

## 光照强度对苹果果实表面温度变化的影响

张建光<sup>1</sup>, 刘玉芳<sup>1</sup>, 孙建设<sup>1</sup>, Larry SCHRADER<sup>2</sup>

(1. 河北农业大学园艺学院, 保定 071001; 2. 美国华盛顿州立大学乔木果树研究与推广中心, 威纳奇, 华盛顿州 98801)

**摘要:**光照强度对于果实温度的变化具有重要影响。一天中,日落后和日出前,果实表面温度都接近气温。树冠外围暴露果实表面温度主要来源于气温和由于吸收光能后转化成热能所增加的温度。当光照强度较低和持续时间较短时,光照对果实表面温度的影响较小。不同月份光致果实温度增加的幅度有所不同,6~10月日光致最大果实温度的变化幅度范围为14.46~18.98℃。光照强度与光致果实增温具有极显著相关,其回归方程为 $Y=0.0088x+6.097$ , $r=0.43382^{**}$ 。遮荫由于减少了果实表面接受的光能,因而可以明显降低果实表面的温度。

**关键词:**光照强度;苹果;果实;果实表面温度

### Effect of solar radiation on fruit surface temperature in apples

ZHANG Jian-Guang<sup>1</sup>, LIU Yu-Fang<sup>1</sup>, SUN Jian-She<sup>1</sup>, Larry SCHRADER<sup>2</sup> (1. College of Horticulture, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001; 2. Tree Fruit Research and Extension Center, Washington State University, Wenatchee, WA 98801, USA.). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6): 1306~1310.

**Abstract:** Intense solar radiation is one of the factors contributing to fruit sunburn. Therefore, a study of the effect of light intensity on changes of fruit surface temperature helps gain a better understanding of the actual role of sunlight in inducing fruit sunburn. The present study was conducted with apples (*Malus domestica* Borkh., cv: Fuji) to document the relationship between light intensity and fruit surface temperature. Copper-constantan thermocouples were attached to the sun-exposed side of fruit on the southwest side of the canopy and compared to meteorological data (including air temperature and solar radiation) automatically recorded by an ET-106 Weather Station (Made by Campbell Scientific Inc., USA) installed near the tested trees. In addition, the influence of shading time on reducing fruit surface temperature was investigated by providing artificial shading at different intervals. The results indicated that light intensity exerted an important effect on changes of fruit surface temperature. Typically, fruit surface temperature was close to air temperature before sunrise and after sunset. Thus, fruit temperature of fruit in the dark was dominated by air temperature. Fruit surface temperature of the exposed fruit during daytime was largely dependent on (1) air temperature by means of heat exchange (convection), and (2) transformation into heat energy of solar energy absorbed by fruit. Wind velocity and relative humidity have less impact on fruit surface temperature. On a cloudy day, fruit surface temperature was very close to air temperature. At a lower light intensity with shorter duration, light had a little influence on fruit temperature rise. For example, a light intensity of 300 W/m<sup>2</sup> increased fruit surface temperature by less than 1.1℃. On two days when the average air temperatures were very close (30.9℃ vs. 31.0℃), a difference of 101.7 W/m<sup>2</sup> in average light intensity (between 11:00~19:00) resulted in a fruit surface temperature rise of 14.23℃ on the day with higher light intensity. Generally, maximum fruit surface temperature caused by light during a growing season was 14.46℃ to 18.98℃ above maximum air temperature. Moreover, a highly significant correlation existed between light intensity and fruit temperature rise generated by absorbing sunlight, with the regression equation:  $Y=0.0088x$

**基金项目:**河北省自然科学基金资助项目(303203);河北农业大学回国留学人员科研启动基金资助项目(2002-0915)

**收稿日期:**2003-06-16;**修订日期:**2003-11-10

**作者简介:**张建光(1957~),男,河北武安人,博士生,教授,主要从事果树栽培及生理教学与研究。E-mail: zhjg2353@sina.com

**Foundation item:** Hebei Natural Science Foundation Item(No. 303203); Agricultural University of Hebei Research Foundation Item for Returned Scholars from Abroad(No. 2002-0915)

**Received date:** 2003-06-16; **Accepted date:** 2003-11-10

**Biography:** ZHANG Jian-Guang, Ph. D. candidate, Professor, mainly engaged in cultural physiology and high-yield/top-quality techniques of apples. E-mail: zhjg2353@sina.com

+6.097,  $r=0.43382^{**}$ . In addition, the results showed that shading reduced fruit surface temperature by preventing sunlight from reaching the fruit. Within a certain range, temperature was reduced more as shading time increased. For instance, 5 min shading lowered fruit surface temperature by 3.58 °C, but 45 min shading reduced it by 9.6 °C. However, extending shading time had little effect on reduction of fruit surface temperature when it was close to air temperature.

