doi:10.7515/JEE201403003

贵州草海湿地 730 ka 来的环境变迁及 草海未来的演化分析

彭益书,杨瑞东

(贵州大学喀斯特环境与地质灾害防治教育部重点实验室,贵阳 550025)

摘 要:本研究通过对草海湿地 730 ka 以来的气候、水域面积、植被等方面的研究,总结出草 海湿地的生态环境演化规律。本研究认为草海盆地发育与环境演变的主要影响因素有地质构造 作用、全球气候变迁和近代人类活动的影响三方面,且地质构造运动起控制作用。草海湿地现 在处于第四纪间冰期,总的气候环境属于温湿气候,同时,其处于小气候旋回的干凉期末期, 所以其总体上处于较差的自然生态环境。草海湿地在未来 10 ka,其小气候旋回将从干凉期转变 为温湿期,自然生态环境将会自然恢复,但要加强草海湿地生态保护,如减少人为取水、污水 处理达标后排放等措施。草海湿地受到构造运动(青藏高原隆起)、全球气候变迁和近代人类活 动影响,水域面积从 600—700 ka BP 期间的 150 km²,减少到目前的 20.98 km²,草海湿地有不 断向东南减小的趋势,它在几万年后有可能自然消失。 关键词:环境变迁;沉积物;湿地;第四纪;草海;贵州

中图分类号: P532; X141 文献标志码: A 文章编号: 1674-9901(2014)03-0194-13

Environmental change of Caohai Lake, Guizhou Province from 730 ka to present and future evolution

PENG Yi-shu, YANG Rui-dong

(Key Laboratory of Karst Environment and Geohazard Prevention, Ministry of Education, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: On the basis of climatic change, distribution area and plant content of Caohai Lake, ecological environmental change of Caohai Lake, Guizhou Province from 730 ka to present was discussed in the paper. There were some conclusions that were showed as follows on this article. There are three main factors that influence the development and environmental evolution of the Caohai Lake basin, for instance, the geological tectonic movement effect, the global climate change and human beings activities in modern times; especially the tectonic movement is a main controlling factor. And then, climate belongs to Quaternary interval glacial epoch with warm and humid environment in present. At the same time, its climate is located at last epoch of second scale climate cycle (dry and cold climate). And the Caohai Lake's climate and ecology is generally odious in present, but the ecological environment of the Caohai Lake will return to well with climate changing from dry and cold to warm and humid after 10 ka. However, the ecological protection measures were put forward for the Caohai Lake, such as reducing artificial taken water and the domestic sewage

收稿日期: 2014-05-08

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAC02B02)

通讯作者:杨瑞东, E-mail: rdyang@gzu.edu.cn

and industrial wastewater treatment up to emission standard. Additionally, the Caohai Lake has been removing from west to east because of tectonic movement (such as the uplift of the Qinghai–Tibet Plateau), the global climate change and human beings activities. And distribution area of Caohai Lake has been reducing from 150 km² during 600—700 ka BP to 20.98 km² at present; there would have a slowly decreasing trend toward southeast in the distribution area of Caohai Lake as well. Therefore, the Caohai Lake would vanish on some day in the future.

Key words: environmental change; sediment; wetland; Quaternary; Caohai Lake; Guizhou

湖泊沉积物已成为反映过去环境变化重要指 标之一 (Atkinson et al, 1987; Wan et al, 2003; Grygar et al, 2006; Wohlfarth et al, 2007; Jin et al, 2009; Yu et al, 2010; Wu et al, 2012; Shen and Li, 2013),这主要是因为湖泊的广泛分 布、不同的沉积速率和区域或全球气候的敏感性 (Lerman, 1987; Last and Smol, 2001; Smol, 2002),封闭型的湖泊水源补给和支出主要由气 候决定,故封闭型的湖泊更能反映气候的变化 (Smol, 2002)。特别是在湖泊沉积物中的钙 质生物壳,能够提供古环境信息(Gasse et al, 1991; Lister et al, 1991; 顾兆炎, 1994; 王苏民等, 1998)。一些学者从湖泊沉积物的地球化学特征 与其古环境变化的关系进行了探讨(韩淑媞等, 1990a, b; 余素华等, 1995; 陈敬安等, 1999; 刘平贵等,2000),也有一些学者运用湖泊沉积 物进行分析研究得出湿地湖泊环境与气候变化情 况 (Wohlfarth et al, 2001; Clague et al, 2004; Grygar et al, 2006; Wohlfarth et al, 2012; Chawchal et al, 2013)。因此, 对于封闭型湖泊 的草海(孔凡翠等, 2011a; Zhu et al, 2013), 运用其沉积物的分布序列、古生物记录、沉积物 的化学特征和地质构造活动是可以分析了解古环 境演变和气候变化的。

对草海湿地的相关研究自 20 世纪 50 年代就 已开始,近十年显著增多。草海湿地环境气候的 相关研究取得了一定成果,其中大部分是通过研 究草海沉积物的地球化学特征或有机质的碳同位 素来反映或重建草海古环境(林树基和郑洪汉, 1987;王克勇,1987;周启永等,1989;林树基 等,1990;于俊伟,1991;史继扬等,1993; Shi et al, 1994;陶发祥等,1996;林瑞芬和卫克 勤,2000;张乃娴等,2000;孔凡翠等,2010, 2011a,2011b,2013;朱正杰等,2011,2014; 吴永红,2012; Zhu et al,2013),也有少部分是 通过沉积物中孢粉(陈佩英,1987;林树基等, 1990;陈佩英等,1991,1993;林瑞芬和卫克勤, 2000)、古地磁(林树基和郑洪汉,1987;王俊达等, 1986)和甾醇类(朱正杰等,2010)等进行研究。 然而研究的主要内容是反映草海的古环境演化和 环境变化,很少有结合古环境演化来预测草海未 来发展趋势及如何保护而进行的研究。

本研究从草海湿地的沉积物、古生物记录、 沉积物的化学特征及构造运动等方面来了解草海 的起源和演化规律,开展草海湿地第四纪以来的 演化研究,并在此基础上预测未来草海的演变, 以期能从宏观上或大的时间尺度上指导草海的保 护工作。

