

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2014.06.011

陈珊,陈双林,郭子武,等. 林地覆盖经营雷竹林叶片养分特征及其与土壤养分的关系[J]. 广西植物,2014,34(6):793—798

Chen S,Chen SL,Guo ZW,et al. Correlations between soil nutrient contents and nutrient characteristics of *Phyllostachys violascens* leaves under mulching management[J]. *Guihaia*,2014,34(6):793—798

林地覆盖经营雷竹林叶片养分特征 及其与土壤养分的关系

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:探讨了短期覆盖经营(覆盖1 a)、休养式覆盖经营(覆盖3 a后休养3 a)、长期覆盖经营(覆盖6 a)和不覆盖雷竹林(CK)2年生立竹叶片养分含量、化学计量比和再吸收率及其与土壤养分的关系。结果表明:(1)短期和休养式覆盖经营促使雷竹叶片养分含量和再吸收率总体上提高,而长期覆盖经营对雷竹叶片P含量和N、K再吸收率会产生较为明显的影响,叶片P含量、N再吸收率显著升高,K再吸收率降低;(2)短期和休养式覆盖经营对雷竹林土壤、叶片养分化学计量比影响不明显,但长期覆盖经营使雷竹林土壤、叶片N:P:K显著降低;(3)短期覆盖经营能增强雷竹林土壤养分与叶片的养分含量、化学计量比和养分再吸收率的相关性,但随覆盖经营年限的延长,相关性总体上呈减弱趋势;(4)土壤养分含量及其平衡关系对林地覆盖经营雷竹林叶片养分特征影响明显;(5)长期覆盖经营雷竹林土壤、叶片养分间相关性明显减弱,竹子吸收利用养分的能力下降,生产中应实行雷竹林休养式覆盖经营方式。研究结果为林地覆盖经营雷竹林的可持续发展提供了理论参考。

关键词:雷竹;林地覆盖经营;土壤养分;叶片养分;养分再吸收率

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2014)06-0793-06

Correlations between soil nutrient contents and nutrient characteristics of *Phyllostachys violascens* leaves under mulching management

CHEN Shan, CHEN Shuang-Lin*, GUO Zi-Wu, FAN Yan-Rong

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

Abstract: *Phyllostachys violascens* is a favorite bamboo shoot species that has been widely planted in southern China. High rate of fertilization and heavy winter mulch have been a common practice to gain a good yield and better economic benefit. However, the longterm use of the above techniques can also result in a series of negative environmental and ecological consequences, such as degradation of soil physical and biological properties, increases in soil heavy metal concentrations, premature degradation of bamboo forest ecosystems. In order to reveal the degradation mechanism of mulched stand of *P. violascens* forest, and provide theoretical guidance for regeneration of degraded bamboo forest, leaf nutrient concentration, nutrient stoichiometry, and nutrient resorption efficiency of 2-year culms from short-term mulching (1 a), respite-mulching (mulched 3 a and rest 3 a), long-term mulching (6 a) and non mulching stand(CK)

收稿日期: 2013-12-06 修回日期: 2014-01-28

基金项目: 浙江省农业科技成果转化项目(2012T201-03); 国家林业局林业科技推广项目([2011]02号); 浙江省林业科技推广项目(2011B01)。

作者简介: 陈珊(1986-),女,河南南阳人,硕士研究生,从事竹林生态与培育研究,(E-mail)chenshan927@163.com。

*通讯作者: 陈双林,博士,研究员,从事竹林生态与培育研究,(E-mail)cslbamboo@126.com。

were analyzed, as well as their relationships with soil nutrient characteristics were analyzed. The results showed that short-term and the respite-mulching treatment increased mature leaf N, P, K concentrations and leaf nutrient resorption efficiency compared with CK. Leaf P concentration, N, P resorption efficiency were influenced by long-term mulching, which increased mature leaf P concentration and leaf N resorption efficiency, and decreased leaf K resorption efficiency. Compared with CK, the short-term mulching and respite-mulching treatment did not affect stoichiometric ratio in leaves and soil, but long-term mulching treatment led to a decline in N : P and K : P. Compared with CK, short-term mulching treatment increased the correlation among soil and leaf nutrient concentration, nutrient stoichiometry, and nutrient resorption efficiency, but the correlation weakened with the increasing of mulching years. All results showed that soil nutrient concentrations and their balances remarkably influenced leaf nutrient characteristics. The correlation among soil and leaf nutrient characteristics became less correlated, and the absorption capacity of nutrients declined in the long-term mulched stand. The respite-mulching management should be applied in production practices.

