

氮磷叶片喷施对未郁闭刨花楠人工幼林生长的影响*

裴盼^{1,2,3} 钟全林^{1,2,3**} 程栋梁^{1,2,3} 徐朝斌^{1,2,3} 张中瑞^{1,2,3}

¹福建师范大学地理科学学院 福州 350007

²湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地 福州 350007

³福建省植物生理生态重点实验室 福州 350007

摘要 以福建省顺昌县2.5年生未郁闭刨花楠人工林为研究对象,开展不同的氮(N)、磷(P)叶面喷施添加处理,于3月、6月、9月与12月调查其地径、株高、冠幅等生长指标,并采用双因素方差分析法分析N、P喷施处理与季节对刨花楠生长量的影响。结果表明:(1)在单施N时,刨花楠地径总生长量以中N处理的效果最好,株高与冠幅总生长量均以高N处理的效果最好;在单施P时,地径、株高、与冠幅总生长量均以高P处理的效果最好;在N、P配施时,地径、株高以低N处理的效果最好,冠幅年总生长量以高N处理的效果最好;全部处理中,以高P处理为最好,高P处理下的生物量在各个季节及年总生物量上都最大。(2)除单施P对叶片碳(C)含量,高N且N、P配施对叶片P含量和低N且N、P配施对叶片C、P含量有显著影响外,其它叶面N、P喷施处理对叶片C、N、P含量都表现为影响不显著。本研究结果可以为揭示刨花楠造林初期对养分需求的特征及养分添加对林木生长的影响机制,并为人工林培育和早期养分管理技术等提供理论指导。(图4表1参47)

关键词 氮磷叶面喷施;未郁闭人工林;总生长量;生物量;刨花楠

CLC S725.5

The effect of nitrogen and phosphorus foliage spray on the growth of young free growing *Machilus pauhoi* plantations*

PEI Pan^{1,2,3}, ZHONG Quanlin^{1,2,3**}, CHENG Dongliang^{1,2,3}, XU Chaobin^{1,2,3} & ZHANG Zhongrui^{1,2,3}

¹College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

²State Key Laboratory Breeding Base of Humid Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou 350007, China

³Fujian Provincial Key Laboratory of Plant Ecophysiology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

Abstract This study aimed to explore the effect of nitrogen and phosphorus foliage spray on the growth of young free growing *Machilus pauhoi* plantations. A 2.5-year-old *M. pauhoi* plantation in Shunchang County, Fujian Province was selected as research object. Different levels of N and P were administered to the plantation. The growth indexes of canopy diameter (C), diameter at ground level (D) and plant height (H) were investigated in March, June, September and December. Two-factor Variance Analysis was conducted to analyze the effects of N, P addition and different seasons on the growth increment of *M. pauhoi*. The results revealed that the low level N spraying had the best effect on total growth increment of D; the high level N spraying had the most remarkable effects on total growth increment of H and C under the single application of N; the high level P addition could help improve the total growth increment of D, H and C to the greatest extent when spraying P singly. With the combined application of N and P, the low level N application had the best effect on total growth increment of D and H; the high level N addition was most effective in the annual total growth increment of C. Among all treatments, the high level P spraying was related to the greatest increment in biomass of *M. pauhoi*. Among all treatments, the single application of P had significant effect on leaf C content, the high level N with N/P combined addition on leaf P content, and the low level N with N/P combined addition on leaf C, P content; others showed no significant effects. The study provided a theoretical guidance for the cultivation and early nutrient management of *M. pauhoi* plantations.

Keywords N, P spraying; free growing forest; total growth; biomass; *Machilus pauhoi*

收稿日期 Received: 2016-04-26 接受日期 Accepted: 2016-06-21

*国家自然科学基金项目(31170596, 31170374, 31370589)、福建省种业创新和产业化工程项目(2014S1477-4)和福建省科技厅重大项目(2014N5008)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (31170596, 31170374, 31370589), the Seed Industry Innovation Project of Fujian Province (FJZY2014-01), and the Major S&T Project of Fujian Province (2014N5008)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: qlzhong@126.com)

我国亚热带区域近年主要采取砍杂、青山但不炼山的穴植造林模式进行造林,在造林初期有机质分解所释放的养分通常不能满足常绿阔叶树种生长所需养分需求。因此,如何通过合理施肥方式与施肥量来促进其生长问题,已成为近年来我国该区域常绿阔叶人工林经营过程中面临的重要问题。氮(N)、磷(P)是植物生长必需的两种重要养分元素,它对植物的生理生态特性、生长发育、群落组成以及生态系统维持等有重要影响^[1-2]。外源N、P添加会对植物叶绿素含量、酶活性、糖类代谢等产生影响,进而影响其光合特性与生长^[3-5],并对其所处生态系统的养分循环过程与森林生产力产生重要影响^[6-7]。目前,我国研究不同的施肥模式对植物体生长和生理影响比较多,其主要集中在毛白杨^[8]、春石斛^[9]、红楠^[10]等树种,且主要集中在人工中龄林的养分需求及其动态变化研究,而对人工幼林的养分需求研究,特别是对亚热带区域新造的未郁闭人工常绿阔叶幼林的养分需求研究则相对不足。因此,开展外源N、P添加对亚热带区域未郁闭人工幼林生长影响研究,并探究其N、P养分需求机制,具有重要理论与现实意义。

刨花楠(*Machilus pauhoi*)属樟科楠属,又名刨花树、刨花润楠等,是我国亚热带地区优良速生的常绿阔叶乔木树种,经济价值高且用途广泛,是优良的绿化树种和优质的用材树种。该树种主要分布于江西、福建、湖南、浙江、广东和广西等省区的天然常绿阔叶林内^[11-14]。鉴于市场对该树种资源的需求量日益增加,对其研究也越来越多,研究内容主要集中在其生长特性^[15]、生物量^[16-17]、光响应特性^[18]、外界因素对生长的影响^[19-20]等方面,目前尚较缺乏该树种新造幼林养分需求研究成果。因此,我们以顺昌县2.5年生未郁闭的刨花楠林作为研究对象,探讨不同N、P施肥处理方式对其生长的影响,找出其在造林初期的最佳N、P配比。本研究旨在为刨花楠人工林初期养分管理、进一步探讨其养分利用与吸收机制,以及亚热带其它常绿阔叶树种人工幼林的养分管理等提供理论与技术参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

试验地位于福建省南平市顺昌县,属中亚热带海洋性季风气候,气候温暖,雨量充沛,阳光充足,四季分明;年平均气温为18.9℃,最冷月1月份平均气温7.9℃,最热月7月份平均气温28.1℃;年平均降水量一般在1 600-1 900 mm之间,降水多集中在2-9月,约占全年降水量的86.6%;全年平均无霜期为305 d,年平均日照时数约1 740.7 h^[21]。试验地处于低山地形中下坡位,地理坐标约为26°49'15"N, 117°56'49"E,海拔约为96 m,平均坡度约35°。实验地区的土壤为红壤,全N含量为1.489 mg/g,全P含量为0.218 mg/g。

1.2 实验设计与资料收集

在顺昌县2.5年生(含苗龄,2011年造林,苗龄1.5年,造林密度2 m × 2 m)的刨花楠人工林内开展试验,试验林采用砍杂、青山但不炼山的穴植造林方式进行造林。在造林当年7月进行了一次抚育。由于该林地属于未成林林地,林木还未完全郁闭,于2012年3月中旬在开展实验前进行了样地基本

