

天水干旱气候对蜜桃生产影响的评估

许彦平¹,姚晓红¹,刘晓强¹,许赞恺²,汪洪斌¹

(1. 甘肃省天水市气象局, 甘肃 天水 741018; 2. 甘肃天水小陇山林业局, 甘肃 天水 741020)

摘 要: 利用统计学方法提取了干旱灾害的主要影响因子,进行了天水干旱气候对蜜桃生产影响评估。分析得出:影响天水蜜桃正常生长的主要干旱灾害以早春蜜桃萌芽~芽开放期干旱、花期干旱和蜜桃上年 10 月中旬高温干旱灾害最为明显;各干旱时段灾害强度发生频率以 3 月上中旬桃树萌芽~芽开放期轻旱和花期轻旱最多,发生频率分别为 23% 和 31%,对蜜桃产量的影响以开花期大气干旱影响最大,贡献率为 40%。影响天水蜜桃生产的干旱灾害综合评估表明,除轻旱、重旱评估准确率略低为 83% 和 80% 外,无旱和有旱评估准确率达 94% 以上,中旱、特重旱评估准确率均达 100%,灾害评估效果比较理想。

关键词: 干旱气候;蜜桃;生产;评估;天水

中图分类号: S662.1; S162.5 **文献标志码:** A

Evaluation on the influence of drought on peach production in Tianshui

XU Yan-ping¹, YAO Xiao-hong¹, LIU Xiao-qiang¹, XU Yun-kai², WANG Hong-bin¹

(1. Tianshui Meteorological Bureau of Gansu Province, Tianshui, Gansu 741018, China;

2. Xiao Longshan Forest Experiment Bureau of Gansu Province, Tianshui, Gansu 741020, China)

Abstract: Located in arid and semi-arid mountainous area in the northwest loess plateau, Tianshui has a high incidence with drought and the development of fruit tree industry was affected. To effectively defend against the drought and reduce fruit losses to the minimal level, this study focused on the evaluation research on the influence of drought on peach production in Tianshui and this research had obvious instructive significance. Statistical method was carried out to outlines the main factors of drought to study the influence of drought on peach production in Tianshui. The result showed that drought heavily affected the normal growth of peaches from the germination to opening in early spring, and at flowering and with high temperature in middle October in previous year. The frequency of mild drought occurred most when peach began germinating to open and flowering, reaching 23% and 31%. When peach began flowering heavily, drought affected the peach production, contributing up to 40% of the loss. Our results could provide 83% and 80% accuracies in estimating mild and severe drought, respectively. The accuracy could reach over 94% for drought or non-drought occurrences. The accuracies on moderate and the worst drought were up to 100%. In conclusion, this drought evaluation approach was ideal and had definite reference value in agricultural practices on drought prevention and reduction.

Keywords: drought; peach; production; evaluation; Tianshui

我国是自然灾害频发国之一,每年因自然灾害造成的经济损失高达 1 000 多亿元,导致的直接经济损失占 GDP 的 3%~6%,重灾年份损失可超过 6%^[1]。天水市地处东经 104°34'~106°43',北纬 34°05'~35°10'区域的西北黄土高原干旱半干旱山区,以黄绵土为主的渭河河谷北部山区,土层深厚,土壤、气候适宜优质蜜桃生产,种植面积约 2.26 × 10⁴ hm²,占果业总面积的 9%,总产量 1.92 × 10⁴ kg,占果业总产量的 14%,成为天水第二果品产业。栽培区年平均气温 10.9℃~11.4℃,年降水量 436~503 mm,年日照时数 1 876~2 008 h,无霜期 163~198 d 左右,≥10℃积温 3 134~3 558℃·d,海拔高度 1 000~2 100 m,光热充足,太阳辐射强,所产“北京七号”鲜果以个大、色艳、味美、质优、安全而荣获“中

