

陇东地区苹果生产水分适宜性评估

杨小利^{1,2}, 蒲金涌³, 马鹏里⁴, 姚小英⁵

(1 中国气象局 兰州干旱气象研究所, 干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,
甘肃 兰州 730020; 2 甘肃省平凉市气象局, 甘肃 平凉 744000; 3 甘肃省天水农业气象试验站, 甘肃 天水 741020;
4 兰州区域气候中心, 甘肃 兰州 730020; 5 天水市气象局, 甘肃 天水 741000)

【摘 要】 【目的】探讨陇东地区水分对苹果生长的水分适宜性特征。【方法】运用甘肃省西峰农业气象试验站(1984~2006 年)和平凉农业气象观测站(2004~2006 年)的苹果物候观测资料及两地气象站 1971~2006 年的气象资料, 利用联合国粮农组织 Penman-Monteith 公式及作物系数, 对苹果各生育阶段的需水量进行估算, 建立估算水分利用程度的水分适宜度模型, 并分析西峰地区苹果产量与水分适宜度的相关性。【结果】陇东地区苹果的水分条件比较优越, 年平均水分适宜度均在 0.50 以上, 川区(崆峒)的水分条件优于塬区(西峰), 苹果初始生长期及成熟后期的水分适宜性逐年代下降, 但旺盛生长期变化不大; 水分适宜度与苹果产量相关性最显著的时期为初始生长期, 其次为旺盛生长期, 果实成熟后水分适宜度对来年苹果产量影响较小。【结论】建立了水分适宜度模型, 利用该模型可对陇东地区苹果的水分适宜性进行评价, 从而为当地的苹果种植区划及科学灌溉提供指导。

【关键词】 陇东地区; 苹果; 水分适应性

【中图分类号】 S661.1; S607⁺.1

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)09-0071-06

Assessment of apple water suitability in eastern Gansu province

YANG Xiao-li^{1,2}, PU Jin-yong³, MA Peng-li⁴, YAO Xiao-ying⁵

(1 Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Change and Disaster Reduction of CMA, Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou, Gansu 730020, China;
2 Pingliang Meteorological Bureau, Pingliang, Gansu 744000, China; 3 The Agrometeorological Experiment Station of Tianshui, Tianshui, Gansu 741020, China; 4 Lanzhou Regional Climate Center, Lanzhou, Gansu 730020, China;
5 Tianshui Meteorological Bureau, Tianshui, Gansu 741000, China)

Abstract: 【Objective】To study the apple water suitability in Eastern of Gansu province is this paper's main subject. 【Method】Based on data of apple's phenological observation at Xifeng agrometeorological experiment station(1984—2006) and Pingliang agrometeorological observation station(2004—2006) and meteorological data at this two places from 1971 to 2006, the water requirement of apple in all growth periods was calculated with the FAO Penman-Monteith formula and crop coefficient and the model of water suitability degree for apple were set up, then the correlation between the water suitability degree and apple yield of Xifeng were analyzed. 【Result】The results showed that the water supply to apple was under good conditions in the Eastern Gansu province where annual mean water suitability degree is above 0.50 and the apple water suitability in valley (Kongtong) is higher than that in plateau (Xifeng). It indicated that the water suitability in initial growth period and post-mature growth period was becoming worse and did not change much in vigorous growth period. The correlation between the water suitability degree and yield of apple

* [收稿日期] 2008-12-19

[基金项目] 国家科技部公益行业(气象)科研专项(200806065); 甘肃省气象局“十人计划”; 中国气象局兰州干旱气象研究所干旱气象基金(AM200803)

[作者简介] 杨小利(1967—), 女, 陕西凤翔人, 高级工程师, 硕士, 主要从事干旱气候变化与干旱监测研究。
E-mail: plyxl1@126.com

was most notable in initial growth period,next in vigorous growth period,and the water suitability degree at post-mature period almost had no effect on the apple yield next year.【Conclusion】 We can assess the water suitability of apple with the model and provide scientific suggestion for apple planting district and irrigation in the Eastern Gansu province

