

# 艾比湖湿地主要盐生植物叶片稳定碳同位素组成研究<sup>\*</sup>

王银山<sup>1,2</sup>, 于恩涛<sup>3</sup>, 何雪芬<sup>1,2</sup>, 何静<sup>1,2</sup>, 徐敏<sup>1,2</sup>, 吕光辉<sup>1,2,4</sup>

(1. 新疆绿洲生态重点实验室, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 3. 中国科学院 大气物理研究所, 北京 100029; 4. 新疆大学 干旱生态环境研究所, 乌鲁木齐 830046)

**摘要:**该文分析了艾比湖湿地 13 科、25 属的 28 种主要盐生植物的稳定碳同位素组成。24 种 C<sub>3</sub> 植物的 <sup>13</sup>C 分布范围为 - 25.67‰~ - 29.59‰, 平均值为 - 27.85‰, 比全球范围调查的植物平均 <sup>13</sup>C 值 (- 28.74‰) 明显偏正。4 种 C<sub>4</sub> 植物的 <sup>13</sup>C 为 - 16.63‰~ - 17.39‰, 平均值 - 16.88‰, 均属于藜科植物, 分布的科较集中。总体上藜科植物适应干旱的能力较其它科植物适应干旱的能力强。灌木/半灌木植物的 <sup>13</sup>C 值为 - 27.69‰。灌木/半灌木植物的水分利用效率最高, 明显高于一年生草本植物, 多年生草本次之。说明盐生灌木/半灌木比一年生草本更适宜于干旱、盐生生境。此外, 乔木的 <sup>13</sup>C 值 (- 28.16‰) 并不是最高, 可能是采集物种较少或物种间遗传上的差异造成的。6 月和 8 月的 <sup>13</sup>C 值比较, 总体来看 13 种植物 6 月 <sup>13</sup>C 值明显高于 8 月, 表明 6 月到 8 月的生存环境状况或水分条件呈变好趋势。

**关键词:**艾比湖湿地; 盐生植物; 稳定碳同位素; 水分利用效率

中图分类号: S945.12

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)05-0245-06

## A Study on Stable Carbon Isotope Composition of Main Halophytes in Ebinur Lake Wetland

WANG Yin-shan<sup>1,2</sup>, YU En-tao<sup>3</sup>, HE Xue-fen<sup>1,2</sup>, HE Jing<sup>1,2</sup>, XU Min<sup>1,2</sup>, LÜ Guang-hui<sup>1,2,4</sup>

(1. Xinjiang Key Laboratory of Oasis Ecology, Urumqi 830046, China; 2. College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 3. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 4. Institute of Arid Ecology & Environment, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** The stable carbon isotopes (<sup>13</sup>C) compositions of 28 plant species growing in Ebinur Lake Wetland in Xinjiang, China were measured. The results showed that 24 species were identified as C<sub>3</sub> plant, and 4 species were categorized as C<sub>4</sub> plant. The <sup>13</sup>C values of C<sub>3</sub> species range from - 25.67‰~ - 29.59‰ and the average <sup>13</sup>C value is - 27.88‰, which is less negative than investigated results on a global scale (- 28.74‰); the <sup>13</sup>C values of C<sub>4</sub> species range from - 16.63‰~ - 17.39‰ and the average <sup>13</sup>C value is - 16.88‰. Four kinds of C<sub>4</sub> plants are classified as Chenopodiaceae, the distribution is centralized. In general, the ability of Chenopodiaceae plant to adapt arid environment is stronger than other families. The <sup>13</sup>C values of shrubs are - 27.36‰, which demonstrated the highest of water use efficiency (WUE), the <sup>13</sup>C values of shrubs are less negative than these of grasses significantly, which are herbaceous plants, perennial plants. It indicates that shrubs had stronger adaptability to arid and saline environments than grasses. In addition, the average <sup>13</sup>C value of arboreal plants (- 28.16‰) is not the highest. Through comparing with <sup>13</sup>C value, on the whole, <sup>13</sup>C values of 13 species in June obviously were higher than that in August, which indicates that survival environment and moisture condition became good tendency from June to August.

