

# 中国北方温带灌丛生态系统碳、氮、磷储量

郭焱培<sup>1</sup> 杨 弦<sup>1</sup> 安尼瓦尔·买买提<sup>2</sup> 刘鸿雁<sup>1</sup> 马文红<sup>3</sup> 于顺利<sup>4</sup> 唐志尧<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>北京大学城市与环境学院, 北京 100871; <sup>2</sup>中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; <sup>3</sup>内蒙古大学生命科学学院, 呼和浩特 010021; <sup>4</sup>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

**摘 要** 研究生态系统碳(C)、氮(N)、磷(P)密度分布和储量对于理解生态系统碳循环和养分循环的机制和规律有重要意义。现有的相关研究多集中在森林和草地生态系统。在中国北方, 灌丛生境水分和土壤条件差异很大, 这为研究生态系统C、N、P密度与储量的分布格局提供了良好条件。该研究调查了433个中国北方温带灌丛样地的生物量、凋落物以及土壤等组分的有机C及N、P含量, 据此计算出中国北方灌丛生态系统有机C及N、P密度和储量。结果表明: 中国北方灌丛平均生态系统有机C及N、P密度分别为69.8 Mg·hm<sup>-2</sup>、7.3 Mg·hm<sup>-2</sup>、4.2 Mg·hm<sup>-2</sup>。其中, 生物量C、N、P密度分别为5.1 Mg·hm<sup>-2</sup>、11.5×10<sup>-2</sup> Mg·hm<sup>-2</sup>、8.6×10<sup>-3</sup> Mg·hm<sup>-2</sup>, 生物量C、N、P密度与降水和土壤养分关系显著; 凋落物C、N、P密度分别为1.4 Mg·hm<sup>-2</sup>、3.8×10<sup>-2</sup> Mg·hm<sup>-2</sup>、2.5×10<sup>-3</sup> Mg·hm<sup>-2</sup>, 凋落物C、N、P密度与温度和降水关系显著; 1 m深土壤的平均有机C及N、P密度分别为64.0 Mg·hm<sup>-2</sup>、7.1 Mg·hm<sup>-2</sup>、4.2 Mg·hm<sup>-2</sup>, 土壤有机C及N密度与温度和降水关系显著。中国北方灌丛生态系统的总有机C及N、P储量分别为1.7 Pg、164.9 Tg、124.8 Tg。其中生物量C、N、P储量分别为128.4 Tg、3.1 Tg、0.2 Tg; 凋落物C、N、P储量分别为8.4 Tg、0.45 Tg、0.027 Tg; 土壤是最大的C、N、P库, 1 m深土壤有机C及N、P储量分别为1.6 Pg、161.3 Tg、124.6 Tg。

**关键词** 碳; 氮; 磷; 储量; 密度; 灌丛; 中国北方

**引用格式:** 郭焱培, 杨弦, 安尼瓦尔·买买提, 刘鸿雁, 马文红, 于顺利, 唐志尧 (2017). 中国北方温带灌丛生态系统碳、氮、磷储量. 植物生态学报, 41, 14–21. doi: 10.17521/cjpe.2016.0201

## Storage of carbon, nitrogen and phosphorus in temperate shrubland ecosystems across Northern China

GUO Yan-Pei<sup>1</sup>, YANG Xian<sup>1</sup>, MOHHAMOT Anwar<sup>2</sup>, LIU Hong-Yan<sup>1</sup>, MA Wen-Hong<sup>3</sup>, YU Shun-Li<sup>4</sup>, and TANG Zhi-Yao<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>College of Urban and Environmental Science, Peking University, Beijing 100871, China; <sup>2</sup>Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Ürümqi 830011, China; <sup>3</sup>College of Life Sciences, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China; and <sup>4</sup>State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

### Abstract

**Aims** Studying storage of carbon (C), nitrogen (N) and phosphorus (P) in ecosystems is of significance in understanding carbon and nutrient cycling. Previous researches in ecosystem C, N and P storage have biased towards forests and grasslands. Shrubland ecosystems encompass a wide gradient in precipitation and soil conditions, providing a unique opportunity to explore the patterns of ecosystem C, N and P storage in relation to climate and soil properties.

**Methods** We estimated densities and storage of organic C, N and P of shrubland ecosystems in Northern China based on data from 433 shrubland sites.

**Important findings** The main results are summarized as follows: the average organic C, N and P densities in temperate shrubland ecosystems across Northern China were 69.8 Mg·hm<sup>-2</sup>, 7.3 Mg·hm<sup>-2</sup> and 4.2 Mg·hm<sup>-2</sup>, respectively. The average plant C, N and P densities were 5.1 Mg·hm<sup>-2</sup>, 11.5 × 10<sup>-2</sup> Mg·hm<sup>-2</sup> and 8.6 × 10<sup>-3</sup> Mg·hm<sup>-2</sup>, respectively, and were significantly correlated with precipitation and soil nutrient concentrations. The average litter C, N and P densities were 1.4 Mg·hm<sup>-2</sup>, 3.8 × 10<sup>-2</sup> Mg·hm<sup>-2</sup>, 2.5 × 10<sup>-3</sup> Mg·hm<sup>-2</sup> and were significantly correlated with temperature and precipitation. The average soil organic C, N and P densities in the top 1 m were 64.0 Mg·hm<sup>-2</sup>, 7.1 Mg·hm<sup>-2</sup> and 4.2 Mg·hm<sup>-2</sup>, respectively and the former two were significantly correlated with temperature and precipitation. The total organic C, N and P storage of shrublands in Northern China were 1.7 Pg, 164.9 Tg and 124.8 Tg, respectively. The plant C, N and P storage were 128.4 Tg, 3.1 Tg and 0.2 Tg,

收稿日期Received: 2016-06-14 接受日期Accepted: 2016-11-10

\* 通信作者Author for correspondence (E-mail: zytang@urban.pku.edu.cn)

respectively. The litter C, N and P storage were 8.4 Tg, 0.45 Tg, 0.027 Tg, respectively. Soil is the largest C, N and P pool in the studied area. The soil organic C, N and P storage in the top 1 meter were 1.6 Pg, 161.3 Tg and 124.6 Tg, respectively.

