



姚瑞赞,白茹,于庆帆,等.基于主成分分析法研究不同植物生长调节剂对苹果果实品质的影响[J].黑龙江农业科学,2023(3):56-63.

# 基于主成分分析法研究不同植物生长调节剂 对苹果果实品质的影响

姚瑞赞<sup>1</sup>,白茹<sup>1</sup>,于庆帆<sup>2</sup>,郑聪丽<sup>1</sup>,杨怡帆<sup>2</sup>,吉燕<sup>2</sup>

(1.石河子大学农学院/特色果蔬栽培生理与种质资源利用兵团重点实验室,新疆石河子 832003; 2.新疆生产建设兵团第四师农业科学研究所,新疆可克达拉 835219)

**摘要:**为了筛选出对富士苹果果实品质改善效果最好的植物生长调节剂。本试验以‘富士’苹果为研究材料,分别在采前喷施 20,60 和 100  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  MeJA 溶液;0.01  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  MDJ 溶液;400,500 和 600  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ABA 溶液;50,100 和 150  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ALA 溶液;果喷红 1 000 倍液和 1 500 倍液,并以喷施清水为对照,对不同处理的各项品质指标进行测定,用主成分分析法进行综合分析。结果表明,与 CK 相比,喷施植物生长调节剂使果实中可溶性固形物、可溶性糖、类胡萝卜素含量及单果重均增加,其中 T9 的可溶性糖含量和 T3 的单果重较 CK 分别显著增加了 43.18%和 28.88%;可滴定酸、叶绿素含量均显著降低,T9 的叶绿素含量较 CK 显著降低了 69.74%;色泽指标  $L^*$ 、 $b^*$  及  $h^\circ$  值均降低, $a^*$ 、 $C$  值均升高;对果形指数与硬度影响均不显著。其主成分分析的综合得分由高到低为  $T9>T7>T8>T1>T11>T10>T12>T5>T6>T4>T3>T2>CK$ 。这表明 T9 喷施 100  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ALA 溶液对富士苹果果实品质改善的效果最好,故为生产中推荐使用的植物生长调节剂。

**关键词:**苹果;植物生长调节剂;着色;果实品质;主成分分析

富士苹果由于具有晚熟、丰产、耐储、品质佳的优势<sup>[1]</sup>,在我国许多省份均有种植。新疆伊犁素有“苹果之乡”的美称,栽种苹果的历史悠久,其河谷地区富士系苹果栽培面积约占其总栽培面积的 80%左右<sup>[2]</sup>。目前富士苹果内在品质优良,但仍存在果形不正、着色不佳,青头果多,外观商品性差,经济效益低的问题<sup>[3]</sup>。苹果果皮着色情况是消费者选择的重要依据,对红色品种而言,红色面积和深浅也是衡量苹果果实品质的重要指标<sup>[4]</sup>。目前许多研究发现使用植物生长调节剂可以弥补果实品质下降的缺陷,在一定程度上能够帮助树体适应环境,健康生长,从而促进果实着色,改善果实品质,这是果业优质生产中的一种快捷、安全、有效的手段<sup>[5-7]</sup>。故筛选合适的植物生长调节剂是改善苹果果实品质是提升苹果经济价值的有效途径。

前人已经在欧李<sup>[8]</sup>、‘巨峰’葡萄<sup>[9]</sup>、脐橙<sup>[10]</sup>、库尔勒香梨<sup>[11]</sup>上研究发现外源脱落酸(Abcisic

Acid,ABA)处理可以促进果皮花青苷合成以及叶绿素降解,进而改善果实品质。相关研究发现在猕猴桃<sup>[12]</sup>、苹果<sup>[13]</sup>采前喷施 5-氨基乙酰丙酸(5-Aminoacetylpropionic Acid,ALA),能够在一定范围内可以提高果肉可溶性固形物和可溶性糖含量,并降低可滴定酸含量。茉莉酸甲酯类(Methyl Jasmonate,MeJA)也经常用于水果的采后贮藏,提高果实品质效果明显<sup>[14]</sup>。在果实着色初期喷施 MeJA 可以延缓果实软化和淀粉水解,并改善果实着色,提高果实品质<sup>[15-16]</sup>。二氢茉莉酸甲酯(Methyl Dihydrojasmonate,MDJ)在葡萄、苹果上喷施后均显著提高了糖酸比,明显改善口感<sup>[14,17]</sup>。此外果喷红溶液作为一种植物生长调节剂可以有效促进果实在幼果期至膨大期各个阶段积累花青素,合成植物色素,以促进果实着色。

对于采前喷施各种植物生长调节剂以改善果实品质这方面,虽然前人已经做了许多研究,但目前在新疆伊犁地区这方面的研究鲜有报道。因此,本试验通过在采前对富士苹果喷施不同种类的植物生长调节剂,使用主成分分析法综合分析不同植物生长调节剂对富士苹果果实品质的影响,旨在筛选出效果最好的植物生长调节剂,为伊犁地区改善富士苹果果实品质栽培的技术措施提供理论参考。

收稿日期:2022-11-18

基金项目:新疆生产建设兵团第四师科技项目“苹果简约栽培标准化模式研究与示范”。

第一作者:姚瑞赞(1998—),女,硕士研究生,从事果树栽培与遗传育种研究。E-mail:2042737128@qq.com。

通信作者:白茹(1979—),女,博士,副教授,从事果树栽培与遗传育种研究。E-mail:Bairu33@126.com。

# 1 材料与方法

## 1.1 试验地概况

本研究田间试验地位于2021年9月29日在新疆生产建设兵团第四师78团1连地号23#3,属山区寒冷的大陆性气候,年有效积温2 963℃,年平均日照2 719 h,无霜期136 d,为沙壤土。室内试验在石河子大学果树生理与分子生物学实验室进行。