**Key words:** Ebinur Lake wetland; halophytes; stable carbon isotopes; water use efficiency (WUE)

\* 收稿日期: 2009-04-09

基金项目: 新疆教育厅重点项目基金 (XJ EDU2005106)

作者简介: 王银山 (1982 - ), 男, 新疆奇台人, 在读硕士研究生, 研究方向为绿洲生态学。E-mail: xjwys2008@126.com

通信作者: 吕光辉 (1963 - ), 男, 山东人, 教授, 博士生导师, 主要从事绿洲生态学研究。E-mail: LER@xju.edu.cn

植物稳定碳同位素组成信息已揭示了植物生理生态研究中,尤其是与光合、水分代谢有关的许多问题<sup>[1]</sup>。目前,稳定碳同位素示踪技术已经广泛应用于全球变化、地球科学和植物生理生态学的研究之中<sup>[2-4]</sup>。该技术从新的角度探讨了生物的生理代谢过程,以及生命系统与非生命系统之间的物质流动。植物叶片中稳定碳同位素的自然丰度和叶片光合作用、呼吸作用等生物化学反应密切相关。植物叶片<sup>13</sup>C 值可以用来间接指示植物的长期水分利用效率,该理论已被许多研究验证<sup>[2,5-10]</sup>。由于植物叶片<sup>13</sup>C 值包含了各种各样的环境信息,它的优点是易于进行横向及纵向的验证和对比<sup>[11]</sup>,因而该方法现已成为一种公认的估计植物长期水分利用效率的可靠途径<sup>[12]</sup>。植物叶片的<sup>13</sup>C 值与其水分利用效率呈一定程度的正相关,<sup>13</sup>C 值越大,植物水分利用效率越高<sup>[13-16]</sup>。面对当前世界范围内水分严重短缺的现实,如何根据生境选择合适的物种是当前植被建设和恢复工作中一个十分迫切和重要的问题<sup>[1]</sup>。

艾比湖湿地自然保护区由于土壤含盐量不断上升和地下水位下降,原有的植被急剧衰败,并逐渐为盐生植被所取代<sup>[17]</sup>。该类植物生长的环境,由于具有蒸发/降水比大、土壤严重盐渍化的显著特点,导致可利用水资源匮乏,表层土壤盐分大量富集,使干旱和盐胁迫成为影响盐生植物生存、生长与发育的主要因素。因此,目前保护盐生植物对维持当地的生态环境稳定具有重要作用。通过研究艾比湖湿地不同盐生植物叶片的稳定碳同位素,以期进一步判断盐生植物的水分利用效率高,为保护和恢复艾比湖湿地的生态环境选择植物物种提供实测数据,以及为维持当地的生态系统的稳定性提供依据。

## 1 研究区概况

艾比湖湿地自然保护区位于新疆维吾尔自治区境内,是准噶尔盆地西部最低洼地和水盐的汇集中心。保护区成立于 2000 年,现为自治区级重点保护区。它东西长 102.63 km,南北宽 72.3 km,总面积 2 670.85 km<sup>2</sup>。地跨精河县、博乐市和阿拉山口口岸区,92%在精河县内。地理坐标为东经 82°36' - 83°50',北纬 44°30' - 45°09',平均海拔 298 m。2000 年,艾比湖水域面积为 890 km<sup>2</sup>(2004 年陆地卫星数据资料)。2002 年,保护区被列入“中国重要湿地”名录。保护区年日照时数约 2 800 h,年均温 6~8℃,月最高气温 28℃,最低气温低于 -17℃,年积温 3 000~3 500℃。年均降水 90.9 mm,蒸发量高达 3 790 mm,属典型的大陆性干旱气候。由于正处于阿拉山口大

风通道上,保护区年均风速 6 m/s,年均大风(>17 m/s)日数高达 165 d,瞬间最大风速达 55 m/s<sup>[18]</sup>。该地区的成土母质有湖积物、冲积-湖积物、冲积物、洪积物、坡积-残积物、风积物等多种类型,土壤可划分为水成土、半水成土、盐碱土、漠土、初育土 5 个土纲,区内典型的地带性土壤为灰漠土、灰棕土和风沙土,隐域性土壤为盐泽土和草甸土<sup>[36]</sup>。