Key words: *Phyllostachys violascens*; mulching management; soil nutrient concentration; leaf nutrient concentration; nutrient resorption efficiency

植物对环境的养分利用对策是多种多样的,植物通过体内养分的再分配来满足一部分的需求,在叶片凋落前将部分营养物质转移到其他器官以再利用,发生养分再吸收现象(李荣华等,2008),这是植物保持营养和适应养分贫乏环境的重要机制(May *et al.*, 1992)。为了适应环境变化,植物能主动调整体内养分元素的含量及其相对丰度,即产生养分生态学计量特征的变化(曾德慧等,2005)。这为植物养分利用状况的研究提供了重要途径和手段。随着全球气候变化和土地退化等环境问题的日益严重,土壤、植物叶片养分间的相互作用关系研究已成为生态学研究的前沿(Van Heerwaarden *et al.*, 2003)。土壤作为陆生植物的养分供应库,其养分元素含量对植物叶片、根等主要功能器官的 N、P 等化学计量特征均有一定影响(Kerkhoff *et al.*, 2006)。植物器官化学计量特征可以把环境和器官功能性状很好地联系起来,从而为探索环境作用于植物器官功能的内在机制及器官功能的调控提供了可能。

雷竹(*Phyllostachys violascens*)是优良的笋用竹种,具有出笋早、产量高和笋味鲜美等特点,在中国许多省份有引种栽培。20 世纪 90 年代以来,浙江省临安市、富阳市等雷竹主产区采用林地覆盖经营技术,即冬季在雷竹林地表覆盖稻草、竹叶或苍糠等有机物质,来达到增温、保温和保湿效果,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,对区域竹产业发展起到了极大的推动作用。但长期林地覆盖经营导致雷竹林立地生产力衰退现象严重,土壤发生物理、化学和生物性劣变,如土壤酸化(陈双林等,2005)、有机态营养耗竭(李国栋等,

2010)、酶活性异常(姜培坤等,2000)、重金属含量升高(姜培坤等,2003)、微生物区系明显变化(杨芳等,2006)等。而土壤劣变势必会造成植物根系的营养胁迫和逆境胁迫,影响雷竹地上部分的养分利用状况,从而影响竹笋业的可持续发展。为此,鉴于覆盖经营对雷竹生长发育和土壤性状的明显影响,开展不同覆盖年限雷竹林叶片养分含量、再吸收率和化学计量比及其与土壤养分的关系研究,分析覆盖经营雷竹林叶片储存与利用养分的能力对土壤养分状况变化的响应,旨在揭示覆盖经营雷竹林退化机理,为退化雷竹林恢复提供参考。

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(119°37' E, 30°20' N),属中亚热带季风气候区,温暖湿润,四季分明。年降水量 1 250~1 600 mm,年平均气温 15.4 °C,1 月平均气温 3.2 °C,7 月平均气温 29.9 °C,极端低温-13.3 °C,极端高温 40.2 °C,≥10 °C 的年均积温 5 100 °C,年平均无霜期 235 d,年日照时数 1 850~1 950 h。土壤为酸性红壤土。试验区属临安市雷竹重点产区,全镇有雷竹林 0.4 万 hm²,是雷竹林地覆盖经营技术推广最早、面积最大的乡镇,竹笋业已成为当地农村家庭经济收入的主要来源。

雷竹林覆盖方法为 11 月中下旬用稻草、苍糠或竹叶覆盖,覆盖前先将林地浇透水,后铺设稻草 10 cm 左右(增温层),再铺上苍糠或竹叶约 20 cm(保温、保湿层),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,每年分别于5—6月、8—9月和覆盖前施3次肥,施肥量为无机复合肥(N:P₂O₅:K₂O=16:16:16)2.25 t/hm²和尿素(含N 46%)1.125 t/hm²。

1.2 试验雷竹林选择

2012年7月,在试验区中,根据雷竹林覆盖经营的实际情况,分别选择短期覆盖(覆盖1 a,2011年覆盖)、休养式覆盖(覆盖3 a后休养3 a,2006—2008年连续覆盖,2009—2011年不覆盖)、长期覆盖(覆盖6 a,2006—2011年连续覆盖)和不覆盖雷竹林(CK)各3块,每块雷竹林面积不小于0.1 hm²。试验林栽植前均为种植水稻的农业耕地,土地平整,原来立地条件一致,栽植年限接近,均是在20世纪90年代后期发展起来的。试验林林分结构见表1。