## 1.2 材料

供试材料为短枝红富士苹果品种,该品种的萌芽率高、成枝率低、短枝多、长枝少;果实结果大多集中在短果枝上,树体旺,长枝条少,大部分枝条都能结果。MeJA和MDJ购自国药集团化学试剂有限责任公司,ALA和ABA购自西安晶博有限公司,果喷红内含活性肽、钾、锰、生物活性物质及适量增效助剂,购自杨凌恒枫生物农化有限公司。

## 1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验地1 hm<sup>2</sup>,每0.333 hm<sup>2</sup>为一个试验小区。供试品种为五年生红富士苹果,株行距52 m,果园内肥水状况良好,树体生长健壮,管理水平较高。

试验设置清水,MeJA溶液(20,60和100 mg·L<sup>-1</sup>),MDJ溶液0.01 mol·L<sup>-1</sup>,ABA溶液(400,500和600 μmol·L<sup>-1</sup>),ALA溶液(50,100和150 μmol·L<sup>-1</sup>),果喷红(1 000倍液和1 500倍液),共计13个处理,具体详见表1。

选取3个试验小区,每个小区随机选取长势相对一致的苹果树10棵,每棵选取大小一致的上中下各个位置的苹果60个作为试验果,每个处理5个苹果,并且每棵树确定5个苹果作为对照,在试验处理前肥水管理等保持一致。在苹果采收前10 d(2021年9月29日)去除纸袋,随即果面喷施各种植物生长调节剂,以果面滴水为度。同一棵树每个处理喷5个果并确定5个果实作为对照,具体的各处理如表1。2021年10月27日左右田间调查果实着色情况,在处理后每个小区每个处理随机采果10个到实验室测定各项指标。

1.3.2 项目测定及方法 果型果重:电子数显游标卡尺测定果实纵、横径并计算果形指数<sup>[18]</sup>。

果形指数=果实纵径/果实横径

果实硬度用GY-4手握式果实硬度计进行测定<sup>[19]</sup>;果实单果重用百分之一的电子天平称量<sup>[9]</sup>。

表1 不同植物生长调节剂的喷施处理方案

处理	药剂	浓度
CK	清水	-
T1	MeJA 溶液	20 mg·L <sup>-1</sup>
T2		60 mg·L <sup>-1</sup>
T3		100 mg·L <sup>-1</sup>
T4	MDJ 溶液	0.01 mol·L <sup>-1</sup>
T5		400 μmol·L <sup>-1</sup>
T6		500 μmol·L <sup>-1</sup>
T7	ALA 溶液	600 μmol·L <sup>-1</sup>
T8		50 μmol·L <sup>-1</sup>
T9		100 μmol·L <sup>-1</sup>
T10	果喷红	150 μmol·L <sup>-1</sup>
T11		1000 倍液
T12		1500 倍液

果实品质:果皮叶绿素含量使用丙酮法进行测定<sup>[20]</sup>;果实类胡萝卜素含量采用高效液相色谱法进行测定;果实可溶性固形物含量用TD-45数显糖度计进行测定<sup>[21]</sup>;果实可溶性糖含量参考李合生的方法<sup>[22]</sup>用蒽酮比色法进行测定;果实可滴定酸含量采用酸碱滴定法进行测定,并计算糖酸比<sup>[23]</sup>。

糖酸比=可溶性糖/可滴定酸

果实色泽:用CR-400色彩色差计测定L\*、a\*、b\*,计算C、h°。根据HunterLab表示系统,其中L值表示亮度,L越大,样品表面越亮<sup>[24]</sup>。a表示红绿值,-a为绿,a越小样品越绿,+a为红,a越大,样品越红<sup>[25]</sup>;b表示黄蓝值,-b为蓝,值越小样品越蓝,+b为黄,值越大,样品越黄;

着色强度C值=[(a\*)<sup>2</sup>+(b\*)<sup>2</sup>]<sup>1/2</sup><sup>[26-27]</sup>,C值越大,表示所测的果实红色饱和度越高;

色度角h°=arctan(b\*/a\*),h°越小,色彩成分越少,色彩的色相越鲜明<sup>[28]</sup>。

1.3.3 数据分析 SPSS 26.0对数据进行单因素方差分析及主成分分析,Excel 2019绘制图表。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同植物生长调节剂对富士苹果果实果形指数的影响

由表2可知,各处理的纵径中,T3、T7、T8、T10的纵径显著高于CK与其他处理。各处理的横径差异显著,且均高于CK,其中T3的横径最高,相较于CK增加了42.17%。各处理的果形

指数整体上变化不显著,除了 T1、T2、T4、T5、T9 稍低于 CK,其余处理均高于 CK。其中 T8 果面喷施 50  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ALA 溶液的果形指数最高,为

