

# 调环酸钙对富士苹果生长及果实品质的影响

刘 丽, 高登涛\*, 魏志峰, 石彩云, 徐玉西

(中国农业科学院郑州果树研究所, 郑州 450009)

**摘要:**【目的】探讨新型生长调节剂调环酸钙处理对富士苹果新梢旺长及果实品质的影响, 为富士苹果合理控旺提供依据。【方法】以生产上常用的控旺剂PBO和清水分别作为对照设置7个试验处理: CK(清水)、T1(100倍PBO)、T2(200倍PBO)、T3(300倍PBO)、T4(100 mg·L<sup>-1</sup>调环酸钙)、T5(300 mg·L<sup>-1</sup>调环酸钙)、T6(500 mg·L<sup>-1</sup>调环酸钙), 在新梢旺盛生长期进行喷施, 测量不同处理对富士生长和果实品质的影响。【结果】喷施300 mg·L<sup>-1</sup>调环酸钙处理的效果最好, 新梢生长直径、单果质量、果形指数、果面亮度值 $L'$ 测试指标均高于其他处理, 果实硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、维生素C含量、黄蓝色差值 $b^*$ 、色泽饱和度 $C$ 、色调角 $h$ 等指标与其他处理相比均差异不显著。利用隶属函数法对主要测量指标进行了综合排序, 排名从高到低依次为T5(300 mg·L<sup>-1</sup>调环酸钙)>T3(300倍PBO)>T4(100 mg·L<sup>-1</sup>调环酸钙)>T6(500 mg·L<sup>-1</sup>调环酸钙)>T2(200倍PBO)>T1(100倍PBO)>CK(清水)。【结论】与清水对照处理相比, 不同控旺处理的树体和果实综合指标都优于对照, 300 mg·L<sup>-1</sup>调环酸钙处理的综合指标最好, 能促进新梢增粗, 抑制新梢旺长, 提高叶绿素含量、单果质量和果形指数, 并能提高果实的光泽度。

**关键词:** 富士苹果; 调环酸钙; PBO; 控旺

中图分类号: S661.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2021)07-1084-08

## Effects of prohexadione calcium on growth and fruit quality of Fuji apple

LIU Li, GAO Dengtao\*, WEI Zhifeng, SHI Caiyun, XU Yuxi

(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, Henan, China)

**Abstract:** 【Objective】 In order to provide a theoretical basis for reasonable growth of Fuji apple trees, the tree growth and fruit quality after treatments with growth retardants were compared. 【Methods】 Seven treatments were set up: CK (clean water), T1 (PBO diluted with 100 times water), T2 (PBO diluted with 200 times water), T3 (PBO diluted with 300 times water), T4 (100 mg·L<sup>-1</sup> prohexadione calcium), T5 (300 mg·L<sup>-1</sup> prohexadione calcium) and T6 (500 mg·L<sup>-1</sup> prohexadione calcium). In the mid-June, the leaves of the whole trees were sprayed until the solution on leaves was dripping. Each tree served as one plot, and each treatment was repeated for three times. Before spraying, ten current shoots from each tree were selected and marked, and the length and diameter were measured. The diameter was measured at the position 1cm away from the base. The growth of the shoots was photographed one month after spraying. The length and diameter of the 10 shoots of each tree were measured after fruit harvest. The chlorophyll content was determined by the SPAD-502 chlorophyll meter in mid-August. Healthy and mature leaves were taken from the middle part of the sprayed shoots, and 10 leaves were taken from each replicate. The photosynthesis index was measured by the CIRAS-3 portable photosynthesis instrument (PP system company in the United States) from 8:00 to 10:00 in the morning of a sunny day. Fruit samples were collected in late October during fruit ripening period and taken back to the laboratory to determine single fruit weight, L/D index, soluble solids content, fruit hardness, titratable acid content, etc.. Single fruit weight was measured by a balance, L/D index was measured by a vernier caliper, solu-

收稿日期: 2021-03-11 接受日期: 2021-05-06

基金项目: 特色林果业(红枣、苹果、香梨和葡萄)简约栽培标准化模式研究与示范推广(2019AA004); 河南省科技攻关项目(212102110428)

作者简介: 刘丽, 女, 助理研究员, 主要从事果树栽培生理研究。Tel: 0371-65330959, E-mail: liuli03@caas.cn

\*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0371-65330959, E-mail: Gaodengtao@caas.cn

