

## 玉树隆宝湿地土壤水热变化特征及对地表反照率的影响

张海宏, 李凤霞, 周秉荣, 肖宏斌 (青海省气象科学研究所, 青海西宁 810001)

**摘要** 利用青海玉树隆宝湿地 2011 年 10 月~2012 年 11 月的观测资料, 分析了该地区土壤湿度、土壤温度、土壤热通量、感热通量和潜热通量的年变化特征, 以及地表反照率的日变化特征和地表反照率随土壤湿度的变化关系。结果表明, 玉树隆宝湿地土壤湿度和土壤温度均呈夏秋季(融化期)高、冬春季(冻结期)低的特点; 土壤热通量在 10 月~次年 2 月为负值, 3~9 月为正值; 感热通量的年变化幅度较小, 潜热通量的值呈现夏秋季高、冬春季低的特点, 地表反照率冬季高夏季低, 在春季和秋季土壤冻结和融化期间地表反照率的值上午高下午低, 12 月份地表反照率日平均值最高, 为 0.44, 6 月份地表反照率日平均值最低, 为 0.24, 地表反照率年平均值为 0.32; 冻结和融化期间, 地表反照率随土壤湿度的增大而减小。

**关键词** 湿地; 土壤水热; 地表反照率; 变化特征; 影响; 玉树隆宝

**中图分类号** S161.1; P422 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)26-10726-04

### Changing Characteristics of Soil Moisture and Heat and Impact on Surface Albedo at Longbao Wetland, Yushu

ZHANG Hai-hong et al (Qinghai Institute of Meteorological Science, Xining, Qinghai 810001)

**Abstract** Using observed data at Longbao, Yushu in Qinghai from Oct. 2011 to Nov. 2012, annual variations of soil moisture, soil temperature, soil heat flux, sensible heat flux and latent heat flux were analyzed. Average daily variations of surface albedo, changing characteristics of surface albedo and soil moisture were also analyzed. The results showed that both annual variations of soil moisture and soil temperature are high in summer and autumn, and low in winter and spring. Soil heat flux is negative from Oct. to Feb. in next year and positive from Mar. to Sep. Annual change extent of sensible heat flux is low. Latent heat flux is high in summer and autumn, and low in winter and spring. Surface albedo is high in winter and low in summer. During the period of soil freezing and melting, surface albedo is high in forenoon and low in afternoon. Surface albedo is 0.44 in Dec, which is the highest and 0.24 in Jun, which is the lowest. The whole year average surface albedo is 0.32. Surface albedo is low while soil moisture is high during the period of soil freezing and melting.

**Key words** Wetland; Soil hydrothermal; Surface albedo; Variation characteristics; Influence; Longbao, Yushu

地-气之间的能量传输和水分循环作用对气候变化有重要影响, 在不同气候背景和垫面条件下的地气之间能量传递过程存在很大差异<sup>[1-3]</sup>, 一直以来受到国内外大气科学界研究者的广泛关注<sup>[3-5]</sup>。研究地气之间能量平衡和水热交换等过程, 对认识和研究陆面过程有重要意义。我国对干旱半干旱区的陆面过程做过一系列的研究, 并进行了许多大型的野外试验, 如“黑河地区地-气相互作用观测试验研究”(HEIFE)、“内蒙古半干旱草原土壤-植被-大气相互作用”(IMGRASS)和“全球水分能量循环亚洲季风试验——青藏高原陆面物理过程研究”(中日合作 GAME-Tibet 和 TIPEX)等大型试验项目, 取得了大量珍贵观测资料 and 一系列的研究成果, 从而在国际陆面过程研究中取得了很大的成绩。在 HEIFE 试验中, 胡隐樵等曾对河西戈壁的小气候和热量平衡特征进行了研究<sup>[6]</sup>, 张强等曾对干旱区荒漠戈壁陆面参数及典型天气型下辐射收支变化进行了分析<sup>[7-8]</sup>。在 GAME-TIBET 和 TIPEX 试验中, 马耀明等对青藏高原地区的辐射收支进行了分析<sup>[9]</sup>, 李国平等对青藏高原西部地面反射率与气象因子的关系进行了分析<sup>[10]</sup>。此外一些学者利用实测资料或拟合反演的方法对辐射收支进行了计算分析<sup>[11-13]</sup>, 如魏文寿等对古尔班通古特沙漠不同垫面的短波辐射和大气长波辐射热量进行了分析, 并讨论了沙漠区辐射热量差异引起的小气候效应和沙漠对区域气候的反馈作用<sup>[11]</sup>。

