

青海省高寒草地土壤水分变化特征

祁如英^{1,2}, 李应业², 王启兰³, 张成昭^{3,4}

(1. 中国气象局成都高原气象研究所开放实验室, 四川成都 610071; 2. 青海气候中心, 青海西宁 810001;
3. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海西宁 810008; 4. 青海省气象局监网处, 青海西宁 810008)

摘要: 利用青海省天然草地的水分资料, 初步统计得出天然草地土壤(0—50 cm)水分变化规律为: 从西到东递增, 从南到北两头略低, 中略高。年内逐旬呈波动的“W”型, 1989—2007 年以 0.8%/a 的速率呈较明显下降趋势, 其中 0—20 cm 土层以 0.25%/a 的速率呈显著下降, 20—50 cm 土层以 0.04%/a 的速率呈弱的下降。0—50 cm 可分为活跃层(0—20 cm), 次活跃层(20—40 cm), 较稳定层(40—50 cm); 草地年降水量 ≥ 520 mm 以上的区域随深度而递减, 在 350 mm \leq 年降水量 ≤ 410 mm 的区域土壤水分含量最多, 并不一定在表层或深层, 随深度而各异。从各区的变化趋势来看, 兴海县不明显, 曲麻莱县呈微弱下降, 河南、甘德、海北县呈弱的下降, 并且不同区域草地各层土壤的水分变化趋势及程度各异; 气候变暖是土壤水分减少的直接原因, 也是草地退化的主要直接原因之一。

关键词: 天然草地; 土壤水分; 变化特征

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)03-0206-05

中图分类号: S152

Characteristics of Soil Moisture Change in High and Cold Grassland of Qinghai Province

QI Ru-ying^{1,2}, LI Ying-ye², WANG Qi-lan³, ZHANG Cheng-zhao^{3,4}

(1. Open Laboratory, Chengdu Institute of Plateau Meteorology, Chinese Meteorological Bureau, Chengdu, Sichuan 610071, China; 2. Qinghai Province Climatol Center, Xining, Qinghai 810001, China;
3. Xining Meteorological Bureau, Xining, Qinghai 810003, China;
4. Northwest Institute of Plateau Biology, CAS, Xining, Qinghai 810001, China)

Abstract: By using data from pasture observation on agro-meteorology by weather stations of Qinghai Province, the characteristics of soil moisture in native pasture are analyzed. Soil moisture increases from west to east, with slightly high values at the two boundaries from north to south. Soil moisture in the ten-day period of each year fluctuates in a “W” type. From 1989 to 2007, it declines obviously at the rate of 0.8%/a. In the 0—20 cm soil layer, the rate is 0.25%/a and in the 20—50 cm soil layer, 0.04%/a. The 0—50 cm soil profile may be divided into active layer (0—20 cm), secondary active layer (20—40 cm), and stable layer (40—50 cm). Soil water content decreases with soil depth under ≥ 520 mm precipitation and differs in different depths when precipitation is between 350 and 410 mm. In terms of the change tendency, the change of soil moisture in Xinghai County is not obvious. It has a slightly weak drop in Ch’u-ma-lai County and a weak drop in Henan, Gande, and Haibei Counties. The change tendency differs from its degree in different areas. Climate change is not only the direct cause of soil moisture reduction, but also the direct cause of pasture degradation. Soil moisture reduction is the main cause of pasture degradation.

Keywords: natural pasture; soil moisture; change characteristics

关于土壤水分的研究已成为当今土壤学中最活跃的活跃的研究领域。在不同的研究尺度上影响土壤水分空间变化的因素有所不同。在大的空间尺度上, 降雨和地形等是主要的控制因素, 而在相对小的空间尺

度上, 它主要受土壤特性、微地形、植被情况等因素的影响^[13-17]。土层水分含量是土壤水分状况的重要组成部分之一, 也是土壤成分之一, 它不但直接影响土壤的特性和植物的生长, 而且间接影响植物分布和在一定

