

气候变暖对青藏高原腹地高寒植被的影响

王 谋¹, 李 勇², 黄润秋³, 李亚林¹

(1. 成都理工大学地球科学学院, 2. 成都理工大学油气藏及开发工程国家重点实验室;
3. 成都理工大学环境与土木工程学院, 四川 成都 610059)

摘要:研究区高寒植被碳同位素组成的研究,表明气候环境对高原腹地植被具有明显的控制意义。在此基础上,通过对研究区植被样方的研究,对该区植被在高原气候暖干化过程中的变化趋势进行了探讨。提出暖干化的气候(环境是区域植被退化的主因,并对研究区植被退化速率进行了推算(14.2km/10a)。以样方数据分析为依托,重新拟定了研究区内干旱湿润区分界线,获得该区植物碳同位素值拟合干湿界限的支持。通过对年代间干湿分界线位置的比较,对高原气候暖干化模式下植被的退化趋势进行了模拟。

关键词:青藏高原腹地; 高寒植被; 碳同位素; 环境条件; 暖干化; 适应

文章编号:1000-0933(2005)06-1275-07 **中图分类号:**Q143, Q948 **文献标识码:**A

The effects of climate warming on the alpine vegetation of the Qinghai-Tibetan Plateau hinterland

WANG Mou¹, LI Yong², HUANG Run-Qiu³, LI Ya-Lin¹ (1. College of Earth Sciences; 2. National Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation; 3. College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1275~1281.

Abstract: There is growing evidence within the environmental science community that our planet has entered a potentially catastrophic phase of human-induced global climate warming. Climatic studies demonstrate that the Qinghai-Tibetan Plateau has also exhibited a warming and drying trend in recent decades. We studied an area on the Tibetan Plateau located in the transition zone between Alpine Meadow and Alpine Steppe regions. Such zones are highly sensitive to environmental change and the concomitant adjustment of vegetation in these hinterland areas of the plateau can reflect adaptation of plant ecological systems to changes in the climatic setting.

In order to demonstrate whether the Alpine vegetation of the study area displays a response to changing environmental conditions, and whether the variation in the environmental conditions is reflected in changes in the physiology and forms of the Alpine floral assemblage, we studied the carbon isotopic values of these plants. Carbon isotope fractionation variations within the plants can reflect arid or moist environmental conditions attained during the growth period of the plants. We carried out a regression analysis on the experimental carbon isotope results, taking into account their geographical position. The analytical results showed that the $\delta^{13}\text{C}$ values of *K. pygmaea* correlate with the changing SE-NW trend of precipitation. ($R=0.44603$, $n=29$, $p<0.05$), which indicates that the vegetation has adapted to variations in environmental conditions. We also surveyed

基金项目:国家国土资源部国土资源调查资助项目(200213000002); 自然科学基金重大研究计划资助项目(90102002); 自然科学基金资助项目(40372084); 四川省重点学科建设基金资助项目(SZD0408)

收稿日期:2004-05-31; **修订日期:**2004-12-20

作者简介:王谋(1975~), 男, 博士生, 从事生态环境及环境变化研究. E-mail: cdlgwm@21cn.com

致谢:中国科学院西北高原生物研究所彭敏教授帮助鉴定研究区植物样品, 瑞士理工大学 Nicholas James Richardson 博士对本文给予帮助, 在此一并致谢

Foundation item: project of China Ministry of Land and Resources (No. 200213000002) and key project of the National Natural Science Foundation of China (No. 90102002, 40372084); Key Lab. Foundation of Sichuan (SZD0408)

Received date: 2004-05-31; **Accepted date:** 2004-12-20

Biography: WANG Mou, Ph. D. candidate, mainly engaged in climate change of Qinghai-Tibet Plateau and its ecology and environment responses. E-mail: cdlgwm@21cn.com

floral assemblages at sites within the transition zones, and carried out principal component and cluster analyses on the vegetation indexes of these sites to identify the migration of the boundary between Alpine Steppe and Alpine Meadow caused by climate warming and drying. The migration of the boundary indicates the expansion of the arid zone at a rate of 14.2 km per decade and the accompanied degeneration of vegetation in the broader central Plateau area. The spread of the Alpine Steppe has not only resulted in a drop in the overall vegetation coverage in this region, but has also caused a drop in the total biomass of the surface vegetation in the area. Study of the biomass of the Alpine Steppe and Alpine Meadow communities shows that the total biomass of the Alpine Steppe community in the study area is 77 % of that of the Alpine Meadow community.

