

河南省夏玉米生长季水分供需时空变化特征

李喜平

(河南省鹤壁市气象局, 河南 鹤壁 450003)

摘要:水分条件是制约河南夏玉米高产稳产的重要因素,本文利用河南省夏玉米生长季30个农业气象观测站1961~2011年逐日气象观测资料,计算不同生育阶段夏玉米需水量和水分亏缺量,分析其近50a的水分供需条件时空变化特征。结果表明:夏玉米各生育阶段需水量呈显著的下降趋势;各生育阶段之间水分亏缺量没有显著的年际变化。分析各生育阶段水分供需情况,水分亏缺量为正值表明水分供给不足,为负值表示水分有盈余,出苗—拔节期夏玉米水分亏缺量以负值为主,拔节—抽雄期正负交替各占一半,抽雄—乳熟期和乳熟—成熟期以正值为主。空间分布上,夏玉米各生育阶段需水量与各地海拔高度呈显著负相关,全生育期负相关系数为0.799;各阶段水分亏缺量也有一定的相似性,水分亏缺地区主要分布在豫西和豫西北大部,水分较充足的地区主要分布在漯河、南阳、驻马店等地。

关键词:需水量;水分亏缺;时空变化;夏玉米

文章编号:1006-7639(2013)-04-0796-07 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-04-0796

中图分类号:S161

文献标识码:A

引言

夏玉米是河南省一年两熟制中的重要作物,生长在高温和蒸发量大的夏季,一生需水量较多,一般在400 mm左右,且不同产量水平、不同生育阶段玉米需水量不同。河南省玉米生育期间降水资源较为丰富,总降水量基本能满足玉米生长所需,但是由于降水年际变化大,时空分布极不均匀,常常时旱时涝、此旱彼涝的不利局面,影响夏玉米正常生长^[1-2]。近年在气候变化背景下,极端气候事件频发,干旱发生范围广泛,给夏玉米高产稳产带来严重威胁^[3-4]。

准确界定各地区夏玉米水分条件满足程度,对于各级农业部门制定合理的灌溉制度和区域灌溉需水量计划,科学指导农业生产具有重要意义^[5]。近年来有关专家对农田蒸散量和水分供需平衡等方面进行了很多研究^[6-11]。高晓容等^[12]以作物水分盈亏指数为评价指标,分析了近50a东北玉米不同生育阶段的旱涝分布及演变。许莹等^[13]以降水与作物潜在蒸散量的差值,来反映农田水分盈亏,分析了

安徽省一季稻、冬小麦水分供需状况。王婧等^[14]分析黄淮海地区主栽作物水分供需平衡时指出,夏玉米、春棉花、夏棉花一般供需平衡或需小于供,由于其仅从全生育期水分供需角度来比较,忽略了各生育阶段之间水分分配的不均衡性,难以解释夏播作物需水关键期水分满足程度,因此需要分阶段研究。本文利用1961~2011年气象资料,通过计算夏玉米各生育阶段需水量与降水量的差值,分析近50a夏玉米生长季水分供需条件的年际变化及空间分布特征,为夏玉米旱涝灾害防御、粮食安全生产提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

所用气象资料为河南省夏玉米生长季30个农业气象观测站1961~2011年逐日地面观测资料,包括最高和最低气温、降水、日照、大气压、水汽压、风速。河南夏玉米生长季主要集中在6~9月,根据夏玉米生长发育特点,将夏玉米生育期划分为出苗—拔节、拔节—抽雄、抽雄—乳熟及乳熟—成熟4个阶

收稿日期:2013-05-21;改回日期:2013-08-02

基金项目:中国气象局气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2013M29)及公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006041)共同资助

作者简介:李喜平(1970-),男,河南鹤壁人,工程师,从事气候资源利用,气象灾害防灾减灾等方面的研究。E-mail: 938002166@163.com

段,各生育阶段时间划分标准见表1。根据计算需要,将夏玉米生长季定义为6月中旬至9月中旬,全生育期112 d。

1.2 需水量估算

作物需水量(ET_c)又称为作物蒸散量或腾发量^[15],是指在最适宜的土壤水分和肥力条件下,在田间正常生长发育、无病害并达到高产水平的特定作物的农田蒸散量。农田蒸散量受气候条件、作物类型和土壤条件的综合影响。目前,应用最广泛的作物蒸散量计算方法是通过参考作物蒸散量和作物系数确定某种作物的蒸散量^[16-17]:

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \quad (1)$$

ET_c 为时段内作物需水量, K_c 为相应时段的作物系数,指某阶段的作物需水量与相应阶段内的参考作物蒸散量的比值,本文参考前人研究成果^[18],确定河南省夏玉米各生育阶段作物系数见表1。 ET_0 为计算时段内的参考作物蒸散量,参考作物蒸散量指高度一致、生长旺盛、完全覆盖地面且水分供应充足的绿色草地的蒸散量,只与气象因素有关。本文采用联合国粮农组织(FAO)推荐的Penman-Monteith公式根据气象资料计算逐日参考作物蒸散量 ET_{0i} ,将逐日值进行累加,计算得到各个生育阶段的参考作物蒸散量: $ET_0 = \sum_{i=1}^n ET_{0i}$, n 为各生育阶段持续日数。 ET_{0i} 计算方法见公式(2),公式中各变量计算方法见参考文献^[19-20]。

$$ET_{0i} = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{t + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (2)$$

其中, R_n :地表净辐射($MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$); G :土壤热通量($MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$)(逐日计算公式中可以认为 $G=0$); t :2 m高度处的平均气温($^{\circ}C$); U_2 :2 m高度处风速($m \cdot s^{-1}$); e_a :饱和水汽压(kPa); e_d :实际水汽压(kPa); Δ :饱和水汽压曲线斜率($kPa \cdot ^{\circ}C^{-1}$); γ :干湿表常数($kPa \cdot ^{\circ}C^{-1}$)。

表1 各发育阶段划分及作物系数

Tab.1 The growth stage division and crop coefficients

发育阶段	时段划分	K_c
出苗—拔节	6月中旬至7月上旬	0.80
拔节—抽雄	7月中旬至7月下旬	1.10
抽雄—乳熟	8月上旬至8月下旬	1.35
乳熟—成熟	9月上旬至9月中旬	1.15

1.3 夏玉米水分亏缺量估算

夏玉米水分亏缺量即需水量与水分补给量的差值,由于本文仅考虑自然降水条件对夏玉米生育期需求的满足程度,因此忽略灌溉条件的影响,计算公式如下:

$$CWD = ET_c - R \quad (3)$$

CWD 为各生育阶段水分亏缺量, R 为阶段降水量总和。 CWD 为正值表示降水不足,不能满足夏玉米生长所需,为负值表示降水量有盈余。

2 结果分析

2.1 夏玉米各生育阶段需水量年际变化

计算全省1961~2011年各生育阶段夏玉米需水量(图1)。经检验出苗—拔节期平均需水量约120 mm,呈极显著下降趋势($\alpha=0.001$),平均每10 a下降4.2 mm;拔节—抽雄期平均需水量约105 mm,呈极显著下降趋势($\alpha=0.001$),下降速率为5.9 mm/10 a;抽雄—乳熟期是夏玉米需水量最多的阶段,平均170 mm,也呈极显著下降趋势($\alpha=0.001$),平均下降速率为8.5 mm/10 a;乳熟—成熟期为夏玉米生长末期,需水量较少,平均约75 mm,呈较显著下降趋势($\alpha=0.05$);夏玉米全生育期需水量多年在380~580 mm之间,平均约470 mm,亦呈极显著的下降趋势,平均每10 a下降20.7 mm。经统计,各阶段需水量变异系数差别不大,在10.3%~12.6%之间。

2.2 各生育阶段水分亏缺量年际变化

降水量是影响水分亏缺量变化的重要因素,降水量与气候变化紧密相关,经检验6~9月降水量与平均气温呈显著的负相关, $r=-0.3664$ ($P=0.05$)。1960年代至1980年代初期夏玉米生长季平均气温呈较明显的下降趋势,平均每10 a下降4.6 $^{\circ}C$,1980年代初期至1990年代末期,又以5.2 $^{\circ}C/10$ a的速率上升,2003年以后又呈一定的下降趋势。降水量呈相反的变化趋势,1985年之前呈不太明显的增加趋势,1985~1999年是一个明显减少的时期,之后有所增多,波动性也增大^[21]。

