

近 40 年洮河流域干燥度变化趋势分析

王建兵^{1,2}

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘南州气象局, 甘肃 合作 747000)

摘 要: 利用洮河流域 7 个气象站 1971—2010 年的地面气象观测资料, 根据 Holdridge 生命地带模型对洮河流域近 40 a 的干燥度变化进行了分析。结果表明: 近 40 a 洮河流域内可能蒸散率 (PER) 以 $0.02 \cdot 10a^{-1} \sim 0.07 \cdot 10a^{-1}$ 的趋势上升, 20 世纪 90 年代后 PER 的平均值比 20 世纪 90 年代前上升了 0.12, 洮河流域从 20 世纪 90 年代开始出现了明显的变干趋势; 近 40 a 洮河流域温度呈明显上升趋势, 上升趋势为 $0.32 \sim 0.54^{\circ}C \cdot 10a^{-1}$, 20 世纪 80 年代末到 90 年代洮河流域气温出现了暖突变; 降水量呈减少的趋势, 其中以中、下游减少最明显, 减少趋势为 $13.3 \sim 21.8 \text{ mm} \cdot 10a^{-1}$; 洮河流域出现了明显的暖干化趋势。

关键词: 干燥度; Holdridge 生命地带; 暖干化; 洮河流域

中图分类号: S161.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)05-0246-05

Trend analysis for the variety of arid index in Taohe River Basin in recent 40 years

WANG Jian-bing^{1,2}

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730020, China; 2. Gannan Meteorological Bureau, Hezuo, Gansu 747000, China)

Abstract: Using the surface meteorological observed data in 7 climate stations in Taohe River Basin, according to the Holdridge life zone model analyzed the variety of arid index in Taohe River Basin in recent 40 years (1971 ~ 2010). The results shown that: The possible evapotranspiration rate (PER) was increasing by the tendency of 0.02 to $0.07 \cdot 10a^{-1}$ in Taohe River Basin in recent 40 years, the mean PER was increased 0.12 after the 1990s comparing before 1990s. From starting 90th 20 century, the Taohe River Basin occurred obvious drying trend, the temperature showed an obviously increasing trend with the tendency ratio of $0.32^{\circ}C \cdot 10a^{-1}$ to $0.54^{\circ}C \cdot 10a^{-1}$. The warm mutation of the temperature was occurred in the end of 1980s to 1990s, the precipitation in the Taohe River Basin was shown a decreasing trend. Among them, the middle reaches and lower reaches was reduced most obvious, the decreasing trend was 13.3 to $21.8 \text{ mm} \cdot 10a^{-1}$. In the Taohe River Basin occurs a obviously warm-drying trend.

Keywords: arid index; Holdridge life zone; warm-drying; Taohe River Basin

洮河是黄河上游较大的一级支流, 全长 673 km, 流域面积 2.55 万 km^2 , 地跨甘南高原和陇西黄土高原两大地貌单元, 洮河天然年径流量达 53 亿 m^3 , 为甘肃中部提供了丰富的水资源。岷县以上年径流量占全流域的 72%^[1-3], 甘南高原是洮河的主要产流区。为充分利用洮河水资源, 解决定西、平凉、兰州、白银、天水等 5 市 11 个县的水资源紧缺问题, 甘肃省在 2006 年再次启动引洮供水工程, 洮河流域九甸峡以上是引洮工程的引水区^[4-5]。张济世等^[6]的研究表明, 由于受气候变化及人类活动影响, 洮河流域降水和径流特征发生了明显变化, 降水与径流总体呈下降趋势; 相关研究表明^[7-9], 作为洮河主要产流区的甘南草原出现了明显的暖干化现象。目前关于洮河上游甘南草原气候及生态环境变化的研究比较多, 但对洮河流域气候干湿变化及生态环境变化的研究比较少, 由于气候的干湿变化对当地的生态环境、工农业生产以及人民生活有巨大的影响, 因此研究洮河流域气候干湿变化, 对合理利用洮河水资源、保护洮河流域的生态环境具有十分重要的意义。

