

文章编号: 1001- 4810(2008)02- 0108- 07

喀斯特与非喀斯特区土壤含水量与植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 关系的对比研究^{*} ——以贵州清镇市王家寨小流域为例

葛永罡^{1,2}, 王世杰¹

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 通过测定贵州省清镇市王家寨小流域内不同背景区(喀斯特与非喀斯特)土壤的含水量以及 16 种植物叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 比较了不同背景区从退化生态到非退化生态过程中各样地之间, 以及石漠化和土山样地不同坡位之间土壤含水量与植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值的相关关系。 研究表明, 不管是喀斯特背景区还是非喀斯特背景区从退化到非退化的过程中, 随着土壤含水量的逐渐增大, 植物叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 值与土壤含水量呈现显著的负相关关系, 即土壤含水量越大, 植物的水分利用效率就越低; 而从不同坡位土壤含水量与植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值的相关关系分析表明, 石漠化样地植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值并不随坡位土壤含水量的不同呈现出规律性的变化, 而坡位自上而下土山样地植物叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 值则表现出随土壤含水量的增大而逐渐趋负。 这些研究结果均反映了植物叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 值对不同生境土壤水分条件的适应机制, 其中石漠化样地上的植物对土壤含水量变化的响应最迅速和最敏感。

关键词: 植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值; 水分利用效率; 土壤含水量; 喀斯特区; 非喀斯特区

中图分类号: S152. 7; Q945. 17 **文献标识码:** A

将植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值作为其长期水分利用效率 (WUE) 的可靠指标在近 30 年来取得了大量的研究成果^[1-11]。 而影响植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值的因素很多, 如在时空方面的不同气候带、 方位、 海拔高度、 季节、 时辰等, 外在环境影响方面的光照、 水分、 空气湿度、 叶温、 饱和差、 CO_2 干旱等, 以及植物自身内在影响方面的叶水势、 气孔、 光合速率、 蒸腾速率、 光合途径等因素均会对 $\delta^{13}\text{C}$ 值的判别产生影响^[12-18]。 在我国森林、 草原、 沙漠、 农田等生态系统方面对此类研究已有许多报道, 这为从环境以及植物的细胞、 单叶、 群体等水平上评价不同地区植物的水分利用特性、 遗传改良等提供了大量的研究实例。 但至目前为止, 在喀斯特背景

条件下该方面的研究工作还很薄弱。

王家寨小流域内同时存在着喀斯特与非喀斯特分布区。 就喀斯特背景区, 尤其是喀斯特石漠化样地而言, 由于其独特的地质条件, 如岩石可溶、 土壤浅薄、 植被覆盖率低等, 使得其生境条件非常脆弱, 常伴随有临时性干旱发生。 此外, 喀斯特区样地土壤含水量与地表地下连通的水文网络存在着紧密的联系, 这使得植物的水分利用模式主要以土壤水和表层岩溶水为主, 形成了完全不同于非喀斯特地区的水文特征。 而作为非喀斯特背景区, 虽然其地质条件、 土壤类型、 水文特征等方面均与喀斯特背景区存在差异, 但由于与喀斯特背景区同处一小流域, 光、 热、 气、 水 (降

* 基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(编号: 2006CB403200)、 中国科学院知识创新工程方向性项目(kzcx2-yw-306)和创新团队国际合作伙伴计划和国家自然科学基金面上项目(No. 40672112)

第一作者简介: 葛永罡(1978-), 男, 博士研究生, 研究方向为环境地球化学, E-mail: geyonggangdocto@126.com

通讯作者: 王世杰, 男, 研究员, E-mail: wangshijie@vip.skleg.cn

收稿日期: 2007-10-31

雨)等生境上垫面条件均有一致性,而且其生境上同时存在一些与喀斯特背景区一致的植物种类,因此,在不考虑环境上垫面影响的情况下,植物的生长以及其 WUE 主要取决于其下垫面的土壤含水量条件。因此,通过对比研究两背景区从退化到非退化过程中土壤含水量与植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值的关系,可为喀斯特背景区的植物 WUE 评价以及更加科学确立该区植物局地水分利用模式提供一定参考价值。

1 材料和方法

1.1 研究区概况及样地描述

贵州省清镇市王家寨小流域(东经 $106^{\circ}20'5''\sim 106^{\circ}21'8''$,北纬 $26^{\circ}31'45''\sim 26^{\circ}30'27''$),是贵州高原面上一个典型的喀斯特丘原区,面积约 2.4km^2 ,洼地为