各生育阶段水分亏缺量变异系数最小值是乳熟—成熟期的50.7%,最大值是出苗—拔节期的86.7%,远超过各生育阶段需水量变异系数10.3%~12.6%的变化范围,这主要是受降水量年际波动较大的影响,也进一步说明了夏玉米生长水分需求是否满足存在很大不确定性。由图2可知,各个生育阶段水分亏缺量变化趋势均不显著。其中,出

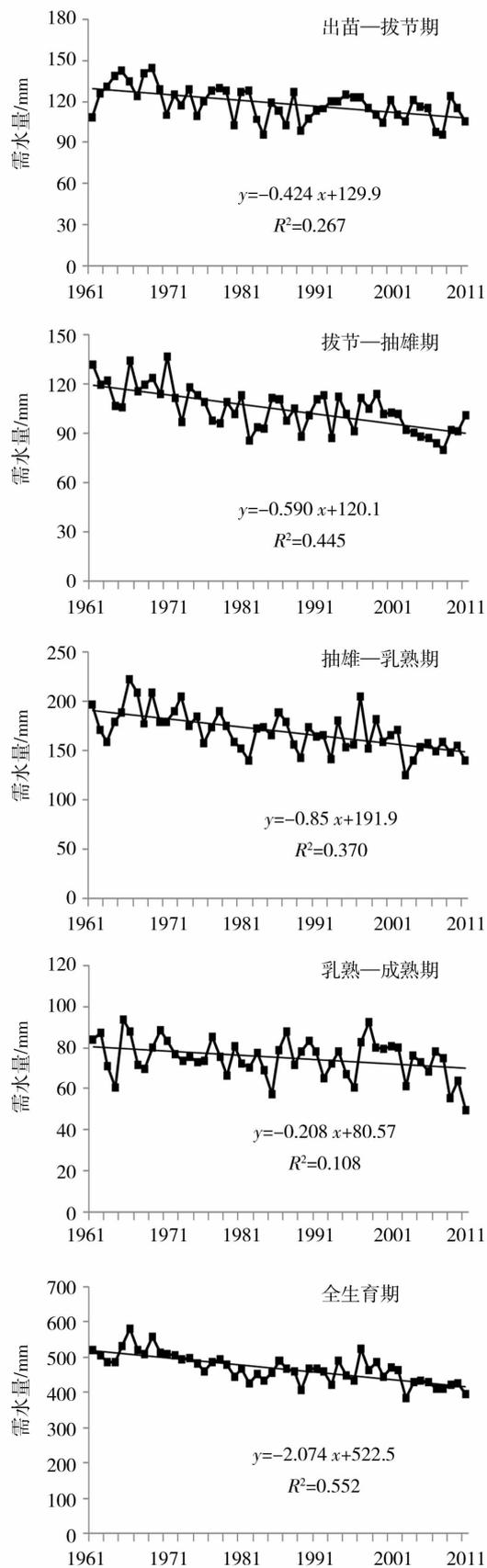


图1 各生育阶段夏玉米需水量年际变化
Fig. 1 The annual variation of water requirement of summer maize in different growth phase

