

灵武长枣光合特性及果实生长发育特征

陈亚萍¹, 章英才¹, 景红霞¹, 苏伟东²

(1. 宁夏大学 生命科学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏红枣工程技术研究中心, 宁夏 灵武 750400)

摘 要:以 6 a 生灵武长枣树为研究对象, 利用 CIRAS-1 型光合测定仪测定了灵武长枣的光合特性及果实生长等指标, 研究分析了果实生长指标的变化趋势。结果表明:灵武长枣的光合作用具有明显的变化规律, 叶片净光合速率(Pn)总体呈双峰变化特征;果实的净光合速率总体较低;气孔导度(Gs)和蒸腾速率(Tr)呈现不规则的交替起伏的变化特征;叶和果实的胞间 CO₂ 浓度(Ci)变化规律各具特点;叶片中叶绿素含量呈现先上升后下降的变化趋势, 花后 90 d 达到最大值;叶片中类胡萝卜素的含量在植物发育的整个过程中均处于较低的水平;果实发育早期叶绿素和类胡萝卜素含量较高, 之后逐渐下降, 类胡萝卜素的含量远低于叶绿素的含量;果实生长呈现“双 S”生长曲线特征, 纵径生长快于横径;果实鲜重和体积的增长速度基本相同。

关键词:灵武长枣;光合特性;果实;生长曲线

中图分类号:Q 945;S 665.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)19-0001-04

灵武长枣(*Zizyphus jujuba* Mill cv. lingwuchangzao)是宁夏具有地方特色的优良鲜枣品种, 被誉为“果中瑰宝”、“长寿之果”, 具有润肺止咳、补五脏等作用, 对高血压、动脉硬化等也有较好疗效。目前, 对灵武长枣的研究主要集中在产业化生产和鲜果保鲜、生物学特性和品种选育、种质资源调查和品种选优^[1]、正常果及不同开裂度果实中的 Ca²⁺ 细胞化学定位^[2]、不同发育时期果实多糖的积累分布特征和含量变化规律^[3-4]等方面, 此外对灵武长枣多糖^[5]、三萜类化合物和环磷酸腺苷(cAMP)^[6-7]等有效成分提取工艺的优化及有效成分含量等方面也取得了一定的研究成果;但关于灵武长枣光合作用特性方面的研究相对较少, 相关研究主要涉及了不同施氮水平下盐胁迫对灵武长枣苗木光合特性的影响^[8];不同月份灵武长枣幼龄、成年植株光合作用的季节变化规律^[9], 为灵武长枣高效栽培技术提供相关科学依据与指导。该试验以不同发育阶段灵武长枣的叶和果实为研究对象, 进一步深入探讨和研究灵武长枣的光合特性及其与果实生长发育的关系, 以期对灵武长枣的生产及应用研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试 6 a 生灵武长枣取自宁夏红枣工程技术研究中

心试验基地, 选取生长发育良好、树势中等、长势和花期相似、栽培管理一致的 5~10 株具代表性的植株为试验树。

1.2 试验方法

用 3 种不同颜色的毛线于 6 月 10 日标记同一天开放的花朵, 共设 3 次重复, 每个重复标记 3 000 朵花。于谢花后 10 d 开始取样, 从开花坐果到果实发育成熟共采样 11 次, 每间隔 10 d 取样 1 次, 同时测定光合速率等指标。具体采样和测定时间:6 月 20 日、6 月 30 日、7 月 10 日、7 月 20 日、7 月 30 日、8 月 9 日、8 月 19 日、8 月 29 日、9 月 8 日、9 月 18 日、9 月 28 日(即花后 10、20、30、40、50、60、70、80、90、100、110 d 各采样 1 次)。采样于上午 9:00~11:00 进行, 分别从标记植株树冠的东、西、南、北 4 个方向及上、中、下、里、外各方向选取大小一致无病虫害的果实装入冰壶备用。

1.3 项目测定

1.3.1 果实和叶片光合速率等指标的测定 利用 CIRAS-1 型光合测定仪对叶片和果实进行净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)、胞间 CO₂ 浓度(Ci)等光合参数的测定。叶片按常规方法测定;果实在测量不同时期果实表面积后, 将其沿果实中部进行纵切, 放入光合叶室内进行光合速率等项目的测定。

1.3.2 果实和叶片光合色素(叶绿素和类胡萝卜素)含量的测定 依据参考文献[10]的方法进行测定。

1.3.3 果实生长指标的测定 选花期一致的标记果实于谢花 10 d 后开始, 从试验树的东、西、南、北 4 个方向及上、中、下、里、外等方位随机取样, 每次选出 15 个大小相近的果实, 用千分之一游标卡尺测定果实的纵径和横径, 并用千分之一电子天平称单果鲜重, 取其平均值, 按

