

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

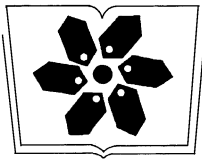
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第14期 Vol.33 No.14 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 14 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

石鸡属鸟类研究现状..... 宋 森,刘迺发 (4215)

个体与基础生态

不同降水及氮添加对浙江古田山 4 种树木幼苗光合生理生态特征与生物量的影响.....
..... 闫 慧,吴 茜,丁 佳,等 (4226)

低温胁迫时间对 4 种幼苗生理生化及光合特性的影响..... 邵怡若,许建新,薛 立,等 (4237)

不同施氮处理玉米根茬在土壤中矿化分解特性..... 蔡 苗,董燕婕,李佰军,等 (4248)

不同生育期花生渗透调节物质含量和抗氧化酶活性对土壤水分的响应.....
..... 张智猛,宋文武,丁 红,等 (4257)

天山中部天山云杉林土壤种子库年际变化..... 李华东,潘存德,王 兵,等 (4266)

不同作物两苗同穴互作育苗的生理生态效应..... 李伶俐,郭红霞,黄耿华,等 (4278)

镁、锰、活性炭和石灰及其交互作用对小麦镉吸收的影响..... 周相玉,冯文强,秦鱼生,等 (4289)

CO₂ 浓度升高对毛竹器官矿质离子吸收、运输和分配的影响 庄明浩,陈双林,李迎春,等 (4297)

pH 值和 Fe、Cd 处理对水稻根际及根表 Fe、Cd 吸附行为的影响 刘丹青,陈 雪,杨亚洲,等 (4306)

弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗发育及内源激素含量的影响..... 周卫霞,李潮海,刘天学,等 (4315)

玉米花生间作对玉米光合特性及产量形成的影响..... 焦念元,宁堂原,杨萌珂,等 (4324)

不同林龄胡杨克隆繁殖根系分布特征及其构型..... 黄晶晶,井家林,曹德昌,等 (4331)

植被年际变化对蒸散发影响的模拟研究..... 陈 浩,曾晓东 (4343)

蝇蛹金小蜂的交配行为及雄蜂交配次数对雌蜂繁殖的影响..... 孙 芳,陈中正,段毕升,等 (4354)

西藏飞蝗虫粪粗提物的成分分析及其活性测定..... 王海建,李彝利,李 庆,等 (4361)

不同水稻品种对稻纵卷叶螟生长发育、存活、生殖及飞行能力的影响..... 李 霞,徐秀秀,韩兰芝,等 (4370)

种群、群落和生态系统

基于 *mtCOII* 基因对山东省越冬代亚洲玉米螟不同种群的遗传结构分析
..... 李丽莉,于 毅,国 栋,等 (4377)

太湖湿地昆虫群落结构及多样性..... 韩争伟,马 玲,曹传旺,等 (4387)

西江下游浮游植物群落周年变化模式..... 王 超,赖子尼,李新辉,等 (4398)

环境和扩散对草地群落构建的影响..... 王 丹,王孝安,郭 华,等 (4409)

黄土高原不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻的多样性..... 杨丽娜,赵允格,明 姣,等 (4416)

景观、区域和全球生态

基于景观安全格局的建设用地管制分区..... 王思易,欧名豪 (4425)

黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析..... 赵锐锋,姜朋辉,赵海莉,等 (4436)

2000—2010 年青海湖流域草地退化状况时空分析 骆成凤,许长军,游浩妍,等 (4450)

基于“源”“汇”景观指数的定西关川河流域土壤水蚀研究 李海防,卫 伟,陈 瑾,等 (4460)

农业景观格局与麦蚜密度对其初寄生蜂与重寄生蜂种群及寄生率的影响 ... 关晓庆,刘军和,赵紫华 (4468)

CO₂ 浓度和降水协同作用对短花针茅生长的影响..... 石耀辉,周广胜,蒋延玲,等 (4478)

资源与产业生态

城市土地利用的生态服务功效评价方法——以常州市为例..... 阳文锐,李 锋,王如松,等 (4486)

城市居民食物磷素消费变化及其环境负荷——以厦门市为例..... 王慧娜,赵小锋,唐立娜,等 (4495)

研究简报

间套作种植提升农田生态系统服务功能..... 苏本营,陈圣宾,李永庚,等 (4505)

矿区生态产业评价指标体系 王广成,王欢欢,谭玲玲 (4515)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-07



封面图说: 古田山常绿阔叶林景观——亚热带常绿阔叶林是我国独特的植被类型,生物多样性仅次于热带雨林。古田山地处中亚热带东部,浙、赣、皖三省交界处,由于其特殊复杂的地理环境位置,分布着典型的中亚热带常绿阔叶林,是生物繁衍栖息的理想场所,生物多样性十分突出。中国科学院在这里建立了古田山森林生物多样性与气候变化研究站,主要定位于研究和探索中国亚热带森林植物群落物种共存机制,阐释生物多样性对森林生态系统功能的影响,以及监测气候变化对于亚热带森林及其碳库和碳通量的影响。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201204050477

闫慧, 吴茜, 丁佳, 张守仁. 不同降水及氮添加对浙江古田山 4 种树木幼苗光合生理生态特征与生物量的影响. 生态学报, 2013, 33(14): 4226-4236.

Yan H, Wu Q, Ding J, Zhang S R. Effects of precipitation and nitrogen addition on photosynthetically eco-physiological characteristics and biomass of four tree seedlings in Gutian Mountain, Zhejiang Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(14): 4226-4236.

不同降水及氮添加对浙江古田山 4 种树木幼苗 光合生理生态特征与生物量的影响

闫 慧^{1,2}, 吴 茜^{1,2}, 丁 佳^{1,2}, 张守仁^{1,*}

(1. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 氮沉降和降水变化的不确定是目前全球变化背景下亚热带地区倍受关注的热点生态学课题, 因此, 探究降水变化及氮添加对亚热带森林植物生理生态特征及生长的影响可以为探讨全球变化背景下中国亚热带森林动态变化机制及保护和管理提供实验依据。在野外自然条件下, 设置了 3a 的降水与氮添加控制实验, 研究降水变化与氮添加对亚热带树木幼苗秃瓣杜英 (*Elaeocarpus glabripetalus*)、枫香 (*Liquidambar formosana*)、木荷 (*Schima superba*)、青冈 (*Cyclobalanopsis glauca*) 生理生态特征及生长的影响。降水处理有 3 个水平: 自然降水 (对照, CK), 增加 30% 降水 (+H) 及减少 30% 降水 (-H); 氮素处理有两个水平: 自然状态 (对照) 及添加 NH_4NO_3 $10\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ (+N)。由于亚热带地区土壤 pH 值偏低, 大多数植物生长可能会受到土壤有效磷的限制而非氮限制, 所以探讨在亚热带地区氮添加是否会影响树木的光合生理生态特征及生长, 同时讨论降水变化与氮素的交互作用对 4 种树木幼苗的光合特征及生长的影响。实验结果表明: 降水与氮素对树木光合生理生态特征及生长是有一定影响的。 $10\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ NH_4NO_3 氮添加水平可以提高 4 种树木幼苗叶片叶绿素含量 ($P<0.05$)、光系统 II 最大光化学效率 (F_v/F_m) ($P<0.01$)、光化学性能指数 (PI_{ABS}) ($P<0.01$) 以及净光合速率 ($P<0.05$), 4 种树木幼苗总生物量在氮添加后显著提高了 33.06% ($P<0.01$), 因此古田山亚热带常绿阔叶林氮添加可以提高植物的光合性能, 促进植物生长; 降水变化对树种生理生态特征及总生物量的影响相对氮添加的影响较小, 但是在古田山亚热带地区干季, 降水对净光合速率 ($P<0.05$)、气孔导度和蒸腾速率 ($P<0.001$) 的影响均达到显著水平, 同时发现气孔导度对降水的变化更加敏感; 降水与氮素的交互作用对树木光合生理生态特征 (除 PI_{ABS}) 及总生物量的影响均没有达到显著水平 ($P>0.05$); 不同树种间生理指标的差异是由树种生物学特性差异造成, 不同树种间总生物量的差异受到氮添加与降水的影响, 并且达到极显著水平 ($P<0.01$)。