收稿日期: 2013-12-02
基金项目: 中国科学院寒旱区陆面过程与气候变化重点实验室开放基金“黄河源区气候变化的分析研究”
作者简介: 王建兵 (1968—), 甘肃甘谷人, 高级工程师, 主要从事天气、气候研究。E-mail: wangjb_gn@163.com。

根据孟猛等^[10]的研究,自 1990 年以来提出的干燥度指数算法达 22 种,较常用的 Penman 公式法虽然计算合理,精确度高,有较好的物理学意义,但计算复杂,所需的气象要素较多。Holdridge 方法计算干燥度十分简便,在近年来研究全球变化对生态系统的影响评价中发挥了极大的作用,对于预测二氧化碳倍增条件下局部及全球大尺度上植被的变化格局十分有用,在气候与生态环境变化研究中得到了广泛应用^[11-14]。本研究采用 Holdridge 可能蒸散率(*PER*)计算方法,对洮河流域近 40 a 来的干湿变化特征进行分析,以期为洮河水资源的利用及洮河流域生态环境的保护提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 资料与分析方法

利用洮河流域内碌曲、合作、临潭、卓尼、岷县、临洮、永靖 7 个气象站 1971—2010 年的温度、降水量等地面观测气象资料,利用趋势分析、小波分析、Mann-Kendall 突变分析等方法^[15],对洮河流域近 40a 来的干湿变化特征进行分析。

1.2 可能蒸散率(*PER*)的计算

Holdridge 生命地带分类系统可以较好地反映植被与气候的相互关系。该系统是以年生物温度(*ABT*),年降水量(*P*)和可能蒸散率(*PER*)的几何系列来表示自然植被类型分布的一种图示。这些气候要素与冰冻线相交形成了 37 个六边形,每个六边形限定着一个由植被类型命名的生物气候。

ABT(Annual biotemperature)是年生物温度(℃),生物温度是出现在植物营养生长范围内的平均温度,一般认为在 0~30℃之间,日均温低于 0℃与高于 30℃者均排除在外,超过 30℃的平均温度按 30℃计算,低于 0℃的按 0℃计算。具体计算公式为:

$$ABT = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} t_i$$

式中,*t* 为大于 0℃ 的月平均温度,当 $t \geq 30^{\circ}\text{C}$ 时取 $t = 30$,当 $t \leq 0^{\circ}\text{C}$ 时取 $t = 0$ 。

PER 是一种干燥度指数,为可能蒸散量(*PE*)与年降水量(*P*)的比率,即 $PER = PE/P$,其值愈高,表明愈干燥,其所在地区的植被愈趋于干旱化,*PER* 值 0.125~0.25 的地区为超湿润区,0.25~0.50 为极湿润区,0.50~1.00 为湿润区,1.00~2.00 为亚湿润区,2.00~4.00 为半干旱区,4.00~8.00 为干旱区,8.00~16.00 为极干旱区,16.00~32.00 为超干旱区。其计算公式为:

$$PE = 58.93 \times ABT$$

$$PER = PE/P$$

2 结果与分析

2.1 近 40 a 洮河流域 *PER* 的变化趋势

近 40 a 洮河流域 *PER* 呈明显上升趋势(表 1),其中以位于中下游的卓尼、岷县、临洮、永靖上升明显。为了对洮河流域各段的干燥度变化进行分析,选取碌曲代表上游,卓尼代表中游,临洮代表下游,分别进行分析。

表 1 洮河流域 *PER* 的变化趋势

Table 1 The change trend of <i>PER</i> in Taohe River Basin		
地区 Region	变化趋势 Variance trend/ 10a^{-1}	
碌曲 Luqu	0.03 *	
合作 Hezou	0.02	
临潭 Lintan	0.02	
卓尼 Zhuoni	0.06 * *	
岷县 Minxian	0.04 *	
临洮 Lintao	0.06 *	
永靖 Yongjing	0.07	

注: * 通过 95% 信度检验, * * 通过 99% 信度检验,下同。
Note: * significance at the 0.05 level, * * significance at the 0.01 level (similarly here in after).

