

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

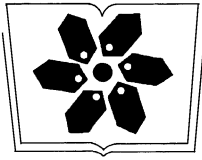
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第4期 Vol.34 No.4 **2014**

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 34 卷 第 4 期

2014 年 2 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 富营养化湖泊溶解性有机碳生物可利用性研究进展 叶琳琳, 孔繁翔, 史小丽, 等 (779)
- 黄河下游平原农业景观中非农生境植物多样性 卢训令, 梁国付, 汤 茜, 等 (789)

个体与基础生态

- 锰胁迫对杠板归细胞超微结构的影响 王 钧, 邬 卉, 薛生国, 等 (798)
- 不同渗氧能力水稻品种对砷的耐性和积累 吴 川, 莫竞瑜, 薛生国, 等 (807)
- 弱光下水分胁迫对不同产地披针叶茴香幼苗生理特性的影响 曹永慧, 周本智, 陈双林 (814)
- 不同分枝数对桑树幼苗生长发育的影响 邹慧慧, 胥 晓, 刘 刚, 等 (823)
- 斑膜合垫盲蝽若虫在国槐上的空间分布型及抽样技术 朱惠英, 沈 平, 吴建华, 等 (832)
- 连作苹果园土壤真菌的 T-RFLP 分析 尹承苗, 王功帅, 李园园, 等 (837)
- 棉隆对苹果连作土壤微生物及平邑甜茶幼苗生长的影响 刘恩太, 李园园, 胡艳丽, 等 (847)
- 两株具有芪降解功能的植物内生细菌的分离筛选及其特性 孙 凯, 刘 娟, 李 欣, 等 (853)

种群、群落和生态系统

- 温度对柑橘始叶螨实验种群生长发育繁殖的影响 李迎洁, 王梓英, 张国豪, 等 (862)
- 高原鼠兔有效洞穴密度对青藏高原高寒草甸群落植物生态位的影响 贾婷婷, 毛 亮, 郭正刚 (869)
- 三工河流域琵琶柴群落特征与土壤因子的相关分析 赵学春, 来利明, 朱林海, 等 (878)
- 岷江干旱河谷造林对土壤微生物群落结构的影响 王卫霞, 罗 达, 史作民, 等 (890)
- 滩涂围垦和土地利用对土壤微生物群落的影响 林 黎, 崔 军, 陈学萍, 等 (899)
- 福寿螺对稻田水生植物群落结构的影响 赵本良, 章家恩, 戴晓燕, 等 (907)
- 4 种木本植物在潜流人工湿地环境下的适应性与去污效果 陈永华, 吴晓芙, 郝 君, 等 (916)
- 基于静态箱式法和生物量评估海北金露梅灌丛草甸碳收支 李红琴, 李英年, 张法伟, 等 (925)
- 初始 pH 值对碱性和酸性水稻土微生物铁还原过程的影响 吴 超, 曲 东, 刘 浩 (933)

景观、区域和全球生态

- 库姆塔格柽柳沙包年层稳定碳同位素与气候环境变化 张锦春, 姚 拓, 刘长仲, 等 (943)

资源与产业生态

- 大棚甜瓜蒸腾规律及其影响因子 张大龙, 常毅博, 李建明, 等 (953)
- 盐胁迫下荒漠共生植物红砂与珍珠的根茎叶中离子吸收与分配特征 赵 昕, 杨小菊, 石 勇, 等 (963)
- 普通鹿蹄草品质与根际和非根际土壤的关系 耿增超, 孟令军, 刘建军 (973)

作物种植前后土壤有机质及养分因子的空间变异分析 方 斌,吴金凤 (983)

城乡与社会生态

城市河流健康评价指标体系构建及其应用 邓晓军,许有鹏,翟禄新,等 (993)

西藏生态足迹与承载力动态分析..... 安宝晟,程国栋 (1002)

研究简报

三峡库区岸坡消落带草地、弃耕地和耕地土壤微生物及酶活性特征 马 朋,李昌晓,雷 明,等 (1010)

盐胁迫对 2 种栎树苗期生长和根系生长发育的影响..... 王树凤,胡韵雪,孙海菁,等 (1021)

恒温 and 变温驯化对大蟾蜍蝌蚪热耐受性的影响 王立志 (1030)

学术信息与动态

国际生物土壤结皮研究发展态势文献计量分析..... 贺郝钰,侯春梅,迟秀丽,等 (1035)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 264 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 30 * 2014-02



封面图说：大蟾蜍蝌蚪群——大蟾蜍别名癞蛤蟆,体长达 10cm 以上,身体肥胖,四肢短,步态及齐足跳的姿势具特征性。其背部皮肤厚而干燥,通常有疣,呈黑绿色,常有褐色花斑,趾间具蹼。毒腺在背部的疣内,受惊后毒腺分泌或射出毒液。大蟾蜍早春在水中繁殖,可迁移至 1.5km 外或更远的适合繁殖的池塘,产卵量很大,产卵数天后蝌蚪即可孵出,1—3 个月后发育为蟾。大蟾蜍常作为实验动物或药用动物,其耳后腺和皮肤腺的白色分泌物可制成“蟾酥”,可治疗多种疾病。研究表明,大蟾蜍蝌蚪最高逃避温度和最高致死温度比最适温度产生的影响要大。

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/stxb201210081381

张锦春, 姚拓, 刘长仲, 刘世增, 孙涛, 袁宏波, 唐进年, 丁峰, 李学敏, 刘瑞, 宋德伟. 库姆塔格柽柳沙包年层稳定碳同位素与气候环境变化. 生态学报, 2014, 34(4): 943-952.

Zhang J C, Yao T, Liu C Z, Liu S Z, Sun T, Yuan H B, Tang J N, Ding F, Li X M, Liu R, Song D W. Climate environmental change and stable carbon isotopes in age layers of *Tamarix* sand-hillocks in Kumtag desert. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(4): 943-952.

库姆塔格柽柳沙包年层稳定碳同位素与气候环境变化

张锦春^{1,2,3,4}, 姚拓^{1,5,*}, 刘长仲^{1,5}, 刘世增^{2,3,4}, 孙涛^{3,4}, 袁宏波^{2,3,4}, 唐进年^{3,4},
丁峰^{2,3,4}, 李学敏^{3,4}, 刘瑞⁴, 宋德伟⁴

(1. 甘肃农业大学草业学院, 兰州 730070; 2. 甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 民勤 733300;

3. 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室培育基地, 武威 733000; 4. 甘肃省治沙研究所, 兰州 730070;

5. 草业生态系统教育部重点实验室, 兰州 730070)

摘要: 采用年层环境分析法, 建立库姆塔格沙漠柽柳沙包年层稳定碳同位素序列, 并利用记录的环境信息和附近气象资料, 分析柽柳沙包稳定碳同位素与气候环境变化。结果表明: (1) 柽柳沙包年层稳定碳同位素比率($\delta^{13}\text{C}$) 在 20 世纪 40—60 年代出现波动, 80 年代后趋于下降, $\delta^{13}\text{C}$ 序列变化符合全球树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 下降趋势, 表明大气 CO_2 浓度增加会对柽柳沙包年层 $\delta^{13}\text{C}$ 造成影响。(2) 柽柳沙包年层稳定碳同位素分辨率(Δ) 与全球气候变化趋势相一致, 120a 以来, 全球气候变暖, 柽柳沙包 Δ 偏重, 为干热的气候环境, 19 世纪 80 年代以前, 气温偏低, 柽柳沙包 Δ 值偏轻, 代表冷湿的气候环境。(3) 不同生境环境下柽柳沙包年层 Δ 值对气候环境要素产生不同的响应, 高海拔的山前柽柳沙包 Δ 值与年降水、湿度及季节性气压、光照相关性显著, Δ 值受多个气候要素的影响, 其滞后作用不明显; 低海拔的干旱沙漠区柽柳沙包 Δ 值对年气温及季节性降水、湿度特别敏感, Δ 值存在明显的滞后效应。

关键词: 库姆塔格; 柽柳沙包; 稳定碳同位素序列; 年层; 气候环境

Climate environmental change and stable carbon isotopes in age layers of *Tamarix* sand-hillocks in Kumtag desert

