

# 苹果新梢叶片光合作用的测定

杜社妮<sup>1,2</sup>, 宋耀兴<sup>3</sup>, 张沛琪<sup>3</sup>

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;  
3. 内蒙古自治区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010020)

**摘要:**以盛果期‘红富士’苹果为研究对象,在树冠外围东南处中部,利用 LI-6400 光合仪测定延长枝、发育枝、果台副梢、叶丛枝最大叶片的光合能力,以准确测定苹果叶片光合能力。结果表明:不同新梢叶片的光合速率、气孔导度日变化为双峰曲线,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度为反抛物线,蒸腾速率为单峰曲线。延长枝叶片的光合能力较高,叶丛枝较低,果台副梢、发育枝居中。发育枝叶片生长发育受果实的生长发育影响较小,可作为苹果光合作用测定的适宜叶片。

**关键词:**苹果;新梢;叶片;光合作用

中图分类号:S 661.1 文献标识码:A 文章编号:1001-0009(2012)16-0012-05

光合作用是生物界最基本的物质代谢和能量代谢,是生物界赖以生存的基础,也是地球碳氧循环的重要媒介。我国是世界上最大的苹果 (*Malus domestica* Borkh.) 生产国,叶片光合能力的强弱往往决定了苹果产量高低及品质优劣。苹果光合能力往往与品种、叶位、叶龄、天气、砧穗组合、栽培条件等密切相关<sup>[1-3]</sup>。苹果树体高大,枝叶繁多,测定光合作用时应选择合理的树冠部位、新梢类型、叶位等,以便比较、分析不同品种、产地及不同栽培模式下叶片的光合能力。但在试验研究及生产中,测定苹果叶片光合作用时常用的方法有:选择树冠中上部、向阳面叶龄相对一致的成熟叶片<sup>[4-8]</sup>、选择树冠南北两侧中部的成熟叶片<sup>[9-10]</sup>、在树冠东、西、南、北 4 个方位选择叶片<sup>[11-14]</sup>、或没有具体说明<sup>[15-19]</sup>、或随机取样<sup>[20-23]</sup>。关于叶位的选择有:新梢自上向下第 9~11 的成熟叶片<sup>[24]</sup>、新梢中上部的叶片<sup>[25]</sup>、新梢基部向上的 2~4 片<sup>[26]</sup>、新梢基部向上的 3~5 片<sup>[15-16]</sup>、新梢中部的第 7 片叶<sup>[27]</sup>、新梢中部的第 5 片叶<sup>[28]</sup>、新梢自上而下的第 10 片叶<sup>[5]</sup>、顶端向下数的第 3 或第 4 叶片<sup>[12]</sup>。关于新梢类型的选择有:外围延长枝<sup>[28]</sup>、发育枝<sup>[8]</sup>、中枝<sup>[14]</sup>。李明霞等<sup>[29]</sup>则对发育枝、果台副梢、叶丛枝中的最大叶片分别测定,张义等<sup>[30]</sup>则选择树冠阳面中部短枝末端的叶片。总之,苹果叶片光合作用测定时叶片选择比较混乱,给比较、分析叶片光合能力带来了不便。为了便于比较、测定及分析苹果叶片的光合能力,以盛果

期乔化“红富士”苹果为研究对象,测定树冠外围阳面不同新梢最大叶片的光合能力,为比较、分析叶片光合能力及规范叶片光合测定提供指导。

## 1 材料与试验方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于渭北高原的长武县王东村,东经 107°30′~107°42′,北纬 35°12′~35°16′,海拔 1 200 m,土壤为黑垆土,无灌溉条件,为旱作雨养农业区。测试园为暖温带半湿润大陆性季风气候,年均气温 9.1℃,≥10℃积温 3 029℃,无霜期 171 d,降水量 584 mm,日照时数 2 226.5 h,日照百分率 51%。

### 1.2 试验材料

测试树为 25 a 生的“红富士”苹果,砧木为新疆野苹果 [*Malus sieversii* (Ldb.) Roem], 处于盛果期。测试园为南北行向,株行距 4.0 m×5.0 m,树形为小冠疏层形。测试树树势中等偏上,树高 3.80~4.00 m,冠径 3.80~4.00 m,冠高 3.00~3.20 m,树干直径 19.0~21.0 cm,平均株产 75.0 kg,平均单果质量 186 g,优质商品率 82.5%。

