

青南青北寒冻雏形土地温状况比较 及对牧草产量的影响

李英年¹, 余生虎², 关定国³, 王勤学⁴, 杜明远⁵, 赵亮¹

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2. 青海省甘德县气象站, 青海 甘德 814100;
3. 青海省门源种马场, 青海 门源 813000; 4. 日本国立环境研究所, 日本 筑波 3058506;
5. 日本农林环境技术研究所, 日本 筑波 3058604)

摘 要: 青海南北二地寒冻雏形土分布区, 由于海拔高度及地理环境不同, 气候变化差异显著。但分析二地地温变化特征发现, 青南青北地温分布趋势基本相似, 差异不甚明显。这主要与二地土壤质地和湿度、植被覆盖程度不同等有关。表明地温变化是在气候引起变化的基础上叠加了局地土壤—植被性状影响下的结果。当年冬春地温低时, 对应牧草产量较高, 而地温较高的年份则牧草产量低, 究其原因可能与地温低, 土壤冻结深厚坚实, 地表蒸发减小, 易贮存较多的土壤水分有关。

关键词: 青南青北地区; 寒冻雏形土; 地温状况; 牧草产量

中图分类号: S812. 1

文献标识码: A

地温是土壤表面吸收太阳短波辐射后转变为土壤热能, 并传送到深层的表述。地温作为土壤环境的重要指标, 在土壤发展方向、发育速率, 以及生物生产力形成、植物群落结构演替和种群数量稳定等过程中占据重要的地位。多年来, 对于地温研究工作从未中断^[1-5]。但地理位置相异的不同地区, 其生态条件、土壤物理属性不同, 热量垂直传导和扩散的物理过程错综复杂, 表现出不同地区地温时空分布有较大的差异。在高海拔区域, 异地气候变化差异较大时, 受不同地区植被盖度、土壤湿度和质地结构等条件影响, 地温分布怎样? 可比性有多大? 目前少有报道。为此有必要对此方面进行研究讨论, 这不仅对研究植物、微生物和土壤成土过程有重要作用, 而且对气候变化机理, 以及地学与生物学相互渗透的交叉研究均具有重要的意义。

基于中国土壤系统分类的需求^[6], 我们于 1991~ 1993 年在青海南部甘德(简称青南)和北部海北(简称青北)设点, 对二地寒冻雏形土自然植被状况

平缓滩地 0~ 50 cm 地温进行了观测。本文是对青南和青北地温状况比较分析的报道。

1 研究区域气候状况及资料

本研究工作主要取自 1993 年度在青海南北二地地温同步观测资料。青南观测点选择在甘德县气象站, 青北观测点选择在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(海北站)。有关二地自然地理概况见表 1。

青南青北二地地温观测均在有自然植被覆盖下进行, 观测点分别设在甘德气象站和海北站气象观测站内。仪器安装采用土钻打眼, 在不破坏植被的前提下埋入, 并填实。仪器系气象站用曲管和直管温度表。观测项目为 0, 10, 20, 40, 50(cm) (青南多增加 30 cm) 等 5 层次温度。观测及数据统计等技术严格按有关气象规范^[7]要求进行。

收稿日期(Received date): 2004- 01- 05; 改回日期(Accepted): 2004- 07- 10。

基金项目(Foundation item): 国家基础研究规划项目(2002CB412501), 中国科学院知识创新工程项目(KSCX2- 1- 07), 亚太地区环境创新战略计划(APEIS) 项目。 [Supported by the key project of Chinese Academy of science (No: 2002CB412501), Knowledge Innovation program of CAS (No. KZCX1- SW- 01- 01A5), Asia-Pacific Environmental Innovation Strategy (APEIS), NIES, Japan]

作者简介(Biography): 李英年(1962-), 男, 高级工程师, 主要从事生物气象研究工作。 E-mail: ynli@ mail. nwipb. ac. cn [LI Yingnian, Senior Engineer, Major research field in Biometeorology. E-mail: ynli@ mail. nwipb. ac. cn]

表 1 青南、青北观测点有关自然地理概况
Table 1 Geographic conditions at the observing station in south Qinghai and north Qinghai

