

# 模拟气温升高对枣果实主要色素含量的影响

姜文倩, 连亚妮, 贾昊, 宋丽华\*, 曹兵

(宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021)

**摘要:**为研究大气温度升高对枣果实色素含量的影响,以4年生灵武长枣和骏枣为材料,采用开顶气室模拟增温的方法,设置自然大气温度(对照)和升高大气温度2个水平,测定不同时期枣果实叶绿素、类胡萝卜素、花色素苷和类黄酮含量,以揭示气温升高对枣果实着色的影响机理。结果表明,大气温度升高处理会显著提高灵武长枣和骏枣果实叶绿素、类黄酮、类胡萝卜素和花色素苷含量,但对其在整个发育期的变化趋势无影响,大气温度升高增大了枣果实在膨大期至转色期的叶绿素和类黄酮含量的下降幅度以及转色期至成熟期的类胡萝卜素和花色素苷的上升幅度。说明大气温度升高可有效改善果面色泽,有利于枣果实的着色。

**关键词:**气温升高;灵武长枣;骏枣;色素含量

中图分类号:S665.1

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2019)06-0115-05

Effect of Simulated Temperature Rising on the Main Pigment Content of Jujube Fruit

JIANG Wen-qian, LIAN Ya-ni, JIA Hao, SONG Li-hua\*, CAO Bing

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

**Abstract:** In order to study the effect of elevated atmospheric temperature on the pigment contents of jujube fruit, taking the trees of four-year-old jujube cultivar “Lingwuchangzao” and “Junzao” as materials, using the open-top chamber to simulate temperature rising. Normal atmospheric temperature was used as the control. The contents of chlorophyll, carotenoids, anthocyanins and flavonoids were determined to reveal the mechanism of the effect of elevated temperature on the coloration of jujube fruit. The results showed that elevated atmospheric temperature treatment significantly increased the content of chlorophyll, flavonoids, carotenoids and anthocyanins in the fruit of two cultivars tested, but it did not change the fruit development regularity during the ripening period. The elevated atmospheric temperature increased the amplitudes of the decrease of chlorophyll and flavonoid contents in jujube fruit from the expansion period to the color change period and the increase amplitude of carotenoids and anthocyanins in the color transition period. It showed that elevated atmospheric temperature could effectively improve the color of fruit surface and was conducive to the coloration of jujube fruit.

**Key words:** elevated atmospheric temperature; jujube cultivar ‘Lingwuchangzao’; jujube cultivar ‘Junzao’; pigment content

随着全球气候变化,以全球气候变暖为代表的全球性问题越来越受到广泛关注<sup>[1]</sup>,根据国际上先进的气候模式和中国区域气候模式,在假定大气CO<sub>2</sub>继续增加的各种情景下,预测在2020—2030年

气温上升1.68℃;到2050年上升2.22℃,预计大气CO<sub>2</sub>浓度加倍时,气温将提高2.94℃,其温度增加的幅度由南向北增大。我国西北地区气温可能上升1.9~2.3℃<sup>[2]</sup>,温度升高必然会对植物的生长发育

收稿日期:2019-01-04 修回日期:2019-02-28

基金项目:国家自然科学基金项目(31260171);宁夏大学“西部一流大学”重大科技创新项目(ZKZD2017008)。

作者简介:姜文倩,女,硕士在读,研究方向:果树生理生态与高效栽培。E-mail:1350781671@qq.com

\*通信作者:宋丽华,女,教授,研究方向:林木良种繁育与经济林栽培生理。E-mail:slh382@126.com

产生影响,气候变暖对植物,特别是木本植物的生理生态影响的研究成为热点之一。

枣(*Zizyphus jujuba*)属鼠李科枣属,原产于我国,栽培历史已有3 000 a以上<sup>[3]</sup>。灵武长枣(*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Lingwuchangzao)又名马牙枣,果肉白绿色,鲜美多汁,质地香甜酥脆,酸甜可口,是宁夏经过天然筛选而传承下来的最具地方特色的优良鲜食枣品种,是宁夏地区红枣产业的重要组成部分<sup>[4-6]</sup>,因其适应性较强,所以在中国大部分地区均能栽培<sup>[7]</sup>。骏枣(*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Junzao)果色紫红,以果大、肉厚、味甜而闻名于世,最适制干,也可鲜食<sup>[8]</sup>。在宁夏地区已有几百年的枣栽培历史,发展枣产业对当地社会、经济、生态具有重要意义<sup>[7]</sup>。