浅碟状。该区岩性为 T_{2g} 关岭组灰质白云岩,地貌为典型喀斯特峰丛洼地,峰丛与洼地的面积比为 1.65:1。海拔最高点 1451.1m,最低点 1275m,属亚热带季风湿润气候。年均温 14°C ,极端最低温 -5°C ,极端最高温 35°C ,年总积温 4700°C ;年辐射量 $361.2\text{kJ}/\text{cm}^2$;年降雨量 1200mm,雨热同季,降雨集中在 5-9 月份。在土地利用类型上,洼地中以耕地为主,土壤类型为黄壤和水稻土;峰丛以灌木林和草地为主,乔木主要为村寨附近的风水林,土壤类型为石灰土。由于人类活动的长期破坏造成峰丛区植被覆盖率低,基岩裸露率在 30% 以上,属于喀斯特石漠化生态系统(以下简称石漠化)(图 1)。

在小流域的东南面,分布有非喀斯特土山(以下简称土山)(图 1),土层相对较厚($>200\text{cm}$),土壤类型为黄壤,因人为干扰处于退化状态,植被以灌木灌丛为主,有少数乔木分布。

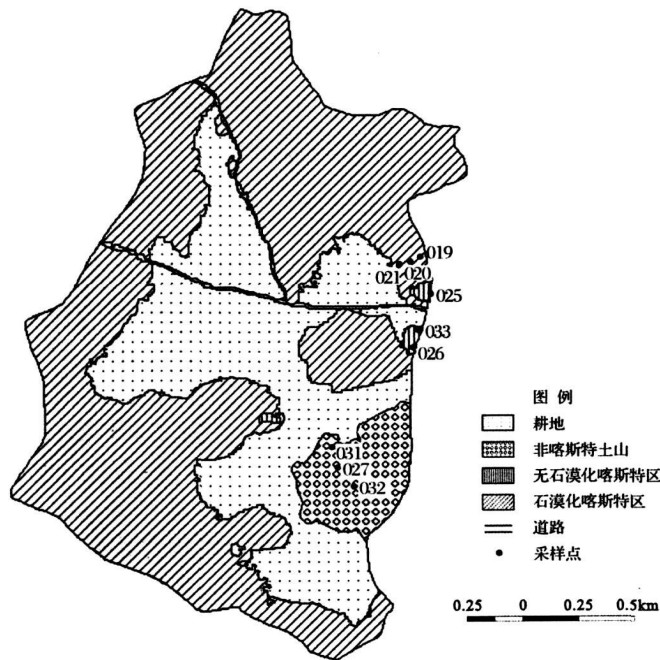


图 1 采样点分布图

Fig. 1 Distribution map of the sample plots

喀斯特背景区的石漠化和无石漠化研究样地设于小流域内不同峰丛坡面上,所选的石漠化样地基岩裸露率在 30%~50% 之间,土壤类型均为黑色石灰土,坡面也较为均一,土层浅薄且不连续地分布于岩体之间,土层厚度小于 40cm。无石漠化样地则选在村寨附近的风水林分布区内;另选取土山(即图 1 中的 031、027 及 032 样点)和位于清镇市红枫湖区域内的平坝农场非喀斯特次生林土山(以下简称次生林土

山)作为对比研究样地。在上述 4 个退化和非退化生态系统内分别划定 3 个样方(表 1),即在山高 162m 的石漠化和山高 61m 的土山坡面的典型地段按上、中、下坡各设置一个约 $5\text{m}\times 5\text{m}$ 样方;无石漠化与次生林土山由于受坡高不大条件限制,不能按上、中、下坡设置样方,因此在其坡面的典型位置各设置 3 个 $20\text{m}\times 20\text{m}$ 的样方,样地基本概况见表 1。

表 1 样地概况

Tab. 1 General situation of sample plots

样地位置 及类型	采样 点号	土壤厚度 /cm	植被 常见种	群落盖度 /%	群落高度 /m	凋落物厚度 /cm	坡位
王家寨石漠化喀斯特区	019	50	d, e, f, g, h, i	65	3.0	2.3	上坡
	020	50	a, b, c, d, e, f, g, h, i	70	2.8	2.5	中坡
	021	60	a, b, c, e, f, h, i	65	2.8	2.5	下坡
王家寨无石漠化喀斯特区	025	50	a, g, h, p	90	16	18	-
	026	50	a, g, h, p	90	16	18	-
	033	50	a, g, h, p	90	16	18	-
王家寨非喀斯特区(土山)	032	> 200	f, g, h, i, j, m, n, o	75	10	7	上坡
	027	> 200	d, e, f, g, h, i, j, m, n, o	80	10	8	中坡
	031	> 200	a, b, c, d, e, f, g, h	65	5	8	下坡
红枫湖非喀斯特区 (次生林土山)	034	> 200	a, b, c, d, j, k, l, m, n	90	20	10	-
	035	> 200	a, b, c, d, j, k, l, m, n	90	20	10	-
	036	> 200	a, b, c, d, j, k, l, m, n	90	20	10	-

