

滇中地区降水特征与变化趋势研究

徐巧芝, 郭汝军, 丁文荣

(云南师范大学 旅游与地理科学学院, 昆明 650500)

摘 要:滇中地区是云南省政治、经济和文化与交通的中心,水资源短缺问题非常突出。以滇中地区 1960—2011 年 13 个气象站逐年降水量资料为基础,采用线性趋势、IDW 空间插值、Mann-Kendall 突变检验、Morlet 小波分析等方法,对滇中地区 50 a 来降水变化特征与趋势进行了研究,结果表明:(1) 滇中地区多年平均降水量为 955.65 mm/a,波动于 638.30~1627.60 mm 之间,年降水量在空间分布上存在显著的区域差异,降水量大致呈现出由滇中中部向两侧逐渐递增的趋势;(2) 50 a 来,滇中地区降水量呈现减少趋势,速率为 7.67 mm/10 a,且年降水量在 2008 年前后出现突变;(3) 滇中地区降水量存在 27 a 和 16 a 左右的周期性变化,其中 27 a 时间尺度上的周期变化最显著,16 a 时间尺度上局部特征突出;(4) 滇中地区本来就是水资源匮乏区,降水量的减少趋势应该引起相关部门的重视。

关键词:降水量;变化特征;变化趋势;滇中地区

中图分类号:P333.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)05-0155-05

Characteristics and Changing Trends of Precipitation in the Center of Yunnan Province, China

XU Qiao-zhi, GUO Ru-jun, DING Wen-rong

(College of Tourism and Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China)

Abstract: Central Yunnan province is the political, economic, cultural and transport center of Yunnan province, the shortage of water resources is very prominent. This paper based on the precipitation data from 13 meteorological stations in center of Yunnan Province from 1960 to 2011. Using linear trend, inverse distance weighted (IDW) interpolation, Mann-Kendall method and Morlet Wavelet analysis to analyze the characteristics and the changing trends of precipitation in the center of Yunnan Province. The following conclusions are The results showed as follows: (1) In center of Yunnan Province, the long-term average annual precipitation is 955.65 mm/a, undulates to 638.30~1627.60 mm, there are significant regional differences in spatial distribution of precipitation in the study area, showing an increasing trend from the central to the both sides; (2) in recent 50 years, the precipitation in the center of Yunnan showed the tendency of decrease, and the rate is 7.67 mm/10 a, the shift year is around 2008; (3) in the area, precipitation exists periodic oscillations of 27 and 16 years, and the periodic oscillations of 27-year scale is very significant; (4) In center of Yunnan Province is shortage of water resources district, the decreasing trends of precipitation in the center of Yunnan Province should attract the attention of the relevant departments.

Key words: precipitation; changing characteristics; changing trends; center of Yunnan Province

气候变化及其关联效应已经成为 21 世纪世界最重大的环境问题之一,越来越引起国际社会和各国政府的高度重视和广泛关注^[1]。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)预测,到 2100 年,全球平均气温将上升 1.10~6.40℃,研究其关联效应,规避其不利影响已成为人类需要直面的挑战^[2]。已有研究结

果指出,气候变化将改变全球水文循环的现状,影响降水、蒸发、径流、土壤湿度等水循环要素的时空分布,引起水资源在时间和空间上的重新分配,进而影响到水资源管理系统及社会经济系统^[3],这使得气候变化对水循环的影响成为国际水科学研究的前沿问题^[4]。为此,IPCC 第四次评估报告特别出版了《气候