ZHANG Jinchun^{1,2,3,4}, YAO TUO^{1,5,*}, LIU Changzhong^{1,5}, LIU Shizeng^{2,3,4}, SUN Tao^{3,4}, YUAN Hongbo^{2,3,4}, TANG Jinnian^{3,4}, DING Feng^{2,3,4}, LI Xuemin^{3,4}, LIU Rui⁴, SONG Dewei⁴

1 Pratacultural College of Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2 Minqin National Research Station for Desert Steppe Ecosystem, Minqin 733300, China

3 State Key Laboratory Breeding Base of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Wuwei 733000, China

4 Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou 730070, China

5 Key Laboratory of Grassland Ecosystem Ministry of Education, Lanzhou 730070, China

Abstract: Kumtag desert, China's sixth largest desert, lies in the south-east of the Lop Nur region, and is famous with the unique dune type of Pseudo-feathery dunes in the whole world. Kumtag desert is expanding and threatening to engulf previously productive lands with its arid wasteland character with the speed of 1—4 m eastward annually. *Tamarix* sand-hillocks is a frequent special biological landform types, with legible age layers structure composited by sand and plant litters, in Kumtag desert. And it is very important for regional environmental evolution research because of noting the desert environmental information diversification. In the present paper, we try to explore desert environmental change process of

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40961013); 甘肃省自然科学基金资助项目(1208RJZA262)

收稿日期: 2012-10-08; **修订日期:** 2013-10-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yaotuo@gsau.edu.cn

Kumtag desert based on stable isotope techniques collecting stable carbon isotope sample of *Tamarix* sand-hillocks from the different habitats and set up the stable carbon isotope series in age layers of four typical *Tamarix* sand-hillocks, proluvial landforms, wetland landforms, YaDan landforms and valley landforms, meanwhile environmental information and local meteorological data were collected as well. The results showed that the ratio of stable carbon isotope ($\delta^{13}\text{C}$), in age layers of *Tamarix* sand-hillocks, was fluctuated during 40—60 s of twenty century, and had declined since 1980s. The change tendency of stable carbon isotope series was accord with the stable carbon isotope downtrend of tree-ring all over the world. It was indicated that atmospheric CO_2 concentration increasing affected the carbon isotope of stable carbon isotope ($\delta^{13}\text{C}$) in age layers of *Tamarix* sand-hillock. The resolution ratio(Δ) of stable carbon isotope in age layers of *Tamarix* sand-hillocks had a similar change tendency to the global climate changes. It was dry and warm climate environment in the recent 120 years, which the resolution ratio(Δ) was reduced with the global climate warming. However, the climate environment was colder and moister before the industrial revolution in the nineteenth century, and the resolution ratio(Δ) was risen. There was different response of the solution ratio Δ of stable carbon isotope in age layers of *Tamarix* sand-hillocks under different habitats to climatic elements changes. In the high altitude area, the resolution ratio(Δ) in age layers was restricted by several climatic factors. e.g. air temperature, humidity, atmospheric pressure, etc. the resolution ratio(Δ) composition had significantly relationship with annual air relative humidity, annual precipitation, seasonal atmospheric pressure and seasonal illumination intensity. The resolution ratio(Δ) composition was affected by several climatic factors, but the hysteresis effect was not obvious. On the contrary, in the arid desert area in low elevation, the resolution ratio(Δ) composition had had greatly sensitivities to annual temperature, seasonal precipitation and seasonal air relative humidity, and the hysteresis effect was obvious.

Key Words: Kumtag; *Tamarix* sand-hillocks; stable carbon isotope series; age layers; climate environment

怪柳沙包是干旱区发育的一种特殊生物地貌类型,它的形成和发育是怪柳和风沙长期作用的结果。每年春、夏季为风沙活动较为强烈的季节,风沙流携带沙粒遇到怪柳灌丛阻挡产生沉降和堆积,形成不同厚度的沙层;秋末冬初风速较低,空气相对湿度较大,怪柳落叶沉积于沙层上,再经霜雪的压实和保护形成一个连续的枯枝落叶层。怪柳沙包这种特有的沙层和枯枝落叶层交替沉积而成的层理结构,称为“怪柳沙包年层”。由于沙包形成的气候条件十分干燥,从而使其这种“年层”结构长期保存。怪柳沙包年层不仅与树木年轮等一样,可以用来计数年代,其组成物质还蕴含丰富的环境信息,可用于研究气候环境的变化。这对干旱荒漠区生态环境研究具有十分重要的意义^[1-2]。

怪柳沙包年层结构及其形成已经引起有关学者的关注,并对其形成作过较为详细的描述和研究^[2-4],年层中的组成物质有丰富的环境信息。如通过对沙层厚度、粒度和矿物组成等分析,可了解沙源、风强和干旱程度等的变化^[3];通过怪柳枯枝落叶层 $\delta^{13}\text{C}$ 值、有机质 C、N 和 C/N 值及阳离子 Ca^{2+} 、

K^+ 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 含量等测定和分析,可了解过去气候环境的变化状况^[4]。因此,对怪柳沙包组成物质的分析,可作为研究干旱区环境变化的有效工具之一。

库姆塔格沙漠位于罗布泊洼地东南,是我国八大沙漠中唯一分布有羽毛状沙丘的沙漠。其沙漠环境成因问题引起了国内外学者的普遍关注,并从地理学角度进行了初步的研究和分析,尚缺乏荒漠植被所反映的环境变化过程分析^[5-8]。库姆塔格沙漠属我国温带干旱区,沙漠中普遍分布有高达 10 m 以上的怪柳沙包,并且这里的环境长期无人干扰,是反映荒漠环境变化较为理想的天然实验室^[9]。本文在提取沙漠中典型怪柳沙包中富含的环境信息基础上,采用年层分析法建立怪柳沙包 $\delta^{13}\text{C}$ 序列,分析年层结构中枯枝落叶层 $\delta^{13}\text{C}$ 组成,揭示荒漠环境的变化过程,为区域环境演化提供证据。

1 材料与方法

1.1 自然概况

野外调查取样在库姆塔格沙漠进行,地理位置 $39^{\circ}07'50''$ — $41^{\circ}00'03''$ N, $89^{\circ}57'49''$ — $94^{\circ}54'08''$

E,总面积约 2.29 万 km²,是我国的第六大沙漠。区域气候属极端干旱大陆性气候,年均气温 11.3—11.9℃,年均降水量 25.2—74.6 mm,年蒸发量 2800—3000 mm,干燥度指数高达 92,主风向为强劲的东北风,多沙尘和浮尘天气,8 级以上大风天数在 100 d 以上。土壤以灰棕漠土和风沙土为主,局部水位较高的河床低地常出现不同程度的盐化现象^[10]。植被类型为典型荒漠,植被稀疏,物种贫乏,以旱生、超旱生和盐生的灌木、半灌木和小灌木为主要建群植物,桉柳属植物是调查区域内的优势植物。

1.2 研究材料

桉柳属 (*Tamarix*) 植物是多年生灌木,具有耐旱、耐盐、耐高低温、耐风蚀等特点而能适应严酷的生态环境。桉柳沙包具有清晰的沙物质和枯枝落叶互层组成的层理,构成了桉柳沙包年层,它不仅是较理想的测年材料,同时记录了沙漠环境变化信息^[4]。

在对库姆塔格沙漠多年考察的基础上,选取沙漠南部洪积地貌、东部湿地、东北部雅丹和西北部谷地 4 种地貌类型的桉柳沙包作为研究对象,通过对沙包年层样品提取与分析,探讨桉柳沙包沉积过程及其所反映的气候环境变化。

1.3 研究方法

2010 年 9 月深入库姆塔格沙漠,分别沿沙漠北缘、东缘、南缘 3 条路线对不同生境条件下桉柳沙包形态特征、地理分布进行调查,并结合前期沙漠考察工作积累,最终确定 4 个桉柳沙包采样点,分别代表沙漠南部洪积区 (HJ)、东部湿地区 (SD)、西北部谷地区 (GD)、东北部雅丹区 (YD) 的典型生境区域。选取不同生境条件的高分辨率的理想桉柳沙包剖面,进行沙包年层结构的观察描述,高密度分层采集桉柳沙包中植物枯枝落叶和沙物质,获得测试样品。4 个桉柳沙包采样信息如表 1。

