

不同刻芽处理对苹果枝条内源激素 和发芽成枝的影响

王海芬¹,袁军伟²,张海娥²,张京政¹,曹 飞¹,郭春磊¹,张丽丽¹,齐永顺¹

(1.河北科技师范学院园艺科技学院,河北 昌黎 066600;2.河北省农林科学院昌黎果树研究所,河北 昌黎 066600)

摘 要:为揭示苹果枝条内源激素动态特征与发芽成枝对不同刻芽处理的差异性反应,探明不同刻芽处理条件下苹果内源激素调控枝条芽眼萌发的机制,以 3 a 生‘中秋王’苹果的 1 a 生枝条为材料,设全刻芽(T1)、基部刻芽(T2)、中部刻芽(T3)、上部刻芽(T4)4 个处理,以不做刻芽处理的枝条为对照(CK),研究其内源激素含量与枝条萌发成枝的关系。结果表明,刻芽处理可显著提高中秋王苹果枝条刻芽部位的萌芽率、成枝力($P<0.05$),萌芽率和成枝率整体分别较 CK 提高了 9.3%和 171.7%。枝条萌芽率与成枝力呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数为 0.643,与长枝率、短枝率呈显著正相关和负相关($P<0.05$),相关系数分别为 0.594 和 -0.613。刻芽后,枝条被刻部分芽中 IAA 和 GA₃ 含量最高,分别较 CK 提高 26.5%和 40.3%,而 ABA 含量较 CK 降低了 66.1%。刻芽后 7 d 枝条芽中 ZT/IAA 比值和刻芽后 14 d ZR/GA₃ 比值与萌芽率负相关性最好,相关系数分别为 -0.731 和 -0.719,说明这两个指标对枝条萌芽的调控作用最大。

关键词:苹果刻芽;内源激素含量;萌芽率;成枝力

中图分类号:S66 **文献标志码:**A

Different responses of endogenous hormones and germinating and sprouting to bud-notching of different ways in apple branches

WANG Haifen¹, YUAN Junwei², ZHANG Hai'e², ZHANG Jingzheng¹, CAO Fei¹,
GUO Chunlei¹, ZHANG Lili¹, QI Yongshun¹

(1. College of Horticulture Science and Technology, Hebei Normal University of
Science & Technology, Changli, Hebei 066600, China;

2. China Changli Research Institute of Pomology, Hebei Academy of Agriculture and
Forestry Sciences, Changli, Hebei 066600, China)

Abstract: In order to reveal the different response of endogenous hormones and germinating and sprouting to bud notching of different ways and the mechanism that endogenous hormones regulate the bud germinating in apple branches, juvenile branches of 3-year-old trees of *Malus pumila* ‘Middle-Autumn King’ were treated with different ways including bud-notching all (T1), bud-notching in base (T2), middle (T3), upper (T4) parts of a branch, and no bud-notching as control to study the relationship between dynamics of endogenous hormones and sprouting in branches. The results showed that the germination rate and sprouting rate were significantly increased by 9.3% and 171.7%, respectively ($P<0.05$). There was a significant positive correlation ($P<0.01$) between the germination rate and sprouting rate with a correlation coefficient of 0.643. There was a significant positive correlation and a negative correlation ($P<0.05$) between the germination rate and long shoot rate and short shoot rate with a correlation coefficients of 0.594 and -0.613, respectively. After buds cutting, the highest IAA and GA₃ contents in the cut part of shoots increased by 26.5% and 40.3%, respectively, while the highest ABA content decreased by 66.1%. The ZT/IAA ratio after 7 days of bud-cutting and the ZR/GA₃ ratio after 14 days of bud-cutting

had the best correlation with the bud germination rate with a correlation coefficients of -0.731 and -0.719 , respectively, which indicated that these two indexes had the greatest regulation effect on bud germination.