Based on the observed responses of floral carbon isotopic compositions to varying environmental influences, this study has been able to quantify the changing trend of vegetation types and quality on the Tibetan Plateau during recent climate warming and drying. Through the integration of previous studies of plant ecology in the study area with our own research, we propose that the change to a warmer and dryer climatic environment is the main cause of progressive degeneration of the vegetation in the study area. Taking into account current climate change models, our simulations of future changing surface vegetation demonstrate that if the warming and drying trend continues unchecked, the vegetation degeneration rate will accelerate. This will not only have a negative influence on the biodiversity of the Tibetan Plateau, but the reduction of the biomass of the surface plants will also have a negative influence on the local pastoral economy.

Key words: Qinghai- Tibetan Plateau; carbon isotopes; environmental conditions; global warming; warming and drying trend; vegetation adaptability

近 40a 的降水趋势表明,青藏高原年平均降水量在减少,尤其是夏季降水量减少显著。而同期气温则呈上升趋势^[1],青藏高原气候呈现暖干化^[2]趋势。几项有关青藏高原植被生态学年代间的对比研究表明,在高原气候暖干化过程中高寒植被群落表现出逆行演化的趋势,植株生长高度降低、地表生物量减少、群落优势种及主要组成成分演替。Smith 等^[3]通过研究指出随着温度上升 2~3℃ 以及与之相伴的降水量的下降,在亚洲干旱和半干旱区域的草地生物量将下降 40%~90%。高原腹地在地理区划上多属干旱和半干旱区,高原气候暖干化必将引起高原植被的调整。研究被称为全球“气象灶”和全球气候变化预警区^[4]的青藏高原的高寒植被在气候变化下生态与环境的响应方式与程度,不仅可以为其他方式的全球变化研究提供对比,同时也能为地方经济政策的制定提供参考。

1 研究区概况

研究区位于青藏高原腹地,唐古拉山北麓 33°00′~34°15′, E91°30′~93°00′。是三江源自然保护区长江源区(图 1)。长江正源沱沱河,南源当曲及长江源区的几条重要的支流布曲、冬曲等河流的主要河段均流经该区。区内平均海拔高度 5000m,由山地、宽谷、盆地和冰原等地貌景观组成,山体走向向东南方向偏转,高原面由西北部的平坦型向东南部的切割型转化。该区空气十分稀薄,含氧量只及沿海地区的 45%~55%。年平均气温为 -4.1~ -10℃,昼夜温差大。降水量呈现由东南往西北方向递减的趋势,年降水量平均为 350mm,降水主要集中在夏季。区域植被由高寒草原和高寒草甸为主构成。在海拔 5300m 以上山体,主要为高山垫状植被及流石坡稀疏植被控制。受降水因素影响,研究区植被呈现由东南往西北方向的逆演趋势,即由东南方向较湿润的高寒草甸植被逐渐过渡到西北部较干燥的高寒草原带。

2 高寒植被对环境条件的响应

高原植被是否对环境条件作出响应,或者说环境条件的变化能否在高寒植被系统生理及形式上得到体现,是评价气候变化能否导致或如何导致植被变化的前提。为此对植物生长过程中能够反映干旱或者湿润环境条件的碳同位素组成进行了研究,也收集了一些资料欲对气候暖干化过程中,高原腹地植物群落的演变方式进行研究。



图 1 研究区位置及主要植被类型^[5]

Fig. 1 The location of study area and it's major vegetation types^[5]

2.1 高原腹地植被碳同位素组成与环境效应的研究

现代植物碳同位素组成主要与降水、温度、生理、光照、营养物质、地形、大气压力、海拔高度等方面环境条件有关^[6~8]。在不同的实验中,这些影响因子相对于植物碳同位素组成的意义则有差异。在对高山植物碳同位素组成的研究中,大气压力、温度、降水、地形以及温度等条件认为是比较重要的环境因子。