**Key words:** solar radiation; apple; fruit; fruit surface temperature

文章编号:1000-0933(2004)06-1306-05 中图分类号:Q945,Q948,S161,S661.1 文献标识码:A

光照强度是影响果实生长发育的重要生态因子,强烈的光照也是导致果实日灼的主要原因之一<sup>[1~5]</sup>。一些研究者在柑橘、苹果、番茄、黄瓜和辣椒等作物上的试验证实,强烈光照是诱导果实日灼所必需的条件<sup>[6~8]</sup>。张建光等近年研究认为:果实表面的高温是造成日灼的主要原因,果实只有达到一定的阈值温度后日灼才会发生,而不同苹果品种的日灼阈值温度有所不同。树冠外围暴露的果实,其表面的高温主要来源于两个方面,一方面是气温,由于果实不断与周围环境进行热交换而使自身温度逐渐接近环境温度;另一方面则是由于果实表面吸收光能后,将部分光能转换成热能,从而使果实表面温度升高,二者共同作用的结果使果实达到日灼所需的阈值温度<sup>[9]</sup>。迄今为止,对于光照究竟在树冠外围暴露果实表面温度组成中占有多大份额以及不同光照强度对果实温度的影响有何规律等方面的研究尚少。本试验的目的在于探讨光照强度对果实表面温度变化的影响以及光照和气温与果实表面温度的关系,以便为今后进一步研究不同光照强度对果实发育的影响程度以及确定气温和光照与果实日灼的关系,从而为制定合理的预防措施提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试材与地点

本试验于 2001~2002 年在美国华盛顿州立大学乔木果树研究与推广中心进行。试验树为 12 年生红富士苹果 (*Malus domestica* Borkh.), 砧木为 M<sub>26</sub>, 株行距 2m×4m, 行向南北向, 果园覆盖率 70% 左右, 通风透光条件良好, 树势健壮, 果园管理水平较高。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 生长季果实表面温度监测** 选择 2 株光照条件良好的苹果树作为观测树。在每株树的树冠西南面选择 5 个完全自然裸露的果实, 从 6 月 15 日到 10 月 15 日利用铜-康铜热电偶极(导线直径为 0.254mm)监测所有试验果实表面的温度。根据试验设计要求, 数据自动记录仪(型号 CR-10X, 美国 Campbell 科学仪器公司生产)编程为每 5 s 测量一次果实温度, 每 5min 自动记录一次平均温度。另外, 在监测树旁设立自动气象仪(型号 ET-106, 美国 Campbell 科学仪器公司生产), 自动记录气温及光照强度。分析时取 10 个果实表面温度的平均值, 代表果实表面的温度, 与相应的气温和光照进行比较。

**1.2.2 不同遮光时间处理** 在生长季晴天 13:00~15:00, 选择树冠西南面完全自然暴露的果实 5 个, 记载测量果实表面的温度。然后, 用较厚的白纸板在距果实上方 20cm 处分别进行 5min、15min、30min 和 45min 完全遮光处理。同时利用热电偶极监测果实表面温度的变化, 直至遮荫处理果实表面温度接近气温为止。比较各处理前后果实表面温度的变化, 评价不同遮光时间对降低果实表面温度的效果。

**1.2.3 遮光与全光条件下果实温度对比** 采用单层窗纱(孔径 0.5mm×0.5mm)制作成圆筒, 于生长季晴天将树上完全暴露的果实罩起来。另一组选择自然暴露的果实作为对照。处理和对照各选 5 个果实。果实温度采用热电偶极监测, 数据自动记录。处理前用 LI-COR 公司照度计(400~1100nm, 型号 LI-250)测定网罩的遮光效果。晴天遮光后太阳光照透过率为全光照的 68.8%。各处理取 5 个果实表面温度的平均值, 比较遮光与全光条件下果实表面温度日变化的差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 一天中光照对自然暴露果实表面温度的影响

生长季 8 月份一个晴天 11:00~17:00 平均日照强度为 556.3W/m<sup>2</sup> 的果实温度变化规律如图 1 所示。落日后到日出前, 果实阴面和阳面的温度都接近气温, 说明在没有光照参与的情况下, 果实温度主要受气温影响。日出后, 由于太阳照射果面的增温作用, 果实阳面温度迅速上升, 而阴面温度在 14:00 之前仍然接近气温, 只是到了午后一段时间内才略高于气温, 其原因可能是由于部分热量从果实阳面传导过来, 或者是由于果实阴面接受了邻近枝叶或其它果实反射光的结果。19:00 后阴面果温再次接近气温。日中, 果实阴面和阳面最大温差达到 9.6 °C, 阳面和气温最大温差达到 12.5 °C, 而阴面和气温最大温差只有 3 °C。由此可见, 无光情况下果温总是接近气温, 即使在有光条件下, 一般果实阴面温度也大多接近气温。所以, 为了研究和分析方便, 可以粗略地把树冠外围暴露果实的表面温度大致归为两个主要来源: 一是气温与果实的热交换作用(其值大约等于气温); 二是果实吸收光能后转化为热能所导致的增温作用(其值大约等于果温减去气温), 在此简称为光致果实温度(下同)。