变化与水》(Climate Change and Water)技术报告^[5], 凸显了各国政府和研究机构对气候变化的水文水资源关联效应的重视。

滇中地区是云南省的政治、经济和文化中心与交通枢纽,为长江、红河、珠江三大水系分水岭地带,资源型和水质型缺水是制约区内经济可持续发展的主要因素之一^[6],引起了学者的广泛关注。如李小雁等^[7]采用滇中地区 1961—2006 年 46 个观测站逐日降水数据,分析了滇中地区极端降水的特征及时空变化,结果表明:滇中地区的降水类型发生了变化,大雨、暴雨量和大雨、暴雨次数增多而其他降水类型减少。小雨雨量和雨日数的减少是滇中地区年降水量和年降水日数减少的主要原因,降水变率加快且强度增大是滇中地区极端降水变化的原因之一,伍立群等^[8]则探讨了滇中地区的水资源特征。

可见,滇中地区水资源研究取得了一定成果,但仍然无法清晰认识区内水资源的演化规律。基于此,本文选取滇中地区 13 个气象站点 1960—2011 年的逐年降水资料,对滇中地区 50 a 来降水变化趋势的时空特征进行分析,探讨滇中地区降水变化趋势的时空规律,为滇中地区水资源的合理利用、农业生产及生态环境保护提供科学依据。

1 资料和方法

1.1 研究区概况

滇中地区包括昆明、曲靖、玉溪、红河、大理、楚雄和丽江等地(州)市,涉及 50 个县(市)区,国土面积约 15 万 km²,位于长江、珠江和红河上游,水资源保障程度较高,但缺水问题较为严重。属亚热带气候,日照充足,夏季,最热月平均温度 19.00~22.00℃;冬季,最冷月平均温度 6.00~8.00℃,年温差一般为 10.00~15.00℃。年降水量约 955.00 mm,土壤类型以红壤为主,植被类型多样,多为次生植被和人工植被。

1.2 资料来源与处理

为客观分析滇中地区降水量分布特征及时空变化,依据资料的连续性及最长时段性等标准,共获取符合条件的 13 个气象站的逐年降水量资料进行分析。选站方法是:若某年自记纸记录缺测日数超过总日数的 20%,则视该年缺测,若资料缺失年份超过 5 a,则视该站点缺测并舍弃该站。这些资料为云南省气象局资料中心和中国气象局国家气象信息中心(<http://www.nmic.gov.cn/>)提供,均经过严格的质量控制,能满足研究的要求。

1.3 研究方法

1.3.1 线性趋势分析法 降水量的变化趋势采用一次线性方程表示,即:

$$Y=a_0+a_1t \tag{1}$$

式中:Y——气象要素;t——时间;a₁——线性趋势项;a₁×10——降水每 10 a 的变化量,a₁ 的系数为正,则表明是增量,反之亦然。

1.3.2 反距离加权插值法(IDW) 反距离加权插值法(IDW Inverse Distance Weighting)是一种常用而简便的空间插值方法,它以插值点与样本点间的距离为权重进行加权平均,离插值点越近的样本点赋予的权重越大,反之则小,表达式如下:

$$Z=[\sum_{i=1}^n\frac{Z_i}{d_i}]/[\sum_{i=1}^n\frac{1}{d_i}] \tag{2}$$

式中:Z——估算点的值;Z_i——要素在第 i 站点实测值;d_i——估算点到第 i 站点的距离;n——参与插值的实测站点数。

1.3.3 Mann-Kendall 趋势分析法 降水突变分析采用的是基于秩次的 Mann-Kendall 趋势分析方法,该方法是一种非参数统计检验方法,又被称作无分布检验,与传统参数方法相比,优势体现在样本不需要遵从一定的分布,较少受到少数异常值的干扰,计算较为简便^[9]。因此,该方法在时间趋势分析中得到了广泛运用,其统计方法如下:

$$Z=\begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & (S>0) \\ 0 & (S=0) \\ \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & (S<0) \end{cases} \quad S=\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j-x_i)$$
$$\text{sign}(\theta)=\begin{cases} 1 & (\theta>0) \\ 0 & (\theta=0) \\ -1 & (\theta<0) \end{cases} \tag{3}$$