0.89,较 CK 增加了 15.58%,T5 最低,仅为 0.73,显著低于 T8。总体而言,各处理之间的果形指数均相差不大,没有显著差异。

表 2 不同植物生长调节剂对富士苹果果形指数的影响

处理	果形指数	纵径/mm	横径/mm
CK	0.77±0.05 ab	43.92±2.74 c	57.08±0.74 i
T1	0.76±0.01 ab	52.06±1.96 bc	68.29±1.85 de
T2	0.75±0.05 ab	49.58±2.94 c	65.92±0.29 ef
T3	0.82±0.01 ab	66.82±1.51 a	81.15±1.83 a
T4	0.73±0.05 ab	44.38±2.04 c	60.60±2.00 h
T5	0.73±0.04 b	46.74±3.03 c	64.02±1.16 fg
T6	0.79±0.04 ab	52.30±3.32 bc	65.97±1.06 ef
T7	0.86±0.01 ab	62.47±2.88 a	72.85±2.48 c
T8	0.89±0.08 a	61.10±5.65 a	68.73±1.48 de
T9	0.76±0.11 ab	45.53±6.05 c	60.04±0.34 h
T10	0.84±0.03 ab	64.07±1.34 a	75.89±2.21 b
T11	0.81±0.07 ab	50.55±3.79 bc	62.09±0.74 gh
T12	0.83±0.07 ab	58.41±4.81 ab	70.70±0.51 cd

注:表中不同小写字母代表差异显著( $P<0.05$ )。下同。

2.2 不同植物生长调节剂对富士苹果果实硬度的影响

由图 1 可知,只有 T1 和 T10 硬度显著低于 CK,其他处理相较于 CK 均不显著。其中除了 T3、T5、T7 和 T12 的硬度高于 CK 外,其余均低于 CK,但变化不明显。T12 的硬度为 11.17  $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ ,是所有处理中果实硬度最大的,相较于 CK 增加了 5.21%,增加不显著。其中 T10 的硬度为最小值,较于 CK 显著降低了 38.07%,说明其不利于储存。

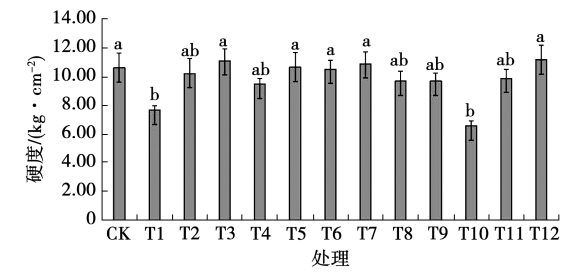


图 1 不同植物生长调节剂对富士苹果果实硬度的影响

2.3 不同植物生长调节剂对富士苹果单果重的影响

由图 2 可知,除了 T2、T3、T4、T6、T7、T10 和 T12 的单果重高于 CK,其余处理均低于 CK。其中 T2 和 T3 显著高于 CK 与其他处理,T3 的单果重最大,为 214.01 g,相较于 CK 显著增加了 28.88%。T1 的单果重最小,为 143.01 g,相较于 CK 显著降低了 13.88%。

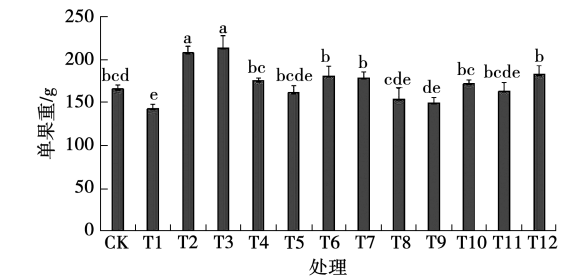


图 2 不同植物生长调节剂对富士苹果单果重的影响

2.4 不同植物生长调节剂对富士苹果果皮叶绿素含量的影响

由图 3 可知,各处理的苹果果皮中叶绿素含量相较于 CK 均显著降低,其中 T9 的叶绿素含量最低,为 0.55  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,较 CK 显著降低了 69.74%。T9 也显著低于 T3、T5 和 T11,T9 果面喷施 100  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ALA 溶液使果皮中叶绿素含量降低的最多,果皮的底色更纯,果皮更红,果实的品相更好。

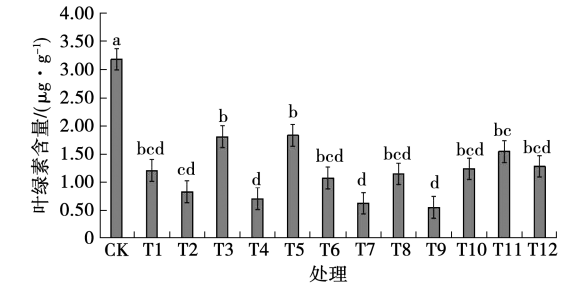


图 3 不同植物生长调节剂对富士苹果果皮叶绿素含量的影响

### 2.5 不同植物生长调节剂对富士苹果果实类胡萝卜素含量的影响

由图4可以看出,各处理的苹果果皮中类胡萝卜素含量除了T6低于CK外,其他处理均高于CK。其中除了T2、T3和T5外,其他处理均显著高于CK。T1类胡萝卜素含量最大,为 $4.67\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,且显著高于CK,T1果面喷施 $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  MeJA溶液果皮中类胡萝卜素含量增加的最多。