**Key words** carbon; nitrogen; phosphorus; storage; density; shrublands; Northern China

**Citation:** Guo YP, Yang X, Mohhamot A, Liu HY, Ma WH, Yu SL, Tang ZY (2017). Storage of carbon, nitrogen and phosphorus in temperate shrubland ecosystems across Northern China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 41, 14–21. doi: 10.17521/cjpe.2016.0201

陆地生态系统各组分碳(C)储量的研究有助于正确评价生态系统在区域及全球C循环中的作用。近30年来,我国学者开展了大量估算中国植被C储量的研究,特别是在森林(周玉荣等, 2000; Fang *et al.*, 2001; 赵敏和周广胜, 2004; 方精云等, 2007)和草地生态系统(Ni, 2002; 朴世龙等, 2004; Fan *et al.*, 2008; 方精云等, 2010)。作为中国北方重要的植被类型之一,灌丛在中国陆地生态系统的C循环中具有重要的作用,其分布及生长也随全球气候波动而变化(胡会峰等, 2006)。研究中国北方灌丛生态系统的C储量对全面了解中国陆地生态系统的C储量和C周转有着重要的意义。然而,与大量的森林和草地生态系统C储量研究相比,灌丛生态系统C储量的研究很少,估算结果也存在极大的差异。例如Ni (2001)根据不同灌丛生态系统的全球平均植被密度结合中国灌丛分布面积估算得出中国灌丛生态系统C密度为 $45.6 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,总C储量为8.02 Pg;胡会峰等(2006)搜集中国实测灌丛生物量数据,用植被平均C密度法估算得出中国灌丛植被C密度为 $10.88 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,总C储量为1.68 Pg,其中北方地区的总C储量约为406.6 Tg。

作为生态系统养分循环的重要部分,氮(N)、磷(P)在生态系统中的储量和分配受到多种因素的影响(Ellert & Gregorich, 1996),也影响到植物生长和生态系统功能。但与C储量研究相比,生态系统N、P储量的研究较少。对中国生态系统N、P储量的研究主要集中于土壤库的估算(Tian *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2007),对植被N、P库的研究目前还是空白。

本研究采用统一的调查、采样和测试标准,对中国北方的典型灌丛生态系统进行了系统的实地调查,以此为基础准确估算了中国北方灌丛生态系统的C、N、P密度和储量,试图回答如下科学问题:中国北方灌丛生态系统的C、N、P密度有多大?环境如何影响中国北方灌丛生态系统的C、N、P密度?中国北方灌丛生态系统的C、N、P储量有多大?

## 1 材料和方法

### 1.1 调查和采样

在北京、天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、山东、河南、陕西、甘肃、宁夏、新疆,选取433个常见灌丛样地开展生物量及土壤调查及采样。在每个样地设置3个 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的样方,记录样方的各种环境因子和群落概况,并通过收获或相关生长方程获取各样方生物量。同时,对样方中出现的每种灌木分器官(根、茎、叶),对草本植物分地上和地下部分,测量或估算其生物量并采样(详细方法及生物量获取方式见Yang等(2014))。样品经处理后,用于测定其C、N、P含量。

在样地附近挖一个1 m深的土壤剖面(土壤深度不足1 m的样地,挖至土壤母质),将剖面按照深度划分为如下层次:0–10、10–20、20–30、30–50、50–70和70–100 cm,在每层左右侧壁和正面用容积为 $100 \text{ cm}^3$ 的环刀取样以测定土壤容重与砾石含量。同时,在每个样方沿对角线用土钻分别分层采集土样3钻用于测定土壤有机C以及N、P含量。

### 1.2 植物和土壤样品测定

土钻样品风干后挑出根和砾石,过100目筛,植物样品烘干后粉碎,凋落物样品风干后挑出杂质并粉碎,用于C、N、P元素的分析。

样品的全C和全N含量用C/N元素分析仪(2400 II CHNS/O; PerkinElmer, Boston, USA)测定。为获取土壤有机C含量,利用土壤无机C分析仪(Calci-meter 08.53, Eijkelpkamp, Giesbeek, The Netherlands)测定了同一批土壤样品的土壤无机C含量,两者之差即为土壤有机C含量。全P含量用酸溶-钼锑抗比色法,用硫酸-高氯酸溶解植物或土壤样品中的P,再用钼锑抗比色法进行测定(John, 1970)。

土壤环刀样品在 $105^\circ\text{C}$ 下烘干并称干质量,挑出砾石后测定砾石的质量和体积,计算每一层土壤样品的容重和砾石含量。

### 1.3 其他数据来源

研究中所采用的数据还包括气候与植被分布数据。由于没有实地监测的气候数据,研究采用WorldClim数据库(Hijmans *et al.*, 2005)来获取各样点的年平均气温和年降水量。灌丛植被分布图来源于中国科学院遥感与数字地球研究所提供的2010年中国土地覆被图(张磊等, 2014)。该分类图划分38类地物,其中灌丛包含了常绿阔叶灌丛、落叶阔叶灌丛、常绿针叶灌丛以及稀疏灌丛(荒漠灌丛) 4种类型,地面分辨率为30 m。由于我们的调查只涵盖了落叶阔叶灌丛和稀疏灌丛,而且其他两类灌丛在中国北方分布面积很小(仅占北方灌丛总面积的0.4%),所以我们只计算落叶阔叶灌丛和稀疏灌丛在中国北方的密度和储量。