注: a) 莎草 (*Cyperus rotundus*), b) 青蒿 (*Artemisia apiacea*), c) 毛轴蕨 (*Pteridium revolutum*), d) 粉枝莓 (*Rubus biflorus*), e) 火棘 (*Pyraeantha fortuneana*), f) 金丝桃 (*Hypericum monogynum*), g) 竹叶椒 (*Zanthoxylum planispinum*), h) 小叶鼠李 (*Rhamnus parvifolius*), i) 小果蔷薇 (*Rosa cymosa* Tratt), j) 油茶 (*Camellia oleifera*), k) 马尾松 (*Pinus massoniana*), l) 云南樟 (*Cinnamomum glanduliferum*), m) 杉木 (*Cunninghamia lanceolata*), n) 构树 (*Broussonetia papyrifera*), o) 喜树 (*Camptotheca acuminata*), p) 云贵鹅耳枥 (*Carpinus pubescens*)

1.2 研究方法

1.2.1 植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值测定

2006年9月晴朗天气条件下采集植物叶片样本。所取植物为本样地中分布广泛的物种,于树冠中上层4个方位选择充分伸展的新鲜叶片,每一个样点上所采集的植株数量不低于3株,每个植株采集3~5片叶片,装入透气性良好的纸质信封带回实验室进行前处理,最后在MAT-252型质谱仪上测定 $\delta^{13}\text{C}$ 值^[19],结果见图2图3

1.2.2 土壤含水量测定

为说明不同背景区从退化到非退化过程中土壤含水量变化的趋势,特选取2006年9月一场30mm降雨过后的7天(9月7日-13日),在每个样地用土钻钻取不同土层(0~5cm 5~10cm 10~20cm 20~30cm 30~40cm 40~50cm)的土壤(当土厚<50cm时,取至基岩),每个取样点每层土样3个重复。用烘干称重法测定土壤质量含水量,结果见图4

数据统计分析采用SPSS软件的ANOVA和MEAN模块完成

2 结果与讨论

2.1 不同背景区的植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布

图2示不同背景区各样地间所测得16种植物(参见表1)叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值的分布趋势。植物叶片整体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化范围在-25.60‰~-32.68‰之间,属于典

型的C3植物,其中,石漠化样地小果蔷薇的WUE最高($\delta^{13}\text{C} = -25.60\text{‰}$),而次生林土山样地莎草的WUE则最低($\delta^{13}\text{C} = -32.65\text{‰}$)。

由于本研究区内分布有从退化到非退化过程的喀斯特与非喀斯特背景区,因此,植物的WUE会随着生境的不同而产生不同的变化。结合表1和图2从植物不同类型的显著性差异分析来看,喀斯特背景区石漠化样地植物叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在-25.60‰~-29.77‰之间;无石漠化样地在-28.52‰~-30.74‰之间,石漠化与无石漠化样地上的植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值存在显著性差异($P_{\text{群}} < 0.001$ $P_{\text{灌}} < 0.001$)而非喀斯特背景区土山样地植物叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在-26.17‰~-30.11‰之间;次生林土山样地在-27.68‰~-32.68‰之间,土山与次生林土山样地上的植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值也存在显著性差异($P_{\text{群}} < 0.001$ $P_{\text{灌}} < 0.001$ $P_{\text{乔}} < 0.001$)。这说明了植物叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 值具有随着从退化到非退化过程中不断降低的趋势,并且喀斯特背景区植物叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 值总体上也要高于非喀斯特背景区。

2.2 同一坡面不同坡位间植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化

由图3可看出,石漠化样地上,中、下坡的植物叶片的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布在-25.60‰~-28.44‰、-26.13‰~-29.77‰、-26.10‰~-29.47‰之间。上坡、中坡的植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值随着坡位的不同而存在显著差异,上坡的植物WUE要显著高于中坡的植物WUE;而土山样地上,中、下坡的植物叶片其 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布在-26.17‰~-29.05‰、-26.29‰~-29.46‰、

