

# 多效唑对‘波姬红’无花果植株 生长及果实品质的影响

陈梦瑶<sup>1,2</sup>, 翟芮瑾<sup>1,2</sup>, 林敏娟<sup>1,2</sup>, 马全会<sup>1,2</sup>, 王振磊<sup>1,2</sup>

(1. 塔里木大学园艺与林学院, 新疆 阿拉尔 843300; 2. 塔里木大学南疆特色果树高效优质栽培与  
深加工技术国家地方联合工程实验室, 新疆 阿拉尔 843300)

**摘要:**为解决南疆地区无花果营养生长过于旺盛以及果实品质降低的问题,本研究以2年生无花果(*Ficus carica* L.)‘波姬红’品种为试材,以清水为对照(CK),在新梢生长期对植株不同部位涂抹不同浓度多效唑,9个处理分别为Y1(叶片涂抹 $15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、Y2(叶片涂抹 $45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、Y3(叶片涂抹 $75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、J1(茎部涂抹 $15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、J2(茎部涂抹 $45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、J3(茎部涂抹 $75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、D1(顶芽涂抹 $15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、D2(顶芽涂抹 $45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、D3(顶芽涂抹 $75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),分析不同处理对植株生长和果实品质及糖酸组分的影响。结果表明:(1)多效唑可明显抑制新梢生长,其中J3处理新梢较长对照显著降低34.99%;且抑制作用随浓度升高呈增强趋势。(2)与对照相比,茎部涂抹 $45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 多效唑处理的单果质量显著提高13.40%;茎部涂抹 $75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 多效唑处理果实可溶性固形物和可溶性糖含量的积累分别显著提高21.04%和26.83%,可滴定酸含量降低16.67%,果实糖酸比显著提高63.38%。(3)低浓度多效唑处理( $15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )促进无花果总糖组分的积累(较对照显著提高12.70%),抑制无花果酸组分中0.32%的奎宁酸积累,高浓度处理( $75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )反而促进果实中11.78%的奎宁酸积累。(4)主成分分析表明,各处理的综合得分表现为 $Y3>D3>J2>J3>CK>Y1>J1>D2>Y2>D1$ 。综上所述,高浓度( $75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )多效唑处理可显著提高‘波姬红’无花果的果实品质,且叶面施用 $75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度多效唑的效果最佳。

**关键词:**无花果;多效唑;植株生长;果实品质;综合评价

**中图分类号:**S663.3; S605 **文献标志码:**A

## Effects of pleotropic azole on the growth and fruit quality of ‘Bojihong’ figs

CHEN Mengyao<sup>1,2</sup>, ZHAI Ruijin<sup>1,2</sup>, LIN Minjuan<sup>1,2</sup>, MA Quanhui<sup>1,2</sup>, WANG Zhenlei<sup>1,2</sup>

(1. College of Horticulture and Forestry, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China; 2. The National-Local  
Joint Engineering Laboratory for Efficient and High-Quality Cultivation and Deep Processing Technology of  
Characteristic Fruit Trees in Southern Xinjiang, Alar, Xinjiang 843300, China)

**Abstract:** To solve the problem of vigorous vegetative growth and reduced fruit quality of figs in southern Xinjiang, this study used the biennial fig (*Ficus carica* L.) ‘Bojihong’ variety as the test material and used clear water as the control (CK). During the shoot growth period, different concentrations of pleotropic azole were applied to different parts of the plant. The treatments included Y1 (Blade application with  $15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), Y2 (Blade application with  $45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), Y3 (Blade application with  $75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), J1 (Stem application with  $15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), J2 (Stem application with  $45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), J3 (Stem application with  $75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), D1 (Terminal bud application with  $15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), D2 (Terminal bud application with  $45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), and D3 (Terminal bud application with  $75\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Plant growth and fruit quality and sugar acid components were analyzed. The results showed that: (1) Pleotropic azole could significantly inhibit shoot growth, of which J3 was the most significant effect of 34.99% compared with the control. And the inhibitory effect was enhanced with the increasing concentration. (2) The application of

收稿日期:2024-04-23

修回日期:2024-07-15

基金项目:南疆重点产业创新发展支撑计划项目(2023AB072);新疆生产建设兵团民生实事资助项目(MSSS202001);塔里木大学研究生科研创新项目(TDGRI202330)

作者简介:陈梦瑶(1999-),女,山东淄博人,硕士研究生,研究方向为果树栽培生理生态。E-mail:19506562965@163.com

通信作者:王振磊(1977-),男,河北邯郸人,教授,主要从事果树栽培生理生态研究。E-mail:wzljwc@.163.com

45 mg · L<sup>-1</sup> pleotropic azole to the stem could significantly increase the single fruit mass by 13.40%. The application of 75 mg · L<sup>-1</sup> pleotropic azole promoted the accumulation of soluble solid and soluble sugar content in the fruit, which increased by 21.04% and 26.83% with the control and reduced the titrated acid content by 16.67%, and the fruit sugar-acid ratio increased by 63.38%. (3) Low concentration (15 mg · L<sup>-1</sup>) promoted the accumulation of the total sugar fraction of fig, which increased by 12.70% compared with the control, inhibited the accumulation of 0.32% of the fig acid fraction, and high concentration (75 mg · L<sup>-1</sup>) treatment promoted the accumulation of 11.78% quinic acid in the fruit. (4) Principal component analysis showed that the comprehensive score of each treatment was Y3> D3> J2> J3> CK> Y1> J1> D2> Y2> D1. In conclusion, high concentration (75 mg · L<sup>-1</sup>) significantly improved the fruit quality of ‘Bojihong’ figs, and foliar application of 75 mg · L<sup>-1</sup> was the best.