第一作者简介:陈亚萍(1988-), 女, 硕士研究生, 现主要从事植物学等研究工作。

责任作者:章英才(1967-), 男, 教授, 硕士生导师, 现主要从事药用植物结构与有效成分关系等研究工作。E-mail:yingcaizh@163.com。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31160057)。

收稿日期:2013-05-20

文献[11]的方法测定果实的体积。以时间为横坐标,果实纵径、横径、单果鲜重和体积净生长量为纵坐标,分别绘制其动态生长曲线。

2 结果与分析

2.1 灵武长枣净光合速率的变化

由图1可以看出,叶片和果实的净光合速率变化趋势有所不同。叶片净光合速率基本呈双峰曲线变化,花后10~20 d处于最高水平,20 d后开始下降,花后90 d再次呈现峰值。在坐果初期(花后10~40 d)果实净光合速率处于零点,随后呈上升趋势,花后50 d时,净光合速率处于最高水平,花后100 d时再次出现峰值,果实净光合速率总体较低。果实净光合速率的这种变化特性可能与果实膨大有关。

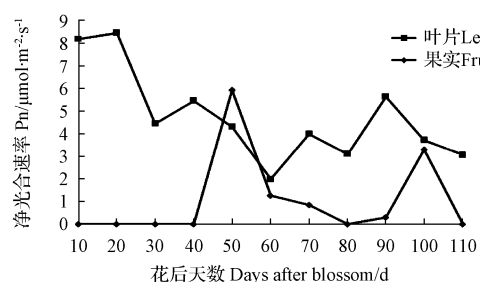


图1 叶片和果实净光合速率变化

Fig. 1 Changes of Pn in leaf and fruit

2.2 灵武长枣气孔导度的变化

由图2可知,叶片和果实的气孔导度呈现不规则的交替起伏的变化特征,果实发育的早期即花后10~20 d,叶片气孔导度高于果实气孔导度,叶片气孔导度最高值出现在花后80 d,而果实则在花后30、80、110 d出现3个跃变,叶片和果实气孔导度变化总体较为平稳。

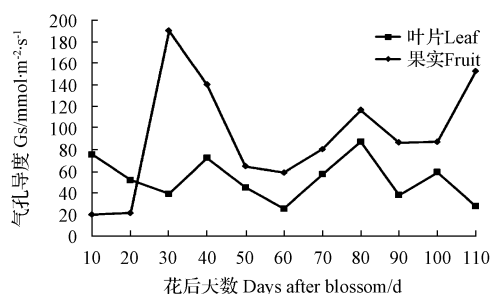


图2 叶片和果实气孔导度变化

Fig. 2 Changes of Gs in leaf and fruit

2.3 灵武长枣蒸腾速率的变化

从图3可以看出,叶片的蒸腾速率在果实发育的早期处于相对较低的水平,其较高值出现在花后40 d(7月底),达到 $2.5 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,花后80 d达到最高值 $3.59 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,其余时间皆处于相对较低水平,与气温变化规律相适应。而果实蒸腾速率在果实发育的早期和成熟期较低,其峰值出现在花后30 d和

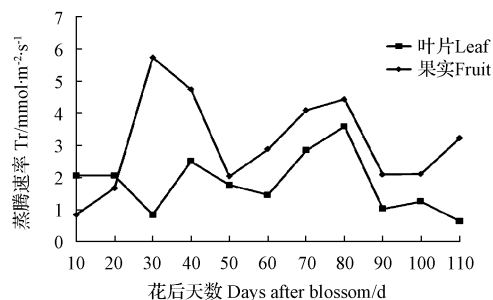


图3 叶片和果实蒸腾速率变化

Fig. 3 Changes of Tr in leaf and fruit

80 d 分别为 5.73 、 $4.43 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

2.4 灵武长枣胞间 CO_2 浓度的变化

由图4可知,叶片胞间 CO_2 浓度在果实发育的初期变化不大,在花后40 d降至最低 $32 \mu\text{mol}/\text{mol}$,而后升高至相对稳定的水平。果实胞间 CO_2 浓度在10~20 d处于较高水平,且在花后20 d呈现最高值,随后呈逐渐降低趋势,花后60 d时最低,其余时间变化相对较为平缓。