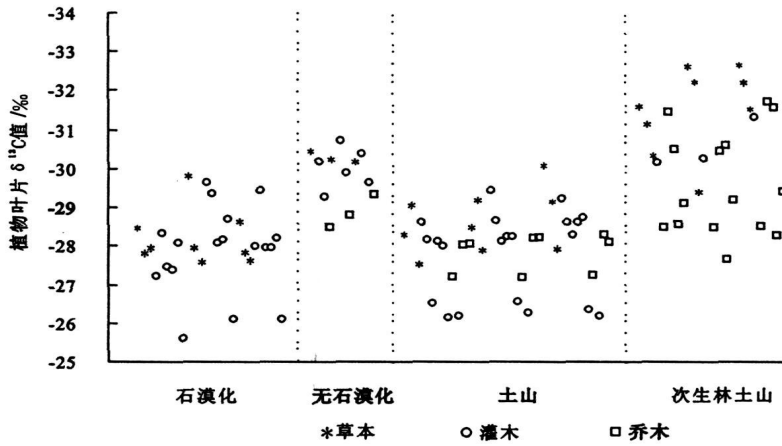


图 2 不同样地植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值散点图

Fig. 2 The scatter distribution of $\delta^{13}\text{C}$ values of plant leaves at different sample plots

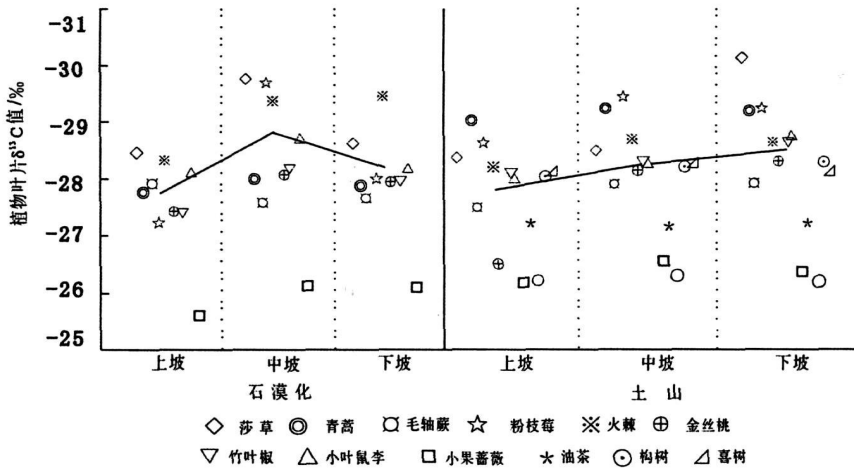


图 3 不同坡位间植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值

Fig. 3 $\delta^{13}\text{C}$ values of plant leaves at different slope position

- 26.2‰~ - 30.1‰之间, $\delta^{13}\text{C}$ 值总体上存在随着坡位的不同, 其植物 WUE 逐渐趋负分布趋势, 但差异不显著。

2.3 不同背景区土壤含水量的变化趋势

图 4 示不同背景区各样地土壤 7 天内的变化情况。从中我们可以看出, 喀斯特背景区石漠化样地的失水速度最快, 尤其是在与该样地植物生长密切相关的 0~ 20cm 厚度范围内, 土壤的水分蒸发量较大, 含水量也较低, 并且其上、中、下坡的土壤含水量并不表现出规律性, 中坡的土壤含水量要大于上坡和下坡; 无石漠化样地由于受土壤厚度条件限制, 其土壤含水量低于次生林土山; 土山样地的土壤含水量也存在较大变化, 而且其上、中、下坡的含水量呈现逐渐递增的

趋势; 次生林土山的土壤含水量变化幅度最小, 说明生境条件对土壤水分保持很有利。总之, 各样地间土壤含水量存在次生林土山 > 无石漠化 > 土山 > 石漠化样地的分布特点。

2.4 不同背景区土壤含水量与植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值的关系

有研究表明, 植物适应土壤水分变化而提高其 WUE 的机制在于当土壤逐渐变干时, 处于干土中的根系脱水产生脱落酸 (ABA)、蛋白质等信号, 这些信号随木质部水流移动到地上部发挥作用。随土壤水分逐渐减少, 越来越多的根系处于脱水状态, 信号强度增加, 从而使植物叶片气孔导度受到抑制以及叶肉细胞水分 CO_2 的交换减少, 植物因此而提高 WUE 来调节其生长和发育 [20~ 22]。

