

气候变暖对青海农业生产格局的影响*

李英年, 王启基

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

摘要: 分析了现实状况下不同地区农牧业生产格局, 并建立各界限温度及持续天数与现实条件的关系方程。在设定未来气候变暖一定幅度的情况下, 利用该方程组对青海各地未来热量资源予以分析, 探讨未来气候变暖后青海各地农、林、牧生产方式所改变的可能性。结果表明: 青海各地在气温升高 2℃, 降水增加 10% 后, 日平均气温稳定通过各界限温度期间的积温将增加 380℃ 左右, 所对应的持续天数约增加 20 d。其结果会导致青海种植业(特别是经济作物)面积扩大, 并向高海拔地带延伸, 林线上升。但气候变暖的同时, 地表蒸发的加大远比降水的增加来得快, 导致青海各地干旱加剧。

关键词: 气候变暖; 生产格局; 影响; 界限温度; 积温

中图分类号: S162.244 **文献标识码:** A

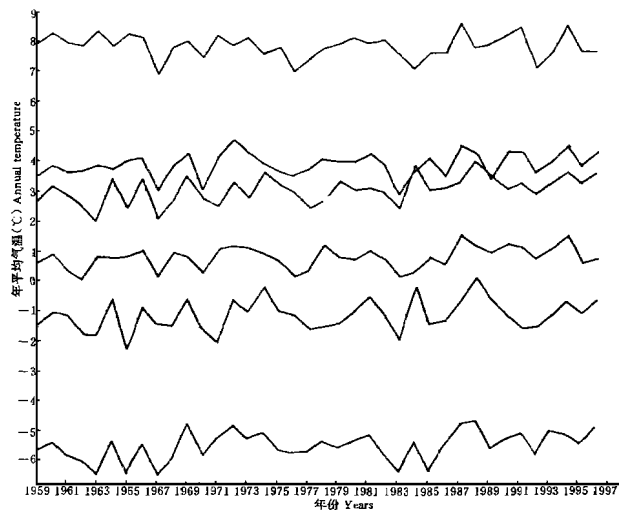
随人类活动和自然现象的加剧, CO₂、CH₄、N₂O、CFCs 等温室气体的排放和火山爆发后尘埃物的蔓延, 致使地球表面温度有所上升^[1-4]。气候变暖将对植被带分布、农作物生长、温度带迁移等产生明显影响, 对此国内外学者已有不少研究^[5-9]。青藏高原受高海拔因素的制约, 地区间热量分布极不一致, 农、林、牧生产方式有明显区别, 本文尝试以各界限温度分布状况探讨青海各地未来气候情景下的热量分布以及对农、林、牧生产方式可能产生的影响。

1 资料与方法

本研究选择青海省 53 个气象台站及中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(海北站)共 54 个站点的气象观测资料^{*}。分析过程中, 首先利用各气象台站日平均气温 0、5、10℃ 的活动积温及其所对应持续天数的分布状况, 确定现实状况下农、林、牧生产方式的分布特征及对环境条件的要求, 尔后建立不同地区各界限温度及持续天数与气温、纬度、海拔高度, 以及湿润系数等因素间的多元回归方程, 参考气候变暖状况下的有关模拟结果, 产生新的气候条件下, 气温的界限温度及持续天数分布状况, 探讨未来新的农、林、牧生产格局和经营方式。

2 现实状况农、林、牧生产方式与环境条件的关系

2.1 近 40 a 青海省气温变化特征及趋势 自 1959~1996 年的 38 a 间, 青海各地年平均气温变化在波动中升高。图 1 为青海达日、玉树、托托河、香日德、祁连、民和等



a 民和 Minhe; b 香日德 Xiangride; c 玉树 Yushu;
d 祁连 Qilian; e 达日 Darì; f 五道梁 Wudaojiang

图 1 青海各地 1959~1996 年年平均气温变化趋势

Fig 1 The change trends in the annual even temperature in Qinghai from 1959 to 1996

6 个地区的年平均气温变化动态, 它们基本可代表该省典型地区年平均气温随年代进程的变化状况, 可以看出, 不论是青海北部还是南部, 东部还是西部, 是海拔较低的柴达木还是较高的可可西里边缘, 其年平均气温均随年代进程有逐年

