

鼎湖山典型森林生物固氮潜力对大气氮沉降及磷添加的响应

文/李元鹏

本文通过实地考察和实验测量的方式,对影响森林生物固氮潜力的机理进行研究,研究结果可为理解森林生物固氮潜能对模拟大气氮沉降和人工磷添加及其交互作用的响应提供帮助,同时可为我国南方森林(尤其人工林)可持续经营管理提供一定的理论依据。

1 研究背景与目的

生物固氮是森林生态系统重要的氮素来源。近几十年来,全球环境变化使得大气氮沉降明显增加,这对森林环境产生一系列负面影响,比如引起土壤酸化、生物多样性减少、生产力降低等。氮素输入将使森林生态系统中的固氮微生物活性及结构发生改变,进而影响到森林生物固氮潜能(速率)。氮沉降也会引起森林的养分失衡,会使森林磷元素的有效性降低,尤其在亚热带地区普遍受磷限制的森林中,氮沉降可能引起该区域森林生态系统磷缺乏加剧。由于磷元素是固氮微生物的重要营养物质之一,森林中磷的限制作用也会影响生物固氮能力。本文围绕氮沉降和磷输入这两个重要环节,对我国南亚热带地区典型森林(鼎湖山马尾松林、混交林和季风常绿阔叶林)不同层次结构中(包括土壤、凋落物、苔藓/地衣、冠层叶片)生物固氮速率进行了测定,研究结果表明:氮沉降会降低森林生物固氮潜能,而磷添加促进森林生物固氮。

目前,国内外研究大气氮沉降和磷元素对森林生物固氮的野外控制实验很少,而且对相关机理的认识还不完全清楚。所以,开展森林生物固氮研究将有助于我们认识森林氮素循环,有利于我们更好地认识全球变化对生态环境的影响。

2 国内外研究进展

生物固氮是陆地生态系统固定氮素的主要途径。经微生物固定下来的氮素可以用于促进森林的生长和提高生产力,提供更多的食物,也会进一步影响人类的生存、发展以及环境条件。

截至目前,学界对影响森林生物固氮速率的研究依然未有定论。有的认为是环境因素(例如温度、水分和光照等)的变化,有的认为是矿质养分(例如氮、磷等)影响了生物固氮。经过调研,笔者认为矿质养分的输入是目前需要引起注意的重要诱因。大气氮沉降的增加会对陆地生态系统本身生物固氮潜能产生影响,大气氮沉降可通过增加森林土壤的氮含量,影响土壤固氮细菌的生长,氮沉降也可能改变固氮植物根瘤菌对氮素的获得,从而减少对固氮根瘤的能量分配,因此也可能降低森林生态系统自身的自由固氮和共生固氮量。

同时,大气氮沉降可能导致生态系统营养状况失衡,使固氮细菌的生长受到其他营养元素(比如磷元素)的限制。根据目前的认识,磷元素对固氮细菌来说很重要,因为磷元素参与微生物(包括固氮细菌)细胞膜的合成、酶的活化以及信号的转导(Vance et al. 2002),磷元素含量的高低直接关系到固氮细菌的生长和活性。

从国内外最新的研究进展看,关于生物固氮的研究主要还集中在农业方面,而关于氮沉降和磷添加对森林生物固氮影响的研究还非常少,这些研究主要表达以下两个观点。

a) 氮沉降对森林生物固氮影响的研究主要集中在温带森林(Pérez et al. 2004, Zackrisson et al. 2004, Menge and Hedin 2009, Yelenik et al. 2013)和少数相对缺“氮”的热带森林中(Cusack et al.,