Keywords: apple bud-notching; endogenous hormones content; germination rate; sprouting rate

适宜的枝量以及合理的枝条分布是苹果可持续性生产并保证产量和质量的关键^[1]。对于成枝力弱的苹果品种,刻芽可有效改善其枝条不同部位激素分布和含量,促进枝条萌芽发枝,便于生产者合理留枝,促进树体尽早成形,利于早期产量的提高^[2]。明确苹果枝条内源激素动态特征与发芽成枝对不同刻芽处理的差异反应,对于适宜刻芽方式的选择有重要指导意义^[3]。果树内源激素与枝条萌芽、成花坐果关系密切,适宜的栽培措施可通过调控不同内源激素的平衡来调节树体营养和生殖平衡^[4],内源激素的含量及不同激素比例可作为衡量栽培措施是否得当的重要依据。对于树势强旺苹果品种如‘中秋王’等,顶端优势明显,下部侧芽萌发成枝力较弱,严重影响整形效果^[5-8]。刻芽技术可显著影响果树枝条内源激素的分布^[9],削弱枝条顶端优势,缓和树势,促进辅养枝及骨干枝侧芽的萌芽成枝,并为花芽分化打下基础^[10]。此类研究已有先例,刻芽对改善富士苹果通风透光条件、促发短枝、缓和生长势、促进花芽形成作用显著^[11]。Anita S 等^[12]认为从树体结构来看,果树产量是由 1 年生枝条上新梢的分布、花芽数量及其着生的位置共同决定的。刻芽处理对文冠果枝条各部位芽的内源激素影响显著,同一刻芽枝条侧芽的内源激素含量均高于对照组,枝条经刻芽处理后,芽内的 GA_3 (赤霉素)、ZT (玉米素)、IAA (生长素) 含量均呈增加趋势,而 ABA 含量呈减少趋势,单刻芽的作用高于环刻芽^[13]。Bendokas^[14] 和 Veronica^[15] 等都认为植物内源激素与侧枝发生以及成花坐果之间的关系极大,且对幼树侧芽的腋花芽影响大于顶花芽。关于刻芽对果树促发新梢的研究多集中在对于刻芽最终效果的评价方面^[16-18],而刻芽处理苹果枝条不同部位内源激素的动态特征及其与发芽成枝的关系鲜有报道。本研究以‘中秋王’苹果 3 a 生幼树的 1 a 生枝条为研究对象,经不同刻芽处理后,对比其枝侧芽激素动态、萌芽率、新梢生长等方面的变化,旨在为探讨调控苹果芽体萌发、成枝的生理机制提供理论参考,从而更好地指导苹果整形栽培实践。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2018 年在河北省抚宁县榆关镇东周村安

鑫苹果生产基地进行。该基地位于燕山东段 ($119.3^{\circ}E, 39.9^{\circ}N$), 在抚宁县东 15 km 处, 海拔高 113 m, 年均降水量 580 mm, 年均气温 $10.6^{\circ}C$, 无霜期 172 d, 属暖温带半湿润大陆性季风气候。土壤 pH 值为 6.9, 有机质含量为 1.28%, 土壤为褐色砂质壤土。

1.2 试验材料

供试品种为生长势一致的 3 a 生‘中秋王’苹果, 2015 年春季栽植, 基砧为八棱海棠 (*Malus × robusta* (CarriŠre) Rehder), M26 为矮化中间砧, 株行距为 3 m×4 m, 管理良好。

1.3 试验方法

2018 年 3 月 17 日, ‘中秋王’苹果树体萌芽前在中心干上选取位置相同、长势一致、长度约为 60~70 cm 的 1 a 生枝条 (枝条与中心干基角大约 60°) 进行刻芽处理, 设置 4 个处理: T1 (全部刻芽): 从枝条基部第 6 个芽开始往上每个芽刻一刀, 连续刻到第 35 个芽; T2 (基部刻芽): 从枝条基部第 5 个芽开始往上每个芽刻一刀, 连续刻到第 15 个芽; T3 (中部刻芽): 从枝条基部第 15 个芽开始往上每个芽刻一刀, 连续刻到第 25 个芽; T4 (上部刻芽): 从枝条基部第 25 个芽开始往上每个芽刻一刀, 连续刻到第 35 个芽; 以不做刻芽处理的枝条作为对照 (CK)。每个处理重复 3 次, 每个重复包含 10 个枝条。刻芽时用芽接刀在每个芽体上方 5 mm 处横切一刀, 深达木质部, 长度为枝条周长的 $1/3$ ^[19]。

