

天水苹果发育模拟模型研究

胡利平^{1,2}, 裴古娥³, 姚延锋¹, 安晶¹, 刘晓强¹

(1. 甘肃省天水市气象局, 甘肃 天水 741018; 2. 甘肃省天水农业气象试验站, 甘肃 天水 741020;

3. 武山县气象局, 甘肃 武山 741300)

摘要:以苹果的发育生理生态过程为基础,以生理发育时间为尺度,利用天水河谷区麦积试验点的数据,建立了苹果发育模拟模型,并用渭北区秦安和关山区清水点观测数据对模型进行了检验。结果表明,模型能较好地预测各个发育阶段(叶芽膨大期、叶芽开放期、展叶盛期、开花盛期、果实成熟期、叶变色始期)的出现时间和持续日数。模型对苹果各个生育时期的绝对预测误差一般小于7 d,模拟值与观测值的回归估计标准误差(RMSE)在到达叶芽开放期、展叶盛期、开花盛期、果实成熟期、叶变色始期等生育时期时分别为2.4、0.9、2.7、4.0、4.0 d;各个发育阶段持续天数的预测误差分别为2.4、2.0、2.3、4.0、3.4 d。

关键词: 天水; 苹果; 发育阶段; 模拟模型

中图分类号: S661.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)01-0237-06

果树生产在世界多数国家的农业生产中占据重要的位置,在经济发达国家中占有的份额更高。目前很多经济发达的国家以果树的各模型作为技术支持,如对生育期的预测、病虫害的控制、树形与果树生产能力预测等,已在生产中取得了很好的效果^[1]。苹果是我国北方的主要果树,早在20世纪70年代中期,人们就已经发现西北黄土高原地区的苹果品质超群,优于东部老苹果产区。其中,天水“花牛”苹果以其形美、色鲜、味佳而闻名于世。其各项品质指标均在全国苹果品质鉴定评比中名列前茅,曾多次夺魁。目前,天水果园面积已发展到12万hm²,产量7亿kg,实现产值10亿元。2006年,在北京举办的“2008北京奥运推荐果品评选”活动中,“花牛”苹果荣获“中华名果”称号,并已成为中国果品产业中的一颗耀眼明珠^[2,3]。

苹果的不同生育阶段是其周年生长中不同的重要物候阶段,它与其所处的光温条件紧密相关。目前,对物候学的研究方向主要集中在探讨物候与气候变化之间的关系^[4-10],并以此构建预测模型。有效积温(GDD)和生理发育时间是常用的2种对作物生育期的预测方法。自1735年Reaumur提出积温模型以来,国内外已发展了许多模型^[11-13],用来预测植物的生育期,而依据时间性与环境因子关系的科学^[14],根据植物发育对光温的反应规律,采用生理发育时间预测苹果生育期方面的文章尚少见报道。本文利用生理发育时间,进行苹果的生育期模

拟模型研究,并用不同栽培地点的苹果观测数据对模型进行检验,这对于更好地预测、鉴定气候变化条件下苹果生长期的变化,模拟苹果生育期对气候变化的响应,科学地管理苹果生产,监测、保护苹果生态环境等方面都具有重要的理论和现实意义。

1 资料来源与试验方法

试验于2007年3月~10月分别在水果渭北区的秦安县、河谷区的麦积区和关山区的清水县进行,以元帅系列为观测品种,试验点设在气象站附近的苹果园。试验期间,采用农业气象观测规范果树分册^[15]观测方法和技术规定,观测苹果的发育状况,记载各个生育时期出现的日期。本试验对苹果的发育期主要划分为6个阶段:叶芽膨大期、叶芽开放期、展叶盛期、开花盛期、果实成熟期和叶变色期,并利用麦积、秦安、清水县(区)林业局近10年(1998~2007年)的苹果物候资料,统计得到物候期(表1)。气象资料取自当地气象站的逐日平均温度、日照资料。

2 模型的描述

2.1 生理发育时间的计算

生理发育时间(Physiological development time, PDT)是指在最适温光条件下,作物完成某一生育阶段所需的时间。作物在最适的温光条件下生长1 d定义为1个生理发育日,其一个生理发育日等于1

收稿日期:2009-04-27

基金项目:科技部科研院所社会公益研究项目“西北地区旱作农业对气候变暖的响应特征及其预警和应对技术研究”(GYHY20080621)

