

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 22 期
Vol.30 No.22
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 22 期 2010 年 11 月 (半月刊)

目次

高温对水稻叶片蛋白质表达的影响·····	曹云英,段 骅,王志琴,等 (6009)
茶园间作柑桔杨梅或吊瓜对叶蝉及蜘蛛类群数量和空间格局的影响·····	叶火香,崔 林,何迅民,等 (6019)
鼠尾藻生长与生殖的权衡·····	张树宝,唐永政,王志芳,等 (6027)
不同氮素水平下超高产夏玉米冠层的高光谱特征·····	陈国庆,齐文增,李 振,等 (6035)
近 100 年植被破坏侵蚀环境下土壤质量退化过程的定量评价 ·····	郑粉莉,张 锋,王 彬 (6044)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分的空间异质性·····	邱开阳,谢应忠,许冬梅,等 (6052)
CO ₂ 浓度倍增对干旱胁迫下黄瓜幼苗膜脂过氧化及抗氧化系统的影响 ·····	李清明,刘彬彬,艾希珍 (6063)
小兴安岭阔叶红松林粗木质残体空间分布的点格局分析·····	刘妍妍,金光泽 (6072)
光照对鄂东南 2 种落叶阔叶树种幼苗生长、光合特性和生物量分配的影响 ·····	杨 莹,王传华,刘艳红 (6082)
不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响·····	林超文,罗春燕,庞良玉,等 (6091)
黄土残塬沟壑区流域次生植被物种分布的地形响应·····	王盛萍,张志强,张建军,等 (6102)
农村土地经营权流转对区域景观的影响——以北京市昌平区为例·····	刘 同,李 红,孙丹峰,等 (6113)
基于农户响应的北方农牧交错带生态改善策略·····	徐建英,柳文华,常 静,等 (6126)
滨岸不同植物配置模式的根系空间分布特征·····	仲启铖,杜 钦,张 超,等 (6135)
三江平原小叶章湿地剖面土壤微生物活性特征·····	杨桂生,宋长春,宋艳宇,等 (6146)
不同水分处理对湿地松幼苗生长与根部次生代谢物含量的影响·····	李昌晓,魏 虹,吕 茜,等 (6154)
生活污水慢渗生态处理对土壤及杨树生长的影响·····	白保勋,杨海青,樊 巍,等 (6163)
玉米连作及其施肥对土壤微生物群落功能多样性的影响·····	时 鹏,高 强,王淑平,等 (6173)
茶园 4 种半翅目主要害虫与其捕食性天敌的关系·····	周夏芝,毕守东,柯胜兵,等 (6183)
采煤塌陷地不同施肥处理对土壤微生物群落结构的影响·····	李金岚,洪坚平,谢英荷,等 (6193)
典型区域果园表层土壤 5 种重金属累积特征·····	杨世琦,刘国强,张爱平,等 (6201)
工业园区氮代谢——以江苏宜兴经济开发区为例·····	武娟妮,石 磊 (6208)
公路绿化带对路旁土壤重金属污染格局的影响及防护效应——以山西省主要公路为例·····	王 慧,郭晋平,张芸香,等 (6218)
奥运期间北京 PM _{2.5} 、NO _x 、CO 的动态特征及影响因素 ·····	曾 静,廖晓兰,任玉芬,等 (6227)
新疆绿洲农田土壤-棉花系统 9 种矿质元素生物循环特征 ·····	韩春丽,刘 娟,张旺锋,等 (6234)
甘肃省黄土高原旱作玉米水分适宜性评估·····	姚小英,蒲金涌,姚茹莘,等 (6242)
基于粪便 DNA 的马鹿种群数量和性比 ·····	田新民,张明海 (6249)
专论与综述	
水生态功能分区研究中的基本问题·····	唐 涛,蔡庆华 (6255)
土壤水分遥感监测研究进展·····	杨 涛,官辉力,李小娟,等 (6264)
中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施·····	邓振镛,王 强,张 强,等 (6278)
问题讨论	
城市物质流分析框架及其指标体系构建·····	陈 波,杨建新,石 焱,等 (6289)
研究简报	
湖南会同不同退耕还林模式初期碳密度、碳贮量及其空间分布特征 ·····	田大伦,尹刚强,方 晰,等 (6297)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 300 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 32 * 2010-11

甘肃省黄土高原旱作玉米水分适宜性评估

姚小英^{1,2}, 蒲金涌³, 姚茹莘⁴, 乔艳君⁵

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 中国气象局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. 天水市气象局, 甘肃 天水 741000; 3. 甘肃省天水农业气象试验站, 甘肃 天水 741020;