研究区的主要植物有梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、胡杨(*Populus euphratica*)、芦苇(*Phragmites australis*)、柽柳(*Tamarix ramosissima*)、盐豆木(*Halimodendron halodendron*)、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、小獐茅(*Aeluropus littoralis*)、苦豆子(*Sophora alopecuroides*)、盐穗木(*Halostachys caspica*)、盐节木(*Halocnemum strobilaceum*)、盐角草(*Salicornia europaea*)、盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、碱蓬(*Suaeda pterantha*)、白麻(*Poacynum pictum*)等<sup>[19]</sup>。

## 2 研究方法

研究材料分别于 2008 年 6 月 22 日和 8 月 25 日采自艾比湖湿地盐生植物分布区,两次分别采集了 13 种和 28 种植物。采样范围跨越 44°36' - 44°37' N,83°36' - 83°32' E。采样点均选择在平坦、开阔、距离村落较远的地区,以保证生长的环境有充足的光照,同时尽可能避免人为活动对其同位素组分的影响。采集样品时遵从对不同种植物广泛采集的策略,所采样品均为正常生长的植物叶片。选取采样物种,在所选每类植物种中,随机选择 3~5 株独立生长的植物个体,采集叶片样品,采集部位尽量一致,四周采集混合,采集后放入信封,带回实验室分析测定。样品经洗净自然晾干后,置于 70℃ 烘箱中烘至恒量,粉碎至均匀后,过 100 目筛制成供试样品,在过量 O<sub>2</sub> 中完全燃烧并收集 CO<sub>2</sub><sup>[20]</sup>,然后在 DeltaPlus 稳定同位素质谱仪上测量碳同位素值(兰州大学西部环境教育部重点实验室),分析结果均相对于国际标准 PDB<sup>[21]</sup>分析精度 ±0.2%,<sup>13</sup>C 值依据下面公式进行计算: $^{13}C = (R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}} - 1) \times 1000$ 。

## 3 结果与分析

在本次研究中,采集和分析该地区分属于 13 科、25 属的 28 种盐生植物。藜科的植物占有比例最高,有 9 种,豆科植物 4 种,柽柳科、夹竹桃科各 3 种,其余科属均为 1 种植物(表 1)。

由于植物间碳同位素组成的普遍差异,碳同位素比值可用来区分植物不同的光合途径类型已被接受<sup>[21-23]</sup>。已确定在陆生植物中, $C_3$ 植物的 $^{13}C$ 值为 $-20\text{‰} \sim -35\text{‰}$ ,平均值为 $-26\text{‰}$ ; $C_4$ 植物为 $-7\text{‰} \sim -15\text{‰}$ ,平均值为 $-12\text{‰}$ <sup>[12,24-26]</sup>。所测定的 28 种盐生植物中,24 种  $C_3$  植物的稳定碳同位素值为 $-25.67\text{‰} \sim -29.59\text{‰}$ (表 1),平均值为 $-27.85\text{‰}$ ,这与国内其他人对荒漠植物的研究结果基本一致。新疆阜康典型荒漠  $C_3$  植物叶片碳同位素值 $-23\text{‰} \sim -29\text{‰}$ ,主要在 $-27\text{‰}$ 附近波动<sup>[11]</sup>。准噶尔盆地 34 种荒漠  $C_3$  植物的 $^{13}C$ 值分布区间为 $-23.27\text{‰} \sim -30.10\text{‰}$ ,平均值为 $-26.77\text{‰}$ <sup>[30]</sup>。河西走廊中部沙漠中几种  $C_3$  植物叶片或同化枝的 $^{13}C$ 为 $-25.75\text{‰} \sim -29.71\text{‰}$ <sup>[34]</sup>。新疆策勒站绿洲荒漠过渡带  $C_3$  植物 $^{13}C$ 在 5-9 月均为 $-28.55\text{‰} \sim -25.19\text{‰}$ <sup>[35]</sup>。然而,与全球范围调查的植物碳同位素平均值 $-28.74\text{‰}$ <sup>[27]</sup>相比较,艾比湖湿地盐生植物的稳定碳同位素值明显偏正。一方面,由于该地区年均降水较少,不足 100 mm,蒸发强烈,高达 3 790 mm<sup>[18]</sup>,当降水量不足,空气湿度和土壤含水量降低时,植物为了减少水分的蒸发,往往会关闭一部分气孔,引起植物叶片内部  $CO_2$  浓度下降。如果此时植物光合作用速率仍维持正常水平,植物对  $CO_2$  的识别能力势必降低,从而使得叶片碳同位素值升高<sup>[28]</sup>。另一方面, Farquhar 等<sup>[2]</sup>在综述盐分对 $^{13}C$ 值的影响中,认为无论是盐生植物还是非盐生植物,其 $^{13}C$ 均随着盐度的增加而减小,即植物的 $^{13}C$ 随盐度的增加而增大,该地区土壤盐分较高<sup>[33]</sup>,也是造成植物 $^{13}C$ 值趋于偏正的原因。