作者简介:胡利平(1960—),男,山西大同人,工程师,主要从事农业应用气象研究工作。E-mail:hliping85@Tom.com。

个自然日,单位为“天(d)”；当作物在非最适温光条件下生长时,1个生理发育日就小于1个自然日。对于某一特定基因型品种,完成某一特定的生育阶段所需的生理发育时间基本恒定。由于作物的发育主要受温度和光照条件的影响,其生理发育时间的计算就是将作物在实际的温度和光照条件下生长所需的时间转换成其在最适宜的温度和光照条件下生长所需的时间。将作物在实际温度条件下生长1d与在最适宜温度条件下生长1d的比例定义为每日相对热效应(Relative thermal effectiveness, RTE)；作

物在实际光照条件下生长1d与在最适宜光照条件下生长1d的比例定义为每日相对光周期效应(Relative photoperiod effectiveness, RPE)；作物在实际温光条件下生长1d与1个生理发育日的比例定义为每日相对生理发育效应(Relative physiological development effectiveness, RPDE)。作物完成某一特定的发育阶段所需的生理发育时间为该阶段每日相对生理发育效应的累积总和。每日相对生理发育时间可以根据作物发育所需的三基点温度与临界光周期和最适宜光周期来计算。

表 1 天水苹果到达各个生育时期的形态标准及物候期(1998~2007)

Table 1 The morphologic standard and phenophase of apple at different development stages in Tianshui(1998~2007)

生育期 Development stage	形态标准 The standard of tomato shape	物候期(M-d) Phenophase stage		
		秦安 Qin'an	麦积 Maiji	清水 Qinghui
叶芽膨大期 Leaf bud expanding	鳞片错开,鳞片上出现颜色较浅的部分 The lamella staggers, on the lamella the new color of tint shallow part	03-23	03-19	03-26
叶芽开放期 Leaf bud opening	芽进一步膨大,鳞片裂开,顶端幼叶露出了绿色的叶尖 The bud further expands, the lamella splits, the peak young leaf has revealed the green apex	04-03	03-28	04-06
展叶盛期 Leaf unfolding peak	有半数枝条上的小叶完全展开 Small leaves on half of branches unfold completely	04-15	04-10	04-19
开花盛期 Flowering peak	有半数以上的花蕾都展开花瓣 More than half flower buds expand the petal	04-26	04-16	05-06
果实成熟期 Fruit mature period	果实出现该品种的特有颜色和口味 The fruit has its variety's unique color and taste	08-30	08-26	09-08
叶变色始期 Leaf starting to change color	秋季第一批叶子绿色减退开始变黄 The first batch of green leaves starts to turn yellow in autumn	10-19	10-22	10-15

注:形态标准见参考文献[15]。

Note: The standards of tomato shape based on references [15].

本模型采用三段线性函数计算每日相对热效应 RTE,即在发育下限温度与最适下限温度之间,热效应随着温度的升高呈线性增加,在最适下限温度与最适上限温度之间,热效应保持最大值1,在最适上限温度与发育上限温度之间,热效应随着温度的升高呈线性下降,在发育下限温度以下或发育上限温度以上,热效应为0,即每日相对热效应 RTE 的值在0~1之间变化(图1)。每日相对热效应 RTE 与温度(T)的关系可用公式(1)表示。

$$RTE = \begin{cases} 0 & (T \leq Tb) \\ (T - Tb)/(Tob - Tb) & (Tb < T < Tob) \\ 1 & (Tob \leq T \leq Tou) \\ (Tm - T)/(Tm - Tou) & (Tou < T \leq Tm) \\ 0 & (T > Tm) \end{cases} \quad (1)$$

式中,Tob为发育最适下限温度;Tou为发育最适上限温度;Tb为发育下限温度;Tm为发育上限温度;T为日平均温度。每日相对光周期效应 RPE 与日长

(DL) 的关系可用公式(2) 计算。

$$RPE = \begin{cases} 0 & (DL \leq DLc) \\ (DL - DLc)/(DLo - DLc) & (DLc < DL < DLo) \\ 1 & (DL \geq DLo) \end{cases} \quad (2)$$

式中,DLc为发育的临界日长;DLo为发育的最适日长。日长 DL可由公式(3)~(6) 计算得出^[16]。

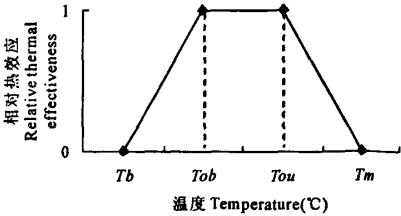


图 1 相对热效应与温度的关系

Fig.1 Relationship between temperature and relative thermal effectiveness

$$DL = 12 \left[1 + \left(\frac{2}{\pi} \right) a \sin \left(\frac{a}{b} \right) \right] \quad (3)$$