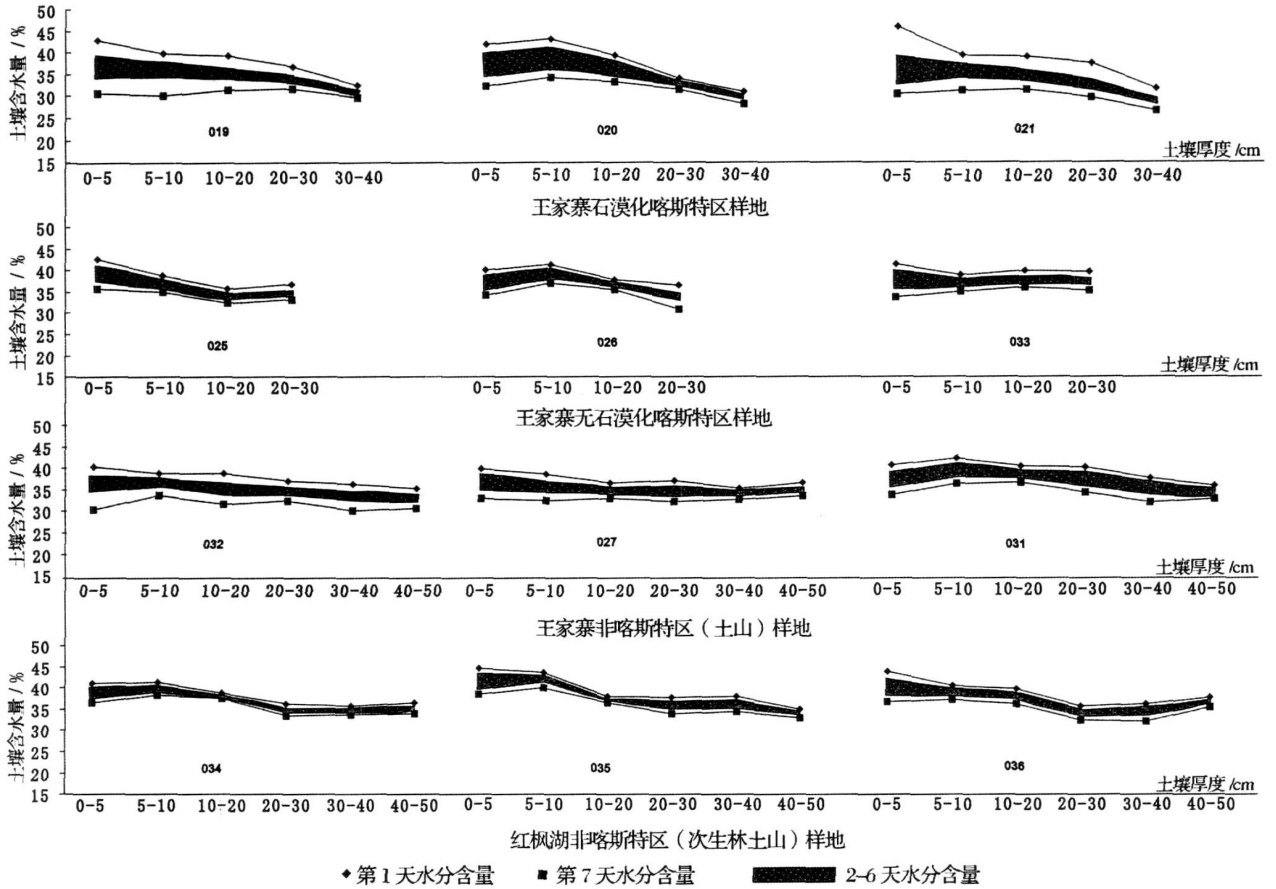


图 4 雨后一周内喀斯特与非喀斯特采样点土壤含水量随土壤深度变化对比曲线

Fig. 4 Soil moisture curves along with depth at karst and non-karst sampling plots in 7 days after rainfall

图 5 示喀斯特背景区和非喀斯特背景区土壤含水量与植物叶片 $\delta^{13}C$ 值的变化趋势,从中可以看出,在不同背景区从退化到非退化过程中土壤含水量逐