情况调查,测定试验样地内的刨花楠的初始地径、株高、冠幅,然后进行N、P添加受控试验。该试验共设置了16个处理组,即1个对照组与15个处理组。15个处理组分别为:3个N供给等级(低N、中N、高N),纯N量分别为50、100、150 kg hm⁻² a⁻¹;3个P供给等级(低P、中P、高P),纯P量分别为5、10、20 kg hm⁻² a⁻¹,以及3个N供给等级(低N、中N、高N)条件下的3个N:P比水平(5:1、10:1、20:1, P含量按照实际N供给量及N:P计算)。16个处理组的具体实验方案见表1。每个处理组安排了3个重复,每个重复样地面积大小为10 m × 10 m。N采用NH₄NO₃添加,P采用P₂O₅添加,每次按计算量取样,将其溶于20 L蒸馏水中,采用人工喷施方法从上往下喷施于各样地内的刨花楠叶面上。N、P添加期为2012年3-9月,每月添加1次,于每月25-28日期间进行喷施,取样时摘取树冠中上部4个方向上喷施肥料后长势正常、无病虫害的完整的叶片,带回实验室烘干、粉碎、过筛。

1.3 土壤及叶片碳、氮、磷含量的测定

土壤全N含量采用Vario MAX碳氮元素分析仪测定,叶片C、N含量采用CHNOS元素分析仪(Elemental Analyzer Vario EL III,德国)进行测定,土壤和叶片全P含量采用高氯酸消煮±连续流动分析仪(Skalar San±±±)测定。

1.4 数据分析方法

分别于2012年6月中旬、9月中旬、12月中旬测量刨花楠的地径、株高与冠幅。考虑到各处理组刨花楠初始的生长情况存在差异,因而需先对后期测定的地径、株高、冠幅值进行协方差分析,即利用SPSS19.0统计分析软件将后期测定的6月、9月、12月数据与实验材料初始值3月数据进行16种处理间的单因素协方差分析,经协方差修改后的3月地径为0.738 8 cm、株高为0.535 3 m、冠幅为0.244 3 m,进而修正6月、9月和12月测定的地径、株高和冠幅(即为6月、9月和12月的地径、株高和冠幅总生长量)。采用模型 $\ln y = 0.9629x - 3.6152$ 计算其生物量,式中y为整株生物量(g),x为自变量 $\ln(D^2H)$ 式中D、H分别表示基径(cm)、株高(m),该模型来源于前期研究利用个体大小范围接近的样本生物量实测数据所构建的最优拟合模型。利用SPSS19.0统计分析软件对修正后的地径、株高、冠幅及所计算的生物量数据进行单因素和双因素方差分析,并用origin9.0以及SigmaPlot 12.0软件制图。

2 结果与分析

2.1 不同处理对刨花楠新造林地径生长的影响

对2.5年生的刨花楠进行施肥处理后,将修正后的刨花楠数据绘图(图1),并按季节与处理进行双因素方差分析。结果显示季节与N、P添加处理对刨花楠胸径生长有显著影响($P < 0.05$)。顺昌县2.5年生刨花楠在单施N后,地径总生长量以中N处理的效果最好,处理间表现为随着N的增加,地径总生长量先增加后减少,说明低N添加可促进刨花楠地径的生长,但当N增加到一定程度后,会抑制地径的生长。在单施P时,地径以高P处理的效果最好,处理间表现为随着P的增加,地径总生长量不断增加,说明添加P可促进地径生长。在N、P配施时,地径以C11(中N且N:P = 10:1)处理的效果最好,以C10(中N且N:P = 5:1)处理为最小。各处理以C6,即单

施P时的高P处理后的植株地径总生长量最大,且明显高于对照组CK处理。

2.2 不同处理对新造刨花楠株高生长的影响

将修正后的刨花楠株高数据绘图(图2),并按季节与处理进行双因素方差分析。结果显示季节与N、P添加处理都对刨花楠株高生长有显著影响($P < 0.05$) (高N中的N、P配施方法除外)。在高N中的N、P配施虽对2.5年生刨花楠的株高生长影响不显著,但地径和冠幅生长量相对高于其它处理,原因是在造林初期林木结构分化不明显。表明不同的配方施肥对刨花楠的生理生长具有良好的作用,这与胡东南等在进行不同配方施肥对幼龄油茶的影响结果^[22]相一致。由图2可知,顺昌县2.5年生刨花楠在单施N时,株高总生长量以高N处理的效果最好,处理间表现为随着N的增加,株高总生长量不断增加。在单施P时,株高以高P(C6)处理的效果最好,且低P、中P处理下的株高总生长量也显著大于对照组。在N、P配施时,仅C9(低N且N:P = 20:1)处理下的植株株高总生长量高于对照组。在试验期间,高P处理下的植株株高总生长量最大,极显著高于其他处理,而C10(中N且N:P=5:1)处理下的植株株高总生长量最小,极显著低于其他处理。

2.3 不同处理对刨花楠新造林冠幅生长的影响

将修正后的刨花楠冠幅数据绘图(图3),并按季节与处理进行双因素方差分析。结果显示季节与N、P添加处理都对刨花楠冠幅生长有显著影响($P < 0.05$)。由图3可知,顺昌县

2.5年生刨花楠在单施N时,冠幅总生长量以高N处理的效果最好,处理间表现为随着N的增加,冠幅总生长量不断增加。在单施P时,冠幅以高P(C6)处理的效果最好,处理间表现为随着P的增加,冠幅总生长量不断增加。在N、P配施时,冠幅以C14(高N且N:P = 10:1)处理的效果最好,处理间的表现为随着N:P的增大,刨花楠冠幅总生长量呈现增加趋势,当N添加量增加到一定程度,冠幅总生长量反而呈下降趋势,其中以N:P = 10:1的处理最能促进冠幅的生长。在试验期间,高P(C6)处理下的植株冠幅总生长量最大,极显著高于其他处理,而C10(中N且N:P = 5:1)处理下的植株冠幅总生长量最小,极显著低于其他处理。

2.4 不同处理对刨花楠新造林生物量的影响

生物量作为植物群落能量基础和营养物质的重要组成部分,是生态系统生产力的重要体现^[23]。准确测定森林生物量是深入研究林业和生态问题的基础,特别是在评价生态系统碳循环过程中具有不可替代的作用^[24],故在此分析刨花楠新造林的生物量情况意义重大。将不同处理得到的数据经协方差分析修正后的刨花楠数据,依据刨花楠的生物量估测模型^[25],结果表明季节以及不同N、P施肥处理都对刨花楠生物量有显著影响($P < 0.05$)。由图4可知,在单施N时,以C₂(中N)处理下效果最好且明显高于处理组;在单施P时,以C₆(高P)处理效果最好且明显高于处理组;在N、P配施时,低N且N/P配施时以C₈(低N且N:P = 10:1)处理效果最好,中N且