1 草海湿地概况

草海 1985 年成为省级自然保护区,并在 1992 年晋升为国家级自然保护区。草海是一个完整、 典型的高原湿地生态系统,是我国特有的高原鹤 类——黑颈鹤的主要越冬地之一。在我国为数不 多的亚热带高原湿地生态系统中,草海湿地生态 环境的脆弱性、典型性、重要性、生物多样性和 气候的特殊性以及交通的优越性都具有明显的代 表意义,在"中国生物多样性保护行动计划"中 被列为一级重要湿地,被誉为云贵高原上一颗璀 璨明珠。

草海湿地位于贵州省西部的威宁县(图1), 处在长江和珠江水系分水岭地带的古老夷平面 上,是威宁弧形背斜轴部自晚上新世以来发育的 构造岩溶盆地(孔凡翠等,2011a),属于乌蒙山 区的一个山间盆地,盆底海拔为2172 m,盆地内 为石炭系碳酸盐岩,岩溶发育,岩溶盆洼地积水 成湖,形成草海,是封闭型的岩溶湖泊(孔凡翠 等,2011a; Zhu et al, 2013)。如图1所示,草 海湿地周围的地表河流是不发育的,仅有几条季 节性溪流,无远源河流流入,所以积水主要是周 围的雨水汇入而成。草海湿地周围土壤以碳酸盐 岩发育的为主,土层较薄,石漠化较严重,但第 四纪沉积的粘土层具有一定程度的发育。草海湿 地的年平均气温为10.5~11.3℃,年平均降雨量 大约是999.3~966.5 mm,全年累积日照时数大约 在1702~1827 h,气候总体上属温凉气候型,且 植被主要是云南松、华山松和落叶阔叶林以及中 旱生草坡,属于半湿润常绿林植被(林树基和郑 洪汉,1987)。草海湿地以湖泊和沼泽为主,主 要以淤泥和泥炭为主,且冲积扇沉积砂砾仅分布 于湖泊边缘。

2 草海湿地 730 ka 以来的环境变化

2.1 草海湿地的湖体变迁

根据湖泊内不同类型沉积物的时空分布、古 生物记录、沉积物组分的地球化学特征和挽近构 造运动等方面的特征,将草海盆地的演化分为三 个大阶段(林树基和郑洪汉,1987),如表1所 示。据图2中新草海湖的沉积物剖面说明草海形 成了三个泥炭发育期和五层泥炭层,这与王俊达 等人(1987)研究一致。新草海湖的沉积物以粉 砂质粘土与泥炭为主组成的湖沼相沉积,说明在 近730 ka 以来,经历了三次主要的湖进湖退。湖 进期以粉砂质粘土为主,是浅湖相沉积;湖退期 则伴随泥炭沼泽发育。



图 1 草海湿地位置图 Fig.1 The position of Caohai wetland

时间 演化阶段		特征						
2900—2200 ka BP	古草海湖发育和演变阶段	隆升活动减弱,地壳相对稳定,岩溶作用以垂向发展转向横 向扩展为主。古草海湖开始出现。堆积了浅湖-较深湖相粘 土为主的地层。发生较强地震之后,草海湖以缓慢隆升为 主,主要堆积了滨湖相砂砾,当时湖泊面积约200 km ² ,水 深15~20 m,后期水深变浅,为1~5 m。湖盆周围植被以栎、 松为主的针阔叶混交林,林下蕨类草本较多。后期寒温性成 分有所增加,从植被来推测,当时气候总的来说比较温和, 可能属于亚热带-暖温带环境。与气候相对应,湖盆中堆积 了山间河道洪水携带的粗细混杂的碎屑堆积而成的冲积扇。 冲积扇的发育显示了堆积时期,气候恶化,洪水不断发生。						
2200—900 ka BP	古草海消亡阶段	构造活动相当激烈,早期地壳急剧隆升,古草海湖完全露出 地面,结束沉积,堆积物随之受到侵蚀和剥蚀。晚期隆升活 动越来越强,使古草海沉积层普遍发生倾斜,局部发生褶曲 和断层,导致盆地基底逐渐向东倾斜,盆地中心逐渐向东迁 移,以及新的岩溶盆地的形成。						
近 730 ka 以来	新草海发育和演变阶段	属于现在草海的定型阶段。由于旧司段页岩、泥灰岩的弱可 溶性质,使之在一定程度上成为隔水层,阻止地表水向深处 渗漏,使盆地再次积水成湖,开始新草海湖的发育。同时, 地表水和地下水主要沿其与上覆的上司段灰岩接触面运移, 使新草海湖面积扩大。						

表 1 草海盆地的演化 Table 1 The evolution of the Caohai Lake basin

注:此表主要参考林树基和郑洪汉(1987)的研究成果。



Fig.2 The sedimentary sequence of the Caohai Lake in 730 ka (after Lin and Zheng, 1987)

2.2 草海湿地植被演变与气候变化

草海周围植被从早期到晚期有较大的变化, 早期以常绿栎、栗、胡桃和枫杨等阔叶树组成成 分较多,含有不少椴、木樨和木兰等亚热带组分; 晚期则以松、云杉、冷杉、铁杉和桦等组分显著 增加为特征,显示出草海气候向干冷演变的特征。 如图3所示,草海经历了五次针阔叶混交林、一 次阔叶林、三次针叶林、一次稀树草原和一次森 林草原的植物群演替过程,由此可划分出五个冷 暖气候旋回,即三次针叶林、一次稀树草原和一 次森林草原代表寒冷气候,寒冷期分别为 700 ka BP 前 后,640—570 ka BP,380—250 ka BP, 160—100 ka BP 和 53—12 ka BP (林树基和郑 洪汉,1987),其余的为五个气候温暖时期。近 15 ka以来,草海经历了为四个小气候温暖时期(陈 佩英,1991)。



图 3 草海 730 ka 来植被演替过程 Fig.3 The progress of vegetation succession in Caohai Lake in 730 ka BP

草海近 5000 a 以来的气候变迁,可分为二个阶段,如表2所示。在 5000—700 a BP 期间,草海苔草-芦苇繁盛,沼泽发育。根据草海沉积物中孢粉分析, 草海地区气候可划分为三个温湿期,二个干凉期(陈 佩英,1991)。在 700 a BP—现代,草海古气候为 干凉期,与北半球小冰期对应,属于干凉期。