### 1.4 C、N、P密度和储量计算

样地尺度植物各器官C、N、P储量可以由每种植物各器官样品C、N和P含量乘以相对应的生物量计算获得。凋落物C、N、P储量由C、N、P含量乘以相应质量获得。各层土壤有机C、全N和全P含量乘以对应的土壤容重(扣除砾石)可以计算出该层土壤有机C、N、P储量,然后用累加法计算1 m深土壤的C、N、P储量。以土壤有机C密度计算为例,其具体计算公式为:

$$SOCD = \sum (1 - g_i) \times \rho_i \times SOC_i \times T_i$$

其中,  $SOC_D$ 为土壤有机C密度,  $g_i$ 为第*i*层土壤的砾石含量,  $\rho_i$ 为第*i*层土壤的容重,  $SOC_i$ 为第*i*层土壤的有机C含量,  $T_i$ 为第*i*层土壤的厚度。1 m深土壤N、P密度用相同的方法计算。

由于样方调查为坡面面积,样地尺度计算所获得的生物量、凋落物以及土壤C、N、P密度需经坡度校正。校正方法是用地面投影面积(坡度面积与坡度( $\alpha$ )余弦值 $\cos\alpha$ 的乘积)代替坡面面积。

通过中国土地覆被图(张磊等, 2014)获得各省落叶阔叶灌丛、稀疏灌丛的分布面积(经坡度校正),乘以各省两种类型灌丛的C、N、P密度计算出储量,各省的C、N、P储量相加即为中国北方灌丛生态系统的C、N、P储量。

## 2 结果

### 2.1 中国北方灌丛生态系统C、N、P密度

中国北方灌丛调查样地的平均有机C及N、P密度分别为 $(69.8 \pm 3.0) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $(7.3 \pm 0.3) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、

$(4.2 \pm 0.2) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (平均值 $\pm$ 标准误差)。其中,生物量C、N、P密度分别为 $(5.1 \pm 0.2) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $(11.5 \times 10^{-2} \pm 0.5 \times 10^{-2}) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $(8.6 \times 10^{-3} \pm 0.4 \times 10^{-3}) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;凋落物C、N、P密度分别为 $(1.4 \pm 0.1) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $(3.8 \times 10^{-2} \pm 0.3 \times 10^{-2}) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $(2.5 \times 10^{-3} \pm 0.2 \times 10^{-3}) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;1 m深土壤有机C及N、P密度分别为 $(64.0 \pm 0.3) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $(7.1 \pm 0.3) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $(4.2 \pm 0.2) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$  (表1)。

表1 中国北方主要灌丛的碳、氮、磷密度(平均值 $\pm$ 标准误差)

Table 1 Carbon (C), nitrogen (N) and phosphorus (P) densities of major shrublands in Northern China (mean  $\pm$  SE)

	落叶阔叶灌丛 Deciduous broadleaf shrublands	稀疏灌丛 Sparse shrublands	总计 Total
样地数 Number of sites	329	104	433
碳密度 C density ( $\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$86.1 \pm 3.7$	$22.1 \pm 2.0$	$69.8 \pm 3.0$
生物量 Biomass ( $\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$6.1 \pm 0.3$	$1.9 \pm 0.3$	$5.1 \pm 0.2$
凋落物 Litter ( $\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$1.5 \pm 0.2$	$0.7 \pm 0.1$	$1.4 \pm 0.1$
土壤有机碳 Soil organic C ( $\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$78.5 \pm 3.6$	$19.5 \pm 1.9$	$64.0 \pm 3.0$
氮密度 N density ( $\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$8.1 \pm 0.3$	$2.6 \pm 0.3$	$7.3 \pm 0.3$
生物量 Biomass ( $10^{-2} \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$12.9 \pm 0.6$	$6.4 \pm 0.7$	$11.5 \pm 0.5$
凋落物 Litter ( $10^{-2} \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$4.0 \pm 0.4$	$1.8 \pm 0.2$	$3.8 \pm 0.3$
土壤 Soil ( $\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$7.9 \pm 0.4$	$2.5 \pm 0.3$	$7.1 \pm 0.3$
磷密度 P density ( $\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$4.3 \pm 0.2$	$3.7 \pm 0.3$	$4.2 \pm 0.2$
生物量 Biomass ( $10^{-3} \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$9.9 \pm 0.5$	$3.6 \pm 0.3$	$8.6 \pm 0.4$
凋落物 Litter ( $10^{-3} \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$2.7 \pm 0.2$	$0.9 \pm 0.2$	$2.5 \pm 0.2$
土壤 Soil ( $\text{Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	$4.3 \pm 0.2$	$3.7 \pm 0.3$	$4.2 \pm 0.2$

### 2.2 中国北方灌丛生态系统C、N、P密度与环境的 关系

生物量C、N、P密度与年降水量、土壤养分含量都显著正相关( $p < 0.001$ ),尤其与年降水量和土壤N含量的相关度较高。然而它们与年平均气温的关系相对较弱,只有P密度与年平均气温相关关系显著( $p < 0.01$ )(图1)。

凋落物C、N、P密度与年平均气温呈显著的负相关关系( $p < 0.001$ ),与年降水量有较显著的正相关关系(对于凋落物C、N,  $p < 0.01$ , 对于P,  $p < 0.001$ )(图2)。