### 1.3 试验方法

2010 年苹果花芽分化期(6 月 18~23 日)选择树势、产量、树冠大小、树干直径等相对一致的 3 棵树作为测试树。

**1.3.1 树冠部位** 选择树冠外围中部(距树干 1.6~1.9 m,距地面 1.6~1.8 m)南偏东 30°处作为测定部位。所选部位全天均可得到自然光照。

**1.3.2 新梢种类** 在树冠测定部位选择同一枝组的延长枝、发育枝、果台副梢、叶丛枝各 3 枝,其中延长枝长 30.0 cm 左右,发育枝长 20 cm 左右,果台副梢长 15 cm

第一作者简介:杜社妮(1966-),女,硕士,实验师,现主要从事蔬菜及果树试验方面的工作。E-mail:sndu@nwsuaf.edu.cn.

基金项目:中国科学院水利部水土保持研究所领域前沿资助项目(C127);“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD31B05)。

收稿日期:2012-04-24

左右,叶丛枝长 1.0 cm 左右。

1.3.3 叶位 在被选新梢中选择健康、成熟且叶面积最大的叶片作为测定叶片,其中延长枝为从基部向上的第 7 片叶,发育枝为第 5 片叶,果台副梢为 4 片叶,叶丛枝为第 4 片叶。在晴天从 8:00~18:00 用美国产 LI-6400 型便携式光合测定仪,采用标准叶室,开放式气路,每小时测定 1 次所选叶片的光合速率,测定时叶室方向与太阳光线方向垂直。每次测定时读取 3 个稳定的数值。测试指标包括净光合速率(Pn)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)。

1.4 数据分析

以单株计,取每次测定的平均值,并利用 Excel 制作日变化图。试验数据用 SPSS 10.0 软件进行单因素方差分析;如果差异显著,则采用 Duncan's 检验进行多重比较,检验不同新梢叶片光合参数的差异显著性。

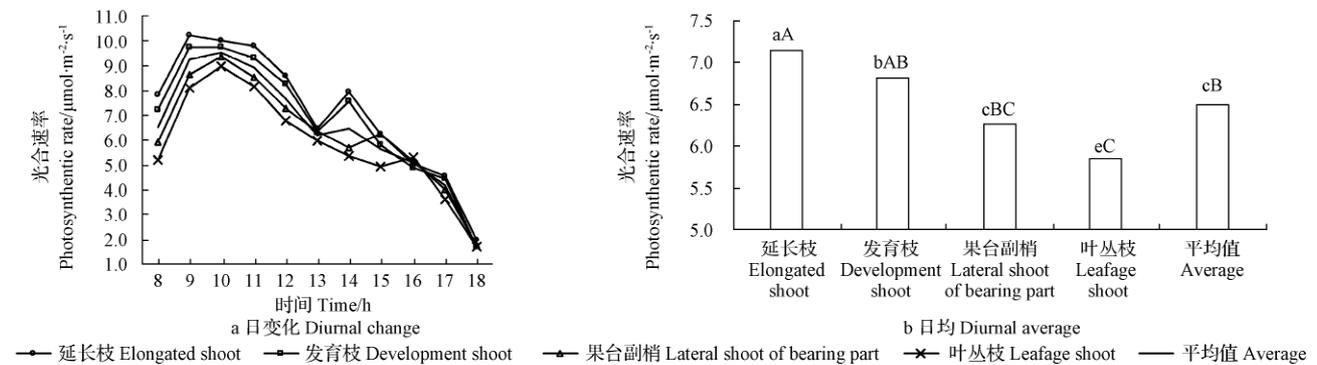


图 1 不同新梢叶片的光合速率

Fig 1 Photosynthetic rate of different shoot leaves

2.2 不同新梢叶片的蒸腾速率

不同新梢叶片的蒸腾速率日变化均为单峰曲线,最高值均出现在 13:00(图 2a)。延长枝叶片的日均蒸腾速率为 3.50 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,发育枝为 3.35 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,果台副梢为 3.05 mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,