**Keywords:** fig; pleotropic azole; plant growth; fruit quality; comprehensive evaluation

无花果 (*Ficus carica* L.) 风味独特, 药食同源, 其果实富含硒、钾、钙、维生素、不饱和脂肪酸等营养成分<sup>[1]</sup>, 被誉为“21 世纪人类健康的守护神”<sup>[2]</sup>, 是较为优良的经济林果树, 也是人类最早改良的果树种类之一, 距今有近 5 000 年的种植历史<sup>[3-4]</sup>。目前, 新疆维吾尔自治区是我国最大的无花果产区<sup>[5]</sup>, 无花果产业开始逐步发展, 带动当地果农增收。随着生产需求增加, 南疆主栽无花果品种‘波姬红’在设施栽培模式中存在新梢生长旺、坐果节位高、营养生长与生殖生长竞争、品质差、产量低等问题, 严重影响了该地区无花果产业的发展。采用拉枝等方法能有效控制无花果新梢的营养生长, 促进无花果早结果、产量高, 但该方法普及困难、成本高, 不适用于实际生产。

生长延缓剂可有效抑制植株的营养生长, 缩短节间, 矮化树体, 提高果实品质和产量<sup>[6-7]</sup>。目前常用的生长抑制剂有矮壮素 (CCC)、多效唑 (PP333)、稀效唑 (S3307)、缩节胺 (MEP) 等<sup>[8]</sup>。多效唑作为一种生长抑制剂, 目前主要集中应用在燕麦、桃熏草莓、春雪桃等园艺作物上<sup>[9-13]</sup>, 而关于其在无花果上的应用研究较少。另有研究表明, 在嫩梢期喷施低浓度多效唑能够促进爱文芒果的开花坐果<sup>[14]</sup>; 番茄幼苗期施用多效唑可显著提高其第 1 穗果的产量及果实品质<sup>[15]</sup>。在武亚男等<sup>[16]</sup>的研究中, 幼苗期施用多效唑可有效提高酸枣的抗旱性, 合理应用可提高南疆地区酸枣植株抗性, 增加其成活率。

对于南疆无花果设施生产上的问题, 课题组前期研究发现, 高浓度多效唑能显著抑制无花果植株的营养生长, 但出现大小年现象且影响果实品质, 果形变差<sup>[17]</sup>。针对这一问题, 刘厚基<sup>[18]</sup>研究发现, 喷施中、低浓度的多效唑可明显提升果实品质。基于前人研究基础, 为优化无花果多效唑喷施方案, 本研究以南疆设施无花果‘波姬红’为试材, 设置 3 种不同浓度多效唑, 在植株的 3 个不同部位进行涂

抹, 比较分析多效唑在减缓树体生长的同时对果实品质及糖酸含量的影响, 旨在筛选出抑制营养生长和提高果实品质的最佳方案, 为调控无花果树营养生长、提高果实品质提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为新疆生产建设兵团第一师阿拉尔市塔里木大学高效日光温室 (40°54'N, 81°29'E) 栽培的 2 年生扦插苗木‘波姬红’无花果, 树形均为‘Y’字形。其占地长 18 m, 宽 30 m, 面积 540 m<sup>2</sup>。种植土为半基质半壤土, 水肥一体化管理。定植株间距为 1.5 m, 行间距为 3 m, 试验当年设施无花果均于 3 月下旬开始萌芽。

### 1.2 试验处理

试验设置 3 种不同浓度的多效唑, 对 3 个不同部位进行涂抹, 以清水涂抹为对照, 共设 10 个处理 (表 1)。每个处理共 10 株生物学重复, 共 100 株树, 每个处理选取 10 根枝条, 在新梢第 3 节位处做好标记, 后分 2 批涂抹, 每批涂抹 3 次, 每次间隔 7 d, 为控制施用部位, 选择通过涂抹进行处理, 并于涂抹时做好株间隔离。第一批次于 2023 年 4 月 20 日

表 1 多效唑对‘波姬红’无花果植株处理的部位及浓度

Table 1 Position and concentration of pleotropic azole on ‘Bojihong’ fig plants

处理 Treatment	部位 Position	浓度/(mg · L <sup>-1</sup> ) Concentration
Y1	叶片 Blade	15
Y2	叶片 Blade	45
Y3	叶片 Blade	75
J1	茎部 Stem	15
J2	茎部 Stem	45
J3	茎部 Stem	75
D1	顶芽 Terminal bud	15
D2	顶芽 Terminal bud	45
D3	顶芽 Terminal bud	75
CK	整株(清水) Whole plant (Branch water)	0

无花果植株生长到第8节位时涂抹,第2批于2023年7月10日无花果膨大后期开始涂抹。于8月底夏果成熟期测定标记的新梢长(1年生枝基部至顶端长度)、新梢茎粗(据新梢基部5 cm处直径)。并收取每个处理植株外围中部成熟度一致且无病虫害的果实30个,放置于低温采样箱中带回实验室。

### 1.3 试验方法

1.3.1 树体生长指标测定 用游标卡尺测量无花果植株新梢直径,用卷尺测量新梢长度,每个处理指标测定10次取平均值。

1.3.2 果实营养品质测定 用百分之一天平测量无花果单果质量;用游标卡尺测量果实纵、横径,并计算果形指数(纵横径之比)。用数显折光仪测量果实可溶性固形物含量;果实维生素C含量测定采用钼蓝比色法<sup>[19]</sup>;果实淀粉及可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法<sup>[19]</sup>;可滴定酸含量的测定采用酸碱滴定法<sup>[19]</sup>;可溶性蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝G-250染色法<sup>[19]</sup>。

1.3.3 果实糖酸组分测定 糖组分分析参考郭傲等<sup>[20]</sup>的方法,酸组分分析参考周晓凤<sup>[21]</sup>的方法。每个处理进行3次重复,取平均值。