表1 试验林林分结构

Table 1 General situation of stand structures for experimental forests

试验林 Experimental forest	立竹密度 Density (万株/hm ²)	立竹胸径 DBH (cm)	立竹年龄 结构比例 Ratio of age structure (3 a : 2 a : 1 a)
长期覆盖经营雷竹林 Long-term mulching stand	1.44	4.25	1 : 0.76 : 2.47
休养式覆盖经营雷竹林 Respite-mulching stand	1.82	3.19	1 : 1.06 : 1.81
短期覆盖经营雷竹林 Short-term mulching stand	1.69	4.35	1 : 0.56 : 2.65
不覆盖雷竹林 Nonmulching stand	1.64	3.75	1 : 0.98 : 3.04

注: 3a : 2a : 1a表示3年生、2年生、1年生立竹株数的比例。

Note: 3a : 2a : 1a represents the ratio between the number of 3 years, 2 years and 1 year old *Phyllostachys violascens*.

1.3 叶片和土壤样品采集与测定

2012年7月在不同覆盖经营年限每块试验雷竹林中选择2年生立竹各6株,每处理共取18株样竹,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,剔除受病虫害危害的叶片。将所取叶片样品清洗干净后杀青,再置于85℃烘箱中烘干,用植物样品粉碎机粉碎,过40目筛,混合均匀后装于自封袋中备用。同时,在每块试验雷竹林中按对角线法随机选取6个点,每处理共取18个样点的土壤,每点取0~30 cm混合土样各500 g,土壤样品经除杂、风干后,研磨过2 mm筛,去除2 mm以上的砂砾和植物残体,剩余细土按四分法弃取,最后留下足够分析用的数量约100 g,再研磨过0.15

mm(100目)筛,混均匀后,装袋备用。

雷竹成熟、老化叶N含量采用凯氏定氮法测定,P含量采用钼锑抗法测定,K含量采用火焰光度法测定。土壤样品全N、全P、全K含量按照土壤农业化学常规分析方法测定(鲁如坤,1999)。

叶片养分再吸收率由植物老化叶养分含量与成熟叶养分含量关系得出(Boerner,1984)。计算公式为养分再吸收率=(A1-A2)/A1×100%。式中,A1为成熟叶养分含量(干重);A2为老化叶养分含量(干重)。立竹成熟叶、土壤养分化学计量比采用相应的质量比表示。

1.4 数据分析

用Excel 2003软件整理数据和图表制作;用SPSS 10.0软件进行相关性分析,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 试验雷竹林成熟叶和土壤养分含量

由表2可知,立竹成熟叶N含量长期覆盖、不覆盖显著低于短期、休养式覆盖,且短期、休养式覆盖雷竹林间差异显著;P含量休养式覆盖、不覆盖显著低于短期、长期覆盖,且短期、长期覆盖雷竹林间差异显著;K含量长期覆盖、不覆盖显著低于短期覆盖。可见覆盖经营对雷竹林叶片主要养分含量会产生一定影响,但对不同养分元素的影响程度有所不同。立竹成熟叶N、P、K含量总体上均以短期、休养式覆盖高于不覆盖。试验雷竹林叶片养分含量的差异表明同一种植物由于受到生境条件的影响,对不同养分元素的吸收利用水平有差异。

表2还显示,试验雷竹林土壤养分含量总体上随着覆盖经营年限的增大而增加,土壤N含量休养式覆盖显著高于不覆盖、短期覆盖,长期覆盖显著高于不覆盖,其他均差异不显著;土壤P含量休养式、长期覆盖显著高于不覆盖、短期覆盖,其他均差异不显著;土壤K含量试验雷竹林间均差异不显著。表明覆盖经营总体上提高了雷竹林土壤养分含量,这与覆盖经营中覆盖物的分解和化学肥料的大量施入等有关。

2.2 试验雷竹林叶片养分再吸收

由图1可知,与不覆盖雷竹林比较,短期覆盖、休养式覆盖、长期覆盖雷竹林叶片N再吸收率均有

表 2 试验雷竹林叶片和土壤养分含量 (g/kg)