2009),在富“氮”的热带/亚热带森林中还未见类似研究。因为生物固氮或者氮沉降等因素,森林在演替过程中一般会经历从“缺氮”到“富氮”的过程,从而呈现为不同演替阶段(或者不同土壤氮状态)的多样性森林。尤其在近几十年氮沉降加剧的背景下,许多热带森林已经达到富氮甚至氮饱和状态。当前氮添加对温带及少数缺氮的热带森林固氮的研究并无法完全反映热带/亚热带地区森林固氮的总体情况。因此,我们关于氮沉降对热带/亚热带“富氮”森林固氮的影响认识还比较薄弱,这将影响我们对未来森林生态系统氮循环的准确估算。

b) 虽然磷输入对森林固氮的影响在热带和温带森林中均有研究,但是目前得出的结论并不一致。有些研究发现磷输入可以促进森林固氮(Crews et al. 2000, 2001, Reed et al. 2007, Yelenik et al. 2013),而有些研究认为磷输入对森林固氮的影响不显著(Vitousek and Hobbie 2000, Wurzbarger et al. 2012)。进一步阅读文献发现,这些研究的结果差异可能是所研究森林对象具有不同的土壤氮状态或者不同的氮沉降背景值导致的,而一般认为氮输入对许多森林固氮活性具有负作用。

综上,目前国内外很少有关于大气氮沉降和磷元素对森林生物固氮的野外控制实验研究,而且对相关机理的认识还不清楚,而这也正是本文所要研究的重要内容。

3 研究方法 with 实验方案

3.1 研究方法

在中科院华南植物园专家的帮助指导下,笔者跟随相关研究人员对鼎湖山森林实验样地进行熟悉后,对森林不同的层次结构进行了样品采集,并带回中国科学院退化生态系统恢复与管理重点实验室(华南植物园)对森林不同结构层次样品的生物固氮速率进行了测定,同时对各样品的基本理化性质进行了系统分析。试验主要分为以下两种。

3.1.1 长期模拟氮沉降试验

在鼎湖山保护区选择了3种处于森林演替不同阶段的林型:季风常绿阔叶林(阔叶林)、马尾松针叶和阔叶混交林(混交林)和马尾松针叶林(马尾松林)。参照欧洲 NITREX (Nirigen Saturation Experiments)、EXMAN (Experimental Manipulation of Forest Ecosystems in Europe) 项目(Emmett et al. 1998,

Gundersen et al. 1998, Wright and Rasmussen 1998) 和美国马萨诸塞州的 Harvard 森林(Aber et al. 1998) 等类似研究的设计,模拟氮沉降样地建于2002年10月鼎湖山,该样地存有3种典型森林(阔叶林、混交林和马尾松林),该样地是国内首个建成的长期氮沉降模拟实验样地。其中阔叶林样地12个样方,混交林和马尾松林各9个。各样方面积 $10\text{m} \times 20\text{m}$,样方之间留有10m宽的间隔地带,以防止不同样方处理之间相互干扰。根据当地的氮沉降本底值情况,并参考国际上同类研究的处理方法,确定本试验氮处理的强度和频度。实验分4个N处理组,分别为对照C(Control)、低氮处理LN(Low N addition)、中氮处理MN(Medium N addition)和高氮处理HN(High N addition),分别按0、50、100、150 $\text{kg N ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ 进行人工模拟氮沉降处理,每个处理组3个重复。混交林和马尾松林则分别设置C、LN、MN三个处理,而季风林设置C、LN、MN、HN四个处理(多设置一个高氮处理是考虑季风林植物需求量可能较大,另外为了在较短的时间内观测到阔叶林生态系统氮饱和过程)。