### 1.4 数据统计与分析

采用Microsoft excel 2010进行数据整理,通过SPSS 26对数据进行方差和显著性分析( $P < 0.05$ ),应用主成分分析法对测定指标进行综合评价,利用Origin 2022进行作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 多效唑对‘波姬红’无花果树体生长的影响

由图1可以看出,涂抹多效唑各处理对‘波姬红’无花果树体生长均有抑制作用,与对照相比,不

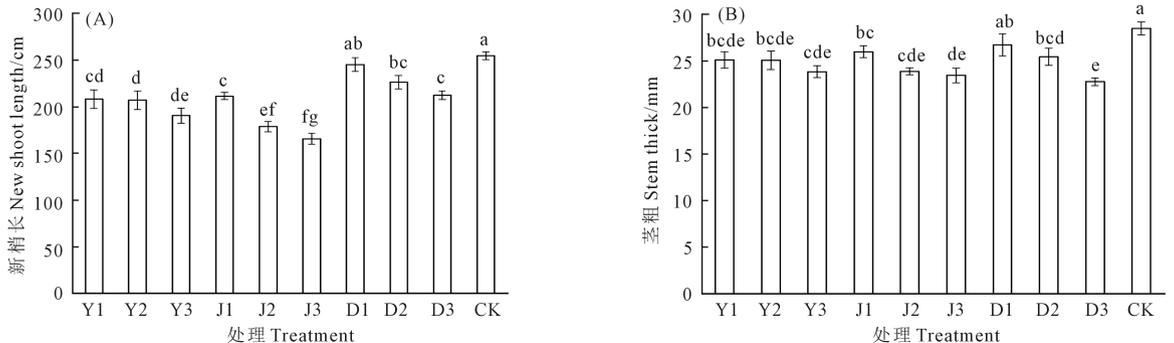
同多效唑处理能不同程度抑制新梢生长,新梢长和新梢茎粗均呈现随多效唑浓度升高而降低的趋势。J3处理的新梢长最小,较对照显著降低34.99%;75 mg · L<sup>-1</sup>浓度下,Y3处理新梢长较小,较对照显著降低25.23%。多效唑对新梢茎粗的影响与其对新梢长的影响较为一致,除D1处理外其他处理新梢茎粗均显著低于对照。低浓度(<75 mg · L<sup>-1</sup>)多效唑处理对无花果植株新梢长和茎粗的抑制作用更小。

### 2.2 多效唑对‘波姬红’无花果果实外观的影响

不同多效唑处理对无花果单果质量有较显著影响,其中J2处理的单果质量最大,为64.05 g,比对照增加13.40%(表2)。叶片涂抹和顶芽涂抹多效唑处理的单果质量均随浓度升高而升高。整体来看,多效唑处理对果实纵径有抑制作用,其中Y1、J3、D1和D2处理的果实纵径均显著低于对照,J3处理果实纵径最小,D3处理果实纵径最大,J3较D3处理的果实纵径显著减小18.93%。J3处理果实横径较对照显著增加6.43%,其他处理横径变化不显著。J3处理果形指数为各处理最小,较对照显著降低23.65%。

### 2.3 多效唑对‘波姬红’无花果果实内在品质的影响

随多效唑浓度的增大,无花果果实可溶性固形物和可溶性糖含量呈升高的趋势(表3)。J3处理的果实可溶性固形物和可溶性糖含量均为各处理最高,较CK分别显著提高21.04%和26.83%。与CK相比,Y2、Y3、J1和J2处理可溶性固形物含量分别提高1.32%、4.27%、3.45%和6.94%。茎部涂抹处理间及顶芽涂抹各处理间果实可滴定酸含量差异不显著,Y3处理果实中可滴定酸含量最高,较CK显著提高26.32%。在茎部和顶芽涂抹多效唑的处



注:图中不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments ( $P < 0.05$ ). The same below.

图1 多效唑对‘波姬红’无花果树体生长的影响

Fig.1 Effects of pleotropic azole on the growth of ‘Bojihong’ fig trees

理中,果实维生素 C 含量均表现出随多效唑浓度增高而增高的趋势;叶面涂抹多效唑处理的果实中维生素含量则先升高后降低,Y2 处理维生素 C 含量最高,较 CK 提高 11.12%。Y2、J1、J2 和 J3 处理的糖酸比分别较 CK 提高 24.31%、16.06%、32.35% 和 38.79%。

## 2.4 多效唑对‘波姬红’无花果果实糖酸组分的影响

### 2.4.1 对无花果果实糖组分积累的影响

无花果甜度主要取决于果实中的葡萄糖和果糖的含量。由图 2 可知,与 CK 相比,叶片涂抹低浓度(15 mg · L<sup>-1</sup>)多效唑对果糖和葡萄糖的积累有显著促进作用,Y1 处理果糖的积累较 CK 显著提高 28.02%,葡萄糖的积累较 CK 显著提高 28.37%;而高浓度(75 mg · L<sup>-1</sup>)处理下,D3 和 J3 处理葡萄糖的积累较对照均有所降低。其他处理各糖分的积累均较 CK 有所提高,以中、低浓度(45 mg · L<sup>-1</sup>、15 mg · L<sup>-1</sup>)多效唑处理提升较为显著。