程度上影响小气候的变化。此外,土壤水分的变化还受到平均水分含量、地下水位深度、太阳辐射和其它气象要素的影响^[13-18]。土壤水分有其时空变化规律,一方面土壤水分随季节变化而变化,另一方面土壤水分随土壤深度和水平位置的变化发生相应变化^[23]。青海省草地生态环境脆弱,地形地貌复杂多样,海拔在 1 650~6 860 m 范围内,草地面积达 $3.16 \times 10^7 \text{ hm}^2$,畜牧业是青海发展的支柱。

近百年来,青藏高原高寒草地受以变暖为主要特征气候变化的影响严重退化。而青海天然草地土壤的水分是依赖自然降水和地下水供给的完全自然的土壤水分系统。因天然草地的地下水位均 $> 2 \text{ m}$,对土壤水分的补偿可以忽略不计,又在短期内同一地的土壤结构和类型没有明显变化,它对土壤水分的影响没有明显变化,也可以忽略不计。据代表青海牧区的 5 个封育草地(指河南、曲麻莱、甘德、海北、兴海 5 县草地称 5 草地,下同)牧草生长状况观测(产量、高度、覆盖度)等资料分析,河南县草地生态处在退化状态,曲麻莱县草地生态退化在恢复状态,甘德、海北、兴海县草地生态退化在减缓状态。在草地生态退化的不同状况下,研究自然条件下天然草地封育地段土壤的水分变化特征,进而为防止草地生态脆弱区的退化、保护、修复生态环境及放牧天然草地土壤水分研究的进一步深入提供科学依据,对研究青海省乃至全球性水资源变化特征及保护和修复青海乃至中国西北地区草地退化提供科学的依据有着重要的基础性意义。

1 资料与方法

利用青海 5 县区牧业气象站测定的 0—50 cm 厚度的土壤含水率及同期气象观测资料进行统计分析。

土壤水分观测资料年代,各站的自然概况见表 1。根据中国国家气象局编定的《农业气象观测规范》的补偿规定“牧草观测地段的土壤水分人工烘干测定深度一般为 50 cm”,这一方面可能是因牧草根系主要在 0—30 cm,另一方面可能因为地下水位 $> 2 \text{ m}$,故测定 0—50 cm 土层厚度的土壤水分能代表草地土壤水分的变化规律,并可以为科研工作提供长期的宝贵的基础性资料。

获取土壤水分(含水率,下同)资料方法首先是在各县区内选取能代表该县区的地形、地势、土壤及牧草种类和生产水平等的草地。再次是在选取的草地内选取能代表该草地的观测地段。第三是在观测地段内选取能代表该观测地段的 $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ 的正方形封育草地观测场,最后在牧草封育场内均分为 4 个观测小区(A, B, C, D, 4 个重复),一年用一个观测小区,循环周期为 4 a。每一观测小区又均分为 4 个(1, 2, 3, 4)重复,每一层是同一层次的 4 个重测定的平均值。其中,河南、曲麻莱县站是在牧草返青—黄枯期间每旬逢 8 日测定,海北、甘德、兴海县站是在土壤表层 10 cm 深度解冻—冻结期间的每旬逢 8 日测定,测定时对每一个重复的 0—50 cm 深度层又以 10 cm 厚度分(10, 20, 30, 40, 50 cm 的土壤含水率分别代表 0—10, 10—20, 20—30, 30—40, 40—50 cm 层,下同)5 层进行烘干法测定的 4 个重复的平均含水率资料进行统计研究。

