



研究报告 Original Papers

‘库尔勒香梨’偏斜果果实生长动态变化及与内源激素的关系

孙天雨¹, 温玥^{1,*}, 田嘉¹, 郝志超¹, 邵白俊杰¹, 郑玲玲¹, 韩雨涛¹, 张峰²

¹新疆农业大学园艺学院, 乌鲁木齐830052

²新疆库尔勒市香梨研究中心, 新疆库尔勒841000

*通信作者(wenyue900701@163.com)

摘要: 本研究以‘库尔勒香梨’(*Pyrus sinkiangensis*)为试验材料, 调查偏斜果发生规律与生长动态, 比较正常果和偏斜果内源激素含量差异。结果表明: ‘库尔勒香梨’在授粉后40~60 d偏斜现象严重, 此时斜果日均增长率为0.335%, 高于平均水平0.235%; 偏斜率在授粉后30~50 d (0.136%)与80~100 d (0.152%)期间为两个增长高峰期。偏斜果大小果面纵径在授粉后140 d相差最大(4.144 mm); 横径则在授粉后90 d后差异逐渐增大, 并在授粉后140 d相差最大(2.112 mm); 偏斜果与正常果果形指数整体变化趋势较为相近且相差较小; 单果重在授粉后40 d开始出现明显差异, 在授粉后130 d相差最大(6.415 g)。正常果与偏斜果大小果面的内源激素在授粉后40 d达到最大值, 此时偏斜果小果面生长素(IAA)和赤霉素(GA₃)含量分别显著低于大果面和正常果面, 其中IAA含量分别相差355与291 ng·g⁻¹, GA₃含量分别相差67与60 ng·g⁻¹; 脱落酸(ABA)则相反, 即偏斜果小果面ABA含量显著大于大果面与正常果面, 分别相差2.011和2.006 μg·g⁻¹; 不同果面间玉米素(ZT)含量相差幅度较小, 且在授粉后20~60 d均保持较低水平。

关键词: ‘库尔勒香梨’; 偏斜果; 外观品质; 内源激素

Fruit growth dynamics of lopsided ‘Korla fragrant pear’ and its relationship with endogenous hormones

SUN Tianyu¹, WEN Yue^{1,*}, TIAN Jia¹, HAO Zhichao¹, SHAO Baijunjie¹, ZHENG Lingling¹, HAN Yutao¹, ZHANG Feng²

¹College of Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China

²Xinjiang Korla Fragrant Pear Research Center, Korla, Xinjiang 841000, China

*Corresponding author (wenyue900701@163.com)

Abstract: In this study, ‘Korla fragrant pear’ (*Pyrus sinkiangensis*) was selected as experimental material, the occurrence pattern and growth dynamics of lopsided fruits were investigated, and the difference of endogenous hormone contents between normal fruit and lopsided one was compared. The results show that the lopsidedness of ‘Korla fragrant pear’ was serious at 40–60 d after pollination, and the average daily growth rate of lopsided fruit was 0.335%, which was 0.235% higher than the average level, and the lopsided rate reached two peaks between 30–50 d (0.136%) and 80–100 d (0.152%) after pollination. The differ-

收稿 2023-10-08 修定 2024-05-25

资助 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2022D01A178)、国家自然科学基金(32160686)、第二批天山英才培养计划青年托举人才项目(2023TSYCQNTJ0004)和新疆维吾尔自治区天山创新团队(2023D14015)。

ence between the longitudinal diameter of the lopsided fruit size was the largest (4.144 mm) at 140 d after pollination, while the difference in transverse diameter gradually increased after 90 d after pollination, and the difference was the largest (2.112 mm) at 140 d after pollination. The difference of single fruit weight became significant at 40 d after pollination, and the largest difference (6.415 g) was 130 d after pollination. The endogenous hormones of normal fruit and lopsided fruit size reached the maximal value 40 d after pollination, during when the contents of auxin (indole-3-acetic acid, IAA) and gibberellin (GA_3) of lopsided fruit surface were significantly lower, respectively, than those of large and normal fruit surfaces. The difference of auxin content reached 355 and 291 $ng \cdot g^{-1}$, respectively, and the difference of gibberellin content reached 67 and 60 $ng \cdot g^{-1}$, respectively. On the contrary, the abscisic acid (ABA) content of small fruit surface of lopsided fruit was significantly higher than those of large fruit surface and normal fruit surface, with a difference of 2.011 and 2.006 $\mu g \cdot g^{-1}$, respectively. The difference of the content of zeatin (ZT) between different fruit surfaces was small, and it remained at a low level during 20–60 d after pollination.

Key words: ‘Korla fragrant pear’; lopsided fruits; external quality; endogenous hormone

随着生活水平的不断提高,消费者对水果品质也提出了更高的要求,果形端正的水果往往更受青睐(Normann等2019),而果形不良的果实,如偏斜果、南瓜果,品质较差,商品性较低。偏斜果具体表现为果实两边大小不对称,果实一边发育健全,而另一边发育不良且扁平,在果树生产上时有发生,在苹果(*Malus pumila*) (王海儒2013)、沙梨(*Pyrus pyrifolia*) (陈小明2010)中尤为严重。果形偏斜现象自幼果初期就开始出现,在整个果实生长发育期偏斜指数总体呈上升趋势(蔡小林等2017),且与果实纵径、横径、单果重之间存在明显的负相关关系(杜研2013)。果形偏斜变化具体可为3个时期,即缓慢增大期、迅速增大期和相对平稳期。缓慢增大期果形变化速度较为缓慢,偏斜情况较少;迅速增大期果形变化速度较快,偏斜率逐渐增大;之后进入相对平稳期,至此以后偏斜率始终保持在一个稳定水平(陈小明2010)。

果实形状通常会受到内源激素、树体营养等因素影响,其中内源激素的含量和分布对决定果实形状起着至关重要的作用。内源激素分布不均可能会导致幼果发育不良,造成果形偏斜(梁家伟2014)。生长素(indole-3-acetic acid, IAA)具有加速细胞生长、促进植物组织分化的作用,果实中IAA含量分布不均,通常会造成种子发育不良,从而产生偏斜果(吴志斌2022)。赤霉素(gibberellin 3, GA_3)可以促进植物细胞膨大与节间生长,主要通过促

