

# 水氮耦合对苹果光合特性和果实品质的影响

孙霞, 柴仲平, 蒋平安, 方雷

(新疆农业大学 草业与环境科学学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 通过不同灌水量和施氮处理, 研究水氮耦合对红富士苹果光合特性及品质的影响。结果表明: 红富士苹果的光合特性在不同水肥组合下的变化不同, 其光合作用存在明显的“午休”现象。中水高肥和高水高肥的肥水组合对光合速率的保持有一定的作用。低水中肥的肥水组合的蒸腾速率最低, 保水效果最好。中度水分供应条件下, 施用较多的氮肥可以提高气孔导度利于光合的进行。肥水管理以灌溉量  $5\ 250\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 、氮肥施用量  $600\ \text{kg}/\text{hm}^2$  方案能获得较高的品质效益。

**关键词:** 苹果; 水肥耦合; 光合特性; 品质

中图分类号: S661.1; S606

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)06-0271-04

## Effects on the Photosynthetic Characteristics and the Quality of the Apple under the Water and Nitrogen Coupling

SUN Xia, CHAI Zhong-ping, JIANG Ping-an, FANG Lei

(College of Grassland and Environmental Sciences, Xinjiang Agriculture University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** The effects of different water-nitrogen on photosynthetic characteristics and the quality of red Fuji apples were studied. The results indicated that photosynthetic characteristics of the Fuji apples changed with the different water and fertility treatments and appeared obvious phenomenon of the midday depression. Middle water and high nitrogen, high water and nitrogen treatments can keep the photosynthetic with certain effect. The treatment of the low water and middle nitrogen combination was the lowest and had the best effect of the water conservation. Under the moderate water, applying more nitrogen can enhance  $G_s$  and benefit of photosynthesis. The best scheme of fertilizer and water management were  $5\ 250\ \text{m}^3/\text{hm}^2$  of irrigation water,  $600\ \text{kg}/\text{hm}^2$  of nitrogen, which could obtain higher quality performance.

**Key words:** apple; water and fertilizer coupling; photosynthetic characteristic; quality

作物产量的高低首先取决于光合作用系统中的光合叶面积和光合效率, 而水、肥是影响光合作用不可缺少的因素, 二者相互促进和相互制约。土壤水分和养分是果树生长发育所必须的物质基础, 二者融为一体储存于土壤中, 对果树生长发育和光合产物的形成存在着既相互促进, 又相互制约的关系<sup>[1]</sup>。光合作用是果树生长和结果的基础, 研究果树的光合特性, 有利于了解果树的生长特性, 指导果树生产。苹果光合作用的研究在我国多始于 20 世纪 80 年代末 90 年代初, 主要是山西、山东等产区在红星、金冠等品种上, 采用传统的半叶法进行研究, 误差较大<sup>[2]</sup>。近年来随着便携式光合仪的普及应用, 苹果光合特性的研

究开始增多, 目前果树光合作用的影响主要集中在水分胁迫的研究上<sup>[3-5]</sup>, 但针对新疆产区未见报道。

新疆具有得天独厚生态环境, 是葡萄、苹果、雪梨等果树的天然乐园。阿克苏地区是新疆特色果树的主要产区, 盛产苹果、核桃等。2000 年以来, 新疆果树生产发展迅速, 已成为新疆一大支柱产业, 成为新的经济增长点和农民增收的主要源泉。由于缺乏合理的施肥、灌水技术和量化指标, 果树营养失调, 致使该区苹果初果期晚, 大小年严重, 果树生产潜力未能充分发挥。本研究以新疆南部阿克苏地区红富士苹果为材料, 研究水、肥对苹果光合特性及品质的影响, 提高果树水分、养分利用效率, 指导果树生产。

收稿日期: 2010-06-20

资助项目: 自治区重大专项“果树营养特性与水肥耦合技术研究”(200731136-5); 新疆农业大学校前期课题(XJAV200910); 土壤学自治区重点学科项目; 草环学院青年教师启动项目

作者简介: 孙霞(1975-), 女, 江苏建湖人, 讲师, 研究方向为植物营养。E-mail: sunxia1127@163.com

通信作者: 蒋平安(1965-), 男, 四川乐至人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为土壤、土壤信息系统、植物营养。E-mail: jiang863863@sina.com