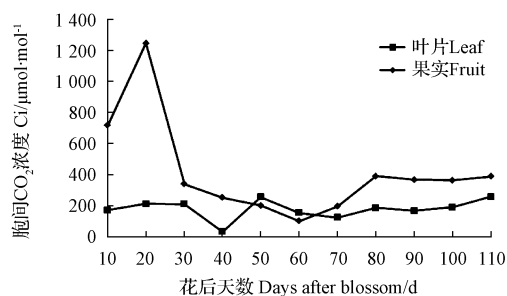


图4 叶片和果实胞间 CO_2 浓度变化

Fig. 4 Changes of Ci in leaf and fruit

2.5 灵武长枣叶片色素含量的变化

由图5可以看出,叶片中叶绿素的含量始终处于较高水平,花后10 d开始,叶片叶绿素的含量总体趋势是逐渐上升,花后90 d,即果实发育处于着色期时,叶绿素含量达到最大值,之后叶片中叶绿素的含量略有下降。而叶片中类胡萝卜素含量始终处于较低水平,且变化较小。

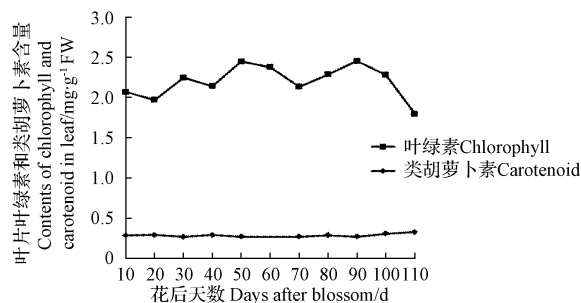


图5 叶片叶绿素和类胡萝卜素含量变化

Fig. 5 Changes of contents of chlorophyll and carotenoid in leaf

2.6 灵武长枣果实色素含量的变化

由图6可知,花后10 d左右果实开始形成,在果实发育的早期叶绿素含量较高,表明在果实发育早期,除叶片可以为果实提供较多的营养物质之外,果实自身也能进行光合作用,以满足自身生长发育的需要。至花后20 d开始叶绿素含量逐渐快速下降,花后40 d后,果实中叶绿素含量处于较低水平,果实进行光合作用合成糖类营养物质能力逐渐减弱,说明,此时果实的生长发育主要依靠叶片提供养分。果实中类胡萝卜素含量的变化趋势与叶绿素含量的变化趋势相同,类胡萝卜素含量始终低于叶绿素含量,且含量相对较低。

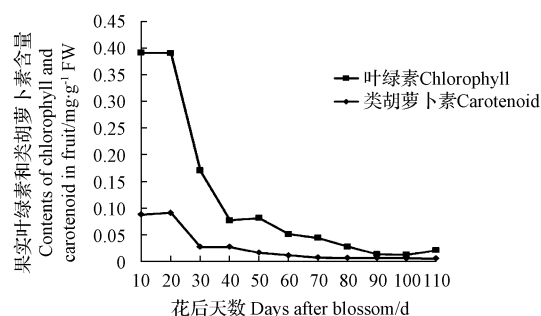


图6 果实叶绿素和类胡萝卜素含量变化

Fig. 6 Changes of chlorophyll and carotenoid contents in fruit

2.7 灵武长枣果实生长指标变化

由图7可以看出,果实的纵径、横径、鲜重和体积4个生长指标变化趋势相似,均呈“双S”生长曲线特征。在果实坐果至膨大前期即花后20 d之前,4项指标变化均较为平缓,从花后20 d开始,4项指标均迅速增加,果实处于快速膨大时期,果实的纵径、横径、鲜重和体积均迅速增长,其中纵径的增长最为迅速;花后50~70 d左右果实的4项指标增长速度开始放缓,从花后80 d开始果实的纵径、横径、鲜重和体积增大速度又开始加快,直到果实发育成熟。