4. 天水市石马坪中学, 甘肃 天水 741000; 5. 兰州市气象局, 甘肃 兰州 730020)

摘要:运用甘肃省天水、西峰农业气象试验站 1981—2008 年玉米观测资料及两地相应时段的气象资料, 利用 FAO Penman-Monteith 公式及作物系数对玉米各生育阶段的需水量进行估算, 建立了玉米水分适宜度计算模型, 对 1981—2008 年玉米全生育期及各生育阶段的水分适宜度进行了计算, 分析了玉米产量与水分适宜度的相关性。结果表明, 甘肃省黄土高原种植玉米的水分条件比较优越, 年平均水分适宜度均在 0.50 以上。陇西黄土高原(天水)与陇东黄土高原(西峰)水分适宜度相关程度较好, 变化趋势比较一致。1995 年是水分适宜度的转折年份, 1981—1995 年陇西黄土高原水分适宜度以 0.12/10a 的趋势降低, 陇东黄土高原以 0.11/10a 的趋势下降; 1995—2008 年陇西黄土高原水分适宜度以 0.18/10a 的趋势升高, 陇东黄土高原以 0.06/10a 的趋势上升。水分适宜程度以成熟期较好, 降水量可满足玉米需水的 70% 以上, 旺盛生长阶段水分适宜程度较差, 降水量只能满足玉米生理需水的 49%—55%, 初始生长阶段耗水较少, 大气降水对需水的满足程度在 50% 以上。出苗期—七叶期、拔节期—抽雄期、抽雄期—乳熟期、乳熟期—成熟期的水分适宜度呈 20 世纪 80 年代较高, 90 年代较低, 21 世纪初较高的趋势变化; 七叶期—拔节期水分适宜度从 20 世纪 80 年代到 21 世纪初持续降低。陇东黄土高原各个生长阶段的水分适宜度比陇西黄土高原偏高约 0.1。除成熟生长阶段外, 陇西黄土高原的需水量均大于陇东黄土高原。水分适宜度与玉米产量相关性最显著的时期为七叶期—拔节期, 其次为拔节期—抽雄期, 出苗期—七叶期、抽雄期—乳熟期及乳熟期—成熟期的水分适宜度与玉米产量相关性不显著。利用建立的水分适宜度模型可对甘肃省黄土高原旱作玉米的水分适宜性进行评价, 为当地玉米种植区划及科学管理提供依据。

关键词:甘肃; 黄土高原; 玉米; 水分适应性; 评价

Assessment of maize water adequacy in Loess Plateau of Gansu Province

YAO Xiaoying^{1,2}, PU Jinyong³, YAO Ruxin⁴, QIAO Yanjun⁵

1 Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration; Key Laboratory of Arid climate Change and Reducing Disaster of China Meteorological Administration, Open Laboratory of Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China

2 Tianshui Meteorological Bureau, Tianshui 741000, China

3 The Agrometeorological Experimental Station of Tianshui, Tianshui 741020, China

4 The Shimaping Middle School, Tianshui 741000, China

5 Lanzhou Meteorological Bureau, Lanzhou 741000, China

Abstract: Water scarcity is the primary limiting factor in crop production in vast north-western China. Crop water requirement depends mainly on the nature and stage of growth of the crop and environmental conditions. To assess the relationship of water conditions and crop production, we analyzed the water adequacy level and production in maize during the entire growth stages in the Loess Plateau in Gansu province. Maize phenological data and corresponding meteorological data covering the period between 1981 and 2008 were collected in the Tianshui and Xifeng Agrometeorological Experimental Stations. Based on these data, water requirement of maize during all developmental stages was analyzed by using crop

基金项目:甘肃省气象局“十人计划”资助项目; 国家科技部公益行业专项资助(GYHY200806021)

收稿日期:2010-03-15; **修订日期:**2010-08-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tsyxy66@163.com