## 1 材料与方方法

### 1.1 试验区概况

试验区位于新疆生产建设兵团农一师 9 团十三连 (40°34′00″N, 81°17′15″E), 属暖温带干旱荒漠地区, 气候干燥。平均年降水量 42.4 mm, 年蒸发量 2 110.5 mm。无霜期 205~219 d。年均气温 10.7℃。试验区土壤为棕漠土, 土壤有机质含量 11.91 g/kg, 速效氮 22.6 mg/kg, 速效磷 17.78 mg/kg, 速效钾 104 mg/kg, pH 为 8.2。

### 1.2 供试树种

供试树种为乔化红富士, 海棠砧木, 树体生长健壮, 树高 4.4~6.0 m, 冠幅 4.1~7.2 m, 叶面积指数 1.42~5.07, 树势中庸, 树龄 15 a, 株行距 4 m×6 m。

### 1.3 试验设计

滴灌施  $P_2O_5$  (225 kg/hm<sup>2</sup>) 与  $K_2O$  (37.5 kg/hm<sup>2</sup>) 为固定值, 以滴灌水量与施 N 量为决策变量采用二因子五水平正交组合设计, 共设 9 个处理, 每处理 9 株树, 3 次重复。具体试验方案见表 1。试验用氮肥为尿素 (N 含量 46%), 磷肥选用磷酸一铵 ( $P_2O_5$  含量 64%), 钾肥选用硫酸钾 ( $K_2O$  含量 50%)。全生育期共滴灌水 7 次, 每次灌水量相同。萌芽-开花期滴灌水 4 次, 分别在萌芽前、萌芽后、新梢生长期、开花前随水施入 70% 的氮肥, 40% 的磷肥, 30% 的钾肥。果实生长期滴灌水 3 次, 分别在坐果、果实膨大、果实成熟期, 随水施入 30% 的氮肥、60% 的磷肥, 70% 的钾肥。

### 1.4 测定指标及方法

1.4.1 叶片光合指标及测定 光合特性测定于 2009 年 7 月中旬选择晴朗、无浮云的天气进行, 采用英国 PP-systems 公司生产的便携式光合 TPS-2 测定系统, 采用开放式气路。测试时采用树冠中上部、向阳面生长健壮、叶龄相对一致的健康成熟 5 片营养枝叶片作供试材料, 并保证该叶片全天处于自然光照的条件下, 于 9:00-20:00 每 2 h 观测光合日变化指标 1 次。每次测定读取 3 个稳定的数值, 取平均值。测试指标包括: 净光合速率 ( $P_n$ )、胞间  $CO_2$  浓度 ( $C_i$ )、空气  $CO_2$  浓度 ( $C_a$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ )、气孔导度 ( $G_s$ )、光强 ( $PAR$ )。利用 Excel 处理制作图表, 进行比较分析。

1.4.2 果实品质指标 可溶性固形物用 WYT-32 手持折光仪测定; 可滴定酸用 NaOH 中和滴定法测定; 果实硬度用 HP-30 型果实硬度计测定, 每个果实测定对应的两面, 每处理测定 10 个果实, 取平均值; 果形指数用游标卡尺测量果实纵横径, 用纵横径之比表示。

表 1 试验方案

| 处理 | 结构矩阵   |        | 总量实施方案                         |                                             |
|----|--------|--------|--------------------------------|---------------------------------------------|
|    | $X_1$  | $X_2$  | N 量/<br>(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 灌水量/<br>(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> ) |
| 1  | 1      | 1      | 7905                           | 510                                         |
| 2  | 1      | -1     | 7905                           | 90                                          |
| 3  | -1     | 1      | 2595                           | 510                                         |
| 4  | -1     | -1     | 2595                           | 90                                          |
| 5  | 1.414  | 0      | 9000                           | 300                                         |
| 6  | -1.414 | 0      | 1500                           | 300                                         |
| 7  | 0      | 1.414  | 5250                           | 600                                         |
| 8  | 0      | -1.414 | 5250                           | 0                                           |
| 9  | 0      | 0      | 5250                           | 300                                         |

## 2 结果与分析

### 2.1 不同水氮条件对红富士苹果光合特性的影响

2.1.1 苹果光合速率的变化 由图 1 可以看出, 在果实生长阶段红富士苹果的光合速率的日变化中, 各处理净光合速率在 9:00-11:00 时均随着光强的增加和温度的升高而迅速上升, 于 11:00 左右出现第一次高峰, 处理 9 的光合速率的最高, 为 23.4 mol/(m<sup>2</sup>·s); 之后各处理随着光强的继续增加和温度的升高而开始下降, 处理 5 在 15:00 出现最低值, 为 10.4 mol/(m<sup>2</sup>·s), 说明其光合作用存在明显的“午休”现象。“午休”现象是由于中午温度过高, 蒸腾速率过盛, 大气相对湿度较低, 导致气孔关闭而引起的<sup>[6]</sup>。

