

# 青海湖流域沼泽化草甸 形成发育的主要气候因子

周筠琚

周立华

(中国科学院兰州高原大气物理研究所,兰州 730000) (中国科学院西北高原生物研究所,西宁 810001)

**提 要** 青海湖是一个较特殊的巨大微咸水湖。青海湖流域沼泽化草甸具有明显的湿地生境特征,其形成发育和时空分布的主要气候因子是大于等于 10 的积温和 5 月至 9 月的降水及年湿润系数。根据主要气候因子作出了湿地率与该环境形成发育的主要气候因子的数学模型。  
**关键词** 青海湖流域 沼泽化湿地 形成发育 主要气候因子

青海湖是国内最大的微咸水湖。青海湖流域的沼泽化草甸具有明显的湿地生境特征,是青海湖湿地的组成部分。其形成、发育和时空分布规律在一定程度上取决于生态环境中的一些主要气候因子: 10 的积温,5~9 月份的降水和年湿润系数。我们根据上述主要气候因子作出了湿地率与该环境形成发育的主要气候因子的数学模型。

## 1 青海湖湿地简介

无论从生态学还是从经济学的观点来看,湿地都是中国最有价值和生产力最高的生态系统<sup>[1]</sup>,为此必须很好加以保护。但是这一重要的自然资源在我国并未能得到切实保护,据资料统计,中国的湿地中,有 40% 处于中等程度和严重的威胁中<sup>[1]</sup>,青海湖也是其中之一。

青海湖这一巨大的高原湖泊为世界所珍视。它对青海省东部地区的生态环境具有调节作用,因它介于柴达木荒漠与湟水谷地黄土地区之间,而使西部荒漠气候对东部的影响起到了减缓作用,从而东部农业区受到荫庇。一旦这一水体锐减或消失,将使东部农业区遭受荒漠的直接影响。青海湖是青海省的渔业基地和重点旅游区,环湖为青海省主要的草场之一。青海湖盛产湟鱼(青海湖裸鲤),年产量 4 000~5 000 t<sup>[3]</sup>。青海湖流域有鸟类 163 种,尤其是鸟岛为鸟类集聚地区,据资料统计全岛有鸟 10 万只以上,群鸟鼎沸,蔚为壮观。兽类有 36 种,湖内有浮游植物 53 属,浮游动物 25 种,底栖动物 22 种。基于青海湖湿地生态系统多种多样性<sup>[3]</sup>,已被列入国际重要湿地名录,在湿地多样性保护方面具有重要意义。但是环湖被围垦农田,广种薄收,不断弃耕放荒。另外,过度捕鱼和狩猎。近年来,有些入湖河水已被污染,正处于不同程度的污染威胁之中。青海湖虽然从 1975 年保护区的创立至 1984 年青海湖自然保护区鸟岛管理处的建置,保护面积增大到环湖区所有湿地水域,但是由于条件所限,以及其它种种原因,未能达到预期的效果。

青海湖流域的沼泽化草甸是青海湖湿地的组成部分,由于放牧过度,也遭到不同程度的破坏。我们总结多年来的实际调查资料,对这一湿地类型作了初步分析研究。过去对形成

沼泽化草甸环境的气候因子方面的研究多为定性分析,我们在定性研究的基础上,参考有关资料<sup>[2]</sup>,采用定量方法,对形成沼泽化草甸的主要气候因子作了初步分析研究,建立了湿地率与该环境形成发育的主要气候因子的数学模型。这不仅对研究青海湖流域沼泽化草甸形成发育的机理具有重要意义,而且对开发这一类型的湿地资源也有一定的实用价值。

## 2 环境概况

青海湖是我国第一大湖,位于青藏高原东北隅,在青海省海北与海南两州交界处<sup>[3]</sup>。青海湖域介于 36°15′ ~ 38°20′ N, 97°50′ ~ 101°20′ E 之间,四面环山,流域面积 29 661 km<sup>2</sup>,海拔 3 196 ~ 5 174 m。青海湖处于流域东面最低处,湖泊形状近似梨形,东西长 109 km,南北宽约 65 km,周长 360 km。1988 年平均水位海拔 3 195.59 m,湖水面积 4 304.5 km<sup>2</sup>,湖水容积 738.8 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。平均水深 16 m,最大水深 27 m。在青海湖东面从北向南有尕斯库勒湖,新尕斯库勒湖和耳海 3 个较大的子湖,其中尕斯库勒湖面积最大,约 48 km<sup>2</sup>。湖中有海心山和三块石(孤插山)两个小岛。青海湖属新构造断陷湖泊,为微咸水湖。