进果实纵径的增加影响果形(Liao等2018)。有学者研究发现,果肉中IAA与 GA_3 分布不均是造成‘红富士’苹果果形偏斜的重要因素(孙建设等1999)。玉米素(zeatin, ZT)主要分布于新生植物组织和器官中,通过促进细胞分裂来调节果实膨大,且幼果期高含量ZT有助于改善果形(顾子民2022)。脱落酸(abscisic acid, ABA)能够抑制植物体中IAA和 GA_3 的合成。在苹果偏斜果中发现,幼果期种子与果肉中ABA含量较低,但进入成熟期迅速升高,且偏斜果种子内ABA含量高于正常果,推测ABA是影响苹果果形偏斜的主要因素之一(杜研2018)。

‘库尔勒香梨’(*Pyrus sinkiangensis*)属蔷薇科梨属植物,广泛栽培于库尔勒市及其周边区域,以其优良的果实品质深受消费者喜爱,在新疆区域经济发展中扮演重要角色(郝志超等2022)。近些年,随着新疆林果业的迅速发展,‘库尔勒香梨’栽培面积也不断扩大,但偏斜果大面积发生,出现果实变扁、偏斜等现象,严重降低了‘库尔勒香梨’的果实品质,不利于香梨产业的可持续发展(何子顺等2012)。前人研究发现,‘库尔勒香梨’果形偏斜受到诸多因素影响,如气候条件(宋雪娜2019)、种子发育状况(邵扬2015)、授粉好坏(Matsumoto等2012)等,而偏斜果发生规律、果实生长动态变化及与内源激素关系尚不清楚。因此,本研究以树龄8年的‘库尔勒香梨’为研究材料,调查授粉后10~140 d内偏斜果数量,观测偏斜果生长过程,阐明偏斜果发

生规律, 确定果形偏斜高峰期; 测定果形偏斜高峰期偏斜果大小果面的内源激素含量, 明确内源激素与偏斜果的关系, 进一步探究‘库尔勒香梨’果形偏斜的原因。研究结果为调控‘库尔勒香梨’果形偏斜提供理论依据, 可助‘库尔勒香梨’果实品质的提升。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于2022年4月—8月在新疆维吾尔自治区库尔勒市库尔勒香梨研究中心进行, 所选‘库尔勒香梨’(*Pyrus sinkiangensis* Yü)植株基本情况如下: 树龄为8年, 株行距为2 m×4 m, 砧木为杜梨(*P. betulifolia* Bunge), 花粉来源为河北赵县鸭梨(白梨) (*Pyrus bretschneideri* Rehder), 树势一致, 无病虫害。

1.2 方法

1.2.1 ‘库尔勒香梨’偏斜果发生规律调查

选定‘库尔勒香梨’树10株, 每株树在树冠中部东、西、南、北方向随机选取7个果实进行挂牌标记, 即每株树选取28个果实, 共280个果实。于授粉后10 d (4月20日)至140 d (8月28日), 每隔10 d统计一次正常果数与偏斜果数, 计算斜果率和斜果增长率, 确定果形偏斜高峰期。‘库尔勒香梨’偏斜果外部形态变化如图1所示。

1.2.2 ‘库尔勒香梨’偏斜果果实生长动态观测

选定‘库尔勒香梨’树10株, 每株树在树冠中部东、西、南、北方向随机选取20个果实进行挂牌标记, 共200个果。于授粉后10 d (4月20日)至140 d (8月28日), 每隔10 d测量一次果实外观品质, 测量方法参照李凡等(2011)、邵扬(2015)所述(图2)。用电子游标卡尺测定大果面纵径(*a*)、小果面纵径(*b*)、

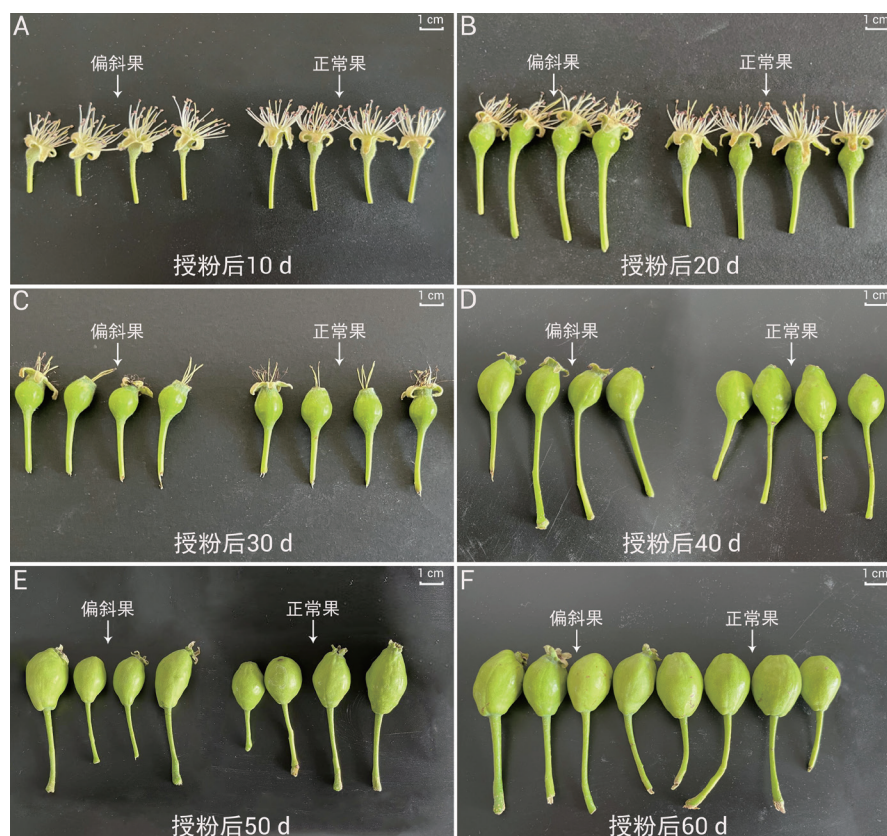


图1 ‘库尔勒香梨’偏斜果与正常果外部形态变化

Fig. 1 Changes in external morphology of lopsided and normal fruits of ‘Korla fragrant pear’

A: 授粉后10 d; B: 授粉后20 d; C: 授粉后30 d; D: 授粉后40 d; E: 授粉后50 d; F: 授粉后60 d.