从表2可看出,近5000 a 以来,草海植被以 松为主的针阔叶混交林类型,其与现在草海植被 面貌类似。近五千年来,草海地区气候变化不大, 与我国气候总体格局一致。草海五千年来经历了 1000 a 左右的三个温湿期和三个干凉期,现在草海 正处于干凉期,并处于干凉气候末期,随后即将 开始新的温湿期。

2.3 草海湿地水域面积变化

如图 4, 草海在 600—700 ka BP 期间,水域 面积大约为 150 km²,在 200—300 ka BP 间,水域 面积大约为 80 km²(林树基和郑洪汉,1987), 近代草海水域面积不到 50 km²(林瑞芬和卫克勤, 2000),目前草海湿地的水域面积只有大约为 20.98 km²(齐建文,2012)。从草海湖体变迁趋 势以及水域面积变化进行分析,草海水域面积有 不断缩小,并且水域中心向东面迁移的趋势。

表 2 草海近 5000a 以来的气候变迁 Table 2 The climate change of Caohai lake in 5000 a BP

阶段	时间段 (a BP)	古气候变化	孢粉反映的古植被特征	地质时代	参考文献	
I	4900-5000	温湿期	常绿栎、胡桃为多,而松、莎含量少		陈佩英, 1991	
	3500—4900	干凉期	松属明显增多,达80%,莎草减少至10%		陈佩英, 1991; Chambers and Charman, 2004	
	2500-3500	温湿期	松属组分减少至40%, 莎草组分上升至50%	全 新 世	陈佩英, 1991	
	1500-2500	干凉期	松属增至60%,莎草减少		陈佩英, 1991	
	700-1500	温湿期	松属组分减少至40%, 莎草组分上升至55%		陈佩英, 1991	
II	至今—700	干凉期			葛全胜,2002; 竺可桢, 1973; 王苏民,2003	



图 4 威宁草海水域面积变化情况 Fig.4 The changes of the water area of Caohai lake in Weining (图 A、B、C和D分别为草海在 600-700 ka BP、200-300 ka BP、40 ka BP 和现代的湖泊分布) (The figure of A, B, C and D were separately distribution area of the Caohai Lake in 600-700 ka BP, 200-300 ka BP, 40 ka BP and at present)

3 草海湿地环境变化的原因分析及其演化 规律

3.1 草海湿地环境变化的原因分析

从古草海形成、演变和消亡的过程可以看出, 古草海主要受到地壳的构造运动和全球气候变化 的影响。

(1)草海湿地发育及环境演化主要受地质 构造运动的控制。古草海在距今约2200—900 ka BP 时间段消失,主要就是构造活动相当激烈,早 期、晚期的地壳急剧隆升作用导致的。并且新草 海在这730 ka 以来也受到了地质构造运动的控制。 如图5所示,草海周围的地质构造线走向较为复 杂,有北西向、东北向等,但主要走向为北西方 向;而草海所形成的长轴方向也正好是北西向。 根据王苏民和窦鸿身(1998)对中国湖泊的成因 研究得出,在受青藏高原隆升的地质构造运动作 用控制下的湖泊,其形成的湖泊长轴方向与主要 区域地质构造线方向相同。这就说明草海湿地发 育有可能受青藏高原隆升的地质构造运动作用控 制。这与孔凡翠等人(2011a)和王克勇(1987)

的研究结果相似。且据吉汝安(1992)对贵州第 四纪环境演化的研究指出,贵州在早第三纪时, 受喜山运动的影响,尤其是贵州西南部;并且在 早更新世晚期至晚更新世,威宁草海在高原整体 抬升(青藏高原的隆升)影响下发生断拗作用。 林树基和刘爱民(1985)对贵州中新代板块活动 研究也指出,自中更新世以来,贵州就开始自西 向东掀斜隆升,但隆升幅度和隆升时间分别较青 藏高原小和晚。另外, 草海 40 ka BP 开始的最近 一次湖退,恰好与青藏高原 40 ka BP 时期强烈隆 升作用对应,导致湖体减少,草海湿地的海草繁 盛, 泥炭沼泽发育。而从图 2 中可知, 新草海湖 形成的近 730 ka 以来, 经历了三次主要的湖水进 退,而湖水进退与间歇性隆升活动的不同阶段有 关, 湖进期对应构造稳定阶段, 湖退期对应激烈 隆升阶段。同时一些学者认为青藏高原的隆起还 影响了中国大部分的气候变化(李吉均和方小敏, 1988; 吉汝安, 1992; 葛肖虹等, 2006; 刘晓东 和 Dong, 2013)。这些说明草海湿地的发育和环 境演化受地质构造运动(青藏高原的隆升活动) 的控制。



图 5 草海地质构造线走向(左图)和海拔高度(右图) Fig.5 The strike of geologic structure lines (eg: left figure) and the altitude (eg: right figure) of Caohai Lake

(2) 草海湿地发育及环境演化还受第四纪北 半球气候变化的重要影响。草海形成了五层泥炭 层和三次泥炭沉积期(图2)。据泥炭发育期分 析,湖水进退周期大概在240—340 ka。又根据湖 盆周围植被面貌显示,草海经历了五次针阔叶混 交林、一次阔叶林、三次针叶林、一次稀树草原 和一次森林草原的植物群演替过程(如图3),这 时期气候出现五个冷暖旋回,寒冷期分别在距今 700 ka 前后、640—570 ka BP、380—250 ka BP、 160—100 ka BP 和 53—12 ka BP 左右出现。由林 树基等人利用¹⁴C年龄和古地磁测定推算, 这五 个寒冷期与第四纪北半球的可以对应(林树基和 郑洪汉, 1987)。一些学者(孔凡翠等, 2010, 2011a, 2011b, 2013) 通过草海湿地沉积物的地球 化学研究发现, 沉积物中地球化学特征与气候环 境变化具有对应关系,也说明草海环境出现五次 大寒冷期和温湿期。草海约30ka前出现泥炭沉积, 基本分布在且仅局部超出现在草海范围, 这表明 在 30 ka BP, 草海开始萎缩, 这与最后冰期寒冷气 候期对应。且陶发祥等人通过泥炭纤维素的 δ^{13} C 和 δ^{18} O研究发现草海对全球变化是敏感的(陶发 祥等,1996)。这可以很好地说明草海环境变化 与全球气候变化是基本同步的,同时也可以说明 草海环境变化受第四纪北半球环境变化和气候的 重要影响。