收稿日期:2014-05-14
基金项目:果树气象灾害风险的综合评估技术和方法研究(2014-12)
作者简介:许彦平(1963—),男,甘肃天水人,高级工程师,主要从事应用气象研究工作。E-mail: xyping1963@163.com。

华名果”称号。

但境内山多川少,沟壑纵横,海拔高差大,气候差异显著,属全国干旱灾害高发区域,特别是 20 世纪 90 年代以来,干旱日趋加重^[2],蜜桃产量、品质和优质率提高很慢,极大地限制了蜜桃产业化发展。灾害风险评估是一项新型研究课题,由于许多自然灾害机理尚不完善,评估工作复杂,难度大。目前比较公认的研究方法是利用风险源、风险载体的风险等级进行风险评估。近年来,气象灾害评估技术研究已引起众多学者高度关注,但大多局限于农业生态地区法基础上的定性化研究^[3-7]。特别是针对多年生果树,在实况灾害资料极度缺乏情况下,果树气象灾害风险评估的研究报道很少。为此,本文利用统计学方法,确定影响该地蜜桃生产的主要干旱因子、干旱时段和干旱影响等级,进行干旱灾害对天水蜜桃生产影响的评估技术研究,为有效防御农业干旱灾害,最大限度减轻或减免农业损失提供参考。

1 资料来源与处理

1.1 代表点的选取及资料来源

由于天水蜜桃主要分布于渭河河谷川道秦州、麦积两区的北部至渭北干旱山区秦安县的大部地区,蜜桃产量占全市总产量的 97% 以上。因此,选取种植面积较大的渭北秦安县、渭河谷川区麦积、秦州两区作为代表点。相关气象、产量资料取自 1982—2011 年气象观测资料和统计年鉴。

1.2 资料处理

1.2.1 蜜桃产量资料的处理 农业气候学分析影响作物产量的因素主要有自然因素和非自然因素两大类,一般将单产分解为趋势产量、气候产量和随机噪声进行气象产量分离。但果树一般需要 3~5 a 以上才开始陆续挂果,单产资料中果树实际单产除受以上因素影响外,不同树龄果园产果量差异较大,对单产进行气象产量的分离存在较大困难,采用蜜桃总产量分离气象产量,能在一定程度上消除这些因素的影响^[8-10],蜜桃总产量资料提取以多项式法效果最佳(见图 1)。为消除区域间农业水平和气象条件的时空差异,用蜜桃总产量动态相对偏差百分率^[11](式 1)来表征天水蜜桃产量与气象条件的相关程度。

$$Y'_i = (Y_i - y_i)/y_i \times 100\% \quad (1)$$

式中, Y'_i 为蜜桃气候产量动态相对偏差百分率; Y_i 为蜜桃实际产量; y_i 为蜜桃逐年趋势产量; i 为年份。

1.2.2 相关气象资料的处理 根据蜜桃生长习性,

将前一年九月至当年九月作为蜜桃的生长季,按候、旬、月、季、全生长季统计其平均气温、平均最高气温、平均最低气温、降水量、大气相对湿度、日照时数及光、温、水(大气湿度)间各因子相互组合配置等气象因子资料。为了消除各气象因子不同量纲影响,各气象因子均采用与相应气象因子平均值的距平百分率进行统计分析。