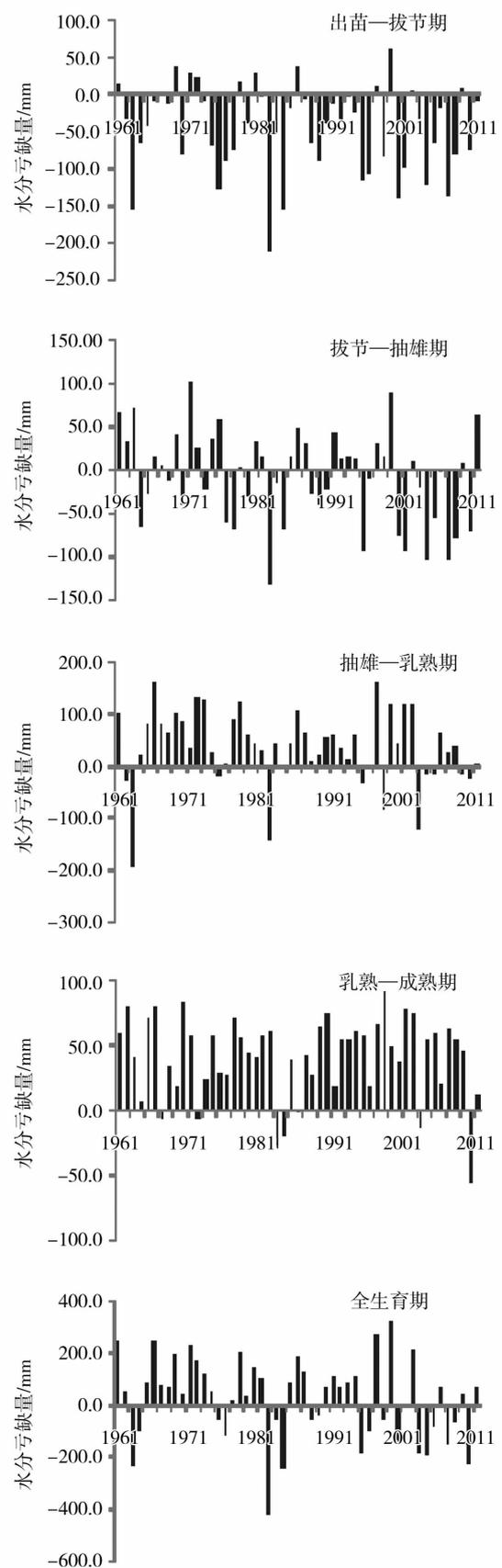


图2 各生育阶段夏玉米水分亏缺量年际变化
Fig. 2 The annual variation of water deficit of summer maize in different growth phase

苗一拔节期水分亏缺量以负值为主,有近75%的年份水分供应充足,靠自然降水就能满足夏玉米生长所需;拔节—抽雄期有近50%的年份水分供应不足,尤其是1971年,阶段降水量仅33.8 mm,造成水分亏缺102.9 mm,抽雄前是夏玉米需水关键期,常给玉米开花授粉带来严重威胁,造成花丝败育,影响穗粒数^[22],这一阶段水分亏缺量年际间正负交替十分明显,造成水分供给情况很不稳定;抽雄—乳熟期有78%的年份水分供应不足,这一时期是玉米籽粒灌浆的关键时期,缺水将明显降低百粒重^[23],由年际变化分析表明,水分亏缺量多年平均65.6 mm,亏缺最多的年份是1966年的165.3 mm;乳熟—成熟期水分亏缺的年份比例更大,超过86%,但由于这一阶段玉米接近成熟,本身对水分需求量不高,且后期充足的光照条件对营养物质转移,促进籽粒成熟更为有利,因此缺水对产量的影响并不是很严重。

从全生育期来看,水分亏缺量还是以正值为主,即有63%的年份降水量不能满足夏玉米生长所需,1980年代以前主要呈亏缺年型。近50 a水分亏缺和盈余的年份交替出现,尤其是1990年代后,这种交替现象更加明显,与降水量的年际波动大相关。夏玉米全生育期水分亏缺量平均124 mm,1990年亏缺最多达到326 mm,而1982年降水明显偏多,超过夏玉米全生育期需水量的近1倍。因此受降水量随机性影响,夏玉米各生育阶段水分供给不平衡,影响夏玉米正常生长,并且水分亏缺量年际间波动较大对夏玉米稳产也构成一定威胁。

2.3 各生育阶段需水量空间分布

根据各地夏玉米需水量50 a平均状况,绘制各生育阶段需水量空间分布图见图3。经检验,各地需水量大小与海拔高度呈显著的负相关,全生育期负相关系数为0.799,达极显著水平。其中,乳熟—成熟期夏玉米需水量与海拔高度相关性最高,相关系数0.832,最低的是拔节—抽雄期的0.461,也通过了0.05的显著性检验。出苗—拔节期夏玉米需水量总体呈由北至西南的递减趋势,西南部最低,大部分地区在110 mm左右,中部郑州和豫北安阳地区最高,超过130 mm。拔节—抽雄期需水量全省各地差异不大,最高值是豫南信阳的112 mm,最低值是豫北林州的95.8 mm,但与出苗—拔节期需水量分布形式大致相反,由南向西、向北逐步降低。抽雄—乳熟期空间分布形态与拔节—抽雄期类似,低值区主要分布在豫北安阳地区及豫西卢氏、栾川一带,在160 mm以下,豫南南阳、信阳等地需水量较高,在175 mm以上。乳熟—成熟期需水量较少,全