### 2.2 阴天果实温度与气温的比较

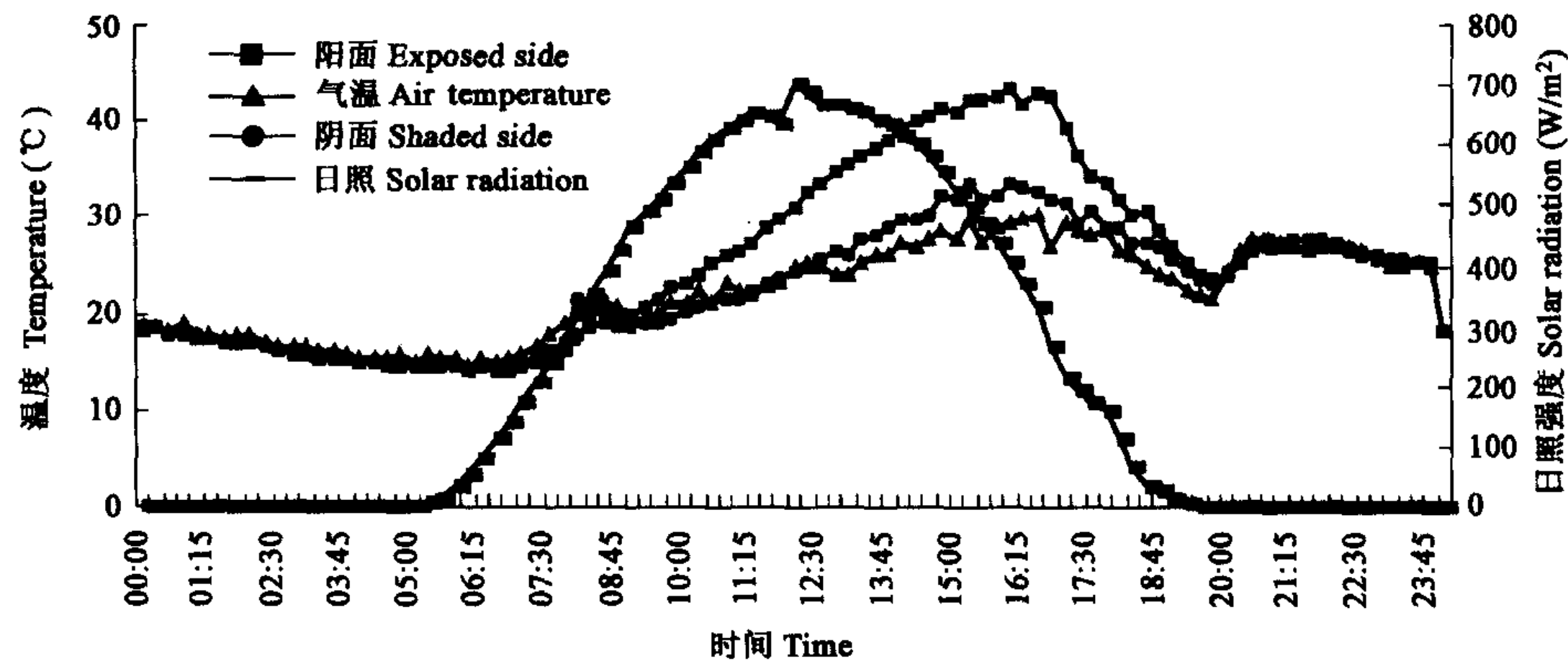


图1 果实温度日变化与日照的关系

Fig. 1 Daily changes of fruit temperature in relation to light intensity

在8月份选择全天基本是阴天的天气,观察果实温度的变化。从图2可以看出:阴天全天果实温度与气温十分接近,本观察日中11:00~19:00平均日照强度为 $183.6\text{W}/\text{m}^2$ ,二者温度相差幅度不大。中午时分即使短期内光照强度超过 $300\text{W}/\text{m}^2$ ,随后果实温度差异仍小于 $1.1^\circ\text{C}$ 。这说明尽管日照对果实温度上升有影响,但在日照强度较弱的情况下,短期内并不能明显改变果实表面的温度。另外,在低于一定范围的日照强度条件下,尽管持续时间较长对果实增温也没有明显影响。如本例中尽管中午前后超过 $200\text{W}/\text{m}^2$ 达到5h,但实际上对果实表面温度上升并未产生很大影响。而果温总是跟随气温变化。这也从另一个角度说明,一般情况下,气温对果实表面温度的形成起着主导作用。

