扎仓茶卡盐湖形成条件的初步探讨

郑 喜 玉

（中国科学院盐湖研究所）

西藏高原盐湖星罗棋布，它具有海拔高、数量多、成盐期短和盐类资源丰富的特点。扎仓茶卡就是著名而又有代表性的一个盐湖，通过该湖的剖析，有助于西藏盐湖成盐演化、成矿规律的研究，并为探索高原盐湖的成盐环境和盐类资源的开发利用，提供了重要依据。

一、湖区概况

扎仓茶卡盐湖位于西藏西部，冈底斯山脉北麓，班公湖—怒江断裂带控制的近东西—北西西向的别若则—恰果断陷盆地中。该盆地呈东西向分布，南北两侧高（5000米），东西两端低（4500米），长轴100余公里，短轴15—25公里，面积近2000多平方公里。扎仓茶卡盐湖就位于该盆地西部低洼处，湖面海拔4400米。这里气候干燥，风多雨少，日照时间长，蒸发量为降水量的23倍。扎仓茶卡盐湖由三个湖组成，自东而西分别为Ⅰ湖（尕热布甲波拉茶卡）、Ⅱ湖（改干茶卡）和Ⅲ湖（恰果茶卡）。东西绵延30余公里，南北宽10—15公里，总面积130平方公里。目前这些湖已经退缩，其中Ⅰ湖和Ⅲ湖湖表卤水很少，经常处于半干涸状态；Ⅱ湖有湖表卤水（图1）。

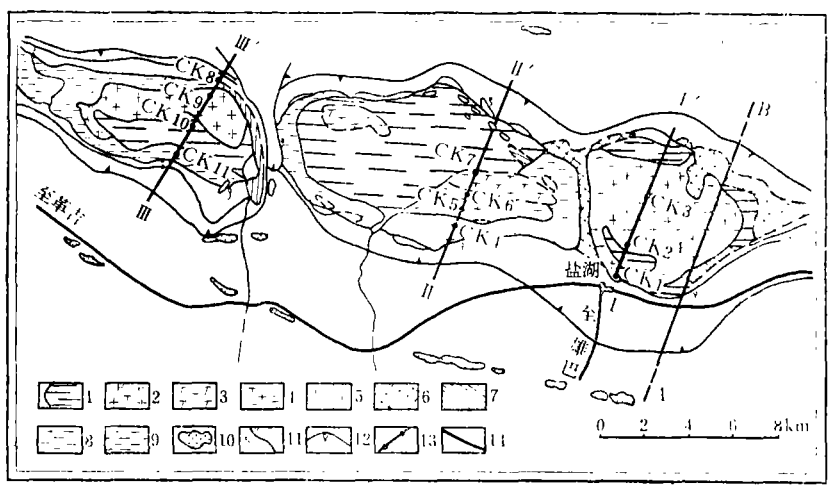


图 1 扎仓茶卡盐湖岩相图

1—湖水；2—石盐沉积；3—芒硝沉积；4—盐泥沉积；5—柱硼镁石；6—库水硼镁石-柱硼镁石沉积；7—柱硼镁石-粘土沉积；8—淤泥；9—含砂粘土；10—碳酸盐泉华；11—河、泉；12—阶地；13—剖面钻孔编号；14—公路

该湖盆受构造控制而形成地堑式断陷盆地，湖相沉积发育，有四分之三面积被砂砾、砂质粘土、含盐粘土和近代盐类沉积覆盖；北部及西北部出露有第三系砂砾岩、红色泥岩及浅灰色凝灰岩沉积；下白垩统厚层灰岩、砂页岩和燕山期花岗岩、花岗闪长岩构成外围山系。湖盆南缘有方解石、文石、菱镁矿组成的碳酸盐泉华和少量芒硝、钙芒硝组成的盐华沉积，沿断裂带方向断续

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

延伸40余公里。目前湖岸还有温泉出露，说明该区岩浆作用及热液活动很发育，它是该湖B^{3+}、Li^{+}、F^{-}等元素的主要补给来源[1、2、3]。

晚更新世以来，由于青藏高原急剧隆起和持续干旱气候的影响，湖盆明显收缩，南、北两岸出现四级阶地，最初的基座阶地现已高出湖面120米。与此同时，湖水强烈蒸发、浓缩，含盐量逐渐增加，甚至发展到自析盐湖阶段，在湖中形成大量芒硝、石盐和各种硼酸盐类沉积(图2)。

