

# 气候变暖对陇东南地区苹果座果率的影响

姚晓红<sup>1,2</sup>, 许彦平<sup>2</sup>, 秘晓东<sup>3</sup>

(1. 中国气象局兰州干旱研究所 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;

2. 甘肃省天水农业气象试验站, 甘肃 天水 741020; 3. 甘肃省气象局, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:** 依据该区 20 世纪 80 年代中后期以来苹果花果期气象条件与座果率资料, 综合研究分析二者之间的关系, 得出气候变暖对该区苹果落花落果的主要影响因子是花期高温、花果期时段性低温和干燥气候危害。该区适宜苹果座果的花期最适温度指标为 14.0~21.0℃。盛花后 1~2、1~3、1~4 d 日平均最高气温分别在 29.0、27.0、26.0℃或以上, 10 d 内日平均最低气温 5.0℃或以下, 大气平均相对湿度 56%或以下时, 均可造成孕花质量下降或不孕。

**关键词:** 气候变暖; 座果率; 陇东南

**中图分类号:** S661.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)06-0142-05

陇东南地区, 气候温暖、雨量适中, 大范围红、黑沙质壤土肥沃而深厚, 平均厚度达 0.8~1.2 m, 质地疏松, 透气、透水性能好, 极适宜于各类果树生长, 是甘肃苹果适生及生产基地之一。誉满国内外的天水“花牛”是该区主要优质品系。

该区苹果栽培历史悠久, 品质极佳。20 世纪 80 年代中期已进入大规模发展阶段, 并逐年以 27%~34% 的面积递增, 成为该区经济发展的主要支柱产业之一。20 世纪 90 年代以来, 由于气候变暖, 水热之间匹配出现较大差异, 苹果自开花至幼果膨大出现了大量落花落果而对其产量影响极大。据调查, 该区果园面积约 6.33~10.67 万 hm<sup>2</sup>, 其中苹果园 6.00~8.40 万 hm<sup>2</sup>, 占总果园面积的 85%以上, 90 年代初期苹果总产 619~910 万 kg, 产值 4 326~6 300 万元, 占水果总产量的 80%。90 年代以后气温升高, 降水量锐减, 仅气候原因造成花果期落花落果, 减产苹果约 401~589 万 kg, 减产量达总减产量的 75%~80%以上, 年经济损失约 2 900~4 100 万元。为此, 本文重点就该区苹果花期气象条件及落花落果的主要气象原因和危害指标进行全面分析, 提出该区果园小气候优化及提高座果率的主要管理措施和农业对策。

## 1 苹果落花落果的主要时期

据该区 1986 年~2004 年落花落果资料分析, 该区苹果有三个较为明显的落花落果期。第一次为盛花期落花, 出现在 4 月下旬末至 5 月上旬, 落花占

总花数的 70%左右, 此期大量落花可造成该区苹果减产幅度达 40%左右。第二次为子房膨大初期的幼果脱落, 出现在 5 月上中旬左右, 大多是不完全授粉或授粉受精环境条件较差而发育不良, 未完全座果的幼果, 落果率约占减产年份总落果的 80%左右。第三次出现在 6 月上中旬, 主要是由于果园通风不良, 光照不足和持续性高温危害造成幼果代谢紊乱而使胚的发育受阻产生落果。

## 2 花期气象条件及生理落花落果气候成因分析

### 2.1 花期气象条件

该区苹果主要以三红(红星、红玉、红元帅)系为主, 花期气象条件的适宜与否直接影响果树开花座果。区内平均花期在 4 月 25 日~5 月 4 日, 由于地理及气候条件的差异, 自南向北略有推迟。该区生长季(4~10 月)降水量 380~950 mm, 除天水渭河谷地以北地区雨量偏少<sup>[1]</sup>, 需人工补水外, 其它各地均能满足苹果生长需求<sup>[2]</sup>; 平均气温 13℃~22℃, 虽然适宜苹果生长需求, 但波动较大。据栽培区气温、降水、光照等逐要素与苹果始花期距平值综合模拟分析(见表 1), 建立如下数学模型。

$$y = -64.65 + 0.17 \sum T_{\geq 6^{\circ}\text{C}} \quad (1)$$

式中,  $y$  为当年始花期距平值。其  $R = 0.8936$ ,  $F = 43.59$ , 效果显著 ( $F_{(0.01)} = 8.29$ )。 (1) 式表明, 苹果能否适期开花, 与春后日平均气温  $\geq 6^{\circ}\text{C}$  积温存在明显相关, 当  $\geq 6^{\circ}\text{C}$  积温 380℃或以上时, 苹果即可正