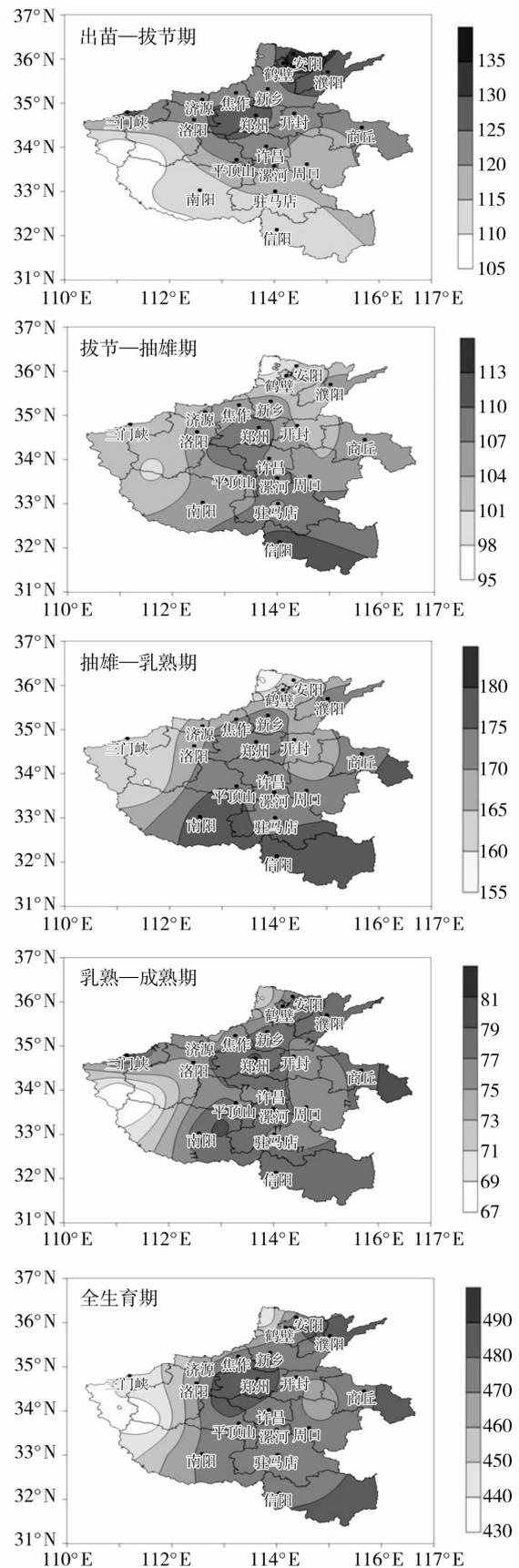


图3 不同生育阶段需水量空间分布图(单位:mm)
Fig. 3 Distribution of water requirement in different growth phase(Unit:mm)

省除豫西大部是低值区 < 70 mm 外,其他大部分地区在 70 ~ 80 mm 范围内变化,差异不大。

由全生育期需水量空间分布可知,低值区分布在豫西大部分地区及豫西北太行山脉等地,洛阳、南阳一线以西基本在 470 mm 以下,以东大部分地区在 470 ~ 490 mm 范围内。总体上,夏玉米全生育期需水量空间分布与地形有较大相关性,豫西豫北等山地丘陵高海拔地区需水量低,东部、东南部平原地区需水量高。

2.4 各生育阶段水分亏缺量空间分布

计算各地区夏玉米各生育阶段水分亏缺量,绘制空间分布图见图 4。出苗—拔节期水分亏缺量均为负值,即各地降水量多年平均能满足夏玉米苗期生长所需,其中豫南驻马店大部和南阳东部地区水分盈余较多,降水量高出需水量 50 mm 以上,豫西北三门峡、济源、洛阳东北部及豫北林州等地,这些地区地形复杂,多为山地丘陵,降水量偏少,但也基本能满足玉米生长所需;拔节—抽雄期,除豫北林州一带水分为负亏缺外,全省大致呈北亏南盈的分布形态,水分盈余较多的地区分布在驻马店、南阳等地及豫东商丘大部分地区,而豫西和豫西北大部分地区为水分不足,洛阳、济源一带水分亏缺量最多超过 20 mm;抽雄—乳熟期水分供需状况的分布形式与拔节—抽雄期类似,但是这一时期夏玉米生长耗水量大,全省表现为一致的降水供给不足,其中最高值洛阳北部和济源一带水分亏缺量达到 50 mm。乳熟—成熟期水分亏缺量各地均为正值,即降水条件不能满足玉米生长所需,水分亏缺程度大致呈北多南少的分布形式,低值区主要分布在豫西南南阳盆地,高值区位于豫中和豫北的大部分地区。