coefficient and the FAO Penman-Monteith formula. A model was generated. The results indicated that water supply was generally adequate for maize growth in Gansu Loess Plateau, with an annual mean water adequacy index (WAI) higher than 0.50. The WAI in Longdong (Xifeng) and Longxi Loess Plateau (Tianshui) showed a correlative relationship, exhibiting a similar trend in variation over the last 28 years. Historically, the year of 1995 was a turning point in WAI. From 1981 to 1995, the WAI was decreased by 0.12 every ten years in Longxi Loess Plateau and 0.11 in Longdong Loess Plateau. However, from 1995 to 2008, it was increased by 0.18 per 10 years in Longxi Loess Plateau and 0.06 in Longdong Loess Plateau. Among the various growth stages of maize, WAI was at its best during the maturation stage; suboptimal during the early growth stage, and poor during the fast growth stage. Air precipitation satisfied more than 70% of the water requirement of maize during maturation stage, whereas only about 49%—55% of the requirement during the fast growth stage. WAI during stages of germination to seven leaves, jointing to tasseling, tasseling to milky maturation, and milky maturation to full maturation remained high in the 1980s, low in 1990s and returned high in the early 2000s. WAI in the period of seven leaves to jointing stayed continuously low from 1980s to the beginning of the 21st century. Geographically, WAI in Longxi Loess Plateau was higher by 0.1 than that in Longdong Loess Plateau. The water requirement of maize in Longxi Loess Plateau was higher than Longdong Loess Plateau in all growth stages except the maturation stage. The correlation between maize climate yield and the WAI was most significant in seven-leaf to jointing stage, followed by jointing to heading stage, suggesting that these two stages are critical in water requirement. Such a correlation was notable in jointing to tasseling stage, but it was non-significant in stages of germination to seven leaves, tasseling to milky maturation, and milky maturation to maturation. This model on WAI and maize growth/production can be used to evaluate the suitability for maize growing in areas in Gansu Loess Plateau and provide scientific basis for crop management for higher yields.

Key Words: Gansu; the Loess Plateau; maize; water adequacy index; assessment

作物水分适宜性是旱作区作物生长环境评价的主要内容^[1-3]。需水量的确定是水分适宜性研究的前提。FAO 曾在 1998 年总结了世界各地的试验研究成果,在作物参考蒸散的基础上,给出了不同作物的作物系数 (K_c),以此来估算作物的生理需水^[4]。许多学者以此做了大量的工作,为作物灌溉、科学用水提供了依据。大量研究表明,其应用效果比较好^[5-6]。

作物生长发育过程中对水分吸收利用比较复杂,其适宜性界限在一定范围内应该还是比较模糊的^[7]。建立作物水分适宜度函数,评价作物生长过程中的水分适宜程度及对生长发育速度、产量因素影响在冬小麦等得到应用^[8-10],与实际情况比较一致。

玉米是我国北方旱作区主要栽培作物之一。许多研究表明,受现代气候变化的影响其生长发育及产量变化较大^[11-13]。以温度升高为主要特征的气候变化虽然使玉米喜温的适宜性得到加强,但同时也增加了维持玉米正常生长的水分需求量^[14-16]。玉米生长发育水分适宜性变差在一定程度上抵消了温度升高的适宜效应,甚至还会造成负的影响。虽然区域气候暖干化趋势使水分对玉米生长及产量的限制现象已经引起了人们的注意^[17-19],但相对于温度因子对玉米生长的影响研究,水分因子的评估报道还比较少。本研究根据甘肃黄土高原历年玉米生长发育期及各生育阶段需水量及降水量的变化,建立玉米生长水分适宜度评估模型,研究水分适宜性对玉米生长发育及产量的影响及玉米各生育期水分需求动态变化,以期为增加不同时段田间管理措施的针对性及玉米种植区划提供依据。

1 材料与方法

1.1 玉米平均物候期

甘肃黄土高原,位于黄土高原的最西端,中部以南北向的陇山为界,分为陇东、陇西黄土高原两部分。西峰、天水农业气象试验站分别位于陇东、陇西黄土高原。该地域耕地多分布在沟壑山梁之间,地表水源匮乏,基本上无灌溉条件。地下水深度远超出作物的可利用深度,降水是影响玉米生长的主要因子。

1981—2008 年依照《农业气象观测规范》^[20], 分别在水、西峰农业气象试验站的玉米试验田内从春季播种到秋季成熟期对玉米 9 个物候期进行了连续逐年试验、观测, 取得了玉米平均物候期资料(表 1)。本研究以天水农业气象试验站的资料代表陇西黄土高原, 以西峰农业气象试验站的资料代表陇东黄土高原。

表 1 天水、西峰玉米平均生长发育时间(1981—2008 年)(月-日)

Table 1 Average dates of maize phenological stages in Tianshui and Xifeng(1981—2008)(Month-date)

地点 Sites	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Elevation	播种 Sowing	出苗期 Emergence	三叶期 Three leaves
天水	34°33′	105°53′	1085	04-20	05-02	05-12
西峰	35°44′	107°38′	1422	04-22	05-05	05-12
地点 Sites	七叶期 Seven leaves	拔节期 Jointing	抽雄期 Tasseling	开花期 Flower	乳熟期 Milk maturation	成熟期 Maturation
天水	05-16	05-27	07-09	07-18	08-18	09-07
西峰	05-30	06-22	07-13	07-16	08-13	09-14