地 区	青 南	青 北
地理坐标	阿尼玛卿山东段南麓, 曲贡麻叉河谷, 33° 58' N、99° 54' E、海拔高度 4 050 m	祁连山冷龙岭东段南麓, 大通河河谷, 37° 37' N、101° 19' E、海拔高度 3 200 m
简要气候	年均气温- 2.5℃, 1 月平均气温- 14.6℃, 7 月平均气温 8.2℃; 年降水量 531 mm, 暖季 5~ 10 月降水占年降水量的 87%	年均气温- 1.7℃, 1 月平均气温- 15.2℃, 7 月平均气温 9.9℃; 年降水量 582 mm, 暖季 5~ 10 月降水占年降水量的 80%
植被类型	以垂穗披碱草为主要种的高寒草甸植被, 生产力低, 植被总盖度约 70%	以矮蒿草为主要种的高寒草甸植被, 生产力相对较高, 植被总盖度约 90%
土壤类型	寒冻锥形土(亚高山草甸土), 中壤, 土质较干	寒冻锥形土(亚高山草甸土), 中壤, 土质湿润

2 结果与讨论

2.1 地温年变化状况及比较

对于较深层土壤来讲, 通常在暖季热量自上而上传输, 冷季土壤表面因长波辐射首先冷却, 热量自下而上散失。表现出深层地温与地表温度年变化相关, 是由地表温度高低波动来决定, 变化规律与地表

温度的变化规律相似, 但自上而下不同层次地温的最高、最低出现时间(位相)滞后, 年变化振幅(年较差)减小。

图 1 绘出了 1993 年青南青北二地寒冻锥形土 0~ 50 cm 地温年变化状况, 表 2 给出了二地地温年较差及月平均统计。考虑到各地气候状况的不同, 在表 3 列出二地多年及 1993 年有关气温、降水情况。

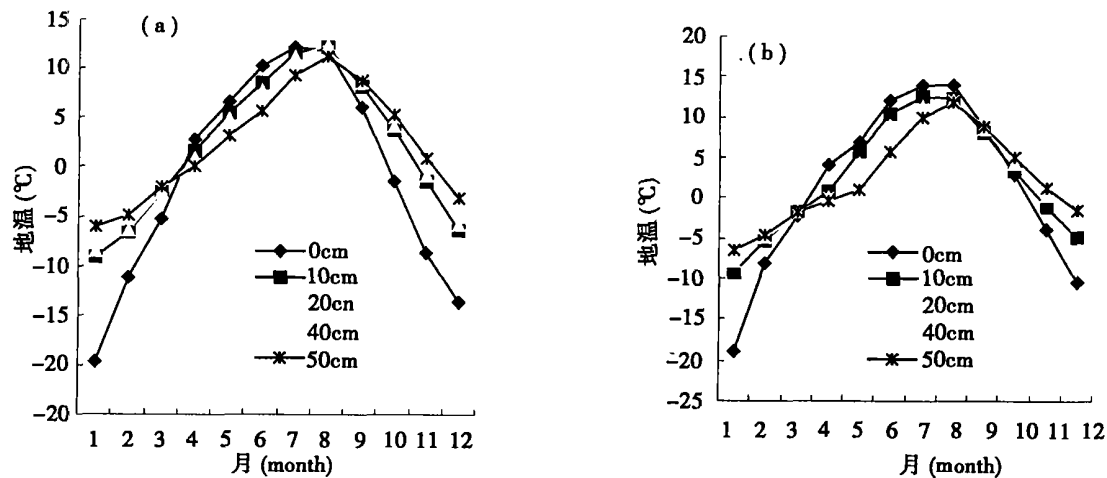


图 1 青南(a)青北(b)寒冻锥形土地温(℃)月变化比较(1993 年)

Fig. 1 The comparison of monthly ground temperature variation of the Mat-Crylic Cambisols in south Qinghai(a) and north Qinghai(b) (1993)