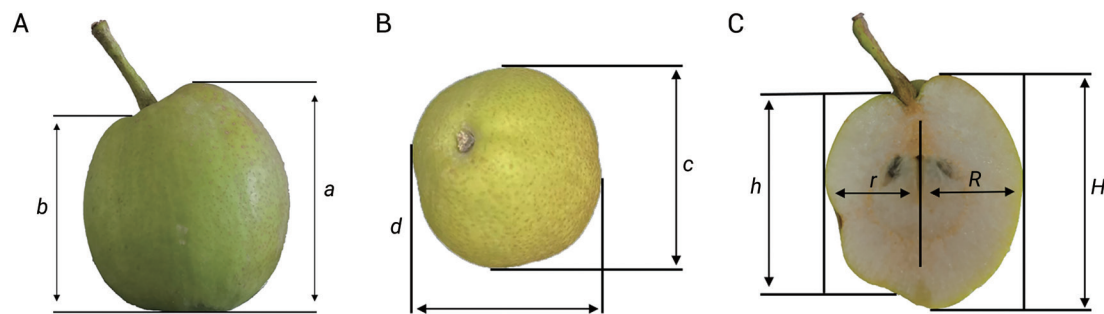


图2 测量方法图

Fig. 2 Measurement method diagram

A、B、C分别为果实纵径、横径、偏斜率测量图。

长轴横径(c)、短轴横径(d)及大果面长(H)、小果面长(h)、大果面到果心距离(R)、小果面到果心距离(r), 计算果形指数和偏斜率(DD); 用电子天平测量果实单果重。果形指数=果实纵径/果实横径; 偏斜率计算参照孙建设等(1999)方法, 偏斜率(DD)= $2(HR-hr)/(HR+hr) \times 100\%$; 将偏斜率小于15%视为正常果, 偏斜率在15%~35%的范围内视为偏斜果。

1.2.3 ‘库尔勒香梨’偏斜果内源激素含量测定

在果形偏斜高峰期, 即授粉后20 d (4月30日)、40 d (5月20日)、60 d (6月9日), 分别随机选取树冠中部外围东、南、西、北不同方向的正常果与偏斜果各30个。用医用手术刀除去外果皮, 对果肉进行纵切, 并用锡箔纸将正常果、偏斜果大果面与小果面果肉分开包裹放入液氮快速冷冻, 带回实验室后放置于 -80°C 超低温冰箱保存, 用于内源激素含量的测定, 每个处理重复测定3次。内源激素含量采用高效液相色谱法(HPLC)进行测定(吴尚等2017)。

1.3 数据处理

数据整理与计算采用Microsoft Excel 2020软件; 使用SPSS 20.0对各指标进行单因素方差分析, 若差异显著($P < 0.05$), 则用Duncan法进行多重比较; 采用Origin 2019软件制图。

2 实验结果

2.1 ‘库尔勒香梨’偏斜果发生规律

‘库尔勒香梨’斜果率(偏斜率)随着果实生长而逐渐升高(图3), 具体表现为: 授粉后10~40 d为斜果

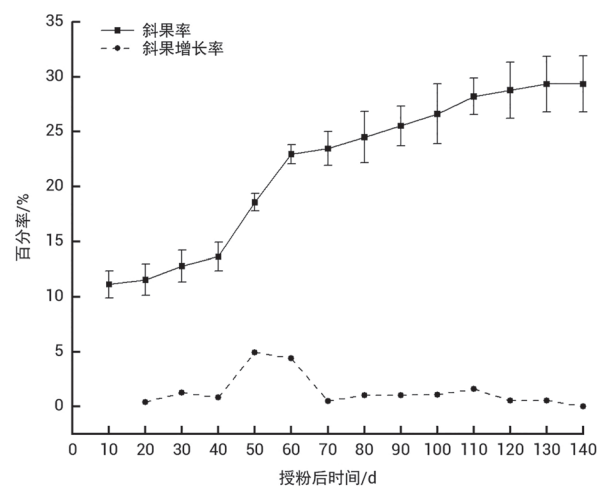


图3 ‘库尔勒香梨’斜果率和斜果增长率动态变化

Fig. 3 Dynamic changes of lopsided fruit rate and lopsided fruit growth rate of ‘Korla fragrant pear’

率平稳变化阶段, 授粉后40~60 d为斜果率增长高峰期, 授粉后60~140 d再次进入斜果率平稳变化阶段。授粉后10~140 d, 斜果率增加了13%。偏斜果的发生主要在果实生长前期, 在授粉后40~60 d是一个明显的斜果高峰期, 斜果增长率整体呈现出“慢~快~慢”的变化趋势, 在授粉后50 d斜果增长率达到峰值(3.667%), 在授粉后140 d降为0%, 整个斜果高峰期日均增长率为0.335%, 高于平均水平0.235%。

2.2 ‘库尔勒香梨’偏斜果与正常果生长动态变化

2.2.1 果实生长指标

除果形指数外, ‘库尔勒香梨’正常果与偏斜果纵径、横径、单果重与果形指数均呈现出“S”型变

化趋势(图4)。其中, 偏斜果大小果面的纵径随着果实生长发育逐渐增大(图4-A), 整个生长周期正常果纵径与偏斜果大果面纵径的日均增长量无明显差异, 均为 $404\ \mu\text{m}$; 而小果面纵径日均增长量($382\ \mu\text{m}$)小于前者, 到授粉后140 d偏斜果大小面纵径相比正常果分别减少 $21\ \mu\text{m}$ 和 $4.162\ \text{mm}$ 。此外, 偏斜果大小果面纵径在授粉后140 d相差幅度最大($4.144\ \text{mm}$), 在授粉后10 d相差幅度最小($1.240\ \text{mm}$), 说明偏斜果大小面纵径差异随着果实生长而逐渐增大。