表 1 桉柳沙包采样点基本信息

Table 1 Basic information for sampling points of *Tamarix* sand-hillocks

样点 Samples	经度/(°) Longitude	纬度/(°) Latitude	海拔/m Altitude	取样深度/mm High	取样数 Number of plies	测定年层数 Number of age layers
HJ	93.45	39.77	1549	7500	224	124
SD	93.83	40.25	1057	9148	335	115
GD	92.03	40.26	809	2946	121	72
YD	92.87	40.50	851	4847	120	38

HJ:南部洪积地貌 The proluvial landforms of southern desert; SD:东部湿地 The wetland landforms of eastern desert; GD:西北部谷地 The valley landforms of northwestern desert; YD:东北部雅丹 The Ya Dan landforms of northeastern desert

从沉积层的整合形态可以直观判断每个沙包上部年层连续,按每一个年层为单位由上至下连续取样,并测量每层厚度。对于沙包下部剖面,纹层结构不清晰,很难准确辨认年层结构,可采取实际年层均值替代法进行剖面分层取样。具体取样步骤包括:先用 GPS 精确对采样沙包定位并对周围生境条件进行描述记录,用工具铲除去沙包表面浮土后,从沙包顶层向下依次挖去土壤剖面,用喷壶喷湿剖面纵截面,使沙包纹层更加清晰,仔细分辨沙包的连续年层,并用牙签定位,用游标卡尺测量并记录牙签所定纹层的厚度,从上至下依次取样,并装入密封袋进行编号。采样完成后,对整个剖面的高度进行测量,并采集沙包剖面基底 AMS 测年样品和沙包地上不同方位和层次的桉柳枝叶混合样^[2,4]。

实验室内分别将样品中的枯枝落叶与沙物质用相应的筛子分离,重新标记备用。分离后的枯枝落

叶样品用清水洗净、晾干,置于烘箱 (80 ℃) 中烘干,再进行样品磨碎,研磨后样品用燃烧法收集完全燃烧后产生的 CO₂,用 MAT-253 质谱计分析样品 ¹³C/¹²C 同位素比值。并通过换算以 δ¹³C 表示的表达式为:

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = \left[\left(\frac{R_{\text{样品}}}{R_{\text{标准}}} - 1 \right) \right] \times 1000\text{‰}$$

式中, $R_{\text{样品}}$ 和 $R_{\text{标准}}$ 分别表示样品和标准的碳同位素丰度比 (¹³C/¹²C)。同位素结果采用的是 PDB 标准^[11]。样品处理和分析均在兰州大学西部环境教育部重点实验室进行,分析误差 < 0.1‰。

为了真实反映桉柳沙包年层 δ¹³C 所记录的气候要素变化,使用冰芯气泡中 CO₂ 测量值和大气中 CO₂ 直接测量值^[12-14],拟合大气 δ¹³C 变化曲线,并依据公式计算稳定碳同位素分辨率^[15-16],去除大气 CO₂ 浓度的影响^[17]。稳定碳同位素分辨率 (Δ) 表达式为:

$$\Delta = (\delta^{13}\text{C}_p - \delta^{13}\text{C}_a) / (1 + \delta^{13}\text{C}_a / 1000)$$

式中, $\delta^{13}\text{C}_p$ 为大气 CO_2 碳同位素比率, $\delta^{13}\text{C}_a$ 为植物组织碳同位素比率。

气象数据分析中, 使用采样点附近的敦煌、若羌、哈密、红柳河 4 个气象站作为参考站点。其中哈密、红柳河气象站距采样点较远, 且高山阻挡效应明显, 与研究区气象条件存在较大差异。敦煌、若羌气象站位于采样点东西两缘, 并同属塔里木盆地区, 气候条件一致。因此选取敦煌、若羌站气象数据进行分析。

收集整理敦煌、若羌气象站 1951—2006 年观测数据资料, 个别缺失数据采用多年平均值进行插补, 并经均一性和突变性检验。为消除单站数据分析带来不同采样点气象要素值的偏移, 统计整理 2 个气象站气温、降水、湿度、气压、光照的年度平均和春、夏、秋、冬 4 个季节的平均值, 并与柽柳沙包年层 Δ 值进行对应, 分析各气象要素与柽柳沙包当年 Δ 值与滞后一年 Δ 值的相关性。

2 结果与分析

2.1 柽柳枝叶与其沙包枯枝 $\delta^{13}\text{C}$ 对比分析

通过对 4 个采样点的柽柳枝叶及其沙包近 30 个年层的枯枝 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值进行比较分析(图 1), 结果表明, 柽柳枝叶 $\delta^{13}\text{C}$ 偏轻, 介于 -25.61‰ — -22.89‰ 之间, 平均为 -24.33‰ ; 沙包枯枝 $\delta^{13}\text{C}$ 相对偏重, 介于 -25.34‰ — -22.63‰ 之间, 平均为 -23.90‰ 。由于沙包年层中枯枝落叶的分解导致残余的有机质同位素偏重, 柽柳枝叶 $\delta^{13}\text{C}$ 较沙包年层枯枝 $\delta^{13}\text{C}$ 低 1.16‰ , 说明植物光合产物在运转过程

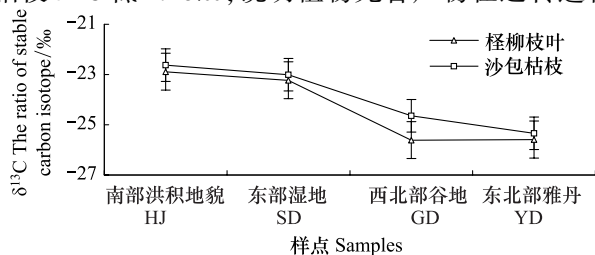


图 1 不同柽柳沙包年层 $\delta^{13}\text{C}$ 值比较

Fig. 1 Comparison of the $\delta^{13}\text{C}$ in age layers in different *Tamarix* sand-hillocks

HJ: 南部洪积地貌 The proluvial landforms of southern desert; SD: 东部湿地 The wetland landforms of eastern desert; GD: 西北部谷地 The valley landforms of northwestern desert; YD: 东北部雅丹 The Ya Dan landforms of northeastern desert

中存在稳定碳同位素分馏过程^[18-19]。不同分布海拔区柽柳枝叶及沙包枯枝 $\delta^{13}\text{C}$ 差异显著, 表现为沙漠东缘、南缘高海拔区的 HJ 柽柳沙包和 SD 柽柳沙包偏重, 北部低海拔区的 GD 柽柳沙包和 YD 柽柳沙包偏轻, 南北柽柳枝叶 $\delta^{13}\text{C}$ 差值为 2.54‰ , 沙包枯枝 $\delta^{13}\text{C}$ 差值为 2.17‰ 。分析认为柽柳沙包 $\delta^{13}\text{C}$ 的海拔变化主要与其相联系的环境因素, 如气压、气温、水分等差异造成的。如高海拔区温度和 CO_2 分压低, 植物为增加光合效率, 降低了叶肉组织对 CO_2 吸收的限制, 造成植物内部 CO_2 分压降低, 导致植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 变重。

2.2 柽柳沙包年层 $\delta^{13}\text{C}$ 序列特征分析

植物的生长是通过光合作用固定大气中的 CO_2 以合成自身的组成物质, 因此植物在同化大气中的 CO_2 的过程中会引起碳同位素的分馏。通过对 4 个典型柽柳沙包年层 $\delta^{13}\text{C}$ 序列测定分析(图 2)认为: 沙漠南部 HJ 和东部 SD 柽柳沙包年层测定为 120a 左右, $\delta^{13}\text{C}$ 值在 -20.99‰ — -24.50‰ 之间, 这与新疆罗布泊柽柳沙包 $\delta^{13}\text{C}$ 变化基本吻合^[4], 百年尺度上的 2 个柽柳沙包年层 $\delta^{13}\text{C}$ 序列变化基本一致, 20 世纪 40 年代前平稳变化, 40—60 年代出现波动变化, 80 年代后呈现下降趋势, 由于受生境条件的限制, 沙漠东部 SD 沙包地处党河流域, 人为灌溉影响是不可避免的, 其柽柳沙包年层 $\delta^{13}\text{C}$ 变化不是完全由气候变化所致; 沙漠北部 GD、YD 沙包年层测定为 38—72a 之间, $\delta^{13}\text{C}$ 值在 -23.02‰ — -26.59‰ 之间, 年层 $\delta^{13}\text{C}$ 与南部和东部沙包具有较好的对应趋势, 并在 20 世纪 80 年代以后呈现显著下降趋势, 但由于测定沙包的沉积年层数量少, 很难反映百年尺度上的环境信息。