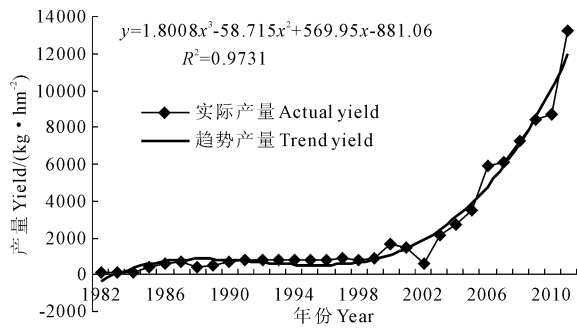


图 1 蜜桃趋势总产量年际变化

Fig.1 The output of interannual changing of peach

2 干旱影响因子的提取及气象灾害评估方法

2.1 影响天水市蜜桃总产量的主要干旱灾害因子的提取

农业气象灾害往往并不是某一单一气象要素异常而引起的,多要素之间的配置异常更为多见。将天水蜜桃栽培区光(日照时数)、温(旬月平均气温、最高和最低平均气温、日较差等)、水(旬月降水量、大气相对湿度)等主要气象要素进行不同形式配置组合,与蜜桃气候产量动态相对偏差百分率进行逐步回归,得出天水蜜桃生长期干旱灾害以主要栽培区渭北秦安蜜桃花芽萌动、开放的早春 3 月上中旬暖干气候、仲春 4 月上中旬开花期高温干燥或低温冻害、上年仲秋 10 月中旬高温干旱影响最为明显,见(2)式。

$$Y = -61.175 - 9.144 \overline{\tau} / r_{3上 \sim 中} - 11.742 TD / (\overline{\tau} \times U)_{4上 \sim 中} - 8.065 TM \times Q / r_{10上中} \quad (2)$$

$$R = 0.687, N = 30, F = 6.549 \geq F_{0.01} = 4.64$$

式(2)中, $\overline{\tau} / r_{3上 \sim 中}$ 表示秦安早春 3 月上中旬平均气温与降水量之比; $TD / (\overline{\tau} \times U)_{4上 \sim 中}$ 表示 4 月上中旬至中旬气温日较差与平均气温、大气相对湿度之积的比; $TM \times Q / r_{10上中}$ 表示上年 10 月中旬最高气温、日照时数之积与降水量的比。

影响天水蜜桃正常生长的主要气象要素和主要农业气象灾害分布,与天水独特的地理、地形及气候

特征不无关系。天水地处黄土高原与西秦岭山地交错区的干旱半干旱农林过渡区域,渭河河谷以北区域降水较少,气候相对较为干旱,式(2)各灾害因子均为渭北旱山区秦安资料,充分体现了渭北干旱气候特征对蜜桃生产的影响。该区冬季干而不冷,无明显冻害;初春 3 月正值蜜桃萌芽、现蕾期,但该期往往雨水不足,造成蜜桃萌芽慢,现蕾迟,极易发生抽条而影响果树适期开花和产量形成,这也是西北地区普遍发生的由于早春干旱造成果树抽条,影响开花而造成减产的现象。4 月蜜桃花期干旱主要是大气干旱影响开花坐果,蜜桃花期对温度和大气湿度的要求极为严格,不仅要求较高的温、湿度条件,而且昼夜温差不宜太大,花期温度过高,湿度越小,植物忍受高温的能力则越差,柱头、子房由于蒸腾失水严重,导致正处开花或授粉受精的花粉萌发受阻甚至干枯萎缩,失去受精能力而不能正常坐果^[12];花期温度低,湿度小,花药不能开裂,花粉发育受阻,或受精后的花粉母细胞不能正常坐果,0℃以下低温霜冻天气往往造成柱头和子房受冻而失去授粉受精能力^[13],但第一场≥10 mm 透雨大约出现在 4 月下旬中后期,基本可满足幼果膨大生长。主要雨季虽然多集中于 7—9 月,但该期热量条件优越,雨热同季,果园土壤蒸散失水较大,仲秋 10 月气温下降迅速,正常年份降水量较大且分布比较均匀,是当地果园土壤水分补充的最佳时期。因此,天水蜜桃生长季干旱灾害的分布与栽培区农业气候特征基本一致,将以上各因子作为影响天水蜜桃生产的主要干旱灾害因子,具有较为显著的生物学意义。