在横径方面, 偏斜果长短轴横径与正常果增长变化有一致规律性, 均随着果实生长发育逐渐增大(图4-B)。整个生长周期正常果横径与偏斜果长轴横径的日均增长量为 $369\ \mu\text{m}$, 短轴横径日均增长量为 $356\ \mu\text{m}$, 短轴横径略微低于长轴横径与

正常果横径; 到果实成熟期, 偏斜果长短轴横径相比正常果分别减少 $720\ \mu\text{m}$ 和 $2.831\ \text{mm}$ 。此外, 偏斜果长短轴横径在授粉后140 d相差幅度最大, 为 $2.112\ \text{mm}$, 在授粉后10 d相差幅度最小, 仅为 $419\ \mu\text{m}$; 与纵径相比, 果实的纵径生长速率总体大于横径生长速率, 且整个时期大小果面纵径均有明显差异; 而横径在果实生长前期相差不明显, 到果实生长中后期后(90 d左右)相差幅度逐渐增大。

随着纵横径的伸长, 偏斜果与正常果的果形指数整体呈下降趋势(图4-C), 均表现为“快~慢~快~慢”的变化规律, 具体为授粉后10~50 d与授粉后80~90 d果形指数下降较快, 其余时期变化缓慢。偏斜果从最大值1.516 (授粉后10 d)下降至最小值1.144 (授粉后140 d), 果形指数总共下降0.372; 正常果果形指数从最高点1.525 (授粉后10 d)下降至

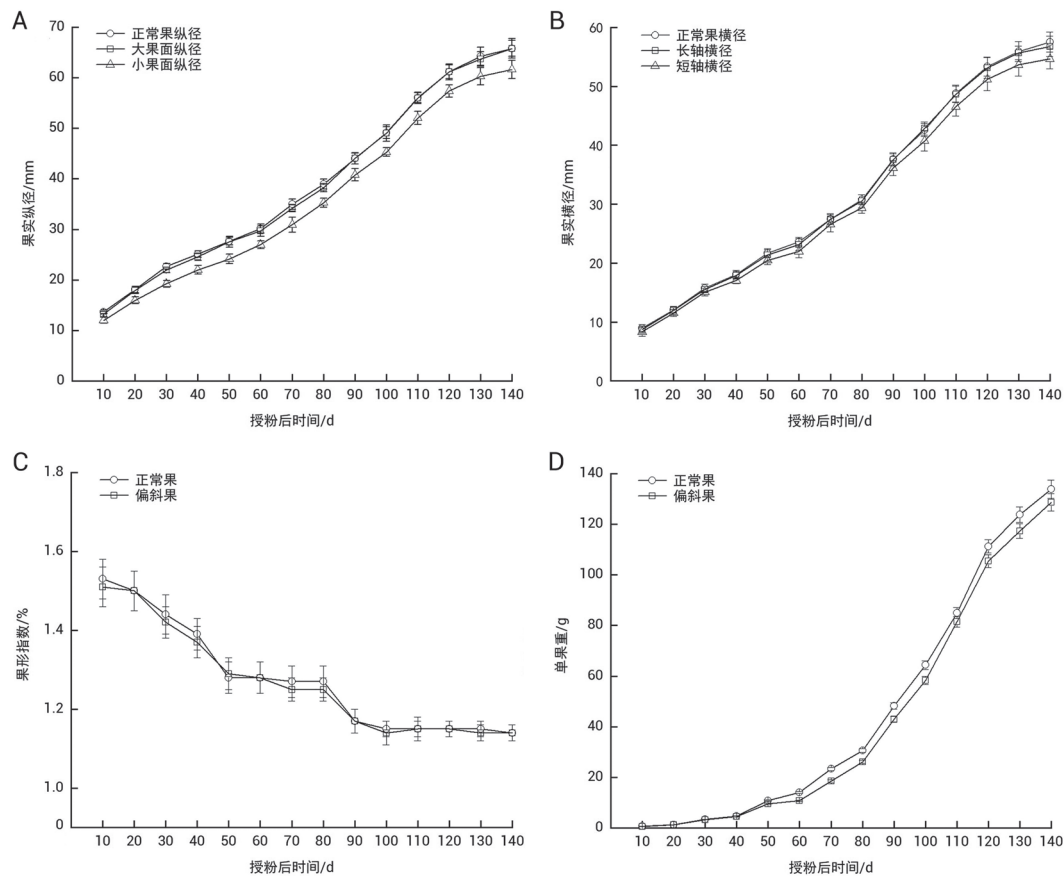


图4 ‘库尔勒香梨’偏斜果与正常果生长指标动态变化

Fig. 4 Dynamic changes of growth indexes of lopsided and normal fruits of ‘Korla fragrant pear’

A: 果实纵径变化; B: 果实横径变化; C: 果形指数变化; D: 单果重变化。

最小值1.159 (授粉后140 d), 果形指数总共下降0.366; 两者均在授粉后10 d达到峰值, 在授粉后140 d降到最小值, 且日均下降无差异。

在‘库尔勒香梨’的生长过程中, 偏斜果与正常果的单果重呈“慢~快~慢”的变化规律(图4-D), 在授粉后80~120 d迅速增大。正常果(729 mg)与偏斜果(671 mg)单果重均在授粉后10 d为最小值, 在授粉后140 d均达到最大值, 分别为133.8和128.6 g。在偏斜果与正常果的发育进程中发现, 其单果重在授粉后20 d相差幅度最小, 仅为4.00 mg; 在授粉后40 d前差异较小; 在授粉后130 d相差幅度最大, 为6.415 g。