1.2 作物系数

20 世纪 90 年代 FAO 曾经组织世界许多学者, 在世界各地对包括农作物、经济作物及果树在内的 40 多种植物进行了水分需求试验, 得出了作物需水与作物参考蒸散的关系, 给出了各种作物在不同生育阶段的作物系数(实际需水量与参考作物蒸散量之比, K_c)。提供了定量计算作物需水量的有效方法。作物系数在不同的生长地区、随不同的品种、栽培技术等有一定变化。它反映了作物需水的平均状况。根据 FAO 的研究, 作物系数在作物初始生长、旺盛生长及成熟生长等 3 个阶段差异较大。本文采用的需水定量估算方法取自上述研究结果^[1]。根据玉米生长发育特性, 初始生长阶段为出苗期—拔节期, 旺盛生长阶段为拔节期—乳熟期, 成熟生长阶段为乳熟期—成熟期。

表 2 玉米不同生长期及作物系数

Table 2 The maize growth periods and crop coefficient

生长阶段 Growth stage	初始生长阶段 (出苗期—拔节期) Initial (Emergence to jointing)	旺盛生长阶段 (拔节期—乳熟期) Vigorous (Jointing to milky maturation)	成熟生长阶段 (乳熟期—成熟期) Maturation (Milky maturation to maturation)
K_c	0.6	1.2	0.6

1.3 玉米生理需水量与水分适宜度的计算

玉米在 j 个生长阶段的生理需水量(W_j)按下式计算:

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

式中, n 为生长阶段所包含或生育期间隔的天数(1995 年西峰玉米初始生长阶段日数 51d, $n = 51$; 出苗期—七叶期间隔日数 30d, $n = 30$); i 为日序数; K_c 为作物系数; ET_{0i} 为第 i 日的参考作物蒸散量, 按 Penman-Monteith 公式计算:

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

(2) 式是由 FAO 1998 年推荐作为计算参考作物蒸散的标准模型^[1]。式中, ET_0 为参考作物蒸散量(mm/d), R_n 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/°C), T 是日平均气温(°C), e_a 为饱和水汽压(kPa), e_d 为实际水汽压(kPa), Δ 是饱和水汽压-温度曲线斜率(kPa/°C), u_2 为 2 m 高处的风速(m/s)。 $u_2 = 0.743 \times u_{10}$, 其中 u_{10} 为气象站按统一标准和仪器在距地面 10.4m 处测得的风速(m/s)。

根据玉米各生育阶段生理需水量(W_j ,mm)和相应时段的降水量(R_j ,mm),综合以往的研究成果^[7-10],构造了玉米水分适宜度(U_j):

$$U_j = \begin{cases} 1 & , R_j \geq W_j \\ R_j/W_j, & R_j < W_j \end{cases} \tag{3}$$

当降水量 R_j 大于或等于生理需水量 W_j ,表明降水可以满足生理需水, $U_j \approx 1$;当降水量 R_j 小于生理需水量 W_j ,用其比值作为水分适宜度的值。水分适宜度在一定程度表示了降水对玉米生理需水的满足程度。

1.4 数据来源

计算参考作物蒸散量 ET_0 所需的气压、气温、水汽压、相对湿度、风速、日照百分率的日平均值及日降水量值取自天水 and 西峰气象站的 1981—2008 年历年观测值。研究所需的天文辐射及可照时数等由相应公式计算而得^[1],天水、西峰的玉米产量、播种面积等数据取自有关统计年鉴^[21-22]。

1.5 分析方法

气候产量采用趋势法从社会产量中分离^[23]。用 K-M 检验进行水分适宜度突变分析^[24],借助于 SPSS 软件进行水分适宜度变化趋势拟合及相关等统计分析。

2 结果与分析

2.1 玉米水分适宜性的年际变化

自 20 世纪 80 年代以来,甘肃旱作区降水基本能够满足玉米正常生长。天水平均水分适宜度为 0.5958,大于平均值的年份有 11a,最高为 1984 年(0.8257);小于平均值的年份有 17a,最小值为 1995 年(0.4784);西峰平均水分适宜度为 0.6942,大于平均值的年份有 13a,最大值为 1988 年(0.9019),小于平均值的年份有 15a,最小值为 1995 年(0.4581)。天水、西峰两地水分适宜度负距平年份多于正距平年份。陇东黄土高原玉米水分适宜程度好于陇西黄土高原。两地水分适宜度相关程度较高($R=0.6758, P<0.05$)。