从全生育期水分亏缺量空间分布来看,各地供需状况仍是有正有负,其中水分亏缺为正值地区占 65%,即大部分地区降水供给不足,主要分布在豫西三门峡和豫西北大部分地区,以济源、洛阳东部和郑州西部地区亏缺最多,水分较充足的地区主要分布在漯河、南阳、驻马店等地。

全省水分亏缺比较大的地区,主要集中在豫西、豫西北和豫北的大部地区,豫北地区以平原为主,农田基础灌溉措施较好,可充分利用现有条件在夏玉米需水关键期进行灌溉,保障夏玉米正常生长。豫西北、豫西主要以山地丘陵为主,农田基础设施也较差,一方面应加强小型农田水利基础设施建设,调节蓄水,旱灌涝排,另外多采用低耗水的灌溉技术例如滴灌、喷灌等,节约水资源,提高水分投入产出比。在水资源严重不足又缺少灌溉条件的地区,应调整

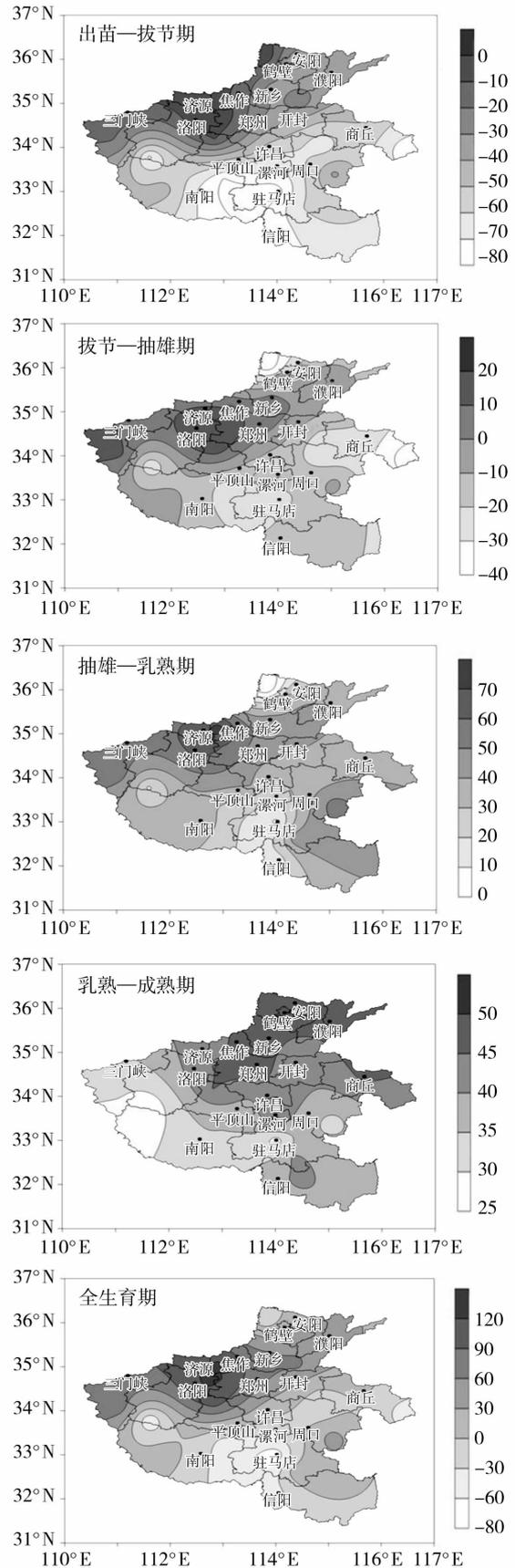


图 4 不同生育阶段水分亏缺量空间分布图(单位:mm)
Fig. 4 Distribution of water deficit in different growth phase(Unit:mm)

