

齐光,杜晓军,高贤明,等.宝天曼典型森林植被碳库及其分配格局[J].江苏农业科学,2019,47(13):158-163.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.13.039

# 宝天曼典型森林植被碳库及其分配格局

齐光<sup>1,2</sup>,杜晓军<sup>1</sup>,高贤明<sup>1</sup>,刘永刚<sup>1</sup>,焦志华<sup>3</sup>,程立平<sup>2</sup>,叶继旺<sup>2</sup>

[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.平顶山学院化学与环境工程学院,河南平顶山 467000;  
3.中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院,北京 100083]

**摘要:**森林类型和群落结构是影响森林植被碳库分配格局的重要因子。拟揭示宝天曼自然保护区栓皮栎林(幼龄)、鹅耳枥林、针叶林和针阔混交林植被碳库及其分配格局,明确森林类型和群落结构对研究区森林植被碳库及其分配格局的影响。采用样地调查法结合木本树种的异速生长方程的方法获得植被碳库,进而划分植物器官碳库以及群落径级。通过单因素方差分析和多重比较的方法,分析林型和群落结构对森林植被碳库及其分配格局的影响。结果表明:(1)栓皮栎林、鹅耳枥林、针叶林和针阔混交林 4 种林型的总植被碳库分别为 54.86、102.22、116.91 和 132.16 t/hm<sup>2</sup>。中龄林和幼龄林间的地上植被碳库、总植被碳库差异显著( $P < 0.05$ ),但是地下植被碳库的差异并不显著。除栓皮栎林以外,各林型器官碳库大小排序均为树干 > 树枝 > 树根 > 树叶,栓皮栎林具有最大的根冠比。(2)栓皮栎林、鹅耳枥林和针叶林都以小树[胸径(DBH) < 10 cm]个体比例相对较高。对于地上、地下、总植被碳库,1 ~ < 20 cm 径级个体的碳库贡献率都呈现出栓皮栎林 > 鹅耳枥林 > 针叶林 > 针阔混交林的趋势,而大树(DBH 为 50 ~ 60 cm)的贡献率则表现为针阔混交林大于其他林型。栓皮栎林中小树对总植被碳库的贡献率为地下大于地上,针阔混交林中大树对植被碳库的贡献率为地上大于地下。建议森林管理应针对不同林型和林龄的特点采取相应的经营方案,以保持较高的植被碳库水平。

**关键词:**宝天曼;碳密度;器官碳库;分配格局

**中图分类号:** S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)13-0158-05

人类活动导致 CO<sub>2</sub> 等温室气体浓度增加及其引发的全球变化问题,已成为当前生态学的研究热点<sup>[1-2]</sup>。目前减少大气 CO<sub>2</sub> 浓度的主要方法有 2 种:一种是减少 CO<sub>2</sub> 排放,即碳“减排”;另一种是增加陆地碳库对 CO<sub>2</sub> 的固持,即碳“增汇”。森林碳库约占陆地总碳库的 46%<sup>[1-2]</sup>,将 CO<sub>2</sub> 固持在森林生态系统中是陆地碳“增汇”的重要途径,也是减缓全球变化问题的关键环节<sup>[3]</sup>。植物通过光合作用将 CO<sub>2</sub> 转化为自身构架物质,并以生物量的形式贮存起来,生物量是植被对 CO<sub>2</sub> 固持效应的最终表现形式。森林植被碳库是生物量的现存量,约占全球植被碳库的 86% 以上<sup>[3]</sup>,是研究森林与大气间 CO<sub>2</sub> 交换与平衡的重要对象。环境及植物自身的因素会导致生物量被分配到不同的器官中<sup>[4-5]</sup>,这为制定以碳增汇为目标的营林政策提供了新的思路,也是森林碳增汇途径应该考虑的内容。揭示森林植被碳库贮量和分配格局将有助于理解陆地碳库分布规律,并为制定适宜的森林碳增汇策略提供理论依据。

目前我国森林植被碳库的研究多围绕碳库核算、碳汇形

成机制、固碳潜力和碳增汇途径等内容进行<sup>[2,6-10]</sup>,并且多采用典型样地或均匀布点的方法选择某一个或多个纬度梯度森林进行对比研究<sup>[7-8]</sup>。但是典型样地法为保证所选样地的典型性和代表性,在样地布设时容易忽略一个重要区域—纬度过渡区。纬度过渡区一般兼具 2 个纬度带的空间特征,其环境、群落特征以及生态系统功能变得更加复杂<sup>[11]</sup>。植被类型和树种组成的不同,是导致大尺度植被碳库核算结果不确定的重要原因<sup>[2,8,12]</sup>。因而采用统一的方法,针对不同林型设置植被碳库调查样地,揭示各地区不同植被类型森林碳库的贮量及其分配格局,将有助于提高我国植被碳库核算及碳库分布格局的精度,并增强不同环境梯度间森林植被碳库对比的可信度。宝天曼自然保护区位于我国中部地区,是我国北亚热带和暖温带的纬度过渡区。保护区保存有良好的天然林资源,形成了以落叶阔叶林为主的多种林型,并且多为中龄林,是研究森林植被碳库及其分配格局的理想区域。目前已有关于该地区栎类林生物量的零星报道<sup>[13]</sup>,但是仍欠缺不同林型森林植被碳库及其分配格局的对比研究。本研究以宝天曼自然保护区栓皮栎林(幼龄)、鹅耳枥林、针叶林和针阔混交林 4 种类型天然林为研究对象,通过样地调查法核算 4 种林型的植被碳库,并进一步揭示植被碳库在不同器官、不同径级木本植物个体间的分配格局。为了便于将来与热带森林科学中心全球森林观测站(The Center for Tropical Forest Science - Forest Global Earth Observatory,简称 CTFS - ForestGEO)的样地<sup>[14]</sup>碳库结果进行对比,本研究植被碳库大小以胸径(DBH) ≥ 1 cm 木本植物的碳密度来表示。研究结果可为制定适宜区域森林碳增汇策略等林业经营管理方案提供参考依据。