收稿日期: 2005-04-20

基金项目: 中国科学技术部, 科研院所社会公益研究专项“西北农作物对气候变化的响应及其评价方法”(2005DIB3J100)

作者简介: 姚晓红(1966-), 女, 河南清丰县人, 大学本科, 工程师, 主要从事农业气象试验研究工作。E-mail: yaoxiaohong1@163.com.

常开花挂果,积温每增加或减少 6.0℃,始花期将较 历年提前或推迟一天左右。

表 1 栽培区主要代表点历年平均气温、座果率资料对比

Table 1 The annual average temperature of main representative point and fruit setting ratio

地点 Place	品种 Variety	花芽萌动期 Bud budding (M-d)	花期 blossom (M-d)			历年平均始花前 ≥6℃ 积温 The annual accumulated temperature before (℃)	花期平均气温 Average temperature of blossom (℃)	座果率 Fruit setting ratio (%)
			始 Begin	盛 Middel	末 End			
秦安 Qinan	元帅系 Marshal	03-30	04-24	04-29	05-03	392.4	18.0	24.5
天水 Tianshui	麦积 Maiji	03-28	04-19	04-22	04-29	396.7	18.3	23.9
	清水 Qingshui	04-11	05-02	05-05	05-11	382.6	16.3	24.0
	礼县 Lixian	03-26	04-27	05-01	05-06	389.3	16.9	24.8
陇南 Longnan	西和 Xihe	03-28	04-30	05-05	05-09	382.5	16.6	24.4
	成县 Chengxian	03-24	04-16	04-20	04-26	402.4	18.9	23.2

由于区内多高山坡地,南北气候差异极大,为了全面摸清栽培区苹果花期适宜的气象条件,将该区以天水渭河谷与礼县西汉水流域为界,分为南北两区,用两区 1986~2004 年 19 a 6 个代表点苹果座果率与花期气温、光照、降水等气象因子<sup>[3]</sup>进行综合模拟<sup>[4]</sup>,建立如下数学模型。

北适生区

$Y_N = -0.2093 T_N^2 + 7.2465 T_N - 38.3726$  (2)

$Y_N$  北区座果率,  $T_N$  北区花期平均气温。

$R^* = 0.8464, F = 40.42$ , 模拟效果显著。

南适生区

$Y_s = -0.498 T_s^2 + 17.422 T_s - 124.422$  (3)

$Y_s$  南区座果率,  $T_s$  南区花期平均气温,  $R^* = 0.8547, F = 43.37$ , 模拟效果显著。

令  $Y_N' = 0, Y_s' = 0$ , 得  $T_N = 17.3℃、T_s = 17.5℃$ 。令  $Y_N = 0、Y_s = 0$ , 得  $T_{N1} = 6.5℃, T_{N2} = 28.1℃; T_{s1} = 10.1℃, T_{s2} = 25.2℃$ 。(2)、(3) 两式表明,座果率的高低受花果期日平均气温影响最为显著,且存在明显的抛物线型关系。两区座果率达最大时的平均气温分别为 17.3℃和 17.5℃,差异不大;起始温度 6.5℃和 10.1℃,终止温度 28.1℃和 25.2℃,两区存在约 3℃左右的温差主要原因是北区气候干燥,升温较慢,南区花前水热条件较好,花芽分化早于北区而花期略早。

由此可知,该区日平均气温稳定通过 7.0~10.0℃时,苹果逐渐进入开花期,但此期受孕率极低,12.0~13.0℃以后,开花速度明显加快,受孕质

量迅速提高,17.0~18.0℃时座果率最大;此后,随气温的升高,受孕质量下降,25℃时座果率已很低,28.0℃或以上时基本不孕(见图 1)。因此,该区苹果花期完成授粉受精的最适温度在 14.0~21.0℃。