关键词: 氮添加; 降水; 光合气体交换; 叶绿素荧光; 总生物量

Effects of precipitation and nitrogen addition on photosynthetically eco-physiological characteristics and biomass of four tree seedlings in Gutian Mountain, Zhejiang Province, China

YAN Hui^{1,2}, WU Qian^{1,2}, DING Jia^{1,2}, ZHANG Shouren^{1,*}

1 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Nitrogen deposition and uncertainty of precipitation are currently two of the most important ecological issues of global climate change in subtropical areas. To study the effects of nitrogen and precipitation on the eco-physiological traits and growth of subtropical trees, we set up a two-factorial experiment controlling the factors of precipitation and soil

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31170457; 30590382)

收稿日期: 2012-04-05; 修订日期: 2012-08-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zsr@ibcas.ac.cn

fertilization for the seedlings of *Elaeocarpus glabripetalus*, *Liquidambar formosana*, *Schima superba* and *Cyclobalanopsis glauca* for three years on Gutian Mountain in Zhejiang Province, China. Precipitation was set at three levels: natural precipitation (CK), increase of 30% natural precipitation and decrease of 30% natural precipitation. Soil fertilization was set at two levels: natural nitrogen and nitrogen addition of $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1} \text{NH}_4\text{NO}_3$. In general, the pH values in subtropical soil are low and the growth of most subtropical tree species may be limited by phosphorus deficiency in the soil not nitrogen availability, so we need to test if addition of nitrogen in soil will promote the eco-physiological traits and growth of the subtropical tree species. We also want to test how the interactive soil fertilization and precipitation changes affect the growth and photosynthetic traits in the four subtropical tree species. We periodically measured the seedlings' photosynthetic eco-physiological traits and their environmental growth factors for three years. The results showed that precipitation variation and nitrogen addition did have some effects on eco-physiological characteristics and total biomass across four tree species. We found that $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1} \text{NH}_4\text{NO}_3$ nitrogen addition significantly improved the leaf chlorophyll synthesis ($P < 0.05$) and photosynthesis rate ($P < 0.05$) across the four subtropical tree seedlings. The addition of nitrogen also positively stimulated PS II photochemical efficiency (F_v/F_m , PI_{ABS}) ($P < 0.01$) in the four subtropical tree seedlings. Addition of nitrogen significantly increased total biomass formation by more than 30% ($P < 0.01$). Hence, nitrogen addition would increase tree seedling photosynthesis ability and promote their growth in subtropical evergreen forest of Gutian Mountain. In contrast, we found that the effects of precipitation changes were less significant on the eco-physiological traits and total biomass for the four subtropical tree seedlings. Nevertheless, precipitation variations significantly influenced photosynthetic rate ($P < 0.05$), stomatal conduction and transpiration ($P < 0.001$) for some tree seedlings during the dry season of Gutian Mountain. Meanwhile, stomatal conduction was more sensitive to precipitation variations. The interactive effects of precipitation and nitrogen addition on the eco-physiological characteristics (excluding PI_{ABS}) and total biomass among the four tree species were not significant ($P > 0.05$). The differences in eco-physiological characteristics among the four tree species should attribute to their natural biological properties, while the difference in biomass among different tree species was due to the variations in precipitation change and nitrogen addition ($P < 0.01$) from this experiment.

Key Words: nitrogen addition; precipitation; photosynthesis; chlorophyll fluorescence; biomass

人类活动使全球大气中含氮化合物浓度逐渐增加并向陆地和水生生态系统沉降^[1-2],导致陆地生态系统固氮量成倍增加^[3-4]。氮沉降主要发生在经济发达的温带地区,有关温带生态系统氮添加的研究案例也较多^[5]。但是目前全球氮肥使用的 40% 是在热带、亚热带地区,化石燃料的使用也在许多热带、亚热带区域骤然增加^[6-7]。Galloway^[3]预测,截至 2020 年地球上约有 2/3 与能量相关的氮输入将发生在热带、亚热带地区。此外,有关环境氮富集及其驱动力预测模型发现亚洲地区由于人为因素所导致的活性氮增长速度已从 1961 年 14.4 百万吨氮每年 (Tg N/a) 增至 2000 年 67.7 Tg N/a,到 2030 年有可能达到 105.3 Tg N/a^[8]。同时, Holland 模型结果表明,东南亚地区现今已经成为继北美、欧洲之后另一个氮沉降的集中地区^[9]。中国氮沉降状况的研究无论区域尺度还是全球尺度都变得十分重要^[10]。

氮输入对生态系统特征如碳存储、痕量气体交换、阳离子淋失以及生物多样性等已逐渐产生影响^[11-12]。温带针叶林及草原生态系统受氮供应限制,所以氮添加会促进植物的生长,提高生态系统碳存储能力^[13-14]。但由于热带和亚热带地区土壤 pH 值普遍较低,氮添加会导致土壤中磷和/或阳离子量减少,阳离子交换能力 (CEC) 降低^[15],降低植物生长与碳固存能力。大多数研究认为, CO_2 最大吸收速率 (A_{max}) 随叶片氮浓度增加而增大^[16], 现也有研究发现,氮添加并没有引起光合速率的变化^[17],甚至发现氮添加量过高导致营养失衡叶绿素形成受阻,光合速率反而降低^[18]。所以,在自然条件下对热带、亚热带地区进行氮添加控制实验,研究其对植物的光合速率及固碳能力的影响是非常重要的。

生态系统水循环、降水格局等由于全球变化的影响也在发生着变化^[19],例如中高纬度地区陆地表面降水

增加,热带、亚热带地区陆地表面降水减少等^[20]。由于干旱和半干旱地区植物的生长、繁殖、养分循环及净生态系统生产力(NEP)对水分的依赖性比其他生态因子较强^[21],所以认为干旱和半干旱地区增加降水会促进植物的生长^[19]。但由于热带、亚热带地区雨水充沛,有关降水格局模拟的实验则相对较少^[22],因此实施相关的降水模拟实验来分析热带、亚热带地区陆地表面降水变化对植物生理及生长的影响具有十分重要的意义,是生态系统对全球变化响应研究的重要组成部分。

在一定范围内,土壤水分含量的逐渐增加会导致植物吸氮量及氮肥施用效果的提高,因为土壤养分主要通过水以溶质形式迁移吸收,土壤水分的变化会影响养分的可利用性^[23]。此外,降水格局与氮素间的关系还表现在土壤水分是有机氮矿化的媒介,会影响铵态氮在土壤中的硝化情况^[24],同时土壤养分也会随不同的降水格局而淋失,影响植物对养分的吸收^[25]。

本实验目的在于研究亚热带地区氮添加是否会影响树木的生理生态性能及生长,同时讨论降水变化与氮添加的交互作用对4种树木幼苗光合生理特征及总生物量的影响。本实验选择在野外自然条件下进行模拟控制实验,并以当地实际降水量作为对照,测定时间长达3a,研究结果将更真实地反映当地树木对降水及氮素变化的响应情况。在全球变化的背景下,探究降水变化及氮添加对亚热带森林植物生理生态特征及生长的影响可以为探讨全球变化背景下中国亚热带森林动态变化机制及保护和管理提供实验依据。

1 研究地区与方法

1.1 研究地区自然概况

古田山自然保护区位于浙江省衢州市开化县西北部地区,与江西婺源、德兴接壤,总面积8107 hm²,地理坐标北纬29°10′19.4″—29°17′41.4″,东经118°03′49.7″—118°11′12.2″,属我国亚热带季风气候区。年均温15.3℃,生长期总积温5221.5℃,无霜期约250 d,年均降雨量1963.7 mm,年均降水天数142.5 d,相对湿度92.4%。土壤主要类型有红壤,黄红壤,红黄壤^[26]。