研究区植被主要由高寒草甸和高寒草原两类植被系统组成,它们也分别指示了湿润、半湿润,干旱、半干旱两类气候系统。由于是在高原面上进行研究,把注意力主要集中在研究区植被平面上的变化规律,这种变化规律多被认为与区域的降水环境相关。因此通过对高原植被平面上碳同位素组成的研究,探索小区域内气候环境对高原植被的影响,并进而研究气候变化与区域植被响应的关系。

为了主要体现降水条件对研究区植物碳同位素组成的控制,取样过程中注意回避了温度、光照、及大气压力等几个在高山植物碳同位素组成中影响较大的环境因子的影响作用。并将取样主样带设置为与研究区内高原夏季风运移方向一致的东南-西北向。同时,为排除不同植物种碳同位素生理分馏能力差异对碳同位素组成的影响,试验用样品以测区分布最广,且群落中重要值最大的高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)为目标样,在研究区内有高山嵩草分布的区域均以高山嵩草为单一实验对象,山地区域取样均为南坡,植被发育较均匀的地方;研究区北部副样带为南北向取样,该区位于高寒草原带,很少有高山嵩草分布,实验用样品主要以紫花针茅、小早熟禾、弱小火绒草、苔草等植株混合样本进行分析(图2)。分析结果显示,本次样品的测试值,高山嵩草样在 $-25.63\text{‰} \sim -27.95\text{‰}$ 之间,平均值为 -26.63‰ ;高寒草原区混合样 $\delta^{13}\text{C}$ 值则介于 $-26.29\text{‰} \sim -27.73\text{‰}$ 之间,平均值为 -27.04‰ 。样品分析值符合 C_3 植物的特征。受高海拔和低温的限制, C_4 和CAM植物不发育是可以理解的^[9]。高山嵩草 $\delta^{13}\text{C}$ 含量表现为由东南往西北方向的正偏趋势;研究区北部高寒草原区混合样则反映出随纬度增加,植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏正的趋势。这样的趋势反映了研究区高寒植被对该区降水环境的良好适应(图3)。Morecroft等将这种现象解释为,随着干旱的增加,植物叶片通过调整表层气孔导度改变水分利用效率来适应环境从而使 $\delta^{13}\text{C}$ 值升高^[10,11]。

为了探寻植物碳同位素组成与环境(地理)因子之间的关系,对试验样品值及其地理位置进行了回归分析(表1),因研究区北部高寒草原区混合样样点几乎成南北向展布,未作经度与碳同位素值的拟合。分析结果显示,高山嵩草 $\delta^{13}\text{C}$ 值与东南-西北向降水递变的规律比较吻合($r=0.44603, n=29, p<0.05$),体现出植被对环境条件的适应。混合样样区,其相关性系数更高($r=0.8112, n=5, .$),因为取样数量较少,而导致信度偏低。但是总体来看,研究区内植物碳同位素组成随着地理位置的规律变化存在趋势性变化的特征,体现了该区植物对环境条件的响应和环境条件对植被特征的控制。

2.2 高原植被群落在气候变化情景下的演化趋势

区域环境条件对区域植被具有显著的影响意义,环境条件的变化尤其是高原近年来持续的暖干化,会导致高原腹地高寒植被如何适应?