自工业化革命以来, 化石燃料 CO_2 排放的增加使得大气 CO_2 浓度明显增大^[20-21], 改变原有大气 CO_2 的碳同位素组成, 导致柽柳枝叶 $\delta^{13}\text{C}$ 值的下降, 这一变化趋势在调查的 4 个柽柳沙包年层 $\delta^{13}\text{C}$ 序列变化中, 仅在 20 世纪 80 年代以后比较明显, 可见大气 CO_2 浓度增加会对柽柳沙包年层 $\delta^{13}\text{C}$ 造成影响。为了能够真实反映柽柳沙包年层 $\delta^{13}\text{C}$ 所记录的气候要素变化, 需计算碳同位素分辨率, 以去除大气 CO_2 浓度增加对柽柳沙包年层 $\delta^{13}\text{C}$ 的影响。

2.3 柽柳沙包年层 Δ 序列及气候环境分析

沙漠北部的 GD 沙包和 YD 沙包采集到的沉积

年层数量少,反映的环境信息量相对较少,同时沙漠东缘 SD 沙包又受人为灌溉的影响较大,很难真实反

映出自然环境的变化信息。为全面反映柽柳沙包所

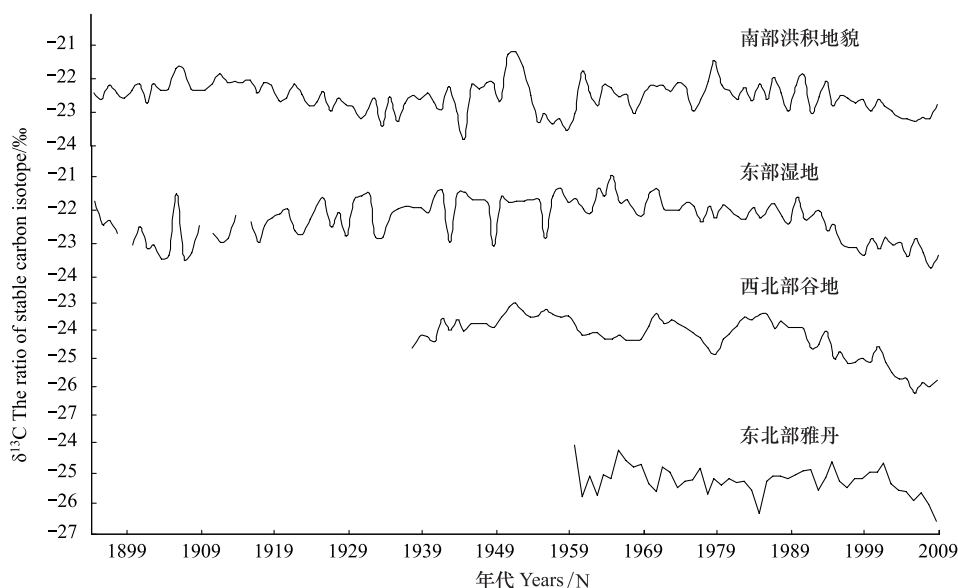


图2 柽柳沙包 120 年以来 $\delta^{13}\text{C}$ 序列

Fig.2 The series of the $\delta^{13}\text{C}$ in age layers of *Tamarix* sand-hillocks since 120 years

记录的全部环境信息变化过程,本文主要分析沙漠南部 HJ 柽柳沙包年层序列,建立该柽柳沙包年层稳定碳同位素分辨率(Δ)序列(图3),包括沙包下部年层均值替代法取样的层次序列和沙包上部计年法取样的年代序列。从图3可以看出,120a 以来的柽柳沙包年层 Δ 序列呈现阶段性变化, Δ 值在 20 世纪 40—60 年代有较大的波动,90 年代后呈稳定增长趋势,并与沙包年层 $\delta^{13}\text{C}$ 序列呈互反变化过程;而 120a 以前柽柳沙包 Δ 值相对较高且变化平稳,并在后期呈现明显的低值过渡。从全球气候变化趋势分析,16 世纪进入 1000 年来最长冷季(1590—1850),1660 年之后温度回升,但到 1700 年呈现微弱下降趋势,1835 年后温度持续上升到现在,尤其 20 世纪 80

年代之后,升温明显加快^[9]。本研究柽柳沙包在 120a 来反映的 Δ 值较小, $\delta^{13}\text{C}$ 组成偏重,主要是由于大气 CO_2 浓度增高形成温室效应,导致了全球气候变暖,同时,由于西北内陆区远离海洋,高山环绕,区域降水稀少,蒸发强烈,形成以干热为主的气候环境;柽柳沙包下部层次 Δ 序列主要指示了 19 世纪 80 年代以前的气候变化, Δ 序列变化平稳, Δ 值较大而 $\delta^{13}\text{C}$ 组成偏轻,由于受大气 CO_2 浓度影响较小,气温相对较低,代表冷湿的气候环境。 Δ 序列在 20 世纪 40—60 年代出现较大的波动变化可能与小范围的年季降水、温度的变化有关,这在近代其他气象资料分析中有所反映^[22-24]。可见,去除大气 CO_2 浓度后柽柳沙包 Δ 序列变化与气候环境具有显著的响应关系。

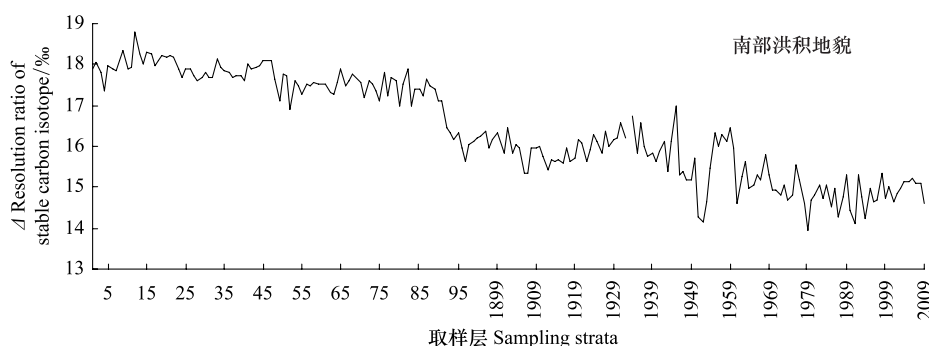


图3 去除 CO_2 浓度影响后的 Δ 序列

Fig.3 The series of Δ after detrend the effects of atmosphere CO_2 concentration

2.4 柽柳沙包年层 Δ 值与气候要素相关性分析

考虑到柽柳沙包年层 Δ 值滞后性,对柽柳沙包当年 Δ 值及前一年 Δ 值与各气候要素相关系数分别进行分析比较。在取样的 4 个柽柳沙包中,东北部 YD 沙包取样年层不到 50a,数据较少,未进行相关性分析,其它 3 个柽柳沙包年层 Δ 序列与各气候要素相关系数如表 2。由表 2 显示:柽柳沙包因分布的生存环境不同,对各气候要素的响应也有所不同。沙漠南部 HJ 沙包年层 Δ 值与水分要素最为密切,大气相对湿度和降水与柽柳生长年层 Δ 值均呈负相关性,年均降水、夏季降水与年层 Δ 值相关性均达到显著水平,而年均相对湿度及春季、夏季和秋季平均相对湿度则达极显著水平;季节性气压与光照对 HJ 柽柳沙包年层 Δ 值影响也较为明显,春季气压、光照及