ble solids content was measured by the atagopal-1 digital sugar meter, fruit firmness was measured by the Gy-1 fruit firmness meter, Vc content was measured by 2, 6-dichlorophenol indophenol titration method, titratable acidity was measured according to GB/T 12456—2008. Ten fruits were randomly selected from each replicate. The fruit color was measured by NR60CP, and the  $C$ ,  $h$ ,  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  were calculated. The average value of each data measured at 3 points of each fruit was taken. Excel was used to sort out the experimental data, SPSS 22.0 was used to analyze the variance. The fuzzy membership function method was used to evaluate the effect of different treatments. 【Results】The effect of  $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  prohexadione calcium treatment was better than that of others. Compared with the control, the current shoot length decreased by 50.88% and the shoot diameter increased by 400%; the relative chlorophyll content increased by 3.66%, net photosynthetic rate increased by 15.09%, stomatal conductance increased by 24.74%, transpiration rate increased by 20.97%, and intercellular  $\text{CO}_2$  concentration decreased by 6.06%; the single fruit weight, soluble solids content and Vc content increased by 26.24%, 2.36% and 53%, respectively, the fruit surface brightness value  $L^*$  increased by 2.18%, the fruit hardness, titratable acid content, yellow saturation  $b^*$ , color saturation  $C$ , hue angle  $h$  and other indicators had no significant difference, compared with other treatments. The fuzzy membership function method was used to rank the main measurement indexes. The rank in a descending order was T5 ( $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  prohexadione calcium) > T3 (PBO diluted with 300 times water) > T4 ( $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  prohexadione calcium) > T6 ( $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  prohexadione calcium) > T2 (PBO diluted with 200 times water) > T1 (PBO diluted with 100 times water) > CK (clean water). Among the treatments, PPO diluted with 300 times water was the second. Compared with the control, the current shoot length decreased by 8.38%, the shoot diameter increased by 167%, the relative chlorophyll content increased by 2.74%; the net photosynthetic rate increased by 16.78%, the stomatal conductance increased by 28.49%, the transpiration rate increased by 30.40%, the intercellular  $\text{CO}_2$  concentration decreased by 13.18%; the single fruit weight increased by 8.96%, the soluble solids content increased by 3.46%, the  $V_c$  content increased by 143%; and the fruit surface brightness value  $L^*$  increased by 1.04%, red saturation  $a^*$  increased by 2.19%, and yellow saturation  $b^*$  increased by 2.69%. 【Conclusion】The examined indexes of the treatments were basically better than those of the control to varying degrees. Spraying PPO and prohexadione calcium at different concentrations, the current shoot length was less than the control, the shoot thickness was greater than the control, the net photosynthetic rate, the relative chlorophyll content, the single fruit weight, the Vc content and the peel brightness value  $L^*$  were better than those of the control to varying degrees. The results showed that PPO and prohexadione calcium can control tree growth and improve some physiological indicators and fruit quality. Among them, spraying  $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  prohexadione calcium can increase the current shoot thickness, inhibit shoot vigorous growth, increase chlorophyll content, single fruit weight and L/D index, and improve fruit finish, it was the best to evaluate by membership function method.

**Key words:** Fuji apple; Prohexadione calcium; PBO; Vigorous growth control

苹果是世界四大水果之一,我国苹果种植面积 232.38 万  $\text{hm}^2$ 、产量 4 388.23 万 t, 分别占世界的 48%、54%, 规模世界第一, 其中富士系苹果占中国苹果栽植总面积的 70%<sup>[1-2]</sup>。富士苹果在生产过程中存在着树体过旺、成花弱、花芽少等问题, 生产中常用拉枝、环剥等方法进行调控, 但是这些方法对于

成龄树来说, 费时费工, 劳动成本高, 操作难度大<sup>[3]</sup>。随着劳动力成本越来越高, 现代果园越来越注重机械化、省力化, 施用植物生长调节剂使植物朝着预期的方向和程度发展, 从而达到调控植物生长发育的目的, 更有利于机械化和省力化操作。

PBO 是目前富士苹果生产上使用较为普遍的

植物生长调节剂<sup>[4]</sup>。卢梦娇等<sup>[5]</sup>研究发现 100 倍 PBO 和 500 倍多效唑处理的红富士苹果,其控梢和成花效果最好;氨基酸处理对控制新梢生长效果不佳,但有利于当年花芽的形成,60 倍氨基酸处理成花效果最好。里程辉等<sup>[3]</sup>研究发现喷施 PPO 可增加中短果枝的比例,降低长枝比例,提高净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、单果质量、可溶性固形物含量、可溶性糖含量和糖酸比。PBO 可促进成花提高坐果率、改善果实品质、增强抗寒性,但 PBO 使用后会有残留,不可连年使用。调环酸钙是一种新型的植物生长调节剂,具有调控花期、提高植株坐果率、控制植株旺长、提高果实产量和品质、提高抗逆性等作用,且无残留毒性、无污染<sup>[6]</sup>。杜连涛等<sup>[7]</sup>研究表明,调环酸钙能明显提高花生果质量,增产效果好于多效唑。王引等<sup>[8]</sup>研究发现,调环酸钙不仅可以控制杨梅枝条旺长,同时能显著促进生殖生长,增加果实产量,提高果实品质。李珊珊<sup>[9]</sup>研究发现,单独喷施适当浓度的调环酸钙和 CPPU 均能增加新梢分枝数、粗度,促进平邑甜茶新梢干物质积累,提高根系活力、叶绿素含量和净光合速率。目前,尚未见到调环酸钙对 T337 自根砧富士苹果生长和果实品质综合影响的报道。

笔者以 5 年生 T337 自根砧阿珍富士(Aztec Fuji)为材料,研究了不同浓度的调环酸钙处理对苹果新梢生长情况、叶片生理指标和果实品质等的影响,以为控制富士苹果新梢旺长、提高果实品质提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