1.4 指标测定

1.4.1 萌芽率 刻芽处理后 1 个月, 分别调查不同处理枝条各部位 (包括基部、中部及上部) 的萌芽率。

萌芽率 (%) = 萌发芽数 / 调查总芽数 × 100

1.4.2 成枝力、枝类组成 新梢停止生长后, 分别调查不同处理枝条基部、中部及上部成枝力、枝类组成类型 (短枝 < 5 cm, 中枝 5~20 cm, 长枝 > 20 cm) 等形态指标^[17]。

成枝力 (%) = 长枝数 / 调查总芽数 × 100

1.4.3 枝条芽体中的激素含量 试验材料采集: 处理后分别于 0、7、14、21、28 d 采集上、中、下 3 个部位的芽体 (萌发芽采萌芽后的全部芽体), 立即放入冰盒带回实验室, 液氮速冻后于超低温冰箱保存, 待测。

主要仪器和试剂: 日本岛津公司 SHIMADZULC

-10ATvp 型高效液相色谱仪,SPD-10ATvp 紫外检测器。甲醇为色谱纯;其他试剂均为分析纯;IAA、GA、ZT、ZR 和 ABA 标准品均为 Sigma 公司产品;试验用水为超纯水。

色谱条件:色谱柱为岛津生产的 Shim-pack VP-ODS C18 柱(250×4.6 mm, 粒径 4.6μm);流动相为甲醇:超纯水(含 0.5%冰乙酸)=45:55;0.45 μm 有机系超微滤膜等。温度为 30℃,进样量 10 μL,流速为 0.7 mL·min⁻¹,检测波长 254 nm。定量方法为外标法^[20],每个样品激素含量测定设置 3 次重复。

内源激素的提取:参照侯凯等^[21]的 HPLC 法略加改动。称取 0.1 g 的样品,加入液氮研磨后分 3 次加 6 mL 80%的甲醇(含 1%冰乙酸)提取,4℃浸提 15 h 后,4℃10 000 r·min⁻¹离心 10 min,吸取上清液 1 mL 用含 1%冰乙酸的超纯水稀释至甲醇含量为 10%后混匀,过活化的 C18 小柱,用 3mL 10%的甲醇清洗杂质,再加入 1 mL 80%的甲醇(含 1%冰乙酸)洗脱,收集洗脱液过 0.45 μm 滤膜后,直接上样测定 IAA、GA₃、ZT、ZR、ABA 激素含量。

内源激素含量的计算公式为^[13]:

$$c = (S_1 \times c_s) / S_i \times m$$

式中,*c* 代表样品内源激素浓度(ng·g⁻¹);*c_s* 代表标样浓度(ng·g⁻¹);*S₁* 表示样品峰面积;*S_i* 代表标样峰面积;*m* 代表样品质量(g)。