(3) 草海湿地的演变和环境变化还受人类活动的重要影响。人类活动在草海湿地的演变和环境 变化中起着重要作用,既能促进草海湿地的生态环 境恢复,缓解湖泊向沼泽的演化,同时也能加剧生 态环境的恶化,加速湖泊向沼泽的演化。从图4中 可看出,草海水域面积有不断缩小,并且水域中心 向东面迁移的趋势。草海水域面积一直变小可能与 其自身地形所造成的水源补给单一有关,易受气候 变化和周围的生态环境状况影响。而草海湿地水域 中心位置不断向东南偏移,这可能是其西面受青藏 高原隆起而引起的地壳隆升作用导致的。

另外,从草海湿地水域面积减少的速率看 (表3),在600—700 ka BP 到200—300 ka BP 间,由150 km² 减少至80 km²,减少速率为 0.175 km²·ka⁻¹;在200—300 ka BP 到40 ka BP 间的减少速率为0.1429 km²·ka⁻¹;从40 ka BP 到 目前阶段的减少速率为0.7255 km²·ka⁻¹;平均减 少速率为0.3478 km²·ka⁻¹。前两个时间段内的变 化速率都低于平均值,且从近代到目前阶段的水 域面积减少速率最大,高于平均值将近两倍,即 草海湿地水域面积每1 ka 就减少0.755 km²。这 可能是草海湿地在近代受人类活动的干扰影响。 另据《威宁彝族回族苗族自治县志》,草海在近 代由于人为活动影响导致草海出现过消亡和复苏现象。通过对草海进行研究,刘凤英(2005)认为人为干扰对脆弱的草海湿地影响很大,也有一些学者认为污水排放、水土流失淤塞等,严重影响草海湿地生态环境(齐建文等,2012;彭益书等,2014)。另外,国家政府机关和一些国际组

织对草海湿地治理提供了一些经济、技术支持, 人们也采取了一些措施(如生态植被恢复等)对 草海进行治理,这在一定程度上减缓了草海环境 的恶化,为草海保护提供了积极作用(张华海等, 2007)。因此,人类活动对草海湿地生态环境的 影响是不可忽视的。

Tuble 5 The enange full of in different periods in Cubhai fake									
	时间 (kaBP)	水域面积 (km ²)	时间取值 (ka)	两时间段内面积变化 (km ²)	两时间段内时间变化 (ka)	变化率 (km²/ka)			
图 A	600—700	150	650	-	-	-			
图 B	200—300	80	250	-70	400	-0.175			
图 C	40	50	40	-30	210	-0.1429			
图 D	0	20.98	0	-29.02	40	-0.7255			
	平均	75.245	235	-43.0067	216.6667	-0.3478			

表 3 草海在不同时期的变化速率 Table 3 The change rate of in different periods in Caobai lake

3.2 草海湿地环境演化规律

从古草海的发育、演化和消亡过程以及新草 海的发育、730 ka BP 演化和环境变化情况进行分 析,得出草海湿地环境演化的规律如下:

(1)从图4中可以看出古草海湖的范围大致 在现代草海西北部的姬家营、耿家屯、陈选屯、 窑上一带,包括现代草海湿地及其西北边缘的大 片地区,新草海湖的范围与现代草海的范围基本 一致,但湖面积缩小,湖体水域中心不断向东南 移动。而由图5的右图可知,草海湿地除了西北 方向的海拔稍比其他几个方向低外,其他几个方 向均比草海湖体所处位置的海拔高。如果草海湿 地继续受地质构造运动(隆升)控制,中心位置 继续向东南迁移,湖体将无法继续向东南迁移, 从而湖体面积将会变得狭窄,最后可能在未来的 某一天消失。而这主要取决于地质构造运动(隆升) 的强度。另外,从图5左图可以看出草海湿地周 围的地质构造线复杂,断层较多,容易发生断裂, 这有可能加快或减缓草海的消亡。

(2) 从图 3 和表 2 可知, 草海湿地的植被在 寒冷或干凉期,由于气候较为干燥寒冷,一方面, 植被主要是以耐冷型或耐旱型的针叶林木为主的, 这种生态多样性单一,生态环境较为脆弱;另一 方面,草海湿地水体温度较低,水中藻类等微生 物和植物生长繁殖缓慢,供湖中动物的食物也就 较少,从而动物数量及种类就少。而在温暖或温 湿期,草海湿地的气候较为温暖湿润,一方面植 被以喜湿喜暖的植被为主,形成针阔叶林,这种 生态多样性较好,生态环境好;另一方面,草海 湿地水体温度较暖和,水中藻类等微生物和植物 生长繁殖快,供湖中动物的食物也就较多,从而 动物数量及种类就多。

(3)人类活动对草海湿地有重要影响,具有两面性,既能促进草海湿地的生态环境恢复,也能加剧生态环境的恶化。

总的来讲, 草海盆地发育与环境演变不但受地 质构造运动的控制, 还受到全球气候变化和近代人 类活动的重要影响。草海盆地沉积物具有岩溶洼地 填积相 — 湖相 — 湖沼相的演变趋势, 这与一般湖 泊发展趋势一致, 湖泊到了沼泽化后就渐渐消失, 从草海发展历史看, 草海已经到了湖泊发展晚期, 它最后将消失。因此, 草海保护无法改变其消失的 发展规律, 但能人为延缓草海湿地的寿命。

4 未来草海演化趋势分析

利用从湖泊沉积物中提取古环境记录信息对 研究过去的环境变化和预测将来的环境演变趋势 是有意义的(Jin et al, 2001; Wan et al, 2003)。 故本文从草海 730 ka 以来的演化规律和近 5000 a 的变化趋势出发,来预测未来草海演化趋势。