青藏高原位于欧亚大陆的中南部, 平均海拔高达

4 000 m 以上。高原在地势上的巨大隆起产生的动力及热力作用不仅在很大程度上控制着青藏高原及邻近地区的天气气候, 且高原地区大范围的热力异常及地气物理过程对全球气候异常与东亚大气环流及我国灾害性天气的发生、发展均有重大影响<sup>[14-15]</sup>。从 20 世纪 60 年代开始, 我国的科学工作者对青藏高原地区的地面辐射收支和热源状况进行了研究, 并取得了一系列重要成果<sup>[16-19]</sup>。随着对高原问题研究的不断深入, 不同气候背景和垫面条件下高原地表热力状况的研究也取得了一系列进展<sup>[20-22]</sup>, 为深入理解高原地气物理过程做出了重要贡献。玉树隆宝地区是青藏高原中部的一块典型湿地, 位于青海省玉树藏族自治州首府结古镇西北方向 60 km 处, 独特的自然环境使得玉树隆宝湿地的能量和水分循环有独特之处, 对于研究青藏高原气候变化和生态环境有重要意义。土壤水热变化和地表反照率对地表辐射平衡、地-气能量交换以及各地天气气候的变化均有影响。因此, 笔者利用青海玉树隆宝湿地 2011 年 10 月~2012 年 11 月的观测资料, 对该地区土壤水热变化特征和地表反照率进行了研究。

### 1 资料与方法

所采用的观测资料来自于青海省气象科学研究所“三江源典型湿地水平衡模型及生态需水研究”项目架设在青海省玉树州隆宝镇(33°10'N, 96°34'E)境内的观测站点, 海拔 4 212 m, 下垫面为稀疏植被覆盖的高寒湿地区, 观测时间从 2011 年 10 月~2012 年 11 月。观测的物理量包括土壤温度(0、10、20、30、40 cm)、土壤湿度(0、10、20、30、40 cm)、土壤热通量(20、40 m)、空气温度(1、2 m)、相对湿度(1、2 m)、风速(1、2 m)、水汽压(1、2 m)、总辐射、反射辐射、净辐射等 1 000

**基金项目** 国家自然科学基金(41065007)。

**作者简介** 张海宏(1984-), 男, 青海西宁人, 助理工程师, 硕士, 从事青藏高原地区气候变化研究, E-mail: pkuzhh@163.com。

**收稿日期** 2013-07-11

多组仪器标定数据。数据记录时间间隔为 10 min 1 次,大部分资料的连续性较好。文中采用的数据时间段为 2011 年 10 月 1 日~2012 年 11 月 1 日。对于感热通量和潜热通量的计算,选取 1 和 2 m 两层高度的温度和水汽压的观测资料并采用波文比法<sup>[23]</sup>得出。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤湿度变化特征

由图 1 可见,玉树隆宝湿地土壤湿度呈现夏秋季高、冬春季低的特点。7~11 月土壤湿度较高,为  $0.7 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ,1~4 月土壤湿度较低,为  $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ;11 月中旬~12 月上旬,随着气温逐渐降低,0~20 cm 深度土壤开始逐渐冻结,形成冻土层,土壤湿度迅速减小,从  $0.7 \text{ m}^3/\text{m}^3$  降低至  $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ,30~40 cm 深度土壤开始冻结的时间较 0~20 cm 深度土壤晚 1 个月左右,在 12 月中旬~次年 1 月期间逐步冻结,土壤湿度从  $0.7 \text{ m}^3/\text{m}^3$  降低至  $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ;冻结期间,土壤湿度不发生大的变化。10 和 30 cm 深度土壤在 2~3 月土壤湿度达最小值,为  $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。3~4 月,气温逐渐升高,0~10 cm 深度冻结的土壤首先开始融化,土壤湿度从  $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^3$  升高至  $0.6 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ,10~20 cm 深度的土壤于 4~5 月份逐渐融化,土壤湿度亦从  $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^3$  升高至  $0.6 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ,这期间 10~20 cm 深度土壤湿度变化率较 0~10 cm 深度土壤小。5~7 月份,20~30 cm 深度的土壤逐渐融化,土壤湿度缓慢的从  $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^3$  升高至  $0.6 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ,这期间 40 cm 深度土壤冻结、融化的时间和土壤湿度变化率与 30 cm 深处土壤基本相同。在 7~12 月,20~30 cm 深度的土壤湿度为  $0.8 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ,高于上层土壤。