3.1.2 模拟氮磷交互试验

参照Cleveland and Townsend (2006)在哥斯达黎加热带雨林中进行的类似研究设计,于2006年11月在鼎湖山3种典型森林(季风林、混交林和马尾松林)中建立模拟氮磷交互样地。每个林型设置随机分布的20个样方。各样方面积 $5\text{m} \times 5\text{m}$,样方之间留有5m宽的间隔地带,以防止不同样方处理之间相互干扰。根据本地地区的氮沉降本底值情况,并参考国际上同类研究的处理方法,确定本试验氮磷处理的强度和频度。实验分4个处理,分别为对照C(Control,不施肥)、加氮处理N(N addition, 150 $\text{kg N ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$)、加磷处理P(P addition, 150 $\text{kg P ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$)和氮磷处理NP(NP addition, 150 $\text{kg N ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$ +150 $\text{kg P ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$),每个处理5个重复。氮添加处理水平参考鼎湖山长期模拟氮沉降实验样地进行(Mo et al. 2006),磷添加处理水平参考哥斯达黎加的实验设计,另一方面也考虑到老成土具有较高的磷吸附能力(Oberson et al. 1997),所以采用氮磷比1:1的水平进行添加。

3.2 实验方案

3.2.1 样品采集

在每个样方中分别采集凋落物、土壤、苔藓和冠层叶片各3个样品。经实地调查发现研究样地基本没有地衣,可以近似排除其对森林固氮量的贡献。样品

的收集方法具体如下：

a) 每个样方随机选取 3 个点,用 20cm × 20cm 固定式铝盒框收集地表凋落物层样品 (包括未分解、半分解和残渣碎片),然后混合均匀。

b) 在已获取的凋落物样品下,用 2.5cm 孔径的土钻钻取 3 个 0- 10cm 层的矿质土样,混合均匀。

d) 在每个样方选取 3 棵长势较好且胸径 (DBH) 大小相近的树 (在季风林中主要选择荷木、锥栗等阔叶树种,马尾松林中选择马尾松,混交林中同时选择主要的阔叶和针叶树),采用高枝剪获取冠层叶片,同时考虑冠层顶部、中部和底部的叶片,混合均匀。

d) 因为苔藓主要分布在树干基部,因此在每个样方中随机选择 3 棵树,用小刀片轻轻划个方形 8cm × 8cm,同时测量苔藓的分布高度和所覆盖面积。

3.2.2 样品测定

固氮酶活性的测定采用乙炔还原法 (Hardy et al. 1968),其基本原理为 根据固氮酶具有还原分子态氮或者利用其它底物的能力,将乙炔 (C_2H_2) 还原为乙烯 (C_2H_4),作为固氮的间接测定。取一定量的土壤、植物样品,置于密封小瓶中,抽出 10% 的空气,同时注入 10% 的乙炔。在一定的温度和光照条件下培养数个小时,结束后用无菌注射器抽取部分气体,用气相色谱仪测定生成的乙烯含量。最后根据生成的乙烯峰值,计算固氮酶的乙炔还原率 (ARA),根据乙炔还原率,理论上用 C_2H_4 与 N_2 之比为 3:1 换算成固氮量。土壤和植物理化性质的分析主要采用中国生态系统研究网络观测与分析标准方法进行 (Liu 1996)。

3.3 实验数据及结论

为验证上述森林生物固氮机理假设,本文先后进行“氮沉降对季风林生物固氮的影响”“氮沉降对混交林和马尾松林生物固氮的影响”及“氮、磷添加对季风林、混交林和马尾松林生物固氮的影响”三个实验,并对过程数据进行记录对比。

3.3.1 氮沉降对季风林生物固氮的影响

中氮和高氮添加处理下,季风林的土壤和凋落物固氮酶活性显著降低了 (如图 1)。相比之下,高氮添加处理使得苔藓固氮酶活性和锥栗、木荷、华润楠叶片固氮酶活性显著增加,但是,除此之外的其他氮添加处理对固氮酶活性的作用不显著。季风林的土壤中国氮活性随氮添加处理的增高而降低,季风林中的凋落物层中国氮活性随氮添加处理的增高而降低,季风林