实验地由17 m×14 m和14 m×14 m两处弃用农田组成,位于古田山自然保护区海拔381 m处。

1.2 研究方法

1.2.1 实验材料

本实验涉及4个树种即秃瓣杜英(*Elaeocarpus glabripetalus*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、木荷(*Schima superba*)及青冈(*Cyclobalanopsis glauca*),于2006年9—10月份在古田山自然保护区采集该4种树种的种子,经过筛选、消毒、沙藏过冬,翌年3月份按不同的处理目的分别将种子播种于实验田内。经过3个月自然条件下发芽生长,待幼苗高度达到3—5 cm时,开始对这些幼苗进行不同的降水和氮添加处理。

1.2.2 实验设计

按照当地的气象资料,2007年—2009年实验期间的年降水量属于正常范围,2008年生长季节的降水量高于2007年和2009年的数值,具体数据见图1。在上述两块实验地于2007年7月开始对上述幼苗进行降水和氮添加处理。降水控制有3个水平:自然降水(CK)、在对照基础上增加30%降水(+H)以及减少30%降水(-H)。降水量的控制通过沿直径方向劈开并壁上有钻孔的PVC管实现。使用的PVC管内径为10.6 cm,大约是实验处理小区内树种行距间隔35 cm的30%,所以,截取的降水量即是总降水量的30%。增加降水处理的实现就是把减少降水处理样地中截取的水分排至增加降水处理的样地内来完成。PVC管倾斜架至距地面20 cm处,为了便于截取的水分较均匀撒入样地内,管壁上每隔20 cm钻有小孔,孔直径从6 mm逐渐减小。同时,由于架在样地上的PVC管对树苗可能造成遮阴,所以在降水对照的样地中也架起同样规格的PVC管,不同的是管壁上密集钻有直径12 mm孔便于水分的下渗。

氮素处理有两个梯度:氮添加(+N)与对照。氮添加是在每年5月初及7月初分别在样地内添加NH₄NO₃ 5 g/m²,每年总氮添加量为10 g/m² NH₄NO₃。实验过程中做到定期除草,尽量减少处理外因素带来的干扰。降水和氮素处理在两块实验地上完全一样,作为两次实验重复。

1.2.3 测定方法

(1)光合气体交换测定 在2007—2009年9月进行(该时期在1a中属于降水量较少的干季,有利于野

外现场光合作用测定),使用 Li-6400 便携式光合仪(美国产),现场测定得到净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)等参数,瞬间水分利用效率(WUE)计算是利用公式: $WUE = P_n / T_r$ 。每个处理每个树种随机选取 3—5 株进行测定,测定叶片的选取是从幼苗顶部数第 4—6 片完全展开的成熟叶。测定时间为 9:00—11:30。

(2) 叶绿素含量测定 使用 SPAD-502 叶绿素仪(日本产)对上述不同降水、氮素处理和不同树种的叶片叶绿素相对含量进行现场测定。

(3) 活体叶绿素荧光特征测定 对从幼苗顶部数第 4—6 片完全展开的成熟叶使用便携式非调制荧光仪(Handy PEA,英国产)测定。测定时间为 6:00—8:00,使用叶夹暗适应处理约 30 min 后实地测定得到光系统

Ⅱ 最大光化学效率(F_v/F_m)及光系统Ⅱ光化学性能指数(PI_{ABS})。应用 JIP-测定^[27]方法,具体计算公式: $F_v/F_m = (F_m - F_o) / F_m$, F_o 是暗适应处理的最小荧光, F_m 是暗适应处理的最大荧光; $PI_{ABS} = (RC / ABS) \cdot [\varphi P_o / (1 - \varphi P_o)] \cdot [\psi_o / (1 - \psi_o)]$,其中 RC 为反应中心, ABS 为吸收的光量子; φP_o 是暗适应后的最大光化学效率, $\varphi P_o = 1 - (F_o / F_m) = F_v / F_m$; ψ_o 表示被反应中心捕获的激子传递至超过 Q_A 的电子受体的量占传递至 Q_A 量的比率, $\psi_o = (1 - V_j)$, V_j 反映照光 2 ms 时有活性反应中心的关闭程度, $V_j = (F_j - F_o) / (F_m - F_o)$, F_j 是照光 2 ms 时的叶片荧光。

(4) 总生物量测定 2008 年 10 月和 2009 年 10 月对树种全株进行收获,用水冲洗干净后置于 70℃ 烘箱烘干至恒量,称重得到总生物量。每个处理每个树种随机选取 10 株进行重复测定。

(5) 叶片养分测定 2008 年 9 月和 2009 年 9 月分别采集叶片,洗净置于 65℃ 烘箱烘干至恒量,应用凯氏定氮法测定其全氮含量(重量百分比),叶片单位面积全氮含量(g/m^2)可以通过比叶面积转换得到。光合作用氮利用效率(PNUE),由如下公式求得:

$$\text{光合作用氮利用效率} = \text{净光合速率} / \text{单位叶面积氮含量}$$

1.3 数据处理

利用三因素(降水、氮素及树种)方差分析比较每年降水、氮素与降水氮素的交互作用对各个树木幼苗生理特征与总生物量的影响,并分析不同处理对 4 种树木幼苗生理特征及总生物量影响的差异。此外,利用两因素(降水和氮素)方差分析比较 3a 总测定结果的降水、氮素及其交互作用对树木光合生理生态特征及总生物量的影响。数据处理分析利用 SPSS16.0 软件完成,处理间差异用 Duncan 多重比较实现。图表制作工具为 Sigmaplot11.0。

2 结果与分析

2.1 光合气体交换特征

2.1.1 净光合速率(P_n)

3a 测定结果显示降水、氮素对 4 种树木幼苗净光合速率的影响达到显著水平($P < 0.05$) (表 1),但降水与氮素交互作用在 3a 的测定总结果中并没有反应出对树木净光合速率有显著的影响。氮素处理中,氮添加显著提高树木的净光合速率;降水处理中,增加 30% 降水显著提高了树木的净光合速率。

2009 年,相对于氮素对树木净光合速率的影响,降水对净光合速率的影响较大并达到显著水平。分析原因可能是 2009 年生长季后期自然降水量较少(图 1),土壤含水量较低,减少 30% 降水将导致土壤含水量进一步降低,所以 2009 年减少 30% 降水的 4 种树木幼苗净光合速率显著低于自然降水下的净光合速率。增加

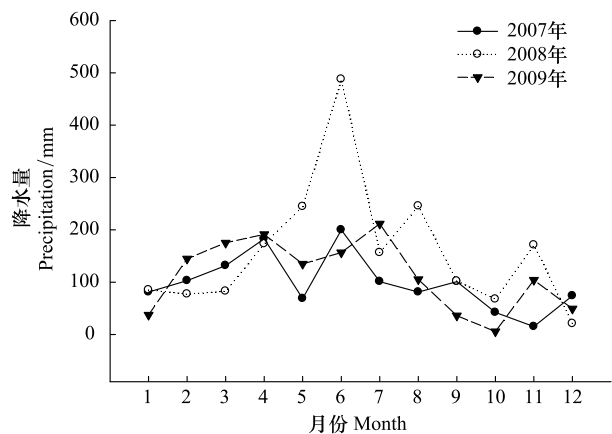


图 1 古田山 2007 年—2009 年降水量月份动态变化

Fig. 1 Monthly pattern of natural precipitation at Gutianshan of Zhejiang Province in 2007—2009

30% 降水能够一定程度上提高土壤的含水量,但对树木的净光合速率没有产生显著的影响。所以,亚热带森林干季时,树木净光合速率对土壤含水量的减少变化更为敏感。

不同树种之间的净光合速率差异极显著(图 2),枫香、杜英净光合速率显著高于木荷和青冈的净光合速率。

表 1 降水、氮素两因素及交互对 4 种树木幼苗生理指标的影响

Table 1 Effects of precipitation and nitrogen addition on different physiology indexes in four tree species

指标 Index	降水 Precipitation	氮素 N	降水×氮素	指标	降水	氮素	降水×氮素
净光合速率 P_n	*	*	ns	气孔导度 G_s	* *	ns	ns
蒸腾速率 T_r	* * *	* *	ns	水分利用率 WUE	ns	ns	ns
叶绿素含量 Chl	ns	*	ns	最大光化学效率 F_v/F_m	ns	* *	ns
光化学性能指数 PI_{ABS}	ns	* *	*	光合氮利用效率 PNUE	ns	ns	ns
总生物量 Total	ns	* *	ns				