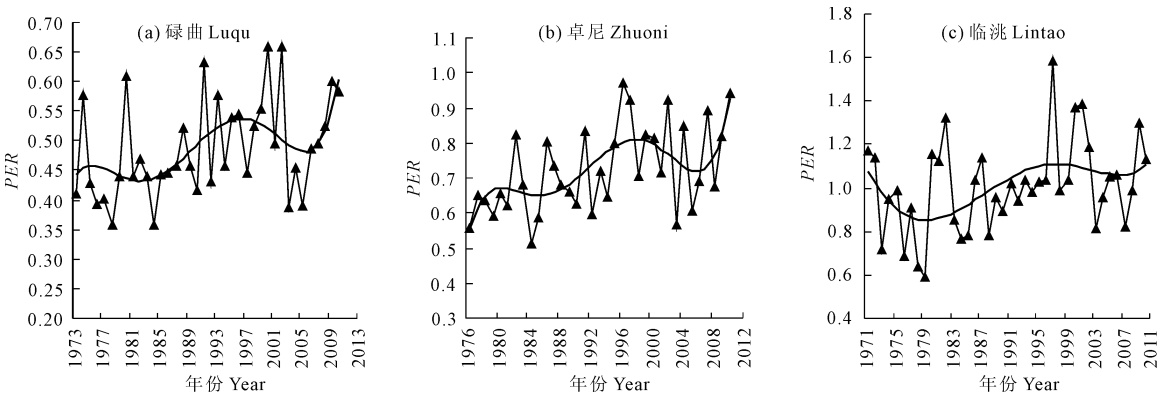


图 1 碌曲(a)、卓尼(b)、临洮(c) *PER* 的年际变化趋势

Fig.1 The annual variation trend of *PER* in Luqu (a), Zhuoni (b) and Lintao (c)

碌曲(图 1a)、卓尼(图 1b)、临洮(图 1c)的 *PER* 均呈波动上升的趋势,从年际变化看三地变化趋势基本相同,20 世纪 70 年代末到 80 年代初为一低值时段,从 80 年代末开始 *PER* 出现了明显的上升趋势,90 年代末到 21 世纪初达到最大,之后逐渐下降,到 2005 年之后又出现了上升的趋势。根据 *PER* 的年代际变化(表 2),从 20 世纪 90 年代开始洮河流域出现了明显的变干的趋势,洮河流域 20 世纪 90 年代后 *PER* 的平均值比 20 世纪 90 年代前上升了 0.12,位于洮河上游的碌曲由极湿润区转为湿润区,位于中游的卓尼仍为湿润区,但存在明显的变干趋势,位于下游的临洮从湿润区转为亚湿润区。

2.2 近 40 a 洮河流域 *PER* 的周期变化

通过墨西哥帽小波变换分析,发现碌曲(图 2a)、卓尼(图 2b)、临洮(图 2c) *PER* 的周期变化有明显的不同,碌曲在 20 世纪 80 年代中期前以 8 a 周期

为主,20 世纪 80 年代中期后到 90 年代中期,是一个明显的调整时段,在这个时段内周期变化不明显;到 20 世纪 90 年代中期后,周期变化开始恢复,主要以 10 a 周期为主。卓尼在 20 世纪 90 年代末以前以准 5 a 周期为主,进入 21 世纪后,出现了一个明显的调整时段,目前短周期变化尚未恢复,但 13 ~ 14 a 的长周期变化有形成的趋势,对此尚需要进行观察;临洮在近 40 a 中无明显的周期变化,但三地有一共同点即目前均处于干燥时段中。

表 2 洮河流域 *PER* 的年代际变化
Table 2 Every 10 years change trend of *PER* in the Taohe River Basin

地区 Region	1971—1980	1981—1990	1991—2000	2001—2010
碌曲 Luqu	0.45	0.44	0.54	0.51
卓尼 Zhuoni	0.62	0.67	0.78	0.77
临洮 Lintao	0.90	0.96	1.10	1.07