的苔藓中国氮活性随氮添加处理的增高而增高,季风林的锥栗、木荷、华润楠叶片中国氮活性随氮添加处理的增高而显著增高。

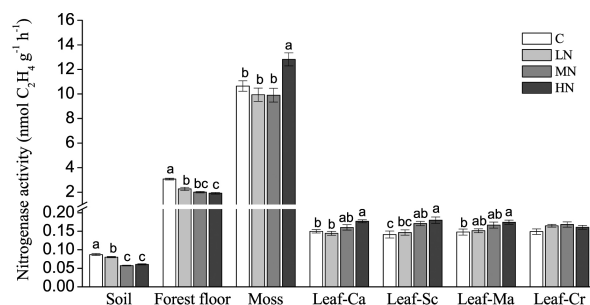


图 1 氮添加对季风林不同基质固氮活性的影响

C: 对照; LN: 低氮处理; MN: 中氮处理; HN: 高氮处理。Ca: Castanopsis chinensis 锥栗; Sc: Schima superba 木荷; Ma: Machilus chinensis 华润楠; Cr: Cryptocarya chinensis 厚壳桂。不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

其他实验数据结果显示：

a) 季风林土壤中固氮速率随氮处理的增高而降低,季风林的凋落物层中生物固氮速率随氮处理水平的增高而降低,季风林的苔藓中国氮速率随氮处理的增高而增高,季风林的冠层中生物固氮速率随氮处理的增高而增加。

b) 通过对土壤理化性质指标测试结果分析,不同氮水平添加对季风林土壤总碳、总氮和总磷含量的影响不显著。中氮添加处理显著提高了土壤总氮 / 总磷比值和无机氮 / 有效磷比值。

d) 氮添加处理对季风林凋落物层总碳和总磷的影响不大。但是,中氮和高氮添加可以提高凋落物层总磷的含量。另外,在化学计量比方面,中氮和高氮添加可以提高凋落物层总氮 / 总磷比值,同时也降低了总碳 / 总氮比值。

(d) 氮添加处理对季风林苔藓总氮和总磷含量的影响不大。但是,高氮添加处理提高了苔藓的总碳含量。高氮添加提高了苔藓的总碳 / 总氮比值。

e) 不同氮水平添加对季风林的叶片总氮和总磷含量的影响不大。相比之下,我们发现中氮和高氮添加提高了叶片总碳的含量。另外,中氮添加显著提高了叶片总碳 / 总氮比值。

3.3.2 氮沉降对混交林和马尾松林生物固氮的影响

从图 2 看出,中氮和高氮添加降低了马尾松林土壤、凋落物层和叶片的固氮酶活性。但是氮添加处理对混交林固氮酶活性没有显著影响。

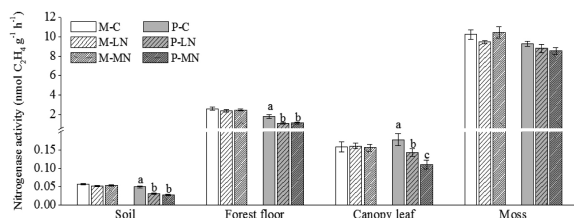


图2 氮添加对混交林(M)和马尾松林(P)固氮活性的影响

C: 对照; LN: 低氮处理; MN: 中氮处理。不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

混交林的土壤中固氮酶的活性随氮添加的增高而没有发生明显变化,马尾松林的土壤中固氮酶的活性随氮添加的增高而降低。混交林的凋落物层中固氮酶活性随氮处理的增高而没有发生明显变化,马尾松林的凋落物层中固氮酶的活性随氮处理的增高而降低。混交林的冠层中固氮酶的活性随氮处理的增高而没有发生明显变化,马尾松林的冠层中固氮酶的活性随氮处理的增高而降低。混交林的苔藓中固氮酶活性随氮处理的增高而没有发生明显变化,马尾松林的苔藓中固氮酶活性随氮处理的增高而没有发生明显变化。