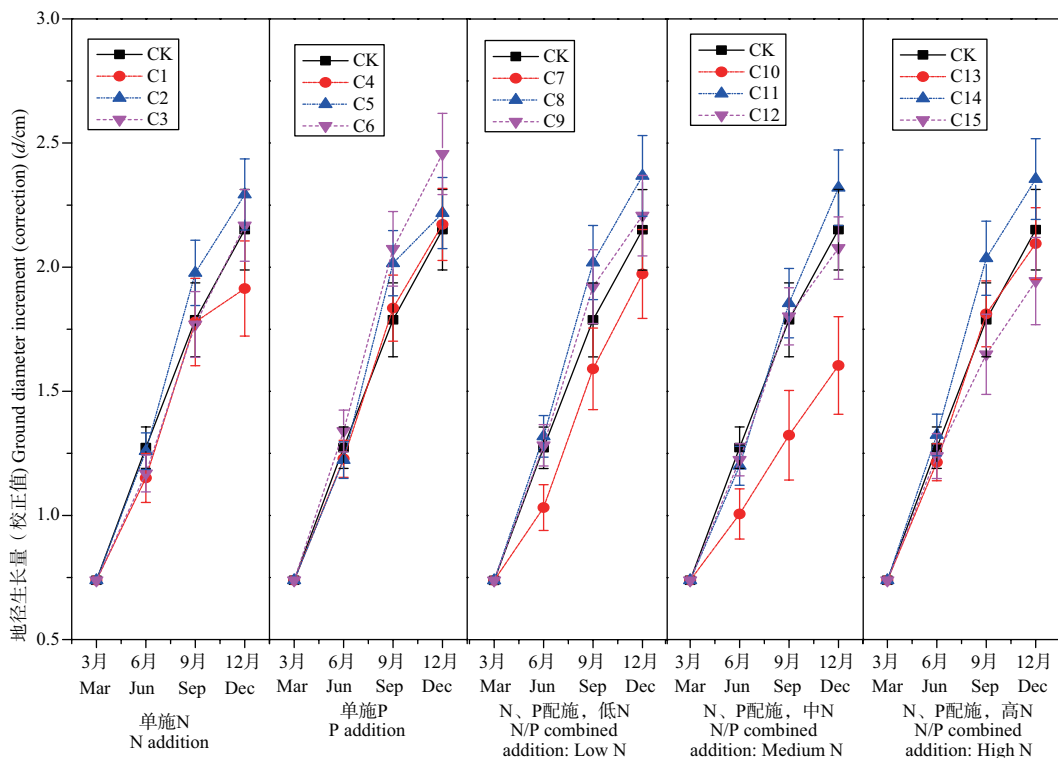


图1 2.5年生刨花楠地径生长量。CK: 对照; C1: 低N; C2: 中N; C3: 高N; C4: 低P; C5: 中P; C6: 高P; C7: 低N且N:P=5:1; C8: 低N且N:P=10:1; C9: 低N且N:P=20:1; C10: 中N且N:P=5:1; C11: 中N且N:P=10:1; C12: 中N且N:P=20:1; C13: 高N且N:P=5:1; C14: 高N且N:P=10:1; C15: 高N且N:P=20:1。

Fig. 1 Net increase of ground diameter in 2.5-year-old *Machilus pauhoi*. CK: Control; C1: Low level of N; C2: Medium level of N; C3: High level of N; C4: Low level of P; C5: Medium level of P; C6: High level of P; C7: Low level of N and N: P = 5: 1; C8: Low level of N and N: P = 10: 1; C9: Low level of N and N: P = 20: 1; C10: Medium level of N and N: P = 5: 1; C11: Medium level of N and N: P = 10: 1; C12: Medium level of N and N: P = 20: 1; C13: High level of N and N: P = 5: 1; C14: High level of N and N: P = 10: 1; C15: High level of N and N: P = 20: 1.

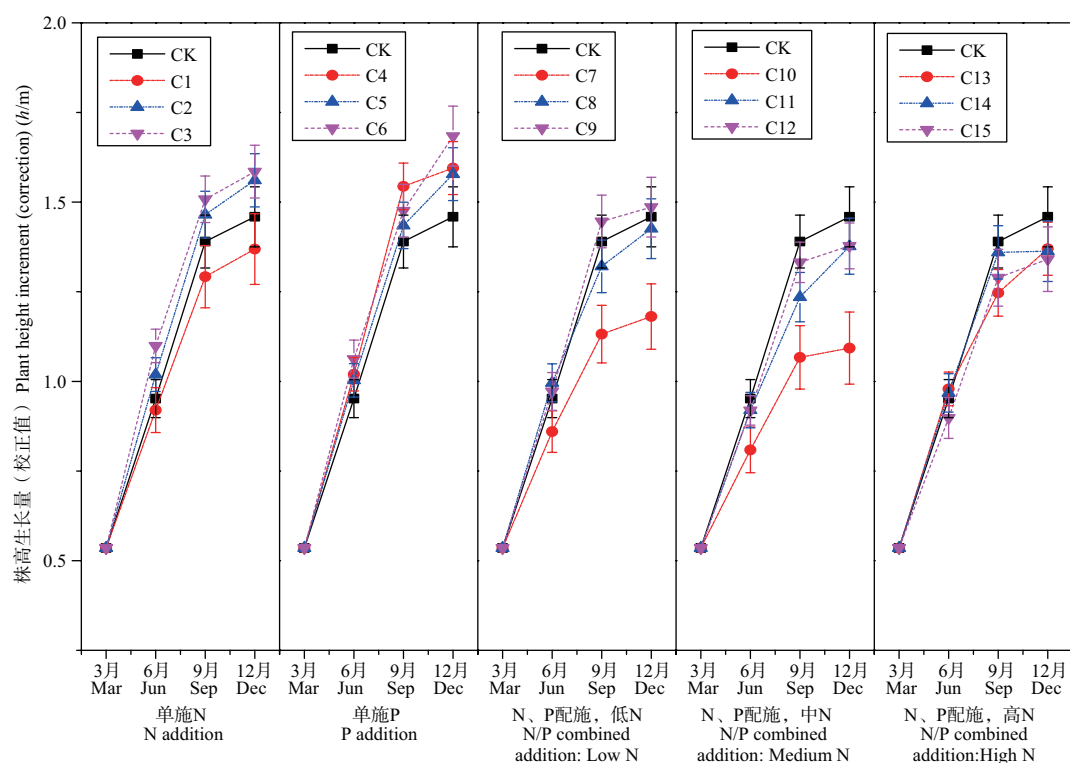


图2 2.5年生刨花楠株高生长量。CK: 对照; C1: 低N; C2: 中N; C3: 高N; C4: 低P; C5: 中P; C6: 高P; C7: 低N且N:P=5:1; C8: 低N且N:P=10:1; C9: 低N且N:P=20:1; C10: 中N且N:P=5:1; C11: 中N且N:P=10:1; C12: 中N且N:P=20:1; C13: 高N且N:P=5:1; C14: 高N且N:P=10:1; C15: 高N且N:P=20:1。

Fig. 2 Net increase of plant height in 2.5-year-old *Machilus pauhoi*. CK: Control; C1: Low level of N; C2: Medium level of N; C3: High level of P; C4: Low level of P; C5: Medium level of P; C6: High level of P; C7: Low level of N and N:P = 5:1; C8: Low level of N and N:P = 10:1; C9: Low level of N and N:P = 20:1; C10: Medium level of N and N:P = 5:1; C11: Medium level of N and N:P = 10:1; C12: Medium level of N and N:P = 20:1; C13: High level of N and N:P = 5:1; C14: High level of N and N:P = 10:1; C15: High level of N and N:P = 20:1.