式中:Z——标准化后的检验统计量;S——检验统计量;x_i,x_j——序列数据;n——序列数据个数,当 n≥8 时,检验统计量 S 近似为正态分布,其均值和方差为:

$$E(S)=\text{var}(S)$$
$$=\frac{n(n-1)(2n+5)-\sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \tag{4}$$

式中:q——等值数组的个数;t_p——第 p 个等值数组的数据个数;n——序列数据个数。标准化后的检验统计量 Z 均值为 0,方差为 1。如果 |Z|>Z_{1-a/2},表明没有趋势的假设被拒绝,存在明显的趋势变化,反之则无明显趋势。其中,Z_{1-a/2} 为 a 信度水平下标准正态函数分布表所对应的值。

1.3.4 Morlet 小波分析 降水的周期性变化采用复值 Morlet 小波进行分析,采用的形式为:

$$\psi(t)=\frac{1}{\sqrt{\pi}f_b}e^{2\pi if_c t}e^{-t^2/f_b} \tag{5}$$

式中: f_b ——带宽; f_c ——中心频率; i ——虚数,令 $f_b=2,\omega=2\pi f$,则复值 Morlet 小波的伸缩尺度 a 与 Fourier 分析中周期 T 的关系为:

$$T=\frac{4\pi a}{\omega+\sqrt{2+\omega^2}} \tag{6}$$

因此, $\omega=6.2$ 时, T 可以近似地用 a 来代替,方便于周期分析。本文所用资料长度为 51 a,时间尺度取值为 1~30。

2 结果与分析

2.1 滇中地区降水特征

如图 1a 所示,滇中地区年降水量在空间分布上存在显著的区域差异性,多年平均降水量为 955.65 mm,波动于 638.30~1 627.60 mm。降水量大致呈现滇中中部向两侧逐渐递增,降水量最大值地区位于红河州东南部的屏边一带,超过了 1 627.00 mm,降水最小值地区位于楚雄州东北部的元谋干旱河谷区,降水量为 638.00 mm。降水量的这种空间分布格局主要受季风影响所致,滇中地区的降水主要来自

西南季风所携带的水汽,同时也受到东南季风的影响。大理和丽江一带位于西南季风的迎风坡上,东南地区的蒙自一带则位于东南季风的迎风坡上,而滇中的楚雄和昆明一带,已经是西南季风和东南季风的强弩之末,水汽含量较少,降水量也少,金沙江的元谋河谷,还受到焚风效应的影响^[10],降水量很少。从滇中地区降水的变差系数分布来看(图 1b),滇中地区降水的变差系数同样存在着明显的地区差异性,整个地区的变差系数为 0.15~0.21。变差系数大致呈现出从滇中中部向两侧递减的趋势,变差系数最大值出现在楚雄市和玉溪市红塔区一带。变差系数均超过 0.21,变差系数的最小值出现在红河州屏边及丽江两地,变差系数均小于 0.15。

降水变差系数的这种空间分布格局,主要受该地区年均降水量的影响,由相关分析可知:降水量与变差系数存在着明显的关联性,即年降水量多,降水年际变率小,则其变差系数就小,反之若年降水量偏少,降水年际变率大,则其变差系数就大。滇中地区的楚雄州及玉溪市一带 50 a 来年平均降水量偏少,降水年际变率较大,其变差系数也偏大;滇中西北部的丽江和西南部的屏边两地,50 a 来年降水量较多,降水的年际变化较小,其变差系数也较小。