1 m深土壤有机C与N、P密度随年平均气温升高显著降低( $p < 0.001$ ),而且土壤有机C与N密度随年降水量增加显著增加( $p < 0.001$ ),而P密度的变化趋势较弱(图3)。

### 2.3 中国北方灌丛生态系统C、N、P储量

研究区域灌丛总面积为 $2.89 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ,约占



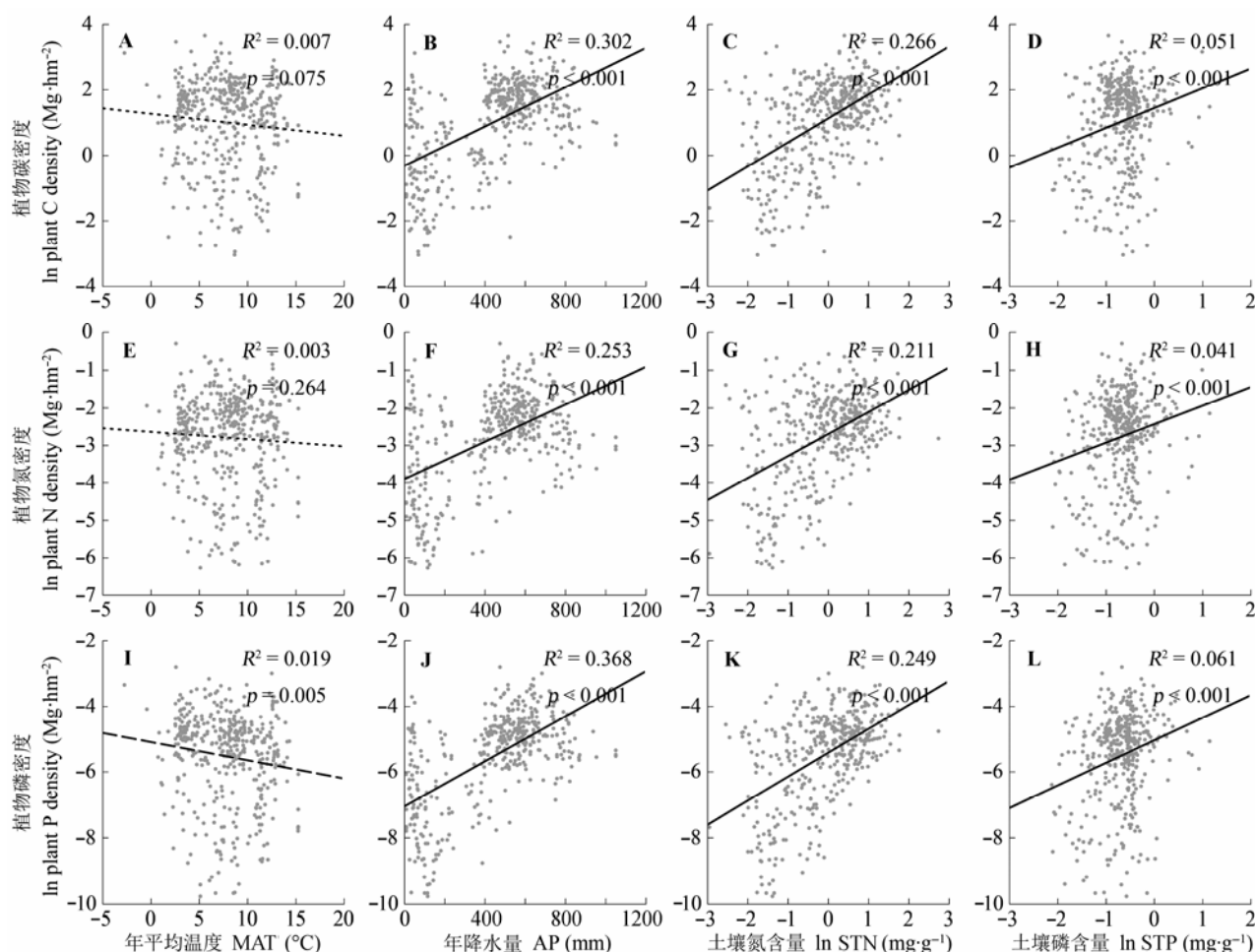


图1 中国北方灌丛生物量碳(A-D)、氮(E-H)、磷(I-L)密度与环境的关系(点线:  $p > 0.01$ ; 短划线:  $0.001 < p < 0.01$ ; 实线:  $p < 0.001$ )。

**Fig. 1** Biomass carbon (C) (A–D), nitrogen (N) (E–H) and phosphorus (P) (I–L) densities for shrublands of Northern China in relation to environmental factors (dotted line:  $p > 0.01$ ; dashed line:  $0.001 < p < 0.01$ ; solid line:  $p < 0.001$ ). AP, annual precipitation; MAT, mean annual temperature; STN, soil total nitrogen concentration; STP, soil total phosphorus concentration.