* 收稿日期: 1998-07-06 修回日期: 1998-10-21

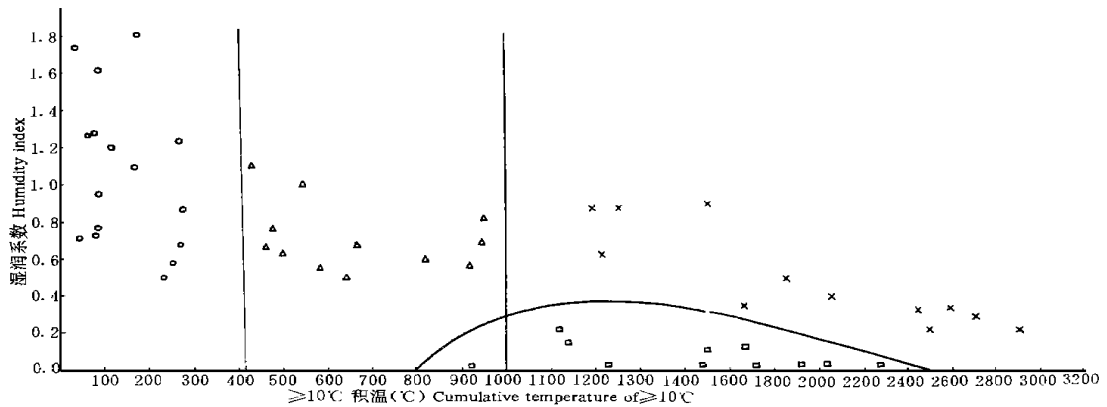
基金项目: 中国科学院“九·五”特别支持项目(KZ95T-04-03)

* 青海省气象科学研究所, 青海省气象局农牧业气候区划办公室, 青海省农牧业气候资源分析区划, 1995

(续表 1)

地区 Areas	现实状况 Reality condition												未来状况 Future condition					
	平均气温 Air temperature			LAT	ALT	K	ΣT ₀	D ₀	ΣT ₅	D ₅	ΣT ₁₀	D ₁₀	ΣT ₀	D ₀	ΣT ₅	D ₅	ΣT ₁₀	D ₁₀
	6月 Jan	7月 July	年 Year															
清水河 Qingshuhe	-17.0	6.2	-4.9	33.8	4415	1.75	579	125	219	32	-	-	824	152	488	65	-	-
玉树 Yushu	-7.9	12.4	2.9	33.0	3681	0.67	1783	211	1569	152	660	53	2234	228	2002	167	1221	82
囊谦 Nangqian	-6.5	13.1	3.8	32.2	3644	0.69	1980	224	1776	164	947	74	2393	234	2158	174	1403	92
曲麻莱 Qumalai	-13.9	8.3	-2.5	34.1	4175	0.78	904	156	566	70	74	7	1339	165	1053	96	358	25
治多 Zhiduo	-12.6	8.8	-1.7	33.8	4179	0.74	1009	162	664	80	94	8	1375	178	1093	108	296	25
杂多 Zaduo	-11.3	10.5	0.2	33.0	3681	0.87	1341	187	1081	118	278	25	1821	201	1558	133	877	60
五道梁 Wudao liang	-16.9	5.3	-5.6	35.2	4612	0.75	451	109	146	22	-	-	604	143	293	63	-	-
托托河 Tuotuohe	-16.2	7.4	-4.2	34.2	4533	0.55	744	137	426	56	-	-	1010	153	754	79	-	-
海北站 Haibei station	-15.2	9.8	-1.7	37.6	3200	1.62	1104	176	921	115	99	9	1507	190	1256	124	525	37

注 Note: LAT: 纬度 Latitudes (°); ALT: 海拔高度 Height elevation (m); K: 湿润指数 Humidity index; ΣT₀: 0 积温 Cumulative temperature of 0; D₀: 0 的持续天数 Continued days of 0; ΣT₅: 5 积温 Cumulative temperature of 5; D₅: 5 的持续天数 Continued days of 5; ΣT₁₀: 10 积温 Cumulative temperature of 10; D₁₀: 10 的持续天数 Continued days of 10。



高寒草原、高寒草甸、高寒灌丛和高寒荒漠区 Alpine steppe, alpine meadow, alpine shrub and alpine desert area; 寒性草原、森林、可宜农作物(青稞、油菜)区 Frigid steppe, forestry and cropping land (highland barely, rapeseeds) area; × 温性草原、森林、农业(春小麦)区 Temperate steppe, forestry and cropping land (spring wheat) area; 干旱荒漠区, 有灌溉农业、疏林区 Dry desert, irrigation cropping and sparse forestry.