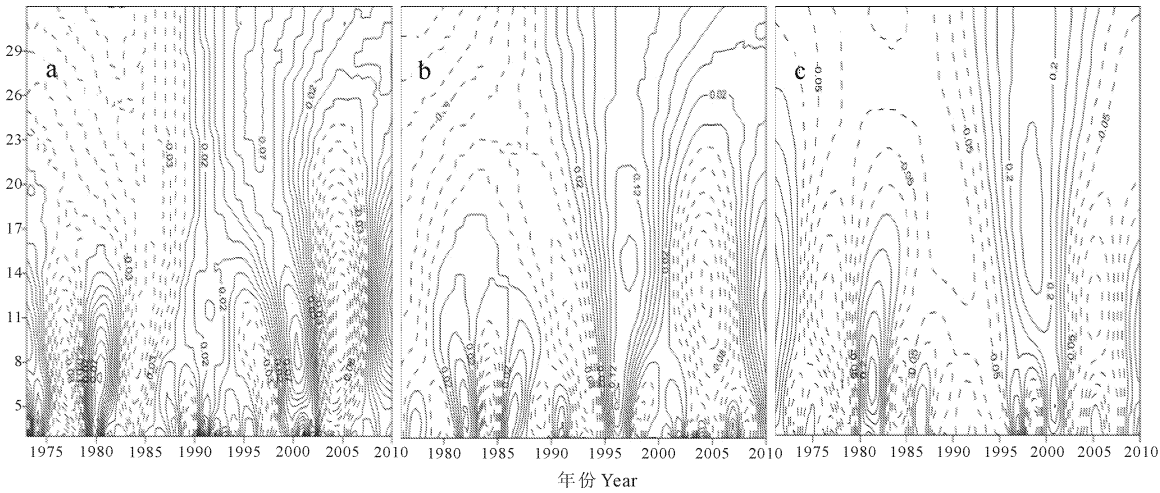


图 2 碌曲(a)、卓尼(b)、临洮(c) *PER* 的周期变化

Fig.2 The periodic change of the *PER* in Luqu (a), Zhuoni (b) and Lintao (c)

2.3 近 40 a 洮河流域 *PER* 的突变分析

通过用 Mann – Kendall 方法对碌曲、卓尼、临洮近 40a *PER* 的突变进行分析,发现碌曲(图 3a)、卓尼(图 3b) *PER* 分别在 1986 年和 1987 年发生了增大突变,临洮未发生突变,但增大的趋势也非常明显,开始增大的时间为 1995 年,晚于洮河上、中游开始突变的时间。碌曲 1986—2010 年 *PER* 平均值比 1973—1985 年间平均值上升了 0.07,卓尼 1987—2010 年 *PER* 平均值比 1976—1986 年间平均值上升了 0.11,洮河中游变干的趋势比上游和下游更明显,碌曲、卓尼 *PER* 发生突变的时间与 1987 年西北地区气候由暖干向暖湿转变的时间^[16]比较一致,但不同的是根据对洮河流域 *PER* 变化的分析,发现洮河流域在向暖干化方向发展。

2.4 近 40 a 洮河流域暖干化的主要原因

为进一步研究造成洮河流域暖干化的原因,对近 40 a 洮河流域温度、年生物温度和降水的变化特征进行了分析。

2.4.1 温度和年生物温度 近 40 a 洮河流域温度呈明显上升趋势(表 3),其中洮河的主要产流区甘南高原上升最明显,升温中心是卓尼,升温率达 $0.54^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 。突变分析表明,从 20 世纪 80 年代末到 90 年代洮河流域气温出现了暖突变,其中永靖出现较早,在 1989 年出现暖突变,其余各地均出现在 90 年代(表 3)。同样,洮河流域年生物温度也呈明显上升趋势,上升趋势达 $3.2\sim 4.2^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$,升温中心同样在卓尼,突变分析发现洮河流域年生物温度均在 90 年代出现增大突变。洮河流域气温和年