在全球气候变化的背景下,近50多a来宁夏地区也呈现出明显的气候变暖趋势,且气温升高现象将更加明显<sup>[9]</sup>,区域气候变化对经济林树种生理生态影响值得关注。目前,有关枣树种苗繁育、栽培管理及高温胁迫、干旱胁迫和盐胁迫对枣树生理特性和光合特性保鲜储藏、无损检测、等方面已有诸多报道<sup>[3-4,7-8,10-14]</sup>,而关于气温度升高对枣果实着色与品质影响等方面的研究还未见报道。本试验以灵武长枣和骏枣为材料,采用开顶气室模拟增温的方法,研究模拟气温升高对灵武长枣和骏枣果实主要色素含量变化的影响,以期揭示经济林树种果实品质形成对气候变化的响应提供理论指导与科技支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地点

试验于2017年4月10日—10月2日在宁夏大学实验农场进行(38°47′07″N,106°04′00″E,海拔1 116.8 m),该地属温带干旱气候区,年平均气温8.5℃,年平均日照时数3 000 h,日温差13℃,年均≥10℃,积温3 300℃,无霜期140~160 d,年降水量180~200 mm,土壤为灌淤土壤<sup>[13]</sup>。

### 1.2 试验材料

供试材料为种植于大田的4年生灵武长枣(平均地径=45.5 mm、平均树高=224 cm、平均冠幅=141 cm)和骏枣(平均地径=38.7 mm、平均树高=209 cm、平均冠幅=130 cm),株行距为2 m×3 m。

主要仪器与试剂包括研钵、UV-2550型紫外可见分光光度计、水浴锅、离心机、电子天平、液氮、80%丙酮溶液、1% HCL-甲醇溶液等。

### 1.3 试验处理与方 法

采用双因素(温度、品种)试验设计,温度设置2个水平(自然大气温度(对照), ambient tempera-

ture, AT; 升高大气温度, (AT±(2℃±0.5℃)) elevated temperature, ET), 品种为2个水平(灵武长枣、骏枣), 共4个处理, 每处理3次重复, 单株重复, 共选择长势一致的12株树进行试验。采用开顶气室模拟大气增温环境, 开顶气室由口径为4 cm×4 cm的镀锌方管框架和无色透明棚膜组成, 气室高2.3 m, 底部为边长2.0 m的正方形, 四周为围绕无色透明棚膜, 升温处理的每一株枣树套盖1个开顶气室, 对照处理枣树套盖通透型开顶气室(对角不覆膜), 确保空气对流, 气室内大气温度与气室外环境温度一致。供试验植株的施肥、修剪等管理与大田管理相同; 自枣树萌芽开始升温处理, 至果实成熟采收后停止。

### 1.4 指标测定

开始试验处理后, 在枣树进入初花期开始挂牌标记同一时期开花的部位, 以确保在采收时采集同一时期开花结果的样品。自果实膨大期至成熟期分别于8月13日、8月22日、9月15日、9月18日、9月24日及9月30日在标记部位随机采集15个枣果混匀放于自封袋内, 放入置有冰袋的泡沫箱内带回实验室放入4℃冰箱储藏, 分别测定果实叶绿素、类胡萝卜素<sup>[15]</sup>、类黄酮<sup>[16]</sup>以及花色素苷<sup>[17]</sup>含量。

### 1.5 数据分析

试验数据均采用origin9.1和SPSS 22软件进行处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 2种处理环境下的气温比较

试验期间对2种处理下的开顶气室内空气温度进行记录。由图1可知, 自然大气温度处理与升高大气温度处理的平均温差均在2℃左右, 表明利用开顶气室模拟增温达到试验设计的增温处理效果。

