# 苹果极端气象灾害气温极值的分布及重现期预测

李美荣[1,2],李星敏[3],柏秦凤[2],张维敏[2]

(1.南京信息工程大学,江苏 南京 210014; 2.陕西省经济作物气象服务台,陕西 西安 710014;
3.陕西省气象科学研究所,陕西 西安 710014)

**摘 要**:研究气温极值的分布以预测重现期是客观评价出现在农作物关键期的极端气象灾害强度的一种方法。本研究以苹果为例,根据苹果严重气象灾害指标,利用陕西种植区代表站逐日气温数据,建立了苹果开花期严重冻害(4月最低气温 < -2℃)和果实膨大期严重高温热害(6~8月最高气温 > 40℃)气温极值的分布模型及重现期预测,对北扩地区苹果树越冬期冻害频次进行了分析。结果表明:陕北、渭北局部10 a的重现期出现开花期严重冻害,在100 a的重现期中不会出现严重高温热害;关中、渭北大部分地区40~50 a的重现期出现严重冻害,30~80 a的重现期出现严重高温热害;相同重现期陕北、渭北局部极端最低气温和极端最高气温均明显低于关中、渭北大部分地区;在苹果北扩基地县中,甘泉、米脂、吴起、志丹、子洲平均每年越冬期都出现低温,米脂、吴起、志丹越冬期低温频次出现较多,达2~3次/a。

**关键词**:苹果;气象灾害;气温极值;分布模型;重现期

**中图分类号**:S661.1; S161.2 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-7601(2012)03-0257-05

农作物生命活动的各个过程都需在一定的温度范围内进行。在三基点温度范围之内,农作物进行生长发育,高于或低于作物相应物候期的基点气温对作物产生不同程度的危害,直至死亡。极端温度通常接近作物受害或致死的最高与最低温度指标,对作物气象灾害的发生起着重要的触发作用。

近百年来全球气候正经历一次以变暖为主要特征的显著变化。全球大部分陆地地区极端冷事件发生频率逐渐减少,而极端暖事件发生频率明显增加[1]。IPCC评估报告把天气与气候极端事件分为四类,其中位居首位的就是极端温度事件。对极端温度的研究集中在对其定义的分析,目前的研究还关注极端温度事件趋势。已有研究表明,1951年以来中国大陆地区极端气候事件频率和强度发生了一定变化,但不同类型和不同区域极端气候变化存在明显差异。在最近40~50 a中,部分区域的极端最低温度和平均温度有明显上升,尤其以北方冬季更为突出。而天气气候极值往往出现于非正态分布的气象要素序列中。基于正态假设的极值诊断理论来估计其特征量显然会产生较大偏差,影响分析结果的可信度。因此,完全忽视气象观测资料的偏态分布特征所得的结论还有待商榷[2]。概率分布理论是研究极值最重要的理论基础。一切统计诊断分析、统计检测和推断、统计预测,其理论前提都离不开基本的统计模型——概率分布模式。气候概率分布模式往往是由实测资料所得频率分布(样本分布)在足够长时间所测得的大样本资料条件下的一种(极限)理论分布[3]。对于气象灾害出现次数或日数的研究,前人曾利用Poisson分布模型对暴雨次数或日数的出现概率做过有益的探讨[4-5]。气候极值作为一种极端情况,针对农作物关键生育期敏感气象要素,利用极值理论及分析方法研究分布、强度,计算相应要素气候极值概率分布函数及不同重现期,对于客观及定量评价作物气象灾害强度具有重要意义。然而,目前此类研究至今尚未见报道。本文以苹果为例,研究苹果开花期冻(冷)害和果实膨大期高温热害敏感气候因子极值发生的可能性,用统计方法建立了气候极值的分布模型及一定重现期的可能气候极值,初步探讨了越冬期低温冻害灾害特征。

## 1 研究区概况

2010年,中国苹果种植面积213.1万 $hm^2$,产量2 900万t,分别约占世界的42%和50%[6]。其中陕西苹果种植面积60.1万 $hm^2$,产量856万t,面积、产

收稿日期:2011-12-24

基金项目:公益性行业(气象)科研专项"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"(GYHY200806021);陕西省13115重大科技专项"基于GIS的陕西省精细化农业气候资源区划";陕西省气象科技创新基金项目"经济作物气象灾害气候极值的分布模型及重现期预测"