表 2 多效唑对‘波姬红’无花果果实外观的影响

Table 2 Effects of pleotropic azole on fruit appearance of ‘Bojihong’ figs

处理 Treatment	单果质量 Single fruit mass/g	果实纵径 Longitudinal diameter/mm	果实横径 Transverse diameter/mm	果形指数 Fruit shape index
Y1	54.38±6.80bc	56.60±4.63bcd	43.03±2.43d	1.31±0.14bcde
Y2	56.01±7.26b	64.55±4.46a	43.77±3.44cd	1.51±0.16a
Y3	57.40±7.03b	62.27±5.50ab	44.70±2.42bcd	1.39±0.14abcd
J1	57.64±8.85b	60.22±6.51abc	46.95±5.20ab	1.27±0.20cdef
J2	64.05±8.55a	65.62±5.58a	45.43±2.78abcd	1.43±0.17abcd
J3	59.08±12.86ab	53.32±13.92d	47.27±3.88a	1.13±0.33f
D1	43.27±4.24c	54.51±7.21cd	44.44±2.73cd	1.23±0.18ef
D2	48.79±9.90bc	54.64±11.90cd	43.32±3.05cd	1.25±0.29def
D3	54.85±6.12bc	65.77±4.74a	45.88±2.11abc	1.45±0.15ab
CK	55.47±4.56b	65.49±4.34a	44.23±1.69cd	1.48±0.09a

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ( $P<0.05$ ). The same below.

表 3 多效唑对‘波姬红’无花果果实内在品质的影响

Table 3 Effects of pleotropic azole on the intrinsic quality of ‘Bojihong’ figs

处理 Treatment	可溶性固形物 Soluble solid /%	可溶性糖 Soluble sugar /%	可滴定酸 Titratable acid /%	淀粉 Starch /%	维生素 Vitamin C /(mg · 100g <sup>-1</sup> )	可溶性蛋白 Soluble protein /(mg · g <sup>-1</sup> )	糖酸比 Sugar-acid ratio
Y1	22.13±1.18bcd	11.56±1.48b	0.14±0.02bc	0.76±0.07ab	35.08±0.48f	1.06±0.06bc	80.79±3.63de
Y2	22.70±0.66b	12.28±0.94b	0.11±0.02c	0.87±0.05ab	42.91±0.39a	1.00±0.07c	114.04±9.14abc
Y3	23.40±0.53b	14.17±1.59ab	0.19±0.01a	0.92±0.14ab	39.88±0.46bcd	1.07±0.01bc	72.88±3.27e
J1	23.20±0.79b	12.62±0.47b	0.13±0.01c	0.85±0.13ab	39.91±0.58bcd	1.00±0.10c	102.84±15.51bcd
J2	24.07±3.56b	13.58±0.74ab	0.11±0.01c	0.96±0.12ab	40.95±1.07abc	1.13±0.01abc	127.60±4.56ab
J3	28.37±1.05a	16.36±0.13a	0.12±0.01c	1.12±0.14a	42.19±0.55ab	1.25±0.06a	141.03±6.87a
D1	18.73±1.39e	11.82±0.99b	0.18±0.01ab	0.74±0.04b	36.29±1.11ef	1.16±0.01abc	69.70±11.20e
D2	19.63±0.93de	11.90±0.98b	0.18±0.02ab	0.86±0.07ab	37.45±1.19def	1.20±0.04ab	67.78±9.60e
D3	19.87±0.95cde	12.73±0.92b	0.18±0.02ab	0.96±0.14ab	38.83±0.93cd	1.21±0.03ab	71.52±10.60e
CK	22.40±1.18bc	11.97±0.91b	0.14±0.01bc	0.94±0.08ab	38.14±0.60de	1.15±0.02abc	86.32±9.99cde

### 2.4.2 对无花果果实酸组分积累的影响

酸是影响果实风味的主要物质之一,‘波姬红’果实主要酸组分为奎宁酸。由图 3 可知,‘波姬红’无花果果实中酸组分含量表现为奎宁酸>酒石酸>苹果酸>柠檬酸>抗坏血酸>草酸>富马酸,各处理均值中,酸含量最高的是奎宁酸,占总酸含量的 91.41%,其次是酒石酸,占总酸含量的 2.82%;含量最低的是富马酸,只占总酸含量的 0.065%。经不同多效唑处理发现,Y1、Y2 和 Y3 处理果实中奎宁酸含量均值占酸组分的 89.93%,较 CK 降低 1.86%。叶片涂抹处理的其他 6 种酸含量均高于茎部和顶芽涂抹处理。Y1、Y2 和 Y3 处理果实中酒石酸含量均值占酸组分的 3.16%,较 CK 提高 10.1%;J1、J2 和 J3 处理果实中奎宁酸含量较 CK 均有显著提高。Y1、Y2 和 Y3 处理果实中苹果酸含量均值占酸组分的 2.09%,较 CK

提高 19.43%;柠檬酸含量占酸组分的 2.02%,较 CK 提高 30.32%,其他处理差异均不显著。综上可知,在植株生长发育期施用多效唑处理后,奎宁酸的积累随处理浓度的提高呈增加趋势,而柠檬酸的积累则随处理浓度的提高出现下降趋势。抗坏血酸含量也随多效唑浓度的提高出现下降趋势但变化并不显著,其他酸组分含量变化均不显著。

## 2.5 设施无花果‘波姬红’果实品质综合评价

### 2.5.1 ‘波姬红’无花果果实品质的主成分分析

对无花果果实的外观品质、营养品质及总糖酸组分等 13 个指标进行主成分分析,得到主成分特征值、方差贡献率和累计贡献率,按照表 4 分析结果选择主要成分,第一、二、三主成分的特征值分别为 5.961、2.904、1.838,分别代表本试验各处理 13 项指标 45.852%、22.339%、14.142%的信息,前 3 个主成