青海湖流域西北高、东南低,为一封闭盆地。地貌类型复杂多样,从低到高有湖滨平原、冲积平原、低山、中山和高山,并有冰缘台地和现代冰川。湖的北面,尤其是东北面有大面积风沙堆积区,其中有沙地,流动沙丘,半固定沙丘和固定沙丘。

青海湖流域直接流入湖内的河流大于 5 km 的有 50 余条<sup>[3]</sup>,多为季节性河流。其中最大的为布哈河,其次为沙柳河、哈尔盖河、乌哈阿兰河和黑马河等 4 条大河。

青海湖地处我国东部季风区,西北干旱区和南部青藏高原高寒区交汇地带,并因自身的“湖泊效应”<sup>[1]</sup>具有明显的地区性气候特点:气候干旱少雨,太阳辐射强烈,气温日较差大。冬季处于蒙古冷高压控制下,天气寒冷干燥、晴朗,降水量很少。夏季受东南暖气流的影响,降水量较多。湖中海心山,年平均降水量为 270 mm,湖周围年平均降水量 380 ~ 420 mm,降水量主要集中于 5 ~ 9 月份,占全年降水量的 80%。湖区多夜雨,海心山的夜雨量占总降水量的 60% ~ 68%,其夜雨率远高于湖滨地区。年蒸发量 1 422 ~ 2 066 mm,湖滨大于山地。青海湖流域的气温是湖滨高于山地,湖南岸高于湖北岸,湖东岸高于湖西岸。全流域年平均温度 - 1.4 ~ 3.4 °C,7 月份平均温度 10.4 ~ 15.2 °C,1 月份平均温度 - 10.4 ~ - 14.7 °C,极端最高气温 28 °C,极端最低气温 - 31 °C。青海湖流域太阳辐射强烈,总量为 6 200 × 10<sup>6</sup> ~ 7 000 × 10<sup>6</sup> J/(m<sup>2</sup>·a)。湖陆风盛行,根据 1985 ~ 1987 年统计,在刚察冬季陆风出现率最高,可达 63%。夏、秋季次之,为 56% ~ 58%。春季出现率最低,约 50%,这是由于春季大风破坏了湖陆风环流的缘故。

青海湖流域的沼泽化草甸是在寒冷期潮湿的气候条件下形成的,具有湿地生境特点。多分布于湖滨、地下水溢出的冲积、洪积扇的边缘地带、沟谷尾端、河流入湖的三角洲地段;在主支沟汇合处由于开阔平坦,水流成漫散状态,多为积水地,沟谷源头的谷底,也由于平缓形成坡地径流汇水区与河流两旁的低洼地带均分布有沼泽化草甸。我们根据多年实际调查资料,应用遥感技术,分析了青海湖流域沼泽化草甸植被类型的遥感影像特征、群落结构、分布特点,采用 MSS 影像和部分地区的 TM 影像及彩红外航片资料,经过全面分析比较其不同遥感影像特征,圈画出了青海湖流域沼泽化草甸分布图<sup>[4]</sup>(图 1)。

## 3 沼泽化草甸的形成发育及群落类型

沼泽化草甸属隐域性植被,以湿生、湿中生多年生植物为优势种。青海湖流域的沼泽化

草甸植被中莎草科植物占绝对优势,如华扁穗草(*Blymus sinocompressus*)、二桂头蔗草(*Scirpus distigmaticus*)和西藏蒿草(*Kobresia schoenoides*)等。由于分布区的气候寒冷,地下有多年形成的冻土层,阻止了土壤水分不能下渗,尤其在解冻过程中,冰晶融化,使土层中的液态含水量增多,造成土壤过湿和地表有常年或季节性的积水,便形成发育为沼泽化草甸。



图 1 青海湖流域沼泽化草甸分布图

Fig. 1 Distribution of paludification meadow in Qinghai Lake valley

青海湖流域的沼泽化草甸植物群落类型<sup>[4]</sup>主要有:

(1) 西藏蒿草群落:主要分布于青海湖西北部海拔 3 500 ~ 4 200 m 之间的河流发源地宽阔平坦的地区和河流两岸的洼地。在布哈河、沙都河和哈尔盖河等地区较多。是青海湖流域分布面积最大,海拔最高的高草草甸类型。