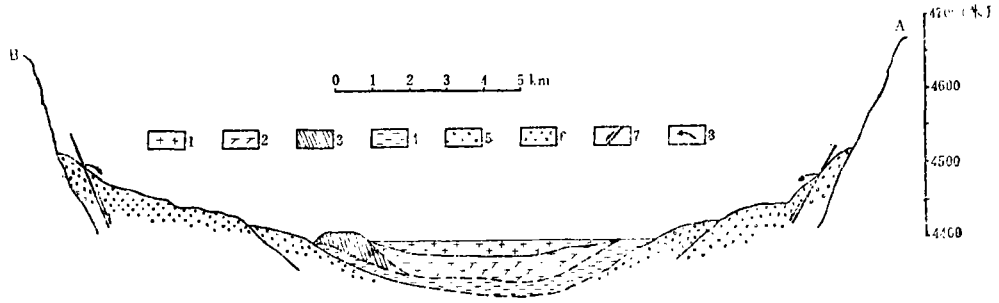


图 2 扎仓茶卡Ⅱ湖A—B剖面图

1—石盐；2—芒硝；3—硼酸盐；4—粘土；5—砂、砾；6—砾石；7—断层；8—泉水补给方向

二、盐湖物质成分

（一）卤水组成

该湖卤水分为湖表卤水和晶间卤水，卤水化学类型为硫酸盐型（Ⅲ湖为硫酸镁亚型，Ⅰ与Ⅱ湖均为硫酸钠镁亚型），呈弱碱性(pH＝7—8)，比重1.073—1.291，总矿化度280—340克/升。卤水中富含40多种化学成分，除占卤水组成95%以上的Na^{+}、K^{+}、Mg^{2+}、Ca^{2+}和Cl^{-}、SO_4^{2-}、HCO_3^{-}、CO_3^{2-}成分外，还有B^{3+}、Li^{+}、Br^{-}等微量元素(表1)。这些元素比海水含量高，其中Li^{+}高2500—4000倍；B^{3+}高75—120倍；Br^{-}高一倍以上。说明该湖卤水已成为富Li^{+}、B^{3+}的地球化学区[1]。

表 1 扎仓茶卡盐湖湖表卤水化学成分（毫/克升）*

盐 湖	矿化度(克/升)	PH	Na	K	Ca	Mg	B	Li	Rb	Cs	U	Th
Ⅰ湖	338.46	7.9	106000	10900	280	8370	425.41	525	9.0	1.8	—	<0.004
Ⅱ湖	287.41	7.9	70800	12900	270	9950	580.61	630	16.0	3.8	0.068	<0.004
Ⅲ湖	305.73	7.5	94000	10240	270	8430	375.7	800	16.9	4.4	0.004	<0.004

盐 湖	Sr	As	Si	Cl	SO_4^{2-}	CO_2	HCO_3^{-}	Br	I	F	NO_3^{-}	P
Ⅰ湖	2.2	3.15	3.9	177880	34800	—	230	105.1	0.123	55.88	1.0	0.87
Ⅱ湖	<2	2.6	6.15	151040	12050	100	300	103.5	0.114	61.79	—	1.13
Ⅲ湖	<2	1.7	2.2	168800	23760	—	230	93.98	0.09	18.45	1.9	0.87

* 据参考文献[1]

表 2 扎仓茶卡盐湖矿物组合

粘土矿物	盐类矿物			
	碳酸盐	硼酸盐	硫酸盐	氯化物
伊利石	菱镁矿	库水硼镁石	芒硝	石盐
绿泥石	水菱镁矿	多水硼镁石	无水芒硝	
蒙脱石	文石	柱硼镁石	水钙芒硝	
高岭石	方解石	钠硼解石	石膏	
	白云石	硼砂	钾石膏	
		板硼石		

（二）矿物成分

该湖矿物包括粘土矿物和盐类矿物两大类别（表2）。其中，硼酸盐类中的库水硼镁石和柱

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

硼镁石，盐类矿物中的芒硝和石盐，不仅分布广泛，而且沉积厚度大，均达到了工业利用的要求。因此，该湖盐类矿产资源，具有很重要的经济价值；对阿里地区的国民经济发展和人民生活的改善，是有现实意义的。