* * * $P < 0.001$, * * $P < 0.01$, * $P < 0.05$, ns: $P > 0.05$

2.1.2 气孔导度 (G_s)

降水对叶片气孔导度的影响达到极显著水平($P < 0.01$) (表 1),减少 30% 降水极显著提高了叶片的气孔导度。但是氮素对气孔导度的影响没有达到显著水平,降水与氮素交互作用对气孔导度的影响也不显著。

2008 年,树木叶片气孔导度较高。根据降水量数据分析可知(图 1),2008 年树木生长季的降水量相比 2007 年和 2009 年都多,植物叶片细胞间隙水气压与大气水气压的差值(VPD)可能会降低,叶片气孔导度增加所引起的水分丧失也就相对减少,气孔导度的大小也是光合作用与蒸腾作用之间权衡的结果。

不同树种之间的气孔导度差异极显著(图 2),与净光合速率结果基本一致,杜英的气孔导度显著大于枫香、木荷及青冈的气孔导度。

2.1.3 蒸腾速率 (T_r)

降水、氮素都极显著($P < 0.01$)影响了蒸腾速率(表 1),但是降水与氮素交互作用对蒸腾速率的影响并未达到显著水平。降水处理中,增加 30% 降水可提高树木的蒸腾速率($P < 0.01$);氮素处理中,氮添加提高了树木的蒸腾速率($P < 0.01$)。气孔导度的结果显示,增加降水,气孔导度下降,因此外界 CO_2 扩散进入叶片的数量减少,但是净光合速率由于受到氮添加的生理生化影响反而会升高,致使细胞间 CO_2 分压显著降低($P < 0.05$),此时,叶片内部与叶片外部 CO_2 浓度梯度增大可能对气孔导度的降低产生反作用,这可能部分解释了为什么在实验中增加降水导致气孔导度降低,但树木的蒸腾速率反而升高的原因。

2008 年树木的气孔导度值较高,由于蒸腾作用与气孔导度呈线性正相关,所以 2008 年观测到树木的蒸腾速率也较高(图 2)。

不同树种之间的蒸腾速率差异极显著,杜英、枫香的蒸腾速率极显著大于木荷、青冈的蒸腾速率。

2.1.4 水分利用率 (WUE)

降水与氮素变化对树木水分利用率的影响均未达到显著水平(表 1)。由于实验中净光合速率与蒸腾速率对降水、氮素的响应基本一致,但是蒸腾速率对降水、氮素的响应更为强烈并均达到极显著水平($P < 0.01$, $P < 0.001$),所以会对树木的水分利用率产生较大的影响,即增加 30% 降水与氮添加促进了净光合速率与蒸腾速率,但是蒸腾速率提高的程度较大,导致水分利用率降低;减少 30% 降水,净光合速率与蒸腾速率都会相对减小,但是蒸腾速率降低的程度较大,导致水分利用率提高。

2008 年水分利用率最低,原因在于 2008 年树木叶片气孔导度最大,蒸腾速率最高,但光合作用的增加幅度不及蒸腾作用的增加幅度,所以,水分利用率在 2008 年最低。2009 年树木水分利用率极显著大于 2007 年及 2008 年树木的水分利用率,但是降水、氮素及其交互作用对 2009 年水分利用率较高都没有起到显著的影响。这可能是由于 2009 年生长季自然降水量(图 1)较少,树木为了保存体内水分,其自身调节机制抑制了水分散失,从而提高了水分利用率。不同树种之间水分利用率差异不显著(图 2)。

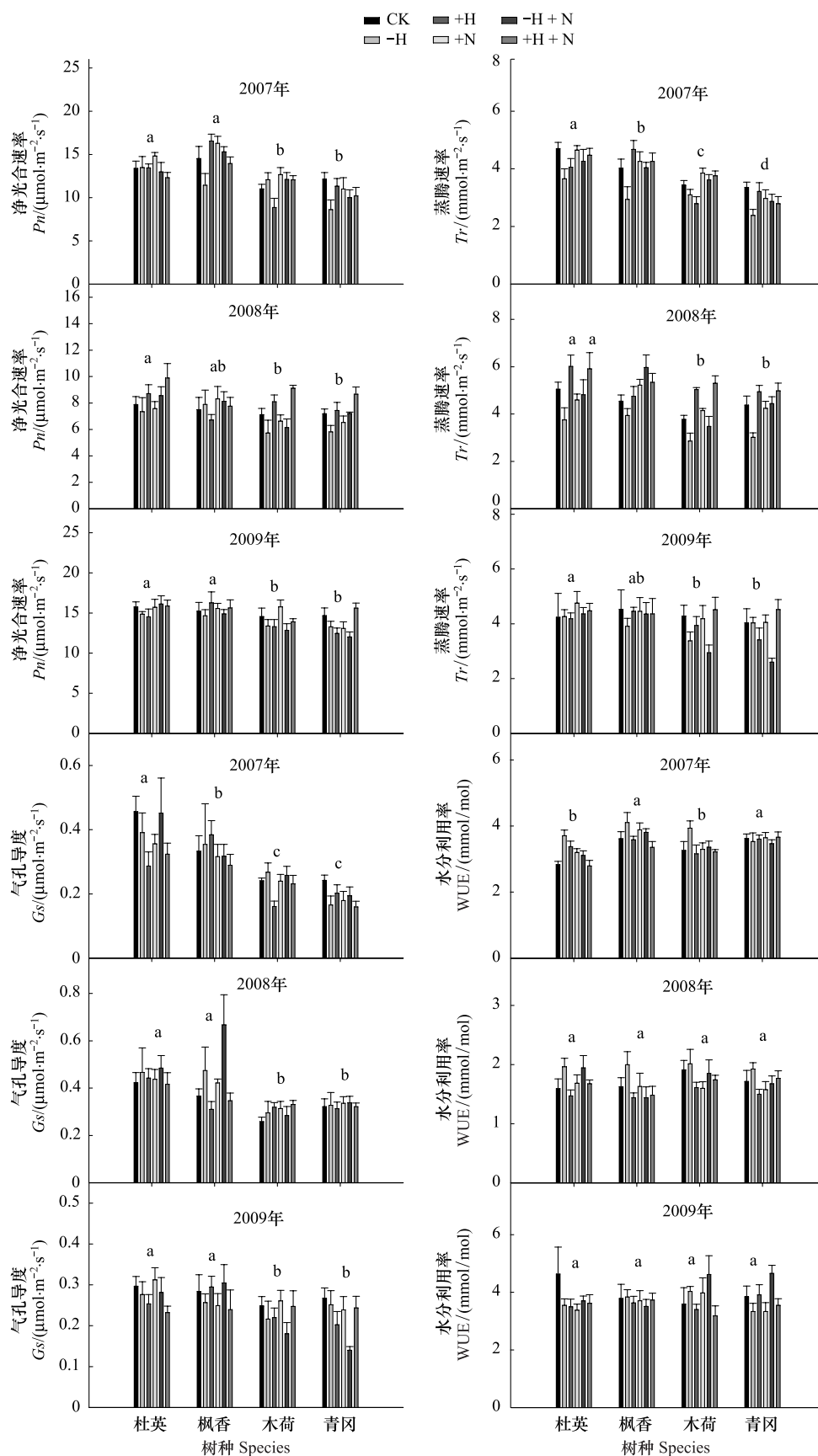


图2 氮添加与降水处理对4种树木幼苗光合气体交换特性的影响(a, b, c表示树种间多重比较差异 $P < 0.05$)

Fig. 2 Effects of nitrogen addition and precipitation on photosynthetic gas exchange characteristics in four tree species (a, b, c showed the differences in tree species $P < 0.05$)

2.2 叶绿素含量

降水变化对树木叶片叶绿素含量的影响不显著,而氮素对树木叶片叶绿素含量的影响达到显著水平($P < 0.05$)(表1),氮添加极显著促进了叶片叶绿素的合成($P < 0.01$)。