夏季光照与柽柳当年 Δ 值相关性达极显著水平,与滞后年 Δ 值达显著相关性,季节性滞后效应不明显;沙漠北部 GD 沙包年层 Δ 值与气温的相关性最为显著,年均气温、春季气温与柽柳沙包 Δ 值相关系数高,相关性均达极显著水平,夏季、秋季气温与 Δ 值相关系数较高,与当年 Δ 值呈显著相关性,与滞后年 Δ 值呈极显著相关性,即气温的滞后性明显,而春季降水、湿度对 GD 沙包年层 Δ 值也达到显著水平;沙漠东部 SD 沙包年层 Δ 值受气温、光照的影响较大,年均气温与当年 Δ 值呈显著性相关,与滞后年 Δ 值呈极显著相关,具有明显的年度气温和生长季气温滞后作用,年均光与年层 Δ 值达到显著相关性,光照的滞后性较弱。

表 2 柽柳沙包年层 Δ 序列与气候要素的相关系数

Table 2 Correlation coefficient between the series of Δ in age layers of *Tamarix* sand-hillocks and the climatic factors

气象因子 Meteorologic factor	样点 Samples	年平均 Average of years		春季平均 Average of spring		夏季平均 Average of summer		秋季平均 Average of autumn		冬季平均 Average of winter	
		D	Z	D	Z	D	Z	D	Z	D	Z
气温	HJ	-0.0324	-0.0535	0.0992	0.1495	0.1160	0.1963	-0.0529	-0.1520	-0.1701	-0.2310
Air temperature	SD	0.3334	0.3912	0.2271	0.2549	<u>0.4650</u>	<u>0.3798</u>	0.2546	0.2289	0.0396	0.1868
	GD	0.3988	0.5083	0.4259	0.4456	0.3061	0.4869	0.2854	0.3482	0.0624	0.1197
降水	HJ	-0.3093	-0.2560	-0.1279	0.0117	-0.2441	-0.2738	-0.1560	-0.1570	-0.0915	0.0626
Precipitation	SD	-0.0510	0.1883	0.0666	0.0613	-0.1225	0.1424	0.0896	0.1886	0.1308	0.0404
	GD	0.1550	-0.0080	0.3088	0.3311	0.0025	-0.1677	0.1482	0.0276	-0.0137	-0.0004
湿度	HJ	-0.4575	-0.3911	-0.4637	-0.3171	-0.5175	-0.5004	-0.5944	-0.5384	-0.1259	-0.1059
Relative humidity	SD	0.0043	0.0381	-0.1278	-0.0479	-0.0537	0.1049	0.0765	0.0297	0.0534	0.0421
	GD	-0.1022	-0.1146	-0.1920	-0.1986	-0.1829	-0.1739	-0.0692	-0.0430	0.0090	-0.0335
气压	HJ	0.1735	0.0529	-0.3695	-0.2647	-0.1401	-0.2819	-0.0237	-0.0199	-0.1478	-0.1217
Atmospheric pressure	SD	-0.0491	-0.0866	0.0297	-0.0084	-0.0890	-0.1598	-0.0883	-0.1802	-0.0538	0.0839
	GD	-0.0743	-0.0402	0.0096	-0.0056	0.0208	-0.1882	-0.2642	-0.1690	0.2042	0.1833
光照	HJ	0.1184	0.0119	0.2756	0.1963	0.3429	0.1582	0.3461	0.2217	0.0811	-0.0459
Illumination intensity	SD	0.2559	0.1696	0.1464	0.0690	0.0951	0.0297	0.0884	0.0035	0.0628	0.1047
	GD	-0.1275	-0.0640	-0.0874	-0.0108	-0.0780	0.0007	-0.0709	-0.0077	-0.0831	-0.0422

黑体加下划线数据相关系数置信度超过 99%;黑体数据相关系数置信度超过 95%;D 为当年气候要素与 Δ 值关系;Z 为滞后一年气候要素与 Δ 值关系;HJ:南部洪积地貌;SD:东部湿地;GD:西北部谷地;YD:东北部雅丹

综上所述认为,不同生境柽柳沙包形成了不同的微气候环境,进而导致了柽柳沙包年层 Δ 值对各气候要素的敏感程度不同。HJ 柽柳沙包分布在海拔较高的山前洪积区,气温、湿度及降水变化受山体的阻挡效应较为明显,形成了相对冷湿的微气候环境,低温虽影响植物生长,但大气湿度、降水有利于植物保持水分,并使植物生长周期相对延长,光照时间相对较长,从而使柽柳沙包年层 Δ 值对湿度、降水

及光照气候因子相关性增强;GD 柽柳沙包分布与高纬度、低海拔的干旱沙漠区,长期处于高温、缺水状态的植物能最大限度的通过关闭气孔、降低气孔导度使蒸腾水分散失减至最少,以维持正常代谢活动,植物为适应干旱气候环境,在适宜的温度和降水条件下能快速完成季节性生长代谢,因此气温对柽柳沙包年层 Δ 值的响应最为敏感,气温的季节性滞后作用较明显;SD 柽柳沙包分布于东部沙漠与湿地的

过渡带,对水分的效应不明显,柽柳沙包年层 Δ 值受气温、光照的影响较大,存在气温的滞后效应。

3 结论与讨论

柽柳沙包计年法作为一种简捷的测年手段,在干旱荒漠区生态环境演变研究中具有十分重要的意义。1985 年夏训诚根据柽柳沙包发育特征确定了年层结构,并将柽柳沙包年层与 AMS 测年和考古资料进行了对比,验证了柽柳沙包年层计年的准确性^[2];南京大学曹琼英教授多年来通过对柽柳枝叶层稳定同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 、有机碳、氮元素分析和沙层厚度分析,以解释“红柳沙包年层的环境记录”^[1]。本文依据柽柳沙包取样时间及取样层理进行沙包沉积纹层定年,柽柳沙包取样当年的纹层结构尚未形成,因此以沙包取样年份上年度作为沙包沉积的最后年代,并以连续取样的沉积纹层数依次类推确定柽柳沙包年代序列。为验证柽柳沙包沉积纹层定年结果准确

性,通过对沙漠东缘 SD 沙包和东北部 YD 沙包剖面基底样品进行 AMS 测年,结合柽柳沙包沉积层平均厚度及沙包基底层取样深度推算沙包沉积年代,并与实际测年结果进行比较(表 3),结果表明测试的柽柳沙包沉积纹层计年与 AMS 年龄推断存在很好的对应关系,误差值均 $<5\%$ 。同时,通过收集采样点东部敦煌市气象站年度风速数据,与沙漠南缘 HJ 沙包和西北缘 GD 沙包近 40a 的年层厚度序列变化进行对应分析(图 4),结果显示:柽柳沙包沉积层厚度随年平均风速变化基本趋于一致,20 世纪 50 年代以来随着风速值的波动变化,年层沉积层厚度呈现增减变化,20 世纪 80 年代和 90 年代风速出现 2 次明显的下降趋势,对应的柽柳沙包年层沉积随着风速逐年递减,沉积层厚度变薄。可见,2 个柽柳沙包沉积层厚度基本反映了区域风沙过程及其沉积环境变化,利用柽柳沙包沉积纹层定年可作为理想可靠的计年手段而应用。

表 3 柽柳沙包年层误差分析
Table 3 Error analysis in age layers of *Tamarix* sand-hillocks

样点 Samples	测年样深度/mm Sampling depth	取样年层平均厚度/mm Sampling thickness in age layers	计年法推算年代/N Reckoned thickness in age layers	测定年代/N Determined years	误差值/% error values
SD	9148	21.896 $\pm$ 0.898	417	410 $\pm$ 80	1.678
YD	4847	20.094 $\pm$ 0.976	241	230 $\pm$ 50	4.564

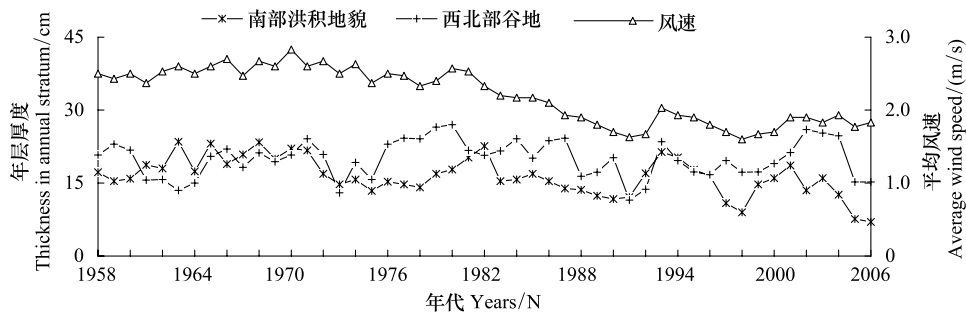


图 4 柽柳沙包年层厚度与风速变化

Fig.4 The chang with wind speed and thickness in annual stratum for *Tamarix* sand-hillocks