2.2 干旱灾害评估方法

2.2.1 计算灾情指数 灾害风险评估是一项新型研究课题,目前比较普遍的研究方法是灾害风险等级评估,一般采用的模型为^[14]

$$P = V \times H \times \lambda \tag{3}$$

式中, P 为风险指数, V 为载体脆弱性指数, H 为自然灾害危险性指数。由于许多自然灾害机理尚不明确,评估工作难度很大。实际工作中可按照风险事件发生的频率设定其可能性等级,按照灾害损失的强度设定风险事件的强度等级进行风险评估^[15]。为此,将早春蜜桃萌芽~芽开放期干旱(用渭北旱山区秦安 3 月上旬至中旬平均气温与降水量之比($\bar{\tau}/R$)表示)、花期高温干燥气候(秦安 4 月上旬至中旬平均最高气温与平均气温、大气相对湿度之积的比($TM/(\bar{\tau} \times U)$)和上年仲秋 10 月中旬高温干旱(秦安上年 10 月中旬最高气温、日照时数之积与降水量

之比($TM \times Q/r$)表示)三个标准化处理后的主要灾害因子作为载体干旱灾害脆弱性指数(V)。考虑到不同干旱时段灾害发生强度和对作物产量影响程度的不同,可将干旱灾害不同强度频率作为相应灾害危险性指数(H),不同时段干旱灾害对果树作物产量影响的贡献率作为综合干旱灾害危险性指数(λ)。根据式(4)就得到相应年份干旱灾害的灾情指数(P_{ki}),并以此作为干旱灾害风险评估指标,与蜜桃相对气象产量实况分级进行对比分析。

$$P_{ki} = \sum_{j,k=0}^{3,4} V_{ijk} \times H_{jk} \times \lambda_j \tag{4}$$

式中, P_{ki} 为干旱灾情指数; V_{ijk} 为不同干旱灾害等级分值(i :为 1982—2011 年各年份, $i = 1, 2, 3, \dots, 30$; j 为干旱灾害风险因子, $j = 1$ (萌芽~芽开放期干旱), 2 (花期干旱), 3 (蜜桃上年 10 月中旬高温干旱); k 为各灾害发生强度, $k = 0, 1, 2, 3, 4$ 分别表示无、轻、中、重和特重; H_j 为干旱灾害风险因子的不同强度频率; λ_j 为不同时段干旱灾害对作物产量影响的贡献率。(4) 式中灾情指数(P_{ki}) 越大,表明蜜桃干旱灾害灾情越重,对鲜桃产量的影响越大。

2.2.2 气象灾情等级划分标准 将早春蜜桃萌芽~芽开放期秦安 3 月上旬至中旬 $\bar{\tau}/R$ 、花期秦安 4 月上旬至中旬 $TM/(\bar{\tau} \times U)$ 和秦安上年 10 月中旬 $TM \times Q/r$ 三个标准化处理后不同时段干旱因子标准值作为成灾变异值。再将 1982—2011 年 30 年成灾变异值中大于或等于 0.001 以上变异值,按其离散程度分成相等的 4 个组,从小到大将灾情等级依次划分为轻旱、中旱、重旱和特重旱 4 个等级,并采用分级赋值和内插法依次赋以 1—3、4—6、7—9、10—12。成灾变异值小于或等于 0 为无旱,无旱年份 V_{ijk} 按 0 分赋值(见表 1)。

2.2.3 不同时段干旱灾害发生频率 根据表 1 统计影响天水蜜桃生产的不同时段干旱灾害强度发生频率(见表 2)。1982—2011 年 30 年中,3 月上中旬桃树萌芽至芽开放期干旱和花期大气干旱最多,发生频率均为 50%,受旱程度以轻旱居多,分别为 23%和 31%,其它强度干旱发生频率在 4%~12%之间;上年 10 月中旬高温干旱天气相对较少,发生频率 35%,其中轻旱 27%,中旱、重旱居次,为 4%和 3%,特重干旱最少,为 1%。