可以看出, 青南甘德地区由于海拔高, 气温较青北海北站地区低, 地理位置不同, 受地形及季风环流等影响, 多年降水量也低于青北地区(但 1993 年青南降水较高)。青北测点虽然海拔高度较青南甘德地区低 850 m, 但由于地理纬度偏北, 气温仍较低, 年均气温仅比甘德高 0.8℃。建立青南与青北二地区月平均气温、同层次月平均地温间的回归方程有: 气温

$$r = 0.989$$

20 cm 地温

$$ET_{北} = 0.595 + 0.989 ET_{南}$$
$$r = 0.954$$

50 cm 地温

$$ET_{北} = 0.068 + 0.999 ET_{南}$$
$$r = 0.999$$

由回归方程指出, 二地气温间方程的截距大(1.322), 相应斜率较低, 表现为气温差异明显; 而地

$$AT_{北} = 1.322 + 0.928 AT_{南}$$

表 2 青南青北寒冻锥形土各月平均地温及年较差统计(1993 年)

Table 2 Average monthly ground temperature and difference of it yearly of the Mat-Crylic Cambisols and in south Qinghai and north Qinghai (1993)

地区	深度 (cm)	月平均地温 (℃)				年平均	年较差 (℃)	月平均最高 (℃)		月平均最低 (℃)	
		1 月	4 月	7 月	10 月			地温	出现时间	地温	出现时间
青 南	0	- 19. 8	2. 6	12. 2	- 1. 6	- 0. 9	32. 0	12. 2	7 月	- 19. 8	1 月
	10	- 9. 1	1. 6	11. 6	3. 6	2. 0	21. 3	12. 1	8 月	- 9. 1	1 月
	20	- 8. 6	0. 9	11. 2	3. 9	2. 1	20. 7	12. 1	8 月	- 8. 6	1 月
	40	- 6. 9	0. 1	9. 9	4. 8	2. 2	18. 5	11. 6	8 月	- 6. 9	1 月
	50	- 6. 2	0. 0	9. 3	5. 2	2. 3	17. 3	11. 1	8 月	- 6. 2	1 月
青 北	0	- 19. 0	4. 1	14. 0	- 2. 8	1. 5	31. 0	14. 8	7 月	- 16. 2	1 月
	10	- 9. 3	0. 8	12. 4	3. 3	2. 5	24. 0	12. 4	7 月	- 11. 6	1 月
	20	- 7. 9	0. 1	11. 4	4. 2	2. 6	22. 1	12. 2	8 月	- 9. 9	1 月
	40	- 6. 9	- 0. 3	10. 6	4. 9	2. 5	18. 8	11. 9	8 月	- 6. 9	1 月
	50	- 6. 4	- 0. 5	10. 0	5. 0	2. 4	18. 1	11. 7	8 月	- 6. 4	1 月

表 3 青南青北各地多年及 1993 年有关气候资料

Table 3 The climatic data in south and north Qinghai in 1993 and other years

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年	
青 南	AT	- 14. 6	- 11. 4	- 8. 7	- 1. 5	2. 9	6. 3	8. 2	7. 6	4. 2	- 1. 4	- 9. 3	- 13. 8	- 2. 5
	1993T	- 18. 9	- 12. 3	- 8. 9	- 1. 1	3. 1	5. 8	8. 5	7. 8	3. 5	- 2. 9	- 9. 0	- 12. 4	- 3. 1
	AR	4. 9	6. 3	14. 2	26. 8	55. 5	100. 6	111. 7	85. 5	86. 3	31. 8	4. 9	2. 8	531. 3
	1993R	16. 2	19. 3	21. 7	16. 3	58. 7	90. 2	123. 9	132. 9	59. 1	50. 7	3. 5	0. 2	592. 7
青 北	AT	- 15. 2	- 11. 6	- 6. 3	- 0. 5	4. 2	7. 7	9. 9	9. 0	4. 8	- 1. 0	- 8. 2	- 13. 2	- 1. 7
	1993T	- 17. 1	- 9. 4	- 4. 0	0. 2	2. 6	7. 3	9. 8	8. 5	4. 2	- 2. 3	- 6. 2	- 11. 9	- 1. 5
	AR	4. 1	9. 2	23. 4	37. 1	63. 3	96. 3	117. 9	112. 9	74. 2	32. 6	7. 7	3. 4	582. 1
	1993R	2. 4	9. 9	15. 5	15. 2	65. 8	65. 6	130. 4	143. 5	31. 4	22. 6	4. 1	1. 2	507. 6