收稿日期:2018-03-22

基金项目:国家自然科学基金(编号:41601057、41471045、31370586、41771036);中国科学院战略性先导科技专项专题(编号:XDA0505020305)。

作者简介:齐光(1983—),男,山东济宁人,博士,讲师,主要从事森林生态和物种多样性研究。E-mail:qiguang594@163.com。

通信作者:杜晓军,博士,主要从事森林生态学、群落生态学、生物多样性相关研究。E-mail:xjdu@ibcas.ac.cn。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

宝天曼国家级自然保护区 (111°53′ ~ 112°E, 33°25′ ~ 33°33′N) 位于河南省西南部内乡县, 地处秦岭东段, 山体呈东南和西北走向, 是我国暖温带向北亚热带的过渡区。保护区总面积约为 53.4 km<sup>2</sup>, 最高海拔为 1 830 m。年均总辐射量 455.34 kJ/cm<sup>2</sup>, 高山区和低山区无霜期分别为 160、227 d, 年均气温为 15.1 ℃, 1 月和 7 月平均气温分别为 1.5、27.8 ℃, 属大陆性季风气候。年均降水量为 885.6 mm, 年均蒸发量为 991.6 mm, 年均相对湿度为 68%。土壤垂直分布特征明显, 海拔 1 300 m 以上主要为山地棕壤土类, 海拔 800 ~ 1 300 m 主要为山地黄棕壤土类, 海拔 600 ~ 800 m 主要为山地褐土土类。森林覆盖率约为 89%, 地带性植被以暖温带落叶阔叶林为主, 兼有亚热带常绿落叶阔叶混交林的特点<sup>[15]</sup>。

该区植物种类丰富, 共有种子植物 150 科 783 属 2 147 种 (含种以下等级)。森林类型在海拔 900 m 以下以栓皮栎 (*Quercus variabilis*) 和槲栎 (*Q. aliena*) 林为主, 海拔 1 000 m 以上主要为短柄枹栎 (*Q. glandulifera* var. *breripetiolata*) 林和

锐齿栎 (*Q. aliena* var. *acutiserrata*) 林<sup>[16]</sup>。主要木本植物还有鹅耳枥 (*Carpinus turczaninowii*)、昌化鹅耳枥 (*C. tschonoskii*)、油松 (*Pinus tabulaeformis*)、华山松 (*P. armandii*)、三桠乌药 (*Lindera obtusiloba*)、水榆花楸 (*Sorbus alnifolia*)、四照花 (*Cornus kousa*)、葛罗枫 (*Acer davidii* subsp. *grosseri*)、山梅花 (*Philadelphus incanus*)、连翘 (*Forsythia suspensa*) 等; 常见的草本植物为糙苏 (*Phlomis umbrosa*)、穿龙薯蓣 (*Dioscorea nipponica*)、大叶直芒草 (*Stipa coreana*)、丝叶薹草 (*Carex capilliformis*)、东方草莓 (*Fragaria orientalis*)、费菜 (*Sedum aizoon*)、甘菊 (*Dendranthema lavandulifolium*)、野菊 (*D. indicum*)、华北耧斗菜 (*Aquilegia yabeana*)、堇菜 (*Viola arcuata*) 等。

### 1.2 样地设置

2012 年夏季在研究区选取宝天曼栓皮栎林、鹅耳枥林、针叶林和针阔混交林 4 种森林类型设置样地。样地投影面积为 20 m × 50 m (0.1 hm<sup>2</sup>), 每个林型设置 3 个重复 (表 1)。参照 CTFS - ForestGEO 的森林样地调查方法进行每木调查<sup>[17]</sup>, 对样地内胸径 (DBH) ≥ 1 cm 的木本植物, 分别记录胸径 (包括主干和分支)、树高、物种等信息。

表 1 宝天曼 4 种类型森林卫星样地概况

林型	龄组	海拔 (m)	优势树种
栓皮栎林	幼龄林	665 ~ 750	栓皮栎 ( <i>Quercus variabilis</i> )
鹅耳枥林	中龄林	1 275 ~ 1 515	鹅耳枥 ( <i>Carpinus turczaninowii</i> )、昌化鹅耳枥 ( <i>C. tschonoskii</i> )
针叶林	中龄林	1 413 ~ 1 651	油松 ( <i>Pinus tabulaeformis</i> )、华山松 ( <i>P. armandii</i> )
针阔混交林	中龄林	1 685 ~ 1 750	锐齿栎 ( <i>Q. aliena</i> var. <i>acutiserrata</i> )、华山松 ( <i>P. armandii</i> )