1.5 数据分析

所有数据采用新复极差法进行显著性差异分析,软件为 Excel 2010 和 SPSS 16.0。

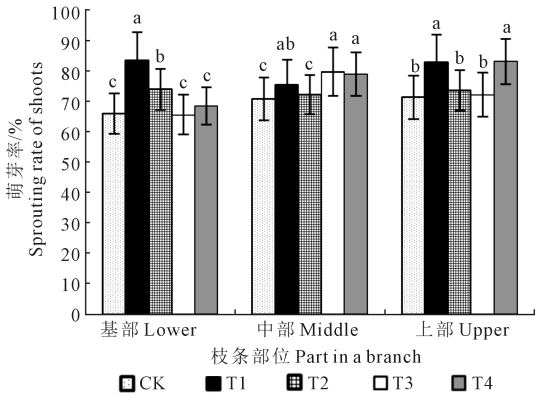
2 结果与分析

2.1 不同刻芽方式对苹果枝条各部位萌芽率的影响

形态观察结果显示:刻芽处理后 14 d(即 3 月 31 日)为芽膨大期,刻芽处理后 21 d(即 4 月 7 日)为芽开绽期,刻芽处理对物候期无显著影响。由图 1 可见,对照枝条各部位萌芽率由高到低依次为:上部>中部>基部。刻芽 1 个月后,枝条总体萌芽率较对照均有显著提高(*P*<0.05,下同),枝条基部萌芽率 T1、T2 处理显著高于 CK,T1 处理最高,为 83.6%,而 T3、T4 处理虽较 CK 有所提高,但差异不显著,枝条中部萌芽率除 T2 处理与 CK 无显著差异外,其他处理均显著高于 CK,枝条上部萌芽率 T1、T4 处理显著高于 CK,T4 处理最高,为 83.2%,而 T2、T3 处理虽较 CK 有所提高,但无显著差异。

2.2 不同刻芽方式对苹果枝条发枝特性的影响

由表 1 可见,对照枝条成枝力由高到低依次为:



注:图中不同小写字母表示处理间差异显著(*P*<0.05)。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference between treatments (*P*<0.05).

图 1 不同处理下枝条各部位萌芽率对比

Fig.1 Comparison of germination rate of different parts of branches in different treatments

上部>中部>基部。刻芽处理可显著提高枝条被刻部位和相邻部位的中长枝所占比例,相应降低短枝率。基部成枝力和长枝率以 T2 处理最高,为 8.7%,短枝率最低,为 74.1%,中枝率 T4 处理最高,为 15.6%;枝条中部成枝力和长枝率 T3 处理最高,分别为 18.1%和 22.5%,T4 处理短枝率最低(55.6%)而中枝率最高(23.8%);枝条上部成枝力和长枝率 T4 处理最高,分别为 35.4%和 42.5%,短枝率 T4 处理最低,为 35.8%。

2.3 不同刻芽方式对苹果枝条内源激素含量的影响

2.3.1 内源 IAA 的变化 由表 2 可见,从对照枝条 IAA 分布特征看,IAA 含量由高到低依次为上部>中部>基部。刻芽后,枝条各部位 IAA 含量均呈先增加后降低的趋势,IAA 含量最高峰均出现在处理后 14 d,此时处于芽膨大期,说明芽膨大期枝条为各部位 IAA 含量最高的时期。刻芽处理后 7 d,枝条基部 IAA 含量 T2 处理最高,为 7 499.3 ng·g⁻¹,枝条中部 IAA 含量 T3 处理最高,为 9 084.2 ng·g⁻¹,枝条上部 IAA 含量 T4 处理最高,为 9 651.4 ng·g⁻¹。刻芽处理后 14 d,枝条基部 IAA 含量 T2 处理最高,为 8 265.7 ng·g⁻¹,枝条中部 IAA 含量 T3 处理最高,为 9 679.5 ng·g⁻¹,枝条上部 IAA 含量 T4 处理最高,达 12 325.1 ng·g⁻¹,说明刻芽可显著提高枝条被刻部位芽体中 IAA 含量。

2.3.2 内源 GA₃ 的变化 由表 3 可见,从对照枝条 GA₃ 分布特征看,GA₃ 含量由高到低依次为上部>中部>基部。刻芽后,枝条各部位 GA₃ 含量均呈先增加后降低的趋势,其中,枝条上部 GA₃ 含量最高峰出现在处理后 14 d(即芽膨大期),而枝条基部和中部