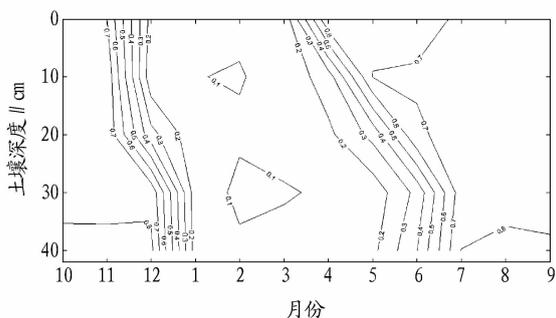


图 1 玉树隆宝湿地 0~40 cm 深度土壤湿度月变化

### 2.2 土壤温度变化特征

由图 2 可见,玉树隆宝湿地土壤温度呈现夏秋季高、冬春季低,夏季变化率快、春季变化率慢的特点。10 月~次年 1 月,0~40 cm 深度土壤温度逐渐降低,形成冻土层,土壤温度从  $6 \text{ }^\circ\text{C}$  降低至  $-2 \text{ }^\circ\text{C}$ ,10 和 30 cm 深度土壤温度降低的时间较 0、20 和 40 cm 深度土壤滞后;2 月初土壤温度达到最低,0、10、20、30 和 40 cm 深度土壤温度分别为  $-6$ 、 $-2$ 、 $-4$ 、 $-4$ 、 $-6 \text{ }^\circ\text{C}$ ;3~4 月土壤温度变化十分微小,4~7 月土壤温度逐渐升高,土壤温度从  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  升高至  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ ,10 和 30 cm 深度土壤温度升高时间较 0、20 和 40 cm 深度土壤依然滞后,8 月初土壤温度达到最高,0、10、20、30 和 40 cm 深度土壤温度分别为  $12$ 、 $8$ 、 $10$ 、 $9$ 、 $10 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

### 2.3 土壤热通量变化特征

从玉树隆宝湿地 20 和 40 cm 深度土壤热通量的年变化情况(图 3)可以看出,10 月~次年 2

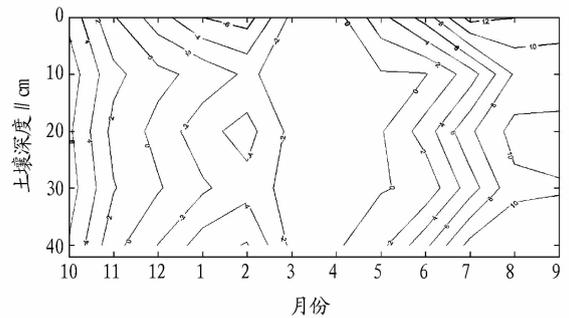


图 2 玉树隆宝湿地 0~40 cm 深度土壤温度月变化

月 20 和 40 cm 深度土壤热通量为负值,土壤向上层传递能量,3~9 月 20 和 40 cm 深度土壤热通量为正值,土壤向下层传递能量;20 和 40 cm 深度土壤热通量在 12 月达最低值,分别为  $-33.6$  和  $-18.3 \text{ W}/\text{m}^2$ ,1~5 月逐渐升高,到 6 月份达最大,分别为  $22.8$  和  $18.2 \text{ W}/\text{m}^2$ ,此后逐渐降低。