注: 海拔为 3 个重复样方所处海拔区间。

### 1.3 植被碳库核算

采用种、属或林型专一性二元异速生长方程<sup>[13,18]</sup> 估测每木干、枝、叶、根生物量 (公式 1), 采用生物量碳换算系数 0.5 核算器官碳库大小, 以碳密度表示 (公式 2)。

$$B_A = \sum_{i=1}^n B_S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B_T + B_{BH} + B_L + B_R \quad (1)$$

式中:  $B_A$  为样方总生物量, kg;  $n$  为样方内物种数;  $m$  为样方内每个物种对应的多度;  $B_S$  为单木生物量, kg;  $B_T$ 、 $B_{BH}$ 、 $B_L$  和  $B_R$  分别代表单木树干、树枝、树叶和树根 4 种器官的生物量, kg。

$$CD_A = (0.5 \times B_A \times 0.001) / S \quad (2)$$

式中:  $CD_A$  为碳密度, t/hm<sup>2</sup>; 0.5 为生物量 - 碳换算因子;  $S$  为样方面积, 本研究中为 0.1 hm<sup>2</sup>。

另外, 通过对每木干、枝、叶加和得到地上生物量, 根生物量 (地下生物量) 与地上生物量的比值即为每木根冠比 ( $R_s$ )。样地中所有立木根冠比的均值即为样地根冠比 ( $R$ )。

$$R_s = B_R / (B_T + B_{BH} + B_L); \quad (3)$$

$$R = (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_i) / \sum_{i=1}^n m_i \quad (4)$$

式中:  $m_i$  为样方中物种  $i$  对应的多度。

### 1.4 数据处理

采用单因素方差分析 (ANOVA) 和多重比较 (Duncan's 法) 的方法获得标准差及多重比较结果。所有分析在 R (3.4.2) 统计分析软件 (<http://cam.rproject.org>) 中进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 宝天曼 4 种林型森林的植被碳库特征

由图 1 可知, 栓皮栎林、鹅耳枥林、针叶林和针阔混交林地上植被碳库分别为 (39.90 ± 7.29)、(81.41 ± 6.37)、(95.71 ± 13.21)、(110.20 ± 0.13) t/hm<sup>2</sup>, 其总植被碳密度分别为 (54.86 ± 10.29)、(102.22 ± 7.90)、(116.91 ± 15.46)、(132.16 ± 1.35) t/hm<sup>2</sup>。中龄林和幼龄林间的地上植被碳库、总植被碳库差异显著 ( $P < 0.05$ ), 但是地下植被碳库的差异并不显著。4 种型中栓皮栎林的的根冠比最大, 为 0.371 ± 0.012, 而针阔混交林的根冠比最小, 为 0.199 ± 0.011, 针叶林和鹅耳枥林的根冠比分别为 0.223 ± 0.007 和 0.256 ± 0.025。由图 2 可知, 鹅耳枥林、针叶林和针阔混交林 3 类中龄林的器官碳库大小排序趋势为树干 > 树枝 > 树根 > 树叶, 其中针阔混交林树枝碳库显著大于树根, 而幼龄的栓皮栎林树根碳库则大于树枝。

### 2.2 不同林型植被碳库贡献率的径级分布格局

由图 3 可知, 宝天曼自然保护区 0.1 hm<sup>2</sup> 栓皮栎林、鹅耳枥林、针叶林和针阔混交林的木本个体数 (包括主干和分支) 呈现出不同的径级分布特征。栓皮栎小径级 (DBH ≤ 10 cm) 个体占总数的 88.7%, 并且 DBH > 30cm 的植株仅有 6 个个体。3 类中龄林中, 鹅耳枥林、针叶林都以小径级 (DBH ≤ 10 cm) 个体为主, 而针阔混交林中 45% 以上为大径级 (DBH > 10 cm) 个体。