作者简介:李美荣(1975—),女,陕西户县人,高级工程师,博士,主要从事气候变化影响评估及气象灾害应用研究。E-mail:lmrxcd@sina.com。

万方数据

量均居全国第一[7]，产量占全国的30%，世界的15%。20世纪80年代初，中国果树研究所在《全国苹果区划研究报告》中，对我国各苹果主产区的生态条件进行了全面分析，指出陕西渭北旱塬是符合苹果生态适宜指标的最佳区域。陕西苹果主产区在北纬33°~39°之间，包括咸阳、渭南、宝鸡、铜川、延安等地区，种植面积约占全省国土面积的3%。北扩产区七县紧邻亚洲季风影响区及其边缘区域，大陆性季风气候特征明显，气候条件脆弱，气象灾害频繁发生[8-9]。其中，苹果开花期冻害、膨大期高温热害及越冬期冻害都是与温度有关的气象灾害[10-13]。开花期冻害对苹果当年产量、外观影响较大，4月份是陕西苹果开花时段，洛川、耀州、凤翔的开花期集中在4月11~30日，绥德、旬邑的开花期集中在4月16~30日，礼泉、白水、澄城的开花期集中在4月1~20日[13]，开花期时最低气温低于-2℃时中心花受冻率在60%以上，对产量、品质、商品率产生严重影响，出现严重低温冻害[10-11]。6~8月，苹果正处在果实膨大和花芽分化关键期，也是渭北光照最强、气温最高、蒸发量最大的时期，易出现38℃高温以上的灾害性天气。气温高于40℃时严重破坏果实水分代谢，树体局部细胞代谢活动异常，造成果实严重灼伤或树体局部组织坏死，出现严重高温热害[14]。北扩地区冬季气温较低且波动大，极端最低气温多在-23℃以下，前冬(11~12月中旬)苹果树始进入休眠期，最低气温低于-15℃即会对幼树越冬产生较大影响，后冬(12月下旬~2月)成龄果树越冬期可耐-20℃低温[14]。在生产中虽采取了地膜覆盖等方式以期提高地温，但近几年冬季苹果幼树死亡现象仍时有发生。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

气象资料来自陕西省气象局档案馆，资料年代自1970冬季至2010年春季。其中苹果开花期冻害资料使用4月开花期时段的逐日最低气温资料，膨大期热害使用6~8月逐日最高气温资料，越冬期冻害资料使用11月~次年2月的逐日最低气温资料。

### 2.2 研究方法

2.2.1 *代表站的选取* 根据陕西省苹果产业基地县面积、产量、产业发展情况，结合地理特征、天气气候选择苹果开花期严重冻害和苹果膨大期严重高温热害代表站结果如下：绥德、洛川、耀州区、凤翔县、旬邑县、礼泉县、白水县和澄城县。由于本研究探索苹果北扩地区越冬期冻害特征，在分析越冬期冻害时，选择了北扩产区的7个县：绥德、子长、甘泉、米脂、志丹、子洲、吴起。

2.2.2 *极值分析要素序列的建立* 对苹果不同发育期三种气象灾害的气温极值建立了极端最低/最高气温、低/高于极端最低/最高气温5%阈值的气温[15]和出现重度冻/热害次数等3组资料的时间序列。经正态分布检验，在苹果开花期严重冻害和膨大期严重高温热害两种灾害出现时段的极端最低/高气温符合正态分布情况较多，因此4月极端最低气温、6~8月极端最高气温可分别作为苹果开花期严重冻害和苹果膨大期严重高温热害极值分析数据源，据此建立了两者的分布模型，计算了一定重现期的可能气候极值。对于苹果树越冬期冻害而言，由于北扩地区越冬期最低气温不同年份间数值较离散，拟合效果不理想，因此对越冬期冻害频次进行了分析。

2.2.3 *极值分析方法的选择* 对于气象灾害的气温极值分布，笔者先后尝试了几何分布、超几何分布、泊松分布、Weibull分布、耿贝尔分布等方法。由于极端气象灾害样本数较少，利用几何分布、超几何分布、泊松分布在进行严重灾害次数概率分布模型拟合时模拟效果与灾害实际出现情况差异较大。这说明对于极端事件而言，由于其较少的样本数量不适用于上述分布模型。对于最低气温，因为其观测数据小于零，因此不能使用韦布尔(Weibull)分布函数；根据苹果气象灾害温度极值特征，在对各种分布方法的适用性、重现期出现的可靠性进行检验的基础上，笔者确定了以耿贝尔分布(Gumbel，极值Ⅰ型分布)方法[16-17]作为主要分析方法。