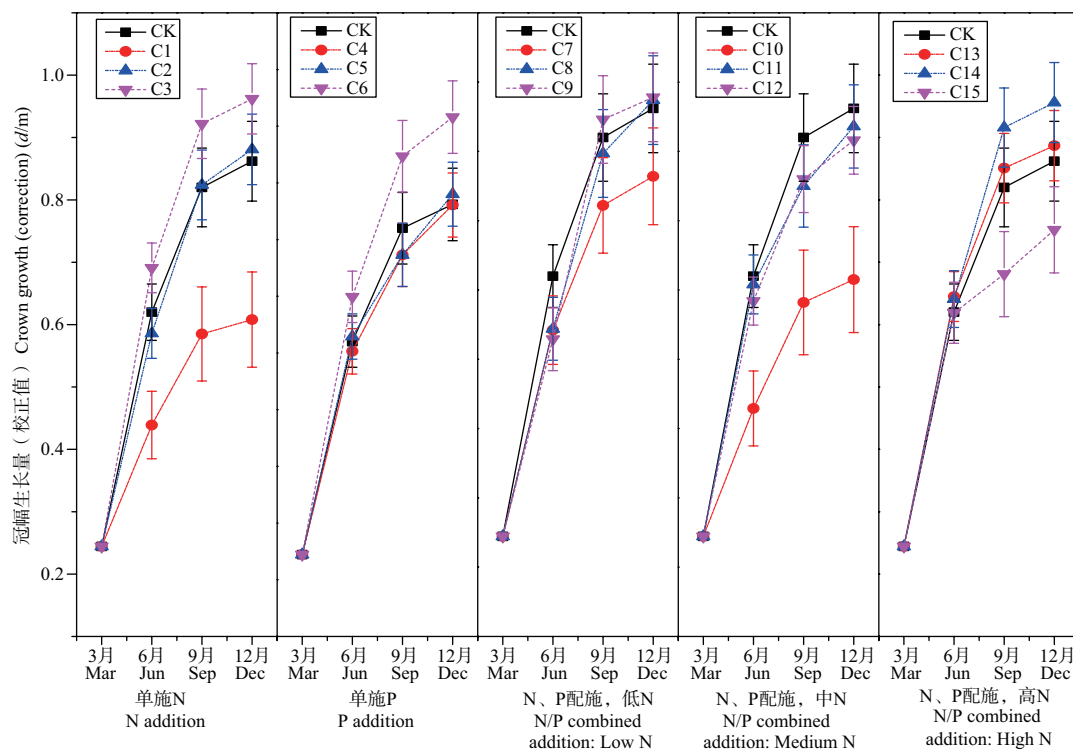


图3 2.5年生刨花楠冠幅生长量。CK: 对照; C1: 低N; C2: 中N; C3: 高N; C4: 低P; C5: 中P; C6: 高P; C7: 低N且N:P=5:1; C8: 低N且N:P=10:1; C9: 低N且N:P=20:1; C10: 中N且N:P=5:1; C11: 中N且N:P=10:1; C12: 中N且N:P=20:1; C13: 高N且N:P=5:1; C14: 高N且N:P=10:1; C15: 高N且N:P=20:1。

Fig. 3 Net increase of crown width in 2.5-year-old *Machilus pauhoi*. CK: Control; C1: Low level of N; C2: Medium level of N; C3: High level of P; C4: Low level of P; C5: Medium level of P; C6: High level of P; C7: Low level of N and N:P = 5:1; C8: Low level of N and N:P = 10:1; C9: Low level of N and N:P = 20:1; C10: Medium level of N and N:P = 5:1; C11: Medium level of N and N:P = 10:1; C12: Medium level of N and N:P = 20:1; C13: High level of N and N:P = 5:1; C14: High level of N and N:P = 10:1; C15: High level of N and N:P = 20:1.

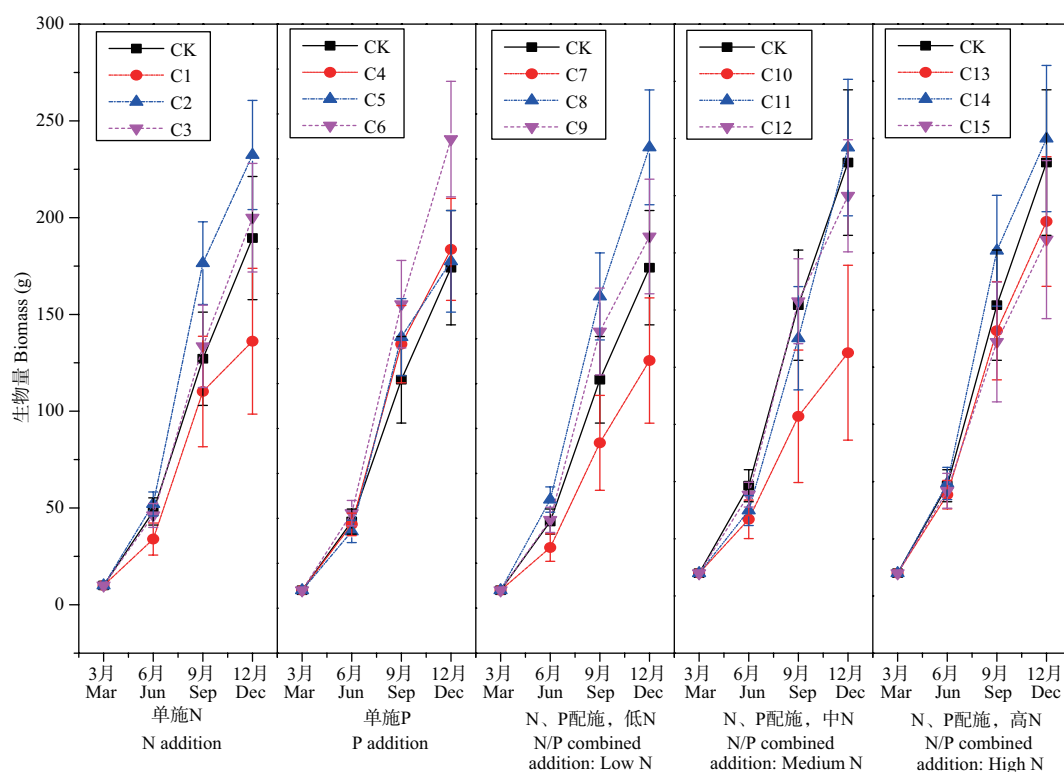


图4 不同处理对2.5年生刨花楠生物量的影响。CK: 对照; C1: 低N; C2: 中N; C3: 高N; C4: 低P; C5: 中P; C6: 高P; C7: 低N且N:P=5:1; C8: 低N且N:P=10:1; C9: 低N且N:P=20:1; C10: 中N且N:P=5:1; C11: 中N且N:P=10:1; C12: 中N且N:P=20:1; C13: 高N且N:P=5:1; C14: 高N且N:P=10:1; C15: 高N且N:P=20:1。

Fig. 4 Effects of N, P additions on the biomass of 2.5-year-old *Machilus pauhoi*. CK: Control; C1: Low level of N; C2: Medium level of N; C3: High level of N; C4: Low level of P; C5: Medium level of P; C6: High level of P; C7: Low level of N and N: P = 5: 1; C8: Low level of N and N: P = 10: 1; C9: Low level of N and N: P = 20: 1; C10: Medium level of N and N: P = 5: 1; C11: Medium level of N and N: P = 10: 1; C12: Medium level of N and N: P = 20: 1; C13: High level of N and N: P = 5: 1; C14: High level of N and N: P = 10: 1; C15: High level of N and N: P = 20: 1.