2.2.2 偏斜率

‘库尔勒香梨’偏斜率变化呈“慢~快~慢~快~慢”趋势, 表现为双“S”型变化曲线(图5)。偏斜果从授粉后10 d (23.712%)到授粉后140 d增加至32.69%, 平均为0.069%; 在授粉后30~50和80~100 d期间为两个偏斜率增长高峰期, 日均增长率分别为0.136%与0.152%, 远高于平均水平, 并在之后的生长过程中偏斜率逐渐升高; 相比偏斜果, 正常果偏斜率变化较小, 呈缓慢升高趋势, 且最终未达到偏斜等级(偏斜率 $\leq 15\%$), 偏斜率从授粉后10 d的7.387%到授粉后140 d的12.65%, 日均增长率仅为0.040%。

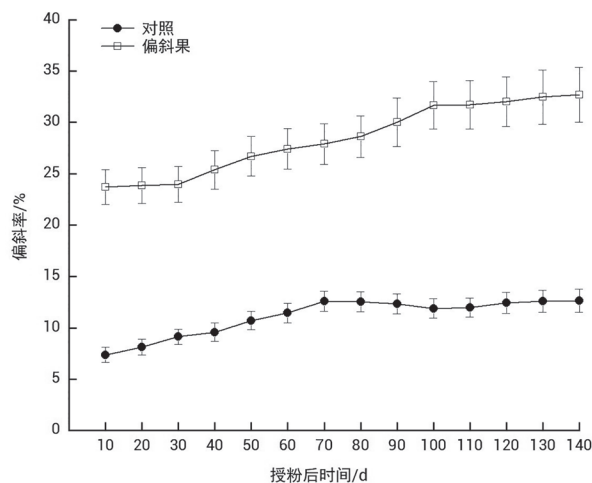


图5 ‘库尔勒香梨’偏斜果与正常果偏斜率动态变化
Fig. 5 Dynamic changes of lopsided fruit rate and lopsided fruit growth rate of ‘Korla fragrant pear’

2.3 ‘库尔勒香梨’正常果与偏斜果果肉内源激素含量变化

2.3.1 IAA含量

‘库尔勒香梨’正常果与偏斜果大小果面的IAA含量变化规律相似, 均呈现“先上升后下降”的变化趋势(图6-A)。在授粉后20 d, 正常果与偏斜果大果面IAA含量(417和389 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)显著高于偏斜果小果面IAA含量(172 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)。到授粉后40 d, 三种类型果面均达到峰值, 显著高于其他时期, 并且正常果果面IAA含量(647 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)显著高于偏斜果大果面(583 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$); 该两种果面类型IAA含量均显著高于偏斜果小果面(292 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$), 此时小果面与正常果和大果面差异达到最大, 分别相差355与290 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$; 此后正常果与偏斜果大果面IAA含量急剧下降, 到授粉后60 d分别下降至47与28 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 显著低于偏斜果小果面(132 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)。

2.3.2 GA₃含量

‘库尔勒香梨’正常果果面GA₃含量与偏斜果大小果面均呈先上升后下降趋势(图6-B), 三个时期小果面均显著低于其他果面, 其中正常果果面与偏斜果大果面的GA₃含量升降幅度较为接近。在授粉后20 d, 正常果果面GA₃含量(14 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)与偏斜果大果面(17 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)显著高于偏斜果小果面(4 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$); 授粉后40 d, 三种果面均达到峰值, 显著高于其他时期, 且偏斜果小果面GA₃含量(76 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)显著低于正常果(143 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)与偏斜果大果面(135 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$), 差异达到最大, 分别相差67与60 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。授粉后60 d, 三种果面的GA₃含量均下降到最低, 其中偏斜果小果面GA₃含量(1 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)显著低于正常果(12 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)与偏斜果大果面(7 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)。

2.3.3 ZT含量

‘库尔勒香梨’不同果面ZT含量在生长前期较低, 三种果形变化趋势相同, 均呈先缓慢上升后下降的变化趋势(图6-C), 且三种果形ZT含量相差幅度均小于其他种类激素。授粉后20 d, 偏斜果大果面ZT含量(21 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)显著高于正常果果面(13 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)与偏斜果小果面(16 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)。授粉后40 d, 三种果面的ZT含量均达到峰值且差异不显著。授粉后60 d, 三种果面的ZT含量均下降至最小值, 其中偏斜果大果面(2 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)与正常果果面(3 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)差异显