研究区陆地总面积的5.7%, 其中落叶阔叶灌丛和稀疏灌丛的总面积为 $2.88 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。总有机C及N、P储量分别为1.7 Pg、164.9 Tg、124.8 Tg。其中生物量C、N、P储量分别为128.4 Tg、3.1 Tg、0.2 Tg; 凋落物C、N、P储量分别为8.4 Tg、0.45 Tg、0.027 Tg; 1 m深土壤有机C与N、P储量分别为1.6 Pg、161.3 Tg、124.6 Tg (表2)。

### 3 讨论

#### 3.1 中国北方灌丛生态系统C、N、P的密度和储量

本研究采用统一的调查、采样和测试方法, 计算了中国北方灌丛生态系统C、N、P储量分别为1.7 Pg、164.9 Tg、124.8 Tg。其中生物量C、N、P储量分别为128.4 Tg、3.1 Tg、0.2 Tg。与以往通过资料

整合以及采用统一的生物量-元素含量转换率进行的研究相比, 避免了不同采样方式带来的误差, 同时考虑了不同物种和不同区域植物元素含量的差异, 可以得到更准确的估算结果。

胡会峰等(2006)估算了中国主要灌丛类型的C密度, 其中温带、亚热带落叶灌丛、矮林的C密度为 $(6.24 \pm 0.88) \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 与本研究计算出的落叶阔叶灌丛C密度 $6.1 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 相当。但胡会峰等(2006)估算的中国灌丛植被总C密度为 $10.88 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 高于本研究的 $5.1 \text{ Mg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。这一方面是因为本研究不包括生物量较高的常绿灌丛, 另一方面是因为本研究额外包含了生物量较低的稀疏灌丛。胡会峰等(2006)估算的在北方地区灌丛生态系统的植被C储量约为406.6 Tg, 高于本研究结果。这一差异主要来自于对北

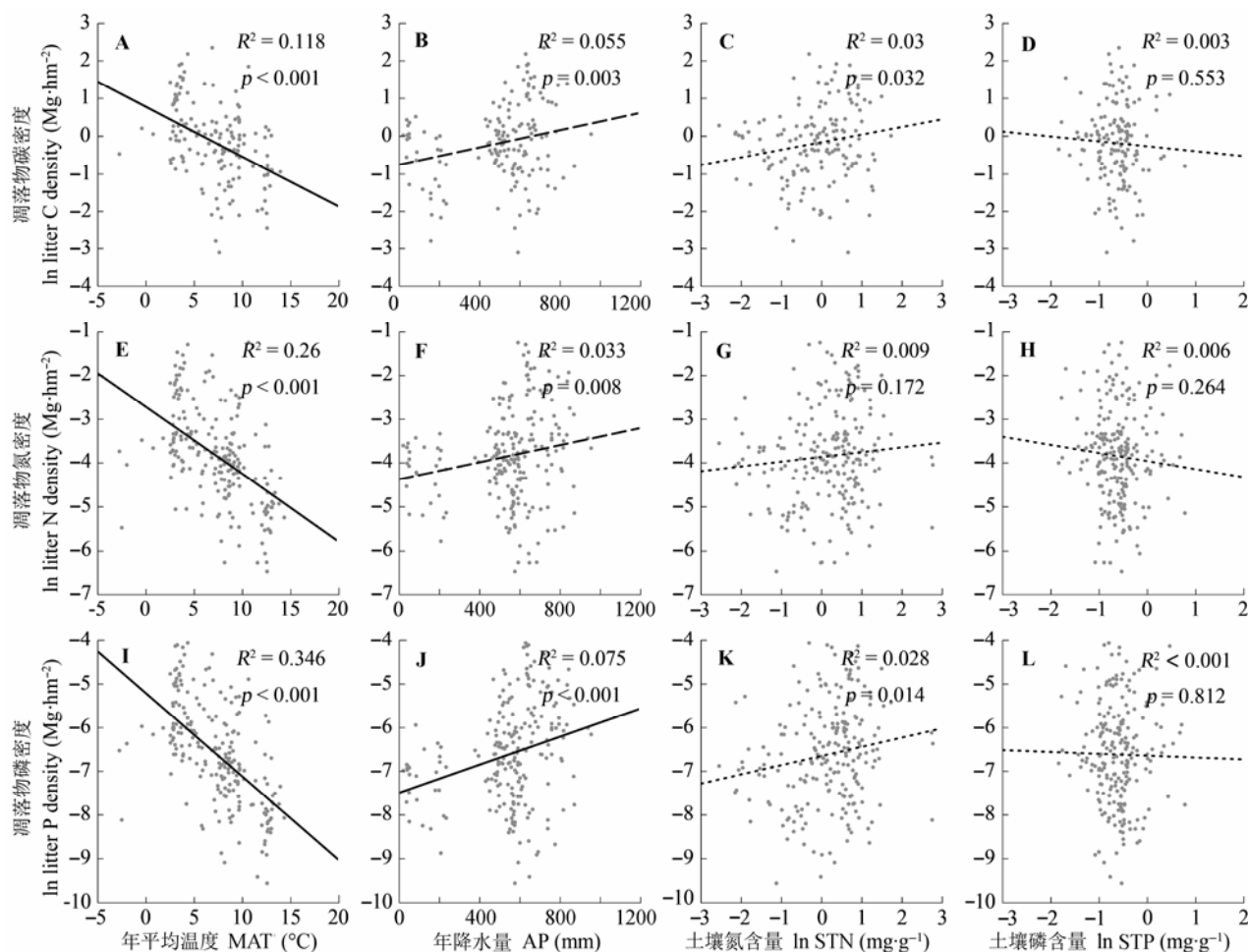


图2 中国北方灌丛凋落物碳(A–D)、氮(E–H)、磷(I–L)密度与环境的关系。不同线型和缩写的意义见图1。

**Fig. 2** Litter carbon (C) (A–D), nitrogen (N) (E–H) and phosphorus (P) (I–L) densities for shrublands of Northern China in relation to environmental factors. Please see Fig. 1 for the meaning of different line types and abbreviations.