Key words: eastern Gansu province;apple;water suitability

水分是半干旱地区各种植物赖以生存、生长的重要气候因子。国内外学者就水分对植物的影响曾进行过大量试验研究。联合国粮农组织总结了世界各地的研究成果,从潜在蒸散及作物需水量入手,用作物系数(K_c)来估算水分的供需状态,为作物体内水分的供需研究提供了新途径^[1-2]。我国是水资源分布不均衡的国家之一,干旱和半干旱地区地表水资源十分缺乏,植物的生长发育主要靠大气降水,而降水量又远不及潜在蒸散量,因此水分的供需矛盾非常突出。降水利用评估历来是我国干旱半干旱研究工作的重点之一,许多学者自 20 世纪 80 年代以后对大气降水的充分利用进行了大量研究^[3-5],得出许多针对我国地形及气候特征的研究成果,为节水农业发展及作物灌溉科学用水提供了依据。但这些研究多侧重于农作物的供需水状况^[6-17],而对果树的水分需求及供给的评估研究相对较少。位于半干旱地区的黄土高原,地表水资源十分有限,许多苹果园建立在无灌溉条件的山区及早原区,果树生长发育所需水分都要依靠大气降水,水分条件成为制约林果产业发展的主要气候因子,因此评价果树的水分利用程度很有必要。

陇东地区(包括平凉、庆阳 2 市)是甘肃省传统的主要名、优、特农林产品出产地之一,该地区黄土层深厚,土质疏松,空气干湿季节性分布明显,植物主要生长季节(3~9 月)昼夜温差达 9~11℃,尤其适宜于苹果(*Malus pumila* Mill)等果树的栽培。20 世纪末到 21 世纪初,该地区林果业发展迅速,在种植业中所占比例逐年增大,庆阳市自 1990~2007

年,苹果园建园面积以 294 hm²/年的速度持续增加,苹果已成为当地林果业中的主打产品。由于独特的气候和地域优势,该地区苹果品质优良,发展前景良好。本研究根据陇东地区多年苹果生长发育物候期及降水量的变化,建立苹果生长的水分适宜度评估模型,客观地评估水分对苹果生长发育及产量的影响,以为该地苹果园建设及区划提供依据。

1 材料与方法

1.1 陇东地区自然概况

陇东为甘肃黄土高原重要分布区,平均海拔 1 200~1 800 m,由于受泾河及其支流的侵蚀,地貌呈塬、梁、峁、坪、沟、谷相间分布,地形比较破碎。长期以来,该区种植业用地山、川、塬兼有,但以山、塬地为主,河川地虽然较少,但因其地势平坦,热量丰富,部分地区有比较便利的灌溉条件,是新兴种植技术最易推广的地区之一。苹果园在陇东地区的发展就是先川后塬、由低及高逐步扩大的。本研究选择位于董志塬区的庆阳市西峰区(海拔高度 1 421 m,年平均气温 8.7℃,年降水量 527 mm,年日照时数 2 443 h)及泾河川区的平凉崆峒区(海拔高度 1 348 m,年平均气温 8.8℃,年降水量 482 mm,年日照时数 2 414 h)作为研究地区塬、川地的代表站点。

1.2 西峰和崆峒苹果的物候期

苹果从春季叶芽开放到冬季落叶共划分为 11 个物候期。参考文献[18],西峰农业气象试验站 1984~2006 年、平凉农业气象观测站 2004~2006 年分别对苹果的物候期进行了逐年观测,结果见表 1。

表 1 西峰(1984~2006 年)和崆峒(2004~2006 年)苹果的平均物候期(月-日)

Table 1 Average phenological period of apple at Xifeng(1984—2006) and Kongtong(2004—2006)(month-day)

地点 Site	叶芽开放期 Bud develop	展叶始期 Initial leaf developing	展叶盛期 Leaf developing	开花始期 Initial fowering	开花盛期 Flowering	开花末期 Last stage of flowering	成熟期 Mature period	叶变始期 Leaf turning color	叶变末期 Last stage of leaf turning color	落叶始期 Initial abscission period	落叶末期 Last stage of abscission period
西峰 Xifeng	04-07	04-11	04-16	04-24	04-27	05-04	09-17	10-02	10-29	10-12	11-17
崆峒 Kong-tong	04-08	04-15	04-17	04-22	04-27	05-07	08-25	10-18	11-04	10-25	11-12

1.3 西峰和崆峒苹果的生长期及 K_c

苹果在不同生长发育阶段对水分需求不同^[19]。

根据陇东苹果的生长发育特性,依其物候期,分为初始生长期(叶芽开放-开花末期)、旺盛生长期(开花

末期-成熟后 10 d)及果实成熟后的生长后期(成熟后 10 d-落叶末期)(表 2)。20 世纪 90 年代,FAO 曾经组织许多著名学者,在世界各地对包括农作物、经济作物及果树在内的多种植物进行了水分需求试