渐增大,而植物叶片的 $\delta^{13}C$ 值则与之呈现负相关关系,即土壤含水量越大,植物的 WUE 就越小

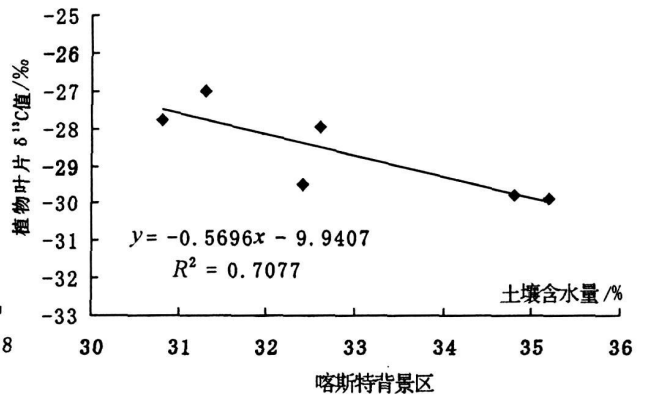
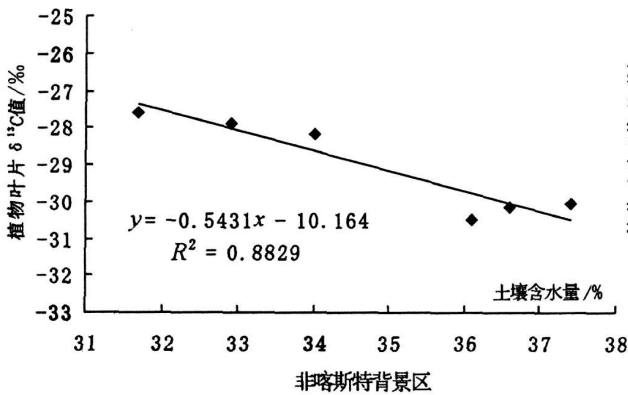


图 5 不同背景区植物叶片 $\delta^{13}C$ 值随土壤含水量的变化趋势

Fig. 5 Changing tendency of $\delta^{13}C$ value of plant leaves along with soil moisture under different background

2.5 不同坡位土壤含水量与植物叶片 $\delta^{13}C$ 值的关系
有研究认为^[23,24],当土地利用方式相对一致时,由于大气蒸发力沿坡向下递减,以及坡面径流的沿程

入渗和侧向水流(饱和、非饱和土壤水分)等的综合作用,沿坡面向下土壤水分逐渐增加。荒漠流域的研究结果也表明,位于坡脚处的植物叶片 $\delta^{13}C$ 值最低,位

于坡顶处的植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值最高,这是由于坡脚处土层较厚,土壤含水量高,坡顶处土层较薄土壤含水量低,从而使植物在土壤含水量较高条件下具有较低的水分利用效率。

结合表 1 图 3 和图 4 我们可以看出,在石漠化样地的不同坡位间土壤厚度相差并不大,表现出较大的随机性^[25],并不像其它常态地貌那样具有自坡顶到坡脚依次有规律性的增加。由于存在喀斯特地表地下双层空间结构,地形地貌复杂多变,小生境类型多样,加上存在显著的人为加速土壤侵蚀过程,使其物理侵蚀速率大于成土速率^[26],因此其坡面土壤水分运移也较其它地区复杂。在植被类型相对一致、坡面较为均一的条件下,坡位对土壤水分沿坡面的分布影响较小^[27],因此,不同坡位间土壤含水量变化并无规律性,植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值也不随着坡位呈现出显著的规律性变化。然而在石漠化样地调查中发现,由于其上、中坡微地形存在差异,中坡的坡面呈现“凹”状保土坡形,这有利于土壤保持水分,图 4 也显示出中坡的土壤含水量最高,从而使该坡位植物的 WUE 显著低于其它坡位;而土山样地的植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值虽然表现出随坡位自上下趋负分布,并且从图 4 可以看出,其土壤含水量也随坡位自上而下而存在逐渐增大的变化,但这些变化并不存在显著性的差异。究其原因,这是由于该样地存在人类活动的干扰,植被遭受破坏,土壤侵蚀强度加大,是一种不稳定的土壤-地形植被群落结构,导致土壤水分在不同坡位间的分布强度受到影响。因此,其植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值沿坡位的分布趋势不如其它非喀斯特地区那么显著。

无石漠化和次生林土山样地的土壤含水量表现有所不同。无石漠化样地,因为属村寨风水林,小生境均质性较好,土壤养分充足,加上无人为的干扰破坏,只存在自然的土壤侵蚀过程,而且其表层岩溶带具有明显的二元结构,林间枯枝落叶垫积层充填在上、下部裂隙中,从而延缓降水下渗,小生境呈现潮湿、荫蔽等多样,具有很强的持水性,保水条件优于石漠化样地。样地植被很好地利用了这一特点,植被除了可利用浅薄但肥力高的表层岩溶带上部土壤的水分养分外,还能有效地利用下部表层带土壤的水分养分,使得该区植物具备相对较高的多层次生态空间资源可利用性的特点^[28]。但由于其土壤厚度条件并不优越,样地土壤含水量虽高于石漠化样地,但却显著低于生境条件更为优越的次生林土山的土壤含水量,这也从一个侧面揭示了次生林土山植物具有较低 WUE 的原因。