水分适宜度最低值时段出现在 20 世纪 90 年代(图 1)。1995 年是水分适宜度变化的转折点(通过置信度为 0.05 的 M-K 检验)。陇西黄土高原天水 1981—1995 年水分适宜度以 0.12/10a 的趋势降低($R=0.2514, P>0.1$);1995—2008 年水分适宜度以 0.18/10a 的趋势升高($R=0.5864, P<0.05$)。陇东黄土高原西峰 1981—1995 年水分适宜度以 0.11/10a 的趋势下降($R=0.2199, P>0.1$);1995—2008 年水分适宜度以 0.06/10a 的趋势上升($R=0.2055, P>0.1$)。陇西黄土高原水分适宜度随年份升高的趋势大于陇东黄土高原。

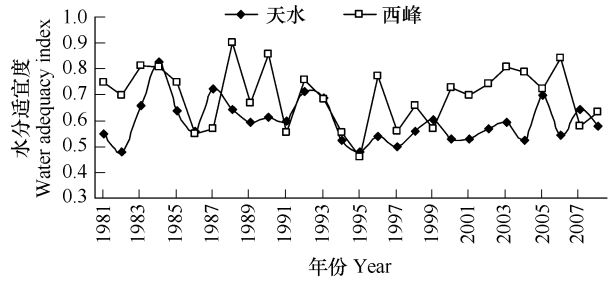


图 1 天水和西峰 1981—2008 年玉米水分适宜度变化
Fig. 1 The variations of water adequacy index of maize at Tianshui and Xifeng from 1981 to 2008

2.2 玉米不同生长阶段水分适宜性的年际变化

玉米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(表 3),水分适宜程度最好的时期是成熟期,降水量可满足玉米需水的 70% 以上,最差的是旺盛生长阶段,降水量只能满足玉米生理需水的 49%—55%,由于玉米初始生长阶段耗水较少,大气降水对需水的满足程度在 50% 以上。陇东黄土高原各个生长阶

表 3 天水、西峰玉米各生长阶段平均水分适宜度

Table 3 The water adequacy index of maize at Tianshui and Xifeng in three growth periods

地点 Sites	初始生长阶段 Initial			旺盛生长阶段 Vigorous			成熟期生长阶段 Maturation		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
天水	107	57	0.5337	451	223	0.4945	44	57	0.7682
西峰	106	69	0.6462	342	189	0.5521	101	114	0.8845

A:需水量(mm); B:降水量(mm); C:水分适宜度

段的水分适宜度比陇西黄土高原偏高约 0.1。除成熟生长阶段外,陇西黄土高原的需水量均大于陇东黄土高原。

不同年代不同发育期水分适宜度的变化各不相同(表 4)。出苗期—七叶期 20 世纪 80 年代较高,90 年代趋低,21 世纪初又开始升高。天水、西峰两地的变化趋势基本一致,西峰各年代的水分适宜度均在 0.5 以上,天水 20 世纪 90 年代及 21 世纪初,水分适宜度小于 0.5。七叶期—拔节期天水、西峰两地的水分适宜度有所上升,除天水 21 世纪初小于 0.6 外,其余各年代均在 0.6 以上。20 世纪 80 年代至 21 世纪初,七叶期—拔节期生育期的水分适宜度基本呈下降趋势,天水下降了 0.057,西峰下降了 0.1722。拔节期—抽雄期由于玉米需水量显著增大,水分供需矛盾突出,天水水分适宜度降至 0.5 以下。西峰水分适宜度除 21 世纪初外都在 0.6 以下,水分适宜度在 20 世纪 80 年代较高,90 年代较低,21 世纪初开始升高。抽雄期—乳熟期水分适宜度随年代的变化为“高一低—高”。天水最高值出现在 21 世纪初,西峰最高值出现在 20 世纪 80 年代。乳熟期以后,玉米需水量显著降低,水分适宜性较前期显著改善。各年代的水分适宜度均在 0.6 以上。其中西峰 20 世纪 80 年代及 21 世纪初水分适宜度达到 0.8828—1,是玉米全生育期水分适宜程度最好的时期。