试验在灵宝寺河山高山公司果园进行,试验材料为 5 年生 T337 自根砧阿珍富士(Aztec Fuji),株行距为 1.2 m×3.5 m,树体生长一致,长势健壮,树形为高纺锤形。PBO 是由江苏省江阴市果树促控剂研究所研发生产的华叶 PBO;调环酸钙是由安阳全丰生物科技有限公司生产的施必达牌调环酸钙泡腾粒剂,总有效成分含量 5%。

### 1.2 试验设计

试验设计 7 个处理:T 1 (100 倍 PBO)、T 2 (200 倍 PBO)、T 3 (300 倍 PBO)、T 4 (100 mg·L<sup>-1</sup>调环酸钙)、T 5 (300 mg·L<sup>-1</sup>调环酸钙)、T 6 (500 mg·L<sup>-1</sup>调环酸钙)、对照(清水,CK)。于 6 月 12 日上午进行整

株叶面喷施,对照喷施清水,喷到叶面滴水为止。单株小区,3 次重复,随机区组排列,共处理 21 株树。

### 1.3 试验指标和测定方法

1.3.1 新梢生长情况测定 喷施前每株树在树冠中部外围随机选择 10 个当年生新梢进行标记,测量长度和直径,直径统一在基部 1 cm 处测量。喷施 1 个月后对新梢的生长情况进行拍照观察。采果后测定标记的每株树上 10 个新梢的长度和直径。

1.3.2 光合指标、叶绿素指标测定 于 8 月中上旬取处理枝条中部健康成熟完整叶片进行测定,每个重复取 10 枚叶片。

叶绿素含量采用 SPAD-502 叶绿素仪测定,于 8 月中上旬取处理枝条中部健康成熟完整叶片进行测定,每个重复取 10 枚叶片。

光合指标测定。于 8 月中上旬取处理枝条中部健康成熟完整叶片,每个重复取 10 枚叶片,每个处理 3 次重复。光合指标(净光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、叶片蒸腾速率、光合和蒸腾速率、水分利用效率)在晴天上午 8:00—10:00,用美国 PP System 公司的 CIRAS-3 便携式光合仪测定。

1.3.3 果实品质的测定 于 10 月下旬果实成熟期采收果实样品带回实验室进行测量分析,每个重复随机取 30 个果实,测定单果质量、果形指数、可溶性固形物含量、维生素 C 含量、果实硬度、可滴定酸含量等。单果质量用天平进行测定,果形指数用游标卡尺进行测定,可溶性固形物含量用日本 Atago-PAL-1 型数字糖度计测定,果实硬度用 GY-1 果实硬度计测定,维生素 C 含量依照 GB/T 5009·86—2003 测定,可滴定酸含量按照 GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定》,采用滴定法测定。

1.3.4 果皮颜色测定 果实着色情况采用 NR60CP 色差计进行测定,测定指标为 L\*、a\* 和 b\*,并以此计算其对应的 C(色饱和度)、h(色调角)和 a\*/b\*(红色饱和度 / 黄色饱和度),每个果实随机测中部 3 个点,测得的各项数据取平均值,其中,  $C = a^*2 + b^*2$ ;  $h = \arctan(b^*/a^*)^{[10]}$ 。

### 1.4 数据处理

使用 Excel 整理试验数据和作图,利用 SPSS22.0 进行方差分析。不同处理的效果评价应用模糊数学中的隶属函数值法<sup>[11]</sup>。隶属函数值计算公式为:  $Z_{ij} = (X_{ij} - X_{i\min}) / (X_{i\max} - X_{i\min})$ ; 如果为负相关,则用反

隶属函数进行转换,计算公式为: $Z_{ij}=1-(X_{ij}-X_{i_{min}})/(X_{i_{max}}-X_{i_{min}})$ ;其中  $Z_{ij}$  表示  $i$  品种  $j$  指标的隶属函数值; $X_{ij}$  表示  $i$  品种  $j$  指标的测定值; $X_{i_{max}}$  和  $X_{i_{min}}$  分别表示各品种中指标的最大和最小的测定值。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对富士苹果新梢生长的影响

处理1个月后对新梢进行观察发现,喷施不同浓度PBO和调环酸钙的新梢和对照相比,生长明显受到不同程度抑制(图1)。其中喷施调环酸钙的整体受控效果要优于喷施PBO的效果。

从图2、图3、图4可以看出新梢喷施PBO和调环



A、B、C、D 依次为 CK、100 倍 PBO、200 倍 PBO、300 倍 PBO;E、F、G、H 依次为 CK、100 mg·L<sup>-1</sup> 调环酸钙、300 mg·L<sup>-1</sup> 调环酸钙、500 mg·L<sup>-1</sup> 调环酸钙。  
A、B、C、D respectively was CK、100 times PBO、200 times PBO、300 times PBO; E、F、G、H respectively was CK、100 mg·L<sup>-1</sup> prohexadione calcium、300 mg·L<sup>-1</sup> prohexadione calcium、500 mg·L<sup>-1</sup> prohexadione calcium.