耿贝尔分布函数：

$$F(x) = \exp\{-\exp[-a(x-u)]\} \quad (1)$$

$$(a > 0, -\infty < u < \infty)$$

式中，$a$ 为分布的尺度参数；$u$ 为分布的位置参数。

重现期为 $R$(概率为 $1/R$)时：

$$x_R = u - \frac{1}{a}\ln\left[\ln\left(\frac{R}{R-1}\right)\right] \quad (2)$$

它的参数估计选择矩法，矩法估计的数学计算：

一阶矩(数学期望)：$E(x) = \frac{\gamma}{a} + u$ (3)

其中：$\gamma \approx 0.57722$

二阶矩(方差)：$\sigma^2 = \frac{\pi^2}{6a^2}$ (4)

由此得到：$a = \frac{1.28255}{\sigma}$ (5)

$$u = E(x) - \frac{0.57722}{a}$$

万方数据

## 3　结果与分析

### 3.1　苹果开花期严重冻害分布及重现期

1971—2010 年苹果开花期时段(洛川、耀州、凤翔 4 月 11～30 日,绥德、旬邑 4 月 16～30 日,礼泉、白水、澄城 4 月 1～20 日)严重冻害(日最低气温 < -2℃)出现次数陕北果区为 3～5 次,渭北果区为 3～6 次,关中果区为 1～2 次。

代表站中,耀州和凤翔的逐年 4 月最低气温不服从正态分布,其它代表站逐年 4 月最低气温其它服从正态分布,其概率分布函数、不同重现期的最低气温拟合分别见表 1、2。陕北、渭北局部 10 a 的重现期会出现严重冻害,关中、渭北大部分地区 40～50 a 的重现期会出现严重冻害;在相同重现期陕北、渭北局部的最低气温明显低于关中、渭北大部分地区。

**表 1　代表站逐年 4 月最低气温概率分布函数及拟合**

Table 1　Probability distribution function and fitting of the lowest temperature in the representing stations in April

| 站点 Station | 概率分布函数 Probability distribution function | 最低气温拟合 Fitting of the lowest temperature |
|---|---|---|
| 绥德 Suide | $F(x) = \exp\{-\exp[0.63(x + 1.38)]\}$ | $T = -1.38 + \log\{\log[R/(R-1)]\}/0.63$ |
| 洛川 Luochuan | $F(x) = \exp\{-\exp[0.66(x + 0.82)]\}$ | $T = -0.82 + \log\{\log[R/(R-1)]\}/0.66$ |
| 旬邑 Xunyi | $F(x) = \exp\{-\exp[0.64(x + 1.67)]\}$ | $T = -1.67 + \log\{\log[R/(R-1)]\}/0.64$ |
| 礼泉 Liquan | $F(x) = \exp(-\exp(0.58(x - 2.23)))$ | $T = 2.23 + \log\{\log[R/(R-1)]\}/0.58$ |
| 白水 Baishui | $F(x) = \exp\{-\exp[0.66(x - 1.21)]\}$ | $T = 1.21 + \log\{\log[R/(R-1)]\}/0.66$ |
| 澄城 Chengcheng | $F(x) = \exp\{-\exp[0.66(x - 1.81)]\}$ | $T = 1.81 + \log\{\log[R/(R-1)]\}/0.65$ |

**表 2　代表站 4 月最低气温的不同重现期(℃)**

Table 2　Different recurrence intervals of the lowest temperature in the representing stations in April

| 重现期(a) Recurrence interval | 绥德 Suide | 洛川 Luochuan | 旬邑 Xunyi | 礼泉 Liquan | 白水 Baishui | 澄城 Chengcheng |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | -5.0 | -4.2 | -5.2 | -1.7 | -2.2 | -1.7 |
| 20 | -6.1 | -5.3 | -6.3 | -2.9 | -3.3 | -2.8 |
| 30 | -6.8 | -5.9 | -7.0 | -3.6 | -3.9 | -3.4 |
| 40 | -7.2 | -6.4 | -7.4 | -4.1 | -4.4 | -3.8 |
| 50 | -7.6 | -6.7 | -7.8 | -4.5 | -4.7 | -4.2 |
| 60 | -7.9 | -7.0 | -8.1 | -4.8 | -5.0 | -4.5 |
| 80 | -8.3 | -7.4 | -8.5 | -5.3 | -5.4 | -4.9 |
| 100 | -8.7 | -7.8 | -8.9 | -5.7 | -5.8 | -5.3 |