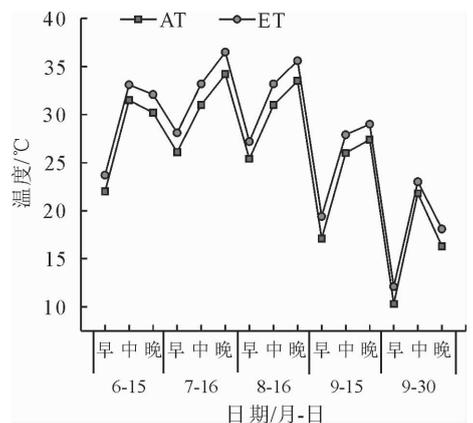


图1 2种处理下的空气温度比较

Fig. 1 Comparison of air temperature under two treatments

## 2.2 模拟气温升高对2个枣树品种果实叶绿素含量的影响

叶绿素是重要的光合色素之一,也是果实呈色的主要色素之一,主要存在于幼果和未充分脱青的果实中;果实中叶绿素含量高则花色苷含量较少,果实色泽多呈现为青绿色<sup>[18-19]</sup>。由图2可知,灵武长枣、骏枣的果实自膨大期至成熟期,其叶绿素含量均呈下降趋势,且在膨大期至转色期期间下降幅度最大;在自然大气温度处理下,灵武长枣果实叶绿素含量自膨大期至转色期降低了 $0.4732\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,骏枣果实叶绿素含量降低了 $0.6051\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ;而气温升高处理下,灵武长枣、骏枣果实叶绿素含量分别降低了 $0.5830\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $0.6730\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。因此,大气温度升高使灵武长枣和骏枣自膨大期至转色期的果实叶绿素含量下降幅度增大。

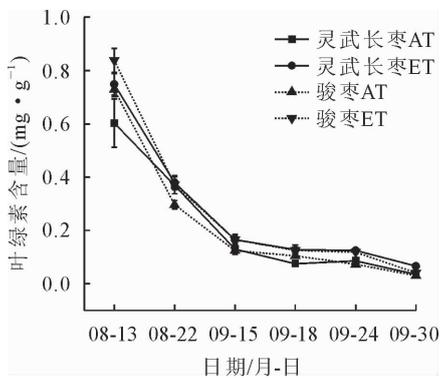


图2 不同处理下2个枣树品种果实叶绿素含量比较

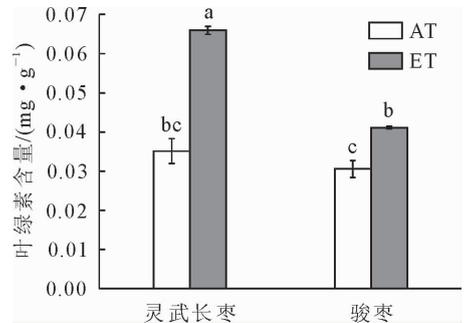
Fig. 2 Comparison of chlorophyll content in two jujube varieties under different treatments

在果实成熟期(9月30日),2种气温处理环境下的灵武长枣、骏枣果实叶绿素含量也明显不同(图3)。方差分析表明,自然大气温度下,灵武长枣的果实叶绿素含量比骏枣高 $0.0046\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,但二者之间无差异( $P>0.05$ ),大气温度升高条件下,灵武长枣的果实叶绿素含量比骏枣高 $0.0248\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,且二者存在显著差异( $P<0.05$ );大气温度升高处理的灵武长枣和骏枣果实叶绿素含量比自然大气温度处理分别升高了 $0.0308\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $0.0106\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,均存在显著差异( $P_{\text{灵武长枣}}<0.05$ , $P_{\text{骏枣}}<0.05$ )。

## 2.3 模拟气温升高对2个枣树品种果实类胡萝卜素含量的影响

类胡萝卜素是一类脂溶性色素,呈现黄色或橙色,类胡萝卜素与叶绿素共同构成果实的底色<sup>[19]</sup>。由图4可知,灵武长枣、骏枣的果实自膨大期至成熟期,其类胡萝卜素含量均呈上升趋势,且在转色期至成熟期上升幅度最大;在自然大气温度下,灵武长枣