### 2.3 晴天与阴天果实温度与气温的比较

由上可见,气温对果实表面温度有很大影响。为了最大限度地排除气温的作用,能够比较客观衡量自然状态下日照强度对果实温度的影响,在7月份选择了11:00~19:00平均气温基本相同的2d(23日为 $30.9^\circ\text{C}$ ,26日为 $31.0^\circ\text{C}$ ),但日照强度则完全不同,平均日照强度分别为 $486.2\text{W}/\text{m}^2$ 和 $587.9\text{W}/\text{m}^2$ ,以比较日照强度对果实表面温度增加的效应。图3表明:日照强度对果实表面温度具有很大影响,一天内果实温度相差最高值为 $14.23^\circ\text{C}$ ,发生在16:20。

### 2.4 不同月份光照对光致果实温度的影响

从2001年全生长季的监测资料看(表1),不同月份相比,光致果实温度最大值出现在8月份,为 $18.98^\circ\text{C}$ ,而且全月光致果实温度最大值的平均值也较高,为 $11.1^\circ\text{C}$ 。其它月份日光致果实温度最大值介于 $14.46\sim 15.74^\circ\text{C}$ 之间。最小光致果实温度的比较并无实际意义,因为8月和9月的最低值显然是受阴雨天的影响。但有一点可以肯定,生长季果实每日温度的最高值都或多或少大于最高气温,这也许可以充分说明日照每天都会对果实表面温度产生一定影响。

### 2.5 光照强度与光致果实温度的相关性

通过比较分析生长季2001年123d每日11:00~17:00平均光照强度与光致果实温度的数据,发现光照强度与光致果实温度呈极显著相关(图4)。随着光照强度的增加,光致果实温度也相应增加,其回归方程为 $Y=0.0088x+6.097$ , $r=0.43382^{**}$ 。