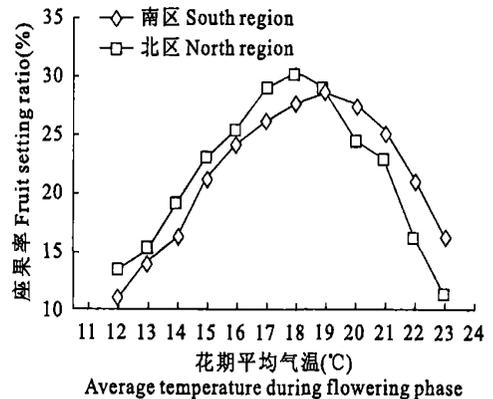


图 1 花期平均气温与座果率关系

Fig.1 The relationship of average temperature and fruit setting ratio during flowering phase

2.2 落花落果的气候成因分析

落花落果与花期气象条件密切相关,而且温度条件是极关键因子,大多异常年份(座果率≤15.0%),造成落花落果的主要气象原因是花果期低温和持续高温天气导致花粉母细胞活性下降而座果率不高<sup>[5]</sup>。但气候明显变暖<sup>[6]</sup>的 20 世纪 80 年代中后期以来,花果期大量落花落果的主要气候原因与此期的暖干气候不无关系。利用 1986 年至 2004 年 4 月下旬~6 月下旬苹果开花至幼果开始膨大阶段盛花前后不同阶段的日平均最高气温,极端最高气

温、日平均最低气温、极端最低气温、日平均最高最低气温日较差及平均相对湿度、最小相对湿度等气象因子与座果率进行相关模拟,建立以下数学模型:

$$y = 87.67 - 2.52 T_{M(1\sim 2d)} \quad (4)$$

$y$  为座果率(下同),  $T_{M(1\sim 2d)}$  盛花后的 1~2 d 日平均最高温度,  $R^{***} = -0.6241$ ,  $F = 11.484$ , 效果显著。

$$y = 89.52 - 2.76 T_{M(1\sim 3d)} \quad (5)$$

$T_{M(1\sim 3d)}$  盛花后的 1~3 d 日平均最高温度,  $R^{***} = -0.7834$ ,  $F = 28.60$ , 效果显著。

$$y = 100.74 - 3.34 T_{M(1\sim 4d)} \quad (6)$$

$T_{M(1\sim 4d)}$  盛花后的 1~4 d 日平均最高温度,  $R^{***} = -0.8830$ ,  $F = 63.70$ , 效果显著。

$$y = -24.86 + 8.43 T_{M(1\sim 10d)} \quad (7)$$

$T_{M(1\sim 10d)}$  盛花后的 1~10 d 日平均最低温度,  $R^{***} = 0.6037$ ,  $F = 10.322$ , 效果显著。

$$y = -5.27 + 0.36 U_{(1\sim 10d)} \quad (8)$$

$U_{(1\sim 10d)}$  盛花期后 10 d 日平均相对湿度,  $R^{***} = 0.5624$ ,  $F = 8.33$ , 效果显著。

(4)~(8) 式表明:座果率与盛花期第 1~2 d、1~3 d、1~4 d 日平均最高气温,盛花期后 10 d 日平均最低气温和日平均大气相对湿度存在明显相关 ( $F_{(0.01)} = 8.29$ )。由此可知,造成花果期大量落花落果,影响座果率高高低的主要气候原因以开花期高温危害和花果期低温、干燥气候最为重要。