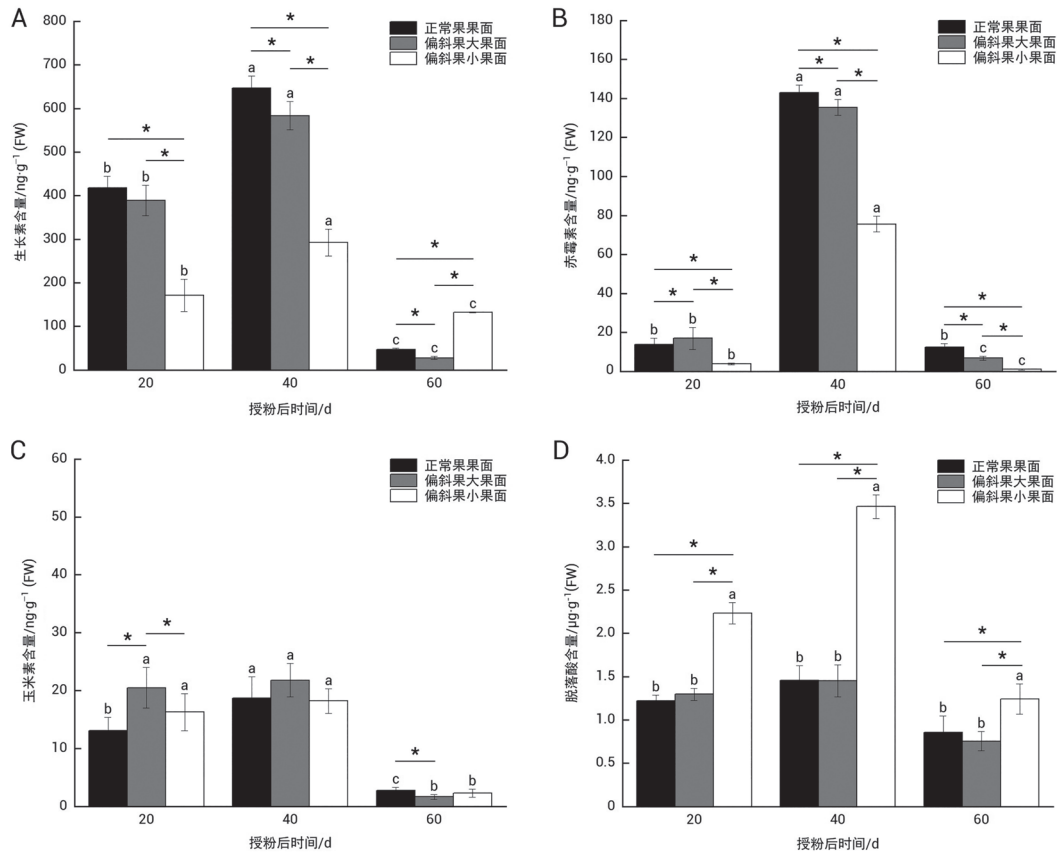


图6 偏斜果与正常果内源激素含量变化

Fig. 6 Changes in endogenous hormone contents in lopsided and normal fruits

A、B、C、D分别为果实生长素、赤霉素、玉米素、脱落酸含量。不同小写字母为不同时期相同果面内源激素含量在 $P<0.05$ 水平差异显著; *为同一时期不同果面内源激素含量在 $P<0.05$ 水平差异显著。

著, 两者均对偏斜果小果面的ZT含量($2 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$)差异不显著。

2.3.4 ABA含量

偏斜果小果面ABA含量均显著高于偏斜果大果面与正常果, 三者变化趋势一致(图6-D), 均呈现先上升后下降的变化趋势, 且偏斜果大果面与正常果在三个时期差异均不显著。授粉后40 d三者ABA含量均达到最大值, 此时偏斜果小果面($3.464 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)与大果面($1.453 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)、正常果($1.458 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)相差幅度最大, 分布相差2.011和2.006 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。此外, 三者授粉后60 d达到最小值, 为854 (正常果果面)、756 (偏斜果大果面)和124 (偏斜果小果面) $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 此时偏斜果小果面与偏斜果大果面和正常果均差异最小, 为484和386 $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

3 讨论

3.1 ‘库尔勒香梨’果形偏斜发生规律

果实形状作为果树果实重要的外观品质通常会受到多种因素影响, 并随着果实生长发育不断发生变化(Wang等2022)。王海儒(2013)研究发现, 阿克苏‘红富士’果形偏斜指数随着果实生长逐渐升高, 花期结束至8月20日为调控偏斜果的最佳时期。在本研究中, ‘库尔勒香梨’随着果实生长, 果形偏斜现象不断加剧, 其中授粉后40~60 d产生大量偏斜果, 偏斜现象明显, 与陈小明(2011)的研究结果一致, 推测是‘库尔勒香梨’幼果期结束到果实膨大初期, 随着果实横纵径与单果重增加, 着生方式为顶生状的果实受重力影响转向下垂状, 经

历由上至下的侧生过程,变化速度较快,导致果形发生偏斜。因此,为降低偏斜果数量,可以调整结果枝比例,适当增加中长结果果枝数量,选择合适位置让果实呈下垂状态。调查果形偏斜发生高峰期并保持幼果端正是防控果实出现偏斜的基础,本文发现授粉后40~60 d是‘库尔勒香梨’偏斜果发生高峰期,在此时期之前是调控果形偏斜的关键时期,与邵扬(2015)的研究结果相似。

3.2 ‘库尔勒香梨’果形偏斜与果实生长的关系

苹果和梨均属于单S型生长曲线,整个生长期表现为“慢~快~慢”(黄倩2020)。陈菲菲等(2015)通过对‘富士’苹果的研究,发现果形生长受纵径影响大于横径,且果实前期以纵向生长为主,后期以横向生长为主。本研究发现‘库尔勒香梨’偏斜果和正常果果形纵横径与单果重均呈单“S”生长曲线,而且,‘库尔勒香梨’大小果面主要体现在果实纵径的差异,而横径差异在授粉后90 d才逐渐表现出来,因此推测果实生长初期和中后期可以通过调节纵径与横径来减少偏斜果数量。何子顺等(2010)在对‘库尔勒香梨’龟背果的研究中发现龟背果的形成是由于果实纵向生长不均衡,而与横向生长关系不大,这与本研究结果一致,即偏斜果的大果面纵横径与正常果差异均不显著,推测偏斜现象发生主要与果实一侧果面的果肉细胞伸长不足或膨大不充分有关。在正常果与偏斜果偏斜率的研究中,偏斜果在授粉后10 d偏斜率就已达到23.71%,说明果形偏斜从授粉后就已经陆续产生,授粉是导致果形偏斜的重要因素;后续偏斜率逐渐上升,且偏斜果并未出现较正现象,说明‘库尔勒香梨’果实一旦发生偏斜,后续果形不会自动修正。有学者发现‘富士’苹果偏斜现象从幼果开始发生,但偏斜率先升高后略有降低(杜研2013),与本研究结果不同。

3.3 ‘库尔勒香梨’果形偏斜与内源激素的关系

结合本文前期统计学规律发现,‘库尔勒香梨’偏斜现象在授粉后20~60 d频繁出现,为偏斜高峰期。因此,我们分别测定该时间段三个时期的内源激素含量,探讨偏斜高峰期内源激素分布与偏斜果的关系。内源激素通过协调细胞分裂和扩展模式从而调节果实形状(McAtee等2013)。果实生