果实类胡萝卜素含量自转色期至成熟期增加了 $0.1296\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,骏枣果实类胡萝卜素含量增加了 $0.1271\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ;而气温升高处理下,灵武长枣、骏枣果实叶绿素含量分别增加了 $0.1416\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $0.1580\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。因此,大气温度升高使得灵武长枣和骏枣自转色期至成熟期的果实类胡萝卜素含量上升幅度增大。



注:不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。图5、图7、图9同。  
图3 不同处理下2个枣树品种成熟期果实叶绿素含量比较

Fig. 3 Comparison of chlorophyll content in two jujube varieties under different treatments at maturity

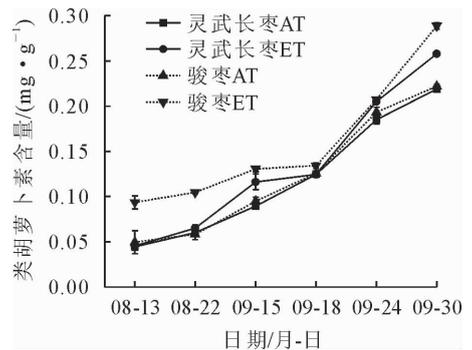


图4 不同处理下2个枣树品种果实类胡萝卜素含量比较

Fig. 4 Comparison of carotenoid content in two jujube varieties under different treatments

在果实成熟期(9月30日),2种气温处理环境下的灵武长枣、骏枣果实类胡萝卜素含量也明显不同(图5)。方差分析表明,自然大气温度下,灵武长枣的果实类胡萝卜素含量比骏枣低 $0.0031\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,但二者之间无差异( $P>0.05$ ),大气温度升高条件下,灵武长枣的果实类胡萝卜素含量比骏枣低 $0.0309\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,且二者之间有显著差异( $P<0.05$ );大气温度升高处理的灵武长枣和骏枣果实类胡萝卜素含量比自然大气温度处理分别升高 $0.0390\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 、 $0.0667\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,均存在显著差异( $P_{\text{灵武长枣}}<0.05$ , $P_{\text{骏枣}}<0.05$ )。

## 2.4 模拟气温升高对2个枣树品种果实花色苷含量的影响

花色苷呈红色或紫色,其含量对颜色起重要

的作用,花色素苷含量高说明果实着色深<sup>[20]</sup>。由图 6 可知,灵武长枣、骏枣的果实自膨大期至成熟期,其花色素苷含量均呈上升趋势,且在转色期至成熟期上升幅度最大;在自然大气温度处理下,灵武长枣果实花色素苷含量增加了  $0.117 1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,骏枣果实花色素苷含量增加了  $0.140 4 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ;而气温升高处理下,灵武长枣、骏枣果实花色素苷含量分别增加了  $0.166 3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  和  $0.197 2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。因此,大气温度升高使得灵武长枣和骏枣自转色期至成熟期的果实花色素苷含量上升幅度增大。

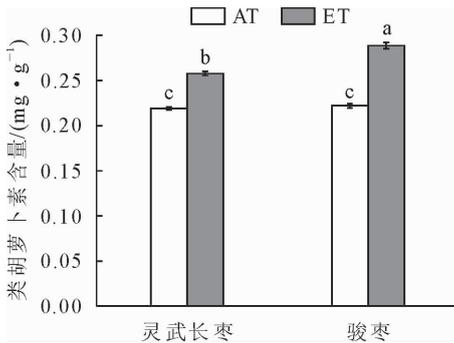


图 5 不同处理下 2 个枣树品种成熟期果实类胡萝卜素含量比较

Fig. 5 Comparison of carotenoid content in two jujube varieties under different treatments at maturity

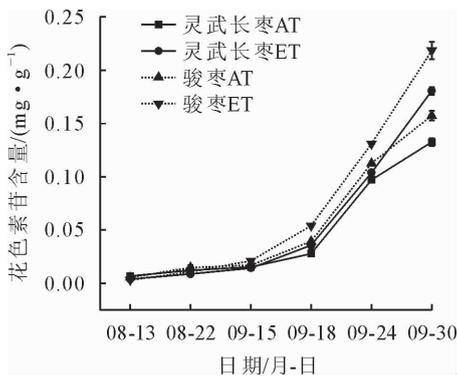


图 6 不同处理下 2 个枣树品种果实花色素苷含量比较

Fig. 6 Comparison of anthocyanin content in two jujube varieties under different treatments