2.2.4 不同时段干旱灾害对作物产量影响的贡献率 不同时段干旱灾害对作物产量影响的贡献率采用式(2)各灾害风险因子的影响权重来计算($\lambda_1 = 9.144/(9.144 + 11.742 + 8.065) \times 100\% = 32\%$, λ_2

$= 11.742 / (9.144 + 11.742 + 8.065) \times 100\% = 40\%$,
 $\lambda_3 = 8.065 / (9.144 + 11.742 + 8.065) \times 100\% = 28\%$)。各时段干旱对蜜桃产量的影响以开花期大气干旱影响最大,贡献率 40%;果树花芽萌动至开放期居次,贡献率 32%;上年 10 月中旬高温干旱影响相对较小,贡献率 28%。这与当地气候分布特征密切相关,正常年份在仲秋 10 月以后,随气温迅速下降,土壤蒸散失水逐步减小,大气降水的绝大部分随土壤封冻被储存于土壤层内,成为来年果树生长

的主要水分来源,降水较少年份,春季降水就显得尤为重要,影响程度宜明显重于其它时段,少雨干旱年份,往往会造成果树严重减产。比如渭北旱山区秦安 2002 年 3 月上中旬降水量仅 4.9 mm,偏少 25%,平均气温 7.4℃,偏高 2.1℃,不仅影响果树萌芽、开花,花期高温灼烧和低温冻害也明显较重,造成当年蜜桃气候产量动态相对偏差百分率为 - 66%,减产趋势极为明显。

表 1 各时段干旱强度分级标准
Table 1 Drought strength classification standards at each period

项目 Item	灾情等级 Disaster level				
	无旱 No-drought	轻旱 Mild drought	中旱 Moderate drought	重旱 Severe drought	特重旱 The worst drought
3 月上中旬干旱 The drought in early and middle March	$Z \leq 0.000$	$0.001 \leq Z \leq 0.534$	$0.535 \leq Z \leq 1.069$	$1.070 \leq Z \leq 1.604$	$Z \geq 1.605$
花期干旱 The drought when flowering	$Z \leq 0.000$	$0.001 \leq Z \leq 1.639$	$1.640 \leq Z \leq 3.279$	$3.280 \leq Z \leq 4.919$	$Z \geq 4.920$
上年 10 月中旬干旱 The drought in middle October the last year	$Z \leq 0.000$	$0.001 \leq Z \leq 1.006$	$1.007 \leq Z \leq 2.013$	$2.014 \leq Z \leq 3.020$	$Z \geq 3.021$
赋值范围 The assignment range	0	1 ~ 3	4 ~ 6	7 ~ 9	10 ~ 12

表 2 不同干旱强度等级发生频率统计
Table 2 Statistics table on frequencies of droughts with different strengths

项目 Item	灾情等级 Disaster level				
	无旱 No-drought	轻旱 Mild drought	中旱 Moderate drought	重旱 Severe drought	特重旱 The worst drought
3 月上中旬干旱 The drought in early and middle March	50	23	12	8	7
花期干旱 The drought when flowering	50	31	8	7	4
上年 10 月中旬干旱 The drought in middle October the last year	65	27	4	3	1

3 影响天水蜜桃生产的干旱灾害综合评价

将各时段干旱因子成灾变异值按照表 1 赋值和表 2 不同干旱程度等级发生频率、不同干旱时段对作物产量影响的贡献率代入式(4),计算逐年干旱灾害灾情指数(P_k),并将其等距离分成 5 组,所代表的灾情等级从小到大依次为无旱、轻旱、中旱、重旱和特重旱 5 个等级,与蜜桃总产量动态相对偏差百分率实况分级(见表 3)进行对比分析。天水市 1982—2011 年 30 a 逐年主要农业气象灾害对蜜桃生产的影响进行综合评估,并与实况(见表 4)进行对比分析。评估无旱 13 年,与实况一致 12 年(2007 年实况为轻旱),评估准确率 92%。评估有旱 17