N/P配施时以C₁₁ (中N且N:P = 10:1) 处理效果最好, 高N且N/P配施时以C₁₄ (高N且N:P = 10:1) 处理效果最好。施肥能显著地影响刨花楠新造林的生物量, 但不同的施肥处理和施肥季节, 生物量的积累也不同, 并且发现在高P (C6) 的处理下, 植物在各个季节和年总生物量上占一定优势。

2.5 不同处理对刨花楠新造林叶片碳、氮、磷养分含量的影响

对5个处理组内不同喷施处理与不同季节对刨花楠叶片C、N、P养分影响进行双因素方差分析 (表1), 结果表明, 除单施P对叶片C含量, 高N且N、P配施对叶片P含量和低N且N、P配施对叶片C、P含量有显著影响外, 其它叶面N、P喷施处理对叶片C、N、P含量都表现为影响不显著。在单施N时, 施肥对叶片的养分影响不显著; 在单施P时, 施肥对叶片的N、P含量影响不显著, 然而处理组高P (C6) 对叶片C含量与对照差异显著; 低N且N、P配施对叶片N含量的影响不显著, 低N且N:P = 20:1 (C9) 处理跟低N且N:P = 10:1 (C8) 处理对叶片P含量有影响, 低N且N:P = 5:1 (C7) 对叶片C与对照以及其他处理差异显著; 在中N且N、P配施时, 施肥处理对叶片N、C、P含量处理影响差异不显著; 在高N且N、P配施时, 施肥处理对叶片C、N含量影响不显著, 高N且N:P = 5:1 (C13) 与高N且N:P = 10:1 (C14)、高N且N:P = 20:1 (C15) 对叶片P处理差异显著。

3 讨论

C、N、P元素 (主要生源要素) 是植物生长所必需的大量元素^[26-29], C元素是结构性物质^[30], N、P是植物生长的限制元素^[31]。N、P元素是植物生长所必须的两大元素。刨花楠苗木叶片N含量和P含量具有一定的相互促进作用, 因为N可以合成蛋白质, 有利于植物根系生长, 进而促进植物对P的吸收; 反之, P可以促进植物蛋白质的合成, 有利于植物对N的吸收利用^[32]。通过对2.5年生刨花楠在不同施肥模式和不同季节时的株高、地径、冠幅及生物量分析, 结果显示不同N、P喷施处理对刨花楠幼林生长的影响存在显著差异, 同一处理在不同季节也具有差异性, 反映了林木在不同生长季节对养分元素具有不同的需求特征, 因此在进行人工林管理时, 应根据不同的生长阶段 (生长季节) 采用不同的N、P或N、P混合添加方法。但是在全球变化大背景下, 尤其是受N沉降的影响, 林木养分总体是对N的需要不断的增加, 这与陈雅君等在N与植物生长相关研究进展中的结论^[33]基本一致。因此, 需加强对树木的林分跟踪研究, 便于以最低的成本获取最大的效益。

试验结果总体表明, 在对刨花楠新造林进行单施N时, 地径总生长量以中N处理的效果最好, 株高总生长量以高P处理的效果最好, 冠幅总生长量以高N处理的效果最好, 但是在一定程度上随着施N的增加对植物地径、株高、冠幅以及

表1 不同施肥处理的刨花楠叶片C、N、P含量差异比较
Table 1 Leaf C, N and P contents in different treatments

处理组 Treatment group		代号 Code	C (w/mg g ⁻¹)	N (w/mg g ⁻¹)	P (w/mg g ⁻¹)
单施N N addition	对照 Control	CK	484.42 ± 19.48a	19.71 ± 3.38a	1.07 ± 0.15a
	低N Low level of N	C1	478.85 ± 10.26a	20.52 ± 3.08a	1.09 ± 0.18a
	中N Medium level of N	C2	485.88 ± 18.35a	19.36 ± 2.49a	1.05 ± 0.16a
	高N High level of N	C3	482.87 ± 13.53a	20.41 ± 2.81a	1.06 ± 0.15a
单施P P addition	对照 Control	CK	484.42 ± 19.48b	19.71 ± 3.38a	1.07 ± 0.15a
	低P Low level of P	C4	487.40 ± 18.35ab	20.07 ± 1.81a	1.03 ± 0.24a
	中P Medium level of P	C5	486.66 ± 14.29ab	20.49 ± 1.20a	1.04 ± 0.23a
	高P High level of P	C6	490.23 ± 17.43a	21.87 ± 3.80a	1.03 ± 0.21a
低N且N、P配施 Low level of N and N/P combined addition	对照 Control	CK	484.42 ± 19.48a	19.71 ± 3.38a	1.07 ± 0.15b
	低N且N:P=5:1 Low level of N and N:P = 5:1	C7	483.84 ± 14.87b	19.28 ± 3.03a	1.02 ± 0.14b
	低N且N:P=10:1 Low level of N and N:P = 10:1	C8	486.50 ± 17.00a	19.70 ± 2.64a	1.06 ± 0.16ab
	低N且N:P=20:1 Low level of N and N:P = 20:1	C9	488.39 ± 15.34a	19.66 ± 2.21a	1.10 ± 0.16a
中N且N、P配施 Medium level of N and N/P combined addition	对照 Control	CK	484.42 ± 19.48a	19.71 ± 3.38a	1.07 ± 0.15a
	中N且N:P=5:1 Medium level of N and N:P = 5:1	C10	482.59 ± 16.66a	19.77 ± 3.23a	1.07 ± 0.17a
	中N且N:P=10:1 Medium level of N and N:P = 10:1	C11	485.10 ± 13.81a	20.30 ± 3.36a	1.04 ± 0.18a
	中N且N:P=20:1 Medium level of N and N:P = 20:1	C12	487.23 ± 15.00a	19.91 ± 2.80a	1.06 ± 0.20a
高N且N、P配施 High level of N and N/P combined addition	对照 Control	CK	484.42 ± 19.48a	19.71 ± 3.38a	1.07 ± 0.15ab
	高N且N:P=5:1 High level of N and N:P = 5:1	C13	479.14 ± 14.85a	19.91 ± 3.10a	1.09 ± 0.26a
	高N且N:P=10:1 High level of N and N:P = 10:1	C14	485.82 ± 19.17a	20.92 ± 3.33a	1.05 ± 0.27b
	高N且N:P=20:1 High level of N and N:P = 20:1	C15	487.24 ± 15.55a	19.55 ± 1.70a	0.95 ± 0.22bc

各变量的值为平均值 ± 标准差。同一施肥处理中不同字母表示数据差异显著 ($P < 0.05$)。
Values are mean ± standard deviation. Lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level.