### 2.6 人工遮荫对果实表面温度的影响

为了证实遮荫对降低果实温度的效应,于生长季晴天午后使用白纸板进行了不同时间遮荫处理。结果表明:随着遮荫时间

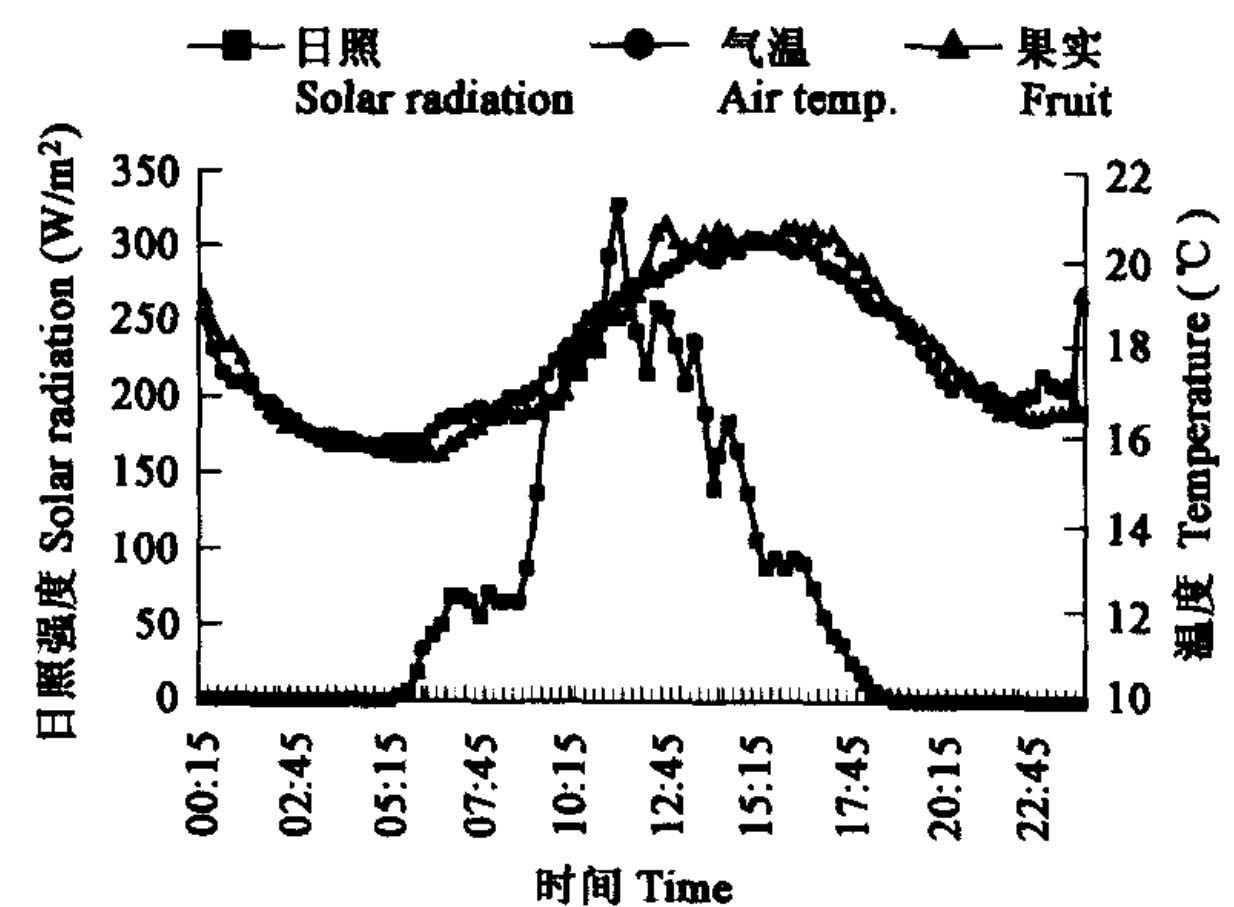


图2 阴天果实温度与气温的比较

Fig. 2 Comparison between fruit and air temperatures in a cloudy day

表1 不同月份光致果实温度变化的比较

Table 1 Comparison of fruit temperature rise caused by light among different months( $^\circ\text{C}$ )

月份 Month	最大温度 Max T	最小温度 Min T	平均温度 Average T
6 June	14.7233	5.7533	9.9356
7 July	14.56	7.3533	10.8718
8 August	18.9833	0.8167	11.1041
9 September	14.4567	0.3833	11.2686
10 October	15.7433	3.8417	10.9318

延长,果实表面温度逐渐下降,当果实温度接近气温时,再延长遮阴时间则对降低果实温度没有影响。例如,5 min 遮荫仅能降低果实表面温度 3.58℃,而 45 min 遮荫则可以降低果实表面温度 9.6℃(图 5)。而当果温接近气温后,遮荫 45 min 以上的处理并没有明显降低果温的效果。

另一个处理是于生长季晴天采用窗纱给果实遮荫,以确定光照强度对果实表面温度的影响。试验表明,遮荫处理在白天均有降低果实表面温度的效果,本日中午降低果实温度最大值为 6.87℃,出现在 15:18(图 6)。

### 3 讨论

#### 3.1 光致温度在果实表面温度构成中的份额

对于暴露在树冠外围的果实而言,光照是影响其表面温度升高的一个重要生态因子。果实表面温度一部分来自气温,果实温度的高低与气温这个基础温度有很大关系,其数值变化的范围在生长季不同月份或一天内都比较大;另一部分则来自于白天的光照,不同月份晴天最大值变化不是很大,介于 14~18℃。果实发育期,光照对果实表面温度始终有影响,光致果实温度变化的范围大致在 1~18℃左右。

#### 3.2 气温在果实日灼中的作用

张建光等试验证明:气温和光照是导致日灼的主要原因<sup>[10~12]</sup>。从本试验看,6~10 月份光致果实温度都能达到 14℃以上,所以,从理论上讲,只要气温能够达到 32℃以上,就有可能引起日灼。从近年的观察调查来看,确实从 6~10 月份都有日灼发生。不过,一般 6、9 和 10 月份出现这种高温天气的机率较小,而 7、8 月份出现的机率较高,这就是为什么每年果实日灼主要发生在 7~8 月份这段时期。而在这段时期内,日灼的发生又总是与气温最高的某些日子相吻合。就此意义来讲,气温在造成果实日灼方面起着主导的作用。在气温较高的前提下,如果遇上晴天就会导致日灼的发生。反之,如果气温较低,即使遇到晴天,果实表面温度也不会达到阈值温度,因此日灼不会发生。