分累计方差贡献率为 82.333%,表明这 3 个主成分可反映‘波姬红’无花果果实品质主要的信息,因此提取这 3 个主成分代替原来的 13 项指标来评价不同

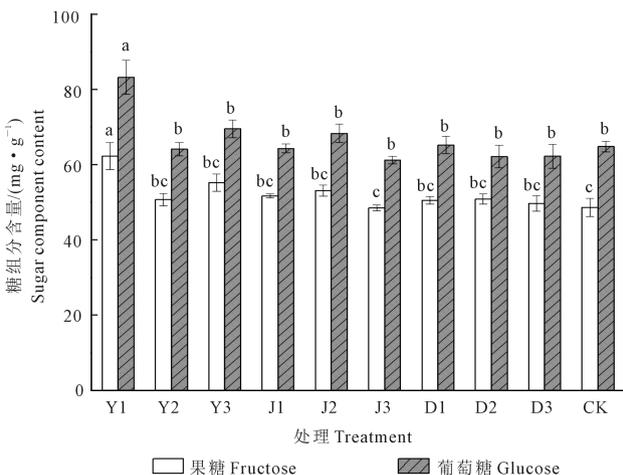


图 2 不同多效唑处理对‘波姬红’无花果糖组分含量的影响

Fig.2 Effects of different pleiotropic azole treatments on the content of sugar components of ‘Bojihong’ figs

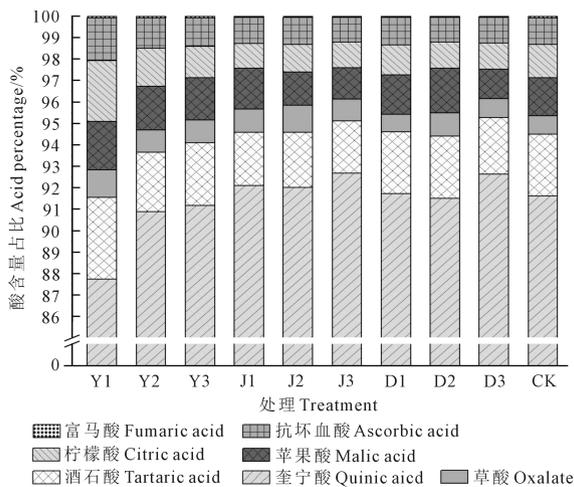


图 3 不同多效唑处理对‘波姬红’无花果酸组分含量的影响

Fig.3 Effects of different pleiotropic azole treatments on the content of acid components of ‘Bojihong’ figs

表 4 ‘波姬红’无花果果实品质指标主成分分析

Table 4 Principal component analysis of fruit quality indicators of ‘Bojihong’ figs

项目 Item	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%
第一主成分 First principal component	5.961	45.852	45.852
第二主成分 Second principal component	2.904	22.339	68.191
第三主成分 Third principal component	1.838	14.142	82.333

多效唑处理对设施无花果“波姬红”果实品质的影响,从而达到降维的目的。

2.5.2 ‘波姬红’无花果果实品质综合评价 根据前 3 个主成分的累计贡献率,可以使用这 3 个主成分来构建分析模型。利用表 5 中各指标的主成分载荷除以相应的主成分特征值的平方根,可得到 3 个主成分中每个指标所对应的特征向量即系数,以特征向量为权重构建 3 个主成分的表达函数式:

$$y_1 = 0.359x_1 + 0.357x_2 + 0.350x_3 + 0.349x_4 + 0.342x_5 + 0.325x_6 + 0.305x_7 + 0.283x_8 - 0.244x_9 - 0.049x_{10} + 0.077x_{11} + 0.058x_{12} - 0.181x_{13}$$

$$y_2 = -0.083x_1 + 0.124x_2 + 0.070x_3 - 0.154x_4 + 0.162x_5 - 0.163x_6 + 0.315x_7 - 0.258x_8 - 0.268x_9 + 0.465x_{10} - 0.441x_{11} + 0.434x_{12} + 0.245x_{13}$$

$$y_3 = 0.160x_1 - 0.227x_2 - 0.317x_3 - 0.111x_4 + 0.122x_5 + 0.075x_6 - 0.041x_7 + 0.283x_8 + 0.268x_9 + 0.415x_{10} + 0.185x_{11} + 0.461x_{12} - 0.465x_{13}$$

表 5 ‘波姬红’无花果果实品质指标主成分载荷矩阵  
Table 5 Principal component load matrix of fruit quality indicators for ‘Bojihong’ figs

指标 Index	第一主成分 First principal component	第二主成分 Second principal component	第三主成分 Third principal component
淀粉含量 Starch content	0.877	-0.142	0.217
糖酸比 Sugar-acid ratio	0.871	0.212	-0.308
可溶性固形物含量 Soluble solid content	0.854	0.119	-0.430
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.853	-0.262	-0.150
维生素 C 含量 Vitamin C content	0.834	0.276	0.166
果实横径 Fruit transverse diameter	0.793	-0.278	0.102
单果质量 Single fruit mass	0.744	0.537	-0.056
总酸组分含量 Total acid fraction content	0.692	-0.439	0.384
可滴定酸含量 Titratable acid content	-0.596	-0.457	0.363
果形指数 Fruit shape index	-0.120	0.793	0.562
可溶性蛋白含量 Soluble protein content	0.187	-0.751	0.251
果实纵径 Fruit longitudinal diameter	0.141	0.739	0.625
总糖组分含量 Total sugar fraction content	-0.442	0.418	-0.631

上述 3 个函数表达式中,  $x_1$  为淀粉含量、 $x_2$  为糖酸比、 $x_3$  为可溶性固形物含量、 $x_4$  为可溶性糖含量、 $x_5$  为维生素 C 含量、 $x_6$  为果实横径、 $x_7$  为单果质量、 $x_8$  为总酸组分含量、 $x_9$  为可滴定酸含量、 $x_{10}$  为果形指数、 $x_{11}$  为可溶性蛋白含量、 $x_{12}$  为果实纵径、 $x_{13}$  为总糖组分含量。以 3 个主成分对应的方差贡献率为权重, 由计算出的主成分得分和对应的权重线性加权求和得到综合评价函数:  $Y = 0.4585y_1 + 0.2234y_2 + 0.1414y_3$ 。根据主成分综合模型计算出不同多效唑处理下设施‘波姬红’无花果果实品质综合得分和排名, 由表 6 可知, 各处理综合得分排序为: Y3>D3>J2>J3>CK>Y1>J1>D2>Y2>D1。