本次研究中,4 种  $C_4$  植物的稳定碳同位素值在 $-16.63\text{‰} \sim -17.39\text{‰}$ 之间变化(表 1),平均值为 $-16.88\text{‰}$ 。这不在上面所提及的  $C_4$  植物 $^{13}C$ 值范围之内,但是根据唐海萍<sup>[29]</sup>研究中  $C_4$  植物的 $^{13}C$ 值为 $-9\text{‰} \sim -18\text{‰}$ ,表明这 4 种藜科植物均属于  $C_4$  植物。同时也表明了  $C_4$  植物分布的科极其集中,这与他们在内蒙古研究的结果相似。他们认为, $C_4$  植物较集中于禾本科和藜科,并且属也集中,而在菊科、豆科中  $C_4$  植物出现的频率极少甚至没有。在后来陈拓<sup>[11]</sup>和孙惠玲等<sup>[30]</sup>的研究中也证明了上述结论。

由图 1 和表 1 可知,所测定的盐生植物的稳定碳同位素值分布区间较为集中,主要集中在 $-25\text{‰} \sim -29\text{‰}$ 。其中, $C_3$ 植物中禾本科的芦苇水分利用效率最高,其 $^{13}C$ 值为 $-25.67\text{‰}$ ,豆科的疏叶骆驼刺水分利用效率最低,其 $^{13}C$ 值为 $-29.59\text{‰}$ ,表明

疏叶骆驼刺生存的环境优越于芦苇生存的生境,芦苇的生存受到严重的环境胁迫。 $C_4$ 植物中滨藜的水分利用效率最高,其 $^{13}C$ 值为 $-16.63\text{‰}$ ,梭梭的水分利用效率最低,其 $^{13}C$ 值为 $-17.39\text{‰}$ 。总体上藜科植物适应干旱的能力较其它科植物适应干旱的能力强。

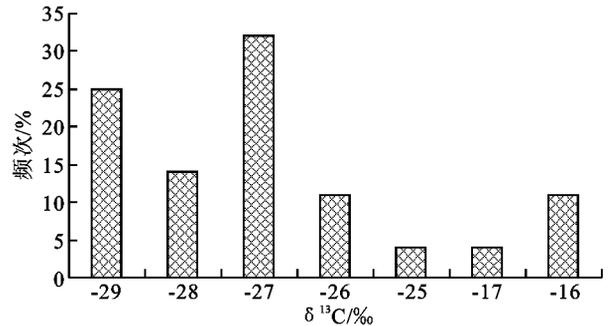


图 1 研究区盐生植物碳同位素分布直方图

从表 2 可以看出,对于  $C_3$  植物来说,灌木/半灌木、乔木和一年生草本植物 $^{13}C$ 值存在很大差异,多年生草本与灌木/半灌木基本一致。由于叶片 $^{13}C$ 值能指示植物长期水分利用效率的高低,叶片 $^{13}C$ 值越大,植物水分利用效率越高<sup>[31]</sup>,所以在本研究中,灌木/半灌木植物的水分利用效率最高,明显高于乔木,一年生草本最低。