验,得出了作物需水与潜在蒸散的关系,给出了各种作物在不同生育时段的 K_c 值。作物系数随生长地区、作物种类、生育时段、栽培技术等变化较大,本文采用的需水定量估算方法取自上述研究结果^[2]。

表 2 西峰和崆峒苹果不同生长期及作物系数

Table 2 Apple growth periods and crop coefficient at Xifeng and Kongtong

项目 Item	初始生长期 Initial growth period	旺盛生长期 Vigorous growth period	生长后期 Last stage of growing period
西峰 Xifeng	4 月上旬—5 月上旬 First ten days in April to first ten days in May	5 月中旬—9 月中旬 Second ten days in May to second ten days in September	9 月下旬—11 月中旬 Last ten days in September to second ten days in November
崆峒 Kong- tong	4 月上旬—5 月上旬 First ten days in April to first ten days in May	5 月中旬—9 月上旬 Second ten days in May to first ten days in September	9 月中旬—11 月中旬 Second ten days in September to second ten days in November
K_c	0.55	0.90	0.65

1.4 苹果生理需水量与水分适宜度的计算

作物在 j 个生长期的生理需水量 (W_j) 按下式计算:

$$W_j = \sum_{i=1}^n K_{cj} \times ET_{0i} \tag{1}$$

式中: n 为生长期所包含的旬数(如西峰苹果初始生长期为 4 月上旬—5 月上旬, $n=4$); i 为旬序数; ET_{0i} 为 i 旬的潜在蒸散量,按 Penman-Monteith 公式^[2] 计算:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \tag{2}$$

式中: ET_0 为潜在蒸散量(mm/d), Δ 是饱和水汽压-温度曲线斜率(kPa/℃), Rn 是太阳净辐射(MJ/m²), G 是土壤热通量(MJ/m²), γ 是湿度计常数(kPa/℃), T 是日平均气温(℃), u_2 为 2 m 高处的风速(m/s), e_a 为饱和水汽压(kPa), e_d 为实际水汽压(kPa)。由于目前气象站普遍无 2 m 高处风速观测资料,风速用下式计算: $u_2 = 4.78 \times u_k / \ln(67.8 \times h - 5.42)$ 。式中: u_k 为 h 处的风速(m/s), h 为高度(m)。本研究所用风速资料由气象站统一测得,高度为 10.4 m,则风速换算公式为 $u_2 = 0.738 \times u_{10}$ 。式中: u_{10} 为气象站所测风速。

根据苹果各生育阶段各旬生理需水量 (W_i , mm) 和各地各旬降水量 (R_i , mm),综合以往的研究成果^[20-23],构造了苹果各旬水分适宜度(U_i):

$$U_i = \begin{cases} 1, R_i \geq W_i; \\ R_i / W_i, R_i < W_i. \end{cases} \tag{3}$$

当旬降水量 R_i 大于或等于生理需水量 W_i 时,表明降水可以满足生理需水, $U_i \approx 1$;当旬降水量 R_i 小于生理需水量 W_i 时,用其比值作为水分适宜度值。苹果某个生长阶段的适宜度(U)用下式计算:

$$U = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i. \tag{4}$$

式中: n 为该生长阶段所含的旬数。

1.5 数据来源

计算潜在蒸散量 ET_0 所需的气压、气温、水汽压、相对湿度、风速、日照百分率的旬平均值及旬降水量值,取自西峰和平凉气象站 1971~2006 年的观测值。试验所需的天文辐射及可照时数等数值由相应公式^[2] 计算而得,西峰苹果的单产数据等取自有关统计年鉴^[24]。