表 4 天水、西峰不同年代各生育期玉米水分适宜度

Table 4 Water adequacy index of maize at Tianshi and Xifeng in different ages

年代 Ages	出苗期—七叶期 Emergency to seven leaves		七叶期—拔节期 Seven leaves to jionting		拔节期—抽雄期 Jionting to tasseling		抽雄期—乳熟期 Tasseling to milky maturation		乳熟期—成熟期 Milky maturation to maturation	
	天水	西峰	天水	西峰	天水	西峰	天水	西峰	天水	西峰
1981—1990	0.6464	0.6819	0.7532	0.7996	0.4606	0.5600	0.5302	0.5979	0.8224	0.8828
1991—2000	0.4525	0.5368	0.6518	0.6759	0.4451	0.5351	0.4937	0.5131	0.6497	0.6819
2001—2008	0.4869	0.6454	0.5962	0.6274	0.4910	0.6605	0.5782	0.5170	0.8345	1

2.3 玉米水分适宜度与产量的关系

不同玉米生育期水分适宜度与气候产量的相关系数差异较大(表 5)。已有研究表明^[25-26],玉米苗期需水量较少,在旱作区有一定时间段的表层土壤水分供应不足,将有利于玉米的扎根“蹲苗”及后期的正常生长。出苗期—七叶期发育期水分适宜度虽然较低,水分适宜度与气候产量相关并不显著。七叶期—抽雄期发育期是玉米需水的临界期,水分适宜程度对玉米产量高低影响较大。七叶期—拔节期水分适宜度每升高 0.1,天水气候产量增加 52kg/hm²($R=0.3807, P<0.05$),西峰气候产量增加 71kg/hm²($R=0.4092, P<0.05$);拔节期—抽雄期水分适宜度每升高 0.1,天水气候产量增加 114kg/hm²($R=0.3256, P<0.1$),西峰气候产量增加 52kg/hm²($R=0.3245, P<0.1$)。抽雄期—乳熟期、乳熟期—成熟期是玉米灌浆、产量形成的主要阶段,光照是该生育阶段的主要影响因子。一般情况下降水量多,降水日数增加,光照就会减少,此阶段水分适宜度与气候产量的相关性不显著。

表 5 各生育期水分适宜度与气候产量的相关系数

Table 5 The correlation coefficient between water adequacy and climatic yield

地点 Sites	出苗期—七叶期 Emergency to seven leaves	七叶期—拔节期 Seven leaves to jionting	拔节期—抽雄期 Jionting to tasseling	抽雄期—乳熟期 Tasseling to milky maturation	乳熟期—成熟期 Milky to maturation
天水	0.1294	0.3870 **	0.3256 *	0.0420	0.2545
西峰	0.2743	0.4092 **	0.3245 *	0.1374	0.1613

*, * * 分别表示通过 0.10, 0.05 的信度检验

3 讨论

本文根据甘肃黄土高原旱作区玉米生长特点与及降水分布特点,建立了水分适宜度模型。由于玉米生理需水量建立在参考作物蒸散量的基础上,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。适宜度考虑降水量对玉米生长发育影响的同时,也综合考虑包括温度在内的多种气候因子的共同作用。适用性较强。利用天水、西峰历年玉米产量资料分析检验发现,此模型能较客观地反映玉米产量与其对水分需求的适宜性动态变化关系,可为玉米种植调整提供理论支持。

运用模型计算分析表明,玉米成熟阶段水分适宜度较高,其次为初始生长阶段,旺盛生长阶段较低。全生育期水分适宜度均在 0.50 以上,玉米生长水分条件比较优越。陇东黄土高原水分适宜程度大于陇西黄土高原。20 世纪 80 年代至 90 年代中期,水分适宜度呈下降趋势,90 年代中期至 21 世纪初,水分适宜度呈上升趋势。气候产量与七叶期—拔节期、拔节期—抽雄期发育期水分适宜度相关显著,与出苗期—七叶期、抽雄期—乳熟期及乳熟期—成熟期水分适宜度相关不显著。

玉米旺盛生长期水分适宜度较低是影响研究区域玉米产量的主要因素之一。除引进双垄全膜覆盖等新型农业技术措施减少蒸散发外,还应通过推迟玉米播种期来充分利用多雨时段的水分,增加旺盛生长期的水分适宜性。据初步试验,在陇西黄土高原,播种期推后 15d 左右玉米生物累积量比播期提前 7d 高出 5% 左右^[27]。根据陇东、陇西黄土高原不同玉米水分适宜性,对玉米种植面积进行适当增减调整,以适应气候变化。

玉米生长是一个连续的过程,黄土高原旱作区土层深厚,土壤的透气及蓄水性较好。前一个生长阶段利用剩余的水分可以通过土壤调节进行为后一生长阶段所继续利用,而模型在分析各生育阶段或各生育间隔时,这部分降水量未予以考虑,将会影响模型的准确性。另外,本模型只考察了降水因子对玉米生长的作用,未考虑其它水源的补充,也将会局限模型的适用范围。