在果实成熟期(9月30日),2种气温处理环境下的灵武长枣、骏枣果实类花色素苷含量也明显不同(图7)。方差分析表明,自然大气温度下,灵武长枣的果实类花色素苷含量比骏枣低  $0.024 9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,且二者之间有显著差异( $P < 0.05$ ),大气温度升高条件下,灵武长枣的果实类花色素苷含量比骏枣低  $0.037 8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,且二者之间有显著差异( $P < 0.05$ );大气温度升高处理的灵武长枣和骏枣果实类花色素苷含量比自然大气温度处理分别升高  $0.048 2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $0.061 0 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,均存在显著差异( $P_{\text{灵武长枣}} < 0.05, P_{\text{骏枣}} < 0.05$ )。

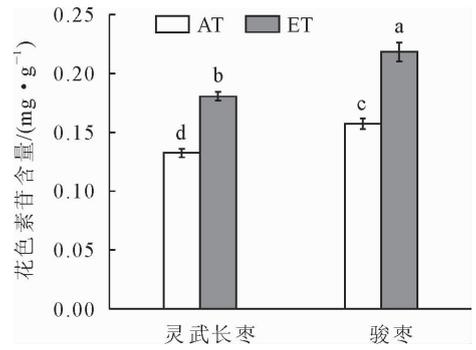


图 7 不同处理下 2 个枣品种成熟期果实花色素苷含量比较

Fig. 7 Comparison of anthocyanin content in two jujube varieties under different treatments at maturity

## 2.5 模拟气温升高对 2 个枣树品种果实类黄酮含量的影响

类黄酮主要呈黄色,类黄酮含量高表明果实主要呈黄白色<sup>[21]</sup>。由图 8 可知,灵武长枣、骏枣的果实自膨大期至成熟期,其类黄酮含量均呈下降趋势,且在膨大期至转色期下降幅度最大;在自然大气温度处理下,灵武长枣果实类黄酮含量降低了  $9.937 4 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,骏枣果实类黄酮含量降低了  $6.051 9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ;而气温升高处理下,灵武长枣、骏枣果实类黄酮含量分别降低了  $10.727 8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  和  $7.960 7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。因此,大气温度升高使得灵武长枣和骏枣自膨大期至转色期的果实类黄酮含量下降幅度增大。

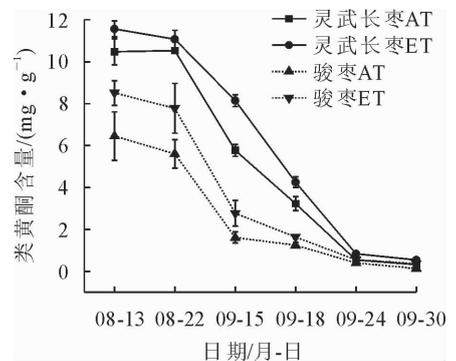


图 8 不同处理下 2 个枣树品种果实类黄酮含量比较

Fig. 8 Comparison of flavonoids content in two jujube varieties under different treatments

在果实成熟期(9月30日),2种气温处理环境下的灵武长枣、骏枣果实类类黄酮含量也明显不同(图7)。方差分析表明,自然大气温度下,灵武长枣的果实类类黄酮含量比骏枣高  $0.177 3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,且二者之间有显著差异( $P < 0.05$ ),大气温度升高条件下,灵武长枣的果实类花色素苷含量比骏枣高  $0.180 9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,且二者之间有显著差异( $P < 0.05$ );大气温度升高处理的灵武长枣和骏枣果实类花色素苷含量比自然大气温度处理分别升高

0.227 6 mg · g<sup>-1</sup>、0.224 0 mg · g<sup>-1</sup>,均存在显著差异( $P_{\text{灵武长枣}} < 0.05, P_{\text{骏枣}} < 0.05$ )。