2 结果与分析

2.1 西峰和崆峒苹果水分适宜性的年际变化

陇东塬区西峰与川区崆峒苹果的水分适宜性都很好。图 1 表明,川区崆峒苹果的平均水分适宜度为 0.67,大于平均值的年份有 26 年,小于平均值的年份有 10 年;西峰苹果平均水分适宜度为 0.54,大于平均值的年份有 25 年,小于平均值的年份有 11 年。川、塬区水分适宜度相关性较好($R^2=0.2802$, $P<0.10$)。从时间变化看,无论是塬区还是川区,水分适宜度均有一个比较高的时段(1972~1979 年),此时段崆峒苹果水分适宜度较历年平均值高 0.08,西峰较历年平均值高 0.17;在水分适宜度相对较低时段(2001~2006 年),崆峒较历年平均值低 0.02,西峰较历年平均值低 0.05。崆峒苹果水分适宜度最低值出现在 1986 年,为 0.50,西峰出现在 2006 年,为 0.30;崆峒苹果最高值出现在 1994 年,为 0.82,西峰苹果出现在 1975 年,为 0.79。进入 21 世纪,西峰苹果的水分适宜度呈线性下降,2001~2006 年以 0.05/年的速度下降($R^2=0.7315$ $P<0.10$),到 2006 年降至最低点。

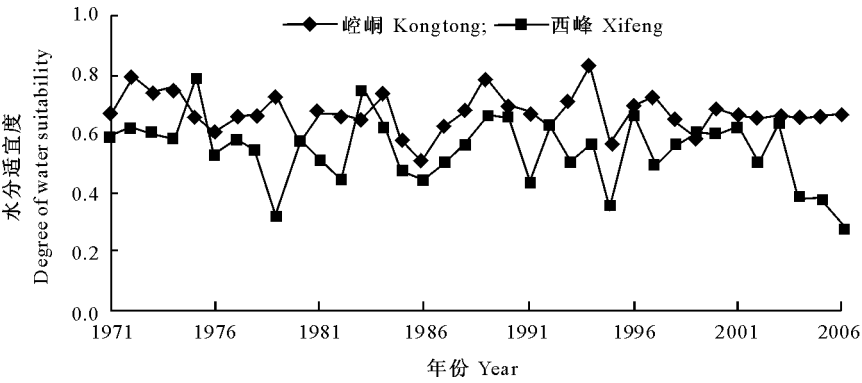


图 1 西峰和崆峒 1971~2006 年苹果水分适宜度的变化

Fig. 1 Variation of water suitability degree of apple at Xifeng and Kongtong from 1971 to 2006

2.2 西峰和崆峒苹果各生长阶段水分适宜性的年际变化

由表 3 可知,苹果在各个生长阶段的水分适宜度与整个生育期并不完全一致。塬区和川区,苹果的初始生长期水分适宜度均较差,表明春季降水量少、蒸散量大是当地苹果水分供求的主要矛盾,其中川区崆峒苹果的水分适宜度仅为 0.35,水分亏缺程度较西峰苹果大。苹果旺盛生长期降水较多,西峰 53%及崆峒 66% 的年降水量出现在此时段,基本上满足了苹果水分蒸散较盛的需要;西峰、崆峒苹果的水分供需匹配在此时段均较好,适宜度都在 0.5 以上;西峰苹果的水分适宜度略小于崆峒苹果。苹果成熟以后,其需水量比以前明显减少^[25-26],此时段温度开始降低,蒸散量减少,水分适宜度上升,崆峒苹果的水分适宜度更是达到一年生长季中的最高值

表 3 西峰和崆峒苹果不同生长期的水分适宜度

地点 Site	初始生长期 Initial growth period	旺盛生长期 Vigorous growth period	生长后期 Last stage of growing period
	西峰 Xifeng	西峰 Xifeng	西峰 Xifeng
西峰 Xifeng	0.47	0.57	0.59
崆峒 Kongtong	0.35	0.69	0.96

表 4 西峰和崆峒苹果不同生长期水分适宜度的年际变化

Table 4 Yearly variations of apple water suitability degree at different growth periods at Xifeng and Kongtong

年份 Year	初始生长期 Initial growth period		旺盛生长期 Vigorous growth period		生长后期 Last stage of growing period	
	崆峒 Kongtong	西峰 Xifeng	崆峒 Kongtong	西峰 Xifeng	崆峒 Kongtong	西峰 Xifeng
1971~1980	0.38	0.50	0.68	0.57	0.97	0.65
1981~1990	0.29	0.52	0.71	0.62	0.96	0.56
1991~2000	0.37	0.48	0.67	0.52	0.96	0.63
2001~2006	0.35	0.35	0.69	0.58	0.93	0.48