2009年树木叶片叶绿素含量较高,降水与氮素的交互作用对该年叶绿素含量较高起到显著影响(图3)。

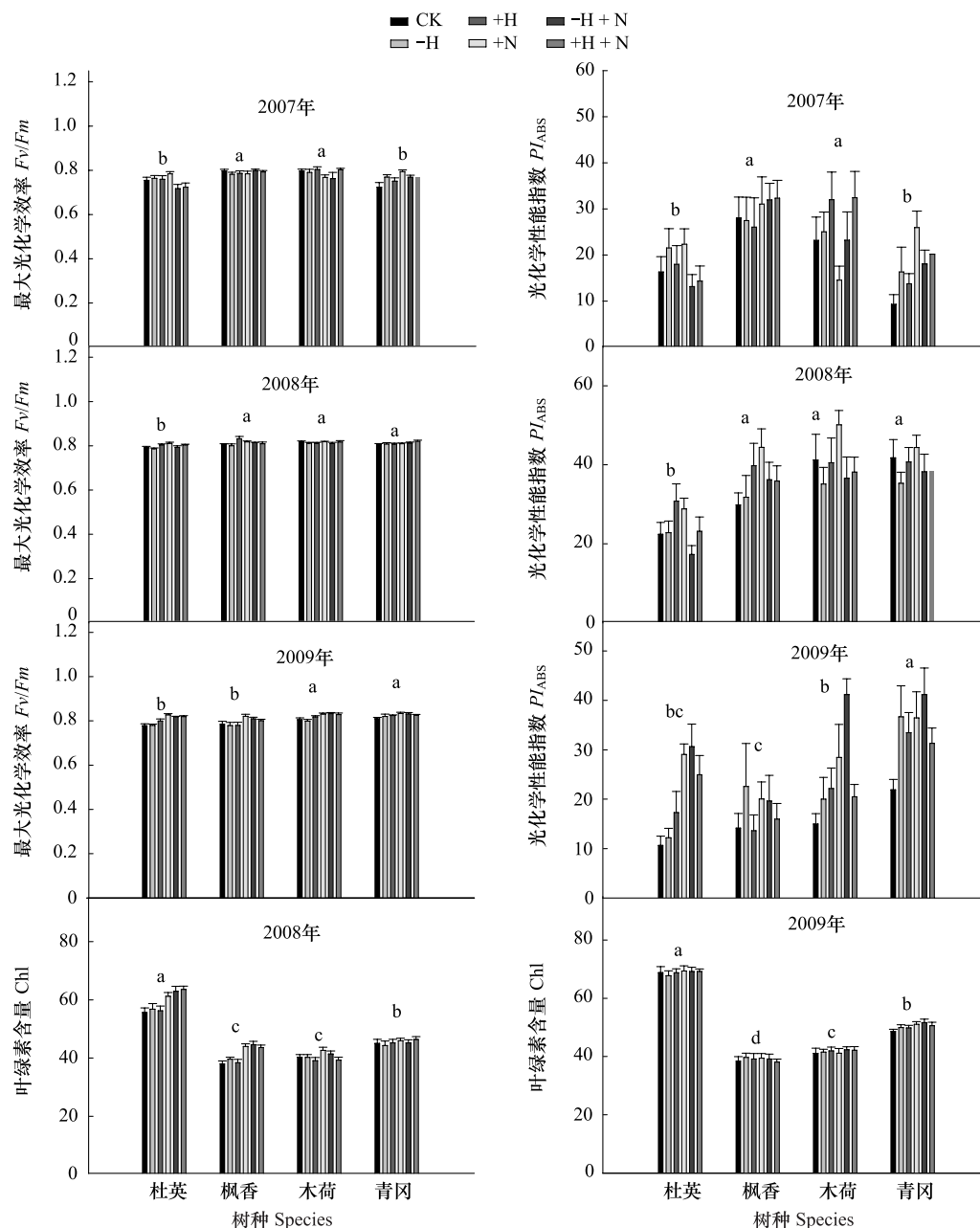


图3 氮添加与降水处理对4种树木幼苗叶绿素含量及叶绿素荧光性状的影响(a, b, c表示树种间多重比较差异 $P < 0.05$)

Fig. 3 Effects of nitrogen addition and precipitation on chlorophyll characteristics in four tree species (a, b, c showed the differences in tree species $P < 0.05$)

树种间叶绿素含量差异达到极显著水平,杜英叶绿素含量显著高于其余3个树种,青冈则显著高于枫香及木荷的叶绿素含量,枫香、木荷之间没有显著差异(图3)。数据分析可看出,杜英气孔导度极显著高于其余3个树种,并且杜英的叶片叶绿素含量也显著高于其余3个树种,因此杜英净光合速率比较高。枫香叶片叶绿素含量虽然在4个树种中相对较低,可是枫香的气孔导度较高, CO_2 通过气孔的扩散限制较小,所以净光合速率显著高于木荷和青冈。

2.3 叶绿素荧光特征

2.3.1 最大光化学效率(F_v/F_m)

3a 的总测定结果显示,氮素对 F_v/F_m 的影响达到极显著水平(表 1),降水变化、降水与氮素交互作用对 F_v/F_m 的影响均没有达到显著水平。氮添加(+N)处理下的最大光化学效率显著大于其余处理的测定值(图 3),说明氮添加会促进叶片光系统 II 光化学效率的提高。

不同树种间光系统 II 最大光化学效率差异极显著。杜英的净光合速率、叶绿素含量、蒸腾速率均显著高于其他 3 个树种,但是杜英的最大光化学效率显著低于其他 3 个树种(图 3),说明虽然测定的杜英光合气体交换特征及叶绿素含量达到较高水平,但是这并不意味着该树种的光合能力就大于木荷、枫香及青冈。

2.3.2 光化学性能指数(PI_{ABS})

氮素及降水、氮素的交互作用对 PI_{ABS} 的影响达到显著水平(表 1)。2008 年树木的光化学性能指数较高,降水与氮素的交互作用对其的影响达到显著水平,氮添加及增加 30% 降水可以促进树木 PI_{ABS} 的升高。

不同树种间光化学性能指数差异极显著,与 F_v/F_m 的结果一致,杜英的 PI_{ABS} 值极显著低于其他 3 个树种,木荷的 PI_{ABS} 最高,但与青冈、枫香相比未达到显著水平。说明杜英光系统 II 的 PI_{ABS} 对环境胁迫的响应较其他 3 个树种更加敏感。

2.4 光合氮利用效率(PNUE)

降水变化与氮添加均没有对 4 种树木幼苗的 PNUE 产生显著影响。此外,通过相关性分析可知,PNUE 与叶氮浓度的相关性达到极显著($P < 0.001$)水平,而与净光合速率、气孔导度、水分利用率之间没有显著的相关性。PNUE 年际间差异极显著($P < 0.001$),2009 年树木的 PNUE 比 2008 年增加了 120.48% (图 4)。可能的原因是 2009 年净光合速率极显著大于 2008 年,2009 年叶片氮浓度(g/kg)比 2008 年减少 13.73%,所以 2009 年树木的 PNUE 比 2008 年增加了 120.48%。