2 结果与分析

2.1 不同新梢叶片的光合速率

不同新梢叶片的光合速率日变化均为双峰曲线,其中延长枝、发育枝第 1 峰值出现在 9:00,而果台副梢、叶丛枝出现在 10:00。延长枝、发育枝第 1 峰值较果台副梢、叶丛枝提前 1 h 出现。延长枝、发育枝第 2 峰值出现在 14:00,果台副梢出现在 15:00,叶丛枝出现在 16:00(图 1 a)。

延长枝叶片日均光合速率为 7.15 µmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,发育枝为 6.82 µmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,果台副梢为 6.28 µmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,叶丛枝为 5.84 µmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,不同新梢之间存在着显著差异,其中延长枝极显著高于果台副梢和叶丛枝,发育枝极显著高于叶丛枝(图 1b)。不同新梢叶片的日均光合速率平均值为 6.49 µmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,果台副梢最接近于平均值,其次为发育枝,延长枝、叶丛枝距平均值较远。

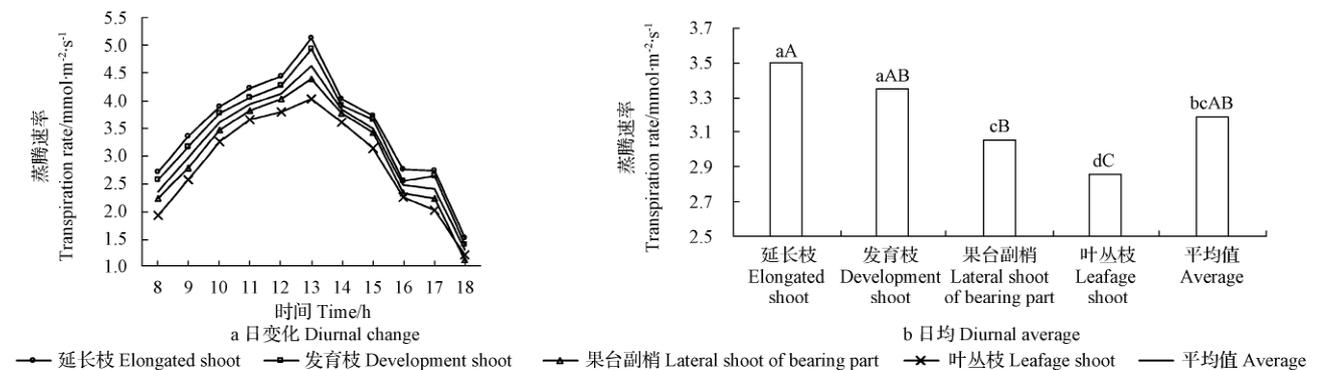


图 2 不同新梢叶片的蒸腾速率

Fig 2 Transpiration rate of different shoot leaves

较远。

### 2.3 不同新梢叶片的叶片气孔导度

不同新梢叶片的气孔导度日变化均为双峰曲线,第1峰值出现在 10:00,第2峰值出现在 14:00(图 3a)。延长枝叶片的日均气孔导度为  $0.14 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,发育枝为

$0.13 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,果台副梢  $0.11 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,叶丛枝  $0.10 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,不同新梢叶片的气孔导度存在显著或极显著差异(图 3b)。不同新梢叶片的日均气孔导度平均值为  $0.12 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,其中发育枝、果台副梢接近于平均值。