图 1 不同处理喷施 1 个月对富士苹果新梢生长的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on shoot growth of Fuji after one month spraying

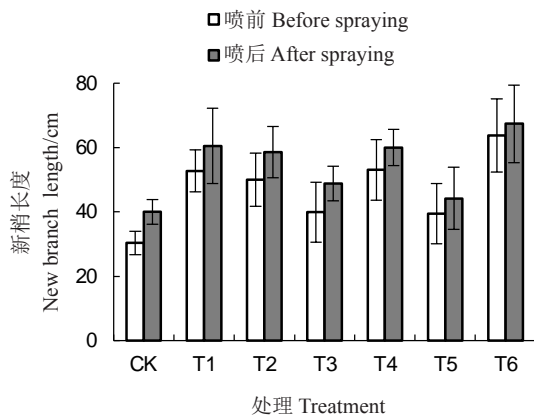


图 2 不同处理对富士苹果新梢长度的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on new branch length of Fuji apple

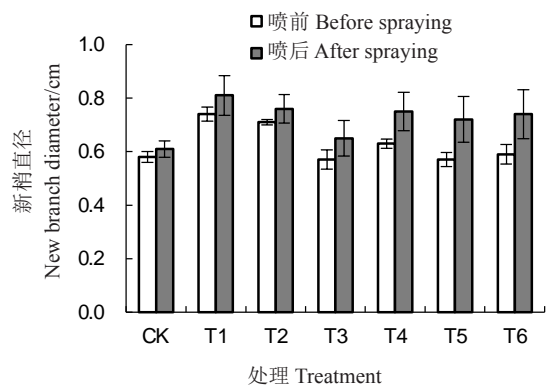


图 3 不同处理对富士苹果新梢直径的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on new branch diameter of Fuji apple

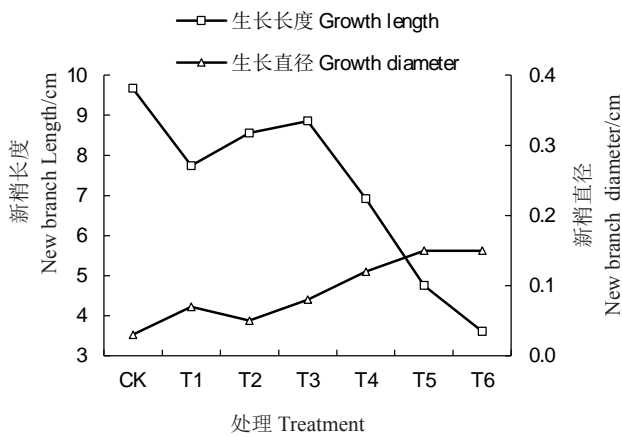


图4 不同处理对富士苹果新梢生长情况的影响  
Fig. 4 Effects of different treatments on new branch growth of Fuji apple

酸钙处理后,新梢的生长情况和对照有明显差别,处理的新梢生长长度低于对照新梢生长长度 9.67 cm,新梢生长直径要高于对照新梢的生长直径 0.03 cm。其中调环酸钙各处理新梢生长长度要低于 PBO 处理,T6 调环酸钙处理新梢生长长度最低,为 3.61 cm,与对照相比,生长长度降低了 62.67%;

T5 调环酸钙处理次之,为 4.75 cm,与对照相比,生长长度降低了 50.88%;调环酸钙各处理新梢生长直径均高于 PBO 处理,其中 T5 和 T6 处理新梢生长直径最高,为 0.15 cm,与对照相比,生长直径均增加了 400%。这与喷施 1 个月后的初步观察结果基本一致。

2.2 不同处理对富士苹果光合特性的影响

不同处理对叶片光合指标的影响见表 1。从表 1 可以看出各处理的净光合速率明显高于对照,其中 T2 处理的净光合速率最高为  $17.56 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,其次是 T3 处理,为  $16.56 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,对照处理的最小,为  $14.18 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;胞间  $\text{CO}_2$  浓度随着净光合速率的增加而降低,清水处理的胞间  $\text{CO}_2$  浓度最高为  $285.78 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;气孔导度和蒸腾速率随着净光合速率的增加而增加,T2 处理的气孔导度和蒸腾速率最大,分别为  $371.67 \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  和  $4.68 \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;水蒸汽压亏缺和水分利用率没有明显规律,T1 处理水蒸汽压亏缺最大为 1.33 kPa,清水处理最小为 0.85 kPa;水分利用率最高为清水处理  $4.70 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ ,最低为 T5 处理,为  $3.66 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ 。

表 1 不同处理对富士苹果光合特性的影响

Table 1 Effects of different treatments on photosynthetic characteristics of Fuji apple

处理 Treatment	净光合速率 $P_n/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 $C_i/(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	气孔导度 $G_s/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	蒸腾速率 $E/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	水汽压亏缺 VPD/(kPa)	水分利用率 WUE/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1})$
对照 CK	14.18±2.25 b	285.78±12.55 a	266.78±8.05 b	3.29±0.04 d	0.85±0.11 c	4.70±0.31 a
T1	16.53±2.39 ab	257.11±25.46 ab	334.11±7.63 a	4.27±0.20 ab	1.33±0.00 a	3.80±0.41 ab
T2	17.56±1.11 a	244.00±10.39 b	371.67±36.16 a	4.68±0.15 a	1.32±0.07 a	3.71±0.20 b
T3	16.56±1.60 ab	248.11±14.11 b	342.78±7.84 a	4.29±0.21 ab	1.05±0.24 bc	4.44±0.55 ab
T4	15.61±1.34 ab	270.11±29.60 ab	328.00±76.33 a	3.72±0.87 bcd	1.26±0.20 ab	3.66±0.32 b
T5	16.32±1.02 ab	268.45±20.50 ab	332.78±4.03 a	3.98±0.09 bc	1.14±0.05 ab	4.11±0.38 ab
T6	15.40±0.84 ab	272.45±5.05 ab	312.00±20.51 ab	3.34±0.17 cd	1.18±0.10 ab	4.31±0.93 ab

注:同列中不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant differences at  $p < 0.05$ . The same below.