2.3 西峰苹果水分适宜性与产量的关系

对 1990~2006 年西峰苹果单产资料与各生长阶段的水分适宜度进行相关性分析,结果(表 5)发现,水分适宜程度对苹果的单产水平有直接影响。西峰苹果水分适宜度与产量相关性最显著的时期是

(0.96),为果树越冬提供了水分保障,并弥补了来年春季初始生长期水分供给的不足。

由表 4 可以看出,在初始生长期,西峰和崆峒苹果的水分适宜度基本上逐年下降,西峰苹果水分适宜度 2001~2006 年较 1971~1980 年下降了 0.15,降低 30%;崆峒苹果下降了 0.03。在苹果旺盛生长期,水分适宜度年际变化不大,最低值出现在 20 世纪 90 年代,最高值出现在 20 世纪 80 年代;21 世纪初与 20 世纪 70 年代相比,西峰和崆峒苹果水分适宜度均上升了 0.01。在苹果生长后期,水分适宜度基本随年际变化呈下降趋势,且西峰塬区苹果的下降幅度(0.17)大于崆峒川区(0.04)。说明随年际的变化,在冬季陇东海拔较高的塬区,降水量呈减少趋势,而蒸散量呈增加趋势,这与以往的研究^[27]吻合。

初始生长期,该区春季降水较少,如果秋、冬季土壤贮水不足,则水分供需状况对苹果开花期的影响较大,进而影响苹果的产量。旺盛生长期是苹果产量形成的关键时期,也是苹果需水最多的时期,但该地 50%以上的年降水量都集中在该时段,缓解了水分

供需矛盾,因此此期水分适宜度与苹果产量的相关性比较显著,但水分对产量的限制不及春季明显。苹果生长后期的水分适宜度与翌年苹果产量的相关

关系不能通过置信度为 0.1 的显著性检验,表明苹果成熟以后到落叶阶段的水分适宜度对翌年苹果产量的影响不大。

表 5 西峰苹果产量与水分适宜度的相关系数(1990~2006 年)

Table 5 Correlation coefficient between the water suitability degree and yield of apple at Xifeng(1990—2006)			
生长期 Growth period	初始生长期 Initial growth period	旺盛生长期 Vigorous growth period	生长后期 Last stage of growing
相关系数 Correlation coefficient	0.338 1 **	0.281 8 *	0.150 3

注:**,* 分别表示通过 0.05,0.10 的置信度检验。
Note:**,* standing for reliability of 0.05 and 0.10 respectively.

3 讨 论

本研究根据陇东苹果的生长特点与当地的降水特点,建立了水分适宜度模型。由于苹果不同生长阶段的生理需水建立在潜在蒸散量的基础上,综合考虑了光照、气温、风速、辐射、空气湿度等气象因子对水分运动过程的影响,因此模型能较客观地反映苹果产量与其对水分需求的适宜性动态变化关系,为当地苹果园建设提供了依据。

运用模型计算分析表明,陇东地区种植苹果的水分条件比较优越,在旺盛生长期和生长后期水分的适宜度均在 0.50 以上,其中川区的水分适宜程度大于塬区。苹果初始生长期的水分适宜度呈逐年下降趋势,说明苹果在开花生长阶段的水分条件逐年变差;旺盛生长期苹果的水分适宜度变化不明显,成熟后期水分适宜程度也呈逐年下降趋势。水分适宜度对苹果产量影响最大的时期是初始生长期,其次为旺盛生长期,果实成熟后的水分适宜度对来年苹果产量影响不大。

陇东旱作苹果园的水分供给主要来自大气降水,但土壤对降水的吸纳和贮存也起着比较重要的作用。黄土高原独特的土壤质地具有较好的持水能力,为大气降水的有效利用提供了条件^[28]。尤其在苹果成熟后的秋季,降水量增多而需水量骤降,较多的水分会被贮备在土壤中,弥补春季降水的不足,为翌年苹果树生长发育提供了较好的水分条件。

苹果树生长周期较长,苹果产量不但受树龄的影响,还受品种、环境条件、管理水平等因素影响,水分只是影响苹果产量的因子之一。水分适宜度也不能完全表征苹果的产量变化,但对于半干旱的陇东地区来说,水分适宜度可用于评价当地果树在不同生长时期水分条件的优劣,对合理进行果树种植区划及指导科学灌溉具有重要意义。

[参考文献]

[1] FAO-Food and Agriculture Organization. Relationship between crop production with water resources [M]. Rome:FAO-Food and Agriculture Organization Press,1979.