这与孙惠玲等<sup>[30]</sup>测定的灌木/半灌木植物叶片 $^{13}C$ 值结果一致,说明艾比湖湿地的盐生灌木/半灌木比一年生草本更适宜于干旱、盐生生境,也就是说这类植物更易于得到进化。Ehleringer 等<sup>[12]</sup>发现,荒漠植物中,植物的生命越长,叶片 $^{13}C$ 值越高。这可以从环境适应的角度作以解释,由于生长时间长的植物经历的干旱胁迫次数相应地多,为了适应干旱环境,植物不断地调节体内的生理生化机能,甚至是可能从遗传上也做出相应的调节,因而在同样的干旱环境中,生命长的植物水分利用效率可能相应地高<sup>[32]</sup>。然而本研究中乔木的 $^{13}C$ 值不是最高,与陈拓等<sup>[11]</sup>的研究结果存在很大的差异,可能是采集物种较少或物种间遗传上的差异造成的,与上面的阐述观点相悖。不过,这有待于进一步的证实。

本研究中多年生草本的 $^{13}C$ 值明显高于一年生草本,说明多年生草本比一年生草本水分利用效率高,竞争占优势,更适宜在该生境中生存,这可能与所测定的多年生草本多于一年生草本植物有关,不过这也恰恰证实了多年生植物在当地更占优势。这与孙惠玲等<sup>[30]</sup>的研究结果相反,准噶尔盆地荒漠植物中一年生草本植物的 $^{13}C$ 值( $-26.84\text{‰}$ )高于多年生草本植物的 $^{13}C$ 值( $-27.01\text{‰}$ )。并且其研

究中  $^{13}\text{C}$  值明显高于本研究中的多年生草本和一年生草本的  $^{13}\text{C}$  值,灌木/半灌木的  $^{13}\text{C}$  值 (- 26.48%) 也明显偏正,说明准噶尔盆地荒漠植物的水分利用效率普遍较高,更耐干旱。

表 1 研究区植物的稳定碳同位素比值及其光合作用类型

科名	种名	生活型	$^{13}\text{C}_{\text{mean}} \pm \text{SE}$	光合型
藜科	梭梭 <i>Haloxylon ammodendron</i>	D,P,Ar	- 17.39 $\pm$ 1.09	C <sub>4</sub>
	小叶碱蓬 <i>Suaeda microphylla</i>	D,P,Sh	- 16.85	C <sub>4</sub>
	合头草 <i>Sympegma regelii</i>	D,P,Sh	- 16.67	C <sub>4</sub>
	滨藜 <i>Atriplex patens</i>	D,A	- 16.63	C <sub>4</sub>
	盐穗木 <i>Halostachys caspica</i>	D,P,Sh	- 27.65 $\pm$ 2.00	C <sub>3</sub>
	盐爪爪 <i>Kalidium foliatum</i>	D,P,Sh	- 28.12	C <sub>3</sub>
	盐节木 <i>Halocnemum strobilaceum</i>	D,P,Sh	- 26.14	C <sub>3</sub>
	盐角草 <i>Salicornia europaea</i>	D,A	- 29.52	C <sub>3</sub>
	碱蓬 <i>Suaeda glauca</i>	D,A	- 29.19	C <sub>3</sub>
豆科	盐豆木 <i>Halimodendron halodendron</i>	D,P,Sh	- 26.38	C <sub>3</sub>
	光果甘草 <i>Glycyrrhiza glabra</i>	D,P	- 27.37 $\pm$ 0.37	C <sub>3</sub>
	疏叶骆驼刺 <i>Alhagi sparsifolia</i>	D,P,Sh	- 29.59	C <sub>3</sub>
	苦豆子 <i>Sophora alopecuroides</i>	D,P	- 27.59	C <sub>3</sub>
柽柳科	琵琶柴 <i>Reaumuria soongarica</i>	D,P,Sh	- 27.37	C <sub>3</sub>
	细穗柽柳 <i>Tamarix leptostachys</i>	D,P,Sh	- 27.34	C <sub>3</sub>
	多枝柽柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	D,P,Sh	- 27.16	C <sub>3</sub>
夹竹桃科	大叶白麻 <i>Poacynum hendersonii</i>	D,P	- 29.42	C <sub>3</sub>
	罗布麻 <i>Apocynum venetum</i>	D,P	- 28.38	C <sub>3</sub>
	白麻 <i>Poacynum pictum</i>	D,P	- 29.28	C <sub>3</sub>
禾本科	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	M,P	- 25.67	C <sub>3</sub>
白花丹科	大叶补血草 <i>Limonium gmelinii</i>	D,P	- 27.00	C <sub>3</sub>
萝藦科	戟叶鹅绒藤 <i>Cynanchum sibiricum</i>	D,P	- 26.67	C <sub>3</sub>
茄科	黑果枸杞 <i>Lycium ruthenicum</i>	D,P,Sh	- 27.91	C <sub>3</sub>
蒺藜科	西伯利亚白刺 <i>Nitraria sibirica</i>	D,P,Sh	- 28.60	C <sub>3</sub>
百合科	西北天门冬 <i>Asparagus persicus</i>	M,P,Sh	- 28.31	C <sub>3</sub>
菊科	花花柴 <i>Karelinia caspia</i>	D,P	- 29.27 $\pm$ 0.43	C <sub>3</sub>
杨柳科	胡杨 <i>Populus euphratica</i>	D,P,Ar	- 29.03 $\pm$ 0.73	C <sub>3</sub>
胡颓子科	沙枣 <i>Elaeagnus angustifolia</i>	D,P,Ar	- 27.28	C <sub>3</sub>