在常态非喀斯特地貌中,由于土壤含水量都呈现

上坡 < 中坡 < 下坡的规律变化,因此,植被恢复时通常在山顶种植抗逆性较强的草本或灌木,在坡面的中下部配置对水分需求较多的植被^[29,30]。而本研究的石漠化区,土壤含水量和植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值并不随坡位表现出规律性的变化,因此,植被恢复宜在上坡和下坡种植草本或灌木,在中坡种植需水较多的植物。

3 结 论

本文着重从土壤含水量的变化方面着手,分别阐述了小流域内喀斯特与非喀斯特背景区植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值的特点。随着土壤含水量逐渐增大,植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值总体上存在以下顺序:① 喀斯特背景区:石漠化 > 无石漠化;② 非喀斯特背景区:土山 > 次生林土山;③ 喀斯特与非喀斯特背景区对比:喀斯特 > 非喀斯特。就喀斯特生态系统的水、土、植被而言,它是一种脆弱的生态环境,土壤保水能力弱,即使是生境条件较好的无石漠化样地,由于其土壤厚度较小,使之也处于脆弱的状态中,随时有向石漠化方向发展的趋势;而次生林土山样地生态结构稳定,水、土、植被配置和谐,尤其是土壤厚度较大,因此都比较有利于水分蓄积以及植被的生长。这也说明在喀斯特背景区,尤其是在石漠化样地,随着生境条件限制性因子的增多,植物为了取得适生的权利,依靠其独特的小生境条件及类别,表现出更高的 WUE。

参考文献

- [1] Francey R J, Farquhar G D. An explanation of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ variations in tree rings [J]. *Nature*, 1982, 295: 28-31.
- [2] Farquhar G D, Richards R A. Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes [J]. *Aus J Plant physiol*, 1984, 11: 539-552.
- [3] O'Leary M H. Carbon isotope in photosynthesis [J]. *Bio-science*, 1988, 38(5): 497-502.
- [4] Bonal D, Sabatier D, Montpied P, et al. Interspecific variability of $\delta^{13}\text{C}$ among trees in rainforests of French Guiana: functional groups and canopy integration [J]. *Oecologia*, 2000, 124: 454-468.
- [5] 渠春梅, 韩兴国, 苏波. 云南西双版纳片断化热带雨林植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值的特点及其对水分利用效率的指示 [J]. *植物学报*, 2001, 43(2): 186-192.
- [6] 王国安, 韩家懋, 刘东生. 中国北方黄土区 C-3 草本植物碳同位素组成研究 [J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2003, 33(6): 550-556.
- [7] Hamerlynck E P, Huxman T E, McAuliffe J R, et al. Carbon isotope discrimination and foliar nutrient status of *Larrea tridentata* (creosote bush) in contrasting Mojave Desert soils [J]. *Oecologia*, 2004, 138: 210-215.
- [8] Chen S P, Bai Y F, Lin G H, Han X G. Variations in lifeform