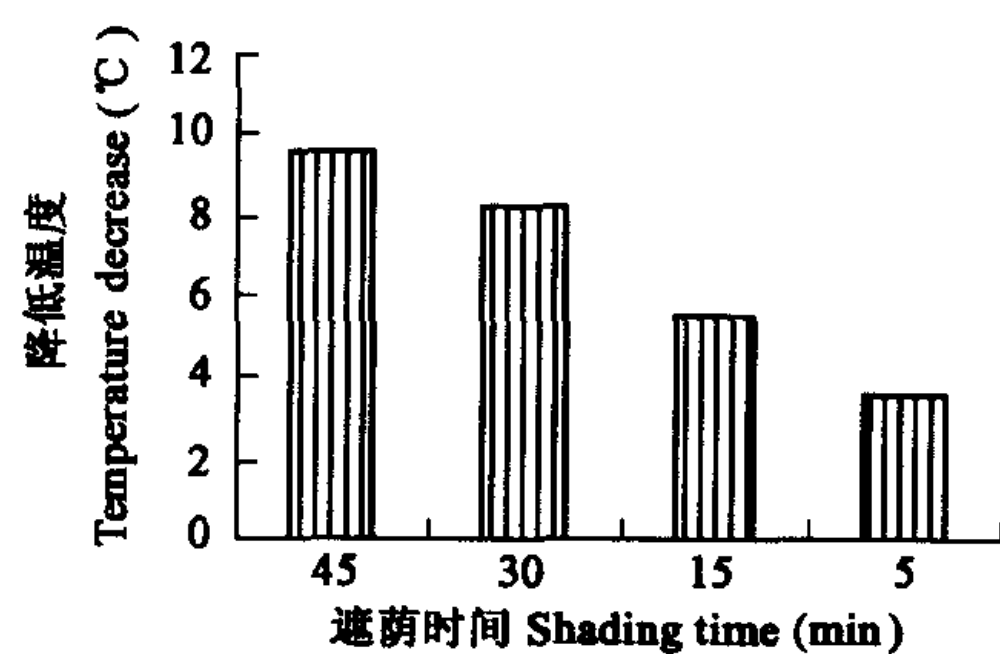


图 5 不同时间遮荫对降低果实温度的影响

Fig. 5 Effect of shading time on reducing fruit surface temperature

#### 3.3 光照在果实日灼中的作用

张建光等通过人工诱导和田间自然监测试验已经证实,苹果果实表面必须达到一定的阈值温度后才能发生日灼现象。不同品种阈值温度有所不同,介于 46~49℃±0.5℃<sup>[9]</sup>。一般当 10:00~16:00 平均光照强度达到 580 W/m<sup>2</sup> 以上,果实达到其日灼阈值温度 1 h,就有可能发生日灼<sup>[10]</sup>。在一定范围内,低温长时间诱导与高温短时间诱导具有同样的效应,如 48℃持续 1 h 与 52℃持续 10 min 均可引起日灼<sup>[9]</sup>。试验证明:果实表面高温主要来源于气温和光致果实温度,而单就气温而言,在我国北方地区一般年份不超过 42℃,也就是说如果没有光照的参与,果实表面不会达到日灼所需的阈值温度。因此,对于树冠外围裸露的果实而言,光照是引起日灼的必要条件之一。