农业种植结构,尽量选种一些低耗水的作物,例如花生、高粱及向日葵等,减少作物对水的需求,缓解降水资源供给不足的矛盾。

3 结论与讨论

(1)近50 a夏玉米各生育阶段需水量均呈显著下降趋势,受降水随机性影响,各生育阶段水分亏缺量没有显著的变化趋势,出苗—拔节期水分亏缺量以负值为主,拔节—抽雄期正负各占一半,抽雄—乳熟期和乳熟—成熟期都是以正值为主,全生育期正值年份居多,但水分亏缺和盈余的年份交替出现。

(2)需水量的空间分布与各地区海拔高度呈显著负相关,豫西豫北等山地丘陵高海拔地区需水量低,东部、东南部平原地区需水量高。全生育期水分亏缺量高值区主要分布在豫西和豫西北大部分地区,以济源、洛阳东部和郑州西部地区亏缺最多,水分较充足的地区主要分布在漯河、南阳、驻马店等地。

(3)由于地域不同,热量条件有差异,各地夏玉米全生育期持续日数大多少于112 d,因此,本文中全生育期的作物需水量计算值可能会稍大于实际值,这是需水量计算误差的一个来源。而且每年受气象条件影响,夏玉米各发育阶段的持续日数也会不同,造成各阶段的需水量计算也存在一定误差。

(4)由于本文重点研究的是某生育阶段内的水分收支平衡,没有考虑降水的后延性,而实际作物生长过程中,上一生育期多余的降水会以土壤水分的形式保存下来,供作物生长所需。因此研究夏玉米各阶段是否受旱还需要全面考虑,这也是今后进一步研究的重点。

参考文献:

- [1] 陈怀亮,张雪芬.玉米生产农业气象服务指南[M].北京:气象出版社,1999.5-32.
- [2] 陈玉民,郭国双,王广兴,等.中国主要作物需水量与灌溉[M].北京:水利电力出版社,1995.
- [3] 李少昆,王崇桃.玉米高产潜力途径[M].北京:科学出版社,2010.

- [4] 李树岩,刘荣花,师丽魁,等.河南省近40 a气象干旱综合指数特征分析[J].干旱气象,2009,27(2):97-102.
- [5] 李玉霖,崔建垣,张铜会.参考作物蒸散量计算方法的比较研究[J].中国沙漠,2002,22(4):372-376.
- [6] 李鹏飞,孙小明,赵昕奕.近50年中国干旱半干旱地区降水量与潜在蒸散量分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(7):57-64.
- [7] 张高斌,郭建茂,吴元芝,等.山西万荣县近52 a气候特征及其与参考作物蒸散量和土壤湿度的关系[J].干旱气象,2011,29(1):94-98.
- [8] 吕厚钱,钱拴,杨霏云.华北地区玉米田实际蒸散量的计算[J].应用气象学报,2003,14(6):722-728.
- [9] 赵鸿,李凤民,熊友才,等.土壤干旱对作物生长过程和产量影响的研究进展[J].干旱气象,2008,26(3):65-71.
- [10] 庄晓翠,张林梅,阿志肯,等.阿勒泰地区暖季蒸发变化特征及与气象因子的关系[J].干旱气象,2009,27(3):213-218.
- [11] 杨贤,谷永利,郝立生.河北省农作物发育期降水量时空分布特征[J].干旱区资源与环境,2012,26(8):124-130.
- [12] 高晓容,王春乙,张继权,等.近50年东北玉米生育阶段需水量及早涝时空变化[J].农业工程学报,2012,28(12):101-110.
- [13] 许莹,马晓群,吴文玉.气候变化对安徽省主要农作物水分供需状况的影响[J].气候变化研究进展,2012,8(3):198-204.
- [14] 王婧,逢焕成,任天志,等.黄淮海地区主栽作物水分供需平衡分析[J].灌溉排水学报,2010,29(5):106-109.
- [15] 程维新,胡朝炳,张兴权.农田蒸发与作物耗水量研究[M].北京:气象出版社,1994.
- [16] 钟兆站,赵聚宝,郁小川,等.中国北方主要旱地作物需水量的计算与分析[J].中国农业气象,2000,21(2):1-5.
- [17] 左余宝,田昌玉,唐继伟,等.鲁北地区主要农作物不同生育期需水量和作物系数的试验研究[J].中国农业气象,2009,30(1):70-73.
- [18] “华北平原作物水分胁迫与干旱研究”课题组.作物水分胁迫与干旱研究[M].郑州:河南科学技术出版社,1990.
- [19] 毛飞,张光智,徐祥德.参考作物蒸散量的多种计算方法及其结果的比较[J].应用气象学报,2000,11(增刊):119-224.
- [20] 刘钰,Pereira L S,Teixeira J L,等.参照蒸发量的新定义及计算方法对比[J].水利学报,1997(6):27-33.
- [21] 李树岩,方文松,马志红.河南省夏玉米生长季农业气候资源变化分析[J].河南农业科学,2012,41(7):21-26.
- [22] 郭庆法,王庆成,汪黎明.中国玉米栽培学[M].上海:上海科学技术出版社,2004.
- [23] 庄严,梅旭荣,龚道枝,等.华北平原不同基因型夏玉米水分—产量响应关系[J].中国农业气象,2010,31(1):65-68.