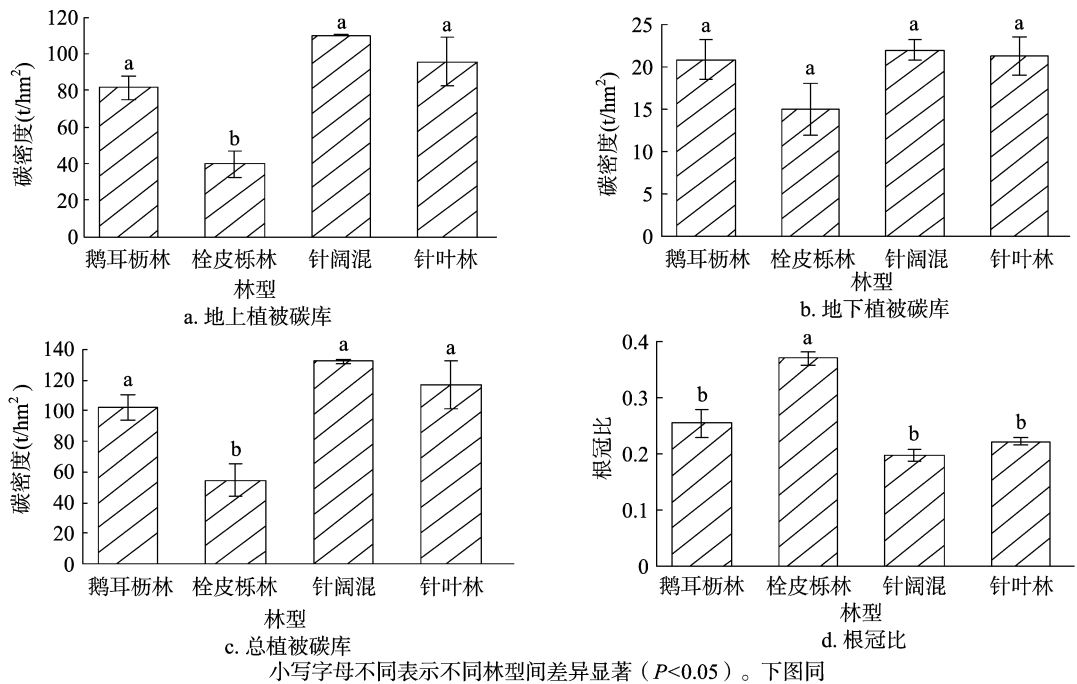


图1 宝天曼不同林型森林地上、地下和总植被碳库以及根冠比

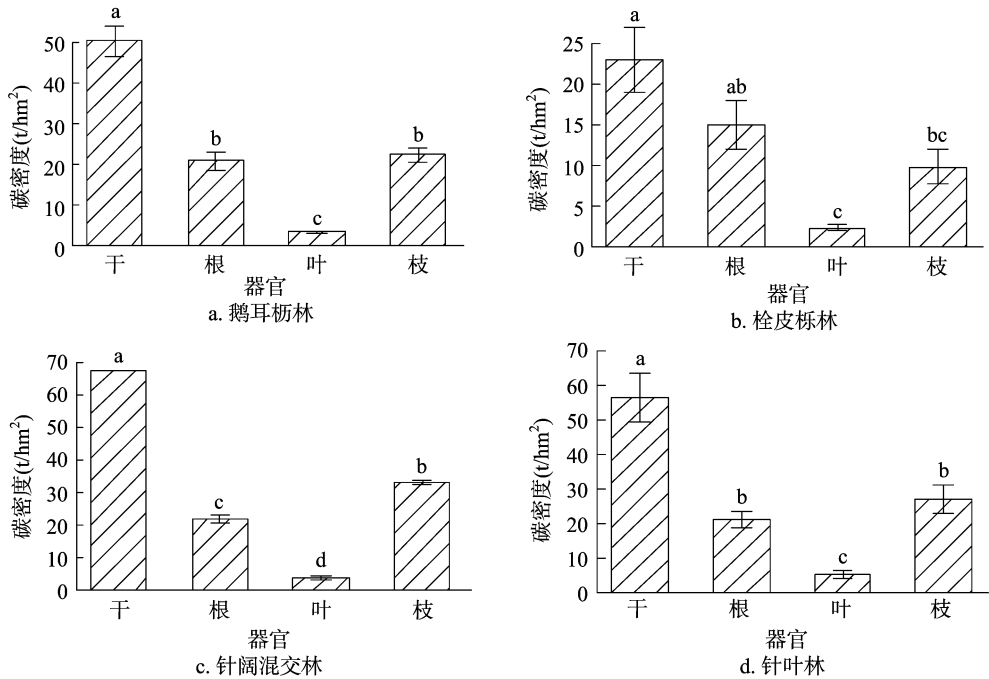


图2 宝天曼不同类型森林的器官碳库分配

由图 4 可知,4 种林型木本植物对地上、地下和总植被碳库的贡献率也表现出较大差异。栓皮栎林 1 ~ < 10 和 10 ~ < 20 cm 径级个体对地上、地下和总植被碳库的贡献率均达到 30% 以上,其中 1 ~ < 10 cm 径级个体对地下植被碳库的贡献大于其对地上和总植被碳库的贡献;鹅耳枥林和针叶林 10 ~ 20、< 20 ~ < 30 和 30 ~ < 40 cm 径级个体对植被碳库的贡献率都大于 20%,但是二者植被碳库贡献率最大的径级分别为 10 ~ < 20 和 20 ~ < 30 cm;而针阔混交林 20 ~ < 30 和 30 ~ < 40 cm 径级个体对植被碳库的贡献率约为 60%。另

外,针阔混交林 10 ~ 20 cm 径级个体的贡献率仅为 15% 左右,与 50 ~ < 60 cm 径级的贡献率相近,而 60 ~ < 70 cm 径级个体对地下碳库的贡献率小于其对地上碳库的贡献率。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 宝天曼 4 种类型森林的植被碳库贮量

以往的研究表明,群落类型或群落演替的变化会引起植被碳库的差异<sup>[8]</sup>。林型是森林生态系统植被碳库及其分配格局的重要影响因子,植被类型和树种组成的不同,往往导致