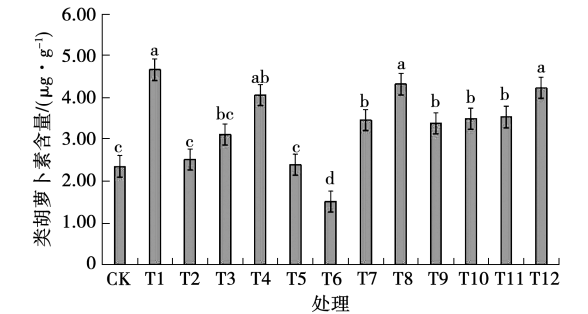


图4 不同植物生长调节剂对富士苹果果实类胡萝卜素含量的影响

### 2.6 不同植物生长调节剂对富士果实糖酸比、可溶性固形物的影响

由表3可知,整体上各处理的可溶性固形物含量变化不显著,除了T1、T2和T6,其他处理均

高于CK。其中T3可溶性固形物含量最高,为15.40%,相较于CK显著增加了15.18%。T2的含量最小,为13.03%,较CK降低了2.54%。T3和T9显著高于除T5、T8和T10外的其他处理,T3和T9提高果实可溶性固形物含量的效果最明显。

各处理的可滴定酸含量中除了T12的含量高于CK外,其他处理均低于CK。T12的可滴定酸含量为0.44%,较CK显著提高了25.71%,同时也显著高于其他处理。T9的可滴定酸含量最小,为0.19%,相较于CK显著低了45.71%。

各处理中除了T12的可溶性糖含量低于CK外,其他处理的含量均高于CK。采前喷施植物生长调节剂提高了果实中可溶性糖的含量,增加了甜度。其中T9的可溶性糖含量最大,为15.75%,相较于CK显著提高了43.18%,同时也显著高于除T8外的其他处理。

糖酸比除了T12,其他处理均高于CK。其中T9的糖酸比最大,为82.89,较CK显著提高了163.73%,且显著高于其他处理,T9果面喷施 $100\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ALA溶液相较于其他处理苹果口感更甜。

表3 不同植物生长调节剂对富士苹果果实糖酸比、可溶性固形物的影响

处理	可溶性固形物含量/%	可滴定酸含量/%	可溶性糖含量/%	糖酸比
CK	13.37±0.40 bc	0.35±0.05 b	11.00±0.01 c	31.43±3.93 cd
T1	13.33±0.23 bc	0.28±0.03 bc	13.44±0.02 b	48.00±5.73 bc
T2	13.03±0.42 c	0.33±0.01 b	11.83±0.02 b	35.85±2.62 c
T3	15.40±1.01 a	0.29±0.02 bc	12.13±0.02 bc	41.83±1.45 c
T4	13.63±0.91 b	0.28±0.01 bc	13.41±0.03 b	47.89±1.68 bc
T5	14.83±0.80 ab	0.25±0.03 c	13.68±0.01 b	54.72±2.35 b
T6	13.30±0.35 bc	0.30±0.02 cd	11.55±0.04 bc	38.50±2.22 c
T7	13.77±0.55 b	0.22±0.04 cd	12.24±0.02 bc	55.64±3.15 b
T8	14.23±0.86 ab	0.30±0.02 bc	14.24±0.02 a	47.47±2.79 bc
T9	15.33±0.38 a	0.19±0.01 d	15.75±0.02 a	82.89±4.78 a
T10	14.43±0.96 ab	0.24±0.02 c	12.33±0.02 bc	51.38±3.15 b
T11	13.63±0.65 b	0.29±0.03 bc	12.31±0.01 bc	42.45±5.88 c
T12	13.90±0.70 b	0.44±0.12 a	10.89±0.03 c	24.75±3.58 d

### 2.7 不同植物生长调节剂对富士苹果果实色泽的影响

由表4可知,各处理的果实亮度(L\*)值除了T2,其他处理均低于CK。T2处理L\*值最

大,且与T3和T10之间差异显著,与T3和T10相比分别增加了11.33%和11.94%。T11L\*值最小,为45.36,相较于CK降低了2.58%,T11果面喷施果喷红1000倍液L\*值降低最多。



各处理的果实红绿色度(a\*)值均不显著,其中除了 T2、T5 和 T9 低于 CK 外,其他处理均高于 CK。其中 T5 最小,为 19.32,相较于 CK 降低了 13.60%。T1 的 a\* 值最大,为 24.95,相较于 CK 增加了 11.58%,T1 果面喷施 20 mg·L<sup>-1</sup> MeJA 溶液 a\* 值增加最多。

果实黄蓝色度(b\*)值除了 T6 和 T10 高于 CK 之外,其他处理均低于 CK。T6b\* 值最大,为 22.35,相比 CK 增加了 7.14%。T8b\* 值最小,为 16.90,相比 CK 显著降低了 18.98%。

果实着色强度(C)值整体差异不显著。C 值

除了 T2、T5 和 T7 处理小于 CK 外,其他处理均高于 CK。其中 T5 处理 C 值最小,为 27.71,相较于 CK 降低了 10.06%。T6 的 C 值最大,为 31.90,相较于 CK 增加了 3.54%。相较于其他处理,T6 果面喷施 500 μmol·L<sup>-1</sup> ABA 溶液使 C 值增加的最多。

果实色度角(h°)整体上看差异均不显著。h°除了 T2、T5、T6、T10 大于 CK,其他处理均小于 CK。T8 处理 h°值最小,为 0.61,较于 CK 降低了 18.67%,T8 果面喷施 50 μmol·L<sup>-1</sup> ALA 溶液 h°降低的最多,果面颜色较鲜明。