生物温度发生暖突变的时间与全国年平均气温在 1993 年后明显变暖相一致^[17],青藏高原和青藏高原东北部边坡地带的气温从 1987 年开始明显上

升^[18-19],位于青藏高原与黄土高原过渡区的洮河流域气温出现突变的时间晚于青藏高原开始升温的时间,但其升温幅度却十分明显。

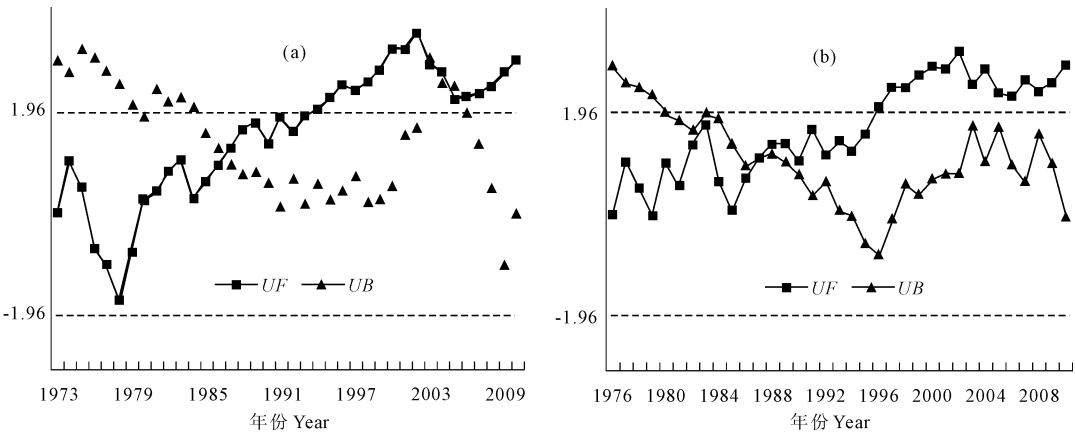


图 3 碌曲(a)、卓尼(b) *PER* 的 M-K 法计算图

Fig.3 The calculation diagram of M-K method of *PER* in Luqu (a) and Zhuoni (b)

表 3 洮河流域温度的变化趋势

Table 3 The variance trend of temperation in the Taohe River Basin

地区 Region	变化趋势 Variance trend /($^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$)	突变点 Abrupt change point	突变前后 差值 Departure/ $^{\circ}\text{C}$
碌曲 Luqu	0.46 **	1998	1.1
合作 Hezuo	0.43 **	1994	1.0
临潭 Lintan	0.35 **	1997	0.9
卓尼 Zhuoni	0.54 **	1993	1.1
岷县 Minxian	0.34 **	1996	0.9
临洮 Lintao	0.32 **	1995	0.8
永靖 Yongjing	0.36 **	1989	0.7

2.4.2 降水 近 40 a 洮河流域降水量除临潭呈略上升的趋势外,其余地方均呈减少的趋势(均未通过显著性检验),其中以位于中、下游的卓尼、岷县、临洮减少最明显,减少趋势分别为 -13.3 、 $-14.2\text{ mm}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 和 $-21.8\text{ mm}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 。

近 40 a 洮河流域 *PER*、温度和生物温度呈明显上升的趋势,大部分地方降水量呈减少的趋势,洮河流域出现了明显的暖干化趋势,洮河上游的暖干化原因主要是由于温度上升,洮河中、下的暖干化原因主要是由于温度上升和降水减少。

2.5 洮河流域的暖干化趋势及其影响

由于位于上游的甘南高原是洮河主要产流区,甘南草原的暖干化已经对当地的生态环境造成了严重影响,甘南草原的生产性能和生态功能大幅下降,草地退化、沙漠化发展速度明显加快,甘南高原已经出现了水资源明显减少的趋势^[20-22]。研究表明,上世纪 80 年代以来,甘肃黄土高原土壤含水呈减少