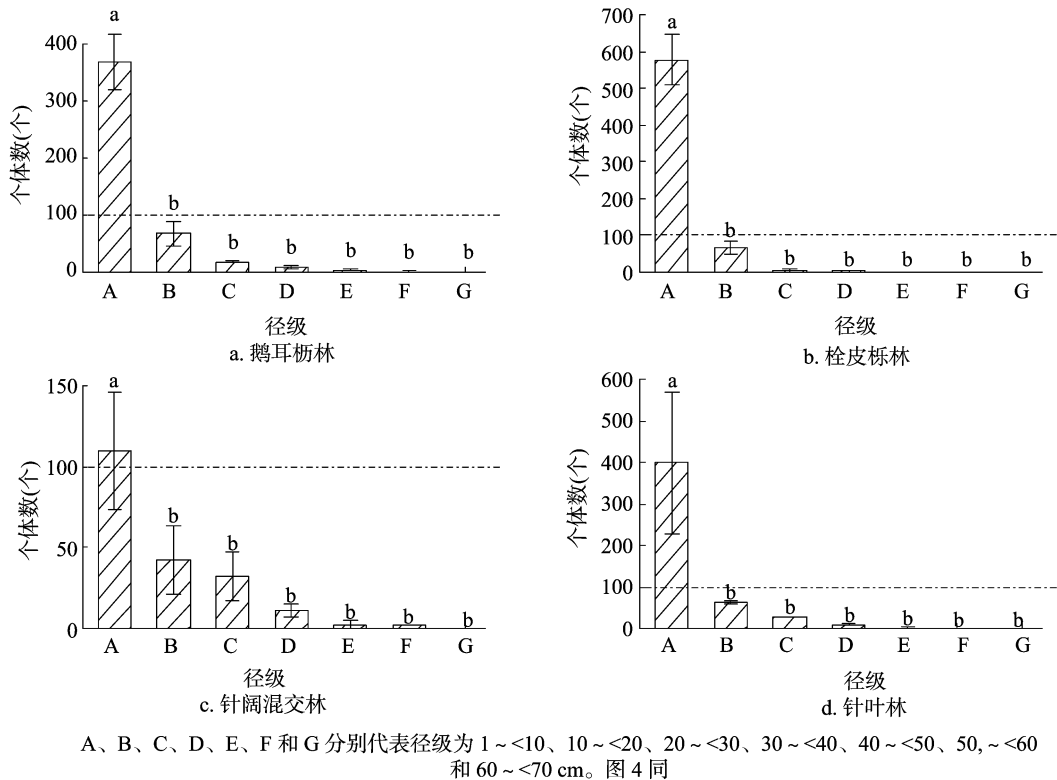


图3 宝天曼不同林型森林木本个体数的径级分布

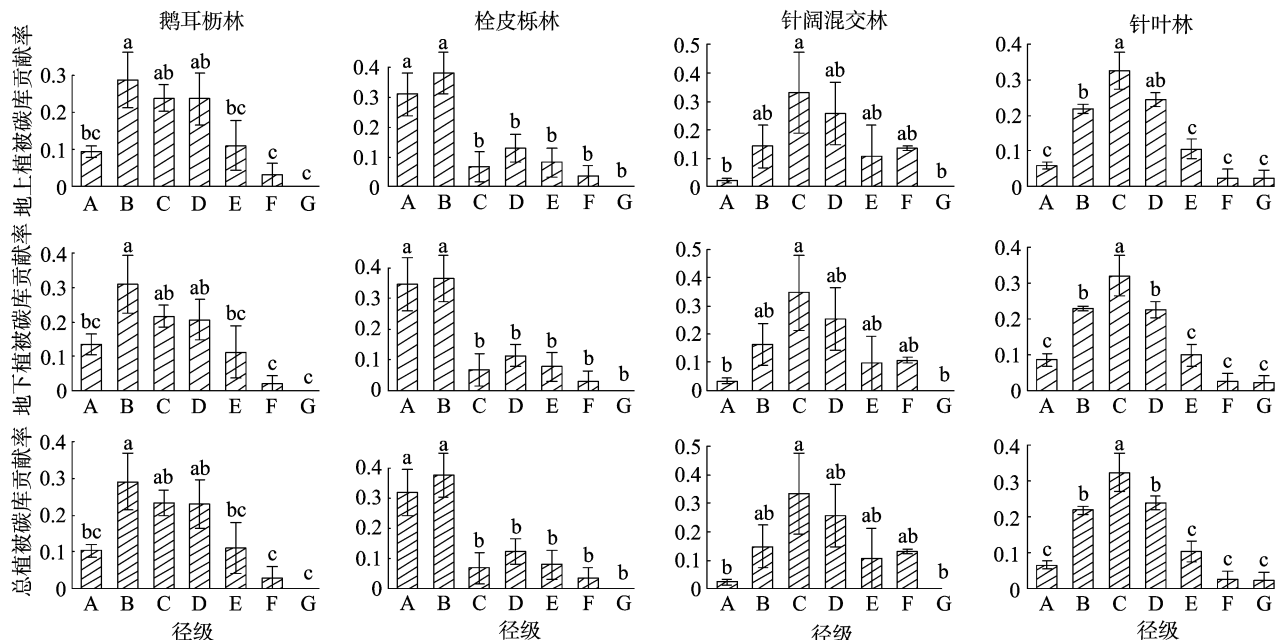


图4 宝天曼不同林型森林各径级木本植物对地上、地下和总植被碳库的贡献率分布

植被碳库估算结果存在较大差异<sup>[2,8,12]</sup>。目前地带性植被碳库研究以碳核算为主要内容,植被碳库分配格局也越来越受到重视<sup>[19-23]</sup>,径级分布等群落自身特征对碳库分配影响的研究仍需要加强。而且传统林业调查样地每木调查作业多以 DBH = 5 cm 为起测径级<sup>[24]</sup>,以致无法揭示群落内 DBH < 5 cm 木本树种的植被碳库分配特征。

宝天曼自然保护区为我国暖温带与亚热带的过渡区,地带性植被为栎类林占优势的落叶阔叶林<sup>[13,15]</sup>。本研究设置

的 4 种类型的森林均为人为干扰较少的天然次生林,其中栓皮栎林样地为幼龄林,另外 3 种林型均为中龄林,其优势树种为研究区地带性森林常见种。本研究中栓皮栎林(幼龄)、鹅耳枥林、针叶林和针阔混交林 4 种林型的总植被碳库分别为  $(54.86 \pm 10.29)$ 、 $(102.22 \pm 7.90)$ 、 $(116.91 \pm 15.46)$ 、 $(132.16 \pm 1.35)$   $\text{t}/\text{hm}^2$ ,此研究结果与其他研究结果有一定的可比性,如湖北西部栎类林的碳库区间为 29.82 ~ 163.05  $\text{t}/\text{hm}^2$ <sup>[23]</sup>,吉林长白山地区栎类阔叶林的碳库区间为

21.49 ~ 124.88 t/hm<sup>2</sup><sup>[25]</sup>,我国亚热带地区人工栎类林的碳库区间为46.41 ~ 105.89 t/hm<sup>2</sup><sup>[26]</sup>,我国中部太岳山42年生油松林的碳库水平为95.74 t/hm<sup>2</sup><sup>[27]</sup>,朝鲜半岛中部栎类阔叶林的碳库区间为68.9 ~ 125.7 t/hm<sup>2</sup><sup>[28]</sup>。本研究中的栓皮栎林仍处于幼龄阶段,其植被碳库明显小于宝天曼45年生栓皮栎林79.42 t/hm<sup>2</sup>的碳库水平<sup>[29]</sup>。4种林型植被碳库都远大于辽宁省栎类林和阔叶林23.86 ~ 28.99 t/hm<sup>2</sup>的水平<sup>[30]</sup>,这种差异可能由林型和树种组成、人为干扰以及海拔等因子导致。