生物量有明显的增加,故在生长时期施加N肥应适度,若过量添加会降低N的利用效率,进而增加了种植成本,带来了资源的浪费,以及一系列不必要的生态环境问题。该研究结论与众多研究者结论^[34-37]基本一致。

单施P时,地径、株高、冠幅以及生物量都以高P处理的效果最好,表明P的添加能显著促进2.5年生刨花楠地径、株高与冠幅的生长,这与众多研究者对亚热带地区植物采取不同的施肥处理的研究结果相一致,与郭宝华等不同施肥模式对硬头生黄竹(*Bambusa rigida*)胸径研究结果^[38]一致。这说明在造林初期林木对养分的需求比较大,但施肥应适度,由于该林地非炼山造林,土壤有机质含量不高,随着林木年龄的增加土壤有机质不断积累,在以后工作中应继续跟踪测量其土壤养分的变化对林木生长的影响。2.5年生刨花楠生长速率较快,而高的生长速率对应生物体内低的N:P比值^[39-40],这种较低的N:P比值反映了分配到rRNA中P的增加,因为核糖体需要快速地合成蛋白质以支持快速生长^[41],因此,2.5nian生刨花楠对P的需求大,并且不管是株高、地径、冠幅还是生物量在中N且N:P = 5:1处理下,各项指标都极显著低于其他处理。这与蒋柏藩等在研究我国南方大面积酸性土壤中,限制林木生长的主要因子是P的有效水平结果^[42]基本一致。

在不同的季节,外界的光强不断发生变化,但总体是夏季光强大冬季光强小,而N能直接或间接地影响光合作用^[43],根据试验,在对2.5年生刨花楠新造林进行N、P配施时,在林木生长初期,中N且N:P = 10:1情况下最能促进地径的生长,低N且N:P = 20:1处理对株高的处理效果最好,高N条件下N:P = 10:1最能促进刨花楠的冠幅的生长,低N且N:P = 10:1处理对生物量的影响最大。因此,在对刨花楠进行养分管理时,应注意结合经营目标以及成本作出综合考虑。对未郁闭刨花楠人工幼林进行15种N、P叶片喷施处理,处理效果

最好的是高P处理,这可能是由于试验地受P元素限制(叶片N:P大于16^[44])影响。

通过本研究可以看出林木对养分的需求特征以及同一物种在不同季节对N、P养分元素的需求也不一致,因此,开展刨花楠人工幼林经营活动,应根据刨花楠不同季节生长特性进行最佳施肥搭配,以满足其个体生长的养分需求,这可为亚热带地区开展其它常绿树种养分需求研究提供理论指导。另外,不同的施肥处理对2.5年生刨花楠叶片养分的影响差异不明显,其原因可能是植物本身具有化学计量内稳性特征^[45],以及叶片N、P养分特征具有对生境长期适应的结果^[46-47],因此需要对刨花楠叶片N、P含量进行持续的跟踪调查。

参考文献 [References]

1 康蒙, 谢一鸣, 许月, 徐艺露, 阎恩荣. 浙江天童植物叶片氮磷含量的群落内变异[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2013, 2: 20-49 [Kang M, Xie YM, Xu Y, Xu YL, Yan ER. Within-community variability of plant leaf N and P contents in Tiantong, Zhejiang Province [J]. J East Chin Norm Univ (Nat Sci), 2013, 2: 20-49]

2 王绍强, 于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J]. 生态学报, 2008, 28 (8): 3937-3947 [Wang SQ, Yu GR. Ecological stoichiometry characteristics of ecosystem carbon, nitrogen and phosphorus elements [J]. Acta Ecol Sin, 2008, 28 (8): 3937-3947]

3 郭盛磊, 阎秀峰, 白冰, 于爽. 供氮水平对落叶松幼苗光合作用的影响[J]. 生态学报, 2005, 25 (6): 1291-1298 [Guo SL, Yan XF, Bai B, Yu S. Effects of nitrogen supply on photosynthesis in larch seedlings [J]. Acta Ecol Sin, 2005, 25 (6): 1291-1298]

4 赵中华, 郭晓敏, 李发凯, 汪洪丽, 张斌, 程磊, 刘亮英, 乔婧芬. 不同施肥处理对油茶光合生理特性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2007, 29 (4): 576-581 [Zhao ZH, Guo XM, Li FK, Wang HL, Zhang B, Cheng L,