4.1 草海湿地水面积范围变化趋势

从草海湿地湖泊的变迁历史来看, 草海从

730 ka BP 到 300 ka BP, 水域面积从 150 km² 減 少到 80 km², 近代草海水域面积仅 50 km², 甚至 到目前的 20.98 km²。在青藏高原整体抬升的背景 下,草海湿地西面会不断抬升, 湖体向东萎缩, 由于东南面均是山地, 湖体无法向东南方向发展, 按草海湿地演化趋势, 其在未来的某一天将会逐 渐消失。而这一天到来的早或晚, 主要取决于地 质构造运动、全球气候变化和近代人类活动等因 素的影响。

4.2 草海湿地气候变化趋势

草海湿地从 730 ka BP 以来, 气候经历了五 个温湿—干凉旋回, 目前气候正处于干凉期。从 5000 a 来的小气候变化规律分析, 草海 5000 a 来 经历了 1000 a 左右的三个温湿期和三个干凉期, 现在草海正处于干凉期, 并处于干凉气候末期, 随即将开始新的温湿期。从这规律分析, 草海湿 地随着雨水的增加, 湖水面积会增大, 湿地生态 系统会明显改善。

4.3 草海湿地植被变化趋势

由于草海湿地目前正在处于干凉气候期,湖 水面积小,水草发育。但随着干凉气候的结束, 温湿气候的到来,草海湿地及其周围植被会明显 增加,针叶林减少,阔叶林植物增加,草海中的 水草会减少(陈佩英等,1993)。近三十年来, 草海湿地浮游植物组成属种数量变化不大,但属 种类型变化大,草海藻类物种的变化呈以下两种 趋势:优势物种朝富营养化藻类发展以及物种朝 着适应高 pH 值的方向物种发展。

4.4 草海湿地动物变迁趋势

草海国家级自然保护区的底栖动物有 83 属 121 种。目前草海底栖动物的优势种主要为度摇蚊 属幼虫、锯齿新米虾、中华圆田螺、狭萝卜螺和 黄蜻幼虫,且其密度有明显增大的趋势。外来种 黄黝鱼、彩石鲋已成为草海鱼类的优势种,经济 鱼——鲫鱼种群数量下降、产量严重下滑和个体 小型化;同时,由于环境污染,出现富营养化(郭 媛等,1991),水草繁盛,而原有的普栉鰕虎鱼、 洞庭栉鰕虎鱼、油餐和青鰕等已很难发现。

4.5 草海湿地生态系统演变趋势

草海湿地第四纪演化表明,其生态系统随着气候环境变化和构造演化而变化。在700 ka BP前后、640—570 ka BP、380—250 ka BP、160—100 ka BP

和53—12 ka BP 左右是冰期,气候严寒,水体缩小,动植物大量减少,草海湿地以水草发育,因而,泥炭层形成了5 层。现在草海正处于大的间冰期,气候相对温湿,生态系统较为良好。但从小的气候旋回分析,草海正处于干凉气候期,湿地水体面积小,动植物属种少,草海湿地中以海草发育为特征。但小气候旋回的干凉期即将结束,温湿期开始,草海水体面积会加大,动植物属种增加,海草会减少,草海湿地生态环境会比现在明显改善。但是,在整体大环境相同的情况下,也即全球环境变化和地质构造运动相同情况下,人类活动对草海湿地生态环境的影响是不可忽视的。因此,要加强草海湿地的环境保护,草海湿地将会迎来更好的自然生态环境恢复期。

5 结论

分析草海近 730 ka 以来的演化历程,可以了 解到草海湿地的发展趋势,对草海湿地保护具有 重要意义。本文通过对草海湿地近 730 ka 以来的 气候、水域面积、植被等研究,总结出草海湿地 的生态环境演化规律,并结合草海湿地的演化, 提出草海湿地未来生态演变趋势。

(1)草海盆地发育与环境演变不但受地质构 造运动控制,还受到全球气候变迁和近代人类活 动的重要影响。

(2)草海湿地目前处于第四纪间冰期,总的 气候环境属于温湿气候,同时,其处于小气候旋 回的干凉期末期,所以其总体上处于较差的自然 生态环境。

(3)由于受到青藏高原隆起的影响,草海湖 体不断向东南迁移,但其东南面山地发育,湖体 向东南迁移受到限制,故草海湿地面积不断向东 南缩小。730 ka BP 以来,水体面积从150 km² 减 少到目前的20.98 km²,并有不断减小的趋势,预 计在未来的某一天草海湿地可能会自然消失,同 时,地质构造运动、全球气候变化和近代人类活动, 有可能加速或减缓草海消失现象的发生。

(4) 草海湿地未来 10 ka, 其小气候旋回将 从干凉期转变为温湿期,自然生态环境将会比现 在更好,雨水增加,湖水面积增加,动植物繁盛, 水草减少,湿地生态系统自然恢复,但要加强草 海湿地生态保护,如减少人为取水、污水治理达 标后排放等措施。