玉米产量形成是各种环境因子的综合作用结果,光、温异常变化的作用及光、温、水不同组合同样可以左右其产量的高低。结合分析不同区域气候变化及对玉米生长发育限制特性,水分适宜度的评价效果会更好。

References:

- [1] Yin G H, Lin H M. Optimum period and amount of supplementary irrigation with catchment of rainfall on upland field with different cropping patterns. *Agriculture Research in Arid Area*, 2000, 18(1):85-90.
- [2] Wang C M, Liu Y M. Research on the laws of water requirement by spring wheat in the semi arid area in Dingxi prefecture. *Agriculture Research in Arid Area*, 1989, 7(3):66-70.
- [3] Deng Z Y. A Study on Agrometeorology in Arid Area. Beijing: China Meteorological Press, 1999:96-104.
- [4] Allen R G, Pereira L S, Raes D, Smith M. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome:FAO-Food and Agriculture Organization, 1998.
- [5] Cao Y Z, Song Z R, Zhao T K. Study of water demand and consumption rules in summer maize. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2003, 18(2):47-50.
- [6] Yuan H M, Dong L G, Xu H J, Li S B, Huo Y, Chen J, Yuan H Y. Effects of water and temperature on winter wheat and maize yields under conservation tillage condition. *Journal of Arid Land Resources and Environment*. 2008, 22(7):50-53
- [7] XU X X, Gao P, Jiao D S. Fuzzy analysis on the suitability of precipitation to crop growing in Ya'an City. *Research of Soil and Water Conservation*, 2000, 7(2):73-76.
- [8] Qian H S, Jiao S X, Zhao F. Climate suitability change of wheat in Henan Province. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(5):503-507.
- [9] Pu J Y, Zhang C J. Dynamic variation of water adaptability of wheat in Gansu. *Resource Science*, 2008, 30(9):1397-1402.
- [10] Yang X L, Pu J Y, Ma P L, Yao X Y. A assessment of apple water adequacy in eastern of Gansu Province. *Northwest Sci-Tech Univ. of Agri. and For. (Nat. Sci. Ed.)*, 2009, 37(9):71-76.
- [11] Zhao J F, Yang X G, Liu Z J. Influence of climate warming on serious low temperature and cold damage and cultivation pattern of spring maize in Northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(12):6544-6551.
- [12] Wang S L, Ma Y P, Zhuang L W. Improvement study on prediction and assessment model for chilling damage of maize in Northeast China. *Journal of Nature Disaster*, 2008, 17(4):12-18.
- [13] Wang Q, Ma S Q, Guo J P, Zhang T L, Yu H, Xu L P. Effects of air temperature on maize growth and its yield. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 23(2):124-131.
- [14] Han H. A study on contradictions between supply and demand of water in maize field in Datong City. *Meteorological Monthly*, 2003, 29(9):54-55.

- [15] Yan J X, Li J H, You L F. Studies on soil respiration and its relation with environmental factors in a Maize (*Zea mays* L.) field in Taiyuan Basin. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2010, 24(3): 16-24.
- [16] Lou X H, Gao P, Wang F, Sui Y Y, Mu X M. Effect of straw mulch on yield and water utilization of spring maize in the south Mountains area of Ningxia. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 42(6): 64-70.
- [17] Li S K, Wang C T. Evolution and development of maize production techniques in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(6): 99.
- [18] Wang J Y, Xue D Q, Zuo S F, Feng J S, Liu X. Impact of globe warming on agriculture in Shandong Province. *Resource Science*, 2006, 28(1): 163-168.
- [19] Xiong W, Yang J, Lin E D, Xu Y L. The projection of maize yield in China under climate change scenarios. *Advance in Earth Science*, 2008, 24(10): 167-171.
- [20] China Meteorological Administration. Rules on Agrometeorological Observation. Beijing: Chinese Meteorological Press, 1993: 139-148.
- [21] Tianshui City Statistics Bureau. Almanac of Tianshui Economy (1981—2008). Beijing: China Statistic Press, 1981—2008.
- [22] Qingyang City Statistics Bureau. Almanac of Qingyang Economy (1981—2008). Beijing: China Statistic Press, 1981—2008.
- [23] Wei S Q. Agrometeorological Statistics. Beijing: Fujian Science & Technology Publishing House, 1986: 296-298.
- [24] Qin N X, Chen X, Xue X W, Zhang Z C. Analysis of pan evaporation trend and its impact factors in Guizhou Province. *Journal of Lake Sciences*, 2009, 21(3): 434-440.
- [25] Gong S X. Crop and Meteorology. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1987: 15-87.
- [26] Maize Research Institute in Shandong Academy of Agricultural Sciences. Physiology of Maize. Shanghai: Shanghai Scientific & Technological Educational Publishing House, 1981: 176-188.
- [27] Pu J Y, Li X D, Xu Y P, Yao X H, Hu L P. Experiment in timely sowing of maize in Southern Gansu and analysis of its suitable sowing period. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2010, 38(11): 5739-5740.