从图 1 中还可以看出, 虽然处理 1 为高水高肥, 但其光合速率并未显著高于其他处理, 表明灌水量为 7 905 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 施氮量为 510 kg/hm<sup>2</sup> 的水肥处理对苹果光合速率的提高作用不明显。从 17:00-19:00 时段里除了处理 8 和处理 9 之外, 其他处理的光合速率的变化相似, 为下降趋势, 但下降幅度不大, 仍保持较高的光合速率。说明中水高肥和高水高肥的肥水组合对光合速率的保持有一定的作用。

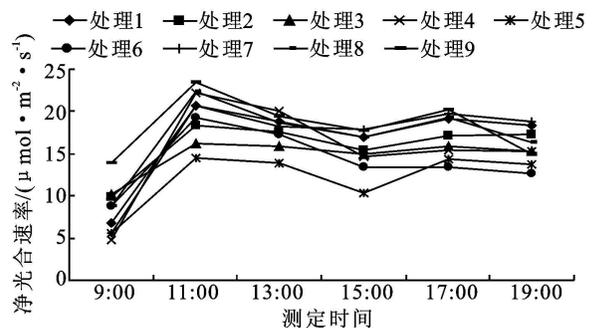


图 1 不同水氮处理苹果光合速率的变化

2.1.2 气孔导度和蒸腾速率的变化 气孔导度是植物气孔传导  $CO_2$  和水汽的能力, 植物通过改变气孔的开度等方式来控制与外界的  $CO_2$  和水汽交换, 从而调

节光合速率和蒸腾速率。由图 2 可知,红富士苹果一天中气孔导度的变化是先升高然后再降低,最后趋于平缓。在 9:00-11:00 时,气孔导度缓慢上升,11:00-15:00 上升速度迅速,除处理 6 外,各处理的气孔导度在 15:00 达到当日最高值。低水分条件下的各肥料处理的气孔导度显著低于中水分各肥料处理和高水分条件的各肥料处理的气孔导度。低水低肥处理的气孔导度最低。一天中的气孔导度的最低值多出现在 9:00 左右,而气孔导度的最高值多出现在 15:00 左右的处理 9 中,表明中肥中水的处理对增加气孔导度的作用很明显。高水中肥处理的气孔导度显著高于低水中肥处理,表明在中度水分条件下,施用较多的氮肥可以提高气孔导度利于光合的进行。

图 3 反映了不同水氮处理苹果蒸腾速率的变化,各处理的蒸腾速率变化基本一致,在 13:00 时出现第一次高峰,之后变化迅速,15:00 时之前,随光强的增加和气温的升高呈现上升趋势,15:00 时各处理均达到当日最高值,蒸腾速率的最大值出现在处理 1 中,峰值为  $8.19 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。最小值则出现在低水低肥处理和低水中肥处理中,15:00 时后开始下降,是由于光照逐渐减弱,植物体内水分减少,气孔逐渐关闭的原因所致。17:00 时之后蒸腾速率下降较快。低水中肥的肥水组合的蒸腾速率最低,保水效果最好。