2 土壤水分时空特征

虽在同一大气背景下或是相同类型草地,但不同县区的牧草生态环境的气候类型、地理位置、土壤类型及质地等不同而土壤的水分表现出不同的变化状况。

表 1 各站自然概况和资料年代

站名	海北	兴海	河南	曲麻莱	甘德
年代	1997—2007	2000—2007	1989—2007	1988—2007	1989—2007
经纬度	$36^{\circ} 57' \text{ N}, 100^{\circ} 51' \text{ E}$	$35^{\circ} \text{ N} 35', 99^{\circ} 59' \text{ E}$	$34^{\circ} 44' \text{ N}, 101^{\circ} 36' \text{ E}$	$34^{\circ} 08' \text{ N}, 95^{\circ} 47' \text{ E}$	$33^{\circ} 58' \text{ N}, 99^{\circ} 54' \text{ E}$
拔海高度/m	3 140.0	3 323.2	3 500.0	4 175.0	4 050.0
气候类型	寒温半干旱	冷温半干旱	冷温半湿润	寒温半干旱	寒温湿润
草地类型	草原和草甸草地过渡带	高寒草甸草原	高寒草甸	高寒草甸	高寒草甸
土壤类型	草原和草甸土过渡带	栗钙土	高山草甸土	高山草甸土	高山草甸土
土壤质地	轻沙壤土	粉壤土	粉壤土	重沙壤土	沙壤土
年降水/mm	391.9	353.2	630.7	405.5	524.3
年蒸发/mm	1 432.8	1 526.7	1 442.9	1 373.3	1 216.8

2.1 各草地土壤水分时间变化和空间变化

2.1.1 时间变化 5 草地土壤水分 1989—2007 年的平均值是 19.5%，其中 2003 年为最小值，达 16.2%；2005 年为最大值，达 21.7%；90 年代是平稳年代，其平均值 19.6%；2000—2004 年是低值年时段，其平均值 17.3%；2005—2007 年是高值年时段，其平均值 20.3%。

河南省 1989—2007 年的平均值是 24.1%，高于 5 草地 4.6%，期间 2003 年为最小值，达 16.2%；2005 年为最大值，达 29.1%；90 年代是平稳年代，其平均值 25.6%；2000—2004 年是低值年时段，平均值为 19.3%；2005—2007 年是高值年时段，平均值为 27.0%。

甘德县 1988—2007 年的平均值是 19.4%，与 5 草地一致。期间 2002 年为最小值，达 17.4%；2005 年为最大值，达 22.5%；80 年代末和 90 年代是平稳年代，为平均值 19.7%；2000—2004，2006—2007 年是低值年时段，为平均值 18.2%，2005 年是高值年。

曲麻莱县 1992—2007 年的平均值是 11.8%，低于 5 草地 7.7%。期间 2003 年为最小值，达 9.3%；2005 年为最大值，达 14.6%；1992—1996，2004—2007 年是高值时段，其平均值分别为 12.7%，12.6%；1999—2001 年是平稳时段，其平均值 12.2%，1997—1998，2002—2003 年是低值年时段，其平均值 9.5%，9.7%。

海北县 1997—2007 年的平均值是 20.3%，与 5 草地基本一致。期间 2003 年为最小值，达 15.9%；2005 年为最大值，达 23.9%；1997—2000 年是高值年时段，其平均值 21.5%；2001—2004 年是低值年时段，其平均值 18.3%；2005 年是最高值年，2006—2007 年为平稳时段，其平均值为 20.2%。

兴海县从 1999—2007 年的平均值是 19.9%，与 5 草地基本一致。期间 2000，2005 年为最小值，达 17.5%，2003—2005 年为最大值时段，其平均值达 21.3%。

2.1.2 垂直剖面变化 土壤水分空间变化一般是指各土层次间水分的变化。5 草地土壤水分空间平均状况(1989—2007 年)，10 cm 的平均值是 23.9%，其中 2002 年为最小值，达 17.9%；1989 年为最大值，达 30.3%；1989—2002 年波动倾斜下降率为 $0.67\%/a$ ($r = 0.86^*$)；2002—2007 年波动倾斜上升率为 $1.0\%/a$ ($r = 0.68$)，且变化方向与另外 4 层的不一致。20 cm 的平均值是 20.8%，其中 2003 年为最小值，达 17.4%；1990 年为最大值，达 25.6%。从 1989—2003 年波动倾斜下降率为 $0.51\%/a$ ($r = 0.89$)，