Table 2 Nutrient contents of leaf and soil in *Phyllostachys violascens* stand

试验林 Experimental forest	成熟叶片养分含量 Nutrient content of mature leaf			老化叶片养分含量 Nutrient content of senescence leaf			土壤养分含量 Soil nutrient content		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	长期覆盖经营雷竹林 Long-term mulching stand	21.14±0.03c	1.86±0.01a	16.81±0.14c	14.04±0.03c	1.26±0.01a	9.86±0.04a	1.81±0.25ab	0.82±0.12a
休养式覆盖经营雷竹林 Respite-mulching stand	21.38±0.16b	1.58±0.01c	18.01±0.81ab	14.65±0.17b	1.07±0.03c	7.34±0.41b	1.89±0.14a	0.79±0.15a	8.45±0.96a
短期覆盖经营雷竹林 Short-term mulching stand	22.76±0.08a	1.66±0.03b	18.83±0.31a	14.69±0.02b	1.09±0.02c	9.86±0.63a	1.60±0.07bc	0.54±0.07b	8.65±0.99a
不覆盖雷竹林 Nonmulching stand	21.16±0.01c	1.59±0.05c	17.32±0.97bc	15.03±0.02a	1.13±0.02b	9.94±0.08a	1.55±0.07c	0.54±0.10b	7.75±1.17a

注: 同列数据后的不同小写字母在 $P < 0.05$ 水平上差异有统计学意义。下同。

Note: Values within a column followed by different lowercase letters are significantly different at the 0.05 level. The same below.

显著提高,且短期覆盖、休养式覆盖、长期覆盖雷竹林差异显著;P再吸收率也有提高,其中,短期覆盖、不覆盖雷竹林差异显著;K再吸收率短期覆盖雷竹林显著提高,休养式覆盖雷竹林也有所提高,长期覆盖雷竹林有所降低。可见短期和休养式覆盖会提高雷竹叶片N、P、K再吸收率,而长期覆盖虽提高了叶片N、P再吸收率,但降低了K再吸收率。说明覆盖经营对雷竹叶片主要养分再吸收性会产生影响,其中,长期覆盖经营对一些养分的自身循环利用会产生阻碍作用。

2.3 试验雷竹林叶片和土壤养分的相关性分析

2.3.1 土壤养分含量与叶片养分含量和再吸收率的相关分析 由表3可知,不覆盖雷竹林叶片N、K含量,短期覆盖雷竹林叶片N、P含量,长期覆盖雷竹林叶片N含量与土壤对应的养分含量之间均呈显著或极显著正相关,休养式覆盖雷竹林叶片养分含量与土壤养分含量之间均无显著相关。不覆盖雷竹林叶片N,短期覆盖雷竹林叶片N、P和休养式覆盖雷竹林叶片N、P、K再吸收率与土壤对应的养分含量间呈显著或极显著正相关,但长期覆盖雷竹林叶片养分再吸收率与土壤养分含量相关性均不显著。可见,雷竹林土壤养分含量与叶片养分含量和再吸收有着较为密切的关系,但覆盖经营对这种关系会产生一定程度的影响,随覆盖经营年限的延长,相关性会减弱。

2.3.2 土壤和叶片养分化学计量比的相关分析 表4显示,与不覆盖雷竹林相比,短期和休养式覆盖雷竹林土壤N:P、K:P无显著变化,长期覆盖经营雷竹林均显著降低。各覆盖雷竹林土壤N:K无显著变化;短期和休养式覆盖雷竹林叶片N:P、K:P无显著变化,长期覆盖雷竹林均显著降低。各覆盖雷竹林叶片N:K无显著变化。说明,短期和休养

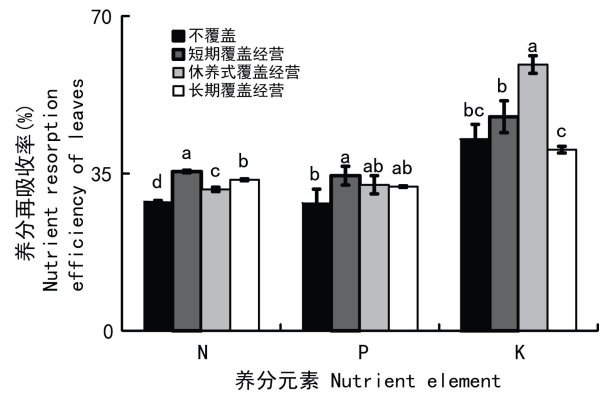


图1 试验雷竹林叶片养分再吸收率 不同小写字母表示同一养分元素不同覆盖经营年限雷竹林间在 $P < 0.05$ 水平上差异有统计学意义。

Fig. 1 Leaf nutrient resorption efficiency of *P. Violascens* Different lowercase letters above the columns represent statistically significant differences at different management levels for the same nutrient element ($P < 0.05$).