参考文献

- 陈敬安, 万国江, 陈振楼, 等. 1999. 洱海沉积物化学与古 气候演化 [J]. *地球化学*, 28(6): 562–570. [Chen J A, Wan G J, Chen Z L, et al. 1999. Chemical elements in sediments of Lake Erhai and palaeoclimate evolution [J]. *Geochimica*, 28 (6):562–570.]
- 陈佩英,林树基,周启永. 1993. 贵州草海地区赵家院子泥 炭层剖面孢粉研究 [J]. *贵州科学*, 11(3): 31–39. [Chen P Y, Lin S J, Zhou Q Y. 1993. Study of a peat-bed section near Zhaojiayuanzi in Caohai area, Guizhou [J]. *Guizhou Science*, 11(3): 31–39.]
- 陈佩英,周启承,林树基. 1991. 贵州威宁 15000 年来的 古环境 —— 南屯泥炭层剖面研究 [J]. *贵州地质*, 8(2): 141–154. [Chen P Y, Zhou Q C, Lin S J. 1991. Palaeoenvironment from 15000 a. B. P. to the present in Weining County, Guizhou—A study of Nantun peat-bed section [J]. *Geology of Guizhou*, 8(2): 141–154.]
- 陈佩英. 1987. 贵州威宁草海 CK17 钻孔 孢粉组合及古 环境 [J]. *贵州地质*, 4(3): 381–388. [Chen P Y. 1987. Palynological assemblages and palaeoenvironment of CK17 drilling hole in Caohai (Grassy Sea), Weining Country, Guizhou Province [J]. *Geology of Guizhou*, 4(3): 381–388.]
- 葛全胜,郑景云,满志敏,等.2002. 过去2000a 中国东 部冬半年温度变化序列重建及初步分析 [J]. 地学前 缘,9 (2): 169–181. [Ge Q S, Zheng J Y, Man Z M, et al. 2002. Reconstruction and analysis on the series of winter-half-year temperature changes over the past 2000 years in eastern China [J]. *Earth Science Frontiers*, 9(2): 169–181.]
- 葛肖虹,任收麦,马立祥,等.2006. 青藏高原多期次隆升 的环境效应 [J]. 地学前缘,13(6):118-130. [Ge X H, Ren S M, Ma L X, et al. 2006. Multi-stage uplifts of the Qinghai-Tibet Plateau and their environmental effects [J]. *Earth Science Frontiers*, 13(6):118-130.]
- 顾兆炎,刘嘉麒,袁宝印,等.1994. 湖相自生沉积作用 与环境——兼论西藏色林错沉积物记录 [J]. 第四纪 研究,14(2):162-174. [Gu Z Y, Liu J Q, Yuan B Y, et al. 1994. Lacustrine authigenic deposition expressive of environment and the sediment record from siling co, Xizang (Tibet), China [J]. Quaternary Sciences, 14(2): 162-174.]
- 郭 媛,林昌虎,何腾兵,等.2012.草海表层沉积物有机碳、

氮、磷分布特征及污染评价 [J]. 贵州科学, 30(1): 27-32. [Guo Y, Lin C H, He T B, et al. 2012. The distribution characteristics and pollution evaluation of organic carbon, nitrogen and phosphate in surface sediments of Caohai Lake [J]. *Guizhou Science*, 30(1): 27–32.]

- 韩淑媞, 袁玉江. 1990a. 新疆巴里坤湖 35 000 年来古气候 变化序列 [J]. 地理学报, 45(3): 350–362. [Han S T, Yuan Y J. 1990a. The sequence of paleoclimatic variation of Balikun lake of Xinjiang in the part 35000 years [J]. Acta Geographic Sinica, 45(3): 350–362.]
- 韩淑媞,钟 巍. 1990b. 新疆巴里坤湖 ZK0024 孔微量元 素变化的古气候意义 [J]. *地理科学*, 10(2): 150–158.
 [Han S T, Zhong W. 1990b. Palaeoclimate significance from trace elemnt variation in Barkol lake in Xinjiang [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 10(2): 150–158.]
- 吉汝安. 1992. 贵州第四纪自然环境的演变 [J]. *贵州地* 质, 9(1): 59-62. [Ji R A. 1992. Evolution of Quaternary natural environment in Guizhou [J]. *Geology of Guizhou*, 9(1): 59-62.]
- 孔凡翠,杨瑞东,韩晓彤,等.2011a.贵州威宁窑上组沉 积物物源特征及沉积控制因素分析[J]. 现代地质, 25(3):464-475. [Kong F C, Yang R D, Han X D, et al. 2011a. Analysis of sediment provenance and sedimentary control factors in Yaoshang Formation, Weining County in Guizhou Province [J]. *Geoscience*, 25(3):464-475.]
- 孔凡翠,杨瑞东,林树基.2010.从威宁草海的演化分析 0.73Ma 来贵州威宁地区喀斯特环境的演变 [J]. *地球* 与环境, 38(2):138–145. [Kong F C, Yang R D, Lin S J. 2010. Analysis of the evolution of karst environment of Weining Region, Guizhou Province, West China: A proof from the sediment evolution of lake Caohai since about 73 million years [J]. *Earth And Environment*, 38(2): 138–145.]
- 孔凡翠,杨瑞东,沙占江.2013.贵州草海赵家院子全新 世泥炭层地球化学特征及其环境意义 [J]. 地质论评, 59(4):716-730. [Kong F C, Yang R D, Sha Z J. 2013. Geochemical characteristics and sedimentary environment of the epipleistocene peat on Zhaojiayuanzi sediment column in Caohai basin, Guizhou Province [J]. Geological Review, 59(4):716-730.]
- 孔凡翠,杨瑞东,魏怀瑞,等.2011b.贵州威宁草海第四系 窑上组沉积物微量元素地球化学特征及其古环境意 义[J].海洋地质与第四纪地质,31(5):117-126.[Kong

F C, Yang R D, Wei H R, et al. 2011b. Geochemistry of trace elements of the Quaternary sediments of Yaoshang Formation in Weining Country, Guizhou Province and its paleoenvironmental implications [J]. *Marine Geology And Quaternary Geology*, 31(5): 117–126.]

- 李吉均,方小敏. 1988. 青藏高原隆起与环境变化研究 [J]. *科学通报*, 43(15): 1569–1574. [Li J J, Fang X M. 1988. Study on plateau uplift and environmental change [J]. *Chin Sci Bull*, 43(15): 1569–1574.]
- 李世杰, 蔡德所, 张宏亮, 等. 2009. 桂林会仙岩溶湿地环 境变化沉积记录的初步研究 [J]. *广西师范大学学报* (自然科学版), 27(2): 94–100. [Li S J, Cai D S, Zhang H L, et al. 2009. Environmental changes record derived from sediment cores in Huixian Karst Wetlands, Guilin, China [J]. Journal of Guangxi Normal University(Natural Science edition), 27(2): 94–100.]
- 林瑞芬,卫克勤. 2000. 草海 ZHJ 柱样沉积物有机质的 δ^{13} C 记录及其古气候信息 [J]. *地球化学*, 29(4): 390–396. [Lin R F, Wei K Q. 2000. A δ^{13} C record of the organic matter in lacustrine sediments of the core ZHJ from Lake Caohai and its palaeoclimate implications [J]. *Geochemica*, 29(4): 390–396.]
- 林树基, 刘爱民. 1985. 中新生代板块活动与贵州地貌之 演化 [J]. *贵州地质*, 2(2): 123–130. [Lin S J, Liu A M. 1985. Plate activities and evolution of Guizhou geomorphy in Mesozoic-Cenozoic [J]. *Geology of Guizhou*, 2(2): 123–130.]
- 林树基, 郑洪汉. 1987. 草海的演化 [M]. 贵阳: 贵州人民出版社. [Lin S J, Zheng H H. 1987. Evolution of Caohai [M]. Guiyang: Guizhou People's Publishing House.]
- 林树基,周启永,陈佩英.1990. 贵州晚新生代冰期划分 与古冰川问题 [J]. *贵州地质*, 7(2): 115–124. [Lin S J, Zhou Q Y, Chen P Y. 1990. Glacial period divisions and palaeoglacial problems of late Cenozoic age in Guizhou [J]. *Geology of Guizhou*, 7(2): 115–124.]
- 刘凤英. 2005. 草海湿地生态系统影响因素分析 [J]. 贵州环 保科技, 11(4): 34-37. [Liu P Y. 2005. Ansysis on Caohai wetland ecosystem influing factors [J]. Environmental Protection and Technology, 11(4): 34-37.]
- 刘平贵, 范淑贤, 李雪菊. 2000. 银川盆地第四纪地球化学 元素特征及沉积环境 [J]. *地质力学学报*, 6(4): 43-50, 94. [Liu P G, Fan S X, Li X J. 2000. The geochemical element characteristics and paleosedimentary environment