2003—2007 年波动倾斜上升率为 $0.78/a$ ($r = 0.72$)，且变化方向与 10 cm 层的不一致，与 30—50 cm 这 3 层的基本一致。30—50 cm 这 3 层的平均值是 16.0%~19.0%，其中 2003 年为最小值，分别达 16.6%，15.3%，13.3%。30—40 cm 1989 年为最大值，达 22.4%，20.1%，50 cm 层 1990 年为最大值，达 18.2%。

从 1989—2003 年波动倾斜下降率为 $0.17\% \sim 0.25\%/a$ ($0.59 < r < 0.68$)，2003—2007 年波动倾斜上升率为 $0.58\% \sim 0.62\%/a$ ($0.61 < r < 0.66$)，且变化方向与 10 cm 层的不一致，与 20 cm 层的基本一致(见图 1)。

10 cm 层的变化幅度大，20 cm 层的变化幅度次于 10 cm 层，而 30—50 cm 层变化幅度相近，说明气候变化的影响很大，尤其是降水和温度的影响较显著。

2.1.3 年内时空变化 5 草地土壤水分逐旬变化：5 草地的平均值是 19.3%，其中 8 月上旬为最小值达 18.1%，9 月下旬为最大值，达 21.7%，土壤水分逐旬呈波动的“W”。其中，4 月上旬、5 月中旬、9 月下旬的谷值分别为 20.9%，20.0%，23.2%，7 月上旬、8 月上旬的低值分别为 18.5%，18.1%。

土壤水分地域的差异性是指土壤水分在地域空间上的变化。5 草地年内的空间变化中，以曲麻莱 11.7% 为最小，河南 24.7% 为最大，兴海、甘德、海北在 19.3%~20.8% 间。其中，甘德(年降水量为 524.2 mm)、河南(年降水量为 630.7 mm) 是属湿润半湿润气候类型，逐层土壤水分虽大小不一(河南在 18.9~33.8 间，甘德在 15.1~23.8 间)但 2 个草地均随深度而递减。兴海、海北、曲麻莱年降水量在 353.2~405.5 mm 间属气候半干旱区，但 3 个草地的 0—50 cm 厚度的 5 个层土壤水分随深度各不相同。

从 5 层土壤水分逐旬空间分布曲线看，0—20 cm 厚度内的变化幅度较 20—50 cm 的大，20—40 cm 厚度内的值不但相近而且小于 0—20 cm 厚度内的变化幅度，40—50 cm 的变幅最小，除兴海外，土壤水分亦最小，故天然草地 0—50 cm 厚度的 5 个层土壤水分可分为：活跃层(0—20 cm)，次活跃层(20—40 cm)，较稳定层(40—50 cm)。

2.2 不同地区变化比较

从天然草地的 0—50 cm 深度的土壤水分变化趋势来看，兴海县变化不明显，曲麻莱呈微弱下降，河南省、甘德县、海北县呈弱的下降(见图 1)。

兴海县 10 cm 呈较明显($r = 0.66^*$) 上升，其余呈微弱上升。甘德县 30 cm 呈微弱上升，其余均呈

下降,尤其是 50 cm 下降较明显($r = 0.48^*$)。河南县均呈下降,尤其是 20—50 cm 下降($r = 0.27$)较 0—20 cm($r = 0.1$)明显。海北县均呈下降,尤其是 30

cm 下降($r = 0.33$)最明显。曲麻莱县 0—30 cm 呈微弱上升($0.17 < r < 0.22$), 30—50 cm 呈微弱下降。因此不同草场各层次的变化趋势及程度各异。