2.3 不同处理对富士苹果叶片叶绿素相对含量的影响

如图 5 所示,不同处理对叶绿素相对含量影响相差不大,与对照相比,处理后叶绿素相对含量均有不同程度增加,其中最大的是 T5 处理,SPAD 值为 59.47,比对照高 3.66%。各处理间 SPAD 值差异不显著。

2.4 不同处理对富士苹果果实品质的影响

各处理果实品质指标见表 2。除维生素 C 相对含量有显著差异外,其他各指标均无显著差异。T5

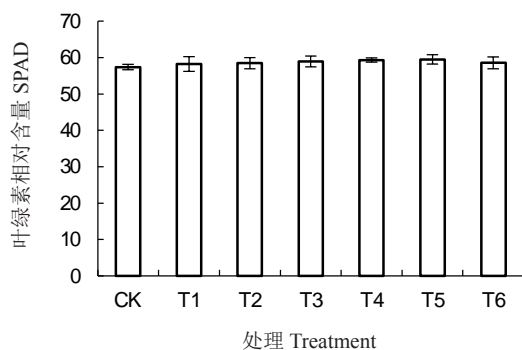


图 5 不同处理对富士苹果叶片叶绿素相对含量的影响  
Fig. 5 Effect of different treatment on SPAD of Fuji apple

表 2 不同处理对富士苹果果实品质的影响

Table 2 Effects of different treatments on fruit quality of Fuji apple

处理 Treatment	单果质量 Single fruit weight/g	果形指数 Fruit shape index	硬度 Hardness/ (kg·cm <sup>-2</sup> )	w(可溶性固形物) Soluble solids content/%	w(可滴定酸) Titratable acidity/%	固酸比 Sugar-acid ratio/%	w(维生素C) Vc/(mg·100g <sup>-1</sup> )
对照 CK	225.87±13.04 a	0.90±0.03 a	5.28±0.34 a	12.73±0.47 a	0.21±0.02 a	61.91±6.23 a	1.00±0.63 b
T1	246.70±44.42 a	0.89±0.01 a	5.21±0.26 a	13.44±0.39 a	0.25±0.05 a	55.37±12.33 a	1.98±0.64 ab
T2	245.67±32.43 a	0.89±0.01 a	5.15±0.55 a	12.47±0.72 a	0.21±0.05 a	60.33±3.10 a	1.17±0.67 b
T3	246.10±4.00 a	0.87±0.03 a	5.26±0.19 a	13.17±0.67 a	0.24±0.01 a	57.08±9.32 a	2.43±0.78 a
T4	259.53±50.57 a	0.88±0.02 a	5.00±0.42 a	12.63±1.10 a	0.20±0.03 a	63.41±2.85 a	1.35±0.65 ab
T5	285.14±50.57 a	0.91±0.04 a	5.10±0.21 a	13.03±0.51 a	0.23±0.04 a	58.69±9.84 a	1.53±0.57 ab
T6	231.77±32.24 a	0.90±0.03 a	5.04±0.37 a	13.20±0.72 a	0.25±0.01 a	52.93±5.00 a	1.17±0.26 b

处理的单果质量最大,为285.14 g,对照最小,为225.87 g;T5处理的果形指数最大,为0.91,最小为T3处理,果形指数为0.87;清水处理的果实硬度最大为5.28 kg·cm<sup>-2</sup>,最小为T4处理为5.00 kg·cm<sup>-2</sup>;T1处理的可溶性固形物含量最高;T4处理的可滴定酸含量最低,固酸比最高;T3处理的维生素C含量(w,后同)最大为2.43 mg·100 g<sup>-1</sup>,其次是T1处理为1.98 mg·100 g<sup>-1</sup>,最小是清水处理为1.00 mg·100 g<sup>-1</sup>。

### 2.5 不同处理对富士苹果果皮着色的影响

如表3所示,表中L\*值表示表面颜色深浅,L\*值越大颜色越浅、果面越有光泽,反之颜色越深果面

暗淡无光泽;a\*值表示红绿的程度,a\*值越大红色越深;b\*值表示黄青的程度,b\*值越大黄色越深,底色越好;C表示色泽饱和度或色彩纯度,纯度越高,表现越鲜明,纯度较低,表现越暗淡。从表3可以看出不同处理除了a\*有显著差异,其他均无显著差异,果皮的色差值变化无明显规律,并不随着不同处理浓度的变化而变化。其中T5处理的果皮L\*和b\*最大,分别为48.22和12.12,说明该处理的果面光泽度和底色要好于其他几个处理;T6处理的a\*和C最大,分别为36.47和38.26;清水处理的L\*、b\*和h值相对较小。