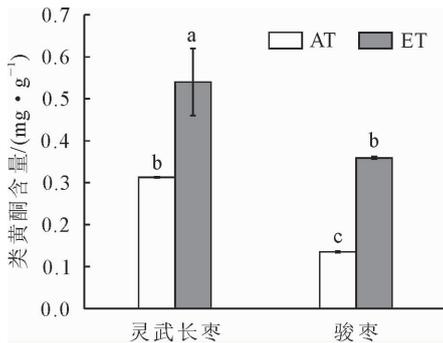


图9 不同处理下2个枣树品种成熟期果实类黄酮含量比较

Fig. 9 Comparison of flavonoids content in two jujube varieties under different treatments at maturity

### 3 结论与讨论

色泽是果实外观品质中的核心指标,对果实及其加工产品的商品价值有重要影响。色素的种类和含量决定了果实的色质和呈色深度,果实成熟着色主要是由于叶绿素的降解同时类胡萝卜素和花色素苷积累的结果<sup>[22]</sup>。有研究表明,高温下果实 $\beta$ -胡萝卜素含量有所增高<sup>[23]</sup>,有利于改善果实色泽;冯一峰等<sup>[24]</sup>的研究结果表明随着温度的升高,骏枣叶片中的叶绿素含量总体均呈现下降趋势;H. A. Diener等<sup>[25]</sup>发现成熟的果实在较高的温度下积累的花色素苷多。本试验结果表明大气温度升高处理会显著提高灵武长枣和骏枣的叶绿素、类黄酮、类胡萝卜素和花色素苷含量,但不改变其在整个发育期的变化趋势,大气温度升高增大了枣果实在膨大期至转色期的叶绿素和类黄酮含量的下降幅度以及转色期至成熟期的类胡萝卜素和花色素苷的上升幅度,说明大气温度升高会使类胡萝卜素和花色素苷含量在色素中的比例增大,可在一定程度上改善果面色泽,有利于枣果实的着色。

叶绿素与类胡萝卜素是绿色植物光合作用不可少的光合色素,且二者共同构成果实表面的底色;类黄酮、花色素苷在果蔬加工制品品性控制和品质保证等方面具有重要作用,水溶性好,且花色素苷主要使果实呈现红色或紫色,且具有很强的抗氧化、清除氧自由基的能力,能防治许多疾病,是具有保健功能的天然活性物质,被誉为继水、蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素、矿物质之后的第七大必需营养<sup>[26]</sup>。灵武长枣与骏枣外观为红色,色素含量影响着其果实的外观品质与食用品质,此试验的结果恰好表明大气温度升高对此4种色素含量均有一定影响,在一定范围内可促进枣果实着色,为宁夏红枣产业发

展提供参考,为经济林树种栽培与育种应对气候变化提供理论指导与科技支撑。本试验中采用改进型开顶气室模拟升温环境,开顶气室外覆盖的塑料薄膜必然会对光照产生影响,因此在试验时要选择透光性能较好的薄膜以及定期做好清理工作以保持良好透光性,这是1a的试验结果,还有待于进一步试验验证。