注: A,P,D,M,Sh,Ar 分别表示一年生、多年生、双子叶植物、单子叶植物、灌木、乔木。

表 2 研究区盐生植物叶片  $^{13}\text{C}$  值特点

植物类型	灌木/半灌木		多年生草本		一年生草本		乔木	
	数目	$^{13}\text{C}/\text{‰}$	数目	$^{13}\text{C}/\text{‰}$	数目	$^{13}\text{C}/\text{‰}$	数目	$^{13}\text{C}/\text{‰}$
C <sub>3</sub>	11	- 27.69	9	- 27.85	2	- 29.36	2	- 28.16
C <sub>4</sub>	2	- 16.76	-	-	1	- 16.63	1	- 17.39

从表 3 看出同种植物在 6 月和 8 月之间  $^{13}\text{C}$  高于 8 月份,平均高约 0.44 ‰,说明 6 月份盐生植物的水分利用效率较 8 月份高,反过来说 8 月份的

水分条件和其它环境状况较好,更适合植物生长。就单一物种来说,<sup>13</sup>C 值 8 月份与 6 月份差别最高

的是胡杨(1.75 ‰),差别最小的是芦苇(0.03 ‰),说明了禾本科芦苇也具有较强的适应干旱能力。

表 3 6 月和 8 月不同种盐生植物叶片 <sup>13</sup>C 值的比较

植物名称	<sup>13</sup> C/ ‰		差值/ ‰
	6 月	8 月	
胡杨 <i>Populus euphratica</i>	- 27.28	- 29.03	1.75
疏叶骆驼刺 <i>Alhagi sparsifolia</i>	- 27.87	- 29.59	1.72
白麻 <i>Poacynum pictum</i>	- 27.66	- 29.28	1.62
苦豆子 <i>Sophora alopecuroides</i>	- 26.28	- 27.59	1.30
琵琶柴 <i>Reaumuria soongarica</i>	- 26.18	- 27.37	1.19
盐穗木 <i>Halostachys caspica</i>	- 26.68	- 27.65	0.97
西伯利亚白刺 <i>Nitraria sibirica</i>	- 27.78	- 28.60	0.83
细穗柺柳 <i>Tamarix leptostachys</i>	- 26.92	- 27.34	0.42
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	- 25.70	- 25.67	- 0.03
罗布麻 <i>Apocynum venetum</i>	- 28.79	- 28.38	- 0.41
光果甘草 <i>Glycyrrhiza glabra</i>	- 28.35	- 27.37	- 0.98
多枝柺柳 <i>Tamarix ramosissima</i>	- 28.18	- 27.16	- 1.02
盐豆木 <i>Halimodendron halodendron</i>	- 28.01	- 26.38	- 1.64
平均值	- 27.36	- 27.80	0.44