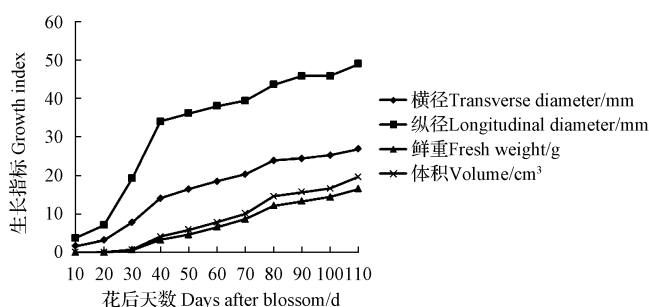


图7 灵武长枣果实生长曲线

Fig. 7 The fruit growth curve of *Zizyphus jujuba* Mill cv. lingwuchangzao

3 讨论与结论

含糖量是衡量和决定果实内在品质的重要指标,果实中的糖来源于叶片同化的光合产物,光合产物的积累

速度与积累量直接决定植物的生产力,光合作用是植物生物产量形成的基础^[12]。光合作用是一个复杂的光生物化学反应过程,受光照、温度、水分等外界环境条件和不同部位、不同生长发育期等多种内部因素的综合影响。 CO_2 是光合作用的原料,对光合速率影响很大,同时,气孔是植物体内外气体交换的重要门户,植物通过调节气孔孔径的大小控制植物光合作用中 CO_2 吸收和蒸腾过程中水分的散失,气孔导度的大小与光合及蒸腾速率紧密相关。当气孔导度增大时,叶片光合速率相应增大。灵武长枣果实发育的早期即花后10~20 d,叶片的气孔导度较高,气孔导度的增大促进了叶片和果实初期期间 CO_2 浓度的提高,使得作为光合作用原料的 CO_2 较为充足;水分也是光合作用原料之一,缺乏时会导致光合速率下降,由于灵武长枣果实发育早期气温较低,蒸腾速率较小,保证了较充足的水分条件,而夏季气温高,蒸腾速率保持在较高水平,进入秋季后蒸腾速率下降幅度最大。该试验结果表明,叶片在果实发育初期净光合速率增大,花后80 d,气孔导度的再次增高以及与之相伴的 CO_2 浓度的提高及其随之而来的净光合速率的提高也说明了这种相关性^[9]。因此,叶片光合速率受气孔导度的影响,通常叶片光合速率与气孔导度呈正相关^[13],气孔作为连接生态系统碳循环的结合点,其导度直接反映植物生理活性的强弱,研究气孔导度与光合特性的关系,对植物栽培生理具有一定的指导意义。发育初期的灵武长枣果实中具有较高的叶绿素含量,可以进行一定程度的光合作用,叶中叶绿素含量虽不是最高,但由于果实发育早期对营养物质较高的需求,因此需要叶片较高的净光合速率来适应这种要求,花后90 d叶片中叶绿素含量达到最高峰,这时叶片的净光合速率也达到第2个峰值,以此来适应果实快速膨大对物质的需求,果实的纵径、横径、鲜重和体积均出现了迅速的增长。

赵玉萍等^[14]研究表明,在同一光照强度下,随温度升高番茄叶片净光合速率增加;气温 30°C 时番茄植株光合作用最强,超过 30°C 后番茄叶片净光合速率随温度上升而逐渐下降,说明当温度达到 30°C 以上时,番茄的光合作用会受到抑制,植株生长速率减慢, Pn 、 Gs 下降。该研究结果表明,灵武长枣在气温较高的8月份,即花后60~70 d左右,净光合速率和气孔导度等较低,果实的纵径等生长指标增长较慢,说明温度对光合作用的影响较大,温度超过其最适温度会抑制光合作用,这与张洁等^[15]研究结果一致。光合过程中的暗反应是由酶所催化的化学反应,而温度直接影响酶的活性,在一定的温度范围内,当温度增高时,酶促反应增强,光合速率加快。光合作用在高温时降低的原因,一方面是高温破坏叶绿体和细胞质的结构,并使叶绿体的酶钝化;另一方面是在高温时,呼吸速率大于光合速率,因此,虽然真正光合作用增大,但因呼吸作用的牵制,表观光合作用便

降低。光合作用受温度、光照、矿质元素、水分等多种外界生态因子的综合影响^[16],如矿质元素直接或间接影响光合作用,氮、镁、铁、锰等是叶绿素生物合成所必需的矿质元素;钾、磷等参与糖类代谢,缺乏时便影响糖类的转变和运输,间接影响了光合作用;同时,磷也参与光合作用中间产物的转变和能量传递,在一定范围内,营养元素越多,光合速率就越快^[12]。因此,在灵武长枣果实生长发育的过程中,不同时期的生态环境因子不同,光合作用也呈现出不同的特征,某个因子影响了光合作用进而影响了果实的产量和品质时,可通过改善矿质元素、水分等其它生长条件,从而改善光合作用来消除或减少对植物生长发育的影响。

罗华建等^[17]、李颖岳等^[18]研究表明,灵武长枣果实生长曲线与一般果实生长曲线相似,果实生长的3个时期的生长速率为:第1期>第3期>第2期,有2个生长高峰,果实生长曲线呈“双S”型,3个时期的生长均表现为纵径>横径>体积>鲜重,灵武长枣的纵径生长较快;由于鲜重和体积的曲线基本平行,说明在灵武长枣果实的整个发育期中鲜重和体积的增加速度基本相同。3个时期生长持续时间长和纵、横径生长速率大小与果实大小及形状等有一定关系,在其果实生长期,充足的水肥供应从营养角度可以保证果实的有效生长和发育。