注: AT: 多年平均气温(℃); 1993T: 1993 年平均气温(℃); AR: 多年降水量(mm); 1993R: 1993 年降水量(mm)。

温间截距小, 20 cm 和 50 cm 层次分别为 0.595 和 0.068, 截距自土壤表层到 50 cm 层次向 0 接近, 同时斜率比气温间方程更接近于 1, 50 cm 处几乎为 1, 即较深层二地地温间差异微小, 变化几乎一致。这主要表现于, 青南地区虽然气温较青北地区低, 但由于土壤相对干燥, 土壤沙质结构比青北稍重, 土壤湿度低, 加之植被覆盖度较青北测点低, 致使青南地区有较高的土壤导热率, 土壤增温快, 降温也迅速, 地温表现与青北出现相同的变化趋势及量值的雷同。

就二地区旬平均地温而言, 青南寒冻锥形土区, 从 0~ 50 cm 深层各层次旬平均最高温度出现在 7 月中旬至 8 月中旬间, 0, 10, 20, 40, 50(cm) 分别为 13.5℃, 13.1℃, 12.9℃, 12.2℃和 11.9℃, 位相自表层至 50 cm 深层滞后 3 旬, 温度下降 1.6℃; 旬平均最低均出现于 1 月下旬, 0, 10, 20, 40, 50(cm) 分别为- 23.9℃, - 11.4℃, - 10.6℃, - 8.3℃, - 7.5℃, 自上而下位相一致, 地温上升 16.4℃。表现出暖季地温自上层到下层降低, 而冷季相反, 自上而下上升, 且升高明显。同时表现出自上而下各层次地温年较差降低, 分别为 32.0℃, 21.3℃, 20.7℃, 18.5℃, 17.3℃, 年较差平均每 10 cm 降低 2.9℃左右。

青北寒冻锥形土区, 从 0~ 50 cm 各层旬平均最高温度出现于 7 月下旬到 8 月上旬, 分别为 15.6℃, 13.6℃, 13.0℃, 12.4℃和 12.2℃, 位相自表层至 50 cm 深层滞后 1 旬, 温度下降 1.4℃; 旬平均最低出现于 1 月中旬到下旬, 分别为- 23.8℃, - 10.6℃, - 9.3℃, - 8.2℃和- 7.9℃, 位相延后 1 旬, 自上而下地温上升 15.9℃。各层次地温年较差分别为 31.0℃, 24.0℃, 22.1℃, 18.8℃, 18.1℃, 年较差平均每 10 cm 降低 2.6℃左右, 其变化趋

势与青南一致。

在 50 cm 深处, 青北青南寒冻锥形土地年平均温度分别为 2.4 °C 和 2.3 °C, 暖季的 6~9 月平均温度分别为 9.1 °C 和 8.7 °C。深层土壤湿度年内未达饱和状态, 不论是青南还是青北在最暖的 7 月, 地表常出现日最低温度 < 0 °C, 平均达 9~15 d 左右, 表现出地表出现短时的结冰、霜冻等现象。因此, 依中国土壤系统分类(修订方案)^[6] 中的温度诊断特点, 二地区土壤均属寒性土壤温度状况(Low-crgic soil temperature regime)。

2.2 地温垂直变化及剖面分布特征比较

图 2 给出青南青北寒冻锥形土地温的时空剖面分布。由图 2 看出, 青南青北地温在时空剖面上变化规律基本相似。地温在春季上升和秋季下降速率相当, 0 °C 等值线基本上同时出现, 并自上而下变化分布趋势一致, 表明土壤冻结及融化基本处于同一时期, 季节冻土维持时间基本一致。但从暖季 12 °C 等值线所包围的面积来看, 青北海北地区比青南甘德地区高温持续时间较长。同时由冬季地温分布相仿表明, 青北地温年较差大于青南地区。由于青北地区的植被发育良好, 高度高, 植被盖度明显大于青南地区, 加之青北地区植物根系密集, 有良好的持水和滞水能力^[8], 土壤湿度保持较高的水平, 在青北的植物生长期(4 月下旬到 10 月下旬) 0~50 cm 整层, 土壤水分占干土重的百分比在 25%~53% 间变动, 平均为 33%, 而在青南的同时期同层次内, 土壤湿度在 17%~23% 之间变化, 平均仅为 19%, 比青北海北站地区低 14 个百分点。受植被覆盖度及较高土壤湿度造成热容量大导热率低的影响, 理应有相对低的地温日、年较差, 但青北地区 10~50 cm 平均年较差较青南地区高 1.3 °C, 说明青北比青南地区地温的年较差大。其原因可能与青北地区冬季太阳高度角低, 地面接受日照射时间短, 而在夏季, 由于纬度偏北, 造成日照时间较长, 使地面获得较多的热量所为。