之势,0~200 cm 土层土壤总贮水量春、秋季减少了 40~90 mm,夏季减少了 20~36 mm;土壤贮水适宜农作物生长的时段减少了 2~3 月。土壤水分匮乏的范围无论从时段及层次上都有所扩展^[23]。气候变暖,气温持续升高,蒸发量增大,是造成干旱受灾面积扩大、粮食大幅度减产的重要因素^[24]。气候变化对甘肃农作物的影响更为敏感、更加脆弱、更加严重、更为复杂、且利弊并重^[25-26]。因此在洮河的主要产流区水资源明显减少的趋势下,如何充分利用和保护洮河水资源,发挥引洮工程的效益,对洮河流域及引洮工程区内的经济建设、生态环境保护有十分重要的意义,对此还需要进一步研究。

3 结 论

近 40 a 洮河流域 *PER* 呈明显上升趋势,上升趋势为 $0.02\sim 0.07\cdot 10\text{a}^{-1}$,其中以位于中下游的卓尼、岷县、临洮、永靖上升最明显。洮河上、中游 *PER* 在 20 世纪 80 年代末发生了增大突变,洮河流域 20 世纪 90 年代后 *PER* 的平均值比 20 世纪 90 年代前上升了 0.12,从 20 世纪 90 年代开始洮河流域出现了明显的变干的趋势,位于洮河上游的碌曲由极湿润区转为湿润区,位于中游的卓尼仍为湿润区,但存在明显的变干趋势,位于下游的临洮从湿润区转为亚湿润区。

近 40 a 洮河流域温度呈明显上升趋势,上升趋势为 $0.32\sim 0.54^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$,20 世纪 80 年代末到 90 年代洮河流域气温出现了暖突变;洮河流域年生物温度也呈明显上升趋势,上升趋势达 $3.2\sim 4.2^{\circ}\text{C}\cdot$

10a⁻¹,突变分析发现洮河流域年生物温度均在 90 年代出现增大突变;降水量除临潭呈略增加的趋势外,其余地方均呈减少的趋势,其中以中、下游减少最明显,减少趋势为 13.3~21.8 mm•10a⁻¹。

洮河流域出现了明显的暖干化趋势,洮河上游的暖干化的主要原因是由于温度上升,洮河中、下的暖干化的主要原因是由于温度上升和降水减少。作为洮河主要产流区的甘南草原的暖干化已经对当地的生态环境造成了严重影响,甘南草原的生产性能和生态功能大幅下降,草地退化、沙漠化发展速度明显加快,已经出现了水资源明显减少的趋势。如何充分利用和保护洮河水资源,对洮河流域及引洮工程区内的经济建设、生态环境保护有十分重要的意义,对此还需要进一步研究。

参 考 文 献:

[1] 朱佳君,张 钰,唐颖丰,等. 洮河干流径流量变化趋势分析[J]. 水土保持研究,2011,18(3):111-114.

[2] 畅俊杰,高学军,赵昌瑞. 洮河流域径流演变趋势分析[J]. 甘肃水利水电技术,2003,(3):731-736.

[3] 胡兴林,畅俊杰,姚志宗,等. 干旱半干旱地区水文预报模型研究及应用——以洮河流域为例[J]. 冰川冻土,2003,25(4):409-413.

[4] 路泽生,温续余,张 东. 引洮供水一期工程总体设计及管理方案研究[J]. 中国水利,2006,(10):40-42.

[5] 周长进,董锁成,李 岱. 定西地区主要生态环境问题与对策[J]. 干旱区资源与环境,2004,18(6):32-37.

[6] 张济世,康尔泗,蓝永超,等. 50a 来洮河流域降水径流变化趋势分析[J]. 冰川冻土,2003,25(1):77-82.

[7] 王建兵. 近 40 年甘南草原生命地带偏移趋势及干湿变化[J]. 应用气象学报,2012,23(5):604-608.

[8] 王建兵,李晓媛,王振国. 青藏高原东北部农牧交错区气候变化及其对草场植被的影响[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(6):216-219.

[9] 王建兵. 近 20 年青藏高原东北部边坡地带垂穗披碱草物候变

化——以甘肃合作为例[J]. 草业科学,2011,28(10):1851-1854.