### 3.2　苹果膨大期高温热害分布及重现期

据前人分析,1971—2010 年苹果膨大期(6～8 月)严重高温热害(日最高气温 > 40℃)出现次数关中果区为 5 次,渭北东部果区为 1 次。而延安和渭北西部果区未出现过[10]。代表站中,绥德逐年 6～8 月最高气温不服从正态分布,其它代表站 6～8 月最高气温服从正态分布,其概率分布函数、不同重现期的最高气温拟合分别见表 3、4。在 100 a 的重现期中,陕北、渭北局地不会出现严重高温热害,关中、渭北大部分地区 30～80 a 的重现期会出现严重高温热害;在相同重现期陕北、渭北局部的最高气温明显低于关中、渭北大部分地区。

**表 3　代表站 6～8 月最高气温概率分布函数及拟合**

Table 3　Probability distribution function and fitting of the highest temperature in representing stations in June～August

| 站点 Station | 概率分布函数 Probability distribution function | 最高气温拟合 Fitting of the highest temperature |
|---|---|---|
| 洛川 Luochuan | $F(x) = \exp\{-\exp[-0.88(x - 32.8)]\}$ | $T = 32.8 - \log\{\log[R/(R-1)]\}/0.88$ |
| 耀州 Yaozhou | $F(x) = \exp\{-\exp[-0.94(x - 36.1)]\}$ | $T = 36.1 - \log\{\log[R/(R-1)]\}/0.94$ |
| 凤翔 Fengxiang | $F(x) = \exp\{-\exp[-0.79(x - 36.1)]\}$ | $T = 36.1 - \log\{\log[R/(R-1)]\}/0.79$ |
| 旬邑 Xunyi | $F(x) = \exp\{-\exp[-0.9(x - 32.1)]\}$ | $T = 32.1 - \log\{\log[R/(R-1)]\}/0.9$ |
| 礼泉 Liquan | $F(x) = \exp\{-\exp[-0.98(x - 37)]\}$ | $T = 37.0 - \log\{\log[R/(R-1)]\}/0.98$ |
| 白水 Baishui | $F(x) = \exp\{-\exp[-0.96(x - 35.4)]\}$ | $T = 35.4 - \log\{\log[R/(R-1)]\}/0.96$ |
| 澄城 Chengcheng | $F(x) = \exp\{-\exp[-1.08(x - 36.7)]\}$ | $T = 36.7 - \log\{\log[R/(R-1)]\}/1.08$ |

万方数据

表4 代表站6~8月最高气温的重现期(℃)

Table 4 Different recurrence intervals of the highest temperature in the representing stations in June ~ August

| 重现期(a) Recurrence interval | 洛川 Luochuan | 耀州 Yaozhou | 凤翔 Fengxiang | 旬邑 Xunyi | 礼泉 Liquan | 白水 Baishui | 澄城 Chengcheng |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 35.4 | 38.5 | 38.9 | 34.6 | 39.3 | 37.7 | 38.8 |
| 20 | 36.2 | 39.3 | 39.9 | 35.4 | 40.0 | 38.5 | 39.5 |
| 30 | 36.6 | 39.7 | 40.4 | 35.9 | 40.5 | 38.9 | 39.8 |
| 40 | 37.0 | 40.0 | 40.8 | 36.2 | 40.8 | 39.2 | 40.1 |
| 50 | 37.2 | 40.3 | 41.0 | 36.4 | 41.0 | 39.5 | 40.3 |
| 60 | 37.4 | 40.4 | 41.3 | 36.6 | 41.2 | 39.7 | 40.5 |
| 80 | 37.8 | 40.8 | 41.6 | 37.0 | 41.5 | 40.0 | 40.8 |
| 100 | 38.0 | 41.0 | 41.9 | 37.2 | 41.7 | 40.2 | 41.0 |

