

DOI: 10.5846/stxb201805291178

常宏, 杨洪国, 赵广东, 史作民, 王兵, 陈健, 罗嘉东, 陈和东. 施氮和减水对中亚热带壳斗科三种幼树生物量及其分配的影响. 生态学报, 2019, 39(18): - .

Chang H, Yang H G, Zhao G D, Shi Z M, Wang B, Chen J, Luo J D, Chen H D. Effects of nitrogen application and rainfall exclusion on biomass and biomass allocation in saplings from three species of the Fagaceae family in the mid-subtropical region of China. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(18): - .

施氮和减水对中亚热带壳斗科三种幼树生物量及其分配的影响

常 宏¹, 杨洪国², 赵广东^{1,*}, 史作民¹, 王 兵¹, 陈 健¹, 罗嘉东³, 陈和东³

1 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业和草原局森林生态环境重点实验室, 北京 100091

2 中国林业科学研究院, 北京 100091

3 中国林业科学研究院亚热带林业实验中心, 分宜 336600

摘要: 土壤氮素和土壤含水量是森林生态系统中限制植物生长的重要因子。为探讨常绿阔叶树种对模拟氮沉降增加和降水减少的响应, 以同质园中自然生长的壳斗科 (Fagaceae) 丝栗栲 (*Castanopsis fargesii*)、大叶青冈 (*Cyclobalanopsis jensenniana*) 和麻栎 (*Quercus acutissima*) 五年生幼树为对象, 比较了对照 (CK)、施氮 (+N, 施氮 60 kg hm⁻² a⁻¹)、减水 (-W, 减少自然降水的 50%) 以及施氮和减水 (+N-W, 施氮 60 kg hm⁻² a⁻¹ 和减少自然降水的 50%) 对总生物量、各器官生物量及其生物量分配的影响。研究表明: (1) 施氮显著增加了三种幼树的总生物量及各器官生物量 ($P < 0.05$)。 (2) 减水未引起三种幼树的总生物量及各器官生物量的显著下降 ($P > 0.05$)。 (3) 除麻栎树叶生物量、树枝生物量外, 施氮和减水交互作用对三种幼树总生物量及各器官生物量没有明显影响 ($P > 0.05$)。 (4) 施氮显著提高了丝栗栲幼树的干重比、大叶青冈幼树的干重比和枝重比 ($P < 0.05$), 降低了大叶青冈的叶重比和根重比 ($P < 0.05$)。 (5) 减水导致丝栗栲幼树和麻栎幼树的根重比、麻栎幼树的根冠比显著增加 ($P < 0.05$), 引起丝栗栲幼树的枝重比、麻栎幼树的叶重比、枝重比和干重比显著降低 ($P < 0.05$)。 (6) 施氮和减水交互作用显著提高了丝栗栲幼树的根重比 ($P < 0.05$), 降低了麻栎幼树的干重比 ($P < 0.05$)。

关键词: 施氮; 减水; 壳斗科; 幼树; 生物量; 生物量分配

Effects of nitrogen application and rainfall exclusion on biomass and biomass allocation in saplings from three species of the Fagaceae family in the mid-subtropical region of China

CHANG Hong¹, YANG Hongguo², ZHAO Guangdong^{1,*}, SHI Zuomin¹, WANG Bing¹, CHEN Jian¹, LUO Jiadong³, Chen Hedong³

1 Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Key Lab of Forest Ecology and Environment, National Forestry and Grass Administration, Beijing 100091, China

2 Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

3 Experimental Centre of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fenyi 336600, China

Abstract: Soil nitrogen and moisture content are important factors that limit plant growth in forest ecosystems. In order to investigate the response of evergreen broadleaf tree species to increased nitrogen deposition and decreased precipitation, we conducted a common garden experiment in Fenyi county, Jiangxi Province. Five-year-old saplings of *Castanopsis fargesii*,

基金项目: 国家重点研发计划课题 (2016YFD0600201); 国家自然科学基金项目 (31170306)。

收稿日期: 2018-05-29; **网络出版日期:** 2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaogdcf@126.com

Cyclobalanopsis jensenniana, and *Quercus acutissima* were subjected to control, nitrogen application (+N, 60 kg hm⁻² a⁻¹ nitrogen addition), rainfall exclusion (-W, natural rainfall reduced by 50%), and their interaction (+N-W, 60 kg hm⁻² a⁻¹ nitrogen addition together with natural rainfall reduced by 50%) respectively, and their total biomass, biomass of organs, and biomass allocation were analysed. The results showed that: (1) Nitrogen application increased the total biomass, the biomass of organs, and biomass allocation of the saplings of three species significantly compared to the control ($p < 0.05$). (2) Rainfall exclusion reduced the total biomass, the biomass of organs and biomass allocation non-significantly ($p > 0.05$). (3) Except for leaf and branch biomass of *Q. acutissima*, the interaction of nitrogen application and rainfall exclusion had no obvious effect on the total biomass, the biomass of organs, or biomass allocation of the saplings of three species compared with the control ($p > 0.05$). (4) Nitrogen application increased the trunk weight ratio of *C. fargesii*, trunk weight ratio and branch weight ratio of *C. jensenniana* ($p < 0.05$), reduced the leaf weight ratio and root weight ratio of *C. jensenniana* ($p < 0.05$). (5) Rainfall exclusion increased the root weight ratio of *C. fargesii* and *Q. acutissima*, root-shoot ratio of *Q. acutissima* ($p < 0.05$), reduced the branch weight ratio of *C. fargesii*, leaf weight ratio, branch weight ratio and trunk weight ratio of *Quercus acutissima* ($p < 0.05$). (6) The interaction of nitrogen application and rainfall exclusion increased the root weight ratio of *C. fargesii* ($p < 0.05$), reduced the trunk weight ratio of *Quercus acutissima* ($p < 0.05$).