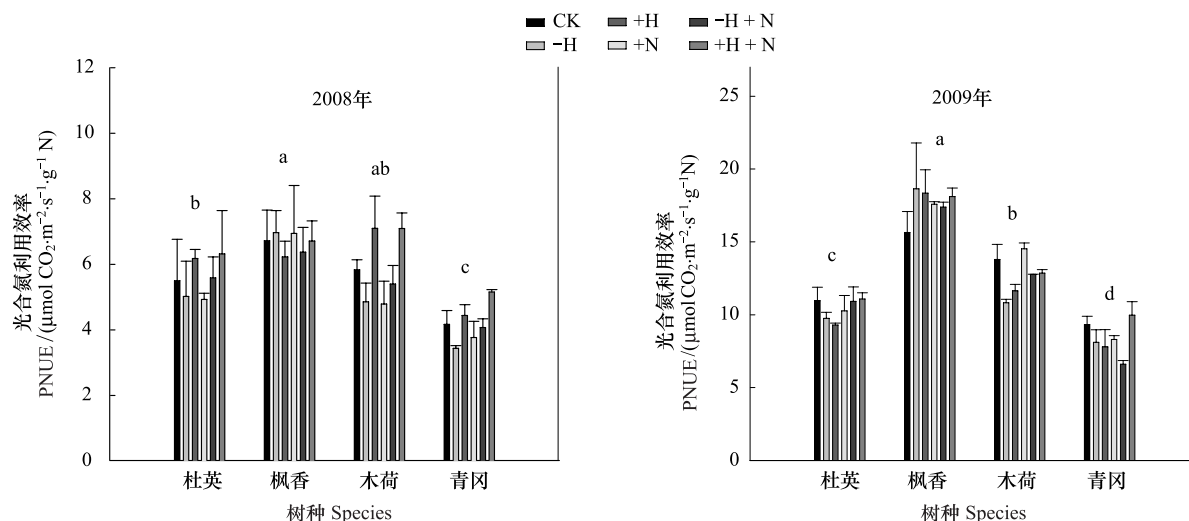


图 4 氮添加与降水处理对 4 种树木幼苗光合氮利用效率的影响(a, b, c 表示树种间多重比较差异 $P < 0.05$)

Fig. 4 Effects of nitrogen addition and precipitation on PNUE in four tree species (a, b, c showed the differences in tree species $P < 0.05$)

2.5 总生物量

2008 年及 2009 年降水对总生物量的影响较小,没有达到显著水平,但是氮添加对总生物量的影响均达到极显著水平($P < 0.01$)。与自然状态下树木总生物量相比,氮添加使得树木总生物量提高了 33.06%。

2008 年树种间总生物量差异极显著,枫香总生物量极显著高于其他树种,青冈总生物量最低。说明氮添加极显著促进了枫香总生物量的提高。

2009 年树种间总生物量差异极显著,杜英总生物量极显著高于其他树种,青冈总生物量最低。氮添加(+N)、增加 30% 降水(+H)对杜英总生物量的影响达到显著水平,促进杜英的总生物量的提高(图 5)。此外,

光合气体交换特征及叶绿素含量的结果也显示,杜英、枫香两个树种与木荷、青冈相比,其光合速率、蒸腾速率都达到较高水平。

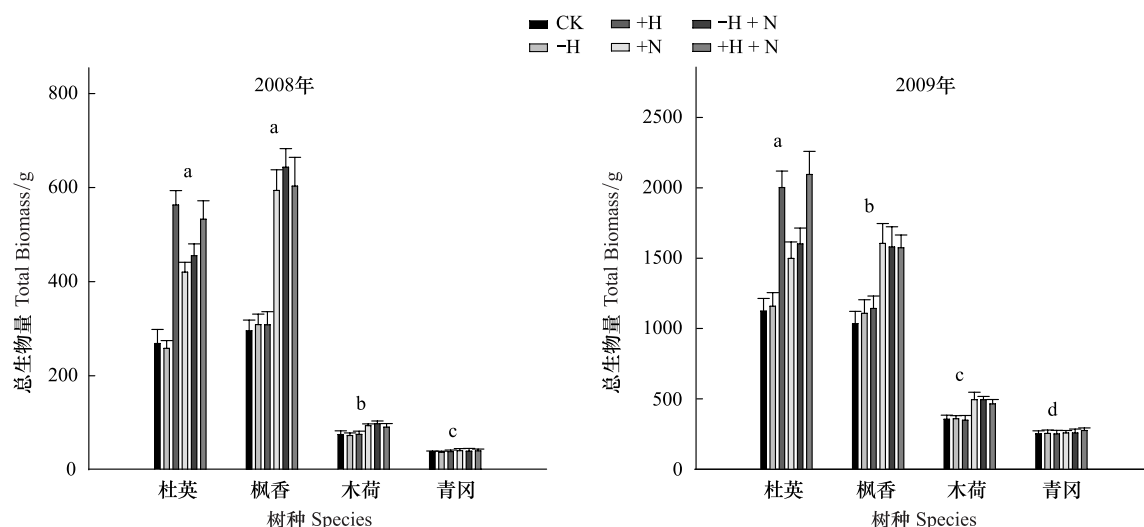


图5 氮添加与降水处理对4种树木幼苗总生物量的影响(a, b, c表示树种间多重比较差异 $P < 0.05$)

Fig. 5 Effects of nitrogen addition and precipitation on biomass in four tree species (a, b, c showed the differences in tree species $P < 0.05$)

3 讨论

3.1 降水对植物光合生理生态特性和总生物量的影响

亚热带地区雨水充沛,植物生长基本不受到降水的影响或者限制,但是光合指标的测定结果恰与我们预期相反,即净光合速率、气孔导度与蒸腾速率都显著受到降水的影响,其中气孔导度在本实验对降水的变化比氮素的变化更加敏感。可能的原因是光合生理测定在古田山亚热带地区的相对干季进行,自然降水量较小,所以降水的变化可能会对当地树木的光合生理生态特性及生长产生比较显著的作用。增加降水可以明显提高树木的净光合速率及蒸腾速率($P < 0.001$),但是如果考虑每年内不同树种对降水处理的响应(图2),可以发现杜英的气孔导度在不同的降水处理中其变化是不同的,即2007年和2009年杜英在减少30%降水(-H)、减少30%降水与氮添加(-H+N)两个处理的气孔导度显著低于增加降水(+H)、增加降水与氮添加(+H+N)两个处理的气孔导度。枫香2008年气孔导度值也出现类似情况。所以由于杜英与枫香两个树种气孔导度的较大变化而引起总体气孔导度在减少30%降水时呈现增高趋势。但究竟又是什么原因引起杜英和枫香这两个树种的气孔导度在减少降水时会增加呢?叶绿素荧光值的分析发现,杜英的 PI_{ABS} 极显著低于其他3个树种,说明杜英光系统II对环境胁迫的响应较其他3个树种更敏感,也就是杜英的光合性能更容易受到环境变化的影响,所以这可能与杜英与枫香两个树种本身的抗逆性或者树种生理生化特性的差异有关。Lambers研究也提到,气孔导度会受到其他因素的影响而变化^[28]。

此外,虽然本实验降水变化与氮添加处理时间较长,但是光合生理指标属于瞬间测定的结果,并且光合特征自身受环境影响较大,所以虽然生物量等其他生理生长指标未受到降水处理的影响,但是降水处理对光合气体交换特征的影响却达到显著水平($P < 0.05$)。虽然亚热带地区雨水丰沛,但在干季降水的变化仍然会对树木的生理过程产生显著影响。

3.2 氮素对植物光合生理生态特性和总生物量的影响

氮添加可以促进叶片叶绿素合成^[29],实验也发现叶绿素含量在氮添加后显著增加($P < 0.05$),这会促进树木对光能的吸收与转化能力。树木总生物量在氮添加后显著提高了33.06%。2008年及2009年氮素对树木总生物量的影响均达到极显著水平($P < 0.01$)。大量研究也证实树木的相对生长速率(Relative growth rate, RGR)、总生物量、株高、分枝数、叶面积指数、最大净光合速率和光合色素含量都随供氮量的增加而显著

增加^[30]。

F_v/F_m 反映了光系统 II 反应中心的最大光能转换效率, PI_{ABS} 则是基于吸收光能的光系统 II 的综合化学性能指数, 对环境胁迫的响应比 F_v/F_m 更敏感, 可以更准确地反应植物的光合机构状态^[31]。本实验叶绿素荧光参数 ($F_v/F_m, PI_{ABS}$) 对氮素的响应是极显著的 ($P < 0.001$), 说明光系统 II 受到了氮素处理的影响。李德军通过设置 5 个不同的氮添加浓度 (0, 5, 10, 15, 30 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1} \text{NH}_4\text{NO}_3$) 来比较氮添加浓度对植物生长及光合的影响, 发现氮添加浓度为 10 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1} \text{NH}_4\text{NO}_3$ 的光合值最大, 最能促进植物的生长^[32]。本文得出的结果与其是一致的, 即亚热带古田山地区树木在氮添加水平为 10 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1} \text{NH}_4\text{NO}_3$ 时, 会促进叶片叶绿素荧光性状 $F_v/F_m, PI_{ABS}$ 的显著升高, 提高树木的光合性能。