三、盐湖的形成及其成盐作用

（一）湖相沉积

扎仓茶卡盐湖沉积，可分为三种类型：1）由砂砾石、中一细粒砂组成的碎屑岩沉积；2）浅灰一灰黑色粉砂质淤泥、碳酸盐及含盐淤泥等组成的粘土沉积；3）由芒硝、石盐和硼酸盐构成的盐类化学沉积。沉积总厚度20余米，盐类沉积5—7米，其中硼酸盐沉积1—2米，芒硝沉积4—5

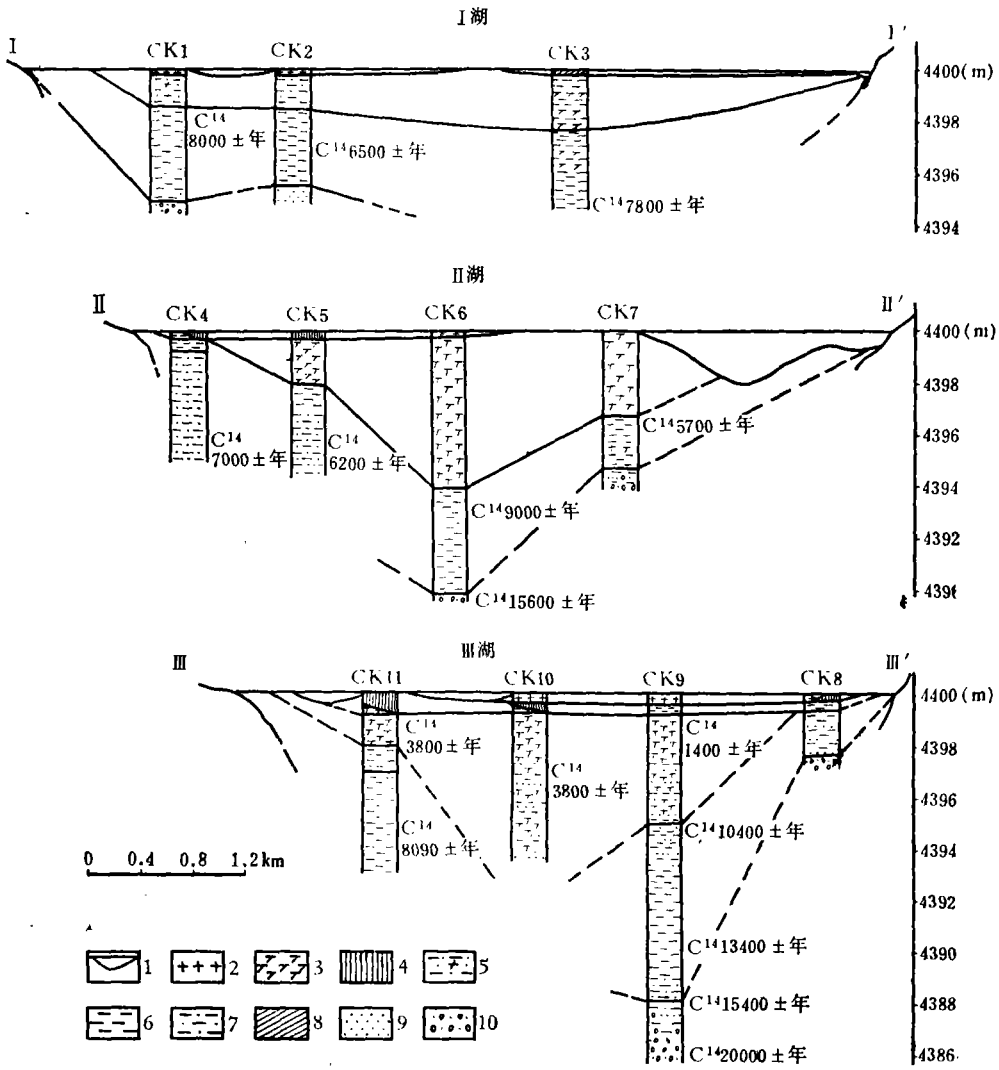


图 3　扎仓茶卡盐湖沉积剖面图

（C_1^{14}年龄据参考文献〔9〕）

1—湖水；2—石盐；3—芒硝；4—柱硼镁石；5—含芒硝砂质粘土；6—含石膏粘土；7—碳酸盐粘土；8—库水硼镁石；9—粉砂；10—砂砾

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

米，石盐沉积0.04—0.4米。沉积分异作用明显，硼酸盐多分布于湖区边缘，构成硼酸盐沉积阶地（湖堤），向湖中心逐渐被芒硝、石盐沉积所代替（图1）。从沉积剖面来看，自下而上由碎屑沉积开始，经粘土沉积，最后终止于盐类化学沉积，形成为一个明显的沉积韵律。反映出该区气候由潮湿逐渐过渡为干旱。盐类沉积层中夹有泥砂细层，标志着短暂时期干旱—潮湿环境的交替变化（图3）。