年,评估有旱年份中实况出现轻、中、重和特重灾害共 16 年,评估准确率 94%,其中轻旱 6 年,与实况相符 5 年(1997 年实况无旱),评估准确率 83%;评估中旱 4 年,与实况相符 4 年,准确率 100%;评估重旱 5 年,与实况相符 4 年(2002 年实况为特重旱),准确率 80%;评估特重旱 2 年,与实况一致 2 年,评估准确率 100%。由此可知,除轻旱、重旱评估准确率略低为 83%和 80%外,无旱和有旱评估准确率达 94%以上,中旱、特重旱评估准确率均达 100%,灾害评估效果比较理想。

4 结论与讨论

1) 分析得出影响天水蜜桃正常生长的主要干旱灾害以早春蜜桃萌芽~芽开放期干旱、花期干旱

和蜜桃上年 10 月中旬高温干旱灾害最为明显。不同干旱灾害强度发生频率以 3 月上中旬桃树萌芽至芽开放期轻旱和花期轻旱最多,发生频率分别为 23% 和 31%;各时段干旱对蜜桃产量的影响以开花期大气干旱影响最大,贡献率 40%。综合评估表明:影响天水市蜜桃生产的干旱灾害综合评估除轻旱、重旱评估准确率略低为 83% 和 80% 外,无旱和有旱评估准确率达 94% 以上,中旱、特重旱评估准确率均达 100%,灾害评估效果比较理想。

表 3 灾情指数划分标准

Table 3 Classification standards of disaster indexes		
综合灾情等级 The composite disaster level	灾情指数(P_k) Disaster index	实况 Live
无旱 No-drought	$P_k \leq 0.119$	$0.0 < Z$
轻旱 Mild drought	$0.120 \leq P_k \leq 0.239$	$-2.230 \leq Z \leq 0.0$
中旱 Moderate drought	$0.240 \leq P_k \leq 0.359$	$-4.461 \leq Z \leq -2.231$
重旱 Severe drought	$0.360 \leq P_k \leq 0.479$	$-6.692 \leq Z \leq -4.462$
特重旱 The worst drought	$0.480 \leq P_k$	$Z \leq -6.693$

2) 由于果树灾害实况调查观测资料极少,给蜜桃灾害的评估研究工作带来了极大不便。为此,本文主要采用统计学方法,利用蜜桃产量资料,将多项式法分解后的蜜桃总产量动态相对偏差百分率,按其离散程度确定为无旱、轻旱、中旱、重旱和特重旱五种灾害程度实况类型;影响天水市蜜桃总产量的干旱灾害因子提取,也是采用了统计分析方法,进行理论提取。研究结论在缺乏干旱灾害实况观测调查资料的情况下,可作为气象灾害评估的有效方法,对农业防灾减灾有一定的指导意义。

3) 致灾因子的提取主要采用统计学方法^[16],研究方法虽然存在一定的局限性,但主要致灾因子中 $\overline{\tau}/r_{3上\sim中}$ 揭示了初春降水与气温配置的重要性; $TD/(\overline{\tau} \times U)_{4上\sim中}$ 反映了 4 月上中旬花期极端高温天气及大气干燥程度对果树开花的影响程度; $TM \times Q/r_{10中}$ 反映了上年 10 月中旬高温干旱天气气候特征,各灾害因子均具有较为明显的生物学意义。由于蜜桃干旱实况灾情资料极少,可作为多年生果树作物气象灾害研究的一种参考方法,现实生产中仍有待更进一步研究验证。

表 4 干旱灾情年景评估(1982—2011 年)

Table 4 Interannual evaluation of drought (1982—2011)