地温变化首先应归结于天气气候的波动变化, 无论是较浅的 10 cm, 还是较深的 50 cm, 地温变化所表现的周期性与太阳辐射影响下的气温及地表温度变化相一致, 只是随深度加深变化周期的位相滞后, 振幅减弱, 年较差变小; 其次与各地植被、反射率、土壤形状等有关。尽管青南青北二地气候差异显著, 但地温在总体趋势上有相一致的变化, 原因应归结于地表状况(如植被厚度、反射率)、土壤干湿、

土壤的结构组成成分存在较大差别, 这些差别必将影响到地表吸收太阳辐射及其能量传输过程。从而认为, 青南青北的地温变化是在气候波动变化上叠加了因自然植被、土壤湿度等条件限制下的局地波动影响。虽然也受地球内部热量可能影响, 但这种影响及其微弱。

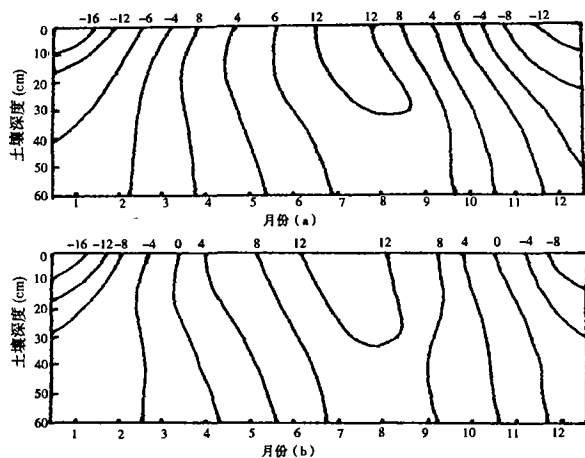


图 2 青南(a) 青北(b) 寒冻锥形土地温时空剖面分布

Fig. 2 Spatiotemporal distribution of ground temperature in the south(a) and north Qinghai(b)

年内 0~50 cm 层次, 不论青南还是青北寒冻锥形土, 同一水平深度在季节转换的春季和秋季等值线较其他时间密集, 表明二地在该时期地温变化剧烈, 土壤在水平方向上热量交换迅速, 而其他时间则显得相对平稳。同时表明, 垂直方向上寒冻锥形土地温在上层的 0~20 cm 左右, 地温变化强烈, 特别是青南地区, 由于在地表面青南的地温明显高于青北, 在较深层, 二地地温又基本相同, 致使青南地表上层地温变化明显比青北地区变化剧烈。这是因为, 青南地区植被盖度相对较小, 植被对温度的“缓冲”作用小于青北海北站地区。

由图 2 还可看出, 0 °C 等值线在寒冻锥形土延伸较深。表明季节冻土在寒冻锥形土深厚, 多年观测表明季节冻土最深约在 200~260 cm 间, 1993 年至次年 4 月底青南青北二地最大冻土分别 196 cm 和 204 cm。从地温随深度分布的趋势来看, 由于二地年均地温在 2 °C 左右, 底层地温也不是很低, 可以认为该类地区无永久冻土, 只有季节冻土存在。当然, 随海拔及纬度的增高, 地温会有所降低, 该地区有可能出现永冻层, 但具体在何高度出现永冻层, 有待今后讨论。