(2) 亮囊苔草(*Carex stenophylloides*)群落:主要分布于海拔 3 200 ~ 3 500 m 的潜水溢出带和河流两旁的低洼地带。

(3) 华扁穗草群落:主要分布于冲积-洪积扇裙前缘低地潜水溢出带和河流三角洲地区,在部分高山垭口处的平坦地区山坡径流聚集地带也有零星分布。一般海拔 3 198 ~ 3 400 m。土壤水分常呈过饱和状态,并且多半有地表积水。在平缓的溪流地带也较为常见。华扁穗草为优势植物,生长非常密茂。有时局部地区往往形成小片纯华扁穗草群落。

(4) 二桂头蔗草群落:主要分布于环湖区湖滨地带的水溪两侧和低洼地,海拔 3 198 ~ 3 250 m,面积较小,二桂头蔗草优势种生长密茂。

(5) 杂类草群落:是近湖边的沼泽化草甸,以水麦冬(*Triglochin palustre*)为优势种的群落,平均覆盖度变化范围较大,一般 25% ~ 85%。

## 4 气候变化对青海湖沼泽化草甸的影响

根据现有资料<sup>[3]</sup>,青海湖形成后的全盛时期,湖水面积约 8 200 km<sup>2</sup>,约为现在湖水面积的 2 倍。由于青藏高原隆起,新构造运动激烈活动和古气候的波动变化,青海湖水也形成了波动退缩过程<sup>[5]</sup>。随着近百年的大气干旱,尤其是近 30 a 来,湖泊水位下降加速<sup>[3]</sup>。根据青海省地质遥感站所测 1956~1986 年湖水面积共减少 279.4 km<sup>2</sup>,平均每年减少 9.3 km<sup>2</sup>。1956 年湖面海拔 3 196.94 m,1986 年湖面海拔 3 193.78 m,30 a 中湖水下降 3.16 m,平均每年下降 10.53 cm,湖水量减少  $4.6 \times 10^8 \sim 4.9 \times 10^8$  t。

根据青海省水文总站实测资料,1959 年湖面海拔为 3 196.55 m,1988 年湖面海拔为 3 193.59 m,29 a 中湖水共下降 3.96 m,平均每年下降 10.20 cm。

尤其应指出的是,1972 年以后,青海湖水位下降幅度较大,近年湖水位下降加速,加之蒸发大于降水,湖水入不敷出,致使湖水位下降。从刚察县气象站资料分析,70 年代平均降水量比 1958 年至 1980 年间的平均降水量少 5.2 mm。70 年代中后期(1976~1980 年)比整个 70 年代的降水量又少了 28.3 mm;而蒸发量 70 年代的年平均值比 1958~1980 年的年平均值增加了 36.3 mm,70 年代后期(1976~1980 年)的年平均值比 1958~1980 年的年平均值增加了 50.5 mm。

在湖水位下降过程中,不可否认,人为活动耗水量也是影响因素之一。在这方面我们作过深入研究<sup>[6]</sup>,1949~1987 年青海湖人为活动总耗水量(包括生活、牧业、农业和工业用水)为  $15.01 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,1987 年人为活动总耗水量为  $0.44 \times 10^8$  m<sup>3</sup>。39 a 年平均人为活动耗水量为  $0.3849 \times 10^8$  m<sup>3</sup>。人为活动耗水量对湖水位下降的影响,首先从湖水亏损量来看,历年湖水平均亏损量为  $4.36 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,人为活动总耗水量占湖水亏损量的 8.7%,所占比重并不大。再从青海湖湖水主要输出总分,湖水面蒸发量相比较,根据青海省水文总站 1959~1988 年的资料计算,湖水面年平均蒸发量为  $37.24 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,人为活动总耗水量在同期仅为湖水面蒸发量的 1.29%。因此影响青海湖水位下降的主导因素应当是气候的旱化。

由于气候逐年干旱,沼泽化草甸面积逐年减少。据资料记载<sup>[7]</sup>,环湖地区有沼泽化草甸约 30 余处,分布面积较大的有铁卜加湾,甘子河、古泉河三角洲等地。1956 年的分布面积约 256 km<sup>2</sup>,至 1986 年其分布面积为 193 km<sup>2</sup>,比 1956 年减少了 61 km<sup>2</sup>,已干涸的有 7 处。沙都河三角洲的沼泽化草甸,1956 年面积约 50 km<sup>2</sup>,至 1986 年已经缩小到 20 km<sup>2</sup>,30 a 间减少了 30 km<sup>2</sup>,平均每年减少 1 km<sup>2</sup>。