表 3 不同处理对富士苹果果皮着色的影响

Table 3 Effects of different treatments on pericarp coloring difference of Fuji apple

处理 Treatment	L*	a*	b*	a*/b*	C	h
对照 CK	47.19±1.34 a	35.17±1.05 ab	11.17±0.58 a	3.15±0.15 a	36.90±1.08 a	0.31±0.02 a
T1	47.31±4.31 a	32.97±1.58 b	11.42±1.04 a	2.91±0.39 a	34.92±1.19 a	0.34±0.04 a
T2	44.74±1.19 a	35.86±0.48 ab	11.72±0.66 a	3.06±0.14 a	37.73±0.65 a	0.31±0.01 a
T3	47.68±1.70 a	35.94±1.51 ab	11.47±0.44 a	3.14±0.24 a	37.73±1.35 a	0.31±0.02 a
T4	46.20±1.01 a	35.16±1.05 ab	11.68±1.80 a	3.07±0.58 a	37.06±3.69 a	0.32±0.06 a
T5	48.22±3.76 a	33.54±2.77 ab	12.12±2.01 a	2.81±0.40 a	35.69±2.93 a	0.34±0.05 a
T6	47.36±2.20 a	36.47±1.83 a	11.54±0.63 a	3.17±0.30 a	38.26±1.63 a	0.31±0.03 a

### 2.6 不同处理的效果评价

对不同处理各项测定指标用隶属函数法进行综合评价,评价效果见表4。各处理效果从大到小依次为T5>T3>T4>T6>T2>T1>CK。各处理综合效果均好于对照,综合评价效果最好的是T5处理,其次是T3处理,T4处理第三。

## 3 讨论

植物生长调节剂是一类具有与植物激素相似的生理和生物学效应的物质,具有调控效率高、易于操作、便于机械化施用等方面的优势<sup>[12]</sup>。里程辉

等<sup>[3]</sup>研究得出喷施PBO可提高中短枝比例,降低长枝比例。郭世保等<sup>[13]</sup>的试验结果表明在小麦拔节前7~10 d施用5%调环酸钙泡腾片剂30~120 g·hm<sup>-2</sup>(有效成分用量),可降低节间度,矮化植株,增加茎粗。Elfving等<sup>[14]</sup>研究表明,单独使用调环酸钙125~250 mg·L<sup>-1</sup>能在短期内有效抑制甜樱桃新梢的伸长,对花芽的形成无不良影响。刘艾英等<sup>[15]</sup>认为调环酸钙对葡萄枝条的伸长有一定的抑制作用。胡真等<sup>[16]</sup>研究发现喷施不同浓度和不同次数处理的富士苹果新梢生长量与喷清水之间有显著性差异,不同浓度和不同次数处理间无显著差异。生产中可

表4 富士苹果不同处理各指标的隶属函数值

Table 4 The membership function of each index in different treatment of Fuji apple

处理 Treatment	枝条生 长长度 Branch growth length	枝条生 长直径 Branch growth diameter	净光 合速率 $P_n$	叶绿素 相对 含量 SPAD	单果 质量 Single fruit mass	果形 指数 Fruit shape index	果实 硬度 Hardness	固酸比 Sugar acid ratio	Vc	$L^*$	$a^*$	$b^*$	平均隶 属函数 值 Average membership function	综合 排序 Comprehen sive ranking
对照 CK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	1.00	0.86	0.00	0.70	0.63	0.09	0.33	7
T1	0.32	0.33	0.70	0.38	0.35	0.57	0.76	0.23	0.69	0.74	0.00	0.50	0.46	6
T2	0.18	0.17	1.00	0.51	0.33	0.43	0.53	0.71	0.12	0.00	0.83	1.00	0.48	5
T3	0.13	0.42	0.70	0.75	0.34	0.00	0.94	0.40	1.00	0.84	0.85	0.58	0.58	2
T4	0.45	0.75	0.42	0.92	0.57	0.32	0.00	1.00	0.25	0.42	0.63	0.93	0.56	3
T5	0.81	1.00	0.63	1.00	1.00	1.00	0.38	0.55	0.37	1.00	0.16	0.00	0.66	1
T6	1.00	1.00	0.36	0.56	0.10	0.75	0.15	0.00	0.13	0.75	1.00	0.70	0.54	4

喷施 250 mg·L<sup>-1</sup> 调环酸钙。本实验中, 喷施不同浓度 PBO 和调环酸钙处理的新梢生长长度小于对照, 最多减少了 62.67%; 新梢生长直径大于对照, 最多增加了 400%。说明调环酸钙和 PBO 均可以控制植物旺长, 且控旺作用明显。这与前人研究结果一致。

叶绿素是植物光合作用的基础, 在光能吸收传递过程中起主导作用, 体现了植物对光能的利用和调节能力<sup>[17]</sup>。净光合速率是反映植物光合作用强弱的最直观指标<sup>[18]</sup>。蒸腾速率反映了植株水分的代谢和运输能力。在本试验中, 调环酸钙和 PBO 处理的叶片叶绿素含量、净光合速率和蒸腾速率均高于对照。这与李珊珊<sup>[9]</sup>在调环酸钙对平邑甜茶影响的研究结果一致。 $G_s$  与  $P_n$  呈正相关,  $C_i$  与  $P_n$  呈负相关。