方灌丛面积的估算, 胡会峰等(2006)采用的植被图灌丛面积比本研究遥感获得的灌丛面积大了许多。

中国森林的平均植被C密度(周玉荣等, 2000; Fang *et al.*, 2001; 赵敏和周广胜, 2004; 方精云等, 2007)是中国北方灌丛的平均植被C密度的8倍以上, 这是因为森林生态系统能够承载的生物量密度大大超过了灌丛生态系统。不同研究对中国草地平均C密度的计算结果差异较大(Ni, 2002; 朴世龙等, 2004; Fan *et al.*, 2008; 方精云等, 2010), 但大体来看与灌丛的植被C密度相差较小(朴世龙等, 2004; 方精云等, 2010)。虽然由于分布面积的差异, 草地植被C储量大于灌丛C储量, 但如果从C密度角度出发, 灌丛植被C库的重要性并不弱于草地植被C库。

在中国北方灌丛生态系统中, 土壤是最大的有机C、N、P库。1 m深土壤有机C及N、P储量分别为1.6 Pg、161.3 Tg、124.6 Tg, 分别占生态系统总C、

N、P库的94.1%、97.8%和99.8%。对全球森林生态系统C库的研究表明, 森林生态系统的C库中有约2/3的C储存于土壤C库(Dixon *et al.*, 1994), 而对中国草地生态系统C库的研究表明, 有约97%的C存在于土壤C库(方精云等, 2010)。中国北方灌丛生态系统的C库的分配介于森林与草地生态系统之间, 与草地更为相似。与Tian等(2006)和Yang等(2007)的结果相比, 中国北方灌丛的平均土壤N密度不到全国平均土壤N密度的1/2, 说明灌丛生态系统的土壤较为贫瘠。

### 3.2 中国北方灌丛生态系统C、N、P密度与环境的关系

生物量C、N、P密度随年降水量和土壤N、P含量增加显著升高, 其中年降水量的拟合优度最高。水分是中国北方植被分布和生长的限制因素, 水分的增加促进植物的生长(Bai *et al.*, 2008), 而C作为

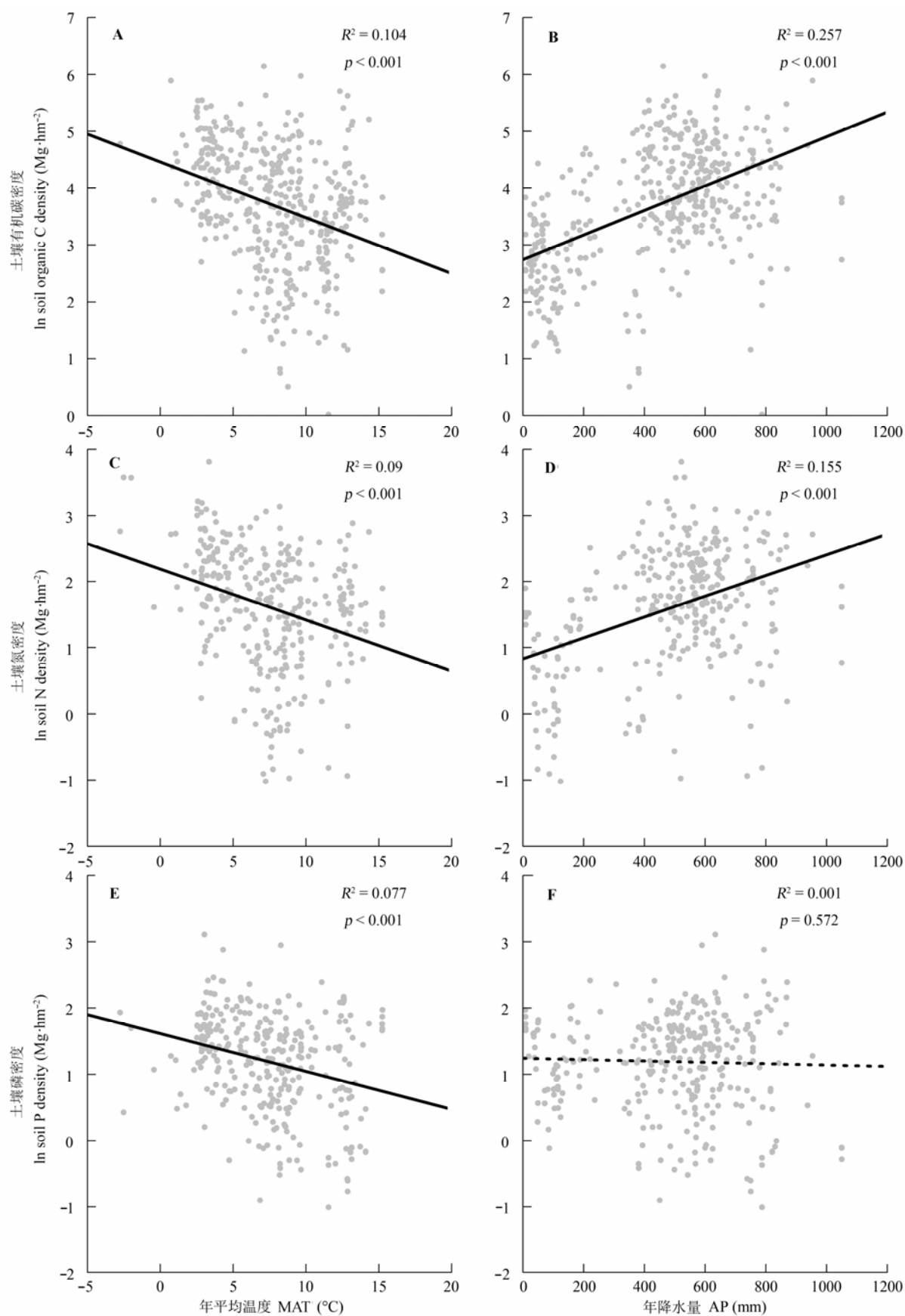


图3 中国北方灌丛土壤有机碳(A, B)、氮(C, D)、磷(E, F)密度与气候的关系。不同线型和缩写的意义见图1。

**Fig. 3** Soil organic carbon (C) (A, B), nitrogen (N) (C, D) and phosphorus (P) (E, F) densities for shrubland of Northern China in relation to climatic factors. Please see Fig. 1 for the meaning of different line types and abbreviations.