### 3.2 宝天曼4种类型森林的碳库分配格局

植被碳库的分配格局是植被对环境适应的一种表现形式,是多种环境因子对植被碳库作用的结果。在群落水平上,不同径的级个体对植被碳库的贡献率有所不同,使植被碳库表现出相应的径级分配格局<sup>[31]</sup>。本研究中的4种林型植被碳库贡献率的径级分布格局上仅有针叶林和针阔混交林较为接近,栓皮栎林植被碳库对小径级个体(DBH < 10 cm)的依赖性非常明显,而鹅耳枥林、针叶林和针阔混交林植被碳库对小径级和10 ~ < 20 cm径级个体的依赖性依次减弱,针阔混交林植被碳库对50 ~ < 60 cm径级个体具有较强的依赖性。不同林型植被碳库径级分配格局的变异对森林碳增汇途径有借鉴意义,例如在森林管理中,针对不同林型、林龄的森林采取相应的管理措施,引导植被碳库及其分配格局向更为合理和稳定的方向发展。在个体水平上,植物会根据具体环境特征而决定生物量在各器官间的分配<sup>[4-5]</sup>,以适应周围环境,并表现出特定的植被碳库器官分配格局。不同环境条件下植被的根冠比变化,就是植被对环境变化适应性的一种表现<sup>[32]</sup>。根冠比模型理论认为,当光照成为植物生长的限制因子时,植物会倾向于增加地上生物量;而当土壤因子如土壤养分和水分成为限制因子时,植物则倾向于增加地下生物量,最终达到对环境变化的适应<sup>[4]</sup>。根冠比的这种变化在森林碳库方面表现为不同地形或生境中地上和地下植被碳库的差异,也提醒研究者在分析植被碳库分布格局的影响因子时应充分考虑光照和土壤因子的作用,并且要重视地下植被碳库。已有研究表明,植物在生长发育过程中分配到各器官的生物量不断变化,植被碳库在器官间的分配格局也随之变化<sup>[7,33-34]</sup>。本研究显示,栓皮栎幼龄林的根冠比明显大于其他3种中龄林类型。宝天曼地区幼龄林的郁闭度通常比中龄林低,光照一般不会成为幼龄林的限制因子,因此推测水分、土壤养分等可能是幼龄林的限制因子。水分和养分等限制因子能使得栓皮栎幼龄林倾向于把更多的生物量投资到地下根部,以利于水分和养分吸收,获得较高的根冠比和根干比。植被碳库分配格局及碳库特征受到生物、土壤和气候等多因子的复杂作用<sup>[35]</sup>,本研究中植被碳库在器官中的分配机制有待于补充土壤、光照、水分、生境等数据后进一步进行解释。笔者建议植被碳库相关研究应充分考虑碳库在植物器官间的分配,地下植被碳库应引起更多重视;建议森林管理应针对不同林型和林龄的特点采取相应的经营方案,以促进森林向较高的碳库水平发展。