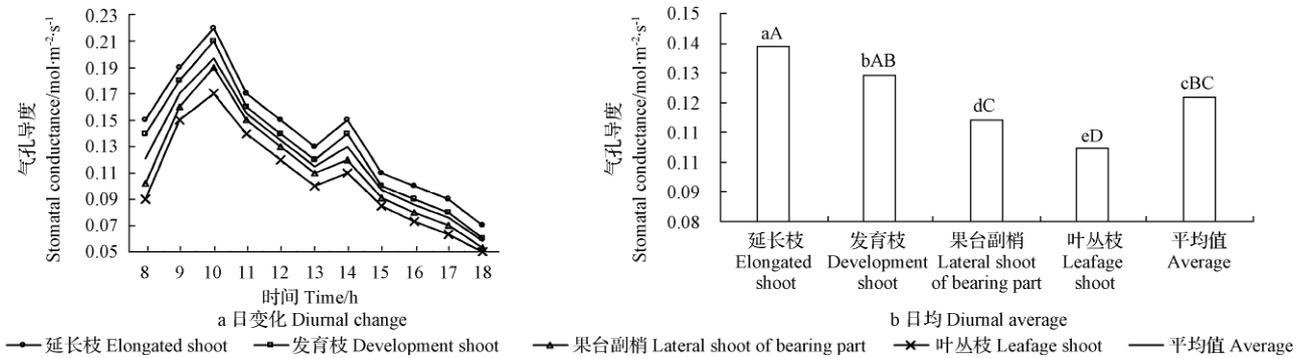


图 3 不同新梢叶片的气孔导度

Fig 3 Stomatal conductance of different shoot leaves

### 2.4 不同新梢叶片的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度

不同新梢叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度均呈“反抛物线”型,最低值出现在 14:00(图 4a)。延长枝叶片日均胞间 CO<sub>2</sub> 浓度为  $252.09 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ,发育枝为  $255.52 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ,果台

副梢为  $263.96 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ,叶丛枝为  $268.65 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ,其中叶丛枝显著高于延长枝和发育枝(图 4b)。不同新梢叶片日均胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的平均值为  $260.09 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ,其中发育枝、果台副梢接近于平均值。

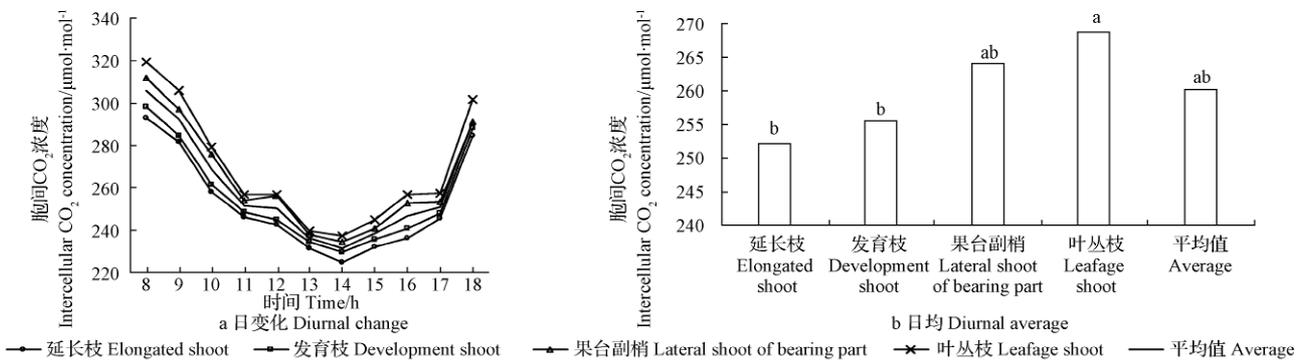


图 4 不同新梢叶片的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度

Fig 4 Intercellular CO<sub>2</sub> concentration of different shoot leaves

## 3 讨论与结论

叶片光合作用与光照强度、CO<sub>2</sub> 浓度、温度及叶片的发育程度、叶片结构等密切相关。苹果树冠高大,树冠不同部位的光照、通风等微生态环境不同,可造成不同部位叶片的光合能力出现差异。在树冠外围中部东南处,延长枝相对向外,光照、通风等微环境优于发育枝和果台副梢,因而光合速率高于发育枝和果台副梢;叶丛枝相对向内,光照、通风等微环境劣于发育枝和果台副梢,因而光合速率低于发育枝和果台副梢。同一枝组内,延长枝大多由剪口第 1 芽萌发,顶端优势明显,叶片生长旺盛,单叶面积较大且叶片较厚,因而光合能力较强;发育枝往往由剪口下第 2、3 个芽萌发,生长势较延长