图 2 青海各地农牧业生产格局与水热间的关系

Fig 2 The relationship between agricultural-animal production and water, hot on different place at Qinghai

表 2 现实条件下生产方式对环境因素的要求

Table 2 The require of environmental conditions for the production models in natural conditions

作物或植物 Crop	春小麦 W heat of spring	青稞 Barley	森林 Forest	高寒草甸(灌丛) Alpine meadow (shrub)	高寒草原 Alpine steppe	温性草原 Temperate steppe	高寒荒漠 Alpine desert	干旱荒漠 Dry desert
ΣT ₁₀	> 1200	> 500	> 420	< 500	< 500	> 420	< 100	> 1000
D ₁₀	> 90	> 40	> 40	< 40	< 40	> 40	< 10	> 100
T ₇	> 10	> 10	> 10	< 10	< 10	> 10	< 8	> 15
T ₁	> - 14	> - 14	> - 14	< - 14	< - 14	> - 12	< - 15	> - 10
K				> 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.20

注 Note: ΣT₁₀: 10 积温 Cumulative temperature of 10; D₁₀: 10 的持续天数 Continued days of 10; T₇: 7月平均气温 () A average air temperature () of July; T₁: 1月平均气温 () A average air temperature () of January; K: 湿润指数 Humidity index

由表 1 看到, 由于受纬度和海拔高度的影响, 各地月、年平均气温、气温稳定通过界限温度分布均有很大差异。图 2 表明, 日平均气温 10 积温约小于 420 的地区, 为高海拔地带或纬度较高海拔相对较低的草甸和草原, 其中湿润系数较大区域表明降水较为丰富, 一般为高寒草甸或高寒灌丛分布区; 积温在 420~ 1 000 之间的地区, 区域海拔高度相

对较低, 分布寒性草原。这些地区的沟谷分布有疏林, 村镇可以种植油菜、青稞等作物, 部分地区春小麦可以成熟, 该地区降水量一般在 350 mm 左右; 积温 > 1 000 左右的区域, 海拔低, 春小麦可以成熟, 在山地阴坡、河谷、洼地湿润系数较大地区广泛分布有森林, 部分地区春小麦成熟收割后还可复种洋芋、萝卜等作物。柴达木盆地的大部分地区(图 2 中弧线与横坐标包围部分), 热量资源丰富, 但区域干旱, 只有在灌溉条件下才能有农业。同时表明, 不同地区种植方式及农牧业生产结构与日平均气温稳定通过的界限温度及持续天数具有很好的相关性。分析发现, 青海各地春小麦、油菜、青稞和森林、草原、荒漠等种植方式以及农、林、牧业生产结构, 对日平均气温稳定通过 10 的积温和持续天数及其它环境因素表现出很好的对应关系(表 2)。

3 未来气候变化对农牧业生产的影响

3.1 未来气候变化情景设定

近百年地面气温观测表明, 年平均气温确实上升了 0.5^[1]。青海各地的气温变化分析发现, 38 a 中年平均气温上升了 0.4 左右。有关研究表明, 到 2023 年大气温室气体(CO₂ 等)的浓度可能比工业革命前的 280 × 10⁶ ppt 增加 1 倍, 达 560 × 10⁶ ppt 以上。认为大气中 CO₂ 浓度加倍, 气温将上升 1.5~ 4.5^[14, 15]。自 1990 年政府间气候变化委员会(IPCC)的报告发表以来^[1], 各国在温室气体增加对气候变化影响的数值模拟研究愈来愈受到重视, 其中较有名的是大气环流模型(GCM)及海气藕和模式(GCMs), 它们已成为全球模拟气候变化的重要工具和主要手段。这些模拟结果均显示出当 CO₂ 倍增时, 地面大气温度将增加 1.37~ 2.60^[14]。赵名茶^[7]以 IPCC 的估计值为依据, 认为 2100 年全球增温 3.0。张新时等^[16]以 GCM 为基础模拟得出温室气体倍增后年平均气温可有 2 种结果, 即: 年平均气温增加 2, 年降水增加 20%; 年平均气温增加 4, 年降水增加 20%。然而, 由于地理位置的差异, 加上高原本身所特有的“冷岛”和“热源”的作用, 地区间气温变暖幅度极不一致。如: 青海北部与南部在过去的 38 a 间年平均气温增幅就有一定的差别。