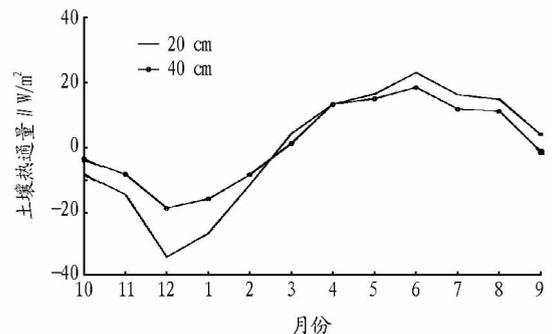


图 3 玉树隆宝湿地 20 和 40 cm 深度土壤热通量月变化

### 2.4 感热、潜热通量变化特征

玉树隆宝湿地感热通量和潜热通量的值均较小,对大气地面加热作用较弱。在一年当中,感热通量的值年变化幅度不大,4 月份感热通量值最高,为  $22.8 \text{ W}/\text{m}^2$ ,9 月份最低,为  $15.0 \text{ W}/\text{m}^2$ 。潜热通量的值年变化幅度较大,呈现夏秋季高、冬春季低的特点,11 月~次年 2 月,土壤处于冻结状态,潜热通量的值较小,在  $9.7 \sim 21.0 \text{ W}/\text{m}^2$ ,其中 12 月份潜热通量值最低,为  $9.7 \text{ W}/\text{m}^2$ ;3~5 月,冻土层逐渐融化,潜热通量的值迅速增加,5 月份达最高,为  $115 \text{ W}/\text{m}^2$ ;6~8 月隆宝湿地土壤湿度较大,潜热通量值保持较高的值,分别为  $100$ 、 $105$ 、 $104 \text{ W}/\text{m}^2$ ,9 月份潜热通量的值降低,为  $80 \text{ W}/\text{m}^2$ 。11 月~次年 2 月感热通量值高于潜热通量值,3~10 月潜热通量值高于感热通量值(图 4)。

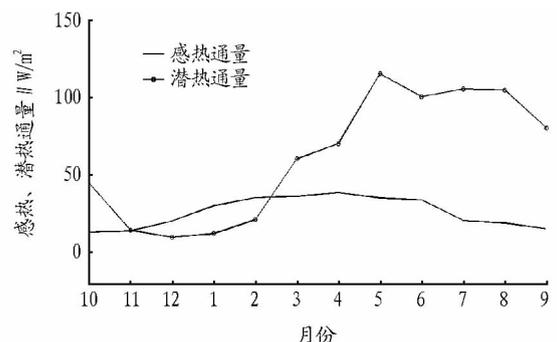
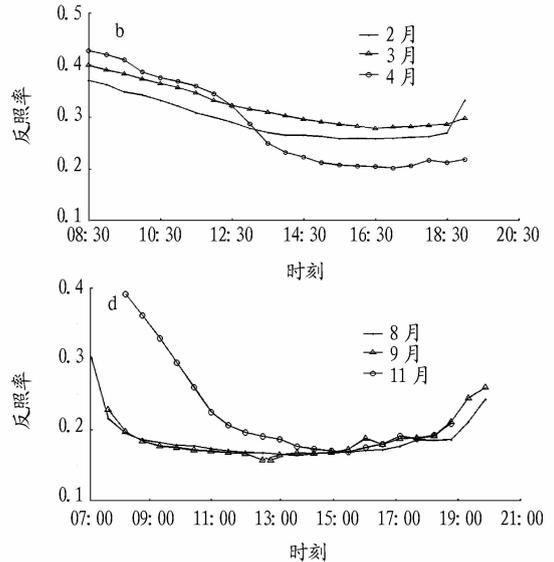
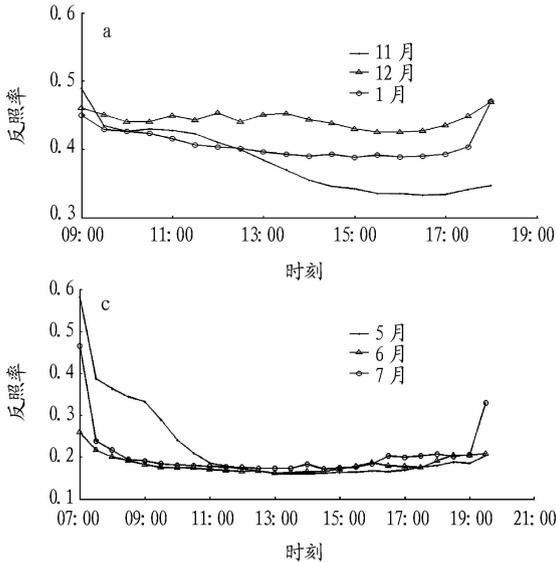