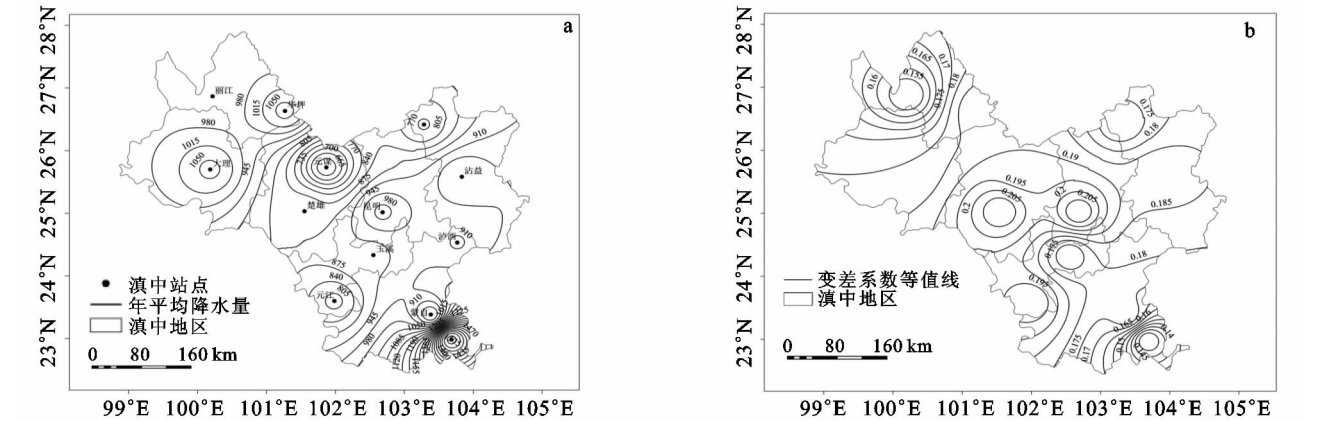


图 1 滇中地区年降水量及其变差系数分布

2.2 年降水量变化规律

50 a 来,滇中地区降水量的年际变化波动明显(图 2),年降水量的平均值为 955.65 mm,1999 年降水量最高,达 1 184.83 mm,而 2009 年以来,降水连续偏少,2011 年降水量仅有 708.60 mm,为 1960 年以来的最少年。1999 年的降水是 2011 年的 1.67 倍,降水量相差 476.23 mm。整体而言,自 1960 年以来,滇中地区年降水量呈微弱的减少趋势,其线性倾向率为 -7.67 mm/10 a。

Bradley^[11]对 1855—1984 年北半球年/季降水变化的研究发现,1950—1984 年 5°—35°N 的副热带降

水量变化为负趋势,35°—70°N 的中高纬度降水变化为正趋势,这在滇中地区也得到了体现。

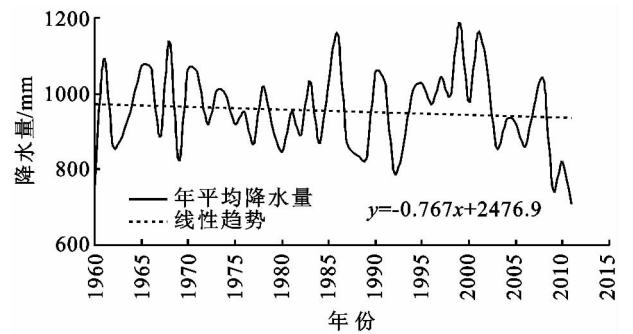


图 2 滇中地区年平均降水量变化

2.3 降水量变化趋势的空间分布

利用 ArcGIS 9.3 空间分析模块中的 IDW 函数法,对滇中地区年降水量变化趋势进行内插,得到其空间分布图(图 3)。从图 3 可以看出,滇中地区降水趋势在空间分布上存在着明显的差异,表现为从中部向两侧减少,趋势系数为 $-48.42\sim 19.08\text{ mm}/10\text{ a}$ 。其中降水减少最显著的地区在滇中东部的沾益、泸西一带,趋势系数为 $-48.42\text{ mm}/10\text{ a}$,降水量增加最显著的地区在滇中中部,楚雄、会泽的降水量增加速率为 $18.20\text{ mm}/10\text{ a}$, $19.10\text{ mm}/10\text{ a}$ 。