其中: $a = \sin\lambda \times \sin\delta$

$$b = \cos\lambda \times \cos\delta \tag{4}$$
$$\sin\delta = -\sin\left(\frac{23.45 \times \pi}{180}\right) \times \cos\left[\left(\frac{2\pi(DAY + 10)}{365}\right)\right] \tag{5}$$
$$\cos\delta = \sqrt{1 - \sin\delta \times \sin\delta} \tag{6}$$

其中, DAY 是一年中的日序(1月1日为1,12月31日为365); λ 为地理纬度; δ 为太阳赤纬。麦积的地理纬度 34.34°N , 秦安的地理纬度为 34.52°N , 清水地理纬度为 34.45°N 。本模型将苹果的全生育期划分为叶芽膨大期、叶芽开放期、展叶盛期、开花盛期、果实成熟期和叶变色期 6 个生育阶段, 不同发育阶段所需温、光界限, 借鉴相关文献^[16-24]并结合天水果树研究所试验资料确定(见表 2)。其中, 果实成熟期受光温共同影响, 发育速率由每日相对热效应 (RTE) 和

每日相对光周期效应 (RPE) 共同决定, 其它阶段均忽略光周期的影响, 发育速率只由每日相对热效应 (RTE) 决定。因此, 每日相对生理发育效应 ($RPDE$) 可以用公式(7) 计算。

$$RPDE = \begin{cases} RTE & (PDT \leq A) \\ RTE \times RPE & (A < PDT < B) \\ RTE & (PDT \geq B) \end{cases} \tag{7}$$

式中, A 为完成开花盛期所需的生理发育时间; B 为从叶芽膨大期到果实成熟期所需的生理发育时间。生理发育时间 PDT 为每日相对生理发育效应 $RPDE$ 的累积, 可以用公式(8) 计算。公式(7) 中 A 和 B 是需要根据实际情况用模型来调试的 2 个模型参数, 具体确定方法在 3.1 中描述。

$$PDT = \text{SUM}(RPDE) \tag{8}$$

表 2 苹果各生育时期的三基点温度和光周期界限

Table 2 Limit values of minimum, optimum and maximum temperature and light at different development stages

生育期 Development stage	T_b ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{ob} \sim T_{ou}$ ($^{\circ}\text{C}$)	T_m ($^{\circ}\text{C}$)	DL_c	DL_o
叶芽膨大期 Leaf bud expanding	4	5 ~ 7	12	—	—
叶芽开放期 Leaf bud opening	5	7 ~ 10	15	—	—
展叶盛期 Leaf unfolding peak	8	12 ~ 20	20	—	—
开花盛期 Flowering peak	15	17 ~ 25	26	—	—
果实成熟期 Fruit mature period	14	20 ~ 22	28	8	10
叶变色始期 Leaf color starting to change	13	15 ~ 18	20	—	—

注: T_b , 下限温度; T_{ob} , 最适下限温度; T_{ou} , 最适上限温度; T_m , 上限温度; DL_c , 临界日照; DL_o , 最适日照。

Note: T_b , T_{ob} , T_{ou} and T_m are the minimum, the lower optimum, the upper optimum and the maximum temperature, respectively. DL_c and DL_o are the critical sunshine and optimum sunshine

2.2 模型检验方法

采用检验模型时常用的统计方法回归估计标准误差(Root mean squared error, RMSE)对模拟值和观测值之间的符合度进行统计分析。RMSE 值越小, 模拟值与观测值的一致性越好, 模拟值和观测值之间的偏差越小, 即模型的模拟结果越准确、可靠。因此, RMSE 能够很好地反映模型模拟值的预测性, 其计算公式为:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \tag{9}$$

式中, X_i 为实际观测值, 也就是达到某个生育时期的天数; Y_i 为模型模拟值; n 为样本容量。

3 结果与分析

3.1 苹果完成各个生育时期所需的生理发育时间

利用河谷区麦积点的观测数据, 采用公式(1) ~ (8)计算出苹果到达各个生育阶段所需要的生理发育时间(表 3), 从叶芽膨大到叶芽开放期、展叶盛期、开花盛期、果实成熟期、叶变色始期等各生育时期, 分别需要 14、23、37、163 和 197 个生理发育日, 公式(7)中的 A 为 37 d, B 为 163 d。