### 4 结 论

(1) 艾比湖湿地主要盐生植物中,藜科植物占有比例最高,24 种 C<sub>3</sub> 植物的稳定碳同位素比值分布范围为 - 25.67 ‰~ - 29.59 ‰,平均值为 - 27.85 ‰,比全球范围调查的植物平均 <sup>13</sup>C 值( - 28.74 ‰)明显偏正。4 种 C<sub>4</sub> 植物均属于藜科植物,其稳定碳同位素值为 - 16.63 ‰~ - 17.39 ‰,平均值为 - 16.88 ‰,藜科植物适应干旱的能力较其它科植物适应干旱的能力强。

(2) 灌木/半灌木植物的水分利用效率最高,明显高于一年生草本植物,多年生草本次之。说明艾比湖湿地的盐生灌木/半灌木比一年生草本更适宜于干旱、盐生生境。乔木的 <sup>13</sup>C 值不是最高,可能是采集物种较少或物种间遗传上的差异造成的。

(3) 13 种植物叶片 6 月 <sup>13</sup>C 值明显高于 8 月,平均高出约 0.44 ‰,表明 6 - 8 月的生存环境状况或水分条件有变好趋势。

由于艾比湖湿地植物种类较多,受到采样条件的限制,许多科属的植物还未采集完全,因此该项工作还有待于进一步完善。

#### 参考文献:

[1] 刘海燕,李吉跃. 稳定碳同位素在植物水分利用效率研究中的应用[J]. 西北林学院学报,2008,23(1):54-58.  
 [2] Farquhar G D, Ehleringer J R, Hubick K T. Carbon i-

sotope discrimination in photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology,1989, 40:503-537.  
 [3] Feng Huyuan, An Lizhe, Wang Xunling. A review on effect of environmental factors on stable carbon isotope composition in plants[J]. Chin. Bull. Bot., 2000,17(3):312-318.  
 [4] Feng Huyuan, Chen Tuo, Xu Shijian, et al. The effect of enhanced UV-B radiation on growth, yield and stable carbon isotope composition in *Glycine max* cultivars [J]. Acta Bot. Sin., 2001,43(7):709-713.  
 [5] Peterson B J, Fry B. Stable isotopes in ecosystem studies[J]. Annual Review of Ecology and Systematics,1987,18:293-320.  
 [6] Johnson D A, Asay K H, Tieszen L L, et al. Carbon isotope discrimination:potential in screening cool season grasses for water limited environments [J]. Crop Science,1990,30:338-343.  
 [7] Ehleringer J R, Hall A E, Farquhar G D, et al. Stable isotopes and plant carbon-water relations[M]. San Diego:Academic Press,1993:155-172.  
 [8] Ebdon J S, Petrovic A M, Dawson T E. Relationship between carbon isotope discrimination, water use efficiency and evapotranspiration in Kentucky bluegrass [J]. Crop Science,1998,38:157-162.  
 [9] Arslan A, Zapata F, Kumarasinghe K S. Carbon isotope discrimination as indicator of water use efficiency of spring wheat as affected by salinity and gypsum ad-