Key Words: nitrogen application; rainfall exclusion; Fagaceae; saplings; biomass; biomass allocation

工业革命后,人类生产活动加剧了全球气候变化,氮沉降增加以及降水格局改变对陆地生态系统的影响日益突出^[1]。研究表明,我国已经成为继欧洲和北美之后的第三大氮沉降区^[2],多个地区的年氮沉降量远高于森林生态系统在生长季节对氮素的需求量 5—8 kg hm⁻² a⁻¹^[3]。IPCC 2014 综合报告指出,随着气候变化加剧,极端天气频发,强烈改变了降水的时空分配;很多中纬度地区和亚热带地区未来降雨可能会减少^[4]。

生物量是生态系统最基本的数量特征^[5],其在各器官间的分配因环境条件不同而存在差异,是植物对环境长期适应的结果^[6-12]。全球气候变化背景下森林生态系统生物量及其分配的变化过程和机理,将是今后生态学研究的一个热点。目前,我国亚热带地区在该方面的相关研究多集中于树木生物量及其分配对施氮^[13-15]、增温^[12]、光照梯度^[16-17]等的响应方面。然而由于亚热带地区雨水充足,降水减少、施氮和减水共同作用对该地区树木生物量及其分配影响的研究相对较少^[18]。

幼树阶段是林木生命史过程中最脆弱、最敏感的时期^[19-20]。幼树的生长除了受遗传物质作用外,极易受到土壤水分、营养元素、光照、温度等环境因素的综合影响^[21]。壳斗科(Fagaceae)是中亚热带常绿阔叶林的重要组成部分^[22],具有重要的生态价值及经济价值。因此,本研究将亚热带常绿阔叶林壳斗科(Fagaceae)代表性树种丝栗栲(*Castanopsis fargesii*)、大叶青冈(*Cyclobalanopsis jensenniana*)和麻栎(*Quercus acutissima*)种子萌发后的幼苗直接移栽至同质园中自然生长,通过施氮(+N,施氮 60 kg hm⁻² a⁻¹),并利用截雨装置减水(-W,减少自然降水的 50%),研究为期三年的降水减少、氮沉降增加及其交互作用(+N-W,施氮 60 kg hm⁻² a⁻¹和减少自然降水的 50%)对三个树种五年生幼树生物量及其分配的影响,以期探讨中亚热带主要森林树种的生长状况和生物量分配对氮沉降增加和降水格局变化的响应规律,研究结果可提高人们对常绿阔叶树种响应氮沉降增加和降水减少的机理认识,同时为中亚热带壳斗树种育苗管理及其幼龄林养护提供科学依据。

1 研究区概况

试验地设在江西大岗山森林生态系统国家定位观测研究站,114°30'—114°45' E,27°30'—27°50' N,为中亚热带低山丘陵地区,海拔 167.8 m。亚热带湿润气候,极端最高温 39.9 °C,极端最低温 -8.3 °C,年平均气温为 15.8—17.7 °C,≥10°C 的年积温 5355 °C,年降水量 1590.9 mm,年蒸发量 504 mm,年均相对湿度 80 %,年平均日照时数 1656.9 h,无霜期 265 d,年太阳辐射总量约 487 kJ · cm⁻²^[23]。地带性植被为天然常绿阔叶混交

林,代表树种是丝栗栲(*C. fargesii*)、青冈栎(*Castanopsis glauca*)、苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)、刺栲(*Castanopsis hystrix*)、木荷(*Schima superba*)和甜槠(*Castanopsis eyrei*)等^[24]。

2 材料与方法

2.1 栽培小区设置

2012 年 10 月,人工采集樟科(Lauraceae)的刨花楠(*Machilus pauhoi*)、闽楠(*Phoebe bournei*)和香樟(*Cinnamomum camphora*),壳斗科(Fagaceae)的丝栗栲(*C. fargesii*)、锥栗(*Castanea henryi*)、苦槠(*C. sclerophylla*)、大叶青冈(*Cyclobalanopsis jensseniana*)、板栗(*Castanea mollissima*)和麻栎(*Quercus acutissima*),木兰科(Magnoliaceae)的观光木(*Tsoongiodendron chun*)、乐昌含笑(*Michelia chapensis*)和深山含笑(*Michelia maudiae*),山茶科(Theaceae)的银木荷(*Schima argentea*)果实饱满且无病虫害的种子。低温处理后,于 2013 年春季播种。种子萌发之后,移至沙土质量比 1:3 的沙土中。同年 4 月,挑选生长基本一致的幼苗,移栽于江西大岗山森林生态系统国家定位观测研究站附近的同质园(common garden)中。同质园划分成 12 个面积均为 120 m²的栽培小区,每个栽培小区从西到东依次栽种苦槠、锥栗、麻栎、板栗、刨花楠、香樟、丝栗栲、银木荷、观光木、乐昌含笑、深山含笑、闽楠和大叶青冈幼苗各两行,株行距为 0.3 m×0.4 m,每行为 36 株。每个栽培小区四周埋设深度为 50 cm、高出土壤表面 10 cm 的 PVC 隔水板。人工定期进行除草和防治病虫害等田间管理^[25]。2013 年 4 月幼苗移栽前,同质园中土壤的理化性质见表 1。

表 1 2013 年幼苗移栽前同质园中土壤的理化性质

Table 1 Soil properties in the common garden before seedling transplantation in April, 2013