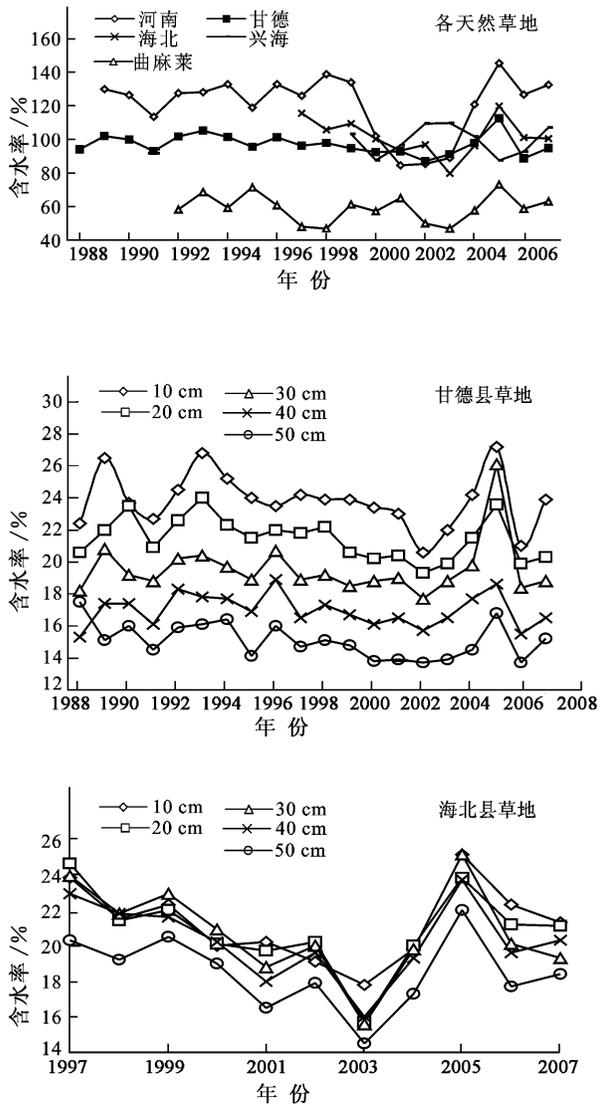


图1 各天然草地 0—50 cm 厚度土壤水分变化曲线

2.3 土壤水分时空变化特征

5 草地(1989—2007 年)以 $0.8\%/a$ 的速率呈较明显($r = 0.51^*$)下降趋势。其中 0—20 cm 以 $0.25\%/a$ 的速率呈显著下降趋势($r = 0.6^{**}$), 20—50 cm 以 $0.04\%/a$ 的速率呈弱下降趋势($r = 0.15$)。

从天然草地各自的 0—50 cm 厚度的土壤水分变化趋势来看,兴海县变化不明显,曲麻莱县呈微弱下降,河南县、甘德县、海北县呈弱的下降。其中,兴海县 10 cm 呈较明显($r = 0.66^*$)上升,其余呈微弱上升。甘德县 30 cm 呈微弱上升,其余均呈下降,尤其是 50 cm 下降较明显($r = 0.48^*$)。河南县均呈下降趋势,尤其是 20—50 cm 下降($r = 0.27$)较 0—20 cm

($r = 0.1$)明显。海北均呈下降,尤其是 30 cm 下降($r = 0.33$)最明显。曲麻莱 0—30 cm 呈微弱上升(r 在 $0.17 \sim 0.22$), 30—50 cm 呈微弱下降。因此不同草地各层次的变化趋势及程度各异。

天然草地观测地段因气候类型、土壤质地、地下水位和地表物覆盖率等的不同而 0—50 cm 厚度 5 个层的土壤水分各不相同,但土壤质地、地下水位和地表物覆盖率等相对同一地段而言短期内一般没有大的变动,可以忽视不计;又由于它们都是封育草地,放牧影响可忽略不计;而气候是自然的变化现象,是人们可以感觉到冷热干湿的变化,这说明了气候变化是各天然草地土壤水分变化的直接原因。

5 草地土壤表层 50 cm 深度的土壤水分下降变化趋势,说明了土壤水分减少是青海省天然草地退化的主要直接原因之一,土壤水分变化呈下降趋势。0—20 cm 土壤水分呈显著下降的变化趋势,说明因气候变暖温度升高,蒸发增大,使土壤表层水分蒸发量增大与降水量减少对土壤水分补充量减少有一定的关系。

近 44 a 来年平均气温呈明显上升趋势,其增温率达 0.39 °C/10 a。年平均气温 60 年代(1961—1970 年)最低,70 年代(1971—1980 年)起年平均气温逐渐升高,进入 90 年代后升幅最为明显^[19];近 50 a 来三江源地区的年降水量呈减少趋势,减少幅度为 6.73 mm/10 a。