式覆盖经营并不会明显影响雷竹林土壤、叶片化学元素计量比,但长期覆盖经营会引起雷竹林土壤、叶片化学元素计量比的明显变化。

表5显示,不覆盖、短期覆盖雷竹林土壤与叶片N:P、K:P、N:K间均呈极显著或显著正相关;休养式覆盖、长期覆盖雷竹林土壤与叶片N:P呈极显著正相关,土壤、叶片K:P和N:K相关性均不显著。试验雷竹林叶片与土壤N:P、K:P的线性回归方程斜率均明显小于1,即叶片N:P、K:P的增加速率明显小于土壤,且长期覆盖雷竹林的方程斜率显著减小;叶片与土壤N:K的线性回归方程斜率不覆盖、短期覆盖、休养式覆盖雷竹林均接近于1,即叶片和土壤N:K近等速变化,而长期覆盖雷竹林的方程斜率远小于1,即叶片N:K的增加速率远小于土壤。上述结果说明,试验雷竹林土壤与叶片养分化学计量比的相关性及变化速率的差异主

表 3 试验雷竹林土壤养分与叶片养分和再吸收率的相关性

Table 3 Correlations among soil nutrient contents and nutrient contents, nutrient resorption efficiency of leaves

试验林 Experimental forest	叶片 N-土壤 N Leaf N-soil N	叶片 P-土壤 P Leaf P-soil P	叶片 K-土壤 K Leaf K-soil K	叶片 N 再吸收- 土壤 N N resorption efficiency-soil N	叶片 P 再吸收- 土壤 P P resorption efficiency-soil P	叶片 K 再吸收- 土壤 K K resorption efficiency-soil K
长期覆盖经营雷竹林 Long-term mulching stand	0.988 **	0.514	0.311	0.616	0.499	0.296
休养式覆盖经营雷竹林 Respite-mulching stand	0.594	0.094	0.601	0.757 *	0.863 *	0.921 **
短期覆盖经营雷竹林 Short-term mulching stand	0.809 *	0.892 *	0.534	0.777 *	0.857 *	0.638
不覆盖雷竹林 Nonmulching stand	0.987 **	0.089	0.828 *	0.861 *	0.370	0.556

注：N=18；* 和 ** 分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平上差异有统计学意义。下同。

Note: N=18; *, ** indicate statistically significant differences at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. The same below.

表 4 试验雷竹林土壤与叶片养分化学计量比

Table 4 Ratio of soil nutrient contents and leaves nutrient contents

试验林 Experimental forest	土壤 Soil			叶片 Leaf		
	N : P	K : P	N : K	N : P	K : P	N : K
长期覆盖经营雷竹林 Long-term mulching stand	2.21±0.01b	10.59±0.13b	0.238±0.03a	11.37±0.12b	9.04±0.21b	1.26±0.09a
休养式覆盖经营雷竹林 Respite-mulching stand	2.42±0.01ab	10.75±0.06b	0.224±0.04a	13.53±0.08a	11.40±0.15a	1.19±0.04a
短期覆盖经营雷竹林 Short-term mulching stand	2.99±0.04a	16.08±0.10a	0.186±0.02a	13.72±0.11a	11.35±0.05a	1.21±0.01a
不覆盖雷竹林 Non mulching stand	2.96±0.02a	14.57±0.08a	0.203±0.01a	13.34±0.05a	10.92±0.15a	1.22±0.02a

表 5 试验雷竹林土壤和叶片养分化学计量比的相关性

Table 5 Correlations among the ratio of soil nutrient contents to nutrient contents of leaves