GA₃含量最高峰出现在处理后 21 d(即芽开绽期)。刻芽处理后 7 d,枝条基部 GA₃含量 T2 处理最高,达 24 329.4 ng · g⁻¹,枝条中部 GA₃含量 T1、T3 处理显著高于 CK。刻芽处理后 14 d,除 T2 处理与 CK 无显著差异外,其他处理枝条上部 GA₃含量均显著高于 CK。刻芽处理后 21 d,枝条基部 GA₃含量,T1、T2 处理显著高于 CK,枝条中部 GA₃含量 T1、T3 处理显著高于 CK。说明刻芽可显著提高枝条被刻部位及相邻部位芽体中 GA₃含量。

2.3.3 内源 ZT 的变化 由表 4 可见,从对照枝条 ZT 分布特征看,ZT 含量由高到低依次为上部>基部、中部。刻芽后 14 d 内枝条芽眼中 ZT 含量略有

增加,但增加不显著($P<0.05$),而 14 d 后 ZT 含量迅速下降。说明枝条休眠芽打破休眠过程中 ZT 含量高峰出现在处理后 14 d(即芽膨大期),而刻芽对枝条 ZT 含量无影响。

2.3.4 内源 ZR 的变化 由表 5 可见,从对照枝条 ZR 分布特征看,ZR 含量由高到低依次为上部>基部、中部。刻芽后 14 d 内枝条芽眼中 ZR 含量略有增加,但增加不显著($P<0.05$,下同),而 14 d 后 ZR 含量开始下降。刻芽处理后 7 d,枝条基部 ZR 含量除 T4 处理与 CK 无显著差异($P>0.05$,下同)外,其他处理均显著高于 CK,对于枝条中上部 ZR 含量,所有处理与 CK 均无显著差异。刻芽处理后 14 d,

表 1 不同刻芽处理下枝条各部位的发枝特性

Table 1 Effects of different ways of bud-notching on sprouting in branches

枝条部位 Part in a branch	处理 Treatment	成枝力/% Sprout rate	短枝率/% Short shoot rate	中枝率/% Medium shoot rate	长枝率/% Long shoot rate
基部 Lower part	CK	3.7±0.3k	92.5±4.6a	2.0±0.8j	5.6±0.5j
	T1	5.9±0.5ij	84.7±4.1b	8.3±0.6hi	7.0±0.6ij
	T2	8.7±0.6h	74.1±3.6de	14.2±0.9cd	11.8±0.9h
	T3	5.5±0.4ijk	81.3±3.9bc	10.5±0.8fg	8.3±0.7hi
	T4	4.8±0.3jk	77.5±3.6cd	15.6±1.0c	6.9±0.5ij
中部 Middle part	CK	5.3±0.5jk	85.5±4.3b	7.5±0.6i	7.5±0.6ij
	T1	14.6±0.9f	68.2±3.6e	12.5±0.8de	19.3±1.4d
	T2	12.2±0.8g	69.3±3.9e	8.1±0.6hi	16.6±1.1g
	T3	18.1±1.2e	58.1±3.3f	9.4±0.7gh	22.5±1.5d
	T4	16.3±1.1ef	55.6±3.1f	23.8±1.8a	20.6±1.4de
上部 Upper part	CK	7.3±0.6hi	70.3±3.8e	19.5±1.3c	10.1±0.6gh
	T1	26.7±1.6b	55.4±2.9f	12.4±0.9de	32.2±1.9b
	T2	20.4±1.4d	60.1±3.6f	12.2±0.8ef	27.6±1.8c
	T3	22.4±1.7c	55.5±3.2f	14.1±0.9d	30.4±1.9b
	T4	35.4±2.2a	35.8±2.1g	21.7±1.2b	42.5±2.7a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。
Note: Different lowercase letters in same column indicate significant difference ($P<0.05$). The same below.