（二）盐湖的形成

内陆盐湖的形成，必须具备如下基本条件：1,要有一个封闭或半封闭的古湖盆地；2,充足的盐分来源；3,持续干旱的气候环境。

由于青藏高原的隆起[4,5]，特别是班公湖—怒江构造带边缘深断裂的影响，形成了一系列近东西向的新生代断陷盆地，例如伦坡拉盆地、洞错—扎西盆地、别若则—恰果盆地……。这些盆地为古湖盆地的形成和演化提供了原始地形条件[1]。根据盆地边缘出露岩层分析[2]，上新世—早更新世时期，扎仓茶卡古湖盆地雏形在别若则—恰果断陷基础上形成，并开始了湖泊发展早期阶段——淡水湖阶段。当时气候温湿，水源充沛[6]，湖水含盐量低并盈满整个盆地（图4）。据古湖岸线量算，当时湖盆范围比目前盆地内遗留下来的五个湖泊面积总和还大五倍左右。中—晚更新世早期，由于新构造运动的影响，区域气候日趋干燥，湖盆边缘（主要是南岸和北岸）相对抬高[7]，湖边形成10余道古湖岸线，这是湖水频繁活动和退缩的产物。当时湖盆沉降中心位于今日扎仓茶卡附近。晚更新世后期，区域性气候更为干燥，湖相沉积由灰绿-浅灰色的碎屑岩逐渐过渡为灰白色的蒸发盐沉积。以菱镁矿、水菱镁矿等碳酸盐沉积为标志，古湖盆地开始进入半咸水湖-咸