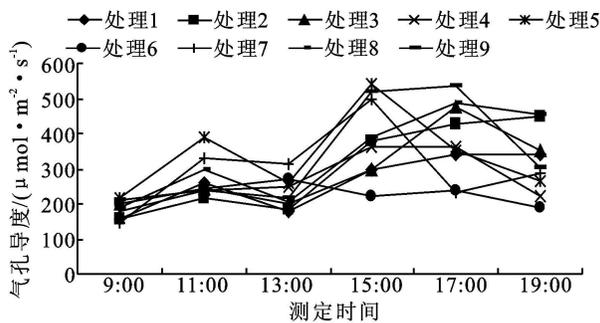


图 2 不同水氮处理苹果气孔导度的变化

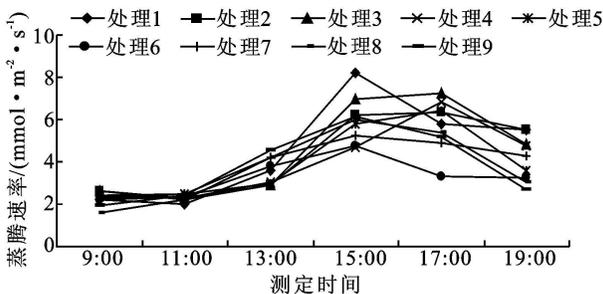


图 3 不同水氮处理苹果蒸腾速率的变化

2.1.3 胞间  $\text{CO}_2$  浓度的变化 图 4 反映出一天中苹果胞间  $\text{CO}_2$  浓度值的变化情况。各处理间  $\text{CO}_2$  浓度变化趋势基本一致,变化幅度不大。在 9:00 达到当日最大值后迅速下降,11:00 之后缓慢上升,15:00

出现第 2 次低谷,之后  $\text{CO}_2$  浓度又有所上升。在水分一定的情况下,中肥的  $\text{CO}_2$  浓度最高。相同氮肥供应条件下,高水处理比低水处理的胞间  $\text{CO}_2$  浓度高。低水低肥处理的胞间  $\text{CO}_2$  浓度值最低。

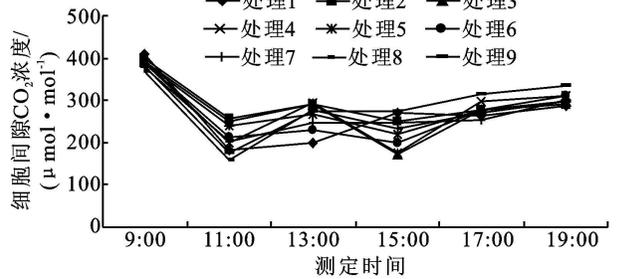


图 4 不同水氮处理胞间  $\text{CO}_2$  浓度变化

### 2.2 水氮对红富士苹果品质的影响

不同处理的果实在采收时可溶性固形物的含量各不相同,以处理 5 的果实可溶性固形物含量最高,处理 2 最低(表 2)。试验结果表明:在水分供应相同的情况下,随着氮肥供应的增多,可溶性固形物的含量在逐渐下降,表明高氮不利于果实内含物的积累,影响果实的内在品质。在氮肥供应相同的条件下,高水处理比低水和中水处理的可溶性固形物高。水分一定的条件下,氮肥供应越多,果实可滴定酸含量越高。施氮量相同时,水分供应越多,果实可滴定酸含量也有提高。生产中为降低果实酸度应控制氮肥的施用量和减少水分供应。但各氮素水平果园可滴定酸的变异较大,说明可滴定酸受其它因子影响较大。在水分一定的条件下,减少氮肥供应可提高果实的果形指数。

表 2 不同水氮处理苹果品质的变化

| 处理 | 单果重/<br>g | 可溶性固<br>形物/% | 可滴定酸/<br>% | 果实硬度/<br>( $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) | 果形<br>指数 |
|----|-----------|--------------|------------|-----------------------------------------------|----------|
| 1  | 289.09    | 13.80        | 0.43       | 8.50                                          | 0.85     |
| 2  | 236.26    | 12.70        | 0.40       | 8.05                                          | 0.95     |
| 3  | 201.59    | 15.05        | 0.33       | 8.30                                          | 0.92     |
| 4  | 212.47    | 14.70        | 0.24       | 8.50                                          | 0.91     |
| 5  | 198.20    | 17.05        | 0.48       | 8.43                                          | 0.94     |
| 6  | 211.87    | 14.95        | 0.41       | 7.55                                          | 1.01     |
| 7  | 231.50    | 15.55        | 0.43       | 8.55                                          | 0.99     |
| 8  | 277.20    | 14.85        | 0.31       | 8.14                                          | 0.87     |
| 9  | 244.69    | 15.75        | 0.28       | 8.63                                          | 0.90     |

果实硬度是果实品质高低,耐贮耐运的标志<sup>[7]</sup>。研究结果表明,在水分一定的条件下,氮肥供应越多果实硬度越强;在氮肥供应一定的条件下,中度的水分供应比高水和低水供应表现出来的果实硬度更高。高氮处理与低氮处理果实硬度显著低于中高氮处理与中低氮处理,表明氮素过高或过低都不利于提高果实硬度。