doi: 10.17521/cjpe.2016.0201

表2 中国北方主要灌丛的碳、氮、磷储量

Table 2 Carbon (C), nitrogen (N) and phosphorus (P) storage of major shrublands in Northern China

灌丛植被型 Shrubland types	落叶阔叶灌丛 Deciduous broad- leaf shrublands	稀疏灌丛 Sparse shrublands	总计 Total
面积 Area (10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup> )	1 828.6	1 050.4	2 879.0
碳储量 C storage (Tg)	1 537.6	183.5	1 721.1
生物量 Biomass	118.6	9.8	128.4
凋落物 Litter	8.2	0.2	8.4
土壤有机碳 Soil organic C	1 410.8	173.5	1 584.3
氮储量 N storage (Tg)	137.1	27.8	164.9
生物量 Biomass	2.8	0.3	3.1
凋落物 Litter	4.5	0.0	4.5
土壤 Soil	133.8	27.5	161.3
磷储量 P storage (Tg)	80.7	44.1	124.8
生物量 Biomass	0.2	0.0	0.2
凋落物 Litter	2.7	0.0	2.7
土壤 Soil	80.5	44.1	124.6

储量由各省区不同类型灌丛面积与该省区相应类型灌丛C、N、P平均密度的乘积相加得到, 因此该数据不简单等同于表1的密度与总面积的乘积。

The element storage of each shrubland type is the sum of the area multiplied by corresponding C, N and P densities in each province, instead of the average element density in Table 1 multiplied by total area.

植物生物量最主要的组成元素, 其密度也会随水分增加而增加。同理, N、P密度也与C密度一样随降水量增加而增加。除了水分以外, 土壤养分含量的增加也会促进植物的生长(Chapin III, 1980; Chapin III *et al.*, 1986), 所以生物量C、N、P密度也会相应增加。而土壤N含量与生物量C、N、P密度的拟合优度都比土壤P含量更高, 这可能是由于中国北方灌丛生态系统的降水与土壤N含量有较强的相关性( $r = 0.62$ ), 降水可能会带来更多的N输入(N沉降和凋落物)(Brooks, 2003; Zhou *et al.*, 2009)。

与生物量不同, 凋落物C、N、P密度都与温度负相关, 而与降水量正相关。这可能是因为温度升高促进了微生物分解作用, 减少凋落物量, 从而减少凋落物C、N、P密度(Hobbie, 1996); 而降水促进了凋落物输入, 增加了凋落物的C、N、P密度(Zhou *et al.*, 2009)。

由于土壤中元素的耦合作用(Cleveland & Liptzin, 2007), 土壤C、N密度随气候因子的变化相同。土壤中的C、N主要存在于土壤有机质中, 以土壤C密度为例, 温度升高促进了土壤有机质的分解, 增加了土壤C流失(Schimel *et al.*, 1994; Jobbágy & Jackson, 2000), 所以土壤C密度随着年平均气温升高而下降。降水增加则促进了植物生长, 加速了有

机质的积累, 提高了土壤C密度(Jobbágy & Jackson, 2000; Wynn *et al.*, 2006)。同理, 土壤N密度也呈现出类似的格局(Post *et al.*, 1985; Cleveland & Liptzin, 2007)。中国北方灌丛生态系统的土壤C、N耦合还表现在土壤C、N密度的空间分布具有较高的相关性( $r = 0.78$ )。

### 3.3 中国北方灌丛生态系统C、N、P储量估算中的不确定性

本研究通过大范围调查我国北方典型灌丛样地中植物和凋落物的C、N、P含量以及1 m深土壤容重和有机C、N、P含量, 结合遥感数据, 估算了生态系统C、N、P储量。与以往研究相比, 本研究的方法能够得到更加准确的估算结果。但是, 本研究的估算中仍然具有如下来源的不确定性: (1)一些物种的标准株或样品采集数量不够, 其相关生长方程或元素含量是利用近缘物种的调查或测试数据建立的。(2)对C、N、P储量的估算是将调查样地的平均C、N、P密度推广到同省份相同类型的植被。上述两个近似处理环节可能会对C、N、P储量的估算带来一些误差。补充调查数据将会减小这些误差和不确定性, 从而更加准确地估算C、N、P储量。

基金项目 中国科学院战略先导性科技专项(XDA05050301)。

### 参考文献

- Bai YF, Wu JG, Xing Q, Pan QM, Huang JH, Yang DL, Han XG (2008). Primary production and rain use efficiency across a precipitation gradient on the Mongolia plateau. *Ecology*, 89, 2140–2153.
- Brooks ML (2003). Effects of increased soil nitrogen on the dominance of alien annual plants in the Mojave Desert. *Journal of Applied Ecology*, 40, 344–353.
- Chapin III FS (1980). The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11, 233–260.
- Chapin III FS, Vitousek PM, van Cleve K (1986). The nature of nutrient limitation in plant communities. *The American Naturalist*, 127, 48–58.
- Cleveland CC, Liptzin D (2007). C, N, P stoichiometry in soil, is there a ‘Redfield ratio’ for the microbial biomass? *Biogeochemistry*, 85, 235–252.
- Dixon RK, Solomon AM, Brown S, Houghton RA, Trexler MC, Wisniewski J (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263, 185–190.
- Ellert BH, Gregorich EG (1996). Storage of carbon, nitrogen and phosphorus in cultivated and adjacent forested soils of Ontario. *Soil Science*, 161, 587–603.
- Fan J, Zhong H, Harris W, Yu G, Wang S, Hu Z, Yue Y (2008).