土层 Soil layer/cm	土壤容重 Soil bulk density/(g/cm ³)	土壤含水量 Soil water content/%	土壤全氮 Soil total nitrogen/(g/kg)	土壤全钾 Soil total potassium/(g/kg)	土壤全磷 Soil total phosphorus/(g/kg)
0—10	1.37±0.04a	21.77±0.61a	0.61±0.05a	0.77±0.16a	0.26±0.03ab
10—30	1.38±0.02a	20.03±0.42b	0.46±0.03b	0.92±0.22a	0.28±0.03a
30—50	1.39±0.03a	18.65±0.58c	0.33±0.01c	0.82±0.05a	0.22±0.02b

表中数值为平均值±标准偏差;同一列指标数值后的不同小写字母表示同一测定指标在 $\alpha=0.05$ 水平上差异显著

2.2 施氮、减水处理

2014 年 6 月,对 12 个栽培小区进行编号,并设置对照(CK)、施氮(+N)、减水(-W)以及施氮和减水(+N-W)四个处理,每个处理 3 个重复。其中 6 个栽培小区进行减水(-W)施氮、减水(+N-W)处理,6 个栽培小区则进行对照(CK)、施氮(+N)处理(图 1)。

在减水(-W)、施氮和减水(+N-W)处理的每个栽培小区,搭建截雨装置,截雨装置由截雨槽和支撑架组成。截雨槽宽度为 20 cm,利用圆形压膜卡将透光率大于 95%塑料薄膜固定在两根直径为 25 mm 的镀锌管上,每个栽培小区共有 27 个截雨槽,且均位于行距的中间位置,总投影面积为每个栽培小区面积的 50%^[26-30],两个截雨槽间距 20 cm。支撑架均为直径为 25 mm 的镀锌管。截雨槽镀锌管固定于横向支撑架。竖立支撑架与横向支撑架连接,其北侧距离地面高 3.5 m,中间位置距离地面高 3.25 m,南侧距离地面高 3 m,以保证被截留的降雨快速流入排水沟,每个竖立支撑架均埋入地面下 50 cm,以保证截雨装置的牢固性和稳定性。为消除搭建截雨装置对栽培小区的影响,在对照(CK)、施氮(+N)栽培小区搭建相同的支撑架,并以 20 cm 的间距铺设宽度为 20 cm 的白色尼龙网,但北侧、中间位置和南侧竖立支撑架距离地面高均为 3.5 m。

在施氮(+N)、施氮和减水(+N-W)处理的栽培小区,进行人工地表喷施氮肥。施氮水平为 60 kg hm⁻² a⁻¹,施氮频率为每 2 个月 1 次。每次将所需添加的分析纯 NH₄NO₃溶解于 12 L 的水里,用背负式电动喷雾器均匀喷洒到栽培小区的土壤表面,同时在对照(CK)、减水(-W)处理的栽培小区喷洒等量的水,以避免因水分不同而导致的实验差异^[31-33]。

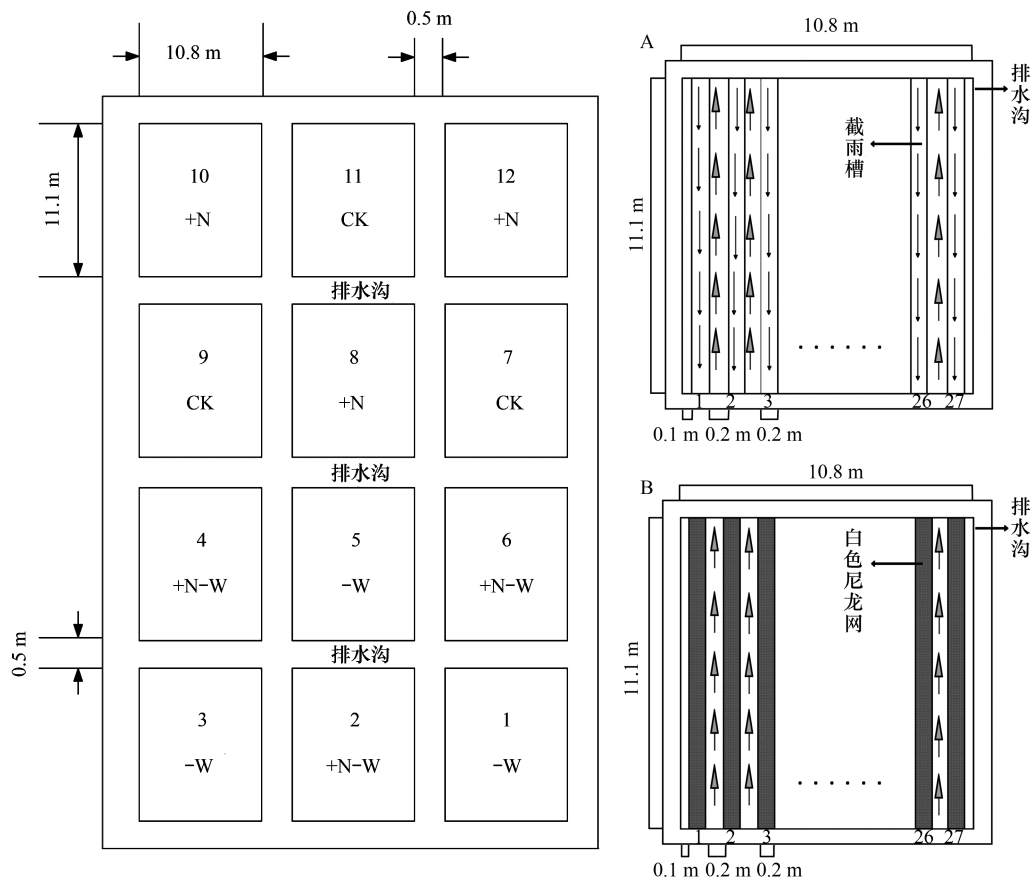


图 1 同质园中的实验和处理设计

Fig.1 The experimental and treatment design in common garden

CK, 对照; +N, 施氮; -W, 减水; +N-W, 施氮减水; 图 1A 表示搭建截雨装置的栽培小区, 图 1B 表示未搭建截雨装置的栽培小区

2.3 地径、株高及生物量的测定

2017 年 7 月中旬, 使用数显游标卡尺 (桂林广陆数字测控股份有限公司) 测量各处理条件下丝栗栲、大叶青冈、麻栎全部植株的地径, 测量时使数显卡尺保持水平并尽可能贴近地面; 同时测量各处理条件下丝栗栲、大叶青冈、麻栎所有植株的株高。