- Qiao JF. Effects of different fertilizing treatment on the photo-biological characters in oil-tea[J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2007, **29** (4): 576-581]
- 5 赵燕, 董雯怡, 张志毅, 李吉跃, 聂立水, 沈应柏. 施肥对毛白杨杂种无性系幼苗生长和光合的影响[J]. 林业科学, 2010, **46** (4): 70-77 [Zhao Y, Dong WY, Zhang ZY, Li JY, Nie LS, Shen YB. Effectsoffertilization on seedling growth and photosynthesis of hybrid clone seedlings of *Populus tomentosa* [J]. *Sci Sil Sin*, 2010, **46** (4): 70-77]
 - 6 赵琼, 刘兴宇, 胡亚林, 曾德慧. 氮添加对兴安落叶松养分分配和再吸收效率的影响[J]. 林业科学, 2010, **46** (5): 14-19 [Zhao Q, Liu XY, Hu YL, Zeng DH. Effects of nitrogen addition on nutrient allocation and nutrient resorption efficiency in *Larix gmelinii* [J]. *Sci Silv Sin*, 2010, **46** (5): 14-19]
 - 7 樊后保, 李燕燕, 刘文飞, 黄荣珍, 袁颖红, 苏兵强, 廖迎春. 连续年龄序列尾桉人工林养分循环[J]. 应用与环境生物学报, 2012, **18** (6): 897-903 [Fan HB, Li YY, Liu WF, Huang RZ, Yuan YH, Su BQ, Liao YC. Nutrient accumulation and cycling of an *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* plantation [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2012, **18** (6): 897-903]
 - 8 刘应珍, 周天才, 郭嫚, 梁玖华, 黄河, 赵志鹏. 不同配方施肥对油茶生长发育及其生理特性的影响[J]. 贵州科学, 2009, **27** (2): 61-66 [Liu YZ, Zhou TC, Guo M, Liang JH, Huang H, Zhao ZP. The effect on *Camellia oleifera* growth and physiological characteristic of different formula fertilization [J]. *Guizhou Sci*, 2009, **27** (2): 61-66]
 - 9 王再花, 朱根发, 操君喜, 陈和明, 吕复兵. 不同施肥处理对春石斛生长特性和矿物质含量的影响[J]. 广东农业科学, 2011, **83** (5): 83-86 [Wang ZH, Zhu GH, Cao JX, Chen HM, Lü FB. Effects of different fertilizer treatments on the growth characters and mineral contents of Nobile-type *Dendrobium* [J]. *Guangdong Agri Sci*, 2011, **83** (5): 83-86]
 - 10 徐嘉科, 陈闻, 王晶. 不同施肥方式对红楠生长及营养特性的影响[J]. 生态学杂志, 2015, **34** (5): 1241-1245 [Xu JW, Chen W, Wang J. Effects of different fertilization strategies on growth and nutrition characteristics of *Machilus thunbergii* [J]. *Chin J Ecol*, 2015, **34** (5): 1241-1245]
 - 11 吴振伙, 吴兆平, 全尚龙. 刨花润楠综合利用价值及其育苗技术[J]. 现代农业科技, 2008, **20**: 55 [Wu ZH, Wu ZP, Quan SL. Comprehensive utilization of wood shavings embellish nan value and its seedling technique [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 2008, **20**: 55]
 - 12 江西省上饶地区林业科学研究所编. 优良速生珍贵树种(续集) [M]. 南昌: 江西人民出版社, 1983 [Shangrao in Jiangxi Province Forestry Science Institute. Excellent Fast-growing Precious Tree Species (Sequel) [M]. Nanchang: Jiangxi People's Publishing House, 1983]
 - 13 蓝肖, 梁瑞龙, 周全连. 刨花润楠栽培技术初探[J]. 广西林业科学, 2008, **37** (4): 203-205 [Lan X, Liao RL, Zhou QL. Impacts of frost damage on forest resource in Lipu County [J]. *Guangxi For Sci*, 2008, **37** (4): 203-205]
 - 14 胡希华. 刨花润楠的优良特性及育苗栽培技术[J]. 湖南林业科技, 2006, **33** (1): 65-66 [Hu XH. Excellent characteristics of shavings embellish nan and seedling cultivation techniques [J]. *Hunan For Sci Technol*, 2006, **33** (1): 65-66]
 - 15 钟全林, 胡松竹, 黄志强. 刨花楠生长特性及其生态因子影响分析[J]. 林业科学, 2002, **38** (2): 165-168 [Zhong QL, Hu SZ, Huang ZQ. Growth characters and effects of ecological factors on *Machilus Pauhoi* [J]. *Sci Sil Sin*, 2002, **38** (2): 165-168]
 - 16 钟全林, 张振瀛, 张春华, 周海林, 黄志强. 刨花楠生物量及其结构动态分析[J]. 江西农业大学学报, 2001, **23** (4): 533-536 [Zhong QL, Zhang ZS, Zhang CH, Zhou HL, Huang ZQ. The dynamic analysis of the biomass and the structure of *Machilus pauhoi* [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2001, **23** (4): 533-536]
 - 17 仕坚, 廖利平, 汪思龙, 高洪, 林柏. 湖南会同红栲-青冈-刨花楠群落生物生产力的研究[J]. 应用生态学报, 2000, **11** (5): 651-654 [Shi J, Liu LP, Wang SL, Gao H, Lin B. Bioproductivity of *Castanopsis hysrix-Cyclobalanopsis glauca-Machilus pauhoi* community in Huitong, Hunan [J]. *Chin J Ecol*, 2000, **11** (5): 651-654]
 - 18 钟全林, 程栋梁, 胡松竹, 贺利中, 唐承财, 文雅香, 邱剑飞, 李秀花. 刨花楠和华东润楠叶绿素含量分异特征及与净光合速率的关系[J]. 应用生态学报, 2009, **20** (2): 271-276 [Zhong QL, Chen DL, Hu SZ, He LZ, Tang CC, Wen YX, Qiu JF, Li XH. Chlorophyll content and net photosynthetic rate of *Machilus pauhoi* and *M. leptophylla* [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2009, **20** (4): 271-276]
 - 19 鲁美娟, 江洪, 李巍, 余树全, 曾波, 蒋馥蔚, 李佳, 金清. 模拟酸雨对刨花楠幼苗生长和光合生理的影响[J]. 生态学报, 2009, **29** (11): 5986-5994 [Lu MJ, Jiang H, Li W, Yu SQ, Zeng B, Jiang FW, Li J, Jin Q. Effect of simulated acid rain on growth and photosynthetic physiology of *Machilus pauhoi* [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, **29** (11): 5986-5994]
 - 20 汪炎明. 杉木萌芽林中套中刨花楠经营技术及生长效应[J]. 林业科技开发, 2009, **23** (5): 119-121 [Wang YM. Cunninghamia lanceolata sprout forest had been shavings in nan management technology and the growth effect [J]. *Chin For Sci Technol*, 2009, **23** (5): 119-121]
 - 21 中国气象局公共气象服务中心, 南平市气象局. 顺昌县-气象数据[EB/OL] [The China Meteorological Administration Public Meteorological Service Center, Nanping Meteorological Bureau. Shunchang County - Meteorological Data [EB/OL]]
 - 22 胡冬南, 游美红, 袁生贵. 不同配方施肥对幼龄油茶的影响[J]. 西北林学院学报, 2005, **20** (1): 94-97 [Hu DN, You MH, Yuan SG. The effect on young *Camellia oleifera* of different formula fertilization [J]. *J N W For Univ*, 2005, **20** (1): 94-97]
 - 23 冯宗伟, 王效科, 吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 6-65 [Feng ZW, Wang XK, Wu G. The forest ecosystem biomass and productivity in China [M]. Beijing: Sci Press, 1999: 6-65]
 - 24 范春楠, 庞圣江, 郑金萍, 李兵, 郭忠玲. 长白山林区14种幼树生物量估测模型[J]. 北京林业大学学报, 2013, **35** (2): 1-9 [Fan CN, Pang SJ, Zheng JP, Li B, Guo ZL. Biomass estimating models of saplings for 14 species in Changbaishan Mountains, northeastern china [J]. *J Beijing For Univ*, 2013, **35** (2): 1-9]
 - 25 马玉珠, 程栋梁, 钟全林, 徐朝斌, 靳冰洁. 福建省5种造林树种幼苗生物量估测模型[J]. 江西农业大学学报, 2013, **35** (6): 1199-1205 [Ma YZ, Cheng DL, Zhong QL, Xu CB, Jing BJ. Estimation models sapling biomass of five types of afforestation trees in Fujian Province [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2013, **35** (6): 1199-1205]
 - 26 杨佳佳, 张向茹, 马露莎, 陈亚南, 党廷辉, 安韶山. 黄土高原刺槐林不同组分生态化学计量关系研究[J]. 土壤学报, 2013, **51** (1): 133-142 [Yang JJ, Zhang XR, Ma LS, Chen YN, Dang TH, An SS. Ecological stoichiometric relationship between components of *Robinia pseudoacacia* forest in Loess Plateau [J]. *Acta Ped Sin*, 2013, **51** (1): 133-142]
 - 27 陈军强, 张蕊, 侯尧宸, 马丽娜, 丁路明, 龙瑞军, 尚占环. 亚高山草甸植物群落物种多样性与群落C、N、P生态化学计量的关系[J]. 植物生态学报, 2013, **37** (11): 979-987 [Chen JQ, Zhang L, Hou YC, alMa LN, Ding LM, Rong RJ, Sang ZH. Relationships between species diversity and C, N and P ecological stoichiometry in plant communities