致谢:感谢南阳师范学院、平顶山学院部分同学参与森林样地调查,感谢河南省宝天曼国家级自然保护区管理局在野外工作中的支持和帮助。

### 参考文献:

- [1] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems[J]. Science, 1994, 263(5144): 185 - 190.
- [2] IPCC. The fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change: Working group II contribution [J]. Russian Meteorology and Hydrology, 2007, 32(9): 551 - 556.
- [3] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 733 - 740.
- [4] Thornley J. A balanced quantitative model for root: shoot ratios in vegetative plants[J]. Annals of Botany, 1971, 36(2): 431 - 441.
- [5] Wang X P, Fang J Y, Zhu B. Forest biomass and root - shoot allocation in northeast China[J]. Forest Ecology and Management, 2008, 255(12): 4007 - 4020.
- [6] 王效科, 冯宗炜, 欧阳志云. 中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 13 - 16.
- [7] Zhou G Y, Liu S G, Li Z, et al. Old - growth forests can accumulate carbon in soils[J]. Science, 2006, 314(5804): 1417.
- [8] Fang J Y, Guo Z D, Hu H F, et al. Forest biomass carbon sinks in East Asia, with special reference to the relative contributions of forest expansion and forest growth[J]. Global Change Biology, 2014, 20(6): 2019 - 2030.
- [9] 周国逸. 中国森林生态系统固碳现状、速率和潜力研究[J]. 植物生态学报, 2016, 40(4): 279 - 281.
- [10] 任继勋, 夏景阳. 基于碳密度 - 林龄关系的黑龙江省森林碳汇潜力预测[J]. 环境科学研究, 2017, 30(4): 552 - 558.
- [11] 常建国, 刘世荣, 史作民, 等. 北亚热带 - 南暖温带过渡区典型森林生态系统土壤呼吸及其组分分离[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 1791 - 1802.
- [12] 王绍强, 周成虎, 罗承文. 中国陆地自然植被碳量空间分布特征探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(3): 238 - 244.
- [13] 刘玉萃, 吴明作, 郭宗民, 等. 内乡宝天曼自然保护区锐齿栎林生物量和净生产力研究[J]. 生态学报, 2001, 21(9): 1451 - 1456.
- [14] 马克平. 监测是评估生物多样性保护进展的有效途径[J]. 生物多样性, 2011, 19(2): 125 - 126.
- [15] 史作民, 程瑞梅, 刘世荣. 宝天曼落叶阔叶林种群生态位特征[J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 265 - 269.
- [16] 闫东锋, 李纪亮, 何瑞珍, 等. 宝天曼栎类天然次生林群落稳定性研究[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(5): 69 - 73.
- [17] Condit R. Tropical forest census plots: methods and results from Barro Colorado Island, Panama and a comparison with other plots [M]. Berlin: Springer Science & Business Media, 1998.
- [18] 冯宗炜, 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.
- [19] Chen X W, Li B L. Change in soil carbon and nutrient storage after human disturbance of a primary Korean pine forest in Northeast China[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 186(1/2/3): 197 - 206.
- [20] Wei X, Kimmins J P, Zhou G. Disturbances and the sustainability of long - term site productivity in lodgepole pine forests in the central interior of British Columbia - an ecosystem modeling approach[J]. Ecological Modelling, 2003, 164(2/3): 239 - 256.
- [21] 朱强根, 金爱武, 王意锬, 等. 不同营林模式下毛竹枝叶的生物量分配: 异速生长分析[J]. 植物生态学报, 2013, 37(9): 811 - 819.

董建华,赵伟明,胡俊靖,等. 根区酸化对山核桃幼苗叶绿素荧光特性的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(13):163–166.  
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2019.13.040

# 根区酸化对山核桃幼苗叶绿素荧光特性的影响

董建华<sup>1</sup>, 赵伟明<sup>1</sup>, 胡俊靖<sup>1</sup>, 袁紫倩<sup>1</sup>, 潘利锋<sup>3</sup>, 雷亦晨<sup>1</sup>, 张 锐<sup>2</sup>, 吕洪飞<sup>3</sup>

(1. 杭州市林业科学研究院, 浙江杭州 310022; 2. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101;

3. 浙江理工大学, 浙江杭州 310018)