2017 年 8 月, 根据株高和地径的平均值, 在每种处理每个栽培小区各选取两株丝栗栲、大叶青冈、麻栎幼树作为标准木, 采用直接收获法测定其生物量^[34]。首先将树叶与树枝分离, 用枝剪将树枝剪成 5 cm 左右的小段。使用砍刀将去除枝叶的树干切段。将树根置于细筛中, 用自来水反复冲洗, 并去除杂根、石块和泥土等杂物。将树叶、树枝、树干、树根样品分别装入信封中, 置于 80 °C 恒温下烘干至恒重。总生物量为四部分生物量之和, 并计算叶重比 (树叶生物量/总生物量)、枝重比 (树枝生物量/总生物量)、干重比 (树干生物量/总生物量)、根重比 (树根生物量/总生物量) 和根冠比 (树根生物量/树叶生物量+树枝生物量+树干生物量)^[11]。

2.4 数据处理与分析

数据分析通过 SPSS 21.0 (SPSS Inc., Chicago, USA) 进行。采用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 比较不同处理条件下不同幼树生物量及各器官生物量分配的差异显著性, 多重比较采用 Duncan 方法, 显著水平设置为 $P < 0.05$ 。运用 OriginPro 9.0 (OriginLab, Northampton, MA, USA) 作图。

3 结果与分析

施氮处理下, 三种幼树树叶生物量、树枝生物量、树干生物量、树根生物量以及总生物量均显著大于对照 ($P < 0.05$)。三树种总生物量和各器官生物量的增加程度表现为丝栗栲 > 大叶青冈 > 麻栎。丝栗栲、大叶青冈、