年份 Year	灾情指数(P_k) Disaster index	灾情等级 Disaster level	实况 Live
1982	0.060	无旱 No drought	无旱 No drought
1983	0.124	轻旱 Mild drought	轻旱 Mild drought
1984	0.441	重旱 Severe drought	重旱 Severe drought
1985	0.270	中旱 Moderate drought	中旱 Moderate drought
1986	0.000	无旱 No-drought	无旱 No-drought
1987	0.115	无旱 No-drought	无旱 No-drought
1988	0.599	特重旱 The worst drought	特重旱 The worst drought
1989	0.577	重旱 Severe drought	重旱 Severe drought
1990	0.229	轻旱 Mild drought	轻旱 Mild drought
1991	0.074	轻旱 Mild drought	轻旱 Mild drought
1992	0.239	轻旱 Mild drought	轻旱 Mild drought
1993	0.224	轻旱 Mild drought	轻旱 Mild drought
1994	0.000	无旱 No-drought	无旱 No-drought
1995	0.119	无旱 No-drought	无旱 No-drought
1996	0.000	无旱 No-drought	无旱 No-drought
1997	0.217	轻旱 Mild drought	无旱 No-drought
1998	0.107	无旱 No-drought	无旱 No-drought
1999	0.448	重旱 Severe drought	重旱 Severe drought
2000	0.000	无旱 No-drought	无旱 No-drought
2001	0.112	无旱 No-drought	无旱 No-drought
2002	0.396	重旱 Severe drought	特重旱 The worst drought
2003	0.248	中旱 Moderate drought	中旱 Moderate drought
2004	0.266	中旱 Moderate drought	中旱 Moderate drought
2005	0.497	特重旱 The worst drought	特重旱 The worst drought
2006	0.000	无旱 No-drought	无旱 No-drought
2007	0.034	无旱 No-drought	轻旱 Light drough
2008	0.000	无旱 No-drought	无旱 No-drought
2009	0.274	中旱 Moderate drought	中旱 Moderate drought
2010	0.469	重旱 Severe drought	重旱 Severe drought
2011	0.000	无旱 No-drought	无旱 No-drought

参 考 文 献:

[1] 第六届世界水论坛部长宣言[J].中国水利,2012,(6):6-8.

[2] 郇 际.中国和以色列水资源战略比较分析[J].人民黄河,2010,32(7):36-37.

[3] 王 浩,严登华,贾仰文,等.现代水文水资源学科体系及研究前沿和热点问题[J].水科学进展,2010,21(4):479-489.

[4] 李晓洋,成自勇,张 芮,等.河西走廊石羊河流域民勤县水资源优化配置研究[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):217-221.

[5] 严登华,王 浩,王建华,等.国际水文计划发展与中国水资源研究体系构建[J].地理学报,2004,59(2):249-259.

[6] 王忠静,赵建世,熊雁晖.现代水资源规划若干问题及解决途径与技术方法[J].海河水利,2003,(3):15-19.

[7] 沈 红,刘文兆.基于宏观地理因子估算黄土高原地区降水资源空间分布[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):237-241.

[8] 张 勃,张调风.1961—2010 年黄土高原地区参考作物蒸散量对气候变化的响应及未来趋势预估[J].生态学杂志,2013,32(3):733-740.

[9] 赵红岩,张旭东,王有恒,等.陇东黄土高原气候变化及其对水资源的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(6):263-268.

[10] Sun Y Q, Qian H, Wu X H. Hydrogeochemical characteristics of groundwater depression cones in Yinchuan City, Northwest China [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2007,26(4):350-355.

[11] 周 斌,魏玉涛.陇东盆地地下水环境问题及防治意见探讨[J].地下水,2010,(1):119-120.

[12] Cai Q G. The Relationships between Soil Erosion and Human Activities on the Loess Plateau[C]//Proceedings of the 12th International Soil Conservation Organisation Conference. Beijing: Soil Conservation Organisation, 2002:26-31.

[13] Taylor CJ, Alley WM. Ground-water-level monitoring and the importance of long-term water-level data[R]. Reston: US Geological Survey, 2002.