- of sub-alpine meadow [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2013, **37** (11): 979-987]
- 28 洪江涛, 吴建波, 王小丹. 全球气候变化对陆地植物碳氮磷生态化学计量学特征的影响[J]. 应用生态学报, 2013, **24** (9): 2658-2665 [Hong JT, Wu JB, Wang XD. Effects of global climate change on the C, N, and P stoichiometry of terrestrial plants [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2013, **24** (9): 2658-2665]
 - 29 刘兴华, 陈为峰, 段存国, 王凯, 王海翠. 黄河三角洲未利用地开发对植物与土壤碳、氮、磷化学计量特征的影响[J]. 水土保持学报, 2013, **27** (2): 204-208 [Liu XH, Chen WF, Duan CG, Wang K, Wang HC. Effect of exploitation of unutilized land on ecological stoichiometry characteristics of plants and soil carbon, nitrogen and phosphorus in the river delta [J]. *J Soil Water Cons*, 2013, **27** (2): 204-208]
 - 30 Agren GI. Stoichiometry and nutrition of plant growth in nature communities [J]. *Annu Rev Ecol Evol Syst*, 2008, **39**: 153-170
 - 31 Elser JJ, Bracken MES, Cleland EE, Gruner DS, Harpole WS, Hillebrand H, Ngai JT, Seabloom EW, Shurin JB, Smith JE. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems [J]. *Ecol Lett*, 2007, **10** (12): 1135-1142
 - 32 蔡艳, 张毅, 刘辉, 张锡洲. 峨眉山常绿阔叶林常绿和落叶物种叶片C、N、P研究[J]. 浙江林业科技, 2009, **29** (3): 9-13 [Cai Y, Zhang Y, Liu H, Zhang XZ. Study on C, N, P content in leaf of evergreen and deciduous trees in evergreen broad-leaved forest at E'mei Mountain [J]. *J For Sci Technol Zhejiang*, 2009, **29** (3): 9-13]
 - 33 陈雅君, 闫庆伟, 张璐, 刘威, 刘慧民, 闫永庆. 氮素与植物生长相关研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2013, **44** (4): 144-148 [Chen YJ, Yan QW, Zhang L, Liu W, Liu HM, Yan YQ. Research progress on nitrogen and plant growth [J]. *J NE Agri Univ*, 2013, **44** (4): 144-148]
 - 34 魏海燕, 张洪程, 张胜飞, 杭杰, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 马群, 张庆, 刘艳阳. 不同氮利用效率水稻基因型的根系形态与生理指标的研究[J]. 作物学报, 2008, **34** (3): 429-436 [Wei HY, Zhang HC, Zhang SF, Hang J, Dai QG, Huo ZY, Xu K, Ma Q, Zhang Q, Liu YY. Root morphological and physiological characteristics in rice genotypes with different N use efficiencies [J]. *Acta Agron Sci*, 2008, **34** (3): 429-436]
 - 35 何佳芳, 肖厚军, 黄宪成, 周琴, 胡德平. 氮肥实时实地管理对水稻产量及氮素利用率的影响[J]. 西南农业学报, 2010, **23** (4): 1132-1136 [He GF, Xiao HJ, Huang XC, Zhou Q, Hu DP. Effects of real time and site-specific nitrogen management on rice yield and nitrogen use efficiency [J]. *SW Chin J Agric Sci*, 2010, **23** (4): 1132-1136]
 - 36 周柳强, 黄美福, 周兴华, 农世英, 黄金生, 曾艳, 董文斌, 林北森, 谭宏伟. 不同氮肥用量对田烤烟生长养分吸收及产质量的影响[J]. 西南农业学报, 2010, **23** (4): 1166-1172 [Zhou LQ, Huang MF, Zhou XF, Nong SY, Huang JS, Zeng Y, Dong WB, Lin BS, Tan HW. Effects of nitrogen fertilizer rate on growth, nutrition absorption and yield and quality of flue-cured tobacco [J]. *SW Chin J Agric Sci*, 2010, **23** (4): 1166-1172]
 - 37 张锡洲, 余海英, 王永东, 刘媛媛, 李廷轩. 不同形态氮肥对设施土壤速效养分的影响[J]. 西南农业学报, 2010, **23** (4): 1182-1187 [Zhang XZ, Yu HY, Wang YD, Liu YY, Li TX. Effects of different nitrogen fertilizers on available nutrients concentrations of greenhouse soils [J]. *SW Chin J Agri Sci*, 2010, **23** (4): 1182-1187]
 - 38 郭宝华, 范少辉, 刘广路, 蔡春菊, 张大鹏. 不同施肥模式对硬头黄竹生长特征的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, **33** (7): 45-49 [Guo BH, Fan SH, Liu GL, Cai CJ, Zhang DP. The effect of different fertilization model on hard-toe whangee growth characteristics [J]. *J Centr S Univ For Technol*, 2013, **33** (7): 45-49]
 - 39 Elser JJ, Acharya K, Kyle M, Cotner J, Makino W, Markow T, Watts T, Hobbie S, Fagan W, Schade J. Growth rate-stoichiometry couplings in diverse biota [J]. *Ecol Lett*, 2003, **6**: 936-943
 - 40 Makino W, Cotner JB, Sterner RW, Elser JJ. Are bacteria more like animals than plants? Growth rate and resource dependence of bacterial C:N:P stoichiometry [J]. *Funct Ecol*, 2003, **17**: 21-30
 - 41 Elser JJ, Sterner RW, Gorokhova E. Biological stoichiometry from genes to ecosystems [J]. *Ecol Lett*, 2000, **3**: 540-550.
 - 42 蒋柏藩, 鲁如坤, 李庆远. 中国磷素养分潜力概图及其说明[J]. 土壤学报, 1979, **16**: 17-21 [Jiang BP, Lu RK, Li QK. China p nutrient potential overview and instructions [J]. *Acta Ped Sin*, 1979, **16**: 17-21]
 - 43 Strik B, Buller G. Nitrogen fertilization rate, sawdust mulch, and pre-plant incorporation of sawdust-long-term impact on yield, fruit quality, and soil and plant nutrition in 'elliott' [J]. *Acta Hort*, 2014, **1017**: 269-275
 - 44 Koerselman W, Meuleman A FM. The vegetation N:P ratio: A new tool to detect the nature of nutrient limitation [J]. *J Appl Ecol*, 1996, **33** (6): 1441-1450
 - 45 蒋利玲, 何诗, 吴丽凤, 颜远烽, 翁少峰, 刘静, 王维奇, 曾从盛. 闽江河口湿地3种植物化学计量内稳性特征[J]. 湿地科学, 2014, **12** (3): 293-298 [Jiang LL, He S, Wu LF, Wong SF, Liu J, Wang WQ, Zeng CS. Characteristics of stoichiometric homeostasis of three plant species in wetlands in Minjiang Estuary [J]. *Wetl Sci*, 2014, **12** (3): 293-298]
 - 46 王振南, 杨慧敏. 植物碳氮磷生态化学计量对非生物因子的响应[J]. 草业科学, 2013, **30** (6): 927-934 [Wang ZN, Yang HM. Response of ecological stoichiometry of carbon, nitrogen and phosphorus in plants to abiotic environmental factors [J]. *Pra Cultural Sci*, 2013, **30** (6): 927-934]
 - 47 阎恩荣, 王希华, 周武. 天童常绿阔叶林演替系列植物群落的N:P化学计量特征[J]. 植物生态学报, 2008, **32** (1): 13-22 [Yan EH, Wang XH, Zhou W. N:P Stoichiometry in secondary succession in evergreen broadleaved forest, Tiantong, East China [J]. *J Plant Ecol*, 2008, **32** (1): 13-22]