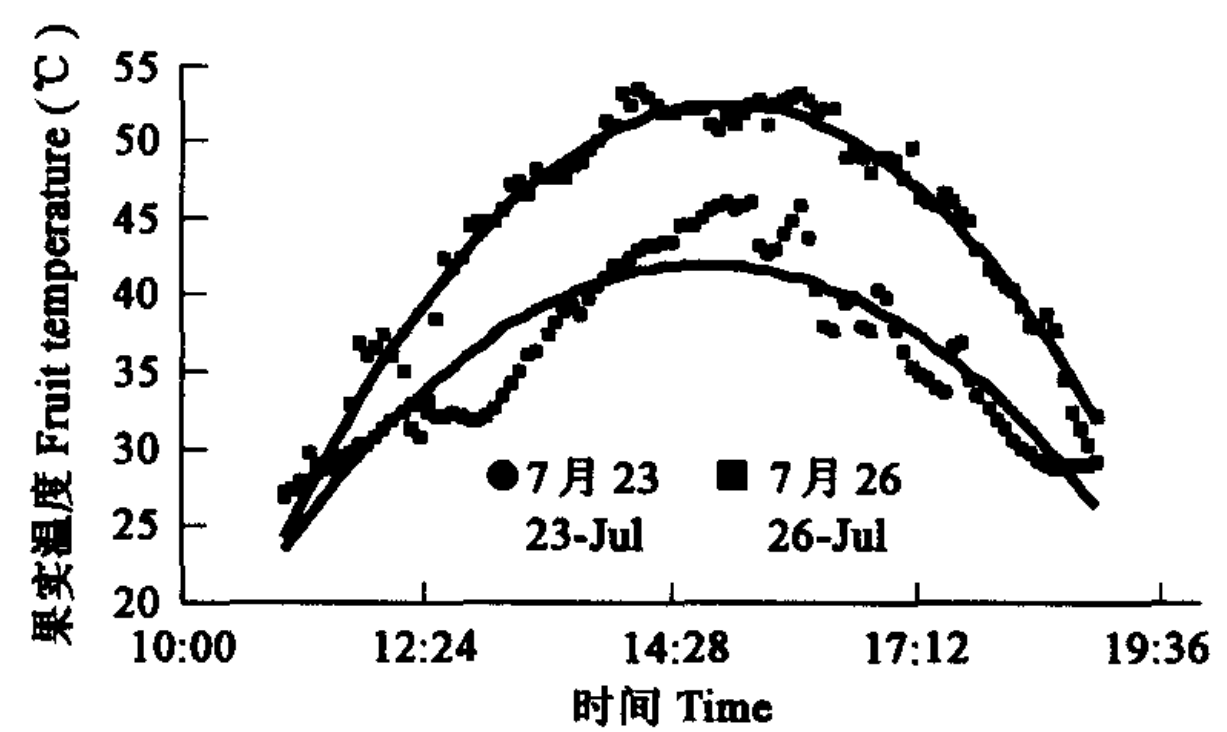


图 3 晴天和阴天果实温度比较

Fig. 3 Comparison of fruit temperatures between a sunny and cloudy day

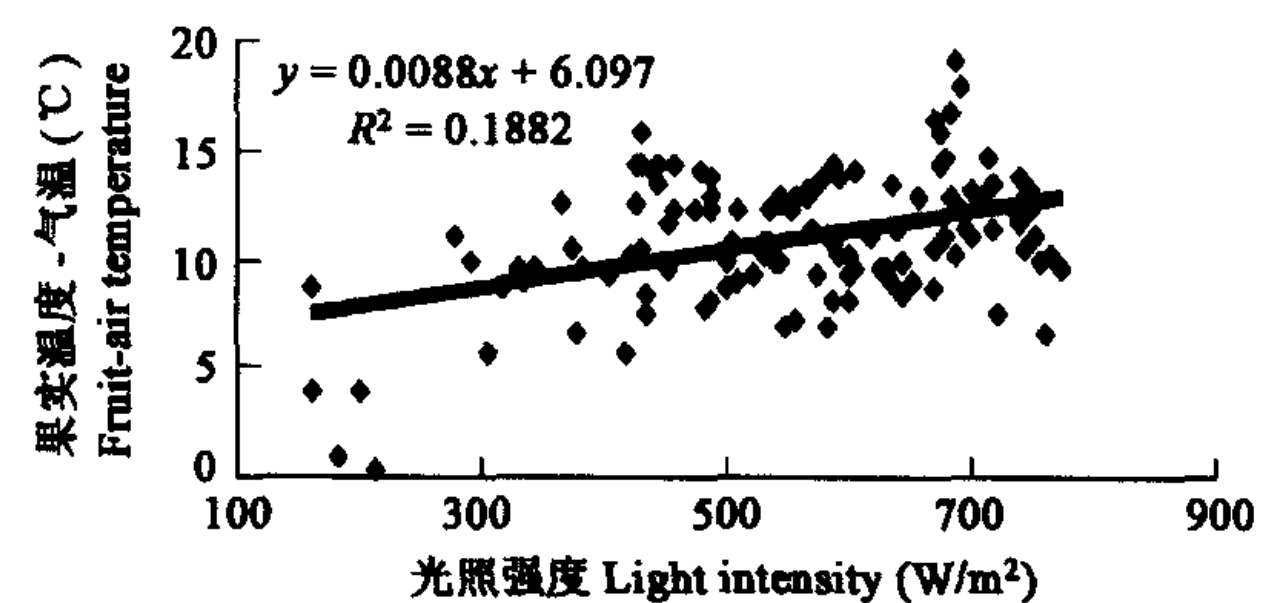


图 4 光照强度与果实增温的相关

Fig. 4 Regression between light intensity and fruit temperature increase

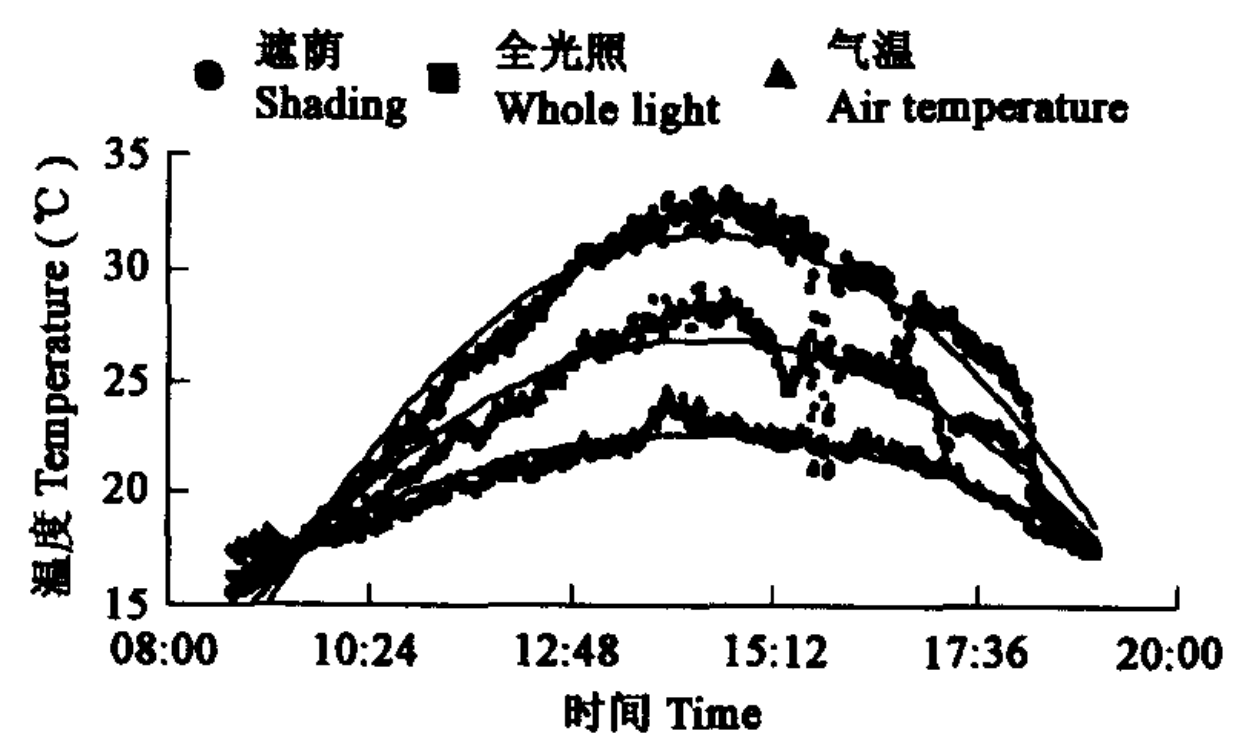


图 6 人工遮荫对果实表面温度的影响

Fig. 6 Effect of artificial shading on fruit surface temperature

**References:**

- [1] Bergh O, Franken J, Van Zyl E J, *et al.* Sunburn on apples-preliminary results of an investigation conducted during the 1978/1979 season. *The Deciduous Fruit Grower*, 1980, (30):8~22.
- [2] Cai Q X, Song S Z. The occurrence and control of apple fruit sunburn. *Shanxi Fruits*, 1992,(1):23~24.
- [3] Bas van de Ende. Sunburn management. *Compact Fruit Tree*, 1999, 32(1):13~14.
- [4] Warner G. Sunburn is a hot topic in orchards of Washington. *Good Fruit Grower*, 1997, (48):22~23.
- [5] Zhang J G, Schrader L. Study on restoration of sunburned fruit in apples. *Hebei Fruits*, 2002,(1):7~8.
- [6] Rabinowitch D, Ben-David B, Friedmann M. Light is essential for sunscald induction in cucumber and pepper fruits, whereas heat conditioning provides protection. *Scientia horticulturae*, 1986,(29):21~29.