## 5 沼泽化草甸形成发育的主要气候因子指标的选定

气候因子的选取是在定性分析的基础上,选一些直接制约沼泽化草甸形成发育的因子,我们以湿地率<sup>[8]</sup>作为代表青海湖陆地湿地环境形成发育的数量指标,一般湿地率能反映气候因子对陆地湿地环境形成发育的综合作用。通常湿地率的形成首先是由水文条件决定的,而后受制于热量条件。低温有利于沼泽化草甸的发育,青海湖流域的沼泽化草甸是冷湿气候条件下的产物。我们根据一般湿地形成的气候因子常用指标,并结合青海湖流域湿地环境现有资料,选取了 5~9 月份的降水量,年湿润系数如 10 的积温 3 个变量。

## 6 湿地率与其形成发育主要气候因子的数学模型

根据青海湖流域沼泽化草甸分布地区及其附近地带的天峻、刚察、海晏、江西沟、共和与

茶卡等主要气候站 1960~1985 年 5~9 月份的降水量,年湿润系数和 10 的积温资料,通过多元线性回归分析,得到青海湖流域湿地环境形成发育主要气候因子数学模型:

$$Y = 1.1154 - 0.0022X_1 - 0.3402X_2 + 6.78 \times 10^{-6}X_3 \quad (1)$$

式中  $Y$  为湿地率;  $X_1$  为 5~9 月份的降水量;  $X_2$  为年湿润系数,  $X_3$  为 10 的积温。

由表 1 的方差分析可知,在 0.01 的水平上  $F > F_{0.01}$  可以确认青海湖流域沼泽化草甸环境形成发育的主要气候因子数学模型或线性关系显著。这一数学模型基本上反映了青海湖沼泽化草甸环境形成发育与主要气候因子的关系,这表明青海湖流域的湿地率主要受 5~9 月份降水量、年湿润系数和 10 积温 3 个主要气候因子制约。从主要气候因子与湿地率的相关系数分析,揭示了各主要气候因子对青海湖流域沼泽化草甸形成发育的影响作用。

表 1 方差分析表

Table 1 Analysis of variance

方差来源	离差平方和	自由度	平均离差平方和	F 比率
回归	$1.84 \times 10^6$	3	$6.13 \times 10^5$	
残差	$1.19 \times 10^6$	20	$5.95 \times 10^4$	10.3
总和	$3.03 \times 10^6$	23		

表 2 单相关与复相关系数表

Table 2 Simple and multiple correlation coefficients

单相关系数	复相关系数
0.6235 ( $X_1$ 对 $Y$ )	0.9211 ( $X_1, X_2$ 对 $Y$ )
0.4564 ( $X_2$ 对 $Y$ )	0.9694 ( $X_1, X_3$ 对 $Y$ )
-0.7364 ( $X_3$ 对 $Y$ )	0.8998 ( $X_2, X_3$ 对 $Y$ )

注:  $X_1$  为 5~9 月份降水量,  $X_2$  为年湿润系数,  $X_3$  10 积温,  $Y$  为湿地率。

由表 2 中的单相关分析结果可知,湿地率与各主要气候因子相关不十分密切。单相关系数最高的为 10 积温的 -0.7364,而 5~9 月份降水量与年湿润系数就差一些,则分别为 0.6235, 0.4564。其中 10 积温为负数,这说明高积温在一定程度上破坏了湿地发育条件,即对青海湖流域沼泽化草甸环境形成发育具有一定的减缓和抑制作用。5~9 月份降水量及年湿润系数单相关为正数,表明了这两个因子在青海湖流域湿地环境发育过程中为主导因子。鉴于青海湖流域沼泽化草甸是一个自然综合体,是各主要气候因子整体效应的产物,单相关不能完全表达主要气候因子与湿地率之间的本质关系。

由表 2 中的主要气候因子与湿地率的复相关系数可知,5~9 月份的降水量与年湿润系数对于湿地率的复相关系数为 0.9211; 5~9 月份降水量与 10 积温对于湿地率的复相关系数为 0.9694; 年湿润系数与 10 积温对湿地率的复相关系数为 0.8998。各复相关系数均为正数,即任意两个主要因子的组合都对青海湖流域湿地环境形成发育起着极有效的作用。并从表 2 中看出,复相关系数均大于单相关系数。这便表明任何两个主要气候因子的整体组合效应对青海湖流域湿地环境的形成发育要比单个气候因子的效应大得多。