表 2 不同刻芽处理下枝条各部位芽体 IAA 含量动态/(ng · g⁻¹)

Table 2 Dynamics of IAA content treated with different ways of bud-notching in different parts of branches

枝条部位 Part in a branch	处理 Treatment	刻芽后天数 Time after bud-notching/d				
		0	7	14	21	28
基部 Lower part	CK	4449.9±198.2c	5656.9±293.2j	6535.6±326.7i	2573.8±128.7i	1236.4±61.8g
	T1	4449.9±198.2c	7016.9±354.3 g	7928.4±396.4gh	5034.8±254.6e	3565.8±178.3c
	T2	4449.9±198.2c	7499.3±374.9def	8265.7±402.4efg	2952.2±147.6hi	2669.6±143.3d
	T3	4449.9±198.2c	6322.2±316.7hi	7297.6±384.9h	3770.5±188.5fg	1940.9±97.1f
	T4	4449.9±198.2c	6785.4±339.4gh	7804.8±392.2gh	4684.3±234.2e	1333.5±66.7g
中部 Middle part	CK	5335.1±215.4b	6331.4±326.5 hi	7961.6±408.1fgh	6545.0±327.2cd	1236.2±61.6g
	T1	5335.1±215.4b	8392.3±369.7c	9178.5±459.0cd	6869.3±343.4bcd	1408.2±78.4g
	T2	5335.1±215.4b	7777.8±374.3d	8082.2±374.3fgh	6518.9±325.9d	1201.8±62.3g
	T3	5335.1±215.4b	9084.2±482.3b	9679.5±483.5c	7108.3±355.4ab	2189.5±109.5e
	T4	5335.1±215.4b	7409.7±383.5def	8927.7±446.4de	7021.3±345.5abc	1307.4±65.4g
上部 Upper part	CK	6681.2±341.1a	7455.2±372.8 def	8776.0±438.8ef	3317.6±165.8gh	1836.7±91.8f
	T1	6681.2±341.1a	8576.4±418.3c	11878.4±592.6a	7178.4±358.9ab	4178.0±208.9b
	T2	6681.2±341.1a	7641.1±305.6d	9415.2±464.4cd	4052.2±198.3f	2614.1±130.7d
	T3	6681.2±341.1a	7465.1±407.9 def	10718.5±525.9b	4111.0±205.6f	3388.9±169.5c
	T4	6681.2±341.1a	9651.4±472.5a	12325.1±616.2a	7476.5±373.7a	4473.1±223.6a

表 3 不同刻芽处理下枝条各部位芽体 GA₃ 含量动态/(ng·g⁻¹)

Table 3 Dynamics of GA₃ content treated with different ways of bud-notching in different parts of branches

枝条部位 Part in a branch	处理 Treatment	刻芽后天数 Time after bud-notching/d				
		0	7	14	21	28
基部 Lower part	CK	16942.8±847.1c	18990.9±848.5g	20003.4±947.4h	19679.6±883.1e	12983.7±649.1j
	T1	16942.8±847.1c	19166.5±859.3g	24858.7±1142.9efg	26235.2±1211.7d	14765.2±678.3hi
	T2	16942.8±847.1c	24329.4±1116.4ef	22512.8±1025.6g	27606.5±1280.3cd	13857.5±692.9ij
	T3	16942.8±847.1c	19779.8±899.9g	25345.0±1267.2def	20687.1±974.3e	15967.3±798.4fgh
	T4	16942.8±847.1c	19370.7±869.5g	23104.8±1055.3fg	20177.0±948.5e	12598.6±692.9j
中部 Middle part	CK	21675.7±938.7b	22522.3±1026.1f	22761.6±1038.5g	25259.5±1262.8d	15181.3±749.2ghi
	T1	21675.7±938.7b	26198.7±1209.9de	26158.4±1207.9de	33702.6±1585.2ab	19119.5±895.9cd
	T2	21675.7±938.7b	24055.5±1102.7f	27388.5±1269.4d	26419.8±1220.9d	16411.4±720.5h
	T3	21675.7±938.7b	26366.0±1218.3cde	25341.9±1167.1def	28857.9±1342.8c	17155.5±757.8ef
	T4	21675.7±938.7b	22317.7±1015.8f	24590.5±1129.5efg	25962.4±1198.1d	16151.3±707.5fg
上部 Upper part	CK	23680.6±941.6a	27431.7±1271.5cd	36220.9±1611.1c	31800.5±1350.4b	18542.7±827.1fgh
	T1	23680.6±941.6a	36259.5±1612.9a	39731.8±1786.5a	34935.0±1546.7a	24991.0±1249.5b
	T2	23680.6±941.6a	28403.1±1320.2c	36856.0±1642.8bc	32200.1±1410.3b	20455.8±972.7bc
	T3	23680.6±941.6a	33776.4±1588.8b	38697.1±1734.8ab	33206.2±1560.3ab	21672.1±983.6c
	T4	23680.6±941.6a	37074.1±1753.7a	40478.1±1832.2a	35063.8±1653.2a	27115.3±1255.7a