- composition and foliar carbon isotope discrimination among eight plant communities under different soil moisture conditions in the Xilin River Basin, Inner Mongolia, China [J]. *Ecol Res*, 2005, 20: 167–176.
- [9] Ma J Y, Chen T, Qiang W Y, et al. Correlations Between Foliar Stable Carbon Isotope Composition and Environmental Factors in Desert Plant *Reaumuria soongorica* (Pall.) Maxim. J [J]. *Int Plant Biol*, 2005, 47 (9): 1065–1073.
- [10] Guo G M, Xie G D. The relationship between plant stable carbon isotope composition, precipitation and satellite data, Tibet Plateau, China [J]. *Quat Int*, 2006, 144: 68–71.
- [11] Zheng S X, Shanguan Z P. Foliar $\delta^{13}\text{C}$ values of nine dominant species in the Loess Plateau of China [J]. *Photosynthetic*, 2007, 45 (1): 110–119.
- [12] 刘树华. 沙漠人工植被和流动沙丘的小气候特征 [J]. *干旱区地理*, 1994, 3(1): 16–22.
- [13] 黄小澜, 丁瑞兴. 亚热带秋林区茶林复合系统小气候特征的研究 [J]. *生态学报*, 1991, 11(1): 7–12.
- [14] 王正菲. 森林气象学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1985: 72–80.
- [15] 彭少麟. 恢复生态学植被重建 [J]. *生态科学*, 1996, 15(2): 26–31.
- [16] 刘树华, 辛国君, 陈荷生. 沙漠人工植被和流动沙丘的小气候特征观测研究 [J]. *干旱区地理*, 1994, 17(1): 16–22.
- [17] 常杰, 潘晓东. 青冈常绿阔叶林内的小气候特征 [J]. *生态学报*, 1999, 19(1): 6–11.
- [18] 马友鑫, 刘玉洪, 张克映. 西双版纳热带雨林片断小气候边缘效应的初步研究 [J]. *植物生态学报*, 1998, 22(3): 250–255.
- [19] 黎廷宇, 王世杰, 郑乐平. 黔中碳酸盐岩和非碳酸盐岩上覆土壤 CO_2 来源的对比研究 [J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2001, 31(9): 777–782.
- [20] 王学臣, 任海云, 姜成后. 干旱胁迫下植物根系与地上部间的信息传递 [J]. *植物生理学通讯*, 1992, 28(6): 397–402.
- [21] Gowing D J, Davies W J, Joces H G. A positive root-sourced signal as an indicator of soil drying in apple [J]. *Journal of Experimental Botany*, 1990, 41: 1535–1540.
- [22] Tardieu F, Zhang J, Davies W J. What information is conveyed by an ABA signal from maize roots in drying field soil [J]. *Plant, Cell and Environment*, 1992, 15: 185–191.
- [23] Peiuelas 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 $\delta^{15}\text{N}$ [J]. *Acta Oecologica*, 1999, 20(2): 119–123.
- [24] Qiu Y, Fu B, Wang J, et al. Soil moisture variation in relation to topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau, China [J]. *J Hydrol*, 2001, 240: 243–263.
- [25] 高化瑞, 朱守谦. 乌江流域岩溶山地立地因子分析 [C] / 朱守谦, 主编. 喀斯特森林生态研究 (III). 贵阳: 贵州科技出版社, 2002, 49–59.
- [26] 李阳兵, 邵景安, 王世杰, 等. 岩溶生态系统脆弱性研究 [J]. *地理科学进展*, 2006, 25(5): 1–9.
- [27] 陈洪松, 傅伟, 王克林. 桂西北岩溶山区峰丛洼地土壤水分动态变化初探 [J]. *水土保持学报*, 2006, 20(4): 136–139.
- [28] 李阳兵, 王世杰, 李瑞玲. 不同地质背景下岩溶生态系统的自然特征差异 [J]. *地球与环境*, 2004, 32(1): 9–16.
- [29] 马祥华, 白文娟, 焦菊英. 黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复中的土壤水分变化研究 [J]. *水土保持通报*, 2004, 24(5): 19–23.
- [30] 李军健, 吕刚, 黄建国. 紫色土旱坡地土壤水分时空分布特征 [J]. *西南农业大学学报 (自然科学版)*, 2006, 28(1): 161–164.

Correlations between soil moisture and $\delta^{13}\text{C}$ value of plant leave under karst and non-karst backgrounds

— A case study in Wangjiazhai basin, Qingzhen city, Guizhou province

GE Yong-gang^{1,2}, WANG Shi-jie¹

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550002, China; 2. The Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract The soil moisture and $\delta^{13}\text{C}$ value of plant leave from 16 plant species under different backgrounds (karst and non-karst) are determined by analyzing the correlation between them. The plant leaves and soils are sampled from a small catchment basin located at Wangjiazhai in Qingzhen city, Guizhou province. By comparing samples from different plots whether under degrading process to non-degrading backgrounds, a significant negative correlation between the soil moisture and $\delta^{13}\text{C}$ value of plant leaves is showed. The correlation enhances with the increase of the soil moisture under both karst and non-karst backgrounds. With the increase of soil moisture, $\delta^{13}\text{C}$ value of plant leaves under karst desertification background does not exhibit regular tendency at different slope positions, while those under non-karst background show a decreasing tendency along with the slope position downwards. These results demonstrate adaptive mechanism between the $\delta^{13}\text{C}$ value of plant leave and the soil moisture conditions under different eco-environments, and also reflect the quick and sensitive response of plants to changes of soil moisture in karst desert plot.

Key words $\delta^{13}\text{C}$ value of plant leaves; water use efficiency; soil moisture; karst area; non-karst area