其他实验数据结果显示:

a) 中氮和高氮添加降低了马尾松林土壤、凋落物层和叶片的固氮速率,高氮处理降低了其苔藓的固氮速率。相比之下,不同氮添加处理对混交林的固氮速率影响不大。

b) 高氮处理显著增加了马尾松林土壤 NH_4^+ 含量,降低了土壤微生物碳和微生物磷的含量。此外,马尾松林土壤微生物磷含量显著高于混交林。

c) 中氮添加显著增加了马尾松林凋落物层总氮的含量,而高氮添加显著降低了凋落物层的 pH,也就是酸碱度。另外还发现混交林凋落物层的总氮、总磷和总碳含量均显著高于马尾松林。

d) 高氮添加显著降低了马尾松林苔藓总磷和总碳含量。而且,混交林苔藓总氮和总碳含量均显著高于马尾松林。

3.3.3 氮、磷添加对季风林、混交林和马尾松林生物固氮的影响

从图3看出,氮添加降低了季风林和马尾松林土壤和凋落物的固氮酶活性,以及马尾松林苔藓的固氮酶活性。但是,氮添加处理增加了季风林苔藓的固氮酶活性。相比之下,磷添加处理显著增加了三个森林

土壤的固氮酶活性,也增加了季风林和混交林凋落物层的固氮酶活性,还有增加了季风林苔藓的固氮酶活性。如果是氮和磷同时添加的话,可以提高混交林和马尾松林土壤的固氮酶活性,以及季风林苔藓的固氮酶活性。

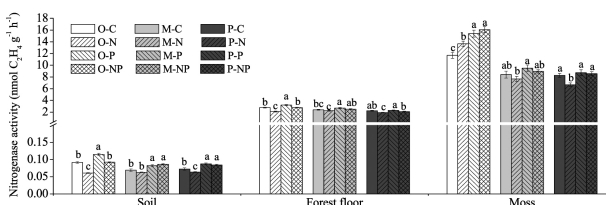


图3 氮磷添加对季风林(O)、混交林(M)和马尾松林(P)固氮活性的影响

C: 对照; N: 氮添加; P: 磷添加; NP: 氮磷同时添加。不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

实验数据还显示 氮添加降低了季风林土壤和凋落物层的固氮速率,还有降低马尾松林凋落物层和苔藓的固氮速率。相比之下,磷添加处理显著增加了季风林土壤、凋落物层和苔藓的固氮速率。那么,氮和磷同时添加提高了季风林苔藓的固氮速率,以及提高了混交林和马尾松林土壤的固氮速率。

4 研究结论及建议

经研究,大气氮沉降会降低鼎湖山森林地表层凋落物和土壤的固氮能力,也会促进苔藓和叶片的固氮能力。森林土壤和凋落物层的生物固氮能力下降了。来源于大气中的氮沉降量日益增加,使得一些维管束固氮植物(苔藓类植物)利于生长,这可能是我们经常在南亚热带地区森林中看到有大量苔藓的一个原因。

同时,氮沉降只是降低了马尾松林的固氮能力,但对混交林的影响不大。相对于混交林和季风常绿阔叶林而言,马尾松林处于森林演替的初级阶段,受到的外部人为干扰程度较大(林下凋落物收获、灌层收割等),还没有大量的外来植物种入侵、定居,树种相对单一,森林结构和功能简单,一旦受到外部干扰(如大气氮沉降),马尾松林生态系统生物固氮潜能更容易改变。

另外,磷添加基本上都提高了三个森林的固氮能力。查阅大量文献后跟指导老师探讨,笔者发现鼎湖山森林(南亚热带森林)普遍缺少磷,加之日益增加的

(下转第76页)

为继,必须转向“内涵型”发展模式。下更大工夫优化产业结构,着力提高发展的质量和效益,提高技术创新对产业经济增长的贡献率,推动产品向中高端升级,加快由总量发展向内涵集约、质量效益型转变,实现稳进中求好。

纺织服装产业要向技术创新和品牌优势为核心的发展模式升级。针对市场需求,中国化纤产业的比较优势正在减弱,唯一的出路便是增强自主创新能力,提高产品的质量和档次,发挥品牌效益,获得新的、更大的发展。通过实施品牌战略,争创国家和省级名牌产品,以提高产品附加值和市场占有率。