表 4 不同植物生长调节剂对富士苹果果实色泽的影响

处理	L *	a *	b *	C 值	h°
CK	46.56±2.02 ab	22.36±3.79 a	20.86±3.37 ab	30.81±2.06 a	0.75±0.15 a
T1	45.36±1.50 ab	24.95±3.96 a	18.96±1.59 ab	31.46±2.64 a	0.66±0.11 a
T2	47.17±0.41 a	19.38±2.89 a	20.10±2.52 ab	28.08±1.09 a	0.80±0.13 a
T3	42.37±1.28 b	23.89±3.83 a	20.15±1.29 ab	31.38±2.14 a	0.71±0.11 a
T4	44.71±2.07 ab	23.99±3.00 a	19.79±0.85 ab	31.13±2.74 a	0.69±0.05 a
T5	46.07±1.69 ab	19.32±0.57 a	19.86±0.73 ab	27.71±0.90 a	0.80±0.01 a
T6	42.71±1.40 ab	22.47±1.71 a	22.35±4.49 a	31.90±2.10 a	0.78±0.14 a
T7	43.90±0.23 ab	22.90±2.07 a	18.61±1.20 ab	30.57±0.89 a	0.68±0.07 a
T8	42.60±1.75 ab	24.30±4.01 a	16.90±3.33 b	30.94±2.06 a	0.61±0.16 a
T9	43.09±1.89 ab	21.88±6.50 a	19.98±3.29 ab	30.92±6.63 a	0.75±0.10 a
T10	42.14±1.36 b	22.47±1.37 a	21.76±1.62 ab	31.89±1.96 a	0.77±0.03 a
T11	45.36±2.86 ab	24.34±4.65 a	17.85±3.60 ab	30.87±2.89 a	0.64±0.17 a
T12	43.65±0.93 ab	23.14±3.01 a	17.84±0.86 ab	30.84±1.98 a	0.66±0.08 a

2.8 不同植物生长调节剂对富士果实品质指标的主成分分析

对不同植物生长调节剂处理下果实品质指标进行主成分分析,得到主成分特征值、方差贡献率和累积方差贡献率(表 5)。按照累积贡献率高于 80% 和特征值高于 1 的原则,选择了 5 个主成分。第 1 主成分特征值为 4.04,方差贡献率为 31.08%;第 2 主成分特征值为 2.38,方差贡献率为 18.29%;第 3 主成分特征值为 1.99,方差贡献率为 15.34%;第 4 主成分特征值为 1.29,方差贡献率为 9.93%;第 5 主成分特征值为 1.13,方差贡献率为 8.65%。前 5 个主成分累计方差贡献率为 83.28%,这 5 个主成分反映了原始变量 83.28%的信息。提取前 5 个主成分代替原有的 13 个果实品质指标来评价不同喷施处理,将不同喷施处理的品质指标的 13 个方面变为 5 个方面,从而实现降维的目的<sup>[10]</sup>。

表 5 果实品质指标主成分分析的特征值、方差贡献率及累积方差贡献率矩阵

成分	特征值	方差贡献率/%	累积贡献率 /%
1	4.04	31.08	31.08
2	2.38	18.29	49.37
3	1.99	15.34	64.70
4	1.29	9.93	74.63
5	1.13	8.65	83.28
6	0.89	6.88	90.16
7	0.62	4.78	94.94
8	0.37	2.84	97.78
9	0.24	1.85	99.63
10	0.05	0.36	99.99
11	0.01	0.01	99.99
12	0	0.01	100.00
13	6.31E-16	4.85E-15	100.00

2.9 不同植物生长调节剂的综合评价

以特征向量（表6）为权重构建4个主成分的表达式式：

$$F1=0.09X_1-0.07X_2+0.24X_3+0.15X_4-0.15X_5+0.31X_6-0.07X_7+0.41X_8+0.43X_9-0.35X_{10}+0.17X_{11}-0.47X_{12}-0.24X_{13}$$

$$F2=-0.11X_1+0.43X_2+0.22X_3+0.40X_4+0.02X_5-0.06X_6+0.16X_7+0.05X_8-0.20X_9-0.40X_{10}-0.50X_{11}-0.11X_{12}+0.34X_{13}$$

$$F3=0.38X_1+0.39X_2-0.07X_3+0.34X_4+0.51X_5+0.28X_6-0.14X_7-0.21X_8-0.03X_9+0.11X_{10}+0.05X_{11}+0.07X_{12}-0.40X_{13}$$

$$F4=0.35X_1+0.08X_2-0.02X_3+0.15X_4-0.36X_5+0.06X_6+0.78X_7-0.20X_8+0.10X_9+0.12X_{10}+0.20X_{11}+0.01X_{12}+0.03X_{13}$$

$$F5=0.31X_1-0.15X_2+0.68X_3+0.28X_4-0.14X_5-0.44X_6-0.23X_7+0.01X_8-0.06X_9+0.20X_{10}+0.08X_{11}+0.18X_{12}-0.06X_{13}$$

在以上5个表达式中， $X_1 \sim X_{13}$ 分别为标准化的可溶性固形物含量、硬度、可溶性糖含量、可滴定酸含量、单果重、果形指数、叶绿素含量、类胡萝卜素含量、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $C$ 、 $h^\circ$ 、 $L^*$ 。以各个主成分对应的方差贡献率为权重，由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：

$$\text{综合得分 } F=0.3108 \times F1+0.4935 \times F2+0.6470 \times F3+0.7463 \times F4+0.8328 \times F5$$

根据主成分综合得分公式，可计算出不同植物生长调节剂对富士果实品质影响的综合得分和排序(表7)，综合得分由高到低依次为  $T9>T7>T8>T1>T11>T10>T12>T5>T6>T4>T3>T2>CK$ 。