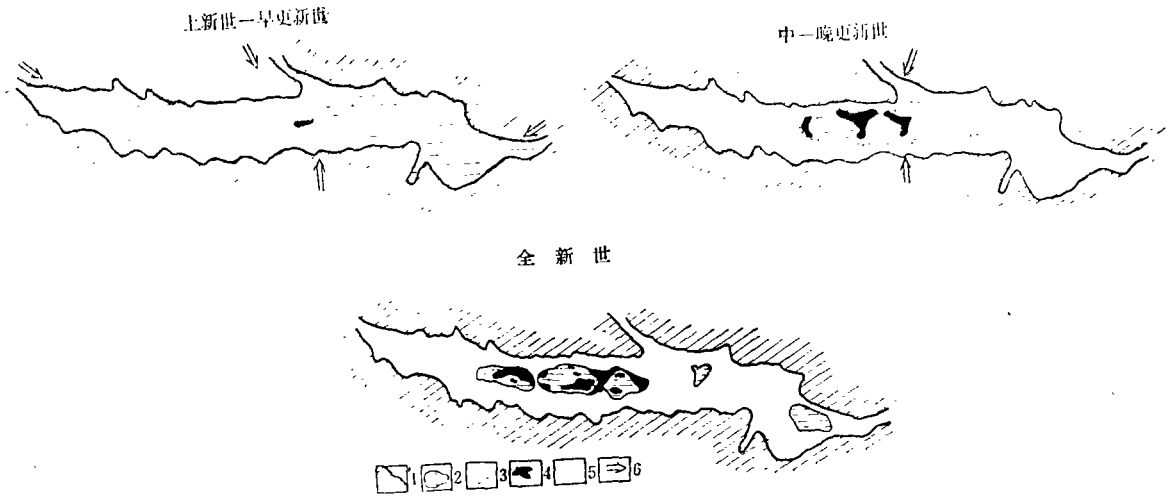


图 4 托仓茶卡湖盆的演化

1—前第四系；2—湖水；3—推测湖水界线；4—盐类沉积；5—碎屑沉积；6—物源补给方向

水湖发育阶段。当时，以东西向（纬向）断裂带为通道的深部热水溶液活动强烈，热水中富含的B^{3+}、Li^{+}等元素源源向湖区补给（表3）。根据热水中所含F^{-}、As^{3+}、Sr^{4+}等元素和硫同位素的统计资料，证实这些热液来自地壳深部[2,3]。目前，热液活动虽然已经减弱或退化，但当时温泉（亦有热泉和沸泉）数量很多，甚至构成断续延伸40多公里的地热活动带。泉水溢出地表后，迅

1） 蒋忠惕，1978，青藏高原地质构造轮廓及其石油地质条件，西藏石油地质，№ 1。

2） 郑绵平等，1974，西藏盐湖硼矿研究报告。中国科学技术情报研究所。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　扎仓茶卡湖区温泉水化学成分（毫克/升）*

项目＼温泉	Ⅰ湖温泉	Ⅱ湖温泉	下马温泉	尕扎温泉	项目＼温泉	Ⅰ湖温泉	Ⅱ湖温泉	下马温泉	尕扎温泉
Na	17.00	1.00	10.00	190.00	Sr	<2	<1	<2	<2
K	0.50	2.50	—	1.50	Rb	0.08	0.48	<0.05	0.05
Mg	15.90	29.30	9.00	156.00	Cs	0.06	0.15	<0.05	0.06
Ca	42.00	34.00	48.00	8.00	Br	<0.50	3.10	<0.50	<0.50
Cl	13.00	81.90	6.00	38.50	I	0.0046	0.0087	0.0034	0.0029
SO_4^{2-}	23.00	143.00	29.00	518.30	U	0.015			
CO_3^{2-}	4.20	—	—	39.00	Th	0.004			
HCO_3^-	187.60	229.00	200.00	456.30	F	61.79			
					P	0.007			
Si	4.00	3.00	0.50	4.00	As	—			
B_2O_5	8.00	5.00	20.00	21.15	NO_3^-	1.00			
Li	0.20	1.50	0.10	0.20					

* 分析者：王克俊、邵明昱、单兰娣、林乐枝、王凤琴、王鲁英等。

速冷凝而形成规模壮观的碳酸盐泉华（含有少量盐华）沉积带。由于含B^{3+}泉水的长期补给和湖水的不断蒸发、浓缩，B^{3+}得到了充分富集并保持暂时稳定状态，当受到自然界因素（淡水稀释或低温冷冻）干扰时，随着pH值的增大，含B^{3+}溶液的相对稳定（自聚）将受到破坏（解聚），而开始析出固体硼酸盐晶体[8]。这是该湖由咸水湖演化到盐湖，继碳酸盐沉积后最早的一次成盐作用，C^{14}年龄距今约10400—8000年[9]。全新世以来，由于新构造运动和干旱气候的影响，古湖盆地开始解体，被阶地分隔为数个小湖盆，呈串珠状排列在古湖盆地中。

经过上述构造运动和地表水的冲刷作用，扎仓茶卡湖盆发生显著变化，使盐湖早期沉积的碳酸盐和硼酸盐相对抬升而形成次一级阶地（湖堤）。同时将扎仓茶卡隔离成两个湖（Ⅰ湖和Ⅱ湖），沉降中心转移到Ⅱ湖。Ⅲ湖形成时间比Ⅰ湖和Ⅱ湖晚，所以没有发现全新世早期沉积的阶地硼酸盐矿物。全新世末期，由于新构造运动和气候日趋干寒的影响，湖盆演化发生了重大变化。湖水明显减少，成盐作用加剧，以芒硝、石盐和硼酸盐沉积为标志，是该湖形成演化到盐湖末期阶段或干盐湖阶段的过程中，又一次极为普遍的成盐作用。C^{14}年龄距今约4000年直到现代[9]，亦是该湖最重要的成盐阶段。