of the Quaternary deposits in Yinchuan basin [J]. *Journal* of Geomechanics, 6(4): 43-50, 94.]

- 刘晓东, Dong Buwen. 2013. 青藏高原隆升对亚洲季风-干旱环境演化的影响[J]. *科学通报*, 58(28-29): 2906-2919. [Liu X D, Dong B W. 2013. Influence of the Tibetan Plateau uplift on the Asian monsoon-arid environment evolution [J]. *Chinese Science Bulletin*, 58: 4277-4291.]
- 彭益书, 付 培, 杨瑞东. 2014. 草海湿地生态系统健康 评价[J]. *地球与环境*, 42(1): 68-81. [Peng Y S, Fu P, Yang R D. 2014. Assessment of wetland ecosystem health in Caohai lake of Guizhou Province [J]. *Earth And Environment*, 42(1): 68-81.]
- 齐建文, 李矿明, 黎育成, 等. 2012. 贵州草海湿地现状与生态恢复对策 [J]. *中南林业调查规划*, 31(2): 39-40, 56. [Qi J W, Li K M, Li Y C, et al. 2012. Restoration strategies of Caohai wetland in Guizhou Province [J]. *Central South Forest Inventory And Planning*, 31(2): 39-40, 56.]
- 史继扬,向明菊,林树基,等. 1993. 草海盆地、柴窝堡湖 沉积物中甾醇类的分布特征及其地球化学意义 [J]. *地 球化学*,(2): 179–186. [Shi J Y, Xiang M J, Lin S J, et al. 1993. Distribution characteristics of sterols in Chaiwobu lake sediments of the Caohai basin and their geochemical signification [J]. *Geochemica*, (2): 179–186.]
- 陶发祥, 洪业汤, 姜洪波. 1996. 贵州草海地区最近 8 ka 的 气候变化 [J]. *科学通报*, (16): 1489–1492. [Tao F X, Hong Y T, Jiang H B. 1996. The recently 8 ka climate change in Caohai, Guiahou Province [J]. *Chin Sci Bull*, (16): 1489–1492.]
- 王俊达,李华梅,林树基,等.1986.贵州草海沉积物的古地 磁地层学初步研究 [J]. *地球化学*, (4): 329–335. [Wang J D, Li H M, Lin S J, et al. 1986. A primary paleomagnetic stratigraphic study of Caohai lake sediments from Guizhou Province [J]. *Geochemica*, (4): 329–335.]
- 王克勇. 1987. 贵州草海第四纪介形类及其古环境 [J]. *贵* 州 地 质, 4(1): 49-59. [Wang K Y. 1987. Quaternary ostracoda and its palaeoenvironment in Caohai, Guizhou Province [J]. *Geology of Guizhou*. 4(1): 49-57.]
- 王苏民,窦鸿身. 1998. 中国湖泊志 [M]. 北京 : 科学出版社, 1-27. [Wang S M, Du H S. 1998. The Journal of lake in China [M]. Beijing: Science Press, 1-27.]
- 王苏民,刘健,周静.2003.我国小冰期盛期的气候环境[J]. 湖泊科学,15(4):369-376. [Wang S M, Liu J,

Zhou J. 2003. The climate of little Ice Age Maximum in China [J]. *Journal of Lake Sciences*, 15(4): 369–376.]

- 吴永红. 2012. 长江三角洲与贵州草海地区全新世环境 变化对比研究 [D]. 华东师范大学. [Wu Y H. 2012. Comparative study on Holocene environmental change of Yangtze River Delta and Caohai in Cuizhou [D]. East China Normal University.]
- 于俊伟,赵广忠,田 英. 1991. 威宁草海水体变化的气候效应[J]. 贵州科学, 9(1): 40-47. [Yu J W, Zhao G Z, Tian Y. 1991. The climatic effects of variation of the water body in Caohai, Weining [J]. *Guizhou Science*, 9(1): 40-47.]
- 余素华,文启忠. 1995. 试论青藏高原第四纪沉积地球 化学演化与环境变迁 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 15(4): 97-106. [Yu S H, Wen Q Z. 1995. Geochemical evolution and environment changes since Quaternary in Qingzang(Qinghai – Tibet) Plateau [J]. Marine Geology And Quaternary Geology, 15(4): 97-106.]
- 张乃娴,万国江,马玉光. 2000. 威宁草海沉积物中的粘 土矿物及其环境记录 [J]. 地质科学, 35(2): 206-211. [Zhang N X, Wan G J, Ma Y G. 2000. The clay mineral and its environmental record in the sediment core of Caohai, Weining [J]. Scientia Geologica Sinica, 35(2): 206-211.]
- 张清海,李明晶,姚松林. 2007. 草海研究 [M]. 贵阳:贵州 科技出版社, 1–293. [Zhang H H, Li M J, Yao S L. 2007. Research in Caohai [M]. Guiyang: Guizhou Scientific Press, 1–293.]
- 周启永, 陈佩英. 1989. 沉积物中冷水碳酸盐的古气候 意义—— 以贵州草海两个钻孔剖面为例 [J]. *贵州* 地质, 6(4): 347–356. [Zhou Q Y, Chen P Y. 1989. The palaeoclimate implication of the cold-water carbonate in sediments in two drilled hole sections of Caohai [J]. *Geology of Guizhou*, 6(4): 347–356.]
- 朱正杰,陈敬安,曾 艳. 2014. 草海地区过去 500 年来古 温度重建:来自沉积物纤维素结合碳酸盐氧同位素的 证据 [J]. 中国科学:地球科学,44(2):250-258. [Zhu Z J, Chen J A, Zeng Y. 2014. Paleotemperature variations at Lake Caohai, southwestern China, during the past 500 years: Evidence from combined δ¹⁸O analysis of cellulose and carbonates [J]. Science China: Earth Sciences, doi: 10.1007/s11430-014-4831-6]