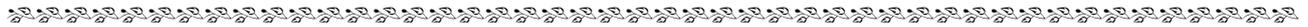
Temporal and Spatial Variation About Water Requirement During Growth Season of Summer Maize in He'nan Province

LI Xiping

(Hebi Meteorological Bureau of He'nan Province, Hebi 450003, China)

Abstract: Water is one of the important factors that restricts high and stable yield of summer maize in He'nan Province. The water requirement and water deficit of summer maize in different growth stage were calculated by using the daily meteorological data in 30 agrometeorological observation stations from 1961 to 2011, and the temporal variation characteristics were analyzed in recent 50 years. The results show that the water requirement of summer maize in different growth stage decreased significantly, and the water deficit had no significant change. The positive water deficit value means water undersupply and negative value means water surplus. The analysis about water deficit in different growth stage showed it was negative value mainly from sprouting stage to stem extension stage, and positive value mainly from heading stage to milk stage and from milk stage to maturity stage. The water requirement in different growth stage of summer maize had significantly negative correlation with altitude, and the negative correlation coefficient of the whole growth period was 0.799. The water deficit in different growth stage had some similarity, the water deficit area mainly distributed in the west and mostly northwest of He'nan, and the sufficient water area mainly distributed in Luohe, Nanyang and Zhumadian, etc.

Key words: water requirement; water deficit; temporal and spatial variation; summer maize



(上接第 777 页)

Comprehensive Analysis of a Severe Hail in the Middle Section on Northern Slope of Tianshan Mountain in Xinjiang

WEI Yong¹, PENG Jun², RESULI Abula³, WANG Cunliang¹, CHEN Jianmin¹

(1. Shihezi Meteorological Bureau of Xinjiang, Shihezi 832000, China; 2. Bazhou Meteorological Bureau of Xinjiang, Korla 841001, China; 3. Xinjiang Uygur Autonomous Region Modification Office, Urumqi 830002, China)

Abstract: Based on the conventional data, the NCEP reanalysis data, the data of automatic weather station and the CINRAD/CC data in Shihezi, a severe hail event occurred in the middle section on northern slope of Tianshan mountain in Xinjiang on 11 July 2010 was analyzed. The results show that this hailing process happened under Balkhash Lake vortex circulation background. Favorable vapor conditions, unstable convection, suitable height of 0 °C and -20 °C layers and strong vertical wind shear promoted the generation and development of severe convection weather. Meanwhile, the special terrain and thermal instability at the border of the mountain and plain played an important role in triggering convective storm and further forming hail storm. Through the analysis of the Doppler radar products PUP; on the combined reflectivity factor (CR) chart, there was a strong convective cell where the echo was more than 50 dBZ and the intensity of echo was 63 dBZ in the center. The reflectivity section (RCS) showed the height of 60 dBZ strong echo had run up to 5 km as well as the height of 50 dBZ strong echo up to 7.3 km, and there was a strong echo wall with the top reaching to 12 km. The height of 50 dBZ strong echo was much higher than the -20 °C layer height, which was beneficial to the formation of hail. On the average radial velocity maps, there was a mesocyclone before the hail coming, which maintained and strengthened convective storm. And there were convergence at the lower level and divergence at the upper level in the hail area. The leap increase of VIL and the density of VIL more than $3.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ were the good condition for the hailstorm formation.

Key words: radar echo; local strong convection; weather situation; convection parameters