[14] 吴钦孝,赵鸿雁.黄土高原水土保持目标及对策[J].水土保持研究,1999,6(2):77-80.

[15] Al - Omari A, Al - Quraan S, Al - Salihi A, et al. A water management support system for amman zarqa basin in jordan[J]. Water Resource Management, 2009,(23):3165-3189.

[16] Giertz S, Diekkrüger B, Höllemann B. Assessment of the current and future water balance of the Ouémécatchment (Benin) for an integrated water resource management by using the WEAP water planning model[C]//EGU General Assembly Conference Abstracts. Vienna: EGU General Assembly, 2010,12:8934.

[17] Linsen M, Rodrigues L. The role of water balance accounting in the decision-making process leading to new small dams in the Preto River Basin in the Federal District, Brazil[C]//EGU General Assembly Conference Abstracts. Vienna: EGU General Assembly, 2010,12:2691.

[18] 马金辉,沈巨龙,马正耀,等.基于 WEAP 模型水管理方案影响的量化分析[J].甘肃科技学报,2009,21(4):121-124.

[19] Li C, Qi J, Wang S, et al. A holistic system approach to understanding underground water dynamics in the loess tableland: A case study of the dongzhi loess tableland in northwest China[J]. Water Resources Management, May 17, 2014.

[20] Yang JS, Chung ES, Kim SU, et al. Prioritization of water management under climate change and urbanization using multi-criteria decision making methods [J]. Hydrology & Earth System Sciences, 2012,16(3):801-814.

(上接第 237 页)

参 考 文 献:

[1] 姜 彤,许朋柱.自然灾害研究中的社会易损性评价[J].中国科学院院刊,1996,(3):34-39.

[2] 许彦平,姚晓红,朱德强.20 世纪天水干旱气候演变对农业影响及对策研究[J].干旱地区农业研究,2002,20(1):120-124.

[3] 李世奎,霍治国,王道龙,等.中国农业气象灾害风险评估与对策[M].北京:气象出版社,1999.

[4] 刘 毅,吴绍洪,徐中春,等.自然灾害风险评估与分级方法论探研[J].地理研究,2011,30(2):195-208.

[5] 徐良炎,高 歌.近 50 年台风变化特征及灾害年景评估[J].气象,2005,31(3):41-45.

[6] 山义昌.冬小麦风雹灾害的等级划分与灾情评估[J].气象,1998,24(2):49-51.

[7] 魏 丽,王保生.江西省区域性洪涝灾害模糊综合评判方法的研究[J].中国农业气象,1998,19(1):49-52.

[8] 许彦平,姚晓红,万 信,等.天水蜜桃开花坐果期霜冻灾害气

象风险评估[J].中国农业气象,2013,34(05):606-610.

[9] 许彦平,姚晓红,袁雅萍,等.农业气象灾害对天水苹果生产的影响研究[J].果树学报,2009,26(5):593-598.

[10] 许彦平,姚晓红,袁亚萍.气象灾害对天水苹果生产影响的评估技术研究[J].自然资源学报,2010,25(1):155-161.

[11] 欧阳海,郑步忠,王雪娥,等.农业气候学[M].北京:气象出版社,1990.

[12] 潘瑞炽,董愚得.植物生理学(下册)[M].北京:高等教育出版社,1988.

[13] 华东师范大学,上海师范学院,南京师范学院.植物学(上册)[M].北京:高等教育出版社,1985.

[14] 霍治国,李世奎,王素艳,等.主要农业气象灾害风险评估技术及其应用研究[J].自然资源学报,2003,18(6)692-703.

[15] 张 星,郑有飞,周乐照.农业气象灾害灾情等级划分与年景评估[J].生态学杂志,2007,26(3):418-421.

[16] 葛全胜,邹 铭,郑景云,等.中国自然灾害风险综合评估初步研究[M].北京:科学出版社,2008.