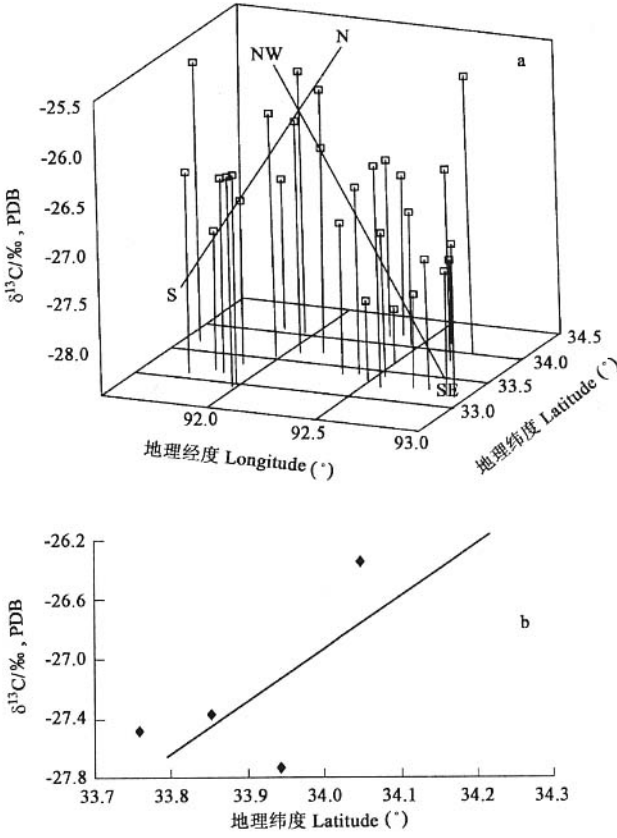


图2 研究区植物碳同位素与地理纬度和经度的关系

Fig. 2 Organic 12 values of plants with different geographical parameter

a. 高山嵩草样地理经纬度与碳同位素的关系 Values of *K. pygmaea* with lat. & Long.; b. 高寒草原区混合样与地理纬度的关系 Values of mixed sample of alp. Steppe with lat.

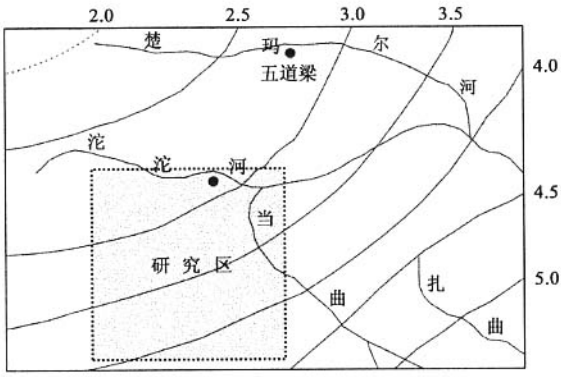


图3 研究区降水等值线图^[2]

Fig. 3 Precipitation sketch map of study area^[2]

对比青藏公路 124 道班华扁穗草群落在 1975、1996 年的调查结果表明,该群落在气候变暖过程中,受冻土环境退化的影响,群落呈现显著的退化趋势。湿中生的华扁穗草群落,由中生型的矮蒿草群落替代,矮蒿草群落为高山蒿草群落取代,高山蒿草则进一步干旱化演变为沙生苔草群落^[12];中国科学院海北生态站西部的永安城南滩,20 世纪 70 年代有一片因地下水出露带,地势潮湿,植被多以湿生、湿中生的沼泽化草甸,以藏蒿草(*Kobresia tibetica*)为建群种。近年来的气候干暖化导致该区地下水位下降,土壤湿度降低,中生多年生的禾草类占据了主导地位,群落结构发生改变,原来沼泽化草甸不复存在^[13]。张国胜等对比 1999 年和 20 世纪 80 年代末期天然牧草观测资料发现,青南高原牧草生长高度普遍下降 30%~50%^[14]。以上研究表明随着高原气候的暖干化,高原植被群落特征也在发生变化。植株发育高度降低,地面生物量的减少,乃至群落优势种的更替,群落性质的改变。这些变化显示了高原腹地植被在气候暖干化过程中,发生了明显的变化,多处于逆行演替的趋势。植被演替与气候变化是密切相关的。近年来气候暖干化趋势导致了高原腹地植被总体上呈退化的趋势。

Table 1 Regression analysis on the experimental sample values and their geographical position								
混合样 Mixed sample	<i>a</i>	<i>b</i>	相关系数 ^① Coefficient	高山蒿草样 <i>K. pygmaen</i>	<i>a</i>	<i>b</i> ₁	<i>b</i> ₂	相关系数 ^③ Coefficient
地理纬度 Latitude	-129.5447	3.0178	0.81125 ^②	地理经纬度 Lat. and Long.	14.5849	0.3723	-0.5812	0.44603 ^④

① $Y=a+bX_1$, $Y=\delta^{13}C(‰)$, X 环境因子 Environmental factors; 样本数量 Sample No. $n=5$; ② $p<0.1$; ③ $Y=a+b_1X_1+b_2X_2$, $Y=\delta^{13}C(‰)$, X 环境因子 Environmental factors; 样本数量 Sample No. $n=29$; ④ $p<0.05$