试验林 Experimental forest	叶片 N : P-土壤 N : P Leaf N : P-soil N : P			叶片 K : P-土壤 K : P Leaf K : P-soil K : P			叶片 N : K-土壤 N : K Leaf N : K-soil N : K		
	方程 Equation	相关系数 Correlation coefficient	P	方程 Equation	相关系数 Correlation coefficient	P	方程 Equation	相关系数 Correlation coefficient	P
长期覆盖经营雷竹 Long-term mulching stand	$y=0.085x+11.149$	0.987 **	0.001	$y=0.010x+8.925$	0.318	0.794	$y=0.002x+1.251$	0.464	0.222
休养式覆盖经营雷竹林 Respite-mulching stand	$y=0.515x+12.29$	0.917 **	0.008	$y=0.703x+9.99$	0.352	0.507	$y=0.963x-0.740$	0.141	0.789
短期覆盖经营雷竹林 Short-term mulching stand	$y=0.474x+12.294$	0.645 *	0.044	$y=0.106x+9.641$	0.862 *	0.022	$y=1.022x-0.786$	0.721 *	0.039
不覆盖雷竹林 Nonmulching stand	$y=0.495x+11.887$	0.798 *	0.045	$y=0.355x+5.744$	0.922 **	0.009	$y=1.022x-0.822$	0.898 *	0.015

要与土壤养分含量的变化、立竹对养分的选择性吸收直接有关，长期覆盖经营雷竹林叶片 K : P、N : K 的变化速率显著小于土壤，且二者间的相关性明显减弱，说明雷竹林长期覆盖经营会造成养分间的反馈关系趋于不利于雷竹生长发育的方向变化。

3 讨论与结论

短期覆盖、休养式覆盖经营雷竹林叶片 N、P、K 含量和再吸收率总体上比不覆盖有较为明显的提高，这与短期覆盖雷竹林土壤养分的人为施入促进

了立竹对 N、P、K 的协同吸收，休养式覆盖雷竹林土壤养分丰富，竹林生长得到恢复等直接相关，反映出短期和休养式覆盖经营雷竹林平衡吸收利用养分的能力强。短期覆盖经营雷竹林土壤、叶片养分含量之间总体上呈显著或极显著相关，这与何斌等 (2002) 的研究结果一致，说明此时土壤养分状况还未达到足以引起植物叶片养分含量与土壤养分供应水平较强相关性的变化 (Wang *et al.*, 1997; Hobbie *et al.*, 2002)。休养式覆盖经营雷竹林土壤、叶片养分含量相关性不显著，说明林地覆盖已产生了明显影响，这可能与休养式覆盖经营雷竹林土壤养分丰

富,竹子在能维持正常生长的条件下,其营养器官的养分浓度受土壤影响较小,主要由竹子本身的生理特性所决定有关(刘广路等,2010)。短期和休养式覆盖经营雷竹林叶片养分再吸收率与土壤养分含量总体上呈显著或极显著正相关,说明此时土壤养分含量仍是影响叶片养分再吸收的重要因素。长期覆盖经营对雷竹叶片 P 含量和 N、K 再吸收率产生较为明显的影响,其中叶片 P 含量显著升高,这可能与雷竹林土壤严重酸化,土壤生理毒性 Al 的增加促进了 S、Si、P 在叶片中积累有关(冯茂松等,2009);在土壤养分极为丰富的条件下,叶片 N 再吸收率显著提高,K 再吸收率降低,且叶片养分含量和再吸收率与土壤养分含量之间的相关性进一步减弱,反映出养分的再吸收已不受土壤养分水平的影响,而受到营养元素的化学计量调节作用及养分转移中的源库关系影响(朴河春等,2005),说明养分再吸收不是植物对高或低养分有效性的一种适应,而是植物对养分状况差异的一种表现型反应(Pugnaire *et al.*,1993)。

不同覆盖经营年限雷竹林的叶片 N:P 与土壤 N:P 均有显著正相关,说明雷竹为了适应土壤养分条件的变化,具有可伸缩性地调整叶片 N、P 含量的能力,使叶片 N:P 在一定范围内具有可塑性,与朴河春等(2005)的研究结论一致。叶片 K:P、N:K 与土壤 K:P、N:K 仅不覆盖和短期覆盖经营雷竹林显著相关,说明雷竹叶片 K:P、N:K 的可塑性差,对土壤养分变化的敏感性低。可见,N:P 可作为雷竹林生长状况和生态系统健康的重要生态指示指标。长期覆盖经营雷竹林叶片 N:P 显著降低(11.37),明显低于 14,引起氮素营养限制(Drenovsky *et al.*,2004),与刘亚迪等(2012)的研究结果一致,这可能与雷竹对 P 的奢侈吸收有关。长期覆盖经营雷竹林叶片、土壤养分化学计量比之间的协同变化速率均显著降低,表明雷竹林土壤养分已失衡,不利于竹林可持续经营。