降水日数的变化呈较为明显的减少趋势,递减率为 2.7 d/10 a^[20];据(1988—2007 年)的大型蒸发量分析,除海北县的蒸发变化趋势变化不明显外,河南、兴海、曲麻莱、甘德县分别以 9.1~18.5 mm/a (0.51 < r < 0.80) 均呈上升的变化趋势。

另外根据 1988—2007 年的降水量资料分析,甘德县的降水变化趋势变化以 4.8 mm/10 a (r = 0.51) 呈明显减少趋势,河南、曲麻莱分别以 4.3, 5.2 mm/a (0.33 < r < 0.40) 均呈微弱的上升趋势,兴海、海北变化趋势不明显。说明因气候变暖,表层土壤的水分和牧草棵间蒸发增大,使土壤水分呈下降趋势的主要直接原因。

牧草返青期和黄枯期间,牧草返青初期是主要因下层土层水分解冻融化,地下水反潮,牧草生长的旺盛期的棵间蒸发,牧草根系的分布情况和土质及牧草黄枯掉落覆盖厚度等的不同而不同。故在对青海省的天然草地生态脆弱区的防止退化、保护、修复草场生态环境的具体工作措施中应“以地为本”,因地制宜。

3 结论

青海高寒草地土壤表层(0—50 cm)水分(含水率)时空特征为从西到东递增,从南到北两头略低中略高,即曲麻莱最小为 11.7%,河南最大为 24.7%,兴海、甘德、海北在 19.3%~20.8% 间。

土壤水分逐旬整体上呈波动的“W”型,且 1989—2007 年间以 0.8%/a 的速率呈较明显下降变化趋势,其中 0—20 cm 以 0.25%/a 的速率呈显著下降变化趋势,20—50 cm 以 0.04%/a 的速率呈弱的下降变化趋势。这与“高寒草甸草地退化后的高山草甸土壤趋于干燥^[14]”的结论相一致。

据 0—50 cm 表层土壤水分的变化幅度可分 0—20 cm 为活跃层,20—40 cm 为次活跃层,40—50 cm 为较稳定层。年降水量 ≥520 mm 以上的草地土壤的水分随深度而递减。降水量在 350~410 mm 之间的草场土壤的水分含量最多并不一定在土壤表层或深层,随土壤深度而各异。

从天然草场各自的土壤水分变化趋势来看,兴海变化不明显,曲麻莱呈微弱下降趋势,河南、甘德、海北呈弱的下降趋,并且不同草场各层次土壤的水分变化趋势及程度各异。天然草地土壤水分的时空变化随降水、生长季的变化和土壤深度、水平空间位置的变化而发生相应变化。

降水是影响天然草地土壤水分的最直接的因子,气温、日照、蒸发等其它气象因子对土壤水分变化也有一定影响。

此外,土壤特性、地表植被情况等对土壤水分空间分布也有重要的影响。

[参 考 文 献]

- [1] 汪青春,秦宁生,李林,等.青海高原近 40 年降水变化特征及其对生态环境的影响[J].中国沙漠,2007,27(1):153-158.
- [2] 汪江山.青海天气气候[M].北京:气象出版社 2004:97-99.
- [3] 刘立超,李守中,宋耀选,等.沙坡头人工植被区微生物结皮对地表蒸发影响的试验研究[J].中国沙漠,2005,25(2):191-195.
- [4] 张国胜,徐维新,董立新,等.青海省旱地土壤水分动态变化规律研究[J].干旱区研究,1999,16(2):36-40.
- [5] 何其华,何永华,包维楷,等.干旱半干旱区山地土壤水分动态变化[J].山地学报,2003,21(2):149-156.
- [6] 祁如英,朱宝文,祁永婷,等.春小麦地和大气观测场内土壤贮水量的对比分析[J].气象科技,2007,35(4):528-530.
- [7] 国家气象局编著.农业气象观测规范(上卷)[M].北京:气象出版社,1993:133-158.
- [8] 方文松,邓天宏,刘荣花,等.河南省不同土壤类型墒情变化规律[J].气象科技,2005,33(2):182-184.
- [9] 王传海,闵锦忠,刘炜杰,等.南京地区小麦不同生育期土壤湿度适宜范围的确定[J].中国农业气象,2005,26(1):28-30.
- [10] 邓振镛,林日暖.甘肃省土壤水分变化特征与分区的研究[J].干旱地区农业研究,1991,6(3):67-76.
- [11] 魏淑秋.农业气象统计[M].福州:福建科学技术出版社,1985.