表 6 果实品质指标的主成分特征向量					
品质指标	特征向量				
	1	2	3	4	5
可溶性固形物	0.09	-0.11	0.38	0.35	0.31
硬度	-0.07	0.43	0.39	0.08	-0.15
可溶性糖	0.24	0.22	-0.07	-0.02	0.68
可滴定酸	0.15	0.40	0.34	0.15	0.28
单果重	-0.15	0.02	0.51	-0.36	-0.14
果形指数	0.31	-0.06	0.28	0.06	-0.44
叶绿素	-0.07	0.16	-0.14	0.78	-0.23
类胡萝卜素	0.41	0.05	-0.21	-0.20	0.01
$a^*$	0.43	-0.20	-0.03	0.10	-0.06
$b^*$	-0.35	-0.40	0.11	0.12	0.20
$C$	0.17	-0.50	0.05	0.20	0.08
$h^\circ$	-0.47	-0.11	0.07	0.01	0.18
$L^*$	-0.24	0.34	-0.40	0.03	-0.06

表 7 不同植物生长调节剂的主成分分析得分、综合得分及排序

处理	F1	F2	F3	F4	F5	F	排序
CK	-28.05	-6.18	79.08	-41.55	-17.97	-6.58	13
T1	-22.23	-8.24	65.99	-33.74	-14.96	-5.91	4
T2	-36.12	-2.89	99.55	-58.15	-24.44	-11.99	12
T3	-33.12	-6.83	105.71	-58.36	-24.35	-9.10	11
T4	-27.85	-7.03	83.78	-45.28	-19.44	-7.92	10
T5	-28.71	-3.87	77.01	-40.85	-17.31	-5.90	8
T6	-29.76	-8.26	88.10	-47.08	-19.75	-7.91	9
T7	-28.56	-5.24	86.26	-46.89	-20.51	-7.72	2
T8	-23.09	-6.44	73.72	-38.02	-16.97	-5.17	3
T9	-24.67	-7.18	71.98	-35.87	-15.19	-4.06	1
T10	-27.75	-9.91	82.52	-43.94	-17.66	-7.63	6
T11	-25.43	-5.82	77.32	-41.25	-18.27	-6.75	5
T12	-28.70	-4.66	88.40	-48.39	-21.02	-7.64	7

3 讨论

果实品质是受许多因素共同影响的,植物生长调节剂作为调控果实品质的有效技术手段已在许多果树中广泛应用<sup>[17]</sup>。在本试验中通过分析各不同处理下每个果实品质指标的变化,发现各植物生长调节剂的改善效果存在差异。故选择主成分分析法进行降维,并构建函数综合分析,由综

合得分来表示喷施效果。

采前喷施 MeJA 溶液,发现其相比于 CK 均可以不同程度地降低可滴定酸及叶绿素含量,提高可溶性固形物、可溶性糖、类胡萝卜素含量以及单果重量。这与杨光凯在‘长富 2 号’苹果中的研究结果基本一致<sup>[29]</sup>。大量研究表明,ABA 会影响果实的着色,可溶性固形物含量以及可溶性

糖含量等品质,并且与果实中山梨醇、果糖、花色苷的积累有紧密的关系<sup>[30-31]</sup>。王星辰等<sup>[32]</sup>用不同浓度的 ABA 喷施‘长富 2 号’苹果,发现外源 ABA 可以改善果实品质,并且果实的可溶性固形物含量、可溶性糖含量以及硬度都会随着外源 ABA 浓度的提高呈现显著提高,果实着色度也得到了明显改善, $a^*$  值提高,单果重和果形指数未达到显著差异,这与本研究相较喷施 ABA 除了硬度没有显著变化,其余均与本研究结果基本一致。这可能是因为外源 ABA 在花色苷的生物合成中起促进作用<sup>[33]</sup>,并且对果实成熟过程中的色素组成及含量起调节作用所造成的<sup>[34-35]</sup>。其中  $400\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ABA 喷施的富士苹果果皮相较于 CK 喷施清水,色泽指标 C 值、 $a^*$ 、 $b^*$  降低, $h^\circ$  升高,这与王鹏洋等的研究有所不同<sup>[36]</sup>,可能是因为本研究中 ABA 不是最适浓度,不能促进着色。喷施  $0.01\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  MDJ 的处理相较于 CK,其可溶性糖含量和单果重均增加;可滴定酸含量、叶绿素含量均降低;色泽指标  $L^*$ 、 $b^*$ 、 $h^\circ$  值均降低; $a^*$ 、C 值均升高,但对硬度以及果形指数影响不大,表明采前喷施  $0.01\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  MDJ 溶液也会促进富士苹果着色,并且会改善富士苹果的一些品质。在本研究中发现采前喷施 ALA 溶液富士苹果中果形指数、可溶性固形物含量、可溶性糖含量均高于 CK,可滴定酸含量均低于 CK,这与汪良驹等<sup>[37]</sup>在红富士采前喷施 ALA 的研究基本一致。果皮色泽指标  $L^*$  值低于 CK,表明喷施 ALA 促进了果面色素积累,使果色更厚重,从而使亮度降低; $b^*$  和  $h^\circ$  值也低于 CK,表明喷施 ALA 会使果面颜色变得更加鲜明; $a^*$  值、C 值高于 CK,这表明采前喷施 ALA 有助于富士苹果颜色变红,促进了果实着色。其中单果重略微下降的原因可能是果实采摘后,果实进行呼吸作用消耗了一部分养分,将果实中的有机物质分解代谢进而导致重量降低<sup>[38]</sup>。此外在本研究中相较于 CK 喷施清水,喷施果喷红溶液的富士苹果的硬度、可溶性糖含量、类胡萝卜素含量均有所增加,且叶绿素含量降低。色泽指标  $L^*$ 、 $b^*$ 、 $h^\circ$  降低, $a^*$ 、C 值提高。其中硬度,可溶性糖含量相较于其他处理增加最多,说明采前喷施果喷红有利于果实上色,提高硬度,延长储存期,但其中增色的机理还需继续研究。