综上所述,试验雷竹林叶片养分特征及其与土壤养分关系的差异是植物生物学特性与生态环境变化共同作用的结果。土壤养分含量及其平衡关系对覆盖经营雷竹林的叶片养分特征影响明显,长期覆盖经营造成雷竹林土壤劣变,使竹子根系对养分的选择性和平衡吸收能力明显降低,土壤、叶片养分相关性明显减弱。基于休养式覆盖经营对雷竹叶片养分含量、化学计量比和再吸收率及与土壤养分的相

关性影响总体上并不显著,建议在生产中实行雷竹林休养式覆盖经营方式。

参考文献:

- Chen SL(陈双林),Xiao JH(萧江华). 2005. Soil ecological management of cultivated bamboo stand(现代竹业栽培的土壤生态管理)[J]. *For Res*(林业科学研究),**18**(3):351-355
- Drenovsky RE,Richards JH. 2004. Critical N:P values: predicting nutrient deficiencies in desert shrublands[J]. *Plant Soil*,**259**(1-2):59-69
- Feng MS(冯茂松),Zhang J(张健),Yang WQ(杨万勤). 2009. Nutrient interactions in leaves of the eucalypt (*Eucalyptus grandis*) plantations(巨桉人工林叶片养分交互效应)[J]. *Plant Nutr Fert Sci*(植物营养与肥料学报),**15**(5):160-169
- He B(何斌),Wen YG(温远光),Liang HW(梁宏温),*et al.* 2002. Element distribution and its relationship with soil fertility in different succession stages of a mangrove community in Yingluo bay,Guangxi(英罗港红树植物群落不同演替阶段植物元素分布及其与土壤肥力的关系)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报),**26**(5):518-524
- Hobbie SE,Gough L. 2002. Foliar and soil nutrient in tundra on glacial landscapes of contrasting ages in northern Alaska[J]. *Oecologia*,**131**:453-462
- Jiang PK(姜培坤),Ye ZQ(叶正钱),Xu QF(徐秋芳). 2003. Changes in heavy metal elements of soil in ecosystem of *Phyllostachys praecox* under intensive management(高效栽培雷竹林地土壤重金属含量的分析研究)[J]. *J Soil Water Cons*(水土保持学报),**17**(4):61-63
- Jiang PK(姜培坤),Yu YW(俞益武),Zhang LQ(张立钦),*et al.* 2000. Study on enzyme activities of soil under *Phyllostachys praecox* f. *prevelnalis* forest(雷竹林地土壤酶活性研究)[J]. *J Zhejiang For Coll*(浙江林学院学报),**17**(2):132-136
- Li GD(李国栋),Liu GQ(刘国群),Zhuang SY(庄舜尧),*et al.* 2010. Changes of organic matter in soils planted Lei bamboo with different years(不同种植年限下雷竹林土壤的有机质转化)[J]. *Chin J Soil Sci*(土壤通报),**41**(4):845-849
- Li RH(李荣华),Wang SL(汪思龙),Wang QK(王清奎). 2008. Nutrient contents and resorption characteristics in needles of different age *Pinus massoniana* (Lamb.) before and after withering (不同林龄马尾松针叶凋落前后养分含量及回收特征)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报),**19**(7):1443-1447
- Liu GL(刘广路),Fan SH(范少辉),Guan FY(官凤英),*et al.* 2010. Distribution pattern of nutrient elements and its relationship with soil environment in differentaged *phyllostachys edulis* (不同年龄毛竹营养器官主要养分元素分布及与土壤环境的关系)[J]. *For Res*(林业科学研究),**23**(2):252-258
- Kerkhoof AJ,Fagan WF,Elser JJ,*et al.* 2006. Phylogenetic and growth form variation in the scaling of nitrogen and phosphorus in the seed plants[J]. *Am Nat*,**168**:103-122
- Lu RK(鲁如坤). 1999. The analysis method of soil agricultural chemistry(土壤农业化学分析方法)[M]. Beijing(北京):China Agricultural Science and Technology Press(中国农业科学技术出版社)
- May JD,Killingbeck KT. 1992. Effects of preventing nutrient resorption on plant fitness and foliar nutrient dynamics[J]. *Ecol*,**73**(5):1868-1878

(下转第 864 页 Continue on page 864)