2.2.1 花果期高温危害 研究表明<sup>[2]</sup>,苹果由授精到完成受精至少需要 3~5 d 时间,盛花期后是苹果完成授粉受精的关键时段。

令(4)、(5)、(6)式  $y \leq 15\%$ , 得  $T_{M(1\sim 2d)} \geq 28.8^\circ\text{C}$ ,  $T_{M(1\sim 3d)} \geq 27.0^\circ\text{C}$ ,  $T_{M(1\sim 4d)} \geq 25.7^\circ\text{C}$ ;  $y = 0$ , 得  $T_{M(1\sim 2d)} = 34.8^\circ\text{C}$ ,  $T_{M(1\sim 3d)} = 32.4^\circ\text{C}$ ,  $T_{M(1\sim 4d)} = 30.2^\circ\text{C}$ 。由此可知,盛花期的第 1~2 d 日平均最高气温  $29.0^\circ\text{C}$  以上,1~3 d 日平均最高气温  $27.0^\circ\text{C}$  以上或 1~4 d 日平均最高气温  $26.0^\circ\text{C}$  以上,座果率均低于 15%;盛花期 1~2 d、1~3 d 或 1~4 d 日平均最高气温  $35.0^\circ\text{C}$ 、 $32.0^\circ\text{C}$  或以上、 $30.0^\circ\text{C}$  或以上,均能使正处开花授粉受精的花粉发芽受阻,代谢失调萎缩失去受精能力,甚至灼伤致死<sup>[7]</sup>而不能座果。

本区花期平均最高气温在 20 世纪 80 年代为  $21.9^\circ\text{C}$ , 极端最高气温仅 1985 年 4 月 30 日  $29.5^\circ\text{C}$ , 花期高温危害并不明显;但气温明显转暖的 90 年代以来,花期平均最高气温  $24.3^\circ\text{C}$ , 偏高  $2.4^\circ\text{C}$ ; 1992 年的 4 月 26 日~28 日, 1994 年的 4 月 28 日~29

日、1997 年的 4 月 29 日~5 月 1 日,花期日平均气温分别达  $30.8^\circ\text{C}$ 、 $29.6^\circ\text{C}$  和  $30.1^\circ\text{C}$ , 1993 年、1995 年、1998 年~1999 年盛花期平均气温均达  $27.0^\circ\text{C}$  以上,高温危害明显加重,十年平均座果率仅 16.7%, 较八十年代偏低 7.1 个百分点。

2.2.2 花果期低温危害 苹果在完成授粉受精以后,便发育成幼果而陆续座果,苹果盛花期后的 10 d 左右,是完成授粉受精并陆续座果的关键期,此时期段性低温对苹果授粉座果影响极大。令(7)式  $y \leq 15\%$ , 得  $T_{M(1\sim 10d)} \leq 4.7^\circ\text{C}$ ;  $y = 0$ , 得  $T_{M(1\sim 10d)} = 2.9^\circ\text{C}$ 。也就是说,在盛花期后的 10 d 内日平均最低气温不足  $5.0^\circ\text{C}$  时,花粉母细胞活性下降,影响花粉发芽;受精后的花粉母细胞不能正常座果<sup>[5]</sup>,造成后期大量落果。 $3^\circ\text{C}$  以下时,花药不能开裂,花粉发育受阻,或受精后的花粉母细胞不能座果。本区 20 世纪 80 年代花期平均最低气温  $6.9^\circ\text{C}$ , 有近一半年份花期最低气温不足  $3.0^\circ\text{C}$ , 低温冷害较频繁。90 年代以来,虽然气温明显转暖,日平均最低气温  $9.2^\circ\text{C}$ , 较 80 年代偏高  $2.3^\circ\text{C}$ , 但作物对低温的抗逆能力明显减弱,偶遇时段性低温,便可造成大面积减产。如 2004 年 5 月 3 日~4 日的寒潮天气,2d 日平均最低气温  $1.4^\circ\text{C}$ , 4 日最低气温  $0.5^\circ\text{C}$ , 24 h 降温  $8.3^\circ\text{C}$ ~ $10.7^\circ\text{C}$ , 造成后期苹果大量落花落果而严重减产。

2.2.3 其它成因分析 栽培区历年资料(表略)表明,温度是影响授粉受精的主要气象因素,但适温年份也同样出现少量低座果率年型。据分析大多是由于花期干旱及气候干燥引起的。令(8)式  $y \leq 15\%$ , 得  $U_{(1\sim 10d)} \leq 56\%$ ;  $y = 0$ , 得  $U_{(1\sim 10d)} = 15\%$ 。也就是说在盛花期后 10 d 内,大气平均相对湿度小于等于 56% 时,影响正常受精,座果率不足 15%。1982 年是该区典型的花旱(花期干旱)年型,气温虽然适宜苹果受粉授精,群体长势良好,但花期空气湿度极小,平均不足 40%, 最小相对湿度 25%, 使得花朵个体发育不充实,花粉漂移过程中失水严重而活性下降,受粉质量不高,造成大量花朵不孕脱蕾而落花严重。其次,花果期风力偏大造成花体及果枝机械损伤而影响受孕座果,突发性落花落果严重而产量下降<sup>[7]</sup>。1992 年 6 月下旬北道由于暴雨、冰雹及大风成灾(此期正处幼果膨大阶段),造成该区果园大量落果,仅城郊东部落果率达 75%~80% 而产量急剧下降。