枝弱,故其叶片光合能力也较延长枝弱;叶丛枝往往是剪口下第 5、6 个芽萌发的短缩枝,受“顶端优势”及光照、通风等微环境的影响,故其光合能力较弱。果台副梢是从果台两侧或一侧生长的 1~2 个强弱不同的枝条,是距果实最近的新梢,与果实的“库-源”关系最为密切,但其生长往往受果实生长的影响,且与果实存在着相互制约的关系。果台副梢叶片的光合产物最易运送到果实,叶片光合速率应高于发育枝叶片,但由于测试树树龄较高,挂果量较大,果台副梢受到果实生长发育的影响,生长较弱,因而其光合速率低于发育枝。延长枝、发育枝、果台副梢、叶丛枝叶片的光合能力与李明霞等<sup>[29]</sup>、郑文君等<sup>[31]</sup>的测试结果基本相同,与解思敏等<sup>[32]</sup>的不相同,

主要是解思敏等测定的品种为“新红星”,为短枝型品种,短枝型品种的短枝叶片光合能力较高引起的。叶片的光合速率与蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度密切相关,随着叶片光合能力的提高,蒸腾速率、气孔导度均显著提高;光合能力提高或气孔导度下降都可减少胞间 CO<sub>2</sub> 浓度<sup>[33]</sup>,因此延长枝、发育枝叶片胞间 CO<sub>2</sub> 浓度较低,叶丛枝较高。

同一枝组的延长枝、发育枝、果台副梢、叶丛枝叶片的光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度存在一定的差异,其中发育枝、果台副梢叶片的光合能力接近于4种新梢叶片的平均值,延长枝、叶丛枝叶片的较平均值较远。发育枝叶片与果台副梢叶片相比,受果实生长发育影响较小,可作为光合作用测定的适宜叶片。

延长枝、发育枝、果台副梢、叶丛枝叶片的光合速率、气孔导度日变化为双峰曲线,蒸腾速率为单峰曲线,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度为“反抛物线”,延长枝叶片的光合能力较高,叶丛枝较低,果台副梢、发育枝的光合能力居中。