图 4 玉树隆宝湿地感热、潜热通量月变化

**2.5 地表反照率变化特征** 玉树隆宝湿地为高寒冻土区, 土壤中的水分在冬季呈冻结状态, 夏季呈融化状态。在冻结和融化过程当中土壤湿度会发生变化, 导致地表反照率的日变化在四季也呈现出不同的特点。冬季, 土壤层处于完全冻结状态, 地表反照率的值在一天当中变化幅度小, 11、12 和 1 月地表反照率日平均值分别为 0.35、0.44 和 0.41; 春季, 土壤层逐渐从冻结状态转为融化状态, 凌晨至上午土壤中的水分为冻结状态, 下午至傍晚土壤中的水分融化, 地表反照

率的值从上午到下午逐渐降低, 2、3 和 4 月地表反照率日平均值分别为 0.34、0.32 和 0.29; 夏季, 土壤层处于完全融化状态, 地表反照率的值最低, 在一天当中的变化幅度较小, 5、6 和 7 月地表反照率日平均值分别为 0.26、0.24 和 0.25; 秋季, 土壤冻结和融化期间地表反照率的值上午高下午低, 8、9 和 10 月地表反照率日平均值分别为 0.26、0.28 和 0.34 (图 5)。玉树隆宝湿地地表反照率的全年平均值为 0.32。

地表反照率的值在土壤湿度变化时有所不同, 为研究玉



注: a. 冬季; b. 春季; c. 夏季; d. 秋季。

图5 玉树隆宝湿地各季地表反照率平均日变化

玉树隆宝湿地地表反照率随着土壤湿度的变化情况, 选取 2011 年 11 月和 2012 年 4 月土壤冻结和融化期间每天 11:00 ~ 16:00 的时间段内土壤湿度的值和地表反照率的值, 进行了线性回归分析, 得出了地表反照率随土壤湿度的变化关系为  $y = -1.37x + 0.76$ 。可见, 地表反照率的值随土壤湿度的增大而降低, 土壤湿度较大时, 地表反照率变化波动幅度较小。当土壤湿度在  $0.33 \sim 0.40 \text{ m}^3/\text{m}^3$  范围内, 地表反照率的值为  $0.20 \sim 0.23$  (图 6)。

低, 为  $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。30 ~ 40 cm 深度土壤开始冻结和融化的时间较 0 ~ 20 cm 深度土壤晚 1 个月左右。

(2) 玉树隆宝湿地土壤温度呈现夏秋季高、冬春季低, 夏季变化率快、春季变化率慢的特点。2 月初土壤温度达到最低, 0、10、20、30 和 40 cm 深度土壤温度分别为  $-6$ 、 $-2$ 、 $-4$ 、 $-4$ 、 $-6 \text{ }^\circ\text{C}$ , 8 月初土壤温度达到最高, 0、10、20、30 和 40 cm 深度土壤温度分别为 12、8、10、9、10  $^\circ\text{C}$ 。

(3) 玉树隆宝湿地 20 和 40 cm 深度土壤热通量在 10 月 ~ 次年 2 月为负值, 土壤向上层传递能量, 3 ~ 9 月为正值, 土壤向下层传递能量。

(4) 玉树隆宝湿地感热通量的值年变化幅度较小, 4 月份感热通量值最高, 为  $22.8 \text{ W}/\text{m}^2$ , 9 月份感热通量值最低, 为  $15.0 \text{ W}/\text{m}^2$ ; 潜热通量的值年变化幅度较大, 呈现夏秋季高、冬春季低的特点, 5 月份潜热通量值最高, 为  $115 \text{ W}/\text{m}^2$ , 12 月份潜热通量值最低, 为  $9.7 \text{ W}/\text{m}^2$ 。