笔者在本试验中将两种不同生长调节剂的使用效果进行了比较, 发现喷施后果实的单果质量、维生素 C 含量、果皮亮度值  $L^*$  均不同程度优于对照, 说明调环酸钙和 PBO 均可以改善果实品质和提高产量, 调环酸钙的总体效果要优于 PBO。在 PBO 的几个处理中, PBO300 倍处理效果最好。喷施 300 mg·L<sup>-1</sup> 调环酸钙处理的效果优于 PBO300 倍处理的效果, 其单果质量比对照增加 26.24%, 可溶性固形物含量比对照增加 2.36%, 维生素 C 含量增加 53%, 果面亮度值  $L^*$  增加 2.18%, 其果实硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、维生素 C 含量、色泽饱和度  $C$ 、色调角  $h$  等指标与其他处理相比均没有显著差异, 是一个很有前景的可推广的新型调节剂。调环酸钙和 PBO 处理效果并不是和浓度呈正比关系, 说明只有选择合适的浓度处理, 才能达到最佳效果。

## 4 结 论

喷施不同浓度调环酸钙和 PBO 处理的新梢生长长度小于对照, 新梢生长粗度大于对照, 净光合速率、叶绿素相对含量、单果质量、维生素 C 含量、果皮亮度值  $L^*$  均不同程度的优于对照。说明调环酸钙和 PBO 均可以控制植物旺长, 改善果树部分生理指标和果实品质。其中喷施 300 mg·L<sup>-1</sup> 调环酸钙能促进新梢增粗, 抑制新梢旺长, 提高叶绿素含量、单果质量和果形指数, 并能提高果实的光泽度, 用隶属函数法进行评价效果最好。可以作为一种替代 PBO 控旺、提高果实品质的生长调节剂使用。

## 参考文献 References:

- [1] 王金政, 毛志泉, 丛佩华, 吕德国, 马锋旺, 任小林, 束怀瑞, 李保华, 郭玉蓉, 郝玉金, 姜远茂, 张新忠, 杨欣, 曹克强, 赵政阳, 韩振海, 霍学喜, 魏钦平. 新中国果树科学研究 70 年: 苹果[J]. 果树学报, 2019, 36(10): 1255-1263.  
WANG Jinzheng, MAO Zhiqian, CONG Peihua, LÜ Deguo, MA Fengwang, REN Xiaolin, SHU Huairui, LI Baohua, GUO Yurong, HAO Yujin, JIANG Yuanmao, ZHANG Xinzhong, YANG Xin, CAO Keqiang, ZHAO Zhengyang, HAN Zhenhai, HUO Xuexi, WEI Qinqing. Fruit scientific research in New China in the past 70 years: Apple[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(10): 1255-1263.
- [2] 柏秦凤, 霍治国, 王景红, 梁轶. 中国富士系苹果主产区花期模拟与分布[J]. 中国农业气象, 2020, 41(7): 423-435.  
BAI Qinfeng, HUO Zhiguo, WANG Jinghong, LIANG Yi. Simulation and distribution of flower stage in main production areas of Fuji apple in China[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2020, 41(7): 423-435.
- [3] 里程辉, 于年文, 王宏, 刘志, 宋哲, 张秀美, 李宏建, 王杰. 不同 PBO 处理对‘望山红’生长、生理特性和果实品质的影