刘永强^[9]认为,从气候平均的意义来讲,土壤湿度的作用至少比土壤温度的作用大 4~10 倍,意味着地—气系统的相互作用中,土壤湿度的变化起主导作用。他过重地强调湿度要素的影响。但实际上,湿度的影响首先应归根于地表植被层的层片和层次等下垫面结构、地表反射率、土壤导热率等的影响结果,进而作用着土壤温度的变化,终归影响到气候扰动现象,所以,对于地区地温系统在天气气候变化过程中的作用亦是不可忽视的。由此认为,在土壤湿度、植被覆盖度大的情况下,地温变化平稳,地温梯度较小,地—气水分和能量交换受热力载体的作用相对弱些,系统调节状态回到正常态的过程较快。表明地温的变化在地—气耦合中也有非常重要的作用。

2.3 地温变化与牧草产量的对应关系

多年来,不同学科的研究者,在探讨气候变化与牧草产量的对应关系时,提出不少见解^[10,12]。应该说牧草产量的形成与提高,是多种综合因素的产物,特别是青藏高原天然放牧草场,由于社会投入甚微,且同一地区土壤理化性质在相当时期内保持不变,显示出各年牧草产量的高低与当地的气候条件(如气温、降水、日照时间等)有着极为明显的协同关系,即年景气候变化不同,其牧草产量差异较大。

为探讨青南青北地温变化与不同地区牧草产量的对应关系,这里较多采用了青北海北站地区 1983 年到 1996 年的地温和牧草产量的观测资料。由于青南甘德气象站仅是 1993 年和 1994 年按本课题需要进行了地温观测(该站不进行地温观测),故对甘德地区只采用了该二年牧草产量和地温的观测资料。虽然资料有限,但作为尝试仍有重要意义。

从气候特征及高寒草甸植被生长发育的生态特征来看,高寒草甸地区降水相对丰富(400~700 mm),降水多分布在 6~9 月,约占年降水量的 60%~70%,基本可满足牧草后期生长发育的水分要求。但与中国北方地区一样,受“春寒”和“春旱”的影响较为严重。高寒草甸牧草萌动发芽的初期营养生长阶段,是奠定牧草生长好坏,产量提高与否的基础关键时期,为此春季牧草营养生长时期的干旱等天气气候条件对当年牧草产量的影响较为重要。

从植被类型来看,不论是青北还是青南,二地均属典型的高寒草甸植被类型,只是由于放牧等活动影响,植物主要组成种和伴生种略有一定差异。但青北海北站地区草场保护较好,放牧压力低,牧草长势良好,其牧草产量普遍高于甘德地区。但对同一地区各月地温与牧草产量间的关系分析发现,1~4 月地温较低的年份,当年牧草生产量较高。如海北站牧草产量较高的 1983、1989、1995 年,地温均较低,这些年份 0~30 cm 土层 1~4 月地温均低于多年(18 a)平均值 1~2 °C,对应牧草产量(干重,下同)均接近 400 g/m² 或 400 g/m² 以上(海北站多年平均约为 350 g/m²);而牧草产量较低的年份,冷季地温均较高。其他时间的月平均地温与牧草产量的关系似乎显得很低。为便于比较,图 3 绘出了海北站 1~4 月 15 cm 平均地温与该地牧草产量的对应关系。由图 3 看出,同一地区的牧草产量与冷季月平均地温具有显著的反相关关系,其牧草年产量(GW)与 1~4 月 15 cm 月平均地温(ET)可成立下列回归关系

$$GW = 211.8506 - 32.1980ET$$

$$n = 0.5473 \quad P < 0.05$$

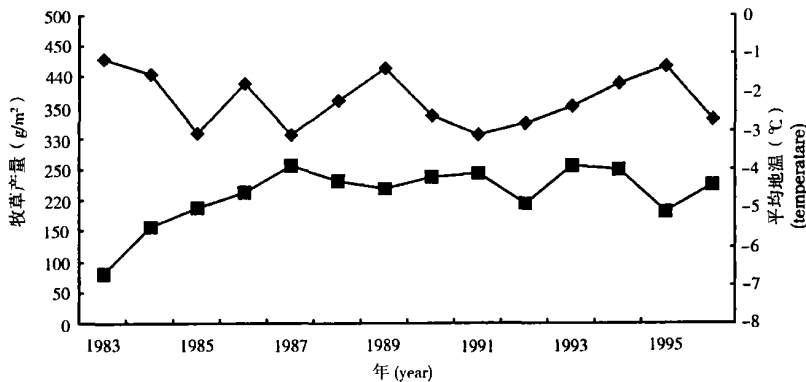


图 3 海北寒冻锥形土 1~4 月 15 cm 月平均地温与牧草产量的关系

Fig. 3 Relationship between mean ground temperature from January to April and herbage yield in the Ma-Cryic cambisols of the area of northern Qinghai