表 6 ‘波姬红’无花果果实品质综合得分和排序

Table 6 Comprehensive scores and ranking of fruit quality indicators of ‘Bojihong’ figs

处理 Treatment	$y_1$	$y_2$	$y_3$	综合得分 Comprehensive score	排名 Sort
Y1	-0.72	1.31	2.21	0.27	6
Y2	-0.12	-2.11	-0.81	-0.64	9
Y3	1.33	0.31	0.32	0.72	1
J1	0.01	-0.66	-1.54	-0.36	7
J2	1.26	-1.06	0.04	0.34	3
J3	1.01	-1.19	0.75	0.31	4
D1	-2.23	1.40	-0.18	-0.73	10
D2	-1.81	1.11	0.20	-0.56	8
D3	0.70	0.93	-1.16	0.37	2
CK	0.58	-0.04	0.17	0.28	5

### 3 讨论

多效唑(PP333)作为新型植物生长延缓剂, 抑制内源赤霉素及吲哚乙酸合成, 促进脱落酸、细胞分裂素及乙烯的产生, 不仅能显著延缓植物营养生长, 矮化树体, 还能提高植株抗逆性及坐果率, 增加产量, 改善果实品质<sup>[22]</sup>, 目前常通过叶面喷施等方式应用于果树栽培。为明确植株不同部位对多效唑的吸收利用情况, 本试验选取无花果不同部位进行涂抹试验。试验结果表明, 在不同部位涂抹不同浓度多效唑均出现植株新梢降低的现象, 且有随浓度的增加而降低的趋势, 这与孟潇<sup>[23]</sup>的研究结果一致。与 CK 相比, 各处理下植株茎粗生长存在一定差异, 大部分处理茎粗显著低于对照, 且随多效唑浓度升高而降低。这与课题组前期高浓度多效唑处理的研究结果一致<sup>[17-18]</sup>。

外观是衡量果实品质及产量的重要指标, 也是影响消费者购买的最直接因素<sup>[24]</sup>。本试验结果表明, 多效唑的施用在一定程度上增加了无花果的单果

质量, 这与王志霞等<sup>[25]</sup>关于多效唑对桃果实影响的研究结论一致。果形指数也是影响果实外观的直接因素, 本试验发现, 施用高浓度多效唑 ( $75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 可降低果形指数, 这与 Chen 等<sup>[26]</sup>的研究结果相同, 在林旭<sup>[27]</sup>对阳光玫瑰葡萄的研究中也得到印证。本研究发现, 叶面涂抹和茎部涂抹中, 高浓度 ( $45 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 多效唑可提高无花果的可溶性糖含量和可溶性固形物含量, 且有随多效唑浓度的增加而增加的趋势, 这与刘静雅等<sup>[28]</sup>对紫穗槐的研究结果一致。施用高浓度多效唑会促进果实中可滴定酸含量的积累<sup>[29]</sup>, 本研究表明, 叶面涂抹施用高浓度多效唑 ( $75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 较 CK 处理显著促进可滴定酸的积累, 一定程度上影响果实糖酸比, 进而影响果实口感和风味。

糖组分是影响果实风味的主要指标, 其中果糖甜度高, 葡萄糖甜度低, 它们决定了无花果主要的甜味, 也是果实中可溶性糖的主要成分<sup>[30]</sup>。本研究发现, 无花果果实中葡萄糖含量最高, 果糖含量次之, 蔗糖含量微乎其微。不同多效唑处理的果实中葡萄糖和果糖含量的变化基本一致, 整体表现为低、中浓度处理 ( $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $45 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 可一定程度上促进糖组分的积累, 这与刘洪章等<sup>[29]</sup>在多效唑对黑加仑果实品质影响的研究中结果一致。其中叶面施用低浓度多效唑处理果糖和葡萄糖的积累变化最为显著, 较 CK 分别显著提高 28.02% 和 28.37%。

有机酸组分及其含量是影响果实风味的重要指标之一<sup>[31]</sup>, 果实中有机酸组分及含量受遗传特性、生态条件、栽培管理及植物生长调节剂和化学药剂的影响<sup>[32-34]</sup>。本研究明确无花果果实中含量最高的有机酸组分是奎宁酸, 占总酸含量的 91.41%, 可将‘波姬红’无花果归为奎宁酸优势型果实<sup>[35]</sup>。果实中奎宁酸含量受多效唑处理影响, 其中茎部涂抹多效唑可增加奎宁酸含量的积累, 以  $75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  处理增加最为显著; 但总体上不同多效唑处理对无花果各类有机酸含量影响不明显。

### 4 结论

在设施温室统一栽培模式下, 不同部位涂抹多效唑处理较对照(清水涂抹)均不同程度地抑制了无花果植株的营养生长, 且新梢长表现为随多效唑浓度的增加呈降低趋势, 其中以叶面涂抹和茎部涂抹高浓度 ( $75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 多效唑处理抑制效果最为显