对于未来气候变暖的趋势各界人士给予充分肯定, 但其变暖幅度具体有多大, 众说纷纭, 各有自己的理论根据和模拟结果。由于资料和方法不一致, 每种结果有其自身的不确定性。同时各国对能源利用政策制定的加紧落实, 温室气体受到不同程度的控制, 对未来气候状况模拟结果亦有一定的不确定性。本文通过比较各文献的结果, 假定未来年平均气温增加 2, 年降水增加 10% 的状况下分析, 预测青海未来气候变化后的农牧业生产方式。

3.2 未来气候对农、林、牧业生产方式(制度)的影响 统计全省 54 个地区现实状况, 日平均气温稳定通过 0、5、10 的积温及持续天数与 1 月平均气温(T₁)、7 月平均气温(T₇)、年平均气温(T_年)、地理纬度(LAT)、海拔高度(ALT)和湿润系数(K)之间的多元回归分析表明, 具有极为显著的复相关关系(n = 50, P < 0.001), 有回归方程:

$$\sum A = a_0 + a_1 T_1 + a_2 T_2 + a_3 T_{年} + a_4 LAT + a_5 ALT + a_6 K \quad (1)$$

$\sum A$ 表示积温或持续天数。有关方程的系数见表 3。

表 3 各界限温度及持续天数与气温、纬度等之间的关系

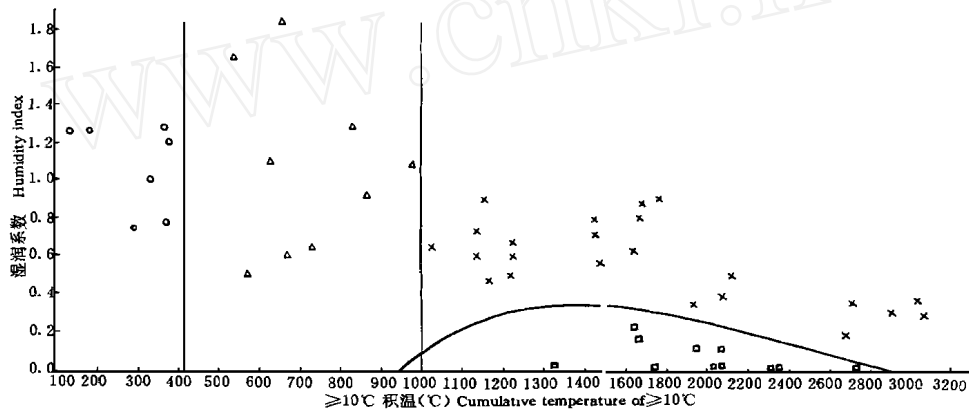
Table 3 The relationship equation among limited cumulative temperature, sustain days and air temperature latitude

回归方程 Regression equation	$\sum A = a_0 + a_1 T_1 + a_2 T_2 + a_3 T_{年} + a_4 LAT + a_5 ALT + a_6 K$							
回归系数 Regression coefficient	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	r
$\sum T_0$	1670.95	- 55.3018	75.2439	166.2894	- 38.3482	- 0.0995	- 51.5942	0.9950
D ₀	189.87	- 4.8342	- 7.5449	21.2300	0.7404	- 0.0029	0.1943	0.9936
$\sum T_5$	939.41	- 71.0531	73.7333	196.5013	- 30.2249	- 0.0899	- 91.1042	0.9960
D ₅	23.45	- 4.2573	- 3.8791	20.2107	2.8214	- 0.0038	- 6.8775	0.9874
$\sum T_{10}$	1390.08	- 115.9163	149.2970	167.4951	- 94.2668	- 0.1828	- 56.9739	0.9830
D ₁₀	133.55	- 6.7009	6.0017	11.8383	- 5.1581	- 0.0160	- 10.4609	0.9893