不同新梢中,发育枝叶片的光合能力处于中等偏上的水平,可作为苹果光合作用测定的适宜叶片。

#### 参考文献

- [1] Grozov D N, Shishkanu G V. Photosynthesis by apple trees on a dwarfing rootstock [J]. Sadovodstvo, Vinogradarstvo Vinodelie Moldavii, 1972 (12):10-13.
- [2] Webster A D. A review of fruit tree rootstock research and development [J]. Acta Hort, 1997, 451:53-73.
- [3] Brase K D, Way R D. Rootstocks and methods used for dwarfing fruit trees [J]. N Y State Agr Exp Sta, 1959(4):783.
- [4] 孙霞,柴仲平,蒋平安. ‘红富士’苹果光合特性日变化特征研究[J]. 北方果树, 2010(5):4-6.
- [5] 王新娟,马锋旺,冯凤娟,等. 18个苹果种质资源光合特性的比较[J]. 西北农业学报, 2011, 20(4):153-158.
- [6] 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.
- [7] 张义,谢永生,郝明德,等. 地表覆盖及生理生态因子对苹果树光合特性的影响[J]. 水土保持通报, 2010, 30(1):125-130.
- [8] 曹冬梅,王云山,康黎芳,等. 根外施肥对苹果树光合速率的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(1):80-82.
- [9] 张海燕,张林森,李丙智,等. 半根灌溉对成年苹果树光合荧光及果实品质的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(5):306-311.
- [10] 张全军,阎振立,张顺妮,等. 普通华冠和短枝华冠苹果叶片光合特性比较[J]. 河南农业科学, 2006(11):86-89.
- [11] 郭雯,李丙智,张林森,等. 不同施钾量对红富士苹果叶片光合特性及矿质营养的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(4):192-195.
- [12] 张建光,刘玉芳,施瑞德. 不同砧木上苹果品种光合特性比较研究[J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(5):31-33, 40.
- [13] 张黎,李丙智,张永旺,等. 低接换头对苹果树体生长及叶片光合特性的影响[J]. 果树学报, 2011, 28(5):745-749.
- [14] 李丙智,阮班录,君广仁,等. 改形对红富士苹果树体光合能力及果实品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(5):120-122.
- [15] 王瑜,向青云,吴亚维,等. 贵州不同海拔示范园三个苹果品种的光合特性[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2011, 33(4):42-46.
- [16] 王瑜,向青云,吴亚维,等. 贵州中部地区苹果的光合特性及其对产量和品质的影响[J]. 园艺学报, 2010, 37(6):984-990.
- [17] 冉辛拓,张新生. 不同负载量对苹果光合速率及干物质生产的影响[J]. 华北农学报(院庆专辑), 2003(18):131-132.
- [18] 苏勃海,米晓妮,范崇辉. 不同树形叶片光合速率对红富士苹果可溶性固形物含量的影响[J]. 现代农业科技, 2011(19):143-145.
- [19] 杨文权,寇建村,韩明玉. 行间间不同草后对幼龄苹果树光合特性的影响[J]. 草地学报, 2011, 19(1):20-25.
- [20] 张显川,高照全,舒先迁,等. 苹果开心形树冠不同部位光合与蒸腾能力的研究[J]. 园艺学报, 2005, 32(6):975-979.
- [21] 张继祥,魏钦平,张静,等. 苹果密植园与间伐园树冠层内叶片光合潜力比较[J]. 应用生态学报, 2009, 20(12):2898-2904.
- [22] 高照全,冯社章,李天红,等. 苹果树冠不同部位叶片结构、内含物和模拟光合能力的比较[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(6):1245-1250.
- [23] 张显川,高照全,付占方,等. 苹果树形改造对树冠结构和冠层光合能力的影响[J]. 园艺学报, 2007, 34(3):537-542.
- [24] 康立权,吕德国,杜国栋,等. 半区灌水及半区交替灌水对苹果幼树光合生理指标的影响[J]. 山东农业科学, 2008(9):25-28.
- [25] 赵志军,高彦魁,薛进军. 不同铁肥品种对苹果叶片叶绿素、铁含量及光合速率的影响[J]. 山西果树, 2009(4):3-5.
- [26] 王少敏,李勃,刘成连,等. 果实套袋对‘皇家嘎拉’苹果树净光合速率的影响[J]. 园艺学报, 2007, 34(3):543-548.
- [27] 马慧丽,吕德国,秦嗣军,等. 寒富苹果叶片发育过程中光合特性的研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(14):4197, 4206.
- [28] 赵德英,吕德国,刘国成,等. 冷凉气候区‘寒富’苹果及其亲本光合特性的研究[J]. 园艺学报, 2009, 36(7):945-952.
- [29] 李明霞,耿桂俊,白岗栓,等. 更新修剪对盛果末期苹果光合能力及果实品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(1):179-185.
- [30] 张义,谢永生,鞠艳,等. 生产力调控对翌年苹果园土壤水分和苹果叶片光合特性的影响[J]. 植物生态学报, 2010, 34(8):973-978.
- [31] 郑文君,范崇辉,韩明玉. 红富士苹果秋季叶片光合特性研究初报[J]. 西北林学院学报, 2006(5):40-42.
- [32] 解思敏,董晓玲,杜根盛. 新红星苹果叶片解剖构造与光合特性的研究[J]. 山西农业大学学报, 1992, 13(1):9-12.
- [33] Hirasawa T, Hsiao T C. Some characteristics of reduced leaf photosynthesis at midday in maize growing in the field [J]. Field Crop Research, 1999, 62:53-62.