著,较对照生长量显著降低34.99%。叶片涂抹和茎部涂抹不同浓度多效唑处理可不同程度提升无花果的单果质量,茎部涂抹  $45 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  处理效果最佳,较对照增加 15.47%;不同浓度处理不同程度降低了果形指数,其中茎部涂抹  $75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  处理变化最为显著,较对照显著降低 23.65%。多效唑处理对果实可溶性蛋白和淀粉含量的影响不明显;高浓度 ( $75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 多效唑处理可显著提高可溶性糖含量,维生素 C 含量随多效唑浓度的增加出现先升高后降低的趋势。叶片涂抹  $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  多效唑促进了果实果糖和葡萄糖的积累,分别较清水处理显著提高 28.02% 和 28.37%。‘波姬红’无花果有机酸组分含量最高的为奎宁酸,其中在茎部进行多效唑处理的果实中奎宁酸的积累量最高,且随涂抹浓度的增加奎宁酸含量呈增加趋势,茎部涂抹  $75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  处理奎宁酸的积累最为显著,较对照显著提高 20.81%。综上,叶面涂抹  $75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  多效唑处理为抑制无花果植株营养生长及提高果实品质的有效栽培措施。

#### 参考文献:

[1] BAROLO M I, RUIZ MOSTACERO N, LÓPEZ S N. *Ficus carica* L. (Moraceae): an ancient source of food and health [J]. Food Chemistry, 2014, 164: 119-127.

[2] 胡西旦 买买提, 木合塔尔 艾乃吐拉, 热西旦 阿木提, 等. 无花果的果形形态特征与新品种选育[J]. 新疆农业科技, 2020, (5): 33-35.

MAIMAITI H X D, AINAITULA M H T E, AMUTI R X D. Fruit morphology and new variety breeding of figs [J]. Horticultural Products, 2020, (5): 33-35.

[3] GAUGHRAN E. Ficin: history and present status [J]. Pharmaceutical Biology, 1976, 14(1): 1-21.

[4] 孙蕾, 房用. 无花果及其开发的前景[J]. 山东林业科技, 1993, (4): 62-65.

SUN L, FANG Y. Fig and the prospects for its development [J]. Journal of Shandong Forestry Science and Technology, 1993, (4): 62-65.

[5] 王现. 莆田市无花果品种引种及配套栽培技术研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2013.

WANG X. Study on figs introduction and supporting cultivation technology in Putian City [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013.

[6] 毛景英, 闫振领. 植物生长调节剂调控原理与实用技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.

MAO J Y, YAN Z L. Regulatory principles and practical techniques of plant growth regulators [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005.

[7] LIU B, LONG S, LIU K, et al. Paclobutrazol ameliorates low-light-induced damage by improving photosynthesis, antioxidant defense system, and regulating hormone levels in tall fescue [J]. International

Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(17): 9966.

[8] 黄晓霜, 芦斌, 郑永强, 等. 喷施植物生长延缓剂对北美冬青春梢生长的影响[J]. 北方园艺, 2024, (5): 68-74.

HUANG X S, LU B, ZHENG Y Q, et al. Effects of spraying plant growth retarders on growth of springtips *Ilex verticillata* [J]. Northern Horticulture, 2024, (5): 68-74.

[9] 耿小丽, 武慧娟, 付萍, 等. 叶面喷施多效唑、矮壮素、缩节胺对燕麦抗倒伏性和种子产量的调节作用[J]. 草业科学, 2023, 40(9): 2340-2347.

GENG X L, WU H J, FU P, et al. Effects of paclobutrazol, chlormequat chloride, and mepiquat chloride on lodging resistance and seed yield in oats [J]. Pratacultural Science, 2023, 40(9): 2340-2347.

[10] 王全智, 孙朋朋, 吴文文, 等. 多效唑对桃熏草莓生长与果实品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(21): 182-185.

WANG Q Z, SUN P P, WU W W, et al. Effect of multiazole on growth and fruit quality of peach smoked strawberry [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(21): 182-185.

[11] 闫震, 聂继云, 徐国锋, 等. 春雪桃果实膨大期喷施多效唑对果实品质的影响[J]. 中国果树, 2015, (6): 40-42.

YAN Z, NIE J Y, XU G F, et al. Effect of polytriazole ole on fruit quality in spring snow peach [J]. China Fruits, 2015, (6): 40-42.

[12] KAMRAN M, AHMAD I, WU X R, et al. Application of paclobutrazol: a strategy for inducing lodging resistance of wheat through mediation of plant height, stem physical strength, and lignin biosynthesis [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2018, 25(29): 29366-29378.

[13] NAGAR S, SINGH V P, ARORA A, et al. Understanding the role of gibberellic acid and paclobutrazol in terminal heat stress tolerance in wheat [J]. Frontiers in Plant Science, 2021, 12: 692252.

[14] 张丽梅, 余东, 许家辉. 不同时期放梢和不同生长阶段喷施多效唑对福建地区爱文芒果成花着果的影响[J]. 中国南方果树, 2024, 53(1): 120-123, 129.

ZHANG L M, YU D, XU J H. Effect of spraying paclobutrazol at different shoot releasing periods and growth stages on flower formation and fruit setting of Irwin mango in Fujian Province [J]. South China Fruits, 2024, 53(1): 120-123, 129.

[15] 方雪娟, 宋梦圆, 高丽红, 等. 多效唑和两种生物刺激素对基质培番茄生长、产量和品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2023, (10): 67-73.

FANG X J, SONG M Y, GAO L H, et al. Effects of paclobutrazol and two biostimulants on growth, yield and quality of tomato in substrate cultivation [J]. China Vegetables, 2023, (10): 67-73.

[16] 武亚男, 郭星, 赵栋, 等. 4种外源物质对酸枣和华西小石积抗旱性的影响[J]. 防护林科技, 2023, (4): 44-47.

WU Y N, GUO X, ZHAO D, et al. Effects of four exogenous substances on drought resistance of *Ziziphus jujuba* and *Osteomeles schwerneriae* [J]. Protection Forest Science and Technology, 2023, (4): 44-47.