注 Note: $\sum T_0$: 0 积温 Cumulative temperature of 0; D₀: 0 的持续天数 Continued days of 0; $\sum T_5$: 5 积温 Cumulative temperature of 5; D₅: 5 的持续天数 Continued days of 5; $\sum T_{10}$: 10 积温 Cumulative temperature of 10; D₁₀: 10 的持续天数 Continued days of 10

依照不同地区的积温、持续天数与 1 月、7 月、年平均气温, 以及纬度、海拔高度, 还考虑到受降水胁迫影响的湿润系数等关系方程(1), 当气温升高 2 (这里认为冬夏气温上升一致)后各地的积温和所对应的持续天数见表 1。由表 1 看出, 当气温上升 2, 降水量增加 10% 时, 青海各地日平均气温 0、5、10 的平均积温分别为 2 164、1 967 和 1 410, 比现实状况下分别高出 376、405 和 389; 而持续天数平均为 215 d、161 d 和 92 d, 分别比现在多 18 d、25 d 和 21 d。同样, 以未来状况下的积温和湿润系数按图 2 方式可绘出未来气候条件的农牧业生产格局分布(图 3)。发现日平均气温 10 的积温, < 420 的地区变少, 而 > 420 的地区增多。积温的增加及持续天数的增多, 将对植物产生

较大影响,农、林、牧业生产方式也将随之发生变化。笔者十几年前在青海南部的果洛工作期间,县镇上仅能引种黑刺等比较低矮的灌木类植物,有的年份受低气温侵害还会冻伤致死。但从80年代中期开始至今,气温趋暖化明显,虽然温度上升微小,但这些地区在引种以上植物的同时于1996年沿黄河引栽沙柳、白杨等树木,均生长良好^[17]。再如位于青海北部的门源马场永安城生产队,其东北侧曾在60年代被开垦为农田(原为草地),但当时气温较低,热量条件达不到要求,植物生长期短,根本不适宜油料等作物生长而撂荒,后演替为次生草地。1997年该队本着气候变暖的特征又试种,结果油菜年平均产量达45.4 kg/666.7m²,海北站离该生产队仅6 km,1997年植物生长期的(5~9月)平均气温7.3℃,比历年平均气温(6.9℃)偏高0.4℃,而降水稍偏少。不仅如此,近年来部分农牧交错带逐步向地势较高的草原推进,河卡、贵南、江西沟、兴海、门源、班玛等地大面积开垦荒地,过去适宜生长青稞而不易生长小麦的地带,现在被小麦替代;过去适宜放牧的海拔较低地区,现在可以种植油菜;过去那些热量条件较好而不宜生长白杨等乔木类植物的地方出现该类植物,成为疏林。



高寒草原、高寒草甸、高寒灌丛和高寒荒漠区 Alpine steppe, alpine meadow, alpine shrub and alpine desert area; 寒性草原、森林、可宜农作物(青稞、油菜)区 Frigid steppe, forestry and cropping land (highland barely, rapeseeds) area; × 温性草原、森林、农业(春小麦)区 Temperate steppe, forestry and cropping land (spring wheat) area; 干旱荒漠区、有灌溉农业、疏林区 Dry desert, irrigation cropping and sparse forestry.

图3 未来青海各地农牧生产格局与水热间的关系

Fig 3 The relationship between agricultural-animal production and water, hot on different place at Qinghai in the coming condition

这些事实证明,气候变暖对青海各地农、林、牧生产格局将发生变化。在气温升高2℃,年降水增加10%的状况下,青海各地界限温度积温增加380℃,持续天数延长20 d以上,草原面积萎缩,林线上升,易农地区扩大,种植业在河畔、谷地水分保证的条件下会有大量发展;森林适宜面积也将有所扩展。但气温升高后热量增加会造成土壤蒸发率的加剧,蒸发量可能大于降水增加的补给量,进而带来新的问题,部分地区可能变得更为干旱,从而加剧沙漠化的进程。此外,趋暖化程度会加大开垦草原的力度,原生植被将遭受破坏,水土流失更加严重。由于青藏高原隶属地球第三极,地处欧亚大陆腹地,海拔高,空气稀薄,太阳辐射强烈,受诸因素的综合影响,生态系统十分脆弱,自然植被一旦遭受破坏,其恢复极为缓慢。这些生态环境问题政府部门应给予高度的重视,不可盲目开垦草原,大力开展植树种草,并制定出区域可持续发展战略方针政策。