自工业革命以来,大气 CO_2 浓度持续升高,造成全球植物 $\delta^{13}\text{C}$ 下降,本研究的 4 个柽柳沙包年层 $\delta^{13}\text{C}$ 有着与全球树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 变化一致的下降趋势^[25-29],尤其在 19 世纪 50 年代后的下降更为明显,表明大气 CO_2 浓度增加会对柽柳沙包年层 $\delta^{13}\text{C}$ 造成影响。为了去除大气 CO_2 浓度增加对柽柳沙包年层的影响,对柽柳沙包层次 Δ 序列的气候响应进行分

析认为:柽柳沙包年层 Δ 序列的总体变化过程与全球气候变化趋势相一致^[9]。柽柳沙包在 120a 来反映的 Δ 值较小, $\delta^{13}\text{C}$ 组成偏重,主要是由于大气 CO_2 浓度增高形成温室效应,导致了全球气候变暖^[30-31],结合干旱内陆区降水稀少,蒸发强烈等特点^[32],可推断 120a 以来的气候环境以暖干为主,而柽柳沙包指示 19 世纪 80 年代以前 Δ 序列变化平稳, Δ 值较

大而 $\delta^{13}\text{C}$ 组成偏轻,由于受大气 CO_2 浓度影响较小,气温相对较低,代表冷湿的气候环境。另外,通过前人对树木年轮分析所指示的气候变化及其他气象资料分析中,20 世纪以来气候环境曾经历过干湿交替变化,可与本研究 Δ 值在 20 世纪 40—60 年代呈现的波动变化相对应^[33-34]。同时据库姆塔格沙漠周边 5 个气象站点 50a 以来年平均气温变化趋势统计数据表明^[35-36],1985 年以前区域年平均气温相对稳定,90 年代后区域年平均气温呈现出明显的上升趋势,这也与怪柳沙包 Δ 值反映的全球气候明显变暖的环境特点相一致。因此,通过年层计年法对怪柳沙包稳定碳同位素组成的分析,可作为研究干旱区环境变化的有效手段,在重建百年尺度上的温度、降水时空变化过程,获得更为客观、可信的气候环境变化信息。本研究利用采集到 120a 来的怪柳沙包年层 $\delta^{13}\text{C}$ 序列进行近世纪以来的环境分析,采集到的沙包年层短暂,所反映的气候环境变化序列也较为短暂,今后需要结合地质学测年方法建立更大尺度内的年代序列,分析怪柳沙包在形成过程中所反映的气候环境变化过程。

植物对气候要素的响应因植物种类、生长季节及其生境而异,对荒漠植物而言,环境温度、水分等均对其稳定碳同位素组成产生影响。首先温度是影响植物碳同位素分馏的重要气候因子,直接影响参与光合作用的酶的活性,又影响叶片的气孔导通系数(g)、 CO_2 的吸收率及 C_i/C_a 值,从而影响植物的碳同位素分馏^[37]。水分作为干旱区植物生长的最主要的限制因子,干旱区降水减小,水分胁迫加重,空气湿度、土壤含水量必然降低,水分亏缺能促使植物关闭气孔、降低气孔导度以减少水分散失,同时进入植物叶片内部的 CO_2 减少,从而达到植物对 $\delta^{13}\text{C}$ 的分馏能力减弱^[16,38]。另外,光照可影响植物光合羧化酶的活性等与光合相关的过程,因而影响植物碳同位素分馏^[39-40]。但光照过强会抑制叶片光合作用、加速蒸腾,当水分供应不上时,气孔会关闭以减少水分散失,因此造成对 ^{13}C 的分馏减弱^[16,41]。目前,不同植物 $\delta^{13}\text{C}$ 与温度、降水关系研究尚存在较大争议,如 Pearman、Tans 等人研究认为植物 $\delta^{13}\text{C}$ 与温度呈正相关关系^[34-35],而 Farmer、Leavitt 等人结果则为负相关性^[42-43],Ehleringer 和 Peñuelas 等研究发现 $\delta^{13}\text{C}$ 与降水量之间存在显著负相关^[44-45],这些研究

的差异性主要是因植物种类、生长特点及其生境差异造成的,同时大气 CO_2 浓度也对植物碳同位素产生分馏。本研究利用怪柳沙包年层 Δ 序列的推算消除了大气 CO_2 浓度对怪柳沙包年层 $\delta^{13}\text{C}$ 的影响,进而分析 Δ 值对其它气候要素的响应。不同生境环境怪柳沙包年层 Δ 值在对各气候要素的响应程度不同。高海拔的山前洪积区气候要素受山体的阻挡,微气候环境相对冷湿,大气湿度、降水、气压、光照因子对怪柳沙包年层 Δ 值均产生显著相关性,表明 Δ 值受多个气候要素的影响;低海拔的干旱沙漠地带气候条件相对严酷,荒漠植物为适应干旱的气候环境,能快速完成季节性生长代谢活动,因而气温及季节性降水对怪柳沙包年层 Δ 值的响应较为敏感;沙漠湿地过渡带怪柳沙包年层 Δ 值受气温、光照的影响较大。可见,随着生境条件的改变,气候环境因子将发生相应的变化,植物为了适应不同的微气候环境,通过叶片气孔开闭、气孔导度的升降改变细胞内外 CO_2 比率,进而调节植物对 ^{13}C 的识别能力,对气候环境因子做出不同的响应。

References:

- [1] Zhao S C. The environmental variations in Lop Nur region and the future development in the arid area of western China. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(8): 920-923.
- [2] Xia X C, Zhao Y J, Wang F B, Cao Q Y. Environmental significance exploration to *Tamarix* cone age layer in Lop Nur Lake region. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(20): 2395-2397.
- [3] Zhao Y J, Xia X C, Wang F B, Cao Q Y, Gao W M, Wei L T. Grain-size features of sand materials in *Tamarix* cone veins and theirs environmental indication significance in the Lop Nur region. *Arid Land Geography*, 2007, 30(6): 791-796.
- [4] Zhao Y J, Xia X C. Research on the Relationship between *Tamarix* Cone and Environmental Change in Lop Region of Xinjiang. Beijing: Science Press, 2011: 38-142.
- [5] Wang S J. The cause of formation of Aqik valley // Synthesis Scientific Investigational Teams of Lop-Nor Region in Xinjiang Courts in the Chinese Academy of Science. Scientific Investigation and Study of Lop-Nor Region. Beijing: Science Press, 1987: 60-67.
- [6] Qu J J, Zuo G C, Zhang K C, Zu R P, Fang H Y. Relationship between the formation and evolution of the Kumtag Desert and the regional neotectonic Movement. *Arid Land Geography*, 2005, 28(4): 424-428.
- [7] Xu Z W, Lu H Y, Zhao C F, Wang X Y, Su Z Z, Wang Z Q, Liu H X, Wang L X, Lu Q. Composition, origin and weathering process of surface sediment in Kumtagh desert, Northwest China. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(1): 53-64.
- [8] E Y H, Wang J H, Yan P, Gao S Y, Wang X Q, Su Z Z, Liao K