3 研究区植被在暖干化气候模式下的适应

3.1 研究区植被的平面分异特征

受东南-西北向水汽运行的影响,研究区植被体现出由东南往西北方向逆行演化的趋势。研究区南部主要以高山蒿草为优势种的高寒草甸群落为主,北部则是以紫花针茅为优势种的高寒草原群落为主。吴征益等以温泉-雁石坪一线为高寒草甸-高寒草原分界线^[5]。相应的自然地理分区,亦将该线南北分别为半湿润及半干旱区域^[15]。因此,在这样一个大的植被过渡带中进行植被生态学的研究,是可以反映长江源区乃至高原腹地植被在环境变化下的演化方式和趋势。

3.2 研究区植被对暖干化气候的适应

通过对 2002 年野外资料的整理和研究,发现前人于 20 世纪 80 年代所填制的植被图^[16]所标示的高寒草原-高寒草甸分界线有向东南方向移动的趋势。2003 年的野外工作中则重点对可能的变化区及南扩的高寒草甸-高寒草原界限的位置进行了调查。发现草原区的进迹不是表现为斑块状或是分散的区块,而是呈面状的向南推进,因此将造成这种变化规律的主要原因归结为自然因素是可以接受的。王绍令等^[17],张国胜^[14]等在对高原荒漠化及高原腹地封育草场生产量的研究中也把自然因素作为植被退化的主因。

将研究区植被大致分为 3 个区块,通天河以北区域为传统的高寒草原区,研究区南部为高寒草甸区,两者之间则暂名为“过渡区”,每个区内选择了 10 个或 10 个以上的植物样方($1\times 1m^2$)进行分析(图 4)。野外设置样方皆为能代表该区生境的典型

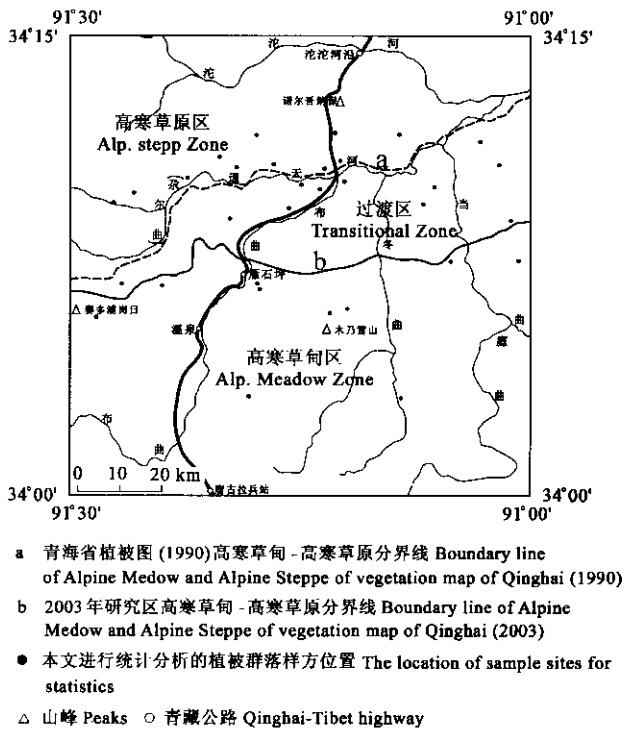


图 4 20 世纪 80 年代中期(a)与 2003 年(b)高寒草原-高寒草甸(干-湿)分界线及取样样方位置

Fig. 4 Division of arid and semi-arid area of study field in 1980's (a) and 2003(b), and the locations of sample sites

区块,在 $1\times 1m^2$ 样地中,对群落物种组成及每个种发育高度及其在样方中的盖度进行了详细的野外描述。将采自研究区的原始数据进行运算和统计,并以多样性指数、均匀度指数、丰富度指数表征群落样方特征进行主成分分析,并在此基础上进行聚类

分析①(图 5)。发现,通过聚类分析之后的样方总体表现为两大区块,投影点上的序号表征其所指代的样方。不难看出传统的草原区与“过渡区”具有相同的统计特征而被视为同类,草甸区与“过渡区”则相离较远而自成一体。因此将过渡区定名为高寒草原植被,同时这就肯定了高寒草原带在研究区内的向南扩张。将新确定的高寒草甸-高寒草原的界线与研究区内以植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值拟合的等值线图(图 6)进行对比,也得到了比较好地吻合(图 4,图 6;图 6 中加粗曲线为高寒草原区(干旱区)所取高山嵩草样 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值 -26.278% 拟合的曲线,可表示研究区内干湿界限)。这说明在高原气候暖干化过程中,研究区植被有逆高原夏季风方向进行逆行演替的趋势,从而表现出高寒草原植被扩张所反映的干旱气候带南向扩张的信息。