(5) 玉树隆宝湿地地表反照率的值冬季高夏季低, 在春季和秋季土壤冻结和融化期间地表反照率的值上午高下午低, 冬季地表反照率日变化幅度较小, 夏季地表反照率日变化幅度较大。12 月份地表反照率日平均值最高, 为 0.44, 6 月份地表反照率日平均值最低, 为 0.24, 地表反照率年平均值 0.32。冻结和融化期间地表反照率随土壤湿度的增大而减小。

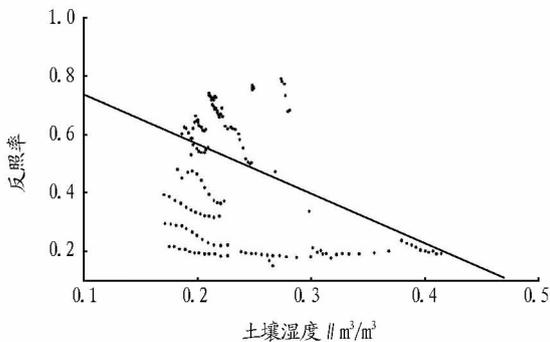


图6 玉树隆宝湿地冻结期地表反照率随土壤湿度的变化

### 3 结论与讨论

(1) 玉树隆宝湿地土壤湿度呈现夏秋季高、冬春季低的特点。7 ~ 11 月土壤中水分处于融化状态, 土壤湿度较高, 为  $0.7 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , 1 ~ 4 月土壤中水分处于冻结状态, 土壤湿度较

## 参考文献

- [1] 胡隐樵. 黑河实验 (HEIFE) 能量平衡和水汽输送研究进展[J]. 地球科学进展, 1994, 9(4): 32-34.
- [2] 张强, 曹晓彦. 敦煌地区荒漠戈壁地表热量和辐射平衡特征的研究[J]. 大气科学, 2003, 27(2): 245-254.
- [3] 李英年, 师生波, 曹广民, 等. 祁连山海拔高寒草甸地区微气候特征的观测研究[J]. 高原气象, 2000, 19(4): 512-519.
- [4] 鲍艳, 左洪超, 吕世华. 干旱区陆面过程参数改进对气候模拟结果的影响[J]. 高原气象, 2004, 23(2): 220-227.
- [5] 张强, 黄荣辉, 卫国安, 等. 西北干旱区陆面过程观测野外试验 (NWC-ALIEX) 及其研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(4): 427-441.
- [6] 胡隐樵, 高由禧, 王介民, 等. 黑河实验 (HEIFE) 的一些研究成果[J]. 高原气象, 1994, 13(3): 225-236.
- [7] ZHANG Q, HUANG R H, TIAN H. A parameterization scheme of surface turbulent momentum and sensible heat over the gobi underlying surface [J]. *Advance in Atmospheric Sciences*, 2003, 20(1): 111-118.
- [8] 张凯, 王润元, 张强, 等. 绿洲荒漠过渡带夏季晴天地表辐射和能量平衡及小气候特征[J]. 中国沙漠, 2007, 27(6): 1055-1061.
- [9] MA Y M, SU Z B, LI Z L, et al. Determination of regional net radiation and soil heat flux over a heterogeneous landscape of the Tibetan Plateau [J]. *Hydrological Processes*, 2002, 16(15): 2963-2971.
- [10] 李国平, 肖杰. 青藏高原西部地面反射率的日变化以及其与若干气象因子的关系[J]. 地理科学, 2007, 27(1): 63-67.
- [11] 魏文寿, 董光荣. 古尔班通古特沙漠的辐射热量交换分析[J]. 中国沙漠, 1997, 17(4): 335-341.
- [12] 曾燕, 邱翥法, 刘昌明, 等. 黄河流域有效辐射拟合研究[J]. 地理科学, 2007, 27(3): 342-347.
- [13] 李晋昌, 董治宝, 王训明, 等. 塔里木盆地沙尘天气的季节变化及成因分析[J]. 中国沙漠, 2008, 28(1): 142-148.
- [14] YE D Z, GAO Y X. *Tibetan Plateau meteorology* [M]. Beijing: Science Press, 1979: 89-101.
- [15] TAO S Y, CHEN L S, XU X D, et al. The researching advance of the second atmospheric experiment over the Tibetan Plateau (I) [M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [16] 卞林根, 陆龙骅, 逯昌贵, 等. 1998 年夏季青藏高原辐射平衡分量特征[J]. 大气科学, 2001, 25(5): 577-588.
- [17] MA Y M, WANG J M, HUANG R H, et al. Remote sensing parameterization of land surface heat fluxes over arid and semi-arid areas [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, 20(4): 530-539.
- [18] 季国良. 青藏高原能量收支观测实验的新进展[J]. 高原气象, 1999, 18(3): 333-340.
- [19] 李栋梁, 季国良, 吕兰芝. 青藏高原地面加热场强度对北半球大气环流和中国天气气候异常的影响研究[J]. 中国科学(D 辑), 2001, 31(S1): 312-319.
- [20] 李栋梁, 李维京, 魏丽, 等. 青藏高原感热及其异常的诊断分析[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(1): 71-83.
- [21] YANG K, KOIKE T, ISHIKAWA H, et al. Analysis of the surface energy budget at a site of GAME/Tibet using a Single-Source Model [J]. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 2004, 82(1): 131-153.
- [22] 李韧, 季国良, 杨文. 五道梁地区总辐射的际年际变化[J]. 高原气象, 2005, 24(2): 173-177.
- [23] 艾力·买买提明, 何清, 高志球, 等. 塔克拉玛干沙漠近地层湍流热通量计算方法比较研究[J]. 中国沙漠, 2008(5): 948-954.