- T, Liu H J, Ding F. Evolution of Palaeo-drainage system and its relationship with the formation of desert landform in the Kumtag Desert. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(7): 725-734.
- [9] Lu Q, Wu B, Dong Z B, Lu H Y, Xiao H L, Wang J H. A Study of Kumtag Desert. Beijing: Science Press, 2012: 170-269.
- [10] Zhang J C, Wang J H, Zhao M, Liu H J, Liao K T, Xu X Y. Plant community and species diversity in the South Fringe of Kumtag Desert. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30 (3): 375-382.
- [11] Farquhar G D, Ehleringer J R, Hubick K T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1989, 40: 503-536.
- [12] Leavitt S W, Long A. The atmospheric $\delta^{13}\text{C}$ record as derived from 56 pinyon trees at 14 sites in the southwester tree rings. *Water Resources Bulletin*, 1989, 25: 341-347.
- [13] Friedli H, L  tscher H, Oeschger H, Siegenthaler U, Stauffer B. Ice core record of the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of atmospheric CO_2 in the past two centuries. *Nature*, 1986, 324(6094): 237-238.
- [14] Keeling C D, Mook W G, Tans P P. Recent trends in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of atmospheric carbon dioxide. *Nature*, 1979, 277(5692): 121-123.
- [15] Farquhar G D, O'Leary M H, Berry J A. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1982, 9(2): 121-137.
- [16] He C X, Li J Y, Meng P, Zhang Y X. Changes in leaf stable carbon isotope fractionation of trees across climatic gradients. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(14): 3828-3838.
- [17] Liu Y, Ma L M, Cai Q F, An Z S, Liu W G, Gao L Y. Reconstruction of summer temperature (June-August) at Mt. Helan, China, from tree-ring stable carbon isotope values since AD 1890. *Science in China (Series D)*, 45(12): 127-1136.
- [18] Dong X C, Wang Y H, Li G C, Li B, Wang S C. Distribution characteristics of stable carbon isotope of *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. in relation to environmental factors. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(12): 2353-2357.
- [19] Li X B, Chen J F, Zhang P Z, Liu G X. The characteristics of carbon isotope composition of modern plants over Qinghai Tibet plateau (NE) and its climatic information. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(2): 325-329.
- [20] Liu X H, Qin D H, Shao X M, Ren J W, Wang Y. Stable carbon isotope of abies spectabilis from nyingchi county of Tibet autonomous region and its response to climate change. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(5): 574-578.
- [21] Feng F Y, An L Z, Wang X L. A review on effect of environmental factors on stable carbon isotope composition in plants. *Chinese Bulletin of Botany*, 2000, 17(4): 312-318.
- [22] Wang J S, Li J B, Chen F H, Gou X H, Peng J F, Liu P X, Jin L Y. Variation of the dryness in the recent 200 a derived from tree-rings width records in the east Tianshan mountains. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, 29(2): 209-216.
- [23] Qian W H, Zhu Y F. Climate change in China from 1880 to 1998 and its impact on the environmental condition. *Climatic Change*, 2001, 50(4): 419-444.
- [24] Yuan Y J, Jin L Y, Shao X M, He Q, Li Z Z, Li J F. Variations of the spring precipitation day numbers reconstructed from tree rings in the Urumqi River drainage. Tianshan Mts. over the last 370 years. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(14): 1507-1510.
- [25] Keeling C D, Mook W G, Tans P P. Recent trends in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of atmospheric carbon dioxide. *Nature*, 1979, 277(5692): 121-123.
- [26] Farmer J G. Problems in interpreting tree-ring $\delta^{13}\text{C}$ records. *Nature*, 1979, 279(5710): 229-231.
- [27] Raffalli-Delercq G, Masson-Delmotte V, Dupouey J L, Stievenard M, Breda N, Moisselin J M. Reconstruction of summer droughts using tree-ring cellulose isotopes: A calibration study with living oaks from Brittany (western France). *Tellus B*, 2004, 56(2): 160-174.
- [28] Feng X H. Long-term C_i/C_a response of trees in western North America to atmospheric CO_2 concentration derived from carbon isotope chronologies. *Oecologia*, 1998, 117(1/2): 19-25.
- [29] Zheng S X, Shangguan Z P. Study on relationship between tree-ring and climatic change. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(6): 100-107.
- [30] Jiang G M, Huang Y X, Wan G J, Chen Y C, Geng L N, Zeng Y Q, Wang H W. A study on the $\delta^{13}\text{C}$ values of tree rings and their indicative functions in revealing atmospheric CO_2 changes in North China. *Acta Phytocologica Sinica*, 1997, 21(2): 155-160.
- [31] Fu C B, Wang Q. The abrupt change phenomena of the south Asia summer monsoon and its synchronism with the global warming. *Chinese Science(B)*, 1991, (6): 666-672.
- [32] Pan X L, Ma Y J, Gao W, Qi J G, Shi Q D, Lu H Y. Eco-environmental evolution in arid area of West China. *Journal of Desert Research*, 2004, 24(6): 663-673.
- [33] Shao X M, Huang L, Liu H B, Liang E Y, Fang X Q, Wang L L. Reconstruction of precipitation variation from tree rings in recent 1000 years in Delingha, Qinghai. *Science in China (Series D)*, 2005, 48(7): 939-949.
- [34] Pearman R N and Farquhar G D. An explanation of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ variations in tree rings[J]. *Nature*, 1982, 297: 28-31.
- [35] Tans P P, Mook W G. Past atmospheric CO_2 levels and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in tree rings. *Tellus*, 1980, 32(3): 268-283.
- [36] Francey R J, Farquhar G D. An explanation of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ variations in tree rings. *Nature*, 1982, 297(5861): 28-31.
- [37] Wang G A, Han J M, Zhou L P. Relationships between $\delta^{13}\text{C}$ C values of C_3 plants and the annual average temperature in northern China. *Geology in China*, 2002, 29(1): 55-57.
- [38] Feng F Y, An L Z, Wang X L. A review on effect of environmental factors on stable carbon isotope composition in plants. *Chinese Bulletin of Botany*, 2000, 17(4): 312-318.
- [39] Farquhar G D, O'Leary M H, Berry J A. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1982, 9(2): 121-137.
- [40] Francey R J, Gifford R M, Sharkey T D, Weir B. Physiological influences on carbon isotope discrimination in huon pine (*Lagarostrobos franklinii*). *Oecologia*, 1985, 66(2): 211-218.
- [41] Zimmerman J K, Ehleringer J R. Carbon isotope ratios are