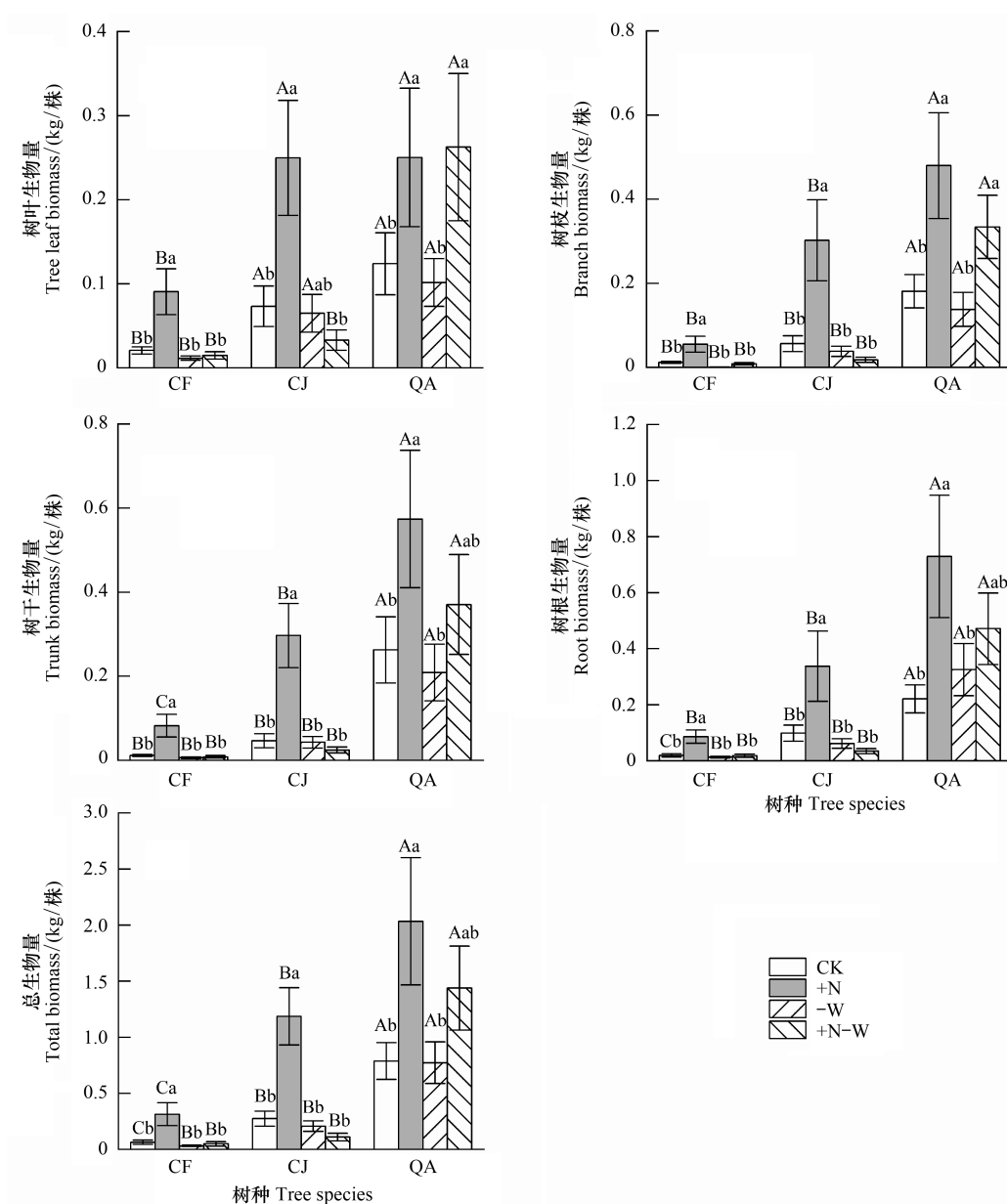


图 2 不同处理对 3 种幼树生物量的影响

Fig.2 Effects of different treatments on the biomass of three saplings

不同大写字母表示同一处理条件下不同树种之间差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一树种不同处理间差异显著 ($P < 0.05$); CF: 丝栗栲 *Castanopsis fargesii*, CJ: 大叶青冈 *Cyclobalanopsis jensenniana*, QA: 麻栎 *Quercus acutissima*

麻栎幼树总生物量分别显著增加 495.50%、432.01% 和 257.93% (图 2)。

减水处理未引起丝栗栲、大叶青冈、麻栎幼树树叶、树枝、树干生物量、总生物量和丝栗栲、大叶青冈树根生物量的显著减少, 同时未导致麻栎树根生物量的显著增加 ($P > 0.05$)。丝栗栲幼树除树根生物量外, 其他各器官生物量及总生物量减少程度大于大叶青冈和麻栎。减水处理导致丝栗栲、大叶青冈、麻栎幼树总生物量分别减少了 50.70%、24.28% 和 1.92%。

施氮和减水交互作用下, 丝栗栲、大叶青冈的总生物量和各器官生物量仅比施氮条件下显著减少 ($P < 0.05$)。与施氮条件下比较时, 麻栎树叶生物量和树枝生物量在施氮和减水交互作用条件时没有显著变化 ($P > 0.05$), 但却比对照及减水条件下时显著增大 ($P < 0.05$)。麻栎树干生物量、树根生物量及总生物量较其他三个处理, 均没有显著变化 ($P > 0.05$)。

3.2 施氮、减水、施氮和减水对壳斗科三种幼树各器官生物量分配的影响

与对照相比较,丝栗栲幼树在施氮处理下干重比显著增加($P<0.05$),其他器官生物量分配则未发生显著变化($P>0.05$)。减水条件下,其枝重比显著减少($P<0.05$),根重比显著增加($P<0.05$),其他器官生物量分配没有显著差异($P>0.05$)。施氮和减水交互作用条件下,其根重比显著增加($P<0.05$),其他器官生物量分配没有显著差异($P>0.05$)。

表 2 不同处理对 3 种幼树生物量分配的影响

Table 2 Effects of different treatments on the biomass allocation of three saplings

	处理 Treatment	叶重比 LWR	枝重比 BWR	干重比 SWR	根重比 RWR	根冠比 R/S
丝栗栲 <i>Castanopsis fargesii</i>	CK	0.33±0.03Aab	0.20±0.02Aa	0.18±0.01Bb	0.29±0.01Bb	0.49±0.14Aab
	+N	0.29±0.01Ab	0.17±0.01Ba	0.26±0.01Ba	0.28±0.02Bb	0.38±0.05Ab
	-W	0.37±0.01Aa	0.03±0.01Bb	0.19±0.02Bb	0.41±0.02Aa	0.69±0.12Aa
	+N-W	0.29±0.04Ab	0.17±0.01Ba	0.17±0.01Cb	0.37±0.03Aa	0.59±0.10Aab
大叶青冈 <i>Cyclobalanopsis jensenniana</i>	CK	0.26±0.02Ba	0.20±0.02Ab	0.17±0.02Bb	0.37±0.02Aa	0.60±0.13Aa
	+N	0.21±0.01Bb	0.25±0.03Aa	0.25±0.01Ba	0.29±0.05Bb	0.42±0.07Aa
	-W	0.32±0.04Ba	0.18±0.02Ab	0.20±0.02Bb	0.30±0.02Bab	0.52±0.21Aa
	+N-W	0.30±0.02Aa	0.16±0.01Bb	0.22±0.00Bab	0.32±0.01Bab	0.54±0.16Aa
麻栎 <i>Quercus acutissima</i>	CK	0.16±0.01Ca	0.23±0.01Aa	0.33±0.03Aa	0.28±0.01Bbc	0.44±0.14Ab
	+N	0.18±0.01Ca	0.23±0.01Aa	0.28±0.01Aa	0.31±0.01Ac	0.55±0.14Aab
	-W	0.13±0.01Cb	0.18±0.01Ab	0.27±0.02Ab	0.42±0.02Aa	0.73±0.07Aa
	+N-W	0.18±0.01Ba	0.23±0.01Aa	0.24±0.02Ab	0.35±0.00Ab	0.50±0.07Ab

表中数值为平均值±标准偏差;不同大写字母表示同一处理条件下不同树种之间差异显著($P<0.05$),不同小写字母表示同一树种不同处理间差异显著($P<0.05$)

大叶青冈幼树在施氮处理条件下,比对照的叶重比、根重比显著减少($P<0.05$),枝重比、干重比显著增加($P<0.05$),根冠比则没有显著差异($P>0.05$)。减水及施氮和减水交互作用条件下,各器官生物量分配无显著变化($P>0.05$)。

与对照比较时,麻栎幼树各器官生物量分配在施氮处理条件下没有显著差异($P>0.05$)。减水条件下,其叶重比、枝重比、干重比显著减少($P<0.05$),但根重比、根冠比显著增加($P<0.05$)。施氮和减水交互作用条件下,干重比显著减少($P<0.05$),其他器官生物量分配没有显著差异($P>0.05$)。