致谢: 本所周立华研究员对本文提出了宝贵意见, 特此致谢。

[参 考 文 献]

- [1] Houghton J T, Jerkins G J, Ephraim s J J. Climate change The IPCC scientific assessment. Cambridge University Press, 1990: 365
- [2] Hulme M, Lemons R, Zhao Zongci, *et al*. Climate change due to the greenhouse effect and its implications for china. UEA Norwich climate Research Unit. WWF. Sma china. Benson production, 1992: 54
- [3] 王绍武, 赵宗慈. 未来 50 年中国气候变化趋势的初步研究. 应用气象学报, 1995, 6(3): 333~ 342
- [4] 叶笃正. 中国的全球变化预研究. 北京: 气象出版社, 1992
- [5] 高素华, 潘亚茹. 温室效应对气候和农业的影响. 环境科学, 1991, 12(2).
- [6] 赵宗慈. 五个全球大气海洋环流模式模拟二氧化碳增加对气候变化的影响. 大气科学, 1992, 14(1).
- [7] 赵名茶. 全球 CO₂ 倍增对我国自然地域分异及农业生产的影响的预测. 自然资源学报, 1995, 10(2): 148~ 157.
- [8] 王石立, 王馥棠. 气候变暖对黄海地区小麦产量可能影响的模拟实验. 气象学报, 1993, 51(2): 209~ 216
- [9] 崔读昌. 气候变暖对我国农业生产的影响与对策. 中国农业气象, 1992, 13(2): 16~ 20
- [10] 赵宗慈, 王馥棠. 温室效应引起的气候变化及对中国的影响. 瑞士: 世界自然基金会出版, 1992
- [11] 王绍武. 近百年气候变化与变率的诊断研究. 气象学报, 1994, 54(3): 261~ 273
- [12] 李英年, 张景华. 祁连山气候变化及其对高寒草甸植物生产力的影响. 中国农业气象, 1997, 18(1).
- [13] 沃洛布耶夫. 土壤与气候 (杨景辉译). 北京: 科学出版社, 1958
- [14] 李晓东, 王绍武, 赵宗慈, 等. 东亚地区未来气候变化的CGCM 模拟研究. 应用气象学报, 1995, 6(增刊): 1~ 8
- [15] Cubasch U, Santer B D, Hellbach A, *et al*. Motta Carol Climate forecasts with a global coupled ocean atmosphere model. Clim. Dyn., 1994, 10: 1~ 9.
- [16] 张新时, 杨莫安, 倪文革. 植被的 PEP (可能蒸散) 指标与植被—气候分类 (三), 几种主要方法与 PEP 程序介绍. 植物生态学与植物学学报, 1993, 13: 97~ 109

Effect of Climate Warming on the Productive Pattern of Agricultural and Animal Husbandry in Qinghai

L I Y ing-n ian and WANG Qi-ji

(Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Sciences, Xi'ning 810001)

Abstract: The distribution of productive pattern of agricultural and animal husbandry in different area in the present condition is analysed in this paper, and the relation equation between demarcation temperature in every area, continuous time (day) and the present environmental condition is also developed. There is a relationship between distribution of productive pattern of agricultural and animal husbandry in different area, local quantity of heat and continuous time (day) of different demarcation temperature. By using the equation, the change possibility of the productive pattern of agricultural and animal husbandry and forestry in Qinghai is analysed with the future climate changes. Meanwhile resources for quantity of heat in the future in Qinghai are also analyzed. The results show: Cumulative temperature of demarcation temperature of the day mean air temperature stable passing-through will increase about 380 °C, and the continuous day will increase in 20 days on the condition of air temperature raising 2 °C and precipitation increase by 10% in different condition. It will lead to increasing the area of planting especially economic crops in forest-line, and in higher level of latitude region. On the other hand, the drought in different area will become denser because of the increasing in the evaporation of soil surface.

Key words: Climate warming; Productive pattern; Effect; Demarcation temperature; Cumulative temperature