### 3.3 北扩地区苹果树越冬期冻害特征分析

苹果北扩7个基地县中,前冬(11~12月中旬)年平均低温出现天数(最低气温<-15℃的日数)绥德、子长、甘泉为1.6~2.7 d,米脂、志丹为2.9~3.8 d;后冬(12月下旬~2月)年平均低温出现天数(最低气温<-20℃的日数)绥德、子长、甘泉为1.1~2.2 d,米脂、志丹为3.4~4.0 d,子洲和吴起的前、后冬年平均低温出现天数均在2.4~3.4 d(如图1)。

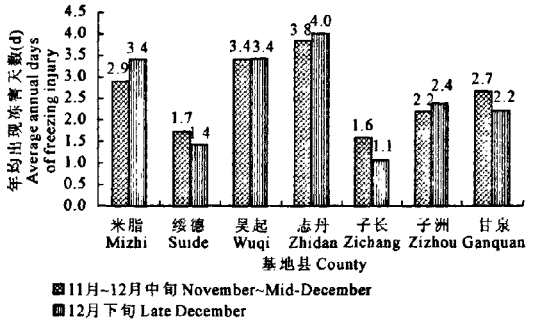


图1 苹果北扩基地县越冬期低温天数(d)

Fig.1 The days (d) of frozen injury during wintering period in the northern enlarged apple planting area

越冬期7县中子长最低气温最高,绥德、子洲、甘泉、米脂、吴起、志丹的最低气温渐次降低。子洲、甘泉、米脂、吴起、志丹平均每年越冬期都出现低温,子洲、甘泉一年中出现1次,米脂、吴起一年中出现2次,志丹一年中出现3次极端最低气温低于安全越冬指标。总体而言,苹果北扩地区越冬期冻害是一个不容忽视的问题。

## 4 讨 论

1) 对同一个地区而言,果业气象灾害中的开花期严重冻害和果实膨大期高温热害呈现"此强彼弱"的地域分布规律。即陕北、渭北的开花期严重冻害出现次数、强度明显多于/强于关中地区,而其果实膨大期的热害出现次数、强度明显少于/弱于关中地区。这与果区所处经纬度、海拔高度造成的气温的高、低分布及最高气温、最低气温的变化相一致[18-21]。

2) 评价了出现在作物关键期的气象灾害强度及重现期,为灾害应对、灾害措施决策提供信息,对灾害引起的损失范围、程度进行客观定量化评估提供依据。研究结论可应用于三方面。第一是可根据灾害发生前的气温预报、过程预报的降温数值结合苹果所处生长时期对上限温度或下限温度的敏感性,预测是否会出现由气温引起的极端气象灾害,根据灾害不同重现期所对应的气温极值预测灾害强度,为开展苹果气象灾害防灾减灾提供客观、定量的预测;第二是在苹果气象灾害发生过程中,做好灾害发生地域灾害强度的监测,以及时提供灾害防御措施;第三是在苹果气象灾害发生后,进行客观定量的灾害损失评估,为产量预报等提供基础信息。

3) 本研究计算的极端气温分布模式是由实测资料所得样本分布的一种理论分布。但是,由迄今所得的气候频率分布是否就能确知其概率分布,仍需深入研究其检测方法[3]。随着气候变化日益显著,今后的极端气温是否仍符合原实测资料样本分布尚有待继续验证。

**参 考 文 献:**

[1] 黄丹青,钱永甫.我国极端温度事件的定义和趋势分析[J].中山大学学报(自然科学版),2008,47(3):112-116.

[2] 钱忠华,封国林,龚志强.中国夏冬两季最概然温度分布及其增温趋势减缓[J].海洋学报,2010,32(10):7498-7507.

[3] 丁裕国,申红艳,江志红,等.气候概率分布理论及其应用新进展[J].气象科技,2009,37(3):257-261.

[4] 于新文,丁裕国.中国东部地区暴雨的概率特征——基于泊松分布的统计模拟[J].自然灾害学报,2006,15(4):13-18.