2.2.4 80 年代中后期以来座果率不足( $\leq 15\%$ )年份成因分析 80 年代中期,果园面积成倍递增,逐年产量稳步提高。但是,由于花期高温,干旱等农业

灾害影响,座果率年际间差异极为显著,相同年份不同地域座果率亦有很大差别,因而产量波动较大,据资料分析,表现最为突出的是80年代后期1987、1988年和90年代初期1992、1993年(表略)。

1987~1988年天水渭北旱区北坡半山区,麦积、秦州两区川道浅山及东南阳坡半山地带,盛花后的2~3 d日平均最高气温普遍增至26℃~28℃,最高气温30℃以上的天数持续2~3 d,导致盛花后第3~4 d内出现大量落花落果,盛花期持续时间较历年缩短3~4 d,受孕时间不足而座果率明显低于往年。受害较轻的西、礼二县东部阳山座果率在11%~14%之间,重灾的渭北旱区北坡座果率仅为7.3%,全区平均座果率明显低于往年。

1992~1993年,天水两区北部旱川、东部浅山及东南川道峡谷、半山地带,由于后春气温回升迅速,始花期均较历年提前2~3 d,花期平均气温18℃~20℃,22℃~24℃日数持续3~5 d,加之花期内普遍有旱象存在而气候干燥,花期缩短,授粉环境条件较差,使北部旱川半山峡谷及东部浅山区和东南阳坡地段座果率均在5.9%~9.7%之间,其它较轻地段亦不足15%,产量偏差极大。

综上所述,苹果落花落果逐年发生,年际、地域差异显著,突发性严重落花落果主要是花期气温偏高,花期缩短,受孕时间减少,受孕不彻底和花果期时段性低温危害、气候干燥、受孕环境条件较差而孕花质量不高等原因造成。花期最适日平均气温为14.0℃~21.0℃,盛花后1~2 d、1~3 d、1~4 d最高平均气温29.0℃、27.0℃和26.0℃或以上,1~10 d平均最低气温5.0℃或以下,大气相对湿度56%或以下时,便可造成受孕质量下降或不孕而座果率下降,影响当年挂果产量。

### 3 提高苹果座果率的措施及对策

1) 河谷及浅山阳坡各地有灌溉条件地区,果树

萌芽一始花前增施农用厩肥,增加增大浇灌次数和灌水量,延长土壤水分利用时间,提高土壤水分利用率,增强果树抗逆性能<sup>[8]</sup>,利用土壤中的水分调节,达到防高温暑热,抵御干燥灼伤的目的。

2) 半坡及山岭峡区果园花前园地覆膜或种植耐阴经济草本水果蔬菜(如草莓、食用菌、药材等),增大植被面积,减轻土壤水分散失。同时,配合果园修剪疏枝,增强透光和透气性能,提高小环境空气湿度以缓解局地性高温灼伤的危害,提高座果率。

3) 未定植果园应增植授粉树<sup>[6]</sup>,避免单品种定植,保证授粉受精;定植果园如品种单一,应辅以人工授粉措施或园内配套栽植一定数蜜蜂,不仅能提高授粉率,亦可减少花腐病。