长前期高水平IAA有利于促进果实细胞分裂,促进横径的增加(杜研2013)。本研究中,‘库尔勒香梨’偏斜果小果面IAA含量在授粉后20和40 d显著低于正常果面与大果面,并在授粉后40 d大小果面差异较大,在授粉后60 d小果面显著高于其他果面,表明高浓度IAA可促进‘库尔勒香梨’幼果的生长发育,推测果实生长初期小果面IAA含量不足是发生果形偏斜的原因。这与番茄(姬雅静等2023)的研究结果一致,推测IAA有助于果实中GA₃的细胞合成与信号转导,从而促进果实的纵向伸长(Liao等2018); IAA与GA₃存在着一定的协调作用,两者在生长初期起到促进果形发育的作用。部分学者发现内源GA₃能够促进植物细胞伸长从而促进果实纵横径的生长(杨文莉等2017)。本研究中,‘库尔勒香梨’正常果与偏斜果大小果面的GA₃含量呈现先急剧上升后迅速下降趋势,说明从果实生长初期开始,GA₃先大量积累后大量消耗,且偏斜果小果面三个时期显著低于大果面与正常果。结合果实生长动态来看,偏斜果小果面在生长前期GA₃含量不足会影响其纵径生长,从而导致偏斜果的形成,且GA₃变化与IAA相似,主要表现在果实幼果期,说明GA₃不仅促进细胞伸长,而且能诱导IAA水平增高,进而影响果形(Mariotti等2011)。综上所述,IAA与GA₃可能是影响果形偏斜的主要内源激素,可通过外源激素喷施改善‘库尔勒香梨’果形偏斜现象,解决生产中的实际问题。ZT影响果形的说法一直存在争议,本研究发现,三种果面ZT含量在不同时期一直保持较低水平,相比其他内源激素,不同果面ZT含量差异较小,且果肉中ZT含量高低对偏斜果关系不大,郭建(2016)在蟠桃中的研究结果相似。在‘富士’苹果的研究中发现,正常果的ZT含量均高于畸形果,且高浓度ZT通过细胞分裂实现果实体积增大,从而影响果形发育(王海儒2013),与本研究结果不一致,可能与采样时期不同有关。本研究中‘库尔勒香梨’小果面ABA含量在三个时期均显著高于大果面与正常果面,并在授粉后40 d达到峰值,且三者ABA含量均明显高于其他内源激素,说明果实生长前期偏斜果中小果面高水平ABA抑制果实纵横径的生长,导致果形偏斜(马文瑶等2018);高水平的ABA抑制了IAA和GA₃的合

成,从而抑制了果实纵横径的伸长,导致果形偏斜(鲁敏等2020)。

综上所述,‘库尔勒香梨’在授粉后10 d开始发生果形偏斜现象,授粉后40~60 d为斜果发生高峰期。偏斜果与正常果生长趋势相近,偏斜果大小果面纵径差异大于横径,且偏斜率后续不会降低。大小果面内源激素分布不均是导致‘库尔勒香梨’果实偏斜现象的重要原因,授粉后20~40 d小果面IAA与GA₃含量显著小于大果面与正常果,ABA与之相反,ZT则一直保持在较低水平,说明IAA、GA₃和ABA含量差异是导致‘库尔勒香梨’发生偏斜的关键因素。

参考文献(References)

- Cai XL, Pan JC, Huang SJ, et al (2017). Relationship between seed development and fruit skew individual of custard apple (*Annona squamosa* L.). *Chin J Trop Crops*, 38 (1): 59–63 (in Chinese with English abstract) [蔡小林, 潘介春, 黄思捷等(2017). 种子发育状况与台湾凤梨释迦果实偏斜相关性分析. *热带作物学报*, 38 (1): 59–63]
- Chen FF (2015). The effect on development of ‘Fuji’ apple seed and fruit quality formation with pollination cultivar (dissertation). Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University (in Chinese with English abstract) [陈菲菲(2015). 授粉品种对富士苹果种子发育与果实品质形成的影响(学位论文). 陕西杨凌: 西北农林科技大学]
- Chen XM (2010). Research on the induction factors of pear deviation (dissertation). Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese with English abstract) [陈小明(2010). 梨果形偏斜因子研究(学位论文). 北京: 中国农业科学院]
- Du Y (2013). Study on the formation mechanism and regulation of fruit shape of ‘Fuji apple’ in Akesu (dissertation). Urumqi: Xinjiang Agricultural University (in Chinese with English abstract) [杜研(2013). 阿克苏富士苹果果形形成机理与调控研究(学位论文). 乌鲁木齐: 新疆农业大学]
- Gu ZM (2022). Changes of seed development and hormone content in kiwi fruit during fruit growth (dissertation). Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University (in Chinese with English abstract) [顾子民(2022). 猕猴桃果实生长过程中种子发育及其激素含量的变化(学位论文). 陕西杨凌: 西北农林科技大学]
- Guo J (2016). Gene discovery of fruit shape and physiological mechanism investigation in flat peach (dissertation). Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (in Chinese with English abstract) [郭建(2016). 蟠桃果形基因发掘及生理机制探讨(学位论文). 北京: 中国农业科学院]
- Hao ZC, Wen Y, Tian J, et al (2022). Relationship between sepal abscission and phytohormones in different parts of Korla fragrant pear. *Plant Physiol J*, 58 (7): 1369–1380 (in Chinese with English abstract) [郝志超, 温玥, 田嘉等(2022). 库尔勒香梨萼片脱落与离区不同部位植物激素的关系. *植物生理学报*, 58 (7): 1369–1380]
- He ZS, Li SQ, Ruxianguli M, et al (2010). Brief analysis of tortoise-back-shaped fruit of Korla fragrant pear. *J Tarim Univ*, 22 (2): 32–36 (in Chinese with English abstract) [何子顺, 李世强, 茹仙古丽·买买提等(2010). 库尔勒香梨龟背状果实性状浅析. *塔里木大学学报*, 22 (2): 32–36]
- He ZS, Ren H, Ayimuguli W, et al (2012). Analysis on commercial characters of Korla fragrant pear in Korla city. *Shanxi Fruits*, (4): 44–46 (in Chinese with English abstract) [何子顺, 任红, 阿衣木古丽·乌布力等(2012). 库尔勒市库尔勒香梨产业存在问题分析. *山西果树*, (4): 44–46]
- Huang Q (2020). Comparative study on fruit quality formation and microstructure changes of ‘Jinzu Sand-pear’, ‘Yuan-huang’ and ‘Huangguan’ (dissertation). Luoyang, Henan: Henan University of Science and Technology (in Chinese with English abstract) [黄倩(2020). ‘金珠沙梨’与‘圆黄’、‘黄冠’果实品质形成及显微结构变化对比研究(学位论文). 河南洛阳: 河南科技大学]
- Ji YJ, Li JY, Zhang PY, et al (2023). Research progress on the regulatory mechanism of shape formation in tomato fruit. *Acta Horti Sin*, 50 (9): 2015–2030 (in Chinese with English abstract) [姬雅静, 李金焱, 张沛宇等(2023). 番茄果实形状的调控机制研究进展. *园艺学报*, 50 (9): 2015–2030]
- Li F, Wu J, Hu R, et al (2011). Quantitative analysis and classification of fruit shape in Korla pear. *J Shihezi Univ Nat Sci*, 29 (4): 514–517 (in Chinese with English abstract) [李凡, 吴杰, 胡蓉等(2011). 库尔勒香梨果形的定量描述及分类. *石河子大学学报(自然科学版)*, 29 (4): 514–517]
- Liang JW (2014). Study on the effects of exogenous hormones on Fuji fruit shape (dissertation). Urumqi: Xinjiang Agricultural University (in Chinese with English abstract) [梁家伟(2014). 外源激素对富士苹果果形影响的研究(学位论文). 乌鲁木齐: 新疆农业大学]
- Liao X, Li M, Liu B, et al (2018). Interlinked regulatory loops of ABA catabolism and biosynthesis coordinate fruit growth and ripening in woodland strawberry. *Proc Natl Acad Sci USA*, 115 (49): E11542–E11550
- Lu M, Huang YX, Wang GL, et al (2020). The correlation between the dynamic distribution and content of endogenous hormones and the kiwi fruit shape during ‘Guichang’