参考文献:

- [1] 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. *干旱地区农业研究*, 2000, 18(1): 85-90.
- [2] 王春梅, 刘彦明. 定西半干旱地区春小麦需水规律的研究. *干旱地区农业研究*, 1989, 7(3): 66-70.
- [3] 邓振镛. 干旱地区农业气象研究. 北京: 气象出版社, 1999: 96-104.
- [5] 曹云者, 宋振荣, 赵同科. 夏玉米需水及耗水规律的研究. *华北农学报*, 2003, 18(2): 47-50.
- [6] 袁汉民, 董立国, 徐华军, 李生宝, 火勇, 陈洁, 袁海燕. 水分和温度对冬小麦和玉米免耕作产量影响的研究. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(7): 50-53.
- [7] 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. *水土保持研究*, 2000, 7(2): 73-76.
- [8] 千怀遂, 焦士兴, 赵峰. 河南省冬小麦气候适宜性变化研究. *生态学杂志*, 2005, 24(5): 503-507.
- [9] 蒲金涌, 张存杰. 甘肃省冬小麦水分适应性动态变化研究. *资源科学*, 2008, 30(9): 1397-1402.
- [10] 杨小利, 蒲金涌, 马鹏里, 姚小英. 陇东地区苹果水分适宜性评估. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2009, 37(9): 71-76.
- [11] 赵俊芳, 杨晓光, 刘志娟. 气候变暖对东北三省春玉米严重低温冷害及种植布局的影响. *生态学报*, 2009, 29(12): 6544-6551.
- [12] 王石立, 马玉平, 庄立伟. 东北地区玉米冷害预测评估模型改进研究. *自然灾害学报*, 2008, 17(4): 12-18.
- [13] 王琪, 马树庆, 郭建平, 张铁林, 于海, 徐丽萍. 温度对玉米生长量和产量的影响. *生态学杂志*, 2009, 23(2): 124-131.
- [14] 韩红. 大同市玉米水分供求矛盾分析研究. *气象*, 2003, 29(9): 54-55.
- [15] 严俊霞, 李洪建, 尤龙凤. 玉米农田土壤呼吸与环境因子的关系研究. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(3): 16-20.
- [16] 鲁向晖, 高鹏, 王飞, 隋艳艳, 穆兴民. 宁夏南部山区秸秆覆盖对春玉米水分利用及产量的影响. *土壤通报*, 2008, 42(6): 64-70.
- [17] 李少昆, 王崇桃. 中国玉米生产技术的演变与发展. *中国农业科学*, 2009, 42(6): 99.
- [18] 王建元, 薛德强, 邹树峰, 冯建设, 刘欣. 气候变暖对山东农业的影响. *资源科学*, 2006, 28(1): 163-168.
- [19] 熊伟, 杨婕, 林而达, 许吟隆. 未来不同气候变化情景下我国玉米产量的初步预测. *地球科学进展*, 2008, 24(10): 167-171.
- [20] 中国气象局. 农业气象观测规范. 北京: 气象出版社, 1993: 139-148.
- [21] 天水市统计局. 天水经济年鉴(1981—2008). 北京: 中国统计出版社, 1981—2008.
- [22] 庆阳市统计局. 庆阳经济年鉴(1981—2008). 北京: 中国统计出版社, 1981—2008.
- [23] 魏淑秋. 农业气象统计. 北京: 福建科学技术出版社, 1986: 296-298.
- [24] 秦年秀, 陈喜, 薛显武, 张志才. 贵州蒸发皿蒸发量变化趋势及影响因子分析. *湖泊科学*, 2009, 21(3): 434-440.
- [25] 龚绍先. 粮食作物与气象. 北京: 北京农业大学出版社, 1987: 15-87.
- [26] 山东省农业科学院玉米研究所编译. 玉米生理. 上海: 上海科技出版社, 1981: 176-188.
- [27] 蒲金涌, 李晓东, 许彦平, 姚晓红, 胡利平. 陇东南地区玉米分期播种试验及适宜播种期探讨. *安徽农业科学*, 2010, 38(11): 5739-5740.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 22 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 22 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元