4) 利用生长调节剂改变树体内部天然激素水平和不同激素之间的平衡关系,延迟或促进不同品种的发育进程。

5) 加强果园管理及园外防护林墙建设,促使株体自身健壮生长,增强果树自身的抗灾、抗病、抵御自然灾害的能力。

#### 参考文献:

- [1] 姚晓红,许彦平,陈晶,等.近30年气候变化对小陇山林业资源的影响研究[J].干旱地区农业研究,2005,(5):236-243.
- [2] 杨庆山,马香莲.红富士苹果优质高产栽培技术[M].郑州:河南科学技术出版社,1995.22-31.
- [3] 甘肃省气象局业务管理处.甘肃省农业气象观测资料汇编[M].兰州:兰州大学出版社,1988(第一册),1993(第二册).
- [4] 周惠彬,谢小燕,张卫东,等.概率论与数理统计[M].成都:西南财经大学出版社,2004.291-323.
- [5] 潘瑞炽,董愚得.植物生理学(下册)[M].北京:高等教育出版社,1988.98-101.
- [6] 许彦平,姚晓红,朱德强.20世纪天水干旱气候演变对农业影响及对策研究[J].干旱地区农业研究,2002,(1):120-124.
- [7] 华东师范大学,上海师范学院,南京师范学院.植物学(上册)[M].北京:高等教育出版社,1985.208-218.
- [8] 辽宁省熊岳农业学校.果树栽培学[M].北京:农业出版社,1983.83-100.

## Influence of climate warming on apple fruit setting ratio and countermeasures in suitable growing area of the southeast Gansu

YAO Xiao-hong<sup>1,2</sup>, XU Yan-ping<sup>2</sup>, MI Xiao-dong<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, Gansu 730020, China; 2. Tianshui Agro-meteorological Experiment Station, Tianshui, Gansu 741020, China; 3. Gansu Meteorological Bureau, Lanzhou, Gansu 730020, China)

**Abstract:** The meteorological conditions in apple flowering and fruit phase and fruit setting ratio data since the middle 1980's as well as the influence of climate warming on apple flower and fruit dropping were analyzed.

The results showed that the main influencing factors were high temperature during flowering phase, interval low temperature during flowering and fruit phase and dry climate. In this region the most suitable temperature of the flowering phase to fruit setting was  $14.0\sim 21.0^{\circ}\text{C}$ . After full blossom, if the daily average highest temperature of 1~2 d, 1~3 d, 1~4 d exceeded  $29.0^{\circ}\text{C}$ ,  $27.0^{\circ}\text{C}$ ,  $26.0^{\circ}\text{C}$ , respectively, the daily average lowest temperature was below  $5.0^{\circ}\text{C}$ , and the air relative humidity was below 56%, quality debasement of pregnant flower and sterility would happen. Finally, the comprehensive countermeasure was put forward.

**Keywords:** climate warming; flower and fruit dropping; influence

(上接第 128 页)

## The relation of precipitation in summer unoccupied with the output of winter wheat and its space-time distribution characteristic in east Gansu

HUANG Bin<sup>1,2</sup>, FEI Xiao-ling<sup>3</sup>, ZHANG Hong-fen<sup>2</sup>, WANG Wei-tai<sup>2</sup>, ZHANG Tian-feng<sup>2</sup>

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 2. Qingyang City Meteorological Bureau, Xifeng 745000, China; 3. Lanzhou Center Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** Based on the example data of Xifeng during July to September from 1971 to 2004, the correlation of precipitation in summer unoccupied with the winter wheat output of next year was obtained. And then the characteristic of space-time distribution was discussed using the precipitation data from July to September of 1971~2004 of 15 weather stations in the east of Gansu. The results showed that the correlation of the precipitation from July to September and the meteorological output of the winter wheat of next year exceeded 0.01 letter degrees and reached the prominent level; The annual precipitation changed obviously between years, the minimum precipitation appeared in 1991, was 130.2 mm, while the maximum appeared in 2003, was 464.8 mm, which was 3.6 times large as that of minimum; there was an obvious planting-year-cycle with seven years and a year-cycle with thirteen years; The precipitation changed obviously in different cycles; the precipitation in 1970s' and 1980s' was normal or slightly much, while it was generally slightly little or very little in the 1990s', it's average distance value was negative; since 2001 the precipitation has been obviously too much. The maximum value center of the total precipitation was in Zhengning, and then reduced gradually in 2 directions to the west and to the northwest, Huating was the second large precipitation area, and such distribution characteristic is closely related to geography and topographical condition in the east of Gansu.

**Keywords:** east of Gansu; Winter wheat; Precipitation in summer unoccupied; output; space-time distribution