### 参考文献:

- [1] 徐超,杨晓光,李勇,等.气候变化背景下中国农业气候资源变化Ⅲ.西北干旱区农业气候资源时空变化特征[J].应用生态学报,2011,22(3):763-772.  
XU C, YANG X G, LI Y, *et al.* Changes of China agricultural climate resources under the background of climate change Ⅲ. Spatiotemporal change characteristics of agricultural climate resources in Northwest arid area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(3): 763-772. (in Chinese)
- [2] 亢艳莉.气候变化对宁夏农业的影响[J].农业网络信息,2007(6):125-126,128
- [3] 肖程顺.五种红枣采后生理与贮藏特性比较研究[D].西安:陕西科技大学,2012.
- [4] 曹兵,王晶,姬全喜.不同施氮水平下盐胁迫对灵武长枣苗生长的影响[J].西北林学院学报,2012,27(2):34-38.  
CAO B, WANG J, JI Q X. Effect of salt stress on seedling growth of Lingwu long jujube under different nitrogen applying levels[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(2): 34-38. (in Chinese)
- [5] 张晓波,苏伟东,章英才.灵武长枣研究进展[J].北方园艺,2014(22):200-203.
- [6] 宋丽华,秦芳,白祥,等.气温升高与干旱胁迫对灵武长枣坐果与果实品质的影响[J].西北林学院学报,2015,30(2):129-133.  
SONG L H, QIN F, BAI X, *et al.* Effect of elevated temperature and drought stress on fruit setting rate and fruit quality of Lingwu long jujube[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(2): 129-133. (in Chinese)
- [7] 郭满玲,李新岗.我国优良鲜食枣区域比较研究[J].西北林学院学报,2005,20(4):90-95.  
GUO M L, LI X G. Regional comparison on fresh jujube production in China [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005, 20(4): 90-95. (in Chinese)
- [8] 孙盼盼,李建贵,王娜.叶面肥和赤霉素对骏枣果实生长发育中糖积累的影响[J].西北农业学报,2011,20(12):98-102.  
SUN P P, LI J G, WANG N. Effect of foliar fertilizers and GA3 on sugar accumulation in fruit of Junzao jujube during its growth and development [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2011, 20(12): 98-102. (in Chinese)
- [9] 赵琴.气温升高与干旱胁迫对宁夏枸杞生长与果实品质的影响[D].银川:宁夏大学,2015.
- [10] 秦芳.气温升高与不同土壤水分条件下对灵武长枣光合产物分配与果实品质的影响[D].银川:宁夏大学,2017.
- [11] 秦芳,曹兵,宋丽华.气温升高与干旱胁迫对灵武长枣叶绿素荧光特性的影响[J].北方园艺,2016(15):5-10.

- [19] 蔡三山, 欧阳静, 王义勋, 等. 10 株白僵菌菌株 ITS 序列测定和系统发育分析[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(5): 182-187. CAI S S, OUYANG J, WANG Y X, *et al.* Internal transcribed spacer region sequencing and phylogenetic analysis of 10 strains of *Beauveria* spp. [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(5): 182-187. (in Chinese)
- [20] HUANG X F, ZHOU D M, LAPSANSKY E R, *et al.* *Mitsuaria* sp. and *Burkholderia* sp. from *Arabidopsis* rhizosphere enhance drought tolerance in *Arabidopsis thaliana* and maize (*Zea mays* L.) [J]. Plant and Soil, 2017, 419(1/2): 523-539.
- [21] NIU X G, SONG L C, XIAO Y N, *et al.* Drought-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria associated with *Foxtail millet* in a semi-arid agroecosystem and their potential in alleviating drought stress [J]. Frontiers in Microbiology, 2018, 8: 1-11.
- [22] 梁新冉, 李乃荟, 周新刚, 等. 番茄根内促生放线菌的分离鉴定及其促生效果[J]. 微生物学通报, 2018, 45(6): 1314-1322.
- [23] 李海云, 蒋永梅, 姚拓, 等. 蔬菜作物根际促生菌分离筛选、鉴定及促生特性测定[J]. 植物保护学报, 2018, 45(4): 836-845.
- [24] 代金霞, 周波, 田平雅. 荒漠植物柠条产 ACC 脱氢酶根际促生菌的筛选及其促生特性研究[J]. 生态环境学报, 2017, 26(3): 386-391.
- DAI J X, ZHOU B, TIAN P Y. Screening and growth-promoting effects of rhizobacteria with ACC deaminase activity from rhizosphere soil of *Caragana korshinskii* grown in desert grassland [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2017, 26(3): 386-391. (in Chinese)
- [25] 陈鑫源, 戚大伟, 孙婧. 基于 PCR 技术的香栓菌和毛栓菌快速检测[J]. 森林工程, 2019, 35(5): 63-67. CHEN X Y, QI D W, SUN J. The rapid detection of *trametes suavelones* and *trametes hirstuta* based on PCR [J]. Forest Engineering, 2019, 35(5): 63-67. (in Chinese)
- [26] 刘冠一, 刘艳玲, 刘博文, 等. 含 ACC 脱氢酶活性的复合菌株提高苜蓿抗盐碱能力研究[J]. 核农学报, 2017, 31(5): 1022-1028. LIU G Y, LIU Y L, LIU B W, *et al.* Research on enhanced alfalfa tolerance to saline-alkali stress by strain combinations containing ACC deaminase [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2017, 31(5): 1022-1028. (in Chinese)
- [27] VANEGAS J, URIBE-VELEZ D. Selection of mixed inoculants exhibiting growth-promoting activity in rice plants from undefined consortia obtained by continuous enrichment [J]. Plant & Soil, 2014, 375(1/2): 215-227.