**摘要:**目前,山核桃林地土壤酸化普遍,但土壤酸化对山核桃树生长和发育的影响尚不明确。采用盆栽砂培试验,通过浇灌不同 pH 值(4.5、5.0、5.5、6.0、6.5)营养液,研究根区环境酸化对山核桃幼苗叶绿素荧光特性的影响。结果表明:随营养液 pH 值的降低,山核桃幼苗叶绿素荧光参数  $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$ 、 $\Phi_{PSII}$ 、ETR 以及  $q_p$  均呈现出先升后降的变化趋势,在 pH 值 5.5 处理下达到最大值,说明山核桃树对根区环境酸化有一定的适应能力,当根区环境 pH 值 < 5.5 时,会对山核桃苗造成一定的损伤。NPQ 则表现出相反的趋势,随 pH 值的降低先下降后上升,pH 值 6.5 处理的山核桃叶片 NPQ 最高,说明改善根区酸化环境有利于提高山核桃幼苗的光保护能力。

**关键词:**山核桃幼苗;根区酸化;叶绿素荧光

**中图分类号:** S718.43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2019)13–0163–04

山核桃(*Carya cathayensis* Sarg.)是中国特有木本油料和名优干果树种,主要分布在浙皖交界的天目山地区,在微酸性至中性土壤中生长较好<sup>[1]</sup>。近年来,山核桃林地土壤酸化日益严重<sup>[2–3]</sup>,山核桃叶片黄化,甚至成片死亡,由土壤酸化导致的山核桃林地退化问题逐渐受到重视,相关学者对土壤酸化造成的山核桃林地土壤肥力变化开展了一些研究<sup>[4–5]</sup>,但对酸化造成的山核桃生理生化特性变化相关研究很少,特别是不同程度土壤酸化对山核桃叶片光合作用的影响尚未见报道。光合作用对环境因子的影响高度敏感<sup>[6]</sup>,叶绿素荧光参数是反映光合作用机制的重要指标,利用叶绿素荧光动力学

方法可以快速、灵敏、无损伤探测逆境对植物光合作用的影响<sup>[7–8]</sup>。本试验通过盆栽砂培试验,探讨根区酸化对山核桃幼苗叶绿素荧光特性的影响,可为山核桃栽培和退化林地修复提供一些依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2017 年 4—10 月在杭州市林业科学研究院试验基地进行,供试山核桃苗为 2 年生山核桃健康幼苗,选用清洗过的花岗岩作为砂培基质。

### 1.2 试验方法

采用砂培试验方法,栽培盆为塑料盆(高 31 cm,口内径 27.5 cm,底内径 22 cm),底部有 6 个小孔可保证通气性,每盆定植 2 年生山核桃苗 1 株,用 1 倍霍格兰营养液浇灌,待幼苗长势稳定后,选择长势基本一致的植株开展不同 pH 值营

收稿日期:2019–04–18

基金项目:浙江省杭州市农业与社会发展科研主动设计项目(编号:20172015A01)。

作者简介:董建华(1983—),女,河北石家庄人,硕士,工程师,主要从事经济林培育研究。E-mail: jianhuadong@126.com。

[22]徐伟强,周 璋,赵厚本,等. 南亚热带 3 种常绿阔叶次生林的生物量结构和固碳现状[J]. 生态环境学报,2015,24(12):1938–1943.

[23]胡文杰,王晓荣,崔鸿侠,等. 锐齿槲栎和栓皮栎林生态系统碳密度比较[J]. 森林与环境学报,2017,37(1):8–15.

[24]国家林业局. 森林资源规划设计调查技术规程:GB/T 26424—2010[S]. 北京:中国标准出版社,2011.

[25]许中旗,李文华,刘文忠,等. 我国东北地区蒙古栎林生物量及生产力的研究[J]. 中国生态农业学报,2006,14(3):21–24.

[26]He Y J, Qin L, Li Z Y, et al. Carbon storage capacity of monoculture and mixed-species plantations in subtropical China[J]. Forest Ecology and Management, 2013, 295:193–198.

[27]宋娅丽,韩海荣,康峰峰. 山西太岳山不同林龄油松林生物量及碳储量研究[J]. 水土保持研究,2016,23(1):29–33.

[28]Son Y, Park I H, Yi M J, et al. Biomass, production and nutrient distribution of a natural oak forest in central Korea[J]. Ecological Research, 2004, 19(1):21–28.

[29]刘玉萃,吴明作,郭宗民,等. 宝天曼自然保护区栓皮栎林生物量和净生产力研究[J]. 应用生态学报,1998,9(6):569–574.

[30]甄 伟,黄 玫,翟印礼,等. 辽宁省森林植被碳储量和固碳速率变化[J]. 应用生态学报,2014,25(5):1259–1265.

[31]Lin D M, Lai J S, Muller-Landau H C, et al. Topographic variation in aboveground biomass in a sub-tropical evergreen broad-leaved forest in China[J]. PLoS One, 2012, 7(10):e48244.

[32]Bai Y F, Han X G, Wu J G, et al. Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland[J]. Nature, 2004, 431(7005):181–184.

[33]齐 光,王庆礼,王新闯,等. 大兴安岭林区兴安落叶松人工林植被碳储量[J]. 应用生态学报,2011,22(2):273–279.

[34]Qi G, Chen H, Zhou L, et al. Carbon stock of larch plantations and its comparison with an old-growth forest in Northeast China[J]. Chinese Geographical Science, 2016, 26(1):10–21.

[35]徐耀粘,江明喜. 森林碳库特征及驱动因子分析研究进展[J]. 生态学报,2015,35(3):926–933.