#### 4 结论

富士苹果采前喷施不同植物生长调节剂相较于 CK,其可溶性固形物含量、可溶性糖含量、单果重以及类胡萝卜素含量均有不同程度的增加,

其中 T9 的可溶性糖含量和 T3 的单果重较 CK 分别显著增加了 43.18% 和 28.88%;可滴定酸含量、叶绿素含量均有不同程度的降低,T9 的叶绿素含量较 CK 显著降低了 69.74%;色泽指标  $L^*$  值、 $b^*$  值及  $h^\circ$  值均有不同程度的降低; $a^*$  值、C 值均有不同程度的增加;果形指数与硬度变化不显著。将所有指标进行主成分分析,其综合得分由高到低依次为 T9 ( $100\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ALA 溶液) > T7 ( $600\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ABA 溶液) > T8 ( $50\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ALA 溶液) > T1 ( $20\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  MeJA 溶液) > T11 (果喷红 1 000 倍液) > T10 ( $150\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ALA 溶液) > T12 (果喷红 1 500 倍液) > T5 ( $400\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ABA 溶液) > T6 ( $500\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ABA 溶液) > T4 ( $0.01\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  MDJ 溶液) > T3 ( $100\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  MeJA 溶液) > T2 ( $60\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  MeJA 溶液) > CK (喷施清水对照),表明试验所用植物生长调节剂中,  $100\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  ALA 溶液对富士苹果果实品质改善的效果最好,生产中可以参考实施。

#### 参考文献:

- [1] 王书曜,郭树河.红富士苹果优质种植技术措施[J].绿色科技,2017(13):212,214.
- [2] 吴松梅,唐金,陈淑英.伊犁河谷地区优良苹果品种介绍[J].现代农业科技,2017(6):104,107.
- [3] 王继勋,梅闯,闫鹏,等.新疆苹果产业现状、存在问题及对策建议[J].农村科技,2022(3):65-70.
- [4] 赵德英.提升果实品质之增加着色[J].果树实用技术与信息,2022(2):4-6.
- [5] 周洲.植物生长调节剂及人工授粉对番茄枝着果和品质的影响[J].中国果业信息,2022,39(4):49-50.
- [6] 王建萍,徐维华,张纯,等.不同植物生长调节剂对‘阳光玫瑰’果实品质的影响[J].北方园艺,2022(5):29-34.
- [7] 闫爱玲,王慧玲,张国军,等.植物生长调节剂对‘瑞都红玉’葡萄无核化和品质的影响[J].中外葡萄与葡萄酒,2021(6):61-65.
- [8] 王鹏飞,付鸿博,张瑜,等.采前喷施脱落酸对欧李果实品质的影响[J].核农学报,2021,35(9):2083-2093.
- [9] 李芳菲,王莎,谷世超,等.叶面喷施 ABA 和 PDJ 对‘巨峰’葡萄果实着色及品质的影响[J].果树学报,2020,37(3):362-370.
- [10] 周洲.采前喷施脱落酸(S-ABA)对早熟 M7 脐橙果实色泽发育和品质的影响[J].中国果业信息,2018,35(1):52-53.
- [11] 周伟权,程功,杨文莉,等.脱落酸处理对库勒香梨新梢生长及果实品质的影响[J].经济林研究,2017,35(4):112-117.
- [12] 黄姣云,李慧,杨荣萍,等.5-氨基乙酰丙酸对猕猴桃生长及其果实品质的影响[J].云南农业大学学报(自然科学),2021,36(6):1017-1021,1043.
- [13] 谢嘉,成学慧,陈禹平,等.采前喷施低浓度 5-氨基乙酰丙酸促进苹果着色与改善品质的效应[J].江苏农业科学,2015,43(1):162-165.
- [14] 刘玲玲,翟丙年,李展飞,等.二氢茉莉酸甲酯和香草醛不同浓度组合对‘富士’苹果内在品质的影响[J].北方园艺,2013(16):21-24.
- [15] 白世践,卢金鸽,王勇,等.茉莉酸甲酯对‘克瑞森无核’葡萄