万方数据

[5] 吕忠东,邹　阳,李一波.基于泊松分布的川东暴雨概率特征分析[J].成都信息工程学院学报,2010,25(5):531-535.
[6] 霍学喜,刘军第.2010 年度苹果生产与销售形势[EB/OL]. Http://wenku. baidu. com/view/347dcf36ee06eff9aef807b9. html, 2011-02-24.
[7] 2010 年陕西省果业发展统计公报[EB/OL]. Http://www.shaanxi.gov.cn/0/1/65/365/370/99739.htm. 2011-04-21.
[8] 史正涛.中国季风边缘带自然灾害的区域特征[J].干旱区资源与环境,1996,10(4):1-7.
[9] 李美荣,刘映宁,李艳莉.陕西省果业主要气象灾害及其防御对策[J].陕西农业科学,2006,(1):60-62.
[10] 李　健,刘映宁,李美荣,等.陕西果树花期低温冻害特征及防御对策[J].气象科技,2008,36(3):318-322.
[11] 李美荣,朱琳,杜继稳.陕西苹果花期霜冻灾害分析[J].果树学报,2008, 25(5):666-670.
[12] 李艳莉,刘映宁,李美荣,等.陕西果树高温热害气象特征分析[J].陕西农业科学,2007,(3):65-70.
[13] 李美荣,杜继稳,李星敏,等.陕西果区苹果始花期预测模型[J].中国农业气象,2009,30(3):417-420.
[14] 李艳莉,王景红,李鹏利.陕西苹果种植区北扩气候资源及气象灾害风险分析[J].陕西气象,2011,(3):15-17.
[15] 任国玉,封国林,严中伟.中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J].气候与环境研究,2010,15(4):337-353.
[16] 周小珊,杨　森,高　杰,等.2007 年辽宁省极端降雪事件平均再现间隔估算[J].安徽农业科学,2010,38(1):264-267,282.
[17] 鹿翠华.最大风速变化特征及再现期极值估算[J].气象科技,2010,38(3):399-402.
[18] ZHAO Dongsheng, ZHENG Du, WU Shaohong, et al. Climate changes in Northeastern China during last four decades[J]. Chinese Geographical Science, 2007,17(4):317-324.
[19] 丁一汇.中国西北地区气候与生态环境概论[M].北京:气象出版社,2001:1-10.
[20] 翟盘茂,任福民.中国近 40 年最高最低温度变化[J].气象学报,1997,55(4):418-429.
[21] 叶殿秀,张　勇.1961—2007 年我国霜冻变化特征[J].应用气象学报,2008,19(6):661-665.

# Probability distribution and recurrence interval prediction of the extreme value of air temperature in extreme meteorological disasters of apples

LI Mei-rong[1,2], LI Xing-min[3], BAI Qin-feng[2], ZHANG Wei-min[2]

(1. *College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu* 210044, *China*;
2. *Shaanxi Meteorological Service Observatory for Economical Crops, Xi'an, Shaanxi* 710015, *China*;
3. *Meteorological Institute of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi* 710015, *China*)

**Abstract**: To study the probability distribution of air temperatures' extreme value thus to predict its recurrence interval is a method to objectively evaluate the intensity of extreme meteorological disasters during the critical period of crops. Taking apple as an example, based on the index of extreme meteorological disasters, by using daily air temperature data, a probability distribution and recurrence interval predicting model was set up for the extreme value of air temperature about critically freezing injury during blooming period (the lowest temperature on Aprs $< -2$℃) and critically high temperature damage during apple fruit swelling period (the highest temperature in June ~ August $> 40$℃), Analysis was also conducted of the frequency of freezing injury during wintering period on the northern enlarged area of apple planting. The results show that: To Shaanbei and Weibei areas, the critically freezing injury during blooming period will arise at 10a's recurrence interval, but critically high temperature damage during apple fruit swelling period will not arise at 100a's recurrence interval; To Guanzhong and most part of Weibei areas, and the same type recurrence interval is 40 ~ 50 a and 30 ~ 80 a, respectively. To the same recurrence interval, both the lowest and the highest temperature of Shaanbei and Weibei areas are apparently lower than Guanzhong and most part of Weibei areas; In the northern enlarged apple planting area, freezing injury will appeare in Ganquan, Mizhi, Wuqi, Zhidan and Zizhou during wintering period every year on average, and the frequency of freezing injury in Mizhi, Wuqi and Zhidan during wintering period will be even higher, as many as 2 ~ 3 times every year.

**Keywords**: apple; meteorological disaster; extreme value of air temperature; distribution model; recurrence interval

万方数据