## Photosynthesis Determination of Apple Shoots Leaves

DU She-ni<sup>1,2</sup>, SONG Yao-xing<sup>3</sup>, ZHANG Pei-qi<sup>3</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100; 3. Institute of Inner Mongolia Hydraulic Research, Huhhot, Inner Mongolia 010020)

# 氯化钠胁迫对油菜幼苗生理生化指标的影响

张 弢

(青岛农业大学 生命科学学院, 山东 青岛 266109)

**摘 要:**采用 Hogland 营养液水培方法,研究了不同浓度 NaCl 胁迫处理下油菜幼苗过氧化氢酶(CAT)活性、叶绿素含量、丙二醛含量、可溶性蛋白和脯氨酸含量的变化规律。结果表明:随着 NaCl 处理浓度的增加,油菜幼苗叶片中的 CAT 活性及叶绿素含量都呈现先上升后下降的趋势,脯氨酸及丙二醛含量升高,可溶性蛋白含量下降。

**关键词:**油菜幼苗;NaCl 胁迫;生理生化指标

**中图分类号:**S 634.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)16-0016-03

油菜是一种世界性的蔬菜,是我国种植范围最广、面积最大的蔬菜种类之一,在农业生产中具有重要的经济价值<sup>[1]</sup>。改革开放以来,国内外市场上对油菜品种、品质等方面的要求越来越高,而传统的完全依赖露地生产的状况远远不能满足需求。为此,近年来油菜保护地栽培迅速发展并逐步走向产业化。但由于设施栽培采用特殊的覆盖结构,改变了其内部生态环境,尤其是改变了土壤的理化性质<sup>[2-3]</sup>,致使设施土壤次生盐渍化的程度越来越严重<sup>[3]</sup>,国内外设施蔬菜栽培中也普遍存在土壤盐渍化问题,严重影响栽培设施的充分利用和蔬菜设施栽培的可持续高速发展,给油菜周年生产造成巨大损失。为此,现以油菜幼苗为试材,通过比较不同浓度盐胁迫下幼苗叶片内叶绿素含量变化、游离脯氨酸积累、可溶性蛋白含量变化以及幼苗中丙二醛的含量等,从生理角度探讨了盐胁迫对油菜幼苗的影响,试图找到

鉴定油菜耐盐性的生理生化指标,旨在为耐盐性品种的鉴定、选育和提高其耐盐性提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试油菜品种为“秦优 11 号”。

### 1.2 试验方法

试验在青岛农业大学实验室进行。种子在 28℃ 恒温箱中催芽 30 h 后播种,采用营养钵育苗,基质为 V(珍珠岩):V(蛭石):V(泥炭)=1:1:1。播种后覆膜保墒。待幼苗长至 6 叶 1 心时进行不同浓度的 NaCl 溶液处理,设 5 个水平,浓度分别为 0 (CK)、150、200、250、300 mmol/L,3 次重复。NaCl 溶液每 24 h 浇灌 1 次,当植株出现盐害症状(叶片发黄,生长缓慢不旺盛等)时,开始测定油菜幼苗叶片过氧化氢酶活性、叶绿素含量、游离脯氨酸含量、可溶性蛋白含量以及丙二醛含量。

### 1.3 项目测定

叶绿素含量采用丙酮提取比色法测定,叶片 MDA 含量的测定采用硫代巴比妥酸法;叶片脯氨酸含量的测定采用酸性茚三酮比色法;叶片可溶性蛋白含量的测定

**作者简介:**张弢(1975-),女,博士,讲师,研究方向为生物化学和分子生物学。

**基金项目:**青岛农业大学高层次人才启动基金资助项目(630745)。

**收稿日期:**2012-05-04

**Abstract:** As apple tree had numerous shoots and leaves, that were inconvenience to accurately determine leaves photosynthetic capacity. In order to facilitate the accurate determination of leaves photosynthetic capacity, ‘Red Fuji’ apple tree that grafted on vigorous rootstock, in full productive stage had been as the determination tree. The largest leaf photosynthetic capacity of elongated shoots, development shoots, lateral shoots of bearing part and leafage shoots that grown in southeast mid-outer crown had been determined by LF-6400 photosynthesis system. The results showed that the diurnal variation of photosynthetic rate and stomatal conductance of different shoots leaves showed bimodal curve, the diurnal variation of transpiration showed single curve, and the diurnal variation of intercellular concentration showed anti-parabola curve. The leaves photosynthetic capacity of elongated shoots were higher, leafage shoots were lower, and development shoots, lateral shoots of bearing part were middle. The leaves of development shoots had less affected by fruit growth, they should be suitable as photosynthesis leaves.

**Key words:** apple; new shoots; leaves; photosynthesis