- dition[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1999, 30:2681-2693.
- [10] 苏波, 韩兴国, 李凌浩, 等. 中国东北样带草区植物  $^{13}\text{C}$  值及水分利用效率对环境梯度的影响[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(6):648-655.
- [11] 陈拓, 马健, 冯虎元, 等. 阜康典型荒漠  $\text{C}_3$  植物稳定碳同位素值的环境分析[J]. *干旱区地理*, 2002, 25(4):342-344.
- [12] Ehleringer J R, Cooper T A. Correlation between carbon isotope ration and microhabitat in desert plants [J]. *Ecologia*, 1988, 76:562-566.
- [13] Farquhar G D, Reichardt R A. Isotopic composition of plant carbon correlates with water use efficiency of wheat genotypes[J]. *Aust. J. Plant Physiol.*, 1984, 11:539-552.
- [14] Marshall J D, Kzhan GJ. Carbon isotope discrimination and water use efficiency in native plants of the north central Rockies [J]. *Ecology*, 1994, 75:1887-1895.
- [15] Sun ZJ, Livingston N J, Guy R D, et al. Stable carbon isotopes as indicators of increased water use efficiency and productivity in white spruce (*Picea glauca* Voss) seedlings [J]. *Plant Cell Environ.*, 1996, 19:887-894.
- [16] Qu Chunmei, Han Xingguo, Su Bo, et al. The Characteristics of foliar  $^{13}\text{C}$  values of plants water use efficiency indicated by  $^{13}\text{C}$  values in two fragmented rain forests in Xishuangbanna, Yunnan [J]. *Acta Botanica Sinica*, 2001, 43:186-192.
- [17] 钱亦兵, 蒋进, 吴兆宁. 艾比湖地区土壤异质性及其对植物群落生态分布的影响[J]. *干旱区地理*, 2003, 26(3):217-225.
- [18] 王继国. 新疆艾比湖湿地自然保护区生态服务功能及价值研究[D]. 乌鲁木齐:新疆师范大学, 2006.
- [19] 格丽玛. 新疆艾比湖流域近 45 年来气候变化及其影响研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学, 2006.
- [20] Craig H. Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass spectrometric analysis of carbon dioxide [J]. *Geochemicaet Cosmochemica Acta*, 1957, 12:133-149.
- [21] Bender M M. Mass spectrometric studies of carbon variation in corn and other grasses[J]. *Radiocarbon*, 1968, 10:468-472.
- [22] Bender M M. Variation in the  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios of plants to the pathway of carbon dioxide fixation[J]. *Photochemistry and Photobiology*, 1971, 10:1239-1244.
- [23] Smith B N, Epstein S. Two categories of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios for higher plants[J]. *Plant Physiology*, 1971, 47:380-384.
- [24] O'Leary M H. Carbon isotope fractionation in plants [J]. *Phytochemistry*, 1981, 20:553-567.
- [25] O'Leary M H. Carbon isotopes in Photosynthesis fractionation techniques may reveal new aspects of carbon dynamics in plants [J]. *Bioscience*, 1988, 38:328-336.
- [26] 冯金朝. 环境条件对  $\text{C}_3$  和  $\text{C}_4$  植物光合特性的影响[J]. *中国沙漠*, 1998, 18(4):39-42.
- [27] Körner C H, Farquhar G D, Roksandic Z. A global survey of carbon isotope discrimination in plants from high altitude[J]. *Oecologia*, 1988, 74:623-634.
- [28] Ma Jianying, Chen Tuo, Qiang Weiya, et al. Correlations between foliar stable carbon isotope composition and environmental factors in desert plant *Reaumuria songorica* [J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2005, 47(9):1065-1073.
- [29] 唐海萍, 刘书润, 张新时. 内蒙古地区的  $\text{C}_4$  植物及其生态地理特性的研究[J]. *植物学报*, 1999, 41(4):420-424.
- [30] 孙惠玲, 马剑英, 王绍明, 等. 准噶尔盆地荒漠植物碳同位素组成研究[J]. *中国沙漠*, 2007, 27(6):972-976.
- [31] Farquhar G D, Hubick K T, Condon A G. Carbon isotope fractionation and plant water use efficiency [C]// Rundel P W, Ehleringer J R, Nagy K A. *Stable Isotope in Ecological Research*. New York:Springer-Verlag, 1989:21-40.
- [32] 李明财, 易现峰, 李来兴, 等. 基于稳定碳同位素技术研究青藏高原东部高寒区植被的光合型[J]. *西北植物学报*, 2004, 24(6):1052-1056.
- [33] 傅德平, 何葵, 袁月, 等. 艾比湖湿地植物群落特征与土壤环境关系研究[J]. *江西农业学报*, 2008, 20(5):106-109.
- [34] 苏培玺, 严巧娣, 陈怀顺. 荒漠植物叶片或同化枝  $^{13}\text{C}$  值及水分利用效率研究[J]. *西北植物学报*, 2005, 25(4):727-732.
- [35] 邓雄, 李小明, 张希明, 等. 4 种荒漠植物气体交换特征的研究[J]. *植物生态学报*, 2002, 26(5):605-612.
- [36] 陈蜀江, 侯平, 李文华, 等. 新疆艾比湖湿地自然保护区综合科学考察[M]. 乌鲁木齐:新疆科学技术出版社, 2006.