朱正杰, 陈敬安, 李 航, 等. 2011. 贵州草海沉积物碳酸

盐碳同位素异常正值的发现及其环境指示意义 [J]. 湖 泊科学, 23(5): 681-685. [Zhu Z J, Chen J A, Li H, et al. 2011. Discovery of abnormal positive values of carbon isotope of carbonate sediments from Lake Caohai, Guizhou Province and their implications [J]. *Journal of Lake Sciences*, 23(5): 681-685.]

- 朱正杰,莫建兵,张 维,等.2010.贵州草海沉积物纤维素 氧同位素研究及其古环境意义 [J]. *地球与环境*, 38(1):
 8-13. [Zhu Z J, Mo J B, Zhang W, et al. 2010. Oxygen isotopic composition of cellulose in sediments from Lake Caohai, and its paleoenvironmental implications [J]. *Earth And Environment*, 38(1): 8-13.]
- 竺可桢. 1973. 中国近五千年来气候变迁的初步研究 [J]. 中 国科学, (2): 168–189. [Lan K Z. 1973. A preliminary study on climate change in China in recently 5000 years [J]. *Scientia Sinica*, (2): 168–189.]
- Atkinson T C, Briffa K R, Coope G R. 1987. Seasonal temperatures in Britain during the past 22,000 years, reconstructed using beetle remains [J]. *Nature*, 325: 581– 92.
- Chambers, F. M. and Charman D. J. 2004. Holocene environmental change: contributions from the peatland archive [J]. *Holocene*, 14(1): 1–10.
- Chawchai S, Chabangborn A, Kylander M, et al. 2013. Lake Kumphawapi—an archive of Holocene palaeoenvironmental and palaeoclimatic changes in northeast Thailand [J]. *Quaternary Science Reviews*, 68: 59–75.
- Clague J J, Wohfarth B, Ayotte J, et al. 2004. Late Holocene environmental change at treeline in the northern Coast Mountains, British Columbia, Canada [J]. *Quaternary Science Reviews*, (23): 2413–2431.
- Gasse F, Anold M, Fontes J C, et al. 1991. A 13000 year climate record from Western Tibet [J]. *Nature*, 353(24): 742–745.
- Grygar T, Kadlec J, Pruner P, et al. 2006. Paleoenvironmental record in Lake Baikal sediments: environmental changes in the last 160 ky [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* 237(2–4): 240–254.
- Jin Z D, Wang S M, Shen J, et al. 2001. Chemical Weathering since the Little Ice Age Record in Lake Sediments: A High-resolution Proxy of past Climate [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 775–782.
- Jin Z D, Yu J M, Wang S M, et al. 2009. Constraints on water

chemistry by chemical weathering in the Lake Qinghai catchment, northeastern Tibetan Plateau (China): clues from Sr and its isotopic geochemistry [J]. *Hydrogeology Journal*, 17(8): 2037–2048.

- Last W M, Smol J P. 2001. Tracking environmental change using lake sediments Volume 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques [M]. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer, 1–599.
- Lerman A. 1987. Lake: chemistry, geology, physics [M]. Springer: Verlag Berlin Heidelberg, 1–366.
- Lister G S, Kelts K, Chen K Z, et al. 1991. Lake Qinghai China: closed-basin lake levels and the oxygen isotope record for ostracoda since the last Pleistocene [J]. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 84:141–162.
- Shen D F, Li S J. 2013. Environment change of Sihu Lake in the past 450 years, southern China [J]. Environmental Earth Sciences, 70(7): 2953–2962.
- Smol J. 2002. Pollution of lakes and rivers: a paleoenvironmental perspective [M]. Arnold, London: 1–280.
- Wan G J, Bai Z G, Qing H, et al. 2003. Geochemical records in recent sediments of Lake Erhai: implications for environmental changes in a low latitude-high altitude lake in southwest China [J]. Journal of Asian Earth Sciences,

21:489-502.

- Wohlfarth B, Hannon G, Feurdean A, et al. 2001. Reconstruction of climatic and environmental changes in NW Romania during the early part of the last deglaciation (15,000—13,600 cal yr BP) [J]. Quaternary Science Reviews, 20: 1897–1914.
- Wohlfarth B, Klubseang W, Inthongkaew S, et al. 2012. Holocene environmental changes in northeast Thailand as reconstructed from a tropical wetland [J]. *Global and Planetary Change*, 92–93: 148–161.
- Wohlfarth B, Lacourse T, Bennike O, et al. 2007. Climatic and environmental changes in north-western Russia between 15000 and 8000 cal yr BP: a review [J]. *Quaternary Science Reviews*, (13–14): 1871–1883.
- Wu L, Li F, Zhu C, et al. 2012. Holocene environmental change and archaeology, Yangtze River Valley, China: Review and prospects [J]. *Geoscience Frontiers*, 3(6): 875–892.
- Yu S Y, Clolmn S M, Lowell T V, et al. 2010. Freshwater outbust from Lake Superior as a trigger for the cold event 9300 years ago [J]. *Science*, 328(4): 1262–1266.
- Zhu Z J, Chen J A, Zeng Y. 2013. Abnormal positive δ^{13} C values of carbonate in Lake Caohai, southwest China, and their possible relation to lower temperature [J]. *Quaternary International*, 286: 85–93.