表 3 苹果达到各个生育时期所需的生理发育时间

Table 3 Physiological development time of apple at different development stages

生育时期 Development stage	叶芽膨大期 Leaf bud expanding	叶芽开放期 Leaf bud opening	展叶盛期 Leaf unfolding peak	开花盛期 Flowering peak	果实成熟期 Fruit mature period	叶变色始期 Leaf color starting to stage change
生理发育时间(d) PDT (d)	0	13	23	37	163	211

3.2 模型检验

利用秦安、清水点的试验资料及麦积、秦安、清水县(区)林业局提供的(2005~2007年)相关物候生育期资料对模型进行检验。根据表3中到达各生育时期所需的生理发育时间,反演得出渭北区秦安和关山区清水试验点苹果到达各生育时期的实际日期(用叶芽膨大期后天数表示),即公式(9)中的模拟值。苹果到达各生育时期的模拟预测值与实际观测数据的比较结果见图2。

由图2可以看出,模型对苹果各个生育时期的绝对预测误差一般小于7d,模拟值与观测值的回归统计标准误差RMSE在到达叶芽开放期、展叶盛期、开花盛期、果实成熟期、叶变色始期等生育时期时分别为2.4、0.9、2.7、4.0、4.0d。苹果各生育时期持续天数的模拟值与实际观测值及其预测误差如表4所示。由表4可以看出,叶芽开放期、展叶盛期、开

花盛期、果实成熟期、叶变色始期的持续天数的预测误差分别为2.4、2.0、2.3、4.0、3.4d。

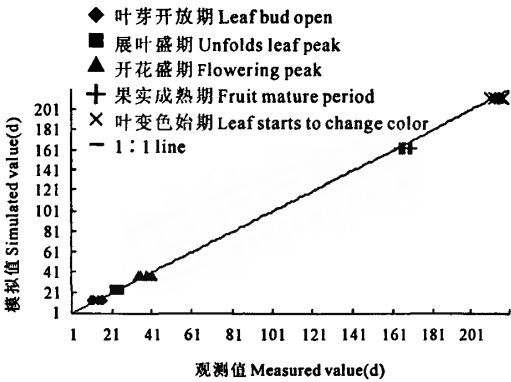


图2 苹果各主要生育时期模拟值与观测值的比较
Fig.2 Comparison between simulated and measured values of apple at different development stages

表4 麦积、秦安、清水苹果各生育期持续天数的模拟值与观测值及预测误差(实测值-模拟值)

Table 4 Simulated and measured duration at different development stages of apple and their prediction errors in Maiji, Qin'an and Qingshui (measured - simulated)

生育时期 Development stage	项目 Items	麦积 Maiji			秦安 Qin'an			清水 Qinghui			RMSE
		2005	2006	2007	2005	2006	2007	2005	2006	2007	
叶芽开放期 Leaf bud opening	观测值 Measured value(d)	14	14	10	15	16	11	16	16	11	2.4
	模拟值 Simulated value(d)	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
	误差 Error (d)	1	1	-3	2	3	-2	3	3	-2	
展叶盛期 Leaf unfolding peak	观测值 Measured value(d)	9	8	12	9	8	12	8	8	13	2.0
	模拟值 Simulated value(d)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	误差 Error (d)	-1	-2	2	-1	-2	2	-2	-2	3	
开花盛期 Flowering peak	观测值 Measured value(d)	11	13	12	11	14	11	16	17	15	2.3
	模拟值 Simulated value(d)	14	14	14	14	14	14	14	14	14	
	误差 Error (d)	-3	-1	-2	-3	0	-3	2	3	1	
果实成熟期 Fruit mature period	观测值 Measured value(d)	131	129	130	130	128	131	130	128	129	4.0
	模拟值 Simulated value(d)	126	126	126	126	126	126	126	126	126	
	误差 Error (d)	5	3	6	4	2	5	4	2	3	
叶变色始期 Leaf color starting to change	观测值 Measured value(d)	52	52	50	49	50	47	45	44	42	3.4
	模拟值 Simulated value(d)	48	48	48	48	48	48	48	48	48	
	误差 Error (d)	4	4	2	1	2	-1	-3	-4	-6	