[2] Allen R G,Pereira L S,Raes D,et al. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements-FAO irrigation and drainage paper 56 [M]. Rome:FAO-Food and Agriculture Organization Press,1998.

[3] 刘昌明,王会肖. 土壤-植物-大气界面水分过程与节水调控 [M]. 北京:科学出版社,1999.
Liu C M,Wang H X. The process of moisture in the interface of soil -plant - atmosphere and water control [M]. Beijing: Science Press,1999. (in Chinese)

[4] 康绍忠,刘晓明,熊运章. 土壤-植物-大气连续水体传输理论及其应用 [M]. 北京:水电出版社,1994.
Kang S Z,Liu X M,Xiong Y Z. The Theory of water transmission control and its applications in soil - plant - atmosphere [M]. Beijing:China Water Power Press,1994. (in Chinese)

[5] 司建华,冯 起,章小由,等. 植物蒸散耗水量测定方法研究进展 [J]. 水科学进展,2005,5(3):450-459.
Si J H,Feng Q,Zhang X Y,et al. Research progress on surveying and calculation of evapotranspiration of plants and its prospects [J]. Advances in Water Science,2005,5(3):450-459. (in Chinese)

[6] 马文敏. 春小麦节水灌溉制度研究 [J]. 灌溉排水,1997,16(6):18-20.
Ma W M. A study on irrigation practice for spring wheat [J]. Journal of Irrigation and Drainage,1997,16(6):18-20. (in Chinese)

[7] 李风霞,王连亚,刘 静,等. 宁夏引黄灌区春小麦需水规律及水分指标的研究 [J]. 中国生态农业学报,2003,11(4):108-110.
Li F X,Wang L Y,Liu J,et al. Study on water requirement and the moisture index of spring wheat in irrigated areas of Ningxia [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2003,11(4):108-110. (in Chinese)

[8] 张 利. 水浇地冬小麦耗水规律研究 [J]. 土壤通报,1994,37(4):149-151.
Zang L. A study on the law of water deprivation of winter wheat in irrigation field [J]. Chinese Journal of Soil Science, 1994,37(4):149-151. (in Chinese)