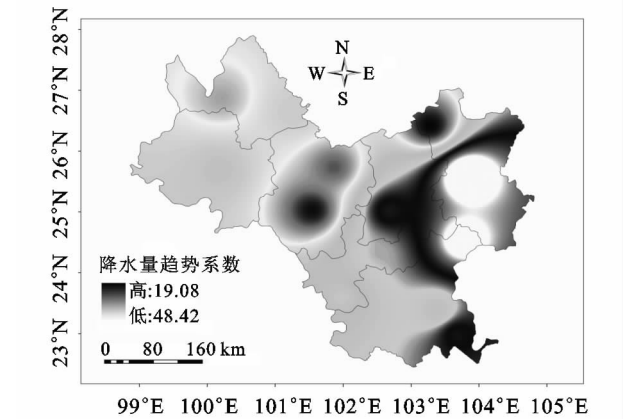


图 3 滇中地区降水量变化趋势的空间分布

云南省生态环境复杂,东部是喀斯特生态环境脆弱区,北部是干旱河谷生态环境脆弱区。从图 3 可以看出,作为云南省降水最少的区域,金沙江河谷一带降水量有增加的趋势,如元谋和会泽,这对于该区水资源利用和生态环境保护是有利的。而对于东部喀斯特地区的沾益和泸西一带,降水量减少明显,均达到 0.05 的置信水平,该区的水资源利用面临严峻的挑战。

2.4 突变点分析

M-K 方法用于突变检验时,如果两条曲线 UF 和 UB 在两条临界直线之间存在交点,那么交点对应的时刻就是突变的可能时间。图 4 为滇中地区年降水量的 M-K 检验结果,UF 为降水量顺序列的统计量变化曲线,UB 为逆序列的统计量变化曲线,从图中 4 可

以看出,1968 年以前降水量呈增加趋势,1969—1993 年降水量呈减少趋势,1994—2002 年又出现增加趋势,2003 年以后降水量呈现出减少趋势,降水量大致呈增—减—增—减的变化趋势。UB 曲线在 2008 年左右超过了 UF 曲线,并且在置信度之间。表明在 0.05 显著水平上,年降水量在 2008 年前后出现突变。

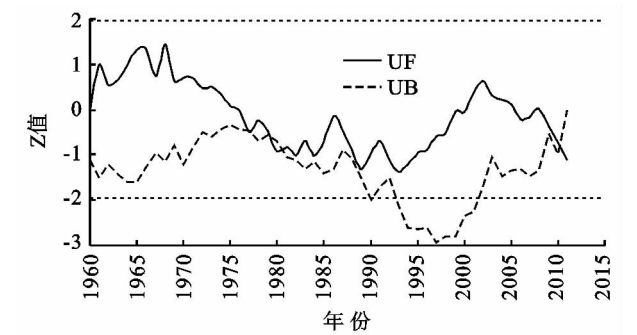


图 4 滇中地区降水量变化的 M-K 检验

2.5 周期分析

研究表明,复值 Morlet 小波作为复数形式的小波,在应用中比实数形式的小波有更多的优点,当 Morlet 小波用于时间序列的分析时,小波系数实部的变化趋势与信号的起伏是基本一致的,即周期性变化,而模值则代表了周期性变化的强度^[12]。在小波系数实部中,等值线中心分别为高低值中心,中心值的大小可以反映出波动的振荡强度。图 5a 是滇中地区 13 个气象站点降水量序列平均值的复值 Morlet 小波变换实部(正小波系数为实线,负小波系数为虚线),从 5a 中可以看出:滇中地区降水量存在 27,16 a 时间尺度上的周期,其中 27 a 左右时间尺度的振荡最为明显,16 a 时间尺度上的周期集中在 2000 年以前。27 a 时间尺度上共出现两个多雨中心和 1 个少雨中心,多雨中心分别是 1974 年和 2001 年,少雨中心为 1985 年;16 a 尺度上存在两个多雨中心和一个少雨中心,多雨中心分别是 1969 年、1985 年,少雨中心在 1978 年和 1994 年出现。