4 讨 论

由于苹果栽培的地域性广泛,导致其温度和光照条件差异很大。用有效积温理论预测作物发育时期,一方面没有考虑日长对发育速率的影响;另一方面假定发育速率与气温在发育的上、下限温度之间遵循同一线性关系,而没有考虑高温对发育的迟滞作用。此外,在作物发育的最适下限和最适上限温度之间,发育速率是不变的,而相应的有效积温却有

很大变化。特别是当环境温度在发育的最适下限温度与最适上限温度之间时,发育速率基本保持在最大值不变,而当环境温度在最适上限温度与发育上限温度之间时,发育速率随温度升高而下降。因此,用有效积温法预测作物发育,在发育的最适下限温度与最适上限温度范围内会给出不同的发育速率,而在最适上限温度与发育上限温度范围内则不能正确预测高温条件对发育的迟滞作用,从而导致较大的预测误差。本研究结果表明,利用生理发育时间

作为苹果的生理发育尺度,克服了有效积温法的局限性,综合考虑了光照和不同温度对发育的影响,比积温法更具有机理性和解释性,但是,模型的普适性则需要更多不同地点的试验资料来进一步证明。用有效积温法虽有一定的局限性,但用有效积温法预测作物发育速率具有简单易操作的特点。在实际生产中,特别是大田作物生产中环境温度处于作物最适宜温度以下时(此时作物发育与温度呈线性关系),有效积温法仍不失为行之有效的预测作物生育期的方法。本文在计算每日热效应时,假定苹果的发育速率在发育下限温度和最适温度下限之间与温度呈正线性相关,在最适温度上限和发育上限温度之间与温度呈负线性相关。是否符合这种线性关系,还需要进一步研究控制环境下不同温度对苹果发育速率的影响才能明确。同样,在计算每日光周期效应时,本模型假定日长在临界日长和最适日长之间时,发育速率与日长线性相关。这与事实是否相符,也需要进一步在控制环境下的试验研究来证实和修订。此外,苹果的生长发育,不仅受到温光的影响,同时还受到品种遗传特性的影响。要提高模型对不同基因型苹果品种发育的预测精度,还需要进一步在控制环境下进行不同基因型品种比较试验来完善模型对不同基因型的品种普适性。

5 结 论

根据特定基因型品种的生理发育时间恒定的原理,本研究量化了苹果到达各个生育时期的生理发育时间,构建了苹果发育模拟模型,提高了模型模拟的精度,同时使模型更具有解释性和机理性。苹果发育模拟模型的建立,能够更好地为苹果的栽培管理提供理论依据和决策支持。

参 考 文 献:

- [1] 孙志鸿,孙忠富,杨朝选,等.果树生态生理数学模拟的研究进展和应用[J].果树学报,2005,22(4):361—366.
- [2] 余优森,蒲永义,林日霞.渭北黄土高原苹果优生层气候带分析[J].自然资源学报,1988,3(4):312—322.
- [3] 天水市统计局.天水农村统计年鉴[M].兰州:甘肃人民出版社,2007.
- [4] 陆佩玲,于强.气候变化对植物物候影响的研究进展[J].资源科学,2004,26(1):129—136.
- [5] Ahas R, Jaagus J, Aasa A. The phenological calendar of Estonia and its correlation with mean air temperature[J]. Int. J. Biometeorol, 2000,44(4):159—166.
- [6] Chmielewski FM, Rotzer T. Response of tree phenology to climate change across Europe[J]. Agric. For. Meteorol, 2001,108(2):101—112.
- [7] Kramer K, Leinonen I, Loustau D. The importance of phenology for the evaluation of impact of climate change on growth of boreal, temperate and Mediterranean forests ecosystems: An overview[J]. Int. J. Biometeorol, 2000,44(2):65—75.
- [8] Menzel A, Fabian P. Growing season extended in Europe[J]. Nature, 1999,397(6721):659.
- [9] Schwartz MD, Reiter BE. Changes in North American spring[J]. Int. J. Climatol, 2000,20(8):929—932.
- [10] Snyder RL, Spano D, Duce P, et al. Temperature data for phenological models[J]. Int. J. Biometeorol, 2001,45(4):178—183.
- [11] Chmielewski FM, Rotzer T. phenological trends in Europe in relation to climatic changes[J]. Agrarmeteorol Schr Heft, 2000,7:15.
- [12] Menzel A, Estrella N, Fabian P. Spatial and temporal variability of the phenological seasons in Germany from 1951—1996[J]. Global Change Biol, 2001,7:657—666.
- [13] 田雪亮,胡小平,杨家荣.苹果叶片生长模拟模型的建立[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,(4):111—115.
- [14] Lieth H. Phenology and Seasonality Modelling[M]. New York: Springer Verlag, 1974.
- [15] 中国气象局.农业气象观测规范(果树分册)[M].北京:气象出版社,1993.
- [16] Goudriaan J, van Laar H H. Modelling Potential Crop Growth Processes Textbook with Exercises[M]. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1994:71—77.
- [17] 张光伦.苹果学[M].北京:中国农业出版社,1999:265—2702.
- [18] 陆秋农.我国元帅系苹果品质与气象条件关系的研究[J].园艺学报,1987,14(2):73—79.
- [19] 河北农业大学,西北农学院,甘肃农业大学.果树栽培学各论(全国高等农业院校试用教材,北方本,上册)[M].北京:农业出版社,1981.
- [20] 余优森,蒲永义.苹果品质与气象条件关系的研究[J].气象,1987,17(3):22—26.
- [21] 邓振镛.高原干旱气候作物生态适应性研究[M].北京:气象出版社,2005.
- [22] 赵政阳,李丙智,冯月秀,等.黄土高原果树栽培[M].西安:陕西科学技术出版社,1994.
- [23] 潘瑞炽,董愚得.植物生理学[M].北京:高等教育出版社,1987.
- [24] 栖霞.苹果栽培需要的温度条件[N].陕西科技报,2007—01—26(002).