- [9] 尹光华, 蔺海明. 旱农区不同种植模式作物最佳补灌时期和适宜补灌量研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(1): 85-90.
Yin G H, Lin H M. Optimum period and amount of supplementary irrigation with catchment of rainfall on upland field with different cropping patterns [J]. Agriculture Research in the Arid Area, 2000, 18(1): 85-90. (in Chinese)
- [10] 王春梅, 刘彦明. 定西半干旱地区春小麦需水规律的研究 [J]. 干旱地区农业研究, 1989, 7(3): 66-70.
Wang C M, Liu Y M. Research on the laws of water requirement by spring wheat in the semi-arid area in Dingxi prefecture [J]. Agriculture Research in the Arid Area, 1989, 7(3): 66-70. (in Chinese)
- [11] 王立石, 娄秀云. 华北地区冬小麦缺水状况初探 [J]. 应用气象学报, 1995, 7(1): 42-48.
Wang L S, Lou X Y. A exploration on water deficit of wheat in Northern China [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 1995, 7(1): 42-48. (in Chinese)
- [12] 龚绍先. 粮食作物与气象 [M]. 北京: 农业大学出版社, 1987: 15-87.
Gong S X. Crop and meteorology [M]. Beijing: Beijing Agriculture University Press, 1987: 15-87. (in Chinese)
- [13] 郑剑飞, 卢志光. 北京地区小麦灌溉量的计算 [J]. 农业气象, 1982, 3(4): 25-28.
Zheng J F, Luo Z G. Calculating of irrigation volume for wheat in Beijing [J]. Journal of Agrometeorology, 1982, 3(4): 25-28. (in Chinese)
- [14] 曹云者, 宋振荣, 赵同科. 夏玉米需水及耗水规律的研究 [J]. 华北农学报, 2003, 18(2): 47-50.
Cao Y Z, Song Z R, Zhao T K. Study of water demand and consumption rules in summer maize [J]. Acta Agriculture Boeralin-Sinica, 2003, 18(2): 47-50. (in Chinese)
- [15] 邓振镛. 干旱地区农业气象研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1999: 96-104.
Deng Z Y. Research on agriculture in arid area [M]. Beijing: Meteorological Press, 1999: 96-104. (in Chinese)
- [16] 骆洪义, 聂宜民. 山东省冬小麦夏玉米需水规律分区研究 [J]. 土壤, 1995, 38(5): 229-232.
Luo H Y, Nie Y M. Research on law of water requirement of wheat and summer corn in Shandong province [J]. Soil, 1995, 38(5): 229-232. (in Chinese)
- [17] 裴鑫德, 张桂芝. 北京地区小麦需水量计算方法的研究初报 [J]. 北京农业大学学报, 1983, 9(4): 48-52.
Pei X D, Zhang G Z. The method of calculation wheat demand of wheat in Beijing [J]. Beijing Agriculture University Transaction, 1983, 9(4): 48-52. (in Chinese)
- [18] 中国气象局. 农业气象观测规范 [M]. 北京: 气象出版社, 1993: 139-148.
China Meteorology Administration. The observation criterion of agrometeorology [M]. Beijing: Meteorological Press, 1993: 139-148. (in Chinese).
- [19] 束怀瑞. 果树栽培生理学 [M]. 北京: 农业出版社, 1997: 94-99.
Shu H R. The fruit tree cultivation physiology [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1997: 94-99. (in Chinese)
- [20] 千怀遂, 焦士兴, 赵峰. 河南省小麦气候适宜性变化研究 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(5): 503-507.
Qian H S, Jiao S X, Zhao F. Climate suitability change of wheat in Henan Province [J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(5): 503-507. (in Chinese)
- [21] 千怀遂, 魏东风. 气候对河南小麦产量的影响及其变化研究 [J]. 自然资源学报, 2000, 15(2): 149-154.
Qian H S, Wei D F. Impact of climate on wheat yield and theirs changes in Henan Province [J]. Journal of Nature Resource, 2000, 15(2): 149-154. (in Chinese)
- [22] 赵峰, 千怀遂, 焦士兴. 农作物气候适宜度研究 [J]. 资源科学, 2003, 25(6): 78-82.
Zhao F, Qing H S, Jiao S X. Climate suitability model of crop [J]. Resource Science, 2003, 25(6): 78-82. (in Chinese)
- [23] 徐选学, 高鹏, 蒋定生. 延安降水对作物生长适宜性的模糊分析 [J]. 水土保持研究, 2000, 7(2): 73-76.
Xu X X, Gao P, Jiang D S. Fuzzy analysis on the suitability of precipitation to crop growing in Yan'an city [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2000, 7(2): 73-76. (in Chinese)
- [24] 庆阳市统计局. 庆阳经济年鉴 (1990~2006) [M]. 北京: 中国统计出版社, 1990~2006.
Qingyang Statistics Bureau. Almanac of economy in Qingyang city (1990-2006) [M]. Beijing: China Statistics Press, 1990-2006. (in Chinese)
- [25] 王进鑫, 张晓鹏. 渭北旱塬红富士苹果需水量与限水灌溉效应研究 [J]. 水土保持研究, 2000, 16(1): 69-72.
Wang J X, Zhang X P. Study on water requirement and limited irrigation effects of dwarfing Red Fuji apple tree on WeiBei of Loess Plateau [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2000, 16(1): 69-72. (in Chinese)
- [26] 黄兴法, 王小伟. 充分灌溉与调亏灌溉条件下苹果树微喷灌的耗水量研究 [J]. 农业工程学报, 2001, 17(5): 43-47.
Huang X F, Wang X W. Water use of micro sprinkler irrigated apple trees under full irrigation and regulated deficit irrigation [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(5): 43-47. (in Chinese)
- [27] 姚小英, 蒲金涌, 王澄海, 等. 甘肃黄土高原 40 年来土壤水分蒸散量变化特征 [J]. 冰川冻土, 2007, 29(1): 126-130.
Yao X Y, Pu J Y, Wang C H, et al. Variation in evapotranspiration of soil moisture in Gansu Loess Plateau in the recent 40 years [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, 29(1): 126-130. (in Chinese)
- [28] 蒲金涌, 姚小英, 邓振镛, 等. 气候变化对甘肃黄土高原土壤蓄水量的影响 [J]. 土壤通报, 2006, 37(6): 1086-1090.
Pu J Y, Yao X Y, Deng Z Y, et al. Impact of climate change on soil water content in Loess Plateau, Gansu [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(6): 1086-1090. (in Chinese)