4 讨论

4.1 壳斗科三种幼树总生物量及各器官生物量对氮沉降增加和降水减少的响应

土壤氮素和水分是森林生态系统中限制植物生长的重要因子,直接影响植物的生长和发育,并最终影响森林生物量和生产力。研究氮沉降增加和降水减少条件下不同树种总生物量及各器官生物量的响应规律,将为探讨和揭示树木对土壤养分和水分变化的适应机制提供依据^[1]。

氮素是植物体内蛋白质、核酸、叶绿素等的重要组分。土壤氮素含量是植物光合作用和生产力的重要限制因素^[35]。外源施氮会导致土壤有效氮增加,施入的氮被植物体吸收后,促进植物的生长发育。但也有研究结果显示,由于南方红壤广泛分布,土壤的 pH 值、盐基饱和度比较低,长期过量的氮输入不会促进植物的生长,甚至会导致阳离子可用性的降低和土壤酸化,对植物生长产生负效应,降低植物的生产力^[36,37]。前人研究结果说明,氮输入对植物的影响与施入氮肥的含量及物种本身对氮素的需求有关。本研究中施氮引起丝栗栲、大叶青冈、麻栎幼树的总生物量以及各器官生物量均显著增加,说明施氮促进了三种幼树的生长。

水分是限制植物生长的关键因素。气候变化引起的降水格局改变通过影响土壤含水量,进而改变土壤温湿度等理化性质,影响土壤养分的有效性,最终间接改变植物的形态和生理特征^[38]。但植物对降水变化产生

的响应因周围气候环境、减水程度等因素而具有显著差异。景茂等研究发现银杏(*Ginkgo biloba*)生物量增量、相对高生长、相对地径生长等均随着土壤水分含量的减少而减少^[39]。与此相反因蒙古栎(*Quercus mongolica*)具有耐旱特性^[40],短期内降水格局改变可能不会对其树木幼苗生长构成水分胁迫^[41]。本研究位于亚热带地区,降雨量相对充足,减水 50%没有使壳斗科三树种的总生物量及各器官生物量发生显著改变。说明在江西大岗山地区丝栗栲、香樟、银木荷幼树对减水 50%具有较好的适应性,但其适应机制还需要从水分生理、气体交换等多个方面进行进一步观测和研究。

施氮可以减轻干旱对植物光合和生长的抑制,增强植物的抗旱能力^[42]。本研究中施氮和减水处理条件下,除了麻栎树叶生物量、树枝生物量,三种五年生幼树总生物量及各器官生物量均显著低于单独施氮处理,并且与对照、减水处理比较时差异不显著。相关研究表明土壤氮素和含水量对植物的影响具有交互作用^[43]。土壤含水量影响氮素肥效、在土壤中的转化迁移、植物体对氮素的吸收及其在植物体内的代谢^[35]。而氮素可增加树木生产力,促进根部生长,有利于水分吸收^[44]。

4.2 壳斗科三种幼树各器官生物量分配对氮沉降增加和降水减少的响应

生物量是植物积累能量的主要体现,其在各器官中的分配反映了植物在不同环境下的生长策略^[45]。研究不同器官之间的生物量分配对认识树木对氮沉降增加和降水减少的响应与适应具有重要意义。

施氮显著增加海南红豆(*Ormosia pinnata*)根生物量的分配比例^[46],但亦有相反的研究结果^[47]。本研究发现施氮处理导致丝栗栲干重比显著增加;大叶青冈枝重比、干重比分配显著增加,叶重比、根重比分配显著减少;而对麻栎的影响则不显著。丝栗栲和大叶青冈的研究结果验证了前人的研究结论。施氮处理对麻栎生物量分配的影响并不显著,原因可能是施氮后同时增加了麻栎各器官的生物量。

干旱胁迫时,辽东栎(*Quercus liaotungensi*)通过降低地上部分生物量,提高根比重,以缓解干旱胁迫时水分、养分的供求矛盾^[48]。本研究中,在减水处理时,丝栗栲枝重比显著减少、根重比显著增加;麻栎叶重比、枝重比、干重比显著减少,根重比、根冠比显著增加;减水处理对大叶青冈生物量分配影响不显著。丝栗栲、麻栎的研究结果验证了前人的结论。大叶青冈各器官生物量分配没有显著的变化可能是因为大叶青冈较其他两物种更能够适应干旱环境,减水 50%未对大叶青冈幼树生物量分配产生显著影响。本研究中同时施氮和减水提高了丝栗栲的根重比,减低了麻栎的干重比。

根冠比为植物地上部分和地下部分生物量的分配情况,是衡量植株生长,尤其是植株对土壤养分、水分状态反应的重要指标^[11]。本研究中,同质园中四种处理条件下丝栗栲、大叶青冈、麻栎 5 年生幼树根冠比分别为 0.54 ± 0.14 、 0.52 ± 0.14 、 0.56 ± 0.14 ,三种幼树根冠比的种间差异不显著,说明同质园中相同树龄的三种壳斗科幼树,地上部分和地下部分比值具有相对一致性。

5 结论

人工施氮显著增加了壳斗科三种幼树生物量及各器官生物量。减水降低了壳斗科三种幼树生物量,但效果不显著。施氮和减水交互作用下,除了麻栎树叶生物量、树枝生物量,三种五年生幼树总生物量及各器官生物量均显著低于施氮,但与对照及减水的差异并不显著。壳斗科三种幼树的生物量分配对施氮、减水的响应不同。施氮会减少树根生物量的分配,增加树叶、树枝、树干生物量的分配;减水会增加树根生物量的分配,减少树叶、树枝、树干生物量的分配;同时施氮和减水,对各器官生物量分配变化的影响不显著。研究结果说明人工适当施氮会促进亚热带地区树木的生长,但减水、同时施氮和减水对壳斗科三种幼树的生长影响并不显著。