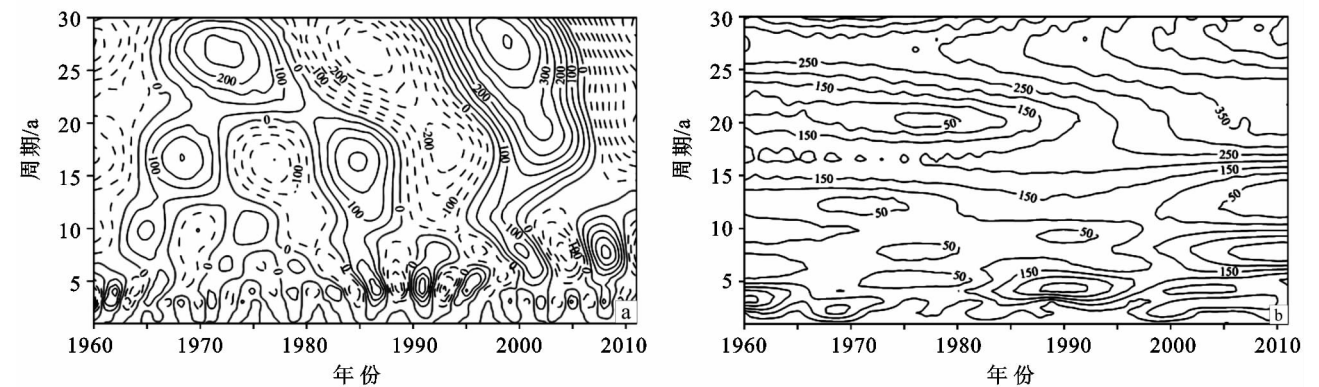


图 5 复值 Morlet 小波变换系数的实部(a)与模(b)

图 5b 是滇中地区年降水量的复值 Morlet 小波变换系数模。从图中可以看出:27 a 时间尺度上的周期性振荡能量最强,贯穿整个研究时段,16 a 时间尺度上的周期性振荡主要发生在 2000 年以前。而对于其它时间尺度的周期性变化,局部性特征非常突出。

3 结论与讨论

(1) 滇中地区年平均降水量为 955.65 mm,1999 年降水量最高,达 1 184.83 mm,2011 年降水量仅有 708.60 mm,变差系数大致呈现出从滇中中部向两侧递减的趋势。

(2) 50 a 来,滇中地区年降水量整体呈现出微弱的减少趋势,减少的速率为 7.67 mm/10 a。其中,沾益一带降水量减少趋势最为显著,速率为 -48.42 mm/10 a,降水量增加最显著的地区在滇中中部,楚雄、会泽的降水量增加速率为 18.20 mm/10 a,19.10 mm/10 a。

(3) 50 a 来,滇中地区降水量大致呈增—减—增—减的变化趋势,年降水量在 2008 年前后出现突变,并且通过了 0.05 置信水平上的显著性检验。

(4) 滇中地区降水量存在 27 a 和 16 a 左右的周期性变化,其中 27 a 时间尺度上的周期性变化贯穿整个研究时段,16 a 尺度上的周期性变化局部性特征较为突出。

滇中地区是云南省的政治、经济和文化中心与交通枢纽,资源性和水质性缺水较为突出,制约了当地的可持续发展。从文章的分析可以看出,50 a 来滇中

地区降水量呈现出微弱的减少趋势,这对于缺水的滇中来讲意义重大,应该引起相关部门的重视。

参考文献:

- [1] 丁一汇. 中国气候变化:科学、影响、适应及对策研究[M]. 北京:中国环境科学出版社,2009.
- [2] IPCC. IPCC Fourth Assessment Report (AR4)[M]. Cambridge: Cambridge University Press,2007.
- [3] 刘春蓁. 我国内陆河流域水文循环与其生态功能浅析[J]. 干旱气象,2005,23(3):12-16.
- [4] 王根绪,刘桂民,常娟. 流域尺度生态水文研究评述[J]. 生态学报,2005,25(4):892-903.
- [5] 吴绍洪,赵宗慈. 气候变化和水的最新科学认知[J]. 气候变化研究进展,2009,5(3):125-133.
- [6] 郭有安. 滇池流域水资源演变情势分析[J]. 云南地理环境研究,2005,17(2):28-32.
- [7] 李小雁,史正涛,彭海英. 滇中地区极端降水时空变化趋势及其成因分析[J]. 节水灌溉,2010(6):26-29.
- [8] 伍立群,顾世祥. 滇中水资源研究[M]. 昆明:云南科技出版社,2005.
- [9] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [10] 明庆忠,史正涛. 三江并流区干热河谷成因新探析[J]. 中国沙漠,2007,27(1):99-104.
- [11] Bradley R S, Diaz H F, Eischeid J K, et al. Precipitation fluctuations over northern hemisphere land areas since the mid-19th century[J]. Science, 1987, 237(4811):171-1751.
- [12] 王文圣,丁晶,李跃清. 水文小波分析[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [13] 王建东,龚时宏,于颖多,等. 地面灌水频率对土壤水与温度及春玉米生长的影响[J]. 水利学报,2008,39(4):500-505.
- [14] 张朝勇,蔡焕杰. 膜下滴灌棉花土壤温度的动态变化规律[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(2):11-15.
- [15] 王卫华,王全九,刘建军. 南疆棉花苗期覆膜地温变化分析[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(1):139-144.
- [16] 张治,田富强,钟瑞森,等. 新疆膜下滴灌棉田生育期地温变化规律[J]. 农业工程学报,2011,27(1):44-51.
- [17] 王斐,卢春生,张平,等. 南疆杏麦复合系统早春土壤温度变化特征研究[J]. 新疆农业科学,2011,48(8):1422-1427.
- [18] 李兴,程满金,勾芒芒,等. 黄土高原半干旱区覆膜玉米土壤温度的变异特征[J]. 生态环境学报,2010,19(1):218-222.
- [19] 李毅,邵明安,王文焰,等. 玉米田地温的时空变化特征及其预报[J]. 水利学报,2003,34(1):103-108.
- [20] 陈素英,张喜英,裴冬,等. 玉米秸秆覆盖对麦田土壤温度和土壤蒸发的影响[J]. 农业工程学报,2005,21(10):171-173.
- [21] Willis W O, Wierenga P J, Vredenburg R T. Fall soil water:effect on summer soil temperature[J]. Soil Science Society of America,1977,41(3):615-617.
- [22] 杨祁峰,岳云,熊春蓉. 不同覆膜方式对粮饲兼用玉米田土壤温度的影响[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(5):71-75.
- [23] 祁峰,岳云,熊春蓉,等. 不同覆膜方式对陇东旱塬玉米田土壤温度的影响[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(6):29-33.
- [24] 张俊鹏,孙景生,刘祖贵,等. 不同麦秸覆盖量对夏玉米田棵间土壤蒸发和地温的影响[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(1):95-100.
- [25] 雷金银,吴发启,王健,等. 保护性耕作对土壤物理特性及玉米产量的影响[J]. 农业工程学报,2008,24(10):40-45.
- [26] 张伟,汪春,梁远,等. 残茬覆盖对寒地旱作区土壤温度的影响[J]. 农业工程学报,2006,22(5):70-73.
- [27] 陈青云,钱振权. 浮膜覆盖对地温、气温及蔬菜生长发育的影响[J]. 农业工程学报,1994,10(4):125-130.
- [28] 杨凯,冯永忠,李永平,等. 黄土高原坡耕地不同耕作措施对土壤温度和水分的作用效应[J]. 干旱地区农业研

(上接第 154 页)