(上接第 10720 页)

① 近期建设入口广场服务区, 整治红旗水库环境, 重点打造森林文化广场、滨水游憩区和生态馆, 使之成为靖安市民休闲健身的场所, 打造“白云深处、靖安人家”这一亮点幸福工程。② 近期积极建设景区的各项服务设施, 重点打造景观绿道, 完善自行车停放点和连接各景区的游步道, 市民可以开展休闲健身、生态旅游。③ 积极打造双林寺禅修养生区, 使该区养生文化和白茶文化发扬光大, 并与自然景观资源互相呼应, 打造特色文化的旅游资源。④ 利用植物造景, 使景区内四季有景可赏。特别着重打造植物园、色叶园和百竹园, 利用植物四季变化和内部所形成良好的环境, 打造“园中园”植物景观, 使之成为森林公园吸引游客来此观光的一大亮点。

**4.4.3 加强人文旅游资源利用。**依靠靖安生态文化、禅宗文化和白茶文化等旅游资源进行深层次开发, 提升公园品位, 将人文景观资源合理开发利用, 有利于雷公尖森林公园树立自己的旅游特色。

**4.4.4 加强宣传促销力度, 提高森林公园的知名度。**通过多种宣传方式加强宣传力度, 如拍摄影视作品、风光片、参加旅游推荐会、开发动植物标本或民风特产小饰品等旅游纪

念品。

## 5 结语

雷公尖森林公园总体规划在对项目进行全面分析的基础上, 坚持统一规划、分步实施; 协调一致、系统规划; 突出主体、适度开发的原则, 将其建设成为以“森林养生、休闲游憩、康体健身”为主题的城郊(园林)——森林景观类的省级森林公园, 利用其“森林休闲、禅修养生”的主题定位, 服务靖安居民, 让靖安居民体验自然生态之旅、静心之旅, 彰显靖安生态文化。

## 参考文献

- [1] 江西省森林公园条例. 中国政府法制信息网 [EB/OL]. (2013-08-29) [2013-08-13]. <http://www.chinalaw.gov.cn/article/fgkd/xfg/dtfg/201109/20110900349873.shtml>.
- [2] 程会凤, 詹文. 基于生态经济思想的城市近郊森林公园营建规划——以衡南县云集森林公园规划为例 [J]. 现代农业科技, 2012(12): 175-176.
- [3] 戴锦. 生态经济学的几个基本理论问题 [J]. 科学·经济·社会, 2004, 22(4): 26-28.
- [4] 王万山. 生态经济理论与生态经济发展走势探讨 [J]. 生态经济, 2001(5): 14-16.
- [5] 郊区. 百度百科 [EB/OL]. (2013-08-20) [2013-08-31] <http://baike.baidu.com/view/739522.htm>.