. 基于林分结构和竹笋产量的有机材料覆盖雷竹林退化程度评价[J]. 浙江林学院学报, 2010, **27**(1): 15 – 21.
LIU Li, CHEN Shuanglin, LI Yanhong. Stand structure and bamboo shoot number production based assessment of degradation degree of *Phyllostachys praecox* covered with organic materials [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2010, **27**(1): 15 – 21.
- [17] 董林根, 吴伟根, 郑钢, 等. 经营干扰对雷竹叶面积指数的影响[J]. 经济林研究, 1999, **17**(2): 14 – 16.
DONG Lingen, WU Weigen, ZHENG Gang, et al. Decline in bamboo leaf area index as affected by management disturbance [J]. *Econ For Res*, 1999, **17**(2): 14 – 16.
- [18] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [19] 齐泽民, 王开运. 密度对缺苞箭竹凋落物养分归还及养分利用效率的影响[J]. 应用生态学报, 2007, **18**(9): 2025 – 2029.
QI Zemin, WANG Kaiyun. Effects of *Fargesia denudata* density on its litterfall production, nutrient return, and nutrient use efficiency [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2007, **18**(9): 2025 – 2029.
- [20] HELMISAARI H S. Nutrient retanslocation in three *Pinus sylvestris* stands [J]. *For Ecol Manage*, 1992, **51**: 347 – 367.
- [21] 刘力, 潘锡东. 早竹高产笋用林及其土壤理化性质分析研究[J]. 竹子研究汇刊, 1994, **13**(3): 38 – 43.
LIU Li, PAN Xidong. Study on high-yield *Phyllostachy praecox* forest for shoot and its physical and chemical properties of soil [J]. *J Bamboo Res*, 1994, **13**(3): 38 – 43.

- [22] 郑仁红. 覆盖栽培对雷竹林衰退的化感效应研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2006.
ZHENG Renhong. *Allelopathy of Cover Planting on Decline of Phyllostachys praecox Stand* [D]. Beijing: Chinese Forestry Academy, 2006.
- [23] 程徐冰, 韩士杰, 张忠辉, 等. 蒙古栎不同冠层部位叶片养分动态[J]. 应用生态学报, 2011, 22(9): 2272 – 2278.
CHENG Xubing, HAN Shijie, ZHANG Zhonghui, et al. Nutrient dynamics in *Quercus mongolica* leaves at different canopy positions [J]. *Chin J App Ecol*, 2011, 22(9): 2272 – 2278.
- [24] TATENO R, KAWAGUCHI H. Differences in nitrogen use efficiency between leaves from canopy and subcanopy trees [J]. *Ecol Res*, 2002, 17(6): 695 – 704.
- [25] 刘波, 王力华, 阴黎明, 等. 2 种林龄文冠果叶 N, P, K 的季节变化及再吸收特征[J]. 生态学杂志, 2010, 29(7): 127 – 1276.
LIU Bo, WANG Lihua, YIN Liming, et al. Seasonal variation and resorption characteristics of leaf N, P, and K in two aged *Xanthoceras sorbifolia* plantations [J]. *Chin J Ecol*, 2010, 29(7): 1270 – 1276.
- [26] YUAN Z Y, LI L H, HAN X G, et al. Nitrogen resorption from senescing leaves in 28 plant species in a semi-arid region of northern China[J]. *J Arid Environ*, 2005, 63(1): 191 – 202.
- [27] CAERS M, RUDELSHEIM P, ONCKELEN H V, et al. Effect of heat stress on photosynthetic activity and chloroplast infrastructure in correlation with endogenous cytokinin concentration in maize seedlings [J]. *Plant Cell Physiol*, 1985, 26(1): 47 – 52.
- [28] 杨志晓, 张小全, 毕庆文, 等. 不同覆盖方式对烤烟成熟期根系活力和叶片衰老特性的影响[J]. 华北农学报, 2009, 24(2): 153 – 157.
YANG Zhixiao, ZHANG Xiaoquan, BI Qingwen, et al. Effects of different mulching patterns on root activity and leaf senescence in *flue-cured tobacco* at mature period [J]. *Acta Agric Boreal-Sin*, 2009, 24(2): 153 – 157.
- [29] 邢雪荣, 韩兴国, 陈灵芝. 植物养分利用效率研究综述[J]. 应用生态学报, 2000, 11(5): 785 – 790.
XING Xuerong, HAN Xingguo, CHEN Lingzhi. A review on research of plant nutrient use efficiency [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2000, 11(5): 785 – 790.