Simulation of the development of apple in Tianshui

HU Li-ping^{1,2}, PEI Gu-e³, YAO Yan-feng¹, AN Jing¹, LIU Xiao-qiang¹

(1. Tianshui Meteorological Bureau, Tianshui, Gansu 741018, China; 2. Agrometeorological Experiment Station of Tianshui, Tianshui, Gansu 741020, China; 3. Meteorological Bureau of Wushan, Wushan, Gansu 741300, China)

Abstract: Using experimental data in Maiji area of Tianshui in the valley of Weihe River, a simulation model for apple development was developed based on the concept of physiological development time (PDT) and the photo-thermal reactions of apple in Tianshui. The model was validated by independent experimental data from Qin'an of the north of Wei River and Qingshui of the area of Guanshan Mountains. The results showed that the model could predict better the time of emergence and the sustained number of days of various developmental stages simulated results agreed well with the measured ones. The absolute forecast error of the model is typically less than 7 days in the various development stages of apple, the root mean squared error (RMSE) of simulated and observed values is respectively 2.4, 0.9, 2.7, 4.0, 4.0 days when apple reaches leaf bud open, unfolds leaf peak, flowering peak, fruit mature period and leaf starts to change color development period, the forecast error of sustained the number of days in various development stages is respectively 2.4, 2.0, 2.3, 4.0, 3.4 days.

Keywords: Tianshui; apple; physiological development time; simulation model

(上接第 236 页)

Climatic characteristics of drought and it's influence on agriculture in Gansu Province in the past 58 years

LIN Jing-jing, SHEN En-qing, LIU De-xiang

(1. Institute of Arid Meteorology of China Meteorological Administration, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of CMA, Lanzhou, Gansu 730020; 2. Lanzhou Regional Climate Center, Lanzhou, Gansu 730020, China)

Abstract: The frequency and range of yearly spring drought were calculated based on the data of precipitation in spring season (March to April) of 1951 – 2008 from 80 meteorological observations in Gansu Province. The precipitation anomaly percentage was the measure of spring drought. The following results were obtained: Gansu had a high frequency of spring drought that ranged from 30 to 50 percent. The frequency of spring drought in Hexi Corridor was from 40 to 50 percent. In the north of Longzhong and Longdong regions, the frequency was nearly 40 percent. In the south of Longzhong, Longnan and Gan'nan plateau, the frequency was nearly 30 percent. The frequency of spring drought in Gansu Province and in Hexi Corridor, Longdong, Longnan regions showed increasing trend, but it showed smooth trend in Longzhong. The number of spring drought was on rapid increase over the province and in different regions from 2000 to 2008. In the past 58 years, the yearly variations of spring drought range showed gradually expanding trend in Longdong and Longnan regains and the whole province, but showed gradually narrowing trend in Hexi Corridor and Longzhong regions.

Keywords: Gansu Province; frequency of spring drought; change of spring drought; agriculture