- 果实着色及品质的影响[J]. 农学学报, 2022, 12(6): 44-49.
- [16] RUDELL D R, MATTHEIS J P, FAN X, et al. Methyl Jasmonate enhances anthocyanin accumulation and modifies production of phenolics and pigments in 'Fuji' apples[J]. Hort Science, 2002, 127(3): 435-441.
- [17] 肖永英, 甘立军, 夏凯. 茉莉酸酯类和 6-BA 对葡萄果实品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2008(6): 153-155.
- [18] 岳伟, 李晶晶, 崔凯, 等. 富士系新品种引种表现调查[J]. 烟台果树, 2017(2): 19-22.
- [19] 梁家伟, 李建贵, 钱立龙, 等. 不同植物生长调节剂对富士苹果形态指标的影响[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(12): 2221-2226.
- [20] 张宪政. 植物叶绿素含量测定——丙酮乙醇混合液法[J]. 辽宁农业科学, 1986(3): 26-28.
- [21] 聂继云, 李静, 徐国锋, 等. 水果可溶性固形物含量测定适宜取汁方法的筛选[J]. 保鲜与加工, 2014, 14(5): 62-64.
- [22] 李合生. 植物生理生化试验原理及技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [23] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 34.
- [24] 张斌, 罗燕, 王勇, 等. 茉莉酸酯类物质对新郁葡萄果实着色及品质的影响[J]. 西北园艺(综合), 2021(1): 51-54.
- [25] 马晓丽, 施平丽, 王进, 等. 巨峰葡萄缺素诊断及镁锌缺素预防[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2016(5): 48-53.
- [26] 王利群, 戴雄泽. 色差计在辣椒果实色泽变化检测中的应用[J]. 辣椒志, 2009, 7(3): 23-26, 33.
- [27] 汪琳, 应铁进. 番茄果实采后贮藏的颜色动力学研究[J]. 食品科技, 2000(5): 49-51.
- [28] WHALE S K, SINGH Z, BEHBOUDIAN M H, et al. Fruit quality in 'Cripp's Pink' apple, especially colour, as affected by preharvest sprays of aminoethoxyvinyl glycine and ethephon [J]. Scientia Horticulturae, 2008, 115(4): 342-351.
- [29] 杨光凯, 武媛丽, 高燕, 等. 外源茉莉酸甲酯对苹果果实品质的影响[J]. 果树资源学报, 2021, 2(5): 15-22.
- [30] 孙汉青, 陶红霞, 宋雪娜, 等. 干旱诱导的海藻糖和脱落酸对苹果品质的影响[J]. 西北农业学报, 2019, 28(2): 48-56.
- [31] 曲文颖, 刘真真, 谢琳森, 等. 外源脱落酸和乙烯利对蓝莓重要品质的调控[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(17): 126-129.
- [32] 王星辰, 吕祚森, 邹养军, 等. 外源脱落酸对苹果果实品质的影响[J]. 陕西农业科学, 2021, 67(4): 46-50.
- [33] KOYAMA R, YAMAMOTO L Y, BORGES W F S, et al. Application time and concentrations of abscisic acid on the color development of 'Isabel' grapes [J]. Semina Ciências Agrárias, 2014, 35(4): 1697-1705.
- [34] REN J, LENG P. Role of abscisic acid and ethylene in fruit maturation of sweet cherry [J]. Horticulturae Sinica, 2010, 37(2): 199-206.
- [35] 马文瑶, 程大伟, 顾红, 等. 脱落酸(ABA)促进果实着色研究进展[J]. 果树学报, 2018, 35(8): 1016-1026.
- [36] 王鹏洋, 曲姗姗. ABA 对果实品质的影响研究进展[J]. 现代农业科技, 2019(7): 198.
- [37] 汪良驹, 王中华, 李志强, 等. 5-氨基乙酰丙酸促进苹果果实着色的效应[J]. 果树学报, 2004(6): 512-515.
- [38] 王贵元, 夏仁学, 周开兵. 外源 ABA 和 GA<sub>3</sub> 对红肉脐橙果皮主要色素含量变化和果实着色的影响[J]. 植物科学学报, 2004, 22(3): 273-276.

## Effects of Different Plant Growth Regulators on Apple Fruit Quality Based on Principal Component Analysis

YAO Ruiyun<sup>1</sup>, BAI Ru<sup>1</sup>, YU Qingfan<sup>2</sup>, ZHENG Congli<sup>1</sup>, YANG Yifan<sup>2</sup>, JI Yan<sup>2</sup>

(1. College of Agriculture, Shihezi University/Corps Key Laboratory of Physiology and Germplasm Resource Utilization of Characteristic Fruit and Vegetable Cultivation, Shihezi 832003, China; 2. Institute of Agricultural Science, the 4<sup>th</sup> Division of Production and Construction Corps, Kekedala 835219, China)

**Abstract:** In order to select the best plant growth regulators to improve the fruit quality of 'Fuji' apple. The 'Fuji' apple was used as the research materials in this experiment, sprayed 20, 60, 100 mg·L<sup>-1</sup> MeJA solution; 0.01 mol·L<sup>-1</sup> MDJ solution; 400, 500, 600 μmol·L<sup>-1</sup> ABA solution; 50, 100, 150 μmol·L<sup>-1</sup> ALA solution; 1 000 times and 1 500 times liquid of Guopenhong before picking, and sprayed water as control, the quality indexes of different treatments were measured and the principal component analysis method was used for comprehensive analysis. The results showed that compared with CK, the content of soluble solid substance, soluble sugar, carotenoids and single fruit weight in the fruit increased, and the soluble sugar content of T9 and the single fruit weight of T3 significantly increased by 43.18% and 28.88% respectively compared with CK; The content of titratable acid and chlorophyll were significantly reduced, and the content of chlorophyll of T9 was significantly decreased by 69.74% compared with CK; The values of color indexes L\*, b\* and h° were decreased, and b\* and h° were significantly decreased by 18.97% and 19.20%, respectively; Both a\* and C values were increased; There was no significant effect on fruit shape index and hardness. The comprehensive score of the principal component analysis ranged from high to low as: T9>T7>T8>T1>T11>T10>T12>T5>T6>T4>T3>T2>CK. It shows that T9 spraying 100 μmol·L<sup>-1</sup> ALA solution has the best effect on improving fruit quality of 'Fuji' apple, so it is the recommended plant growth regulator in production.

**Keywords:** apple; plant growth regulator; coloring; fruit quality; principal component analysis