四、结　论

1．扎仓茶卡盐湖的形成和发展与西藏其它盐湖一样，同青藏高原的隆起和古气候的温湿—干寒交替变化，具有密切的成因联系[10]。

2．扎仓茶卡盐湖是在班公湖—怒江断裂带控制的别若则—恰果断陷盆地的基础上，逐渐发展演化而形成的。它是西藏西部很重要的新生代成盐盆地。

3．湖盆边缘蚀源区岩石的长期淋滤风化作用，为该湖Na^+、K^+、Mg^{2+}、Cl^-和SO_4^{2-}等组分的迁移和富集，提供了基本来源；而湖滨沿断裂带附近发育的地壳深部重熔岩浆活动及热水溶液的天然循环，是该湖Li^+、B^{3+}、F^-等元素集聚的主要补给源[11]。

4．该湖在形成、演化过程中，出现两次明显的成盐作用阶段。第一次发生在晚更新世末期—全新世早期，以碳酸盐和库水硼镁石-柱硼镁石沉积为特征；第二次是在全新世末期，以芒硝沉积为主要标志，亦有石盐、钾石膏、水钙芒硝和柱硼镁石及钠硼解石等盐类沉积，为该湖最广泛

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的成盐作用阶段。

本文承蒙中国科学院盐湖研究所孙大鹏、于昇松、唐渊等同志，中国地质科学院矿床地质研究所郑绵平同志审阅，提出宝贵的修改意见；胡金泉、刘建华同志协助清绘图件，在此表示感谢。

参 考 文 献

〔1〕 郑喜玉，1982，西藏扎仓茶卡盐湖卤水锂、硼的分布特征。海洋与湖沼，13卷第1期。
〔2〕 张知非等，1982，西藏水热地球化学的初步研究。北京大学学报（自然科学版），第3期。
〔3〕 朱梅湘等，1982，西藏水热区的盐华及其地质意义。北京大学学报（自然科学版），第1期。
〔4〕 中国科学院青藏高原综合科学考察队，1982，青藏高原地质构造。科学出版社。
〔5〕 王富葆等，1981，青藏高原第四纪构造运动的性质与分期问题。青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题。科学出版社。
〔6〕 陈万勇，1977，西藏吉隆盆地上新世沉积相、粘土矿物特征及古气候。古脊椎动物与古人类，15卷第4期。
〔7〕 中国科学院青藏高原综合科学考察队，1982，西藏自然地理。科学出版社。
〔8〕 高世扬等。1982，青藏高原盐湖硼酸盐矿物。矿物学报，第1期。
〔9〕 黄麒等，1980，盐湖年龄的测定。科学通报，第21期。
〔10〕 袁见齐等，1983，高山深盆的成盐环境——一种新的成盐模式的剖析。地质论评，29卷第2期。
〔11〕 郑喜玉、杨绍修，1983，西藏盐湖成分及其成因探讨。海洋与湖沼，14卷第4期。

A PRELIMINARY STUDY OF THE CONDITIONS OF FORMATION OF ZHACANG CAKA SALT LAKE

Zheng Xiyu

(Institute of Salt Lake, Academia Sinica)

Abstract

On the basis of available data, this paper discusses the formation, evolution and salinization of Zhacang Caka Lake.

1. Zhacang Caka Salt Lake developed on the basis of the Meso-Cenozoic Bieruoze-Qago down-faulted basin.

2. The mountain system on the margins of this ancient lake-basin was the provenance and the weathering and leaching of the rocks there were the basic source of common salts in this lake. The thermal solutions circulating at depths with the Bangong Lake-Nujiang River as the passageway were the main source of such rare and dispersed elements as B^{3+}, Li^{+} and Br^{-} in this salt lake.

3. The uplift of the Qinghai-Tibet plateau and the arid clinate there were the main factors for the formation of this salt lake, the humid environment was a favorable condition for the migration and concentration of salt-forming elemennts, and the dry cold environment promoted salinization of this salt lake.

4. There were two stages of salinization during the formation and evolution of this salt lake obviously.

In conclusion, the uplift of the Qinghai-Tibet controlled the formation of the basin and affected the changes of the paleoclimate. The formation and development of Chacang Caka Salt Lake were the product of the evolution of the Qinghai-Tibet plateau to a certain stage.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net