3.3 降水与氮素交互作用对植物光合生理生态特性和总生物量的影响

植物光合生理特征测定结果中 (表 1), PI_{ABS} 对降水与氮素交互作用的响应达到显著水平, 但是其他生理指标对降水与氮素交互作用的响应均不显著。原因可能是 PI_{ABS} 的计算包含 (RC/ABS)、 φP_o 、 ψ_o 三个参数, 且这三个参数是分别用来表征叶片叶绿素荧光最大光化学效率及光系统 II 反应中心活性特征的, 因此 PI_{ABS} 是一个综合指标, 其对降水与氮素交互作用的响应会更加敏感。

相关生物量的研究发现, 降水和氮素对生物量的变化存在明显的耦合效应, 氮素对生物量的作用在很大程度上会受到降水的影响, 不同水氮配合下的生物量, 其积累是不同的^[33], 但在本实验中, 树木的总生物量对降水和氮素交互作用的响应并未达到显著水平, 因此有关亚热带森林树木总生物量对氮素变化和降水变化交互作用的响应还有待进一步研究。

3.4 降水与氮素对树种间差异的影响

不同树种间光合生理特征、总生物量的差异均达到极显著水平 ($P < 0.001$)。光合生理特征的结果分析表明, 树种、降水、氮素三者的交互作用并不明显, 说明树种间生理指标的差异是由树种自身的生物学特性差异所致, 与处理关系不大, 这与上文中提到的杜英与枫香气孔导度对降水处理响应的结果是一致的。但是不同树种间总生物量的差异受到氮添加 ($P < 0.001$) 与降水 ($P < 0.05$) 的影响, 其中氮添加对杜英、枫香及木荷总生物量的影响达到极显著水平 ($P < 0.001$)。

4 结论

降水与氮素对树木光合生理生态特征及生长是有一定影响的。降水变化对光合气体交换特征的影响较大, 增加 30% 降水可以显著提高树木的净光合速率 ($P < 0.05$) 与蒸腾速率 ($P < 0.001$), 因此亚热带干旱降水的变化仍然会对树木的生理过程产生显著影响。氮添加可以显著提高树木的净光合速率、蒸腾速率、叶绿素含量 ($P < 0.05$) 以及光系统 II 最大光化学效率与光化学性能指数 ($P < 0.01$), 并提高树木的总生物量 ($P < 0.01$), 提高植物光合性能, 促进植物生长。树种间光合生理特征差异是物种自身差异所致, 树种间生物量的差异则显著受到降水变化与氮素的影响。

致谢:感谢杨波、刘晓娟、杜彦君、张俪文、方腾和姜智勇等对野外工作的帮助。

References:

- [1] Vitousek P M, Aber J D, Howarth R W, Llkens G E, Matson P A, Schindler D W, Schlesinger W H, Tilman D G. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological Applications*, 1997, 7(3): 737-750.
- [2] Kaiser J. The other global pollutant: nitrogen proves tough to curb. *Science*, 2001, 294(5545): 1268-1269.
- [3] Galloway J N, Schlesinger W H, Levy H II, Michaels A, Schnoor J L. Nitrogen fixation: anthropogenic enhancement-environmental response. *Global Biogeochemical Cycles*, 1995, 9(2): 235-252.
- [4] Vitousek P M, Farrington H. Nutrient limitation and soil development: experimental test of a biogeochemical theory. *Biogeochemistry*, 1997, 37(1): 63-75.
- [5] Matson P A, McDowell W H, Townsend A R, Vitousek P M. The globalization of N deposition: ecosystem consequences in tropical environments. *Biogeochemistry*, 1999, 46(1/3): 67-83.
- [6] Environmental Protection Agency (EPA). Greenhouse Gas Emissions from Agricultural Ecosystems. Intergovernmental Panel on Climate Change Report, Washington, DC, 1990.
- [7] Matthews E. Nitrogenous fertilizers: global distribution of consumption and associated emissions of nitrous oxide and ammonia. *Global*

- Biogeochemical Cycles, 1994, 8(4): 411-439.
- [8] Zheng X H, Fu C B, Xu X K, Yan X D, Huang Y, Han S H, Hu F, Chen G X. The Asian nitrogen cycle case study. *Ambio*, 2002, 31(2): 79-87.
- [9] Holland E A, Dentener F J, Braswell B H, Sulzman J M. Contemporary and pre-industrial global reactive nitrogen budgets. *Biogeochemistry*, 1999, 46(1/3): 7-43.
- [10] Larssen T, Seip H M, Semb A, Mulder J, Muniz I P, Vogt R D, Lydersen E, Angell V, Tang D G, Eilertsen O. Acid deposition and its effects in China: an overview. *Environmental Science and Policy*, 1999, 2(1): 9-24.
- [11] Schindler D W, Bayley S E. The biosphere as an increasing sink for atmospheric carbon: estimates from increased nitrogen deposition. *Global Biogeochemical Cycles*, 1993, 7(4): 717-733.
- [12] Howarth R W, Billen G, Swaney D, Townsend A, Jaworski N, Lajtha K, Downing J A, Elmgren R, Caraco N, Jordan T, Berendse F, Freney J, Kudeyarov V, Murdoch P, Zhu Z L. Regional nitrogen budgets and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: natural and human influences. *Biogeochemistry*, 1996, 35(1): 75-139.
- [13] Aber J D, Magill A, McNulty S G, Boone R D, Nadelhoffer K J, Downs M, Hallett R. Forest biogeochemistry and primary production altered by nitrogen saturation. *Water, Air and Soil Pollution*, 1995, 85(3): 1665-1670.
- [14] Schimel D S. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biology*, 1995, 1(1): 77-91.
- [15] Tiessen H, Cuevas E, Chacon P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature*, 1994, 371(6500): 783-785.
- [16] Pons T L, van der Werf A, Lambers H. Photosynthetic nitrogen use efficiency of inherently slow-and fast-growing species: possible explanations for observed differences // Roy J, Garnier E, eds. *A Whole Plant Perspective on Carbon-Nitrogen Interactions*. The Hague: SPB Academic Publishing, 1994: 61-77.
- [17] Schaberg P G, Perkins T D, McNulty S G. Effects of chronic low-level N additions on foliar elemental concentrations, morphology and gas exchange of mature montane red spruce. *Canadian Journal of Forest Research*, 1997, 27(10): 1622-1629.
- [18] Brown K R, Thompson W A, Weetman G F. Effects of N addition rates on the productivity of *Picea sitchensis*, *Thuja plicata* and *Tsuga heterophylla* seedlings. *Trees-Structure and Function*, 1996, 10(3): 189-197.
- [19] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis // Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Avery K B, Tignor M, Miller H L, eds. *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [20] Easterling D R, Meehl G A, Parmesan C, Changnon S A, Karl T R, Mearns L O. Climate extremes: observations, modeling and impacts. *Science*, 2000, 289(5487): 2068-2074.
- [21] Smith S D, Monson R K, Anderson J E. *Physiological Ecology of North American Desert Plants*. New York: Springer Verlag, 1997.
- [22] Weltzin J F, Loik M E, Schwinning S, Williams D G, Fay P A, Haddad B M, Harte J, Huxman T E, Knapp A K, Lin G H, Pockman W T, Shaw M R, Small E E, Smith M D, Smith S D, Tissue D T, Zak J C. Assessing the response of terrestrial ecosystems to potential changes in precipitation. *BioScience*, 2003, 53(10): 941-952.
- [23] Lu D Q, Yang J R, Ma L Y. Study on effect of irrigation on soil nitrate leaching and uptake. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1999, 5(4): 307-315.
- [24] Tang S M, Qi Z P. Relationship between soil water content and nitrogen mineralization. *Tropical Crops Science*, 1997, (4): 54-60.
- [25] Randall G W, Iragavarapu T K. Impact of long-term tillage systems for continuous corn on nitrate leaching to tile drainage. *Journal of Environmental Quality*, 1995, 24(2): 360-366.
- [26] Hu Z H, Yu M J, Peng C Z, Ding B Y. Study on the niche of the main tree population in *Pinus taiwanensis* forest in Gutian Mountain National Nature Reserve. *Ecology and Environment*, 2004, 13(4): 619-621.
- [27] Strasser R J, Srivastava A, Govindjee. Polyphasic chlorophyll a fluorescence transient in plants and cyanobacteria. *Photochemistry and Photobiology*, 1995, 61(1): 32-42.
- [28] Lambers H, Chapin F S, Pons T L. Photosynthesis, respiration and long-distance transport. *Plant Physiological Ecology*, 2008: 11-99.
- [29] Graham D F, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, 33(1): 317-345.
- [30] Wang M L, Feng Y L. Effects of soil nitrogen levels on morphology, biomass allocation and photosynthesis in *Ageratina adenophora* and *Chromolaena odorata*. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2005, 29(5): 697-705.
- [31] Van Heerden P D R, Strasser R J, Krüger G H J. Reduction of dark chilling stress in N₂-fixing soybean by nitrate as indicated by chlorophyll a fluorescence kinetics. *Physiologia Plantarum*, 2004, 121(2): 239-249.
- [32] Li D J, Mo J M, Fang Y T, Cai X A, Xue J H, Xu G L. Effects of simulated nitrogen deposition on growth and photosynthesis of *Schima superba*, *Castanopsis chinensis* and *Cryptocarya concinna* seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 876-882.
- [33] Dong W Y, Zhao Y, Zhang Z Y, Li J Y, Nie L S. Coupling effects of water and fertilizer on the biomass of *Populus tomentosa* seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(9): 2194-2200.