[17] 刘厚基, 周小凤, 刘鸣哲, 等. 缩节胺对“波姬红”无花果生长及果实品质的影响[J]. 新疆农垦科技, 2022, 45(4): 53-56.

LIU H J, ZHOU X F, LIU M Z, et al. The effect of cysteramide on

- the growth and fruit quality of figs[J]. Xinjiang Farm Research of Science and Technology, 2022, 45(4): 53-56.
- [18] 刘厚基. 植物生长延缓剂对“波姬红”无花果生长及果实品质的影响[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2022.
- LIU H J. Effect of plant growth retarder on the growth and fruit quality of figs[D]. Ala'er: Tarim University, 2022.
- [19] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- GAO J F. Experimental guidance for plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [20] 郭傲, 林绪坚, 高欢欢, 等. 不同施钾水平对无花果糖积累及相关酶活性的影响[J]. 福建农业学报, 2019, 34(12): 1388-1396.
- GUO A, LIN X J, GAO H H, et al. Effects of potassium fertilization on sugar metabolism and related enzymatic activities in *Ficus carica* [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2019, 34(12): 1388-1396.
- [21] 周晓凤. 基于果实糖酸分析的枣种质资源遗传多样性研究[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2019.
- ZHOU X F. Genetic diversity of jujube germplasm based on glycoacid analysis of fruits[D]. Ala'er: Tarim University, 2019.
- [22] GROSSMAN K. Plant growth retardants; their mode of action and benefit for physiological research[J]. Progress in Plant Growth Regulation, 1991, 13: 788-797.
- [23] 孟潇. 两种生长延缓剂对主干结果核桃生长及果实的影响[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2017.
- MENG X. Effect of two growth retarders on walnut growth and fruit [D]. Ala'er: Tarim University, 2017.
- [24] DROGOUDI P D, PANTELIDIS G. Effects of position on canopy and harvest time on fruit physico-chemical and antioxidant properties in different apple cultivars[J]. Scientia Horticulturae, 2011, 129(4): 752-760.
- [25] 王志霞, 刘国杰, 梁艳萍, 等. 桃果实迅速膨大期生长调节剂及摘心处理对果实品质影响[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(3): 76-80.
- WANG Z X, LIU G J, LIANG Y P, et al. Effects of plant growth regulators and topping on peach quality during fruit expansion period [J]. Journal of China Agricultural University, 2011, 16(3): 76-80.
- [26] CHEN S, WANG X J, TAN G F, et al. Gibberellin and the plant growth retardant paclobutrazol altered fruit shape and ripening in tomato[J]. Protoplasma, 2020, 257(3): 853-861.
- [27] 林旭. 矮壮素、多效唑对阳光玫瑰葡萄生长势及果实品质的影响[J]. 农业科技通讯, 2023, (2): 119-121, 126.
- LIN X. The influence of dwarf strong element and polytropic azole on the growth potential and fruit quality of sunshine rose grape[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2023, (2): 119-121, 126.
- [28] 刘静雅, 李绍才, 孙海龙, 等. 多效唑对紫穗槐生长及生理特性的影响[J]. 植物科学学报, 2016, 34(2): 271-279.
- LIU J Y, LI S C, SUN H L, et al. Growth and physiological changes in *Amorpha fruticosa* Linn. seedlings following paclobutrazol treatment [J]. Plant Science Journal, 2016, 34(2): 271-279.
- [29] 刘洪章, 文连奎. 多效唑对黑加仑果实糖、酸、维生素 C 和色素含量影响的研究初报[J]. 吉林农业大学学报, 1996, 18(3): 36-39.
- LIU H Z, WEN L K. Preliminary report on the effect of multieffect azole on sugar, acid, vitamin C and pigment content of blackcurrant fruits[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 1996, 18(3): 36-39.
- [30] 郭傲. 不同施钾水平对无花果果实品质及糖代谢的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2019.
- GUO A. Effect of different potassium application levels on fig fruit quality and glucose metabolism[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2019.
- [31] 刘静轩, 曲常志, 许海峰, 等. 新疆红肉苹果杂交二代 2 个功能型株系果实风味品质的评价[J]. 果树学报, 2017, 34(8): 988-995.
- LIU J X, QU C Z, XU H F, et al. Evaluation on fruit flavor quality in two second-generation hybrid apple lines[J]. Journal of fruit science, 2017, 34(8): 988-995.
- [32] MA B Q, CHEN J, ZHENG H Y, et al. Comparative assessment of sugar and malic acid composition in cultivated and wild apples[J]. Food Chemistry, 2015, 172: 86-91.
- [33] 杨盛, 白牡丹, 郝国伟, 等. ‘玉露香’梨果实发育过程中糖、酸积累特性研究[J]. 果树学报, 2019, 36(8): 1013-1019.
- YANG S, BAI M D, HAO G W, et al. Study on sugar and organic acid accumulation during fruit development in ‘Yuluxiang’ pear[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(8): 1013-1019.
- [34] 郝瑞鑫, 王燕, 秦宇, 等. 不同类型山楂果实发育过程中糖酸积累特性研究[J]. 中国果树, 2023, (8): 30-39.
- HAO R X, WANG Y, QIN Y, et al. Study on the characteristics of sugar and acid accumulation during the development of different types of hawthorn fruits[J]. China Fruits, 2023, (8): 30-39.
- [35] 刘有春, 陶承光, 魏永祥, 等. 越橘果实糖酸含量和不同发育阶段的变化及其与叶片中可溶性糖含量的相关关系[J]. 中国农业科学, 2013, 46(19): 4110-4118.
- LIU Y C, TAO C G, WEI Y X, et al. Fruit sugar and acid content, variation at different fruit development stages and their relationship with leaf soluble sugar content of blueberry[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(19): 4110-4118.