在表 2 内,5~9 月份降水量与 10 积温对湿地率复相关系数最高,为 0.9694。由于青海湖流域的降水量分布很不均匀,主要集中于 5~9 月份,其降水量约占全年降水量的 80%,表明这个时段降水量丰富。5 月份开始气温迅速上升,形成了水热条件和谐配合。对植物来说,常年平均温度没有多大意义,只有在有效温度占优势的季节才是最佳的。10 的积温反映了在生长季节中是沼泽化草甸活跃生长的适宜温度,与此同时,也是成土过程活跃进行的温暖时间。雨热同期,充足的降水,较高的积温是沼泽植物发育积累和沼泽土壤成土过程的重要条件。青海湖流域沼泽化草甸分布地区海拔 3200~4200 m,气候寒冷,地下有多年形成的冻土不透水层,土壤中冰晶较多,当温度升高时,在解冻过程中冰晶融化,土壤中液态含水量增加,并且下部冻土层阻碍融水下渗而聚集在融化的土壤中,使土壤过湿上

面出现暂短的积水状态, 沼生或湿生植物生长密茂, 由于土壤通气透水性不良, 逐渐潜育化, 所以湿地率高。

综上所述, 由多元线性回归分析所得出的湿地率与主要气候因子的数学模型既从定性意义上表明了青海湖流域沼泽化草甸形成发育的机理, 也从定量方面提供了对比尺度。另外还可以根据这个模型预测未知的湿地率。

## 7 小 结

我们用多元线性回归方法建立了青海湖流域沼泽化草甸环境中湿地率与其环境形成发育的主要气候因子的数学模型。并分析讨论了青海湖流域沼泽化草甸形成发育与主要气候因子之间的相互关系。研究表明, 由于青海湖流域沼泽化草甸形成发育的主要气候因子与湿地率的数学模型变量少, 其模型应用极为方便, 有助于对青海湖沼泽化草甸的成因研究。同时, 生长季节内的充沛降水和较大的湿润系数为青海湖流域沼泽化草甸的形成提供了前提, 分布区全年长期的低温等因子也在其湿地形成发育中起到了一定作用, 并且主要气候因子的整体组合效应对湿地的形成发育至关重要。

## 参 考 文 献

- 1 陆健健. 中国湿地. 上海: 华东师范大学出版社, 1990. 119 ~ 121.
- 2 陈宜瑜. 中国湿地研究. 长春: 吉林科学技术出版社, 1995. 118 ~ 122, 214 ~ 247.
- 3 金相灿, 等. 中国湖泊环境. 北京: 海洋出版社, 1995. 2: 1 ~ 7.
- 4 陈桂琛, 彭敏, 周立华. 青海湖地区沼泽化草甸遥感解译及其群落特征. 高原生物学集刊, 1992, (11): 23 ~ 30.
- 5 中国科学院兰州分院, 中国科学院西部资源环境研究中心. 青海湖近代环境的演化和预测. 北京: 科学出版社, 1994. 7 ~ 9.
- 6 周立华, 陈桂琛, 彭敏. 人类活动对青海湖水位下降的影响. 湖泊科学, 1992, 4(3): 32 ~ 37.
- 7 杜庆. 大自然是主要导演——从植被演变分析青海湖地区生态环境变化的原因. 大地地理杂志, 1989(11): 123 ~ 129.
- 8 北海道开发局. 泥炭的变迁. 北京: 科学技术出版社, 1987. 1 ~ 25.

## THE MAIN METEOROLOGICAL FACTORS OF FORMATION AND DEVELOPMENT OF PALUDIFICATION MEADOW IN QINGHAI LAKE DRAINAGE AREA

Zhou Yunjun

(*Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics, Academia Sinica, Lanzhou 730000*)

Zhou Lihua

(*Northwest Plateau Institute of Biology, Academia Sinica, Xining 810001*)

### ABSTRACT

Qinghai Lake is located in the northeastern Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau. It is a special big light saltwater lake. Paludification meadow in Qinghai Lake drainage area is an eco-system affected by the eco-environment factors. Paludification meadow in Qinghai Lake drainage area have obvious wetland habit features, is the component of Qinghai Lake wetland. Its formation, development, and spatial and temporal distribution are governed by a few main meteorological factors in the eco-environment to a certain extent. The main meteorological factors are 10 accumulated temperature, precipitation from May to September and annual humidity coefficient. The mathematical model of the mire wetland rate and the main meteorological factors are given by multivariate linear regression in the paper.

**Key Words:** Qinghai Lake drainage area; Paludification wetland; Formation and development; Main meteorological factors

(收稿日期:1996-03-15;改回日期:1996-12-26)