- fruits development. *Plant Physiol J*, 56 (10): 2159–2167 (in Chinese with English abstract) [鲁敏, 黄亚欣, 王国立等(2020). ‘贵长’猕猴桃果实内源激素的动态分布及含量变化与果实形状发育的关系. *植物生理学报*, 56 (10): 2159–2167]
- Ma WY, Cheng DW, Gu H, et al (2018). Advances in ABA promoting fruit coloration. *J Fruit Sci*, 35 (8): 1016–1026 (in Chinese with English abstract) [马文瑶, 程大伟, 顾红等(2018). 脱落酸(ABA)促进果实着色研究进展. *果树学报*, 35 (8): 1016–1026]
- Mariotti L, Picciarelli P, Lombardi L (2011). Fruit-set and early fruit growth in tomato are associated with increases in indoleacetic acid, cytokinin and bioactive gibberellin contents. *J Plant Growth Regul*, 30 (4): 405–415
- Matsumoto S, Soejima J, Maejima T (2012). Influence of repeated pollination on seed number and fruit shape of ‘Fuji’ apples. *Sci Hortic*, 137: 131–137
- McAtee P, Karim S, Schaffer R, et al (2013). A dynamic interplay between phytohormones is required for fruit development, maturation, and ripening. *Front Plant Sci*, 4: 79
- Normann A, Röding M, Wendin K (2019). Sustainable fruit consumption: the influence of color, shape and damage on consumer sensory perception and liking of different apples. *Sustainability*, 11 (17): 4626
- Shao Y (2015). Study on changes of lopsided fruit and factors lead to lopsidedness of fruit in Korla fragrant pear (dissertation). Urumqi: Xinjiang Agricultural University (in Chinese with English abstract) [邵扬(2015). 库尔勒香梨偏斜果生长变化和成因的研究(学位论文). 乌鲁木齐: 新疆农业大学]
- Song XN (2019). Investigation of freezing injury and freezing resistance of six varieties during apple florescence (dissertation). Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University (in Chinese with English abstract) [宋雪娜(2019). 6个苹果品种花期冻害调查及抗冻性分析(学位论文). 陕西杨凌: 西北农林科技大学]
- Sun JS, Ma BK, Zhang WC (1999). A study on mechanism of fruit shape in red Fuji apples. *J Agric Univ Hebei*, 22 (4): 38–41 (in Chinese with English abstract) [孙建设, 马宝焜, 章文才(1999). 红富士苹果果形偏斜的机理研究. *河北农业大学学报*, 22 (4): 38–41]
- Wang G, Gao X, Wang X, et al (2022). Transcriptome analysis reveals gene associated with fruit size during fruit development in pear. *Sci Hortic*, 305: 111367
- Wang HR (2013). Study on Xinjiang Akesu Fuji fruit shape regulation (dissertation). Urumqi: Xinjiang Agricultural University (in Chinese with English abstract) [王海儒(2013). 新疆阿克苏红富士果形调控的研究(学位论文). 乌鲁木齐: 新疆农业大学]
- Wu S, Ma LY, Duan J, et al (2017). Changes of endogenous hormones in *Xanthoceras sorbifolium* Bunge at florescence and fruit periods. *J Northwest A&F Univ Nat Sci Ed*, 45 (4): 111–118 (in Chinese with English abstract) [吴尚, 马履一, 段劼等(2017). 文冠果花期和果期内源激素的动态变化规律. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 45 (4): 111–118]
- Wu ZB (2022). Study on the mechanism of auxin alleviating the occurrence of tomato locules malformed fruit under night low temperature (dissertation). Shenyang: Shenyang Agricultural University (in Chinese with English abstract) [吴志斌(2022). 生长素缓解低夜温下番茄多心室畸形果发生的机制解析(学位论文). 沈阳: 沈阳农业大学]
- Yang WL, Zhou WQ, Zhao SR, et al (2017). Effects of GA₃ on fruit setting and fruit quality of Luntai *Amerniaca vulgaris*. *Xinjiang Agric Sci*, 54 (4): 597–604 (in Chinese with English abstract) [杨文莉, 周伟权, 赵世荣等(2017). GA₃对轮台白杏坐果及果实品质的影响. *新疆农业科学*, 54 (4): 597–604]