同时,促进产学研合作,加强服装人才培养。冠华公司除利用好已有博士后工作站的优势外,还应创立多层次、多模式开展产学研合作新机制,建立联系产业发展实际的科研创新平台,建立多边技术协作机制,与大专院校、科研机构(五邑大学、江门职业技术学院)密切合作,同步发展,加强纺织服装专业适用人才培养。

另一方面,罗坑工业的纺织服装业产值比重过大,近年来外部环境的变化和环保政策的严厉对其影响较大。除纺织服装业的升级外,其它领域也应升级,从而提升当地经济的活力。其升级路线主要包括产业结构进行优化,打造可持续的专业镇产业生态,通过建设技术创新平台推动企业发展壮大等。

罗坑镇现有企业及个体工商户 1300 多家,从业人员 12000 多人,涉及纺织、电力线路器材、印染、建材、五金、红木家具、食品、化工、皮革、竹藤器具、服务等行业。在这些行业企业中应培育发展新兴产业,培育扶持创新型龙头企业,通过实施企业成长路线图,扶持科技型中小企业快速发展壮大。

建设专业镇基础设施,提高镇区文化品位,形成

良好的城镇产业与创新环境。保护生态环境,发展特色品牌农产品。利用好几座著名的寺庙 桂林寺、道北寺和云峰寺及拥有五邑地区规模罕见的岭南广府风格祠堂——林氏家庙,发展旅游业。加速转变镇区政府职能,强化服务,提高服务水平和办事效率,使创新人才和创新企业在专业镇扎根。

政府按照公共平台提供公共服务的发展思路,全力引导和支持技术创新平台的建设,促进企业加大科技投入,开展创新活动,解决中小企业对技术创新公共平台的渴求。此外,还应引导专业镇有条件的企业结成联盟搭建技术创新平台,共同开展技术创新,促进产业升级。

3 结论与建议

专业镇经济为区域经济发展做出的巨大贡献已不容忽视,但是其中存在的诸多问题也须引起注意。要实现可持续发展,就必须尽快使专业镇经济转型升级。转型升级牵涉市场中的“拉力”和政府“推力”,要求市场环境、制度环境、产品的共同作用。政策协调机制表现在如节能减排、环境保护等产业转移效应,以及大力发展战略性新兴产业等政策推动,是一种催化剂。但市场协调机制的作用也是巨大的,要专业镇的转型升级,就需要政府协调机制与市场意愿相一致。政府应从体制机制上进行相应的改革和创新,通过引导和政策倾斜对产业结构进行优化,建设技术创新平台推动企业发展壮大,努力营造宜居宜业的适合环境,促进专业镇的产业、经济、社会文化转型升级。

作者简介:宋波(1969-),男,高级工程师,博士,任职于江门职业技术学院,研究方向为职业教育、高分子材料。

(上接第 84 页)

大气氮沉降,可能使得我国南方森林普遍存在磷元素失衡(磷缺少)现象,这将不利于森林的生长。

最后,试验的数据说明,随着未来全球环境的变化,如大气氮沉降等,将会降低森林的固氮能力,影响森林生长环境的稳定,从而可能对人类的生存发展产生负面影响。在我国南方森林经营管理中,适量增加磷肥施用可缓解这一现象,建议在广东省森林、尤其人工林管理过程中,选择适量的磷肥施用。这可以维

持森林的健康生长,并一定程度上可以缓解由于大气氮沉降对森林生态系统带来的负面影响。

作者简介:李元鹏(2001-),男,广东实验中学学生,多次参与国家级、省级、校级学生课外科技创新大赛,对小发明、小创造情有独钟,兴趣研究方向为环境科学,个人曾获第 32 届广东省青少年科技创新大赛一等奖、第 13 届广东省青少年儿童发明三等奖等奖项。