干旱草原带扩张的速率,可以通过对比图 4 a、b 两条曲线的差异计算,约为 $14.2\text{km}/10\text{a}$ (青海省植被图以填图时间 1985 年计算至 2003 年,图 3 a、b 线距离以平均值记约 25.5km)。高寒草原带的扩张,不仅导致扩张区域内植被盖度的降低,同时引起该区地表生物总量的下降。与研究区草原、草甸带呈连续分布的沱沱河草原群落和那曲草甸群落生物量的研究表明,研究区内草原群落的地表生物量只及草甸群落的 77% ^[18]。地表生物量的减少,会直接影响当地牧业经济等政策的修改与制定。

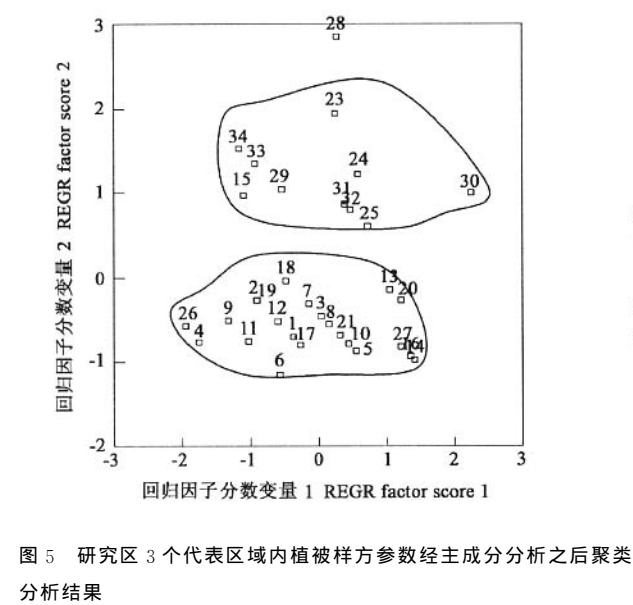


图 5 研究区 3 个代表区域内植被样方参数经主成分分析之后聚类分析结果

Fig. 5 The classify result for Indexes of sample sites of the three set parts of the study area after PCA

1~11 为高寒草原区样方;12~22 “过渡区”样方;22~34 高寒草甸区样方

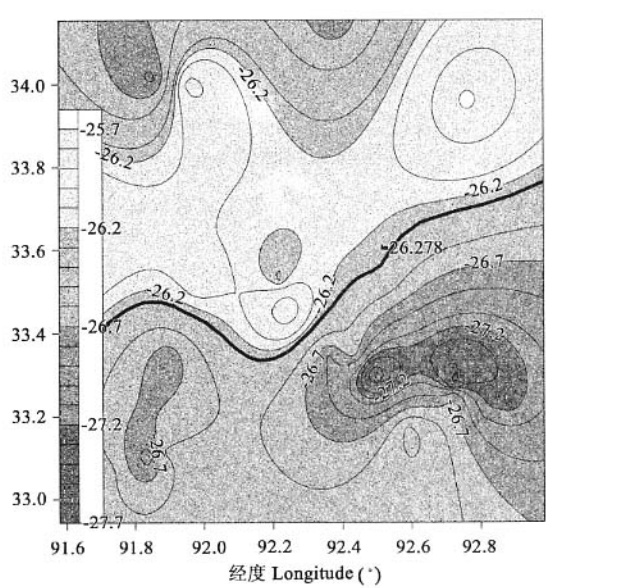


图 6 研究区植被 $\delta^{13}\text{C}$ 值模拟等值线图

Fig. 6 Isoline chart of the plant $\delta^{13}\text{C}$ value of the study area

粗线为模拟干湿界线 the thick line is the simulate boundary of arid and moist area

3.3 研究区植被在暖干化情景下的演化趋势

以研究区近 40a 来增温和降水趋势对研究区高寒草原带未来的扩张速率进行模拟。

$$y_{\text{气温}} = 0.0158x - 1.3258^{[12]}$$

$$y_{\text{降水量}} = -0.1458x + 411.72^{[12]}$$

以对植被发育最相关的温度及降水因素,建立未来年代与高寒草原带扩张距离的趋势方程:

$$S_{(a-b)} = K(a-b)(\Delta M + \Delta N)$$

$$\Delta M = 0.0158(a-b)$$

$$\Delta N = -0.1458(a-b)$$

式中, a, b 为年代值且 $a > b$; $\Delta M, \Delta N$ 分别为年代间变化的气温值和降水值; K 为系数; S 为 a, b 年代间高寒草原带的扩张距离。以研究区 20 世纪 80 年代和 90 年代平均温度、两个年代平均降水量^[19]以及测量所得的草原带的扩张距离 25.5km 代入方程式求得:

① $IV(P_i) = (\text{相对频度}\% + \text{相对盖度}\%)/2$; 丰富度指数:样方中种的个数(S); 多样性指数: $H' = -\sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$; 均匀度指数(Pilou): $E = H' / \ln(s)$

$$K = -60.54131$$

则趋势方程可表达为:

$$S_{(a-b)} = 7.87 (a - b)^2$$

如果年均降水量与年均温度依然保持负相关,研究区内干旱带(高寒草原带)向南的扩张速率将会加快。ZOU Xue-yong 等对青藏高原荒漠化的研究指出“荒漠化的原因是脆弱的环境、气候的干旱化和近 50 年来的增温”^[20]。全球气候变暖在众多的未来气候模拟中,取得了几乎是一致性的认同^[21]。“照此趋势,降水在未来 10 年内依然会低于正常值。气温上升和降水减少将共同加剧高原的干旱。植被不会有所改善,而自然的荒漠化过程也不会扭转”^[20]。伴随着高寒草甸植被向高寒草原植被群落的退化,区域植被的生物量也会出现明显减少。这种减少不仅来自于植被生态系统短期内对降水减少、生长期缩短而导致的发育不良,更主要的是长期的气候暖干化,导致区域植被群落的逆行演替,湿润半湿润的植被系统被干旱半干旱的植被系统替代。暖干化与增温在一定范围内形成恶性循环。

4 结论

- (1) 研究区植物碳同位素组成与环境因子的回归分析表明,环境条件对高原植被的空间分异具有明显的控制意义。
- (2) 对比几项高寒草甸群落年代间的变化资料显示,暖干化气候模式下,高寒草甸植被群落以逆行演替方式为主,群落生物量减少。研究区高寒草原-高寒草甸过渡区表现为高山嵩草高寒草甸群落向紫花针茅草原群落的退化。
- (3) 研究区植被在气候暖干化过程中,受干旱气候系统控制下的高寒草原群落的南向扩张,扩张速率约为 14.2km/10a,若降水和升温趋势继续,研究区高寒草甸植被退化速率将加快,区内生物总量也呈下降趋势。

References:

- [1] Li S, Dong Y X, Dong G R, *et al.* *Sandy desertification problem and sustainable development in Qinghai-Tibet Plateau*. Beijing: China Tibetology Research Press, 2001. 135, 138.
- [2] Chen X Q, *et al.* *Ecology and Environment of Yangtse-Yellow-Lanchangjiang Rivers source region natural reserve*. Xining: Qinghai People's Press, 2002. 53.
- [3] IPCC Third Assessment Report. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability (11. 2. 1. 3). [EB/OL]. <http://www.ipcc.ch>, 2003. 8. 27/2004. 1. 16.
- [4] Wu Y H, Mei L J. *The plant resources in source area of Yellow River and its environment*. Xining: Qinghai People's Press, 2001. 28.
- [5] Wu Z Y ed. *Vegetation of China*. Beijing: Science Press, 1980. 1051.
- [6] Stuiver Minze, Braziunas Thomas F. Tree cellulose $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotope ratios and climatic change. *Nature*, 1987, **328**: 58~60.
- [7] Li X B, Chen J F, *et al.* The Characteristics of carbon isotope composition of modern plants over Qinghai-Tibet Plateau (NE) AND Its climatic information. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, **17**: 325~329.
- [8] Lü H Y, Guo Z Y, Wu N Q, *et al.* Effect of altitude on the organic carbon isotope composition of modern surface soils from Qinghai-Tibet Plateau. *Quaternary Sciences*, 2001, **21**: 399~406.
- [9] Tieszen L L, *et al.* The distribution of C3 and C4 grasses and carbon isotope discrimination along an altitudinal and moisture gradient in Kenya. *Oecologia*, 1979, **37**: 337.
- [10] Morecroft M D, Woodward F I. Experimental investigations on the environmental determination of $\delta^{13}\text{C}$ at different altitudes. *Journal of Experimental Botany*, 1990, **41**: 1303~1308.
- [11] Su Bo, Han X G, Li L H, *et al.* Responses of $\delta^{13}\text{C}$ value and water use efficiency of plant species to environmental gradients along the grassland zone of northeast China transect. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, **24**(6): 648~655.
- [12] Chen X Q, *et al.* *Ecology and Environment of Yangtse-Yellow-Lanchangjiang Rivers source region natural Reserve*. Xining: Qinghai People's Press, 2002. 9: 191.
- [13] Li Y N, Wang Q J, Zhou X M, *et al.* The environmental characteristics analysis of plant community at Alpine Meadow. *Arid Zone Research*, 1998, **15**: 54~58.
- [14] Zhang G S, Li L, Wang Q C, *et al.* Effects of climatic change of south Qinghai plateau on the alpine meadow. *Acta Prataculturae Sinica*, 1999, **8**: 1~10.
- [15] Department of Geography, Northwest Teachers College. *Atlas of Physical Geography*. Beijing: Cartographic Press, 1984.
- [16] Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Science. 1: 1000000 Vegetation map of Qinghai Province. Beijing: Science and Technology Press of China, 1990.
- [17] Wang S L, Zhao L, Li S X. Interaction between permafrost and desertification on the Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Desert Research*, 2002, **22**: 33~39.

[18] Luo T X. Distribution Pattens of Aboveground Biomass in Tibetan Alpine Vegetation Transects. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2002, **26** (6): 668~676.

[19] Chen X Q, Zhou L S, *et al.* *Ecologyand Environment of Yangtse-Yellow-LanchangjiangRivers source region natural reserve*, Xining: Qinghai People's Press, 2002. 60.

[20] Zou X Y, *et al.* Desertification and control plan in the Tibet Autonomous Region of China. *Journal of Arid Environments*, 2002, **51**: 183 ~198.

[21] Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. IPCC Third Assessment Report <http://www.ipcc.ch/> 2003. 8. 27.

参考文献:

[1] 李森,董玉祥,董光荣,等. 青藏高原沙漠化问题与可持续发展. 北京:中国藏学出版社,2001. 135,138.

[2] 陈孝全,等. 三江源自然保护区生态环境. 西宁:青海人民出版社,2002. 9:53~55.

[4] 吴玉虎,等. 黄河源区植物资源及其环境. 西宁:青海人民出版社,2001. 28.

[5] 吴征益,等. 中国植被. 北京:科学出版社, 1980. 1051.

[7] 李相博,陈践发,张平中,等. 青藏高原(东北部)现代植物碳同位素组成特征及其气候信息. 沉积学报,1999, **17**: 325~329.

[8] 吕厚远,顾兆炎,吴乃琴. 海拔高度的变化对青藏高原表土 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 的影响. 第四纪研究,2001, **21**: 399~406.

[11] 苏波,韩兴国,李凌浩,等. 中国东北样带草原区植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值及水分利用效率对环境梯度的响应. 植物生态学报,2000, **24**(6): 648~655.

[12] 陈孝全,等. 三江源自然保护区生态环境. 西宁:青海人民出版社,2002. **9**:191.

[13] 李英年,王启基,周兴民,等. 高寒草甸植物群落的环境特征分异. 干旱区研究,1998, **15**: 54~58.

[14] 张国胜,李林,汪青春,等. 青南高原气候变化及其对高寒草甸牧草生长影响的研究. 草业学报,1999, **8**: 1~10.

[16] 中国科学院西北高原生物研究所,青海省植被图(1 : 1000000). 北京:中国科学技术出版社,1990. 6.

[17] 王绍令,赵林,李述训,等. 青藏高原沙漠化与冻土相互作用的研究. 中国沙漠,2002, **22**: 33~39.

[19] 陈孝全,周陆生,等. 三江源自然保护区生态环境. 西宁:青海人民出版社,2002. 60.