- [7] Renquist A R, Harrison G H, Matthew K R. Combined high temperature and ultraviolet radiation injury of red raspberry fruit. *HortScience*, 1989, (2): 25~27.
- [8] Simpson J, Rom C R, Patterson M. Causes and possible controls of sunburn on apples. *Good Fruit Grower*, 1988, (39):16~17.
- [9] Zhang J G, Schrader L. Study on apple fruit sunburn-requirements for threshold temperature and solar radiation. *Hebei Fruits*, 2001, (2):11~12.
- [10] Zhang J G, Liu Y F, Sun J S, *et al.* Daily maximum fruit temperatures in relation to main meteorological factors in apples. *Acta Ecologica Sinica*, 2003,35(5):850~855.
- [11] Ketchie D O, Ballard A L. Environments which cause heat injury to "Valencia" oranges. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1968, (93):166~172.
- [12] Schrader L, Zhang J G. Two types of sunburn in apple caused by high fruit surface (peel) temperature. *Plant Health Progress*, 2001, (10):1~5.

**参考文献:**

- [2] 柴全喜, 宋素志. 苹果果实日灼的发生与防治. *山西果树*, 1992,(1):23~24.
- [5] 张建光, 施瑞德. 苹果果实日灼可恢复性研究. *河北果树*, 2002,(1):5~6.
- [9] 张建光, 刘玉芳, 施瑞德. 苹果果实日灼研究-临界温度及光照. *河北果树*, 2001,(2):11~12.
- [10] 张建光, 刘玉芳, 孙建设, 等. 苹果果面日最高温度与主要气象因子的关系. *生态学报*, 2003,35(5):850~855.