[10] 孟 猛,倪 健,张治国. 地理生态学的干燥度指数及其应用评述[J]. 植物生态学报,2004,28(6):853-861.

[11] 张新时. 研究全球变化的植被-气候分类系统[J]. 第四纪研究,1993,5(2):157-169.

[12] 张新时,杨莫安,倪文革. 植被的 PE(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[J]. 植物生态学与地植物学学报. 1993,17(2):97-109.

[13] 范泽孟,岳天祥,田永中. 中国 Holdridge 生命地带平均中心的时空分布及其偏移趋势[J]. 生态学报,2004,24(7):1380-1387.

[14] 巩祥夫,刘寿东,钱 拴. 基于 Holdridge 分类系统的内蒙古草原类型气候区划指标[J]. 中国农业气象,2010,31(3):384-387.

[15] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京:气象出版社,1993:42-113.

[16] 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 冰川冻土,2003,23(2):152-164.

[17] 陈隆勋,周秀骥,李维亮,等. 中国近 80 年来气候变化特征及其形成机制[J]. 大气科学,2004,62(5):634-646.

[18] 蔡 英,李栋梁,汤懋苍,等. 青藏高原近 50 年来气温的年代际变化[J]. 高原气象,2003,22(5):464-470.

[19] 王建兵,汪治桂. 青藏高原东北部边坡地带气温变化特征研究[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(1):176-180.

[20] 姚玉璧,王润元,邓振镛,等. 黄河上游主要产流区气候变化及其对水资源的影响——以甘南高原为例[J]. 中国沙漠,2007,27(5):903-909.

[21] 王建兵,王振国,吕 虹. 黄河重要水源补给区草地退化的气候背景分析——以玛曲县为例[J]. 草业科学,2008,25(4):23-27.

[22] 汪治桂,王素萍,王建兵,等. 黄河上游重要水源补给区参考作物蒸散量变化特征分析[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(6):243-246.

[23] 蒲金涌,姚小英,邓振镛,等. 气候变化对甘肃黄土高原土壤贮水量的影响[J]. 土壤通报,2006,37(6):1086-1090.

[24] 刘德祥,白虎志,宁惠芳,等. 气候变暖对甘肃干旱气象灾害的影响[J]. 冰川冻土,2006,28(5):707-712.

[25] 邓振镛,张 强,徐金芳,等. 全球气候变暖对甘肃农作物生长影响的研究进展[J]. 地球科学进展,2008,23(10):1070-1078.

[26] 姚玉璧,邓振镛,王润元,等. 气候暖干化对甘肃马铃薯生产的影响[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(3):16-20.

(上接第 142 页)

[18] Garcia-gomez A, Bernal M P, Roig A. Growth of ornamental plants in two composts prepared from agroindustrial wastes[J]. Bioresource Technology, 2002,83(1):81-87.

[19] 李晓强,卜崇兴,郭世荣. 菇渣复合基质栽培对蔬菜幼苗生长的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2006,(3):517-520.

[20] Runhua ZHANG, Zengqiang DUAN. Study on compound Substrate Properties with Spent Mushroom Compost and Cattle Manure Compost and Effects on the Growth of Seedlings[J]. Agricultural Science & Technology, 2012,(1):149-154.

[21] 徐文俊,程智慧,孟焕文,等. 农业废弃有机物基质配方对番茄生长及产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,(4):127-133.

[22] 时连辉,张志国,刘登民,等. 菇渣和泥炭基质理化特性比较及其调节[J]. 农业工程学报,2008,(4):199-203.

[23] 张 娜,梁一民. 干旱气候对白羊草群落地下部生长影响的初步观察[J]. 应用生态学报,2002,(7):827-832.

[24] 马旭凤,于 涛,汪李宏,等. 苗期水分亏缺对玉米根系发育及解剖结构的影响[J]. 应用生态学报,2010,(7):1731-1736.

[25] 阎素红,杨兆生,王俊娟,等. 不同类型小麦品种根系生长特性研究[J]. 中国农业科学,2002,(8):906-910.