(上接第 119 页)

- [12] 虎海防, 孙雅丽, 李疆. 不同贮藏温度对三个产地骏枣果实营养品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(10): 1810-1815.
- [13] 刘凤兰, 韩宏伟, 毛金梅, 等. 不同采摘期对和田骏枣品质的影响[J]. 北方园艺, 2017(2): 40-43.
- [14] 木合塔尔·扎热, 哈地尔·依沙克, 马合木提·阿不来提, 等. 采前灌溉对骏枣落果、裂果及果实品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(4): 110-114, 216. MUHTAR · Z R, KADIR · Y S K, MAHMUT · A B L T, *et al.* Effect of preharvest irrigation on fruit drop, fruit crack and fruit quality of Junzao [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(4): 110-114, 216. (in Chinese)
- [15] 邹琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 162-163.
- [16] 周丹蓉, 方智振, 廖汝玉, 等. 李果皮花色苷、类黄酮和类胡萝卜素含量及抗氧化性研究[J]. 营养学报, 2013, 35(6): 571-576. ZHOU D R, FANG Z Z, LIAO R Y, *et al.* Contents of anthocyanin, flavonoids and carotenoids and antioxidant capacity of plum peels [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2013, 35(6): 571-576. (in Chinese)
- [17] 刘奕琳, 王振宇. 蓝靛果中花色苷含量的测定及其体外抗氧化性[J]. 中国林副特产, 2011(5): 14-17.
- [18] 张上隆, 陈昆松, 等. 果实品质形成与调控的分子生理 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [19] 杨玲, 刘虹男, 张冬严, 等. 紫叶白桦组培苗叶片花青素含量影响因素分析[J]. 森林工程, 2017, 33(2): 33-40. YANG L, LIU H N, ZHANG D Y, *et al.* Analysis of factors influencing on anthocyanin content in leaves of tissue culture plantlet of royal frost betula [J]. Forest Engineering, 2017, 33(2): 33-40. (in Chinese)
- [20] AWAD M A, JAGER A DE, WESTING L M. Flavonoid and Chromogenic acid levels apple fruit; characterization of variation [J]. Science Horticultural, 2000, 83(3/4): 249-263.
- [21] 张琼, 周广芳, 祝恩元, 等. 冬枣果皮着色过程中类黄酮类物质成分及含量的变化 [J]. 园艺学报, 2010, 37(2): 193-198. ZHANG Q, ZHOU G F, ZHU E Y, *et al.* The flavonoids in the fruit peel of *Ziziphus jujuba* Mill. 'Dongzao' during coloring process [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2010, 37(2): 193-198. (in Chinese)
- [22] 陈文龙, 赵昶灵, 支伟特, 等. 高等植物花色苷生物合成调控的研究进展 [J]. 中国农学通报, 2013, 29(33): 271-276.
- [23] HAMAUZZU Y, MIYAMOTO Y, CHACHIN K. Effect of high-temperature on the change of carotenoid contents in tomato fruit after harvest [J]. Jpn. Soc. Hortic. Sci., 1994, 63(3): 675-684.
- [24] 冯一峰, 王艳, 王海珍, 等. 不同温度处理对骏枣叶片生理指标的影响 [J]. 塔里木大学学报, 2014, 26(4): 26-29. FENG Y F, WANG Y, WANG H Z, *et al.* Effects of different temperature treatments on physiological index in leaves of Jun jujube [J]. Journal of Tarim University, 2014, 26(4): 26-29. (in Chinese)
- [25] DIENER H A, NAUMANN W D. Influence of day and night temperature on anthocyanins synthesis in the apple skin [J]. Gartenbau, 1981, 46: 125-132.
- [26] 高原, 孙百灵, 曲柏宏. 果树果实着色研究进展 [J]. 湖南农业科学, 2011(11): 25-26.