加快,可以更好地为水土保持管理服务、为社会服务。为了搞好水土保持监测站点的管理,一是要梳理业务,把握规律,科学管理;二是要完善制度,增强规范性。今后,还要进一步完善各种管理制度、办法和标准,使规范化的监测站点在为国民经济发展服务过程中发挥更大的作用。

6 结论

水土保持监测站点标准化建设是一项综合性的基础工作,对促进技术进步,实现水土保持监测的现代化、为水土保持和国民经济发展决策具有重要作用。

本文探讨的水土保持监测站点标准化建设思路、监测设施、监测手段和监测方法,经过几年的实践证明是科学的、有效的;所开发的小流域水沙监测数据

管理系统规范了监测数据结构,实现了降雨、水沙监测数据的自动化整编,为水土保持监测数据管理创建了平台,为数据共享和信息服务创造了条件。但是,作为监测站点的标准化建设,本文探讨的内容还太有限,社会经济、可开发建设项目、坝库淤积监测点的标准化建设以及管理运行机制尚待进一步研究和探讨。

[参 考 文 献]

- [1] 刘震,等. 水土保持监测技术[M]. 北京: 中国大地出版社, 2004.
- [2] 水利部水土保持司. 水土保持监测技术规程[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- [3] 水利部水土保持监测中心. 水土保持监测技术指标体系[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [4] 中华人民共和国水利部, 水土保持试验规程[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- (上接第 210 页)
- [12] 郭发辉, 宋超辉. 全国农业气象资料数据模式的研制[J]. 气象科技, 2004, 32(5): 372-376.
- [13] 祁如英, 祁永婷, 朱宝文, 等. 气候条件变化对门源油菜地土壤贮水量的影响分析[J]. 中国农业气象, 2007, 28(S): 121-122.
- [14] 王根绪, 沈永平, 钱鞠, 等. 高寒草地植被覆盖变化对土壤水分循环影响研究[J]. 冰川冻土, 2003, 25(6): 653-659.
- [15] 薛娴, 郭坚, 张芳, 等. 高寒草甸地区沙漠化发展过程及成因分析: 以黄河源区玛多县为例[J]. 中国沙漠, 2007, 27(5): 725-732.
- [16] 王涛, 吴薇, 薛娴, 等. 我国北方土地沙漠化演变趋势分析[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 230-235.
- [17] 程国栋, 王根绪. 青藏高原江河源区生态环境退化和原因分析[J]. 地球科学进展, 1998, 13(增刊): 24-31.
- [18] 李洪建, 王孟本, 柴宝峰, 等. 黄土高原土壤水分变化的时空特征分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14(4): 515-519.
- [19] 汪青春, 秦宁生, 唐红玉, 等. 青海高原近 44 年来气候变化的事实及其特征[J]. 干旱区研究, 2007, 24(4): 234-239.
- [20] 唐红玉, 杨小丹, 王希娟, 等. 三江源地区近 50 年降水变化分析[J]. 高原气象, 2007, 26(1): 47-54.
- [21] 徐华君, 韩宝平. 阿尔泰山南坡主要土壤类型及分布[J]. 土壤通报, 2008, 39(3): 465-470.
- [22] 赵雪雁. 高寒牧区草地退化的人文因素分析[J]. 土壤, 2008, 40(2): 312-318.
- [23] 何其华, 何永华, 包维楷. 干旱半干旱区山地土壤水分动态变化[J]. 山地学报, 2003, 21(2): 149-156.