- Carbon storage in the grasslands of China based on field measurements of above- and below-ground biomass. *Climatic Change*, 86, 375–396.
- Fang JY, Chen AP, Peng CH, Zhao SQ, Ci LJ (2001). Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 292, 2320–2322.
- Fang JY, Guo ZD, Piao SL, Chen AP (2007). Terrestrial vegetation carbon sinks in China, 1981–2000. *Science China Earth Sciences*, 37, 804–812. (in Chinese) [方精云, 郭兆迪, 朴世龙, 陈安平 (2007). 1981~2000年中国陆地植被碳汇的估算. 中国科学: 地球科学, 37, 804–812.]
- Fang JY, Yang YH, Ma WH, Mohammad A, Shen HH (2010). Ecosystem carbon stocks and their changes in China's grasslands. *Science China Life Sciences*, 40, 566–576. (in Chinese) [方精云, 杨元合, 马文红, 安尼瓦尔·买买提, 沈海花 (2010). 中国草地生态系统碳库及其变化. 中国科学: 生命科学, 40, 566–576.]
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965–1978.
- Hobbie SE (1996). Temperature and plant species control over litter decomposition in Alaskan Tundra. *Ecological Monographs*, 66, 503–522.
- Hu HF, Wang ZH, Liu GH, Fu BJ (2006). Vegetation carbon storage of major shrublands in China. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 30, 539–544. (in Chinese with English abstract) [胡会峰, 王志恒, 刘国华, 傅伯杰 (2006). 中国主要灌丛植被碳储量. 植物生态学报, 30, 539–544.]
- Jobbágy EG, Jackson RB (2000). The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, 10, 423–436.
- John MK (1970). Colorimetric determination of phosphorus in soil and plant materials with ascorbic acid. *Soil Science*, 109, 214–220.
- Ni J (2001). Carbon storage in terrestrial ecosystems of China, estimates at different spatial resolutions and their responses to climate change. *Climatic Change*, 49, 339–358.
- Ni J (2002). Carbon storage in grasslands of China. *Journal of Arid Environments*, 50, 205–218.
- Piao SL, Fang JY, He JS, Xiao Y (2004). Spatial distribution of grassland biomass in China. *Acta Phytocologica Sinica*, 28, 491–498. (in Chinese with English abstract) [朴世龙, 方精云, 贺金生, 肖玉 (2004). 中国草地植被生物量及其空间分布格局. 植物生态学报, 28, 491–498.]
- Post WM, Pastor J, Zinke PJ, Stangenberger AG (1985). Global patterns of soil nitrogen storage. *Nature*, 317, 613–616.
- Schimel DS, Braswell BH, Holland EA, McKeown R, Ojima DS, Painter TH, Parton WJ, Townsend AR (1994). Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 8, 279–293.
- Tian H, Wang S, Liu J, Pan S, Chen H, Zhang C, Shi X (2006). Patterns of soil nitrogen storage in China. *Global Biogeochemical Cycles*, 20, GB1001. doi: 10.1029/2005GB002464.
- Wynn JG, Bird MI, Vellen L, Grand-Clement E, Carter J, Berry SL (2006). Continental-scale measurement of the soil organic carbon pool with climatic, edaphic, and biotic controls. *Global Biogeochemical Cycles*, 20, GB1007. doi: 10.1029/2005GB002576.
- Yang X, Tang ZY, Ji CJ, Liu HY, Ma WH, Mohhamot A, Shi ZY, Sun W, Wang T, Wu X, Yu SL, Yue M, Zheng CY (2014). Scaling of nitrogen and phosphorus across plant organs in shrubland biomes across Northern China. *Scientific Reports*, 4, 5488. doi: 10.1038/srep05448.
- Yang YH, Ma WH, Mohhamot A, Fang JY (2007). Storage, patterns and controls of soil nitrogen in China. *Pedosphere*, 17, 776–785.
- Zhang L, Wu BF, Li XS, Xing Q (2014). Classification system of China land cover for carbon budget. *Acta Ecologica Sinica*, 34, 7158–7166. (in Chinese with English abstract) [张磊, 吴炳方, 李晓松, 邢强 (2014). 基于碳收支的中国土地覆被分类系统. 生态学报, 34, 7158–7166.]
- Zhao M, Zhou GS (2004). Carbon storage of forest vegetation and its relationship with climatic factors. *Scientia Geographica Sinica*, 24, 50–54. (in Chinese with English abstract) [赵敏, 周广胜 (2004). 中国森林生态系统的植物碳贮量及其影响因子分析. 地理科学, 24, 50–54.]
- Zhou XH, Talley M, Luo YQ (2009). Biomass, litter, and soil respiration along a precipitation gradient in southern Great Plains, USA. *Ecosystems*, 12, 1369–1380.
- Zhou YR, Yu ZL, Zhao SD (2000). Carbon storage and budget of major Chinese forest types. *Acta Phytocologica Sinica*, 24, 518–522. (in Chinese with English abstract) [周玉荣, 于振良, 赵士洞 (2000). 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡. 植物生态学报, 24, 518–522.]

责任编辑: 谢宗强 责任编辑: 王 薇





植物生态学报官网



微信订阅号  
期刊及学科  
相关信息发布



微信服务号  
稿件状态查询  
全文检索浏览