### 3 结论

在本研究中,苹果叶片的净光合速率日变化过程中呈双峰曲线,光合作用存在明显的“午休”现象。高水高肥处理对提高光合作用效果不明显。中肥中水处理对显著增加气孔导度。高水中肥处理的气孔导度显著高于低水中肥处理。低水中肥的肥水组合的蒸腾速率最低,保水效果最好。

水氮耦合对苹果品质影响较大,对改善果实形状、硬度和大小也有一定的积极作用。高氮不利于果实内含物的积累,影响果实的内在品质。水分一定的条件下,氮肥供应越多,果实可滴定酸含量越高。施氮量相同时,水分供应越多,果实可滴定酸含量也有提高。生产中为降低果实酸度应控制氮肥的施用量和减少水分供应。在水分一定的条件下,减少氮肥供应可提高果实的果形指数。综合不同水氮处理对苹果果实品质的影响进行评价,肥水管理以灌溉量  $5\ 250\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 、氮肥

施用量  $600\ \text{kg}/\text{hm}^2$  方案能获得较高的品质效益。

参考文献:

- [1] 郑文君,范崇辉,韩明玉.不同天气对苹果叶片光合特性的影响[J].西北农业学报,2007,16(6):124-127.
- [2] 王继和,张明,王春荣,等.金冠、毛里斯、新红星苹果光合特性的研究[J].西北植物学报,2000,20(5):802-811.
- [3] 赵明德,王有年,谷继成.水分亏缺对苹果幼树日光合效率的影响[J].北京农学院学报,2004,19(3):35-37.
- [4] 杨建民,王中英.水分胁迫对新红星苹果幼树光合作用的影响[J].河北林学院学报,1993,8(2):103-106.
- [5] 曹慧,许雪峰,韩振海,等.水分胁迫下抗旱性不同的两种苹果属植物光合特性的变化[J].园艺学报,2004,31(3):285-290.
- [6] 曹冬梅,康黎芳,王云山,等.根外施钾对苹果幼树气孔特性及光合速率的影响[J].山西农业大学学报,2002,30(1):57-60.
- [7] 束怀瑞.苹果学[M].北京:中国农业出版社,1999:149.
- (上接第 262 页)
- [37] Piegay H, Landon N. Promoting ecological management of riparian forest on the Drome River, France [J]. Aquatic Conser Marine Freshwater Ecosyst, 1997, 7(4): 287-304.
- [38] Dillaha T A, Reneau R B, Mostaghimi S, et al. Vegetative filter strips for agricultural non point source pollution control [J]. Trans. ASAE, 1989, 32(2): 513-519.
- [39] Duchemin M, Madjoub R. Les bandes filtrantes de la parcelle ou bassin versant [J]. Vecteur Environ., 2004, 37(2): 36-52.
- [40] 董凤丽,袁峻峰,马翠欣.滨岸缓冲带对农业面源污染  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{TP}$  的吸收效果 [J]. 上海师范大学学报:自然科学版,2004,33(2):93-97.
- [41] Borin M, Vianello M, Morari F, et al. Effectiveness of buffer strips in removing pollutants in runoff from a cultivated field in North East Italy [J]. Agric. Ecosyst. Environ., 2005, 105(1/2): 101-114.
- (上接第 270 页)
- [3] 傅杨武,陈明君,祁俊生.重金属在消落带土壤水体系统中的迁移研究[J].水资源保护,2008,24(5):8-11.
- [4] 唐将,钟远平,王力,等.三峡库区土壤重金属背景值研究[J].中国生态农业学报,2008,16(4):848-852.
- [5] 李其林,黄昀,刘光德,等.三峡库区主要土壤类型重金属含量及特征[J].土壤学报,2004,41(2):301-304.
- [6] 黄昀,周优良,李道高,等.三峡库区柑橘园土壤重金属行为特征研究[J].中国生态农业学报,2005,13(3):45-47.
- [7] 国家环境保护局.土壤环境质量标准 GB15618-1995[S].
- [8] 钟晓兰,周生路,李江涛,等.长江三角洲地区土壤重金属生物有效性的研究:以江苏昆山市为例[J].土壤学报,2008,45(2):240-247.
- [9] 钟晓兰,周生路,黄明丽,等.土壤重金属的形态分布特征及其影响因素[J].生态环境学报,2009,18(4):1266-1273.
- [10] 傅杨武,祁俊生,陈书鸿,等.三峡库区苕溪河流域消落带土壤重金属污染调查及评价[J].土壤通报,2009,40(1):162-166.