在青南的甘德地区, 据甘德气象站牧草组测定, 1994 年冬春 0~30 cm 各层次地温比 1993 年低 2~4 °C, 1994 年牧草产量测定值为 116.7 g/m², 比 1993 年的 102.8 g/m² 高 14 g/m² 左右。也表现出冷季温度低, 牧草年产量高的变化规律。

可见在同一地区冬春地温低的年份对应有牧草产量似乎较高, 而地温较高的年份则对应相对低的牧草产量。究其原因可能是地温低, 易使土壤冻结深厚而坚实, 同时受低温环境影响地表蒸散量明显减小, 从而会贮存较多的土壤水分。虽然温度低将对植物的根茎带来不利的影响, 但水分的贮存, 将弥补春季牧草萌动发芽时受天气气候胁迫下干旱的影响, 对牧草初期营养生长阶段有利, 终归影响当年牧草产量的形成与提高。这也证实, 在未来气候变暖的趋势下, 若降水仍保持现有的水平, 高寒草甸植被的牧草产量将有所下降。当然并非温度越低越利于牧草产量的形成与提高, 更深刻的相互机制问题和基本原因还有待作进一步的研究证实。同时, 应该指出的是由于牧草产量的提高与降低是受诸多气候因素的影响, 本文仅考虑地温的变化与牧草产量间的关系。

3 小结

1. 青南青北气候变化(特别是气温)有一定差异, 但地温差异并非明显, 表现出几乎一致的变化特征, 二地的地温变化不仅受总体气候的波动影响, 同时受土壤性状、湿度、植被生长发育状况、植被覆盖度等影响。

2. 由于青北青南 50 cm 处寒冻锥形土二地年平均及暖季的 6~9 月平均温度均较低, 因此, 依中国土壤分类中按温度诊断特点来看, 二地区土壤均属寒性土壤温度状况。

3. 青北地区比青南地区地温的年较差大, 可能与青北地区冬季太阳高度角低, 地面接受日照射时间短, 而在夏季, 由于纬度较青南地区偏北, 造成日照时间较长, 使地面获得较多的热量所为。

4. 同一地区, 冬春地温低的年份对应有牧草产量似乎较高, 而地温较高的年份则对应相对低的牧草产量。这可能与地温低, 易使土壤冻结深厚而坚实, 会贮存较多的土壤水分有关。

参考文献 (References):

[1] Dong Wenjie and Tang Maocang. Preliminary results of mean soil

heat flux calculated by soil temperature data observed at meteorological stations[J]. *Plateau Meteorology*, 1992, 11(2): 115~125. [董文杰, 汤懋苍. 用气象站地温资料计算多年平均土壤热流的初步结果[J]. 高原气象, 1992, 11(2): 115~125.]