- 响[J]. 西南农业学报, 2016, 29(5): 1197-1201.
- LI Chenghui, YU Nianwen, WANG Hong, LIU Zhi, SONG Zhe, ZHANG Xiumei, LI Hongjian, WANG Jie. Effect of different PBO treatments on growth, physiological characteristics and fruit quality of 'Wangshanhong' [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2016, 29(5): 1197-1201.
- [4] 汪景彦. PBO在苹果上的应用[J]. 果农之友, 2016(2): 9-10. WANG Jingyan. Application of PBO on apple[J]. Friends of Fruit Growers, 2016(2): 9-10.
- [5] 卢梦娇, 吴昊, 信皓天, 许佩轩, 李中勇. 不同生长调节剂对红富士苹果控梢及成花的影响[J]. 中国果菜, 2020, 40(8): 58-61. LU Mengjiao, WU Hao, XIN Haotian, XU Peixuan, LI Zhongyong. Effects of different growth regulators on shoot control and flower formation of Red Fuji apple[J]. China Fruit & Vegetable, 2020, 40(8): 58-61.
- [6] 万翠, 姚锋娜, 郭恒, 刘彦涛, 赵凡, 郑先福. 植物生长调节剂调环酸钙的应用与发展现状[J]. 现代农药, 2016, 15(5): 1-4. WAN Cui, YAO Fengna, GUO Heng, LIU Yantao, ZHAO Fan, ZHENG Xianfu. Research and application situation of plant growth regulator prohexadione calcium[J]. Modern Agrochemicals, 2016, 15(5): 1-4.
- [7] 杜连涛, 樊堂群, 王才斌, 万更波, 姜天新, 郑建强, 王廷利, 陈康. 调环酸钙对夏直播花生衰老、产量和品质的影响[J]. 花生学报, 2008, 37(4): 32-36. DU Liantao, FAN Tangqun, WANG Caibin, WAN Gengbo, JIANG Tianxin, ZHENG Jianqiang, WANG Tingli, CHEN Kang. Effect of prohexadione calcium on senescence, yield and quality of summer-planting peanut[J]. Journal of Peanut Science, 2008, 37(4): 32-36.
- [8] 王引, 陈方永, 倪海枝, 颜邦国. 调环酸钙对东魁杨梅生长与结果的影响研究[J]. 浙江柑橘, 2017, 34(4): 36-40. WANG Yin, CHEN Fangyong, NI Haizhi, YAN Bangguo. Study on the effect of prohexadione calcium on the growth and fruiting of *Myrica rubra*[J]. Zhejiang Citrus, 2017, 34(4): 36-40.
- [9] 李珊珊. 调环酸钙和CPPU对苹果营养生长和花芽形成的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020. LI Shanshan. Effects of pro-calcium and CPPU on apples's vegetative growth and flower bud formation[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2020.
- [10] 丁云龙, 张斌斌, 严娟, 马瑞娟, 姜卫兵. 桃树体不同部位果实着色差异及其与环境因子的关系研究[J]. 西北植物学报, 2019, 39(4): 660-668. DING Yunlong, ZHANG Binbin, YAN Juan, MA Ruijuan, JIANG Weibing. Study on difference of peach fruit colouring and relationship with environmental factors in different tree canopy position[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia, 2019, 39(4): 660-668.
- [11] 许凤, 张颢, 杨春梅, 蹇洪英, 王其刚, 单芹丽, 汪国鲜, 曹桦. 利用隶属函数值法评价月季耐寒性[J]. 西南农业学报, 2012, 25(5): 1870-1873. XU Feng, ZHANG Hao, YANG Chunmei, JIAN Hongying, WANG Qigang, SHAN Qinli, WANG Guoxian, CAO Hua. Evaluation of cold-resistance of rose species using membership function[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2012, 25(5): 1870-1873.
- [12] 朱景乐, 刘勇清, 宋龙斌, 蒋金洲, 陈梦娇, 杜红岩. '华仲11号'杜仲在植物生长调节剂处理下生长参数的分析[J]. 经济林研究, 2020, 38(1): 28-34. ZHU Jingle, LIU Yongqing, SONG Longbin, JIANG Jinzhou, CHEN Mengjiao, DU Hongyan. Analysis on growth parameters in *Eucommia ulmoides* 'Huazhong No.11' treated by plant growth regulators[J]. Non-wood Forest Research, 2020, 38(1): 28-34.
- [13] 郭世保, 陈俊华, 王朝阳, 徐雪松, 钱凯. 5%调环酸钙EA对小麦生长和光合作用的影响[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(3): 23-26. GUO Shibao, CHEN Junhua, WANG Chaoyang, XUE Xuesong, QIAN Kai. Influence of prohexadione-calcium 5% EA to growth and photosynthesis of wheat[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2016, 44(3): 23-26.
- [14] ELFVING D C, LANG G A, VISSER D B. Prohexadione-Ca and ethephon reduce shoot growth and increase flowering in young, vigorous sweet cherry trees[J]. Hortscience, 2003, 38(2): 293-298.
- [15] 刘艾英, 同彦成, 马小平, 刘万锋, 王春莉. 调环酸钙对葡萄新梢生长效应研究初报[J]. 陕西农业科学, 2017, 63(8): 60-61. LIU Aiyang, TONG Yancheng, MA Xiaoping, LIU Wanfeng, WANG Chunli. Preliminary study on the effect of prohexadione calcium on the growth of grape new shoots[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2017, 63(8): 60-61.
- [16] 胡真, 李文胜, 王安丽, 吴泽珍, 温玥, 胡安鸿. 调环酸钙对红富士苹果生长的影响[J]. 现代农业科技, 2021(1): 140-142. HU Zhen, LI Wensheng, WANG Anli, WU Zezhen, WEN Yue, HU Anhong. Effect of prohexadione calcium on growth and fruit quality of 'Fuji' apple[J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2021(1): 140-142.
- [17] 何丽娜, 王德炉, 郝家孝, 谢双喜. 4个兔眼蓝莓品种光合特性对季节变化的响应[J]. 经济林研究, 2019, 37(2): 95-102. HE Lina, WANG Delu, HAO Jiexiao, XIE Shuangxi. Response of photosynthetic characteristics in four *Vaccinium ashei* cultivars to seasonal change[J]. Non-wood Forest Research, 2019, 37(2): 95-102.
- [18] 陈丽培, 王国霞, 杨玉珍, 刘艳萍, 刘瑞霞. 广玉兰在自然降温条件下的光合响应机制研究[J]. 河南农业科学, 2016, 45(1): 114-118. CHEN Lipei, WANG Guoxia, YANG Yuzhen, LIU Yanping, LIU Ruixia. Photosynthetic response mechanism of *Magnolia grandiflora* under natural temperature falling[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2016, 45(1): 114-118.