参考文献

- [1] 喻菊芳,魏天军,陈卫军. 灵武长枣种质资源调查和品种选优研究[J]. 中国果树,2008(1):56-57.
- [2] 杨淑娟,郑国琦,章英才,等. 灵武长枣正常果及裂果中 Ca^{2+} 的细胞化学定位研究[J]. 西北植物学报,2011,31(1):84-88.
- [3] 章英才,苏伟东,杨军. 灵武长枣多糖积累分布特征研究[J]. 北方园艺,2012(21):7-11.
- [4] 杨军,章英才,苏伟东. 灵武长枣多糖含量的变化规律[J]. 北方园艺,2011(20):13-16.
- [5] 姜晓燕,胡云峰,崔翰元. 酶法提取灵武长枣多糖及抗氧化作用的研究[J]. 食品工业,2009(6):31-33.
- [6] 胡云峰,姜晓燕,崔翰元. 响应面法优化超声波提取灵武长枣中三萜类化合物的研究[J]. 食品工业科技,2010(5):260-263.
- [7] 胡云峰,姜晓燕,刘维维. 响应面法确定超声波提取灵武长枣中环磷酸腺苷(cAMP)的最佳条件[J]. 食品科技,2010(7):213-216.
- [8] 王晶,曹兵,张光弟. 不同施氮水平下盐胁迫对灵武长枣苗木光合特性的影响[J]. 北方园艺,2009(1):34-36.
- [9] 曹兵,江莉,李银娣,等. 灵武长枣光合作用研究初报[J]. 北方园艺,2012(11):11-14.
- [10] 朱广廉,钟海文,张爱琴. 植物生理学实验[M]. 北京:北京大学出版社,1990:51-52.
- [11] 冯美,张宁,宋长冰. 宁夏枸杞果实生长发育初探[J]. 种子,2005,24(10):63-65.
- [12] 徐济春,林钊沐,罗微,等. 矿质营养对光合作用影响的研究进展[J]. 安徽农学通报,2007,13(7):23-25.
- [13] Li S H, Genard M, Bussi C, et al. Fruit quality and leaf photosynthesis in response to microenvironment modification around individual fruit by covering the fruit with plastic in nectarine and peach trees[J]. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2001, 76(1):61-69.
- [14] 赵玉萍,邹志荣,杨振超,等. 不同温度和光照对温室番茄光合作用及果实品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(5):125-130.
- [15] 张洁,李天来,徐晶. 昼间亚高温对日光温室番茄生长发育、产量及品质的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(6):1051-1055.
- [16] 王铁良,周罕琳,李波,等. 水肥耦合对树莓光合特性和果实品质的影响[J]. 水土保持学报,2012,26(6):286-290,296.
- [17] 罗华建,罗诗,赖永超,等. 台湾青枣果实生长发育初探[J]. 果树学报,2002,19(6):436-438.
- [18] 李颖岳,续九如,史良. 台湾青枣果实生长发育动态对比研究[J]. 北方园艺,2007(6):17-19.

The Characteristic of Photosynthesis and the Growth of Fruit of *Zizyphus jujuba* Mill cv. lingwuchangzao

CHEN Ya-ping¹, ZHANG Ying-cai¹, JING Hong-xia¹, SU Wei-dong²

(1. School of Life Science, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 2. Ningxia Jujube Engineering Technology Research Center, Lingwu, Ningxia 750400)

Abstract: Selected six-year-old *Zizyphus jujuba* Mill cv. lingwuchangzao as material, the characteristic of photosynthesis and the growth index of fruit were determined by photosynthesis test instrument CIRAS-1 and other methods, the characteristic of photosynthesis and the growth of fruit were studied. The results showed that the photosynthesis in lingwuchangzao showed obvious variation law, the variation trend of Pn in leaf was a bimodal curve, but the Pn in fruit was general lower, the Gs and Tr showed irregular and alternate ups and downs variation characteristics, the changed laws of Ci in leaf and fruit were characteristic respectively. The content of chlorophyll in leaf increased gradually and then decreased, the peaks of chlorophyll content occurred at 90 days after blossom, but the content of carotenoid in leaf was at the lower level during the whole process of plant growth and development. The content peak of chlorophyll and carotenoid in fruit occurred at the early development, and then the content decreased gradually, the content of carotenoid in fruit was much less than chlorophyll. The fruit growth was formal “double S” curve. Longitudinal diameter growth was faster than transverse diameter, the growth rate of fresh weight was basically the same as volume.

Key words: *Zizyphus jujuba* Mill cv. lingwuchangzao; photosynthesis characteristic; fruit; growth curve