- correlated with irradiance levels in the Panamanian orchid *Catasetum viridiflavum*. *Oecologia*, 1990, 83(2): 247-249.
- [42] Farmer J G. Problems in interpreting tree-ring $\delta^{13}\text{C}$ records. *Nature*, 1979, 279(5710): 229-231.
- [43] Leavitt S W, Long A. Evidence for $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ fractionation between tree leaves and wood. *Nature*, 1982, 298(5876): 742-743.
- [44] Ehleringer J R, Cooper T A. Correlations between carbon isotope ratio and microhabitat in desert plants. *Oecologia*, 1988, 76(4): 562-566.
- [45] Peñuelas J, Filella I, Terradas J. Variability of plant nitrogen and water use in a 100-m transect of a subdesertic depression of the Ebro valley (Spain) characterized by leaf $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$. *Acta Oecologica*, 1999, 20(2): 119-123.
- 参考文献:**
- [1] 赵生才. 罗布泊地区环境变迁和西部干旱区未来发展. *地球科学进展*, 2005, 20(8): 920-923.
- [3] 赵元杰, 夏训诚, 王富葆, 曹琼英, 高伟明, 魏立涛. 罗布泊地区红柳沙包纹层沙粒度特征与环境指示意义. *干旱区地理*, 2007, 30(6): 791-796.
- [4] 赵元杰, 夏训诚. 新疆罗布泊红柳沙包与环境研究. 北京: 科学出版社, 2011: 38-142.
- [5] 王树基. 罗布泊东部阿齐克干谷的成因问题 // 中国科学院新疆分院罗布泊综合科学考察队. 罗布泊科学考察与研究. 北京: 科学出版社, 1987: 60-67.
- [6] 屈建军, 左国朝, 张克存, 俎瑞平, 方海燕. 库姆塔格沙漠形成演化与区域新构造运动关系研究. *干旱区地理*, 2005, 28(4): 424-428.
- [7] 徐志伟, 鹿化煜, 赵存法, 王先彦, 苏志珠, 王振亭, 刘宏宜, 王立新, 卢琦. 库姆塔格沙漠地表物质组成、来源和风化过程. *地理学报*, 2010, 65(1): 53-64.
- [8] 俄有浩, 王继和, 严平, 高尚玉, 王学全, 苏志珠, 廖空太, 刘虎俊, 丁峰. 库姆塔格沙漠古水系变迁与沙漠地貌的形成. *地理学报*, 2008, 63(7): 725-734.
- [9] 卢琦, 吴波, 董治宝, 鹿化煜, 肖洪浪, 王继和. 库姆塔格沙漠研究. 北京: 科学出版社, 2012: 170-269.
- [10] 张锦春, 王继和, 赵明, 刘虎俊, 廖空太, 徐先英. 库姆塔格沙漠南缘荒漠植物群落多样性分析. *植物生态学报*, 2006, 30(3): 375-382.
- [16] 何春霞, 李吉跃, 孟平, 张燕香. 树木叶片稳定碳同位素分馏对环境梯度的响应. *生态学报*, 2010, 30(14): 3828-3838.
- [18] 董星彩, 王颜红, 李国琛, 李波, 王世成. 五味子稳定碳同位素分布特征及其与环境因子的关系. *生态学杂志*, 2010, 29(12): 2353-2357.
- [19] 李相博, 陈践发, 张平中, 刘光琇. 青藏高原(东北部)现代植物碳同位素组成特征及其气候信息. *沉积学报*, 1999, 17(2): 325-329.
- [20] 刘晓宏, 秦大河, 邵雪梅, 任贾文, 王瑜. 西藏林芝冷杉树轮稳定碳同位素对气候的响应. *冰川冻土*, 2002, 24(5): 574-578.
- [21] 冯虎元, 安黎哲, 王勋陵. 环境条件对植物稳定碳同位素组成的影响. *植物学通报*, 2000, 17(4): 312-318.
- [22] 王劲松, 李金豹, 陈发虎, 勾晓华, 彭剑锋, 刘普幸, 靳立亚. 树轮宽度记录的天山东段近200a干湿变化. *冰川冻土*, 2007, 29(2): 209-216.
- [29] 郑淑霞, 上官周平. 树木年轮与气候变化关系研究. *林业科学*, 2006, 42(6): 100-107.
- [30] 蒋高明, 黄银晓, 万国江, 陈业材, 耿龙年, 曾毅强, 王宏卫. 树木年轮 $\delta^{13}\text{C}$ 值及其对我国北方大气 CO_2 浓度变化的指示意义. *植物生态学报*, 1997, 21(2): 155-160.
- [31] 符淙斌, 王强. 南亚夏季风长期变化中的突变现象及其与全球迅速增暖的同步性. *中国科学(B辑)*, 1991, (6): 666-672.
- [32] 潘晓玲, 马映军, 高伟, 齐家国, 师庆东, 陆海燕. 中国西部干旱区生态环境演变过程. *中国沙漠*, 2004, 24(6): 663-673.
- [33] 邵雪梅, 黄磊, 刘洪滨, 梁尔源, 方修琦, 王丽丽. 树轮记录的青海德令哈地区千年降水变化. *中国科学D辑*, 2004, 34(2): 145-153.
- [37] 王国安, 韩家懋, 周力平. 中国北方 C_3 植物碳同位素组成与年均温度关系. *中国地质*, 2002, 29(1): 55-57.
- [38] 冯虎元, 安黎哲, 王勋陵. 环境条件对植物稳定碳同位素组成的影响. *植物学通报*, 2000, 17(4): 312-318.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.4 Feb., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The bioavailability of dissolved organic carbon in the eutrophic lakes YE Linlin, KONG Fanxiang, SHI Xiaoli, et al (779)
- Plant species of the non-agricultural habitats in the lower reaches of the Yellow River plain agro-landscape
..... LU Xunling, LIANG Guofu, TANG Qian, et al (789)

Autecology & Fundamentals

- Manganese stress on the ultrastructures of a manganese tolerant plant, *Polygonum perfoliatum* L.
..... WANG Jun, WU Hui, XUE Shengguo, et al (798)
- Characteristics of arsenic (As) tolerance and accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes with different radial oxygen loss
..... WU Chuan, MO Jingyu, XUE Shengguo, et al (807)
- Effects of water stress on physiological characteristics of different *Illicium lanceolatum* ecotypes under low light intensity
..... CAO Yonghui, ZHOU Benzhi, CHEN Shuanglin (814)
- Effect of branch number on the growth and development of *Morus alba* saplings ... HUAN Huihui, XU Xiao, LIU Gang, et al (823)
- Spatial distribution pattern and sampling technique for *Orthotylus* (*O.*) *sophorae* nymphs on *Sophora japonica*
..... ZHU Huiying, SHEN Ping, WU Jianhua, et al (832)
- Assessment of fungal diversity in apple replanted orchard soils by T-RFLP analysis
..... YIN Chengmiao, WANG Gongshuai, LI Yuanyuan, et al (837)
- Effects of dazomet on edaphon and growth of *Malus hupehensis* rehd. under continuous apple cropping
..... LIU Entai, LI Yuanyuan, HU Yanli, et al (847)
- Isolation, identification, and performance of two pyrene-degrading endophytic bacteria SUN Kai, LIU Juan, LI Xin, et al (853)

Population, Community and Ecosystem

- Effects of different temperatures on the growth and development of *Eotetranychus Kankitus* (Ehara)
..... LI Yingjie, WANG Ziyang, ZHANG Guohao, et al (862)
- Effect of available burrow densities of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) on plant niche of alpine meadow communities in the
Qinghai-Tibet Plateau JIA Tingting, MAO Liang, GUO Zhenggang (869)
- Correlation between characteristics of *Reaumuria soongarica* communities and soil factors in the Sangong River basin
..... ZHAO Xuechun, LAI Liming, ZHU Linhai, et al (878)
- Effects of afforestation on soil microbial community structure in the arid valley of Minjiang River
..... WANG Weixia, LUO Da, SHI Zuomin, et al (890)
- Effects of reclamation on tidal flat and land use on soil microbial community
..... LIN Li, CUI Jun, CHEN Xueping, FANG Changming (899)
- Effects of *Pomacea canaliculata* on aquatic macrophyte community structure in paddy fields
..... ZHAO Benliang, ZHANG Jiaen, DAI Xiaoyan, et al (907)
- The adaptability and decontamination effect of four kinds of woody plants in constructed wetland environment
..... CHEN Yonghua, WU Xiaofu, HAO Jun, et al (916)
- Carbon budget of alpine *Potentilla fruticosa* shrubland based on comprehensive techniques of static chamber and biomass harvesting ...
..... LI Hongqin, LI Yingnian, ZHANG Fawei, et al (925)
- Effect of initial pH value on microbial Fe (III) reduction in alkaline and acidic paddy soils ... WU Chao, QU Dong, LIU Hao (933)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Climate environmental change and stable carbon isotopes in age layers of *Tamarix* sand-hillocks in Kumtag desert
..... ZHANG Jinchun, YAO Tuo, LIU Changzhong, et al (943)

Resource and Industrial Ecology

- The critical factors of transpiration on muskmelon in plastic greenhouse ZHANG Dalong, CHANG Yibo, LI Jianming, et al (953)
- Ion absorption and distribution of symbiotic *Reaumuria soongorica* and *Salsola passerina* seedlings under NaCl stress
..... ZHAO Xin, YANG Xiaojun, SHI Yong, et al (963)
- The relationship between selected rhizosphere and non-rhizosphere soil properties and the quality of *Pyrola decorata*
..... GENG Zengchao, MENG Lingjun, LIU Jianjun (973)
- Spatial variation analysis of soil organic matter and nutrient factor for before and after planting crops
..... FANG Bin, WU Jinfeng (983)

Urban, Rural and Social Ecology

- Establishment and application of the index system for urban river health assessment
..... DENG Xiaojun, XU Youpeng, ZHAI Luxin, et al (993)
- Dynamic analysis of the ecological footprint and carrying capacity of tibet AN Baosheng, CHENG Guodong (1002)

Research Notes

- Responses of soil microorganisms and soil enzyme activities to different land use patterns in the water-level-fluctuating zone of
the Three Gorges Reservoir region MA Peng, LI Changxiao, LEI Ming, et al (1010)
- Effects of salt stress on growth and root development of two oak seedlings
..... WANG Shufeng, HU Yunxue, SUN Haijing, et al (1021)
- The effects of constant and variable thermal acclimation on thermal tolerance of the common giant toad tadpoles (*Bufo gargarizans*) ...
..... WANG Lizhi (1030)

《生态学报》2014 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,280 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 董 鸣

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 34 卷 第 4 期 (2014 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 4 (February, 2014)

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

主 编 王如松
主 管 中国科学技术协会
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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
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

订 购 全国各地邮局
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

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

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

Editor-in-chief WANG Rusong
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元