虽然本研究连续进行了 3 年,但相对于树木的生命周期而言,仍然很短。本研究结论来源于幼树阶段,并不能反映成林的响应结果。因此为验证氮沉降增加和降水减少对树木生长的影响,还需要继续进行长期观测研究。

参考文献 (References):

- [1] 谷越, 王芳, 陈鹏狮, 张军辉, 韩士杰, 张雪, 陈志杰, 岳琳艳. 长期施氮和降水减少对长白山阔叶红松林凋落物量的影响. 北京林业大学学报, 2017, 39(4): 29-37.
- [2] 顾峰雪, 黄玫, 张远东, 闫慧敏, 李洁, 郭瑞, 钟秀丽. 1961-2010 年中国区域氮沉降时空格局模拟研究. 生态学报, 2016, 36(12): 3591-3600.
- [3] 刘文飞. 氮沉降对亚热带人工林针叶及凋落物养分动态的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2007.
- [4] IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014: 60-62.
- [5] 王杨, 徐文婷, 熊高明, 李家湘, 赵常明, 卢志军, 李跃林, 谢宗强. 櫟木生物量分配特征. 植物生态学报, 2017, 41(1): 105-114.
- [6] Reich P B, Hobbie S E, Lee T D. Plant growth enhancement by elevated CO₂ eliminated by joint water and nitrogen limitation. Nature Geoscience, 2014, 7(12): 920-924.
- [7] Reich P B, Luo Y J, Bradford J B, Poorter H, Perry C H, Oleksyn J. Temperature drives global patterns in forest biomass distribution in leaves, stems, and roots. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2014, 111(38): 13721-13726.
- [8] Zhang H, Song T Q, Wang K L, Wang G X, Liao J X, Xu G H, Zeng F P. Biogeographical patterns of forest biomass allocation vary by climate, soil and forest characteristics in China. Environmental Research Letters, 2015, 10(4): 044014.
- [9] 董丽佳, 桑卫国. 模拟增温和降水变化对北京东灵山辽东栎种子出苗和幼苗生长的影响. 植物生态学报, 2012, 36(8): 819-830.
- [10] 唐罗忠, 刘志龙, 虞木奎, 方升佐, 赵丹, 王子寅. 两种立地条件下麻栎人工林地上部分养分的积累和分配. 植物生态学报, 2010, 34(6): 661-670.
- [11] 吴茜, 丁佳, 闫慧, 张守仁, 方腾, 马克平. 模拟降水变化和土壤施氮对浙江古田山 5 个树种幼苗生长和生物量的影响. 植物生态学报, 2011, 35(3): 256-267.
- [12] 喻志强, 赵广东, 王兵, 邓宗富, 杨清培, 贺小云. 人工控制增温和施氮对丝栗栲和苦槠幼苗生长状况的影响. 江西农业大学学报, 2013, 35(1): 102-107.
- [13] 王满莲, 文香英, 韦霄, 蒋运生, 柴胜丰, 唐辉. 施氮对三个南方珍稀树种幼苗生长和生物量分配的影响. 广西植物, 2017, 37(1): 127-133.
- [14] 王晓荣, 潘磊, 庞宏东, 郑京津, 王瑞文. 模拟氮沉降对亚热带栎属树种幼苗生长、生物量累积及光合特性的影响. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(1): 78-85.
- [15] 王晓荣, 潘磊, 唐万鹏, 庞宏东, 郑兰英. 氮素添加对中亚热带栎属不同树种幼苗生长及生物量分配的短期影响. 东北林业大学学报, 2014, 42(6): 24-28.
- [16] 汤爱仪, 陶建平, 刘欣, 严超龙, 梁琴. 常绿阔叶林两种树种幼苗对不同光环境的适应——关于生长特征和光合色素含量的研究. 西南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(1): 109-113.
- [17] 杨莹, 王传华, 刘艳红. 光照对鄂东南 2 种落叶阔叶树种幼苗生长、光合特性和生物量分配的影响. 生态学报, 2010, 30(22): 6082-6090.
- [18] 常宏. 丝栗栲、香樟和银木荷幼树水分生理、叶片磷组分和生物量分配对施氮和减水的响应[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2018.
- [19] 李俊清, 臧润国, 蒋有绪. 欧洲水青冈 (*Fagus sylvatica* L.) 构筑型与形态多样性研究. 生态学报, 2001, 21(1): 151-155.
- [20] 韩有志, 王政权. 森林更新与空间异质性. 应用生态学报, 2002, 13(5): 615-619.
- [21] 汤景明, 翟明普, 崔鸿侠. 壳斗科三树种幼苗对不同光环境的形态响应与适应. 林业科学, 2008, 44(9): 41-47.
- [22] 邱丽胤, 吴晓媛, 柳涛. 中国壳斗科植物属的空间多样性及差异. 西北植物学报, 2016, 36(10): 2103-2108.
- [23] 李超, 赵广东, 王兵, 史作民, 邓宗富, 夏晨, 陈和东. 中亚热带樟科 3 种植物幼苗叶结构型性状的种间差异及其相关性. 植物科学学报, 2016, 34(1): 27-37.
- [24] 王致远, 赵广东, 王兵, 邓宗富, 夏晨, 罗嘉东, 王财英. 丝栗栲、苦槠和青冈幼苗叶片功能性状对增温和施氮的响应. 东北林业大学学报, 2014, 42(12): 43-49.
- [25] 李东胜, 史作民, 刘世荣, 许中旗, 黄选瑞. 南北样带温带区栎属树种幼苗功能性状的变异研究. 林业科学研究, 2013, 26(2): 156-162.
- [26] 杨柳, 孙慧珍. 兴安落叶松水分利用对策. 林业科学, 2016, 52(6): 149-156.
- [27] Yahdjian L, Sala O E. A rainout shelter design for intercepting different amounts of rainfall. Oecologia, 2002, 133(2): 95-101.
- [28] Liu Y C, Liu S R, Wan S Q, Wang J X, Luan J W, Wang H. Differential responses of soil respiration to soil warming and experimental throughfall reduction in a transitional oak forest in central China. Agricultural and Forest Meteorology, 2016, 226-227: 186-198.
- [29] Cleveland C C, Wieder W R, Reed S C, Townsend A R. Experimental drought in a tropical rain forest increases soil carbon dioxide losses to the atmosphere. Ecology, 2010, 91(8): 2313-2323.