参考文献:

- [23] 吕殿青, 杨进荣, 马林英. 灌溉对土壤硝态氮淋吸效应影响的研究. *植物营养与肥料学报*, 1999, 5(4): 307-315.
- [24] 唐树梅, 漆智平. 土壤含水量与氮矿化的关系. *热带作物研究*, 1997, (4): 54-60.
- [26] 胡正华, 于明坚, 彭传正, 丁炳扬. 古田山自然保护区黄山松林主要种群生态位研究. *生态环境*, 2004, 13(4): 619-621.
- [30] 王满莲, 冯玉龙. 紫茎泽兰和飞机草的形态、生物量分配和光合特性对氮营养的响应. *植物生态学报*, 2005, 29(5): 697-705.
- [32] 李德军, 莫江明, 方运霆, 蔡锡安, 薛璟花, 徐国良. 模拟氮沉降对三种南亚热带树苗生长和光合作用的影响. *生态学报*, 2004, 24(5): 876-882.
- [33] 董雯怡, 赵燕, 张志毅, 李吉跃, 聂立水. 水肥耦合效应对毛白杨苗木生物量的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(9): 2194-2200.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 14 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

A review of the researches on *Alectoris* partridge SONG Sen, LIU Naifa (4215)

Autecology & Fundamentals

Effects of precipitation and nitrogen addition on photosynthetically eco-physiological characteristics and biomass of four tree seedlings in Gutian Mountain, Zhejiang Province, China YAN Hui, WU Qian, DING Jia, et al (4226)

Effects of low temperature stress on physiological-biochemical indexes and photosynthetic characteristics of seedlings of four plant species SHAO Yiruo, XU Jianxin, XUE Li, et al (4237)

Decomposition characteristics of maize roots derived from different nitrogen fertilization fields under laboratory soil incubation conditions CAI Miao, DONG Yanjie, LI Baijun, et al (4248)

The responses of leaf osmoregulation substance and protective enzyme activity of different peanut cultivars to non-sufficient irrigation ZHANG Zhimeng, SONG Wenwu, DING Hong, et al (4257)

Interannual variation of soil seed bank in *Picea schrenkiana* forest in the central part of the Tianshan Mountains LI Huadong, PAN Cunde, WANG Bing, et al (4266)

Physiological & ecological effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole LI Lingli, GUO Hongxia, HUANG Genghua, et al (4278)

Effects of magnesium, manganese, activated carbon and lime and their interactions on cadmium uptake by wheat ZHOU Xiangyu, FENG Wenqiang, QIN Yusheng, et al (4289)

Effects of increased concentrations of gas CO₂ on mineral ion uptake, transportation and distribution in *Phyllostachys edulis* ZHUANG Minghao, CHEN Shuanglin, LI Yingchun, et al (4297)

Effects of pH, Fe and Cd concentrations on the Fe and Cd adsorption in the rhizosphere and on the root surfaces of rice LIU Danqing, CHEN Xue, YANG Yazhou, et al (4306)

Effects of low-light stress on maize ear development and endogenous hormones content of two maize hybrids (*Zea mays* L.) with different shade-tolerance ZHOU Weixia, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (4315)

Effects of maize || peanut intercropping on photosynthetic characters and yield forming of intercropped maize JIAO Nianyuan, NING Tangyuan, YANG Mengke, et al (4324)

Cloning root system distribution and architecture of different forest age *Populus euphratica* in Ejina Oasis HUANG Jingjing, JING Jialin, CAO Dechang, et al (4331)

Impact of vegetation interannual variability on evapotranspiration CHEN Hao, ZENG Xiaodong (4343)

Mating behavior of *Pachycrepoides vindemmiae* and the effects of male mating times on the production of females SUN Fang, CHEN Zhongzheng, DUAN Bisheng, et al (4354)

Component analysis and bioactivity determination of fecal extract of *Locusta migratoria tibetensis* (Chen) WANG Haijian, LI Yili, LI Qing, et al (4361)

Effects of different rice varieties on larval development, survival, adult reproduction, and flight capacity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) LI Xia, XU Xiuxiu, HAN Lanzhi, et al (4370)

Population, Community and Ecosystem

Genetic structure of the overwintering Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) collections in Shandong of China based on *mtCOII* gene sequences LI Lili, YU Yi, GUO Dong, TAO Yunli, et al (4377)

The structure and diversity of insect community in Taihu Wetland HAN Zhengwei, MA Ling, CAO Chuanwang, et al (4387)

Annual variation pattern of phytoplankton community at the downstream of Xijiang River WANG Chao, LAI Zini, LI Xinhui, et al (4398)

Effect of species dispersal and environmental factors on species assemblages in grassland communities WANG Dan, WANG Xiao'an, GUO Hua, et al (4409)

- Cyanobacteria diversity in biological soil crusts from different erosion regions on the Loess Plateau: a preliminary result YANG Lina, ZHAO Yunge, MING Jiao, et al (4416)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Zoning for regulating of construction land based on landscape security pattern WANG Siyi, OU Minghao (4425)
- Fragmentation process of wetlands landscape in the middle reaches of the Heihe River and its driving forces analysis ZHAO Ruifeng, JIANG Penghui, ZHAO Haili, et al (4436)
- Analysis on grassland degradation in Qinghai Lake Basin during 2000—2010 LUO Chengfeng, XU Changjun, YOU Haoyan, et al (4450)
- Research on soil erosion based on Location-weighted landscape index (LWLI) in Guanchuanhe River basin, Dingxi, Gansu Province LI Haifang, WEI Wei, CHEN Jin, et al (4460)
- Effects of host density on parasitoids and hyper-parasitoids of cereal aphids in different agricultural landscapes GUAN Xiaoqing, LIU Junhe, ZHAO Zihua (4468)
- Effects of interactive CO₂ concentration and precipitation on growth characteristics of *Stipa breviflora* SHI Yaohui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (4478)
- Resource and Industrial Ecology**
- Eco-service efficiency assessment method of urban land use: a case study of Changzhou City, China YANG Wenrui, LI Feng, WANG Rusong, et al (4486)
- Changes in phosphorus consumption and its environmental loads from food by residents in Xiamen City WANG Huina, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (4495)
- Research Notes**
- Intercropping enhances the farmland ecosystem services SU Benying, CHEN Shengbin, LI Yonggeng, et al (4505)
- Assessment indicator system of eco-industry in mining area WANG Guangcheng, WANG Huanhuan, TAN Lingling (4515)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 骆世明

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 14 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 14 (July, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元