- [2] Yang Meixue, Yao Tandong, Ding Yongjian, et al. The diurnal variation of the soil temperature in the northern part of Tibetan plateau[J]. *Environmental Science*, 1999, 20(3): 5~8. [杨梅学, 姚檀栋, 丁永建, 等. 藏北高原土壤温度的日变化[J]. 环境科学, 1999, 20(3): 5~8.]
- [3] Li Yingnian and Bao Xinkui. Distribution Characteristics of Soil Temperature of Cryic Cambisols in Qinghai Tibet Plateau[J]. *Soils*, 1999, 31(4): 169~174. [李英年, 鲍新奎. 青藏高原寒冻锥形土地温状况的分布特征[J]. 土壤, 1999, 31(4): 169~174.]
- [4] Fu Baopu, Dou Jingming and Li Zhaoyuan. Features of Microclimate in the Summer in Shan[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1982, 37(1): 88~97. [傅抱璞, 虞静明, 李兆元. 秦岭太白山夏季的小气候特点[J]. 地理学报, 1982, 37(1): 88~97.]
- [5] Wang Shaoling and Zhao Xinmin. Analysis of the ground temperatures monitored in permafrost regions on the Tibetan plateau[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1999, 21(2): 159~163. [王绍令, 赵新民. 青藏高原多年冻土区地温监测结果分析[J]. 冰川冻土, 1999, 21(2): 159~163.]
- [6] Chinese Soil Taxonomy Research Group, Institute of Soil Science, Academia Sinica, Cooperative Research Group on Chinese Soil Taxonomy. Chinese Soil Taxonomy (Revised Proposal)[M]. Beijing: Science Press, 1995. 37~52. [中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题协作组. 中国土壤系统分类(修订方案)[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995. 37~52.]
- [7] Center Meteorological Society. Observation standard of ground meteorological[S]. Beijing: meteorological Press, 1982. [中央气象局. 地面气象观测规范[S]. 北京: 气象出版社, 1982.]
- [8] Li Yingnian. Simulation studies on dynamics of soil water content in alpine meadow Area[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 1998, 6(2): 77~83. [李英年. 高寒草甸地区土壤水分动态的模拟研究[J]. 草地学报, 1998, 6(2): 77~83.]
- [9] Liu Yongqiang, Ye Duzheng, Ji Jinjun. Effect of the soil moisture and vegetation on the climate[J]. *Science in China (series B)*, 1992, 4: 441~448. [刘永强, 叶笃正, 季劲钧. 土壤湿度和植被对气候的影响[J]. 中国科学(B), 1992, 4: 441~448.]
- [10] Li Yingnian, Wang Qiji, Zhou Xingmin. Discriminant analysis of annual net production in alpine meadow to meteorological condition[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 1996, 4(2): 155~161. [李英年, 王启基, 周兴民. 矮嵩草草甸年净生产量对气象条件响应的判别分析[J]. 草地学报, 1996, 4(2): 155~161.]
- [11] Zhang Guoshen, Li lin, Wang Qingchun, et al. Effects of climatic changes of south Qinghai plateau on the alpine meadow[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 1999, 8(3): 1~10. [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[J]. 草业学报, 1999, 8(3): 1~10.]
- [12] Li Yingnian, Zhang Jinghua. The influences of winter-spring, air temperature change on grassland productivity in Haibei at Qilian Mountain[J]. *Plateau Meteorology*, 1998, 17(4): 443~446. [李英年, 张景华. 祁连山南北冬春气温变化对草地生产力的影响[J]. 高原气象, 1998, 17(4): 443~446.]

The Mat-crylic Cambisols Ground Temperature and Its Influence on Herbage Yield in South and North Qinghai

LI Yingnian¹, YU Shenghu², GUAN Dingguo³, WANG Qinxue⁴, DU Mingyuan⁵, ZHAO Liang¹

(1. Northwest Plateau Institute of Biology, the Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China;

2. Meteorological Bureau of Qinghai Gande, Gande 814100, China;

3. Menyuan Stud Farm of Qinghai, Menyuan 813000, China;

4. National Institute for Environmental Studies, Tsukuba 3058506, Japan;

5. National Institute of Agro-Environmental Sciences, Tsukuba 3058604, Japan)

Abstract: The climate change difference of Mat-Crylic Cambisols and area in south and north Qinghai is significant because of different elevation and geological environment. Based on the variation features of ground temperature, the distribution of ground temperature are basically similar because of soil structure, soil moisture and vegetation coverage. Because of low annual and monthly mean temperature from June to September of soil at the depth of 50 cm, the soils in south and north belong to Mat-Crylic Cambisols. The annual difference of soil temperature of north is more obvious than that of south. The results also show that the variation of ground temperature results from ground-temperature features in limited area on the basis of the fluctuation caused by climate change. The herbage yield is higher with low ground temperature while it is lower with high ground temperature in winter and spring. Maybe the reasons are correlated with low ground temperature, the depth and stiffness of frozen soil, the dwindled evaporation of ground surface, more stored soil water.

Key words: south Qinghai and north Qinghai; Mat-Crylic Cambisols; ground temperature; herbage yield