- [30] Metcalfe D B, Meir P, Aragão L E O C, Lobo-Do-Vale R, Galbraith D, Fisher R A, Chaves M M, Maroco J P, da Costa A C L, de Almeida S S, Braga A P, Gonçalves P H L, de Athaydes J, da Costa M, Portela T T B, de Oliveira A A R, Malhi Y, Williams M. Shifts in plant respiration and carbon use efficiency at a large-scale drought experiment in the eastern Amazon. *New Phytologist*, 2010, 187(3): 608-621.
- [31] 王致远, 赵广东, 王兵, 邓宗富, 夏良放, 陈传松. 丝栗栲、苦槠和青冈幼苗叶片光合生理指标对人工增温和施氮的响应. *水土保持学报*, 2014, 28(4): 293-298.
- [32] Gao Q, Hasselquist N J, Palmroth S, Zheng Z, You W H. Short-term response of soil respiration to nitrogen fertilization in a subtropical evergreen forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, 76: 297-300.
- [33] Tian D, Li P, Fang W J, Xu J, Luo Y K, Yan Z B, Zhu B, Wang J J, Xu X N, Fang J Y. Growth responses of trees and understory plants to nitrogen fertilization in a subtropical forest in China. *Biogeosciences*, 2017, 14(14): 3461-3469.
- [34] 王文栋, 白志强, 阿里木·买买提, 刘瑞, 郭忠军. 天山林区 6 种优势种灌木林生物量比较及估测模型. *生态学报*, 2016, 36(9): 2695-2704.
- [35] 于贵瑞, 高扬, 王秋风, 刘世荣, 申卫军. 陆地生态系统碳-氮-水循环的关键耦合过程及其生物调控机制探讨. *中国生态农业学报*, 2013, 21(1): 1-13.
- [36] 郝卓, 高扬, 张进忠, 徐亚娟, 于贵瑞. 南方红壤区氮湿沉降特征及其对流域氮输出的影响. *环境科学*, 2015, 36(5): 1630-1638.
- [37] 方运霆, 莫江明, 周国逸, 薛璟花. 鼎湖山主要森林类型植物胸径生长对氮沉降增加的初期响应. *热带亚热带植物学报*, 2005, 13(3): 198-204.
- [38] Galloway J N, Townsend A R, Erisman J W, Bekunda M, Cai Z C, Freney J R, Martinelli L A, Seitzinger S P, Sutton M A. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science*, 2008, 320(5878): 889-892.
- [39] 景茂, 曹福亮, 汪贵斌, 潘静霞. 土壤水分含量对银杏生长及生物量分配的影响. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2005, 29(3): 5-8.
- [40] 于顺利, 马克平, 陈灵芝, 桑卫国. 黑龙江省不同地点蒙古栎林生态特点研究. *生态学报*, 2001, 21(1): 41-46.
- [41] 武静莲, 王森, 蔺菲, 郝占庆, 姬兰柱, 刘亚琴. 降水变化和种间竞争对红松和蒙古栎幼苗生长的影响. *应用生态学报*, 2009, 20(2): 235-240.
- [42] Song C J, Ma K M, Qu L Y, Liu Y, Xu X L, Fu B J, Zhong J F. Interactive effects of water, nitrogen and phosphorus on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Bauhinia faberi* seedlings. *Journal of Arid Environments*, 2010, 74(9): 1003-1012.
- [43] 周国逸, 闫俊华. 鼎湖山区域大气降水特征和物质元素输入对森林生态系统存在和发育的影响. *生态学报*, 2001, 21(12): 2002-2012.
- [44] 于贵瑞, 王秋风, 方华军. 陆地生态系统碳-氮-水耦合循环的基本科学问题、理论框架与研究方法. *第四纪研究*, 2014, 34(4): 683-698.
- [45] 杨昊天, 李新荣, 刘立超, 贾荣亮, 王增如, 李小军, 李刚. 荒漠草地 4 种灌木生物量分配特征. *中国沙漠*, 2013, 33(5): 1340-1348.
- [46] 赵亮, 周国逸, 张德强, 段洪浪, 刘菊秀. CO₂ 浓度升高和氮沉降对亚热带主要乡土树种及群落生物量的影响. *应用生态学报*, 2011, 22(8): 1949-1954.
- [47] Johansson M. The influence of ammonium nitrate on the root growth and ericoid mycorrhizal colonization of *Calluna vulgaris* (L.) Hull from a Danish heathland. *Oecologia*, 2000, 123(3): 418-424.
- [48] 孙书存, 陈灵芝. 辽东栎幼苗对干旱和去叶的生态反应的初步研究. *生态学报*, 2000, 20(5): 893-897.