表 4 不同刻芽处理下枝条各部位芽体 ZT 含量动态/(ng·g⁻¹)

Table 4 Dynamics of ZT content treated with different ways of bud-notching in different parts of branches

枝条部位 Part in a branch	处理 Treatment	刻芽后天数 Time after bud-notching/d				
		0	7	14	21	28
基部 Lower part	CK	2378.7±113.9b	2657.5±129.9de	2768.7±138.4fg	1722.2±86.1dfe	1525.6±76.3bcd
	T1	2378.7±113.9b	2619.3±121.7e	2882.7±144.1efg	2147.2±107.4b	1618.2±80.9b
	T2	2378.7±113.9b	2668.4±135.4de	2737.3±136.9fg	1985.4±99.3bcd	1592.2±79.6b
	T3	2378.7±113.9b	2663.4±130.2de	2987.7±149.4def	2487.8±124.4a	1863.5±93.2a
	T4	2378.7±113.9b	2708.3±139.4cde	2598.1±129.9g	1663.6±83.2fe	1500.3±78.9bcd
中部 Middle part	CK	2579.9±126.8b	2885.8±151.3bcde	2889.9±144.5de	1875.6±93.8cde	1868.7±93.4a
	T1	2579.9±126.8b	2815.6±147.8cde	2846.6±142.3efg	2013.7±98.7bc	1579.3±74.8bc
	T2	2579.9±126.8b	2723.8±136.2cde	3321.3±166.1abc	2018.9±96.9bc	1280.7±67.8e
	T3	2579.9±126.8b	2922.5±146.1bcd	3094.9±154.7cde	1893.8±92.7cde	1967.3±98.4a
	T4	2579.9±126.8b	2741.8±137.1cde	2822.8±141.1efg	1807.8±90.4def	1434.4±71.7cd
上部 Upper part	CK	3182.4±152.1a	3085.5±154.3ab	3220.4±158.3bcd	2039.6±106.5bc	1623.3±81.2b
	T1	3182.4±152.1a	2959.8±143.7bc	3194.1±159.7bcd	1903.3±95.2cd	1921.7±96.1a
	T2	3182.4±152.1a	3277.3±163.9a	3324.8±166.2abc	1579.8±76.5e	1399.1±73.2de
	T3	3182.4±152.1a	3147.3±157.4ab	3451.4±172.6ab	2052.3±102.6bc	1901.9±95.1a
	T4	3182.4±152.1a	3152.2±157.6ab	3576.4±178.8a	1998.4±99.9bc	1539.1±76.3bcd

表 5 不同刻芽处理下枝条各部位芽体 ZR 含量动态/(ng·g⁻¹)

Table 5 Dynamics of ZR content treated with different ways of bud-notching in different parts of branches

枝条部位 Part in a branch	处理 Treatment	刻芽后天数 Time after bud-notching/d				
		0	7	14	21	28
基部 Lower part	CK	1321.5±64.5b	1403.2±70.2d	1538.1±76.9de	1256.8±62.8a	920.0±45.5bc
	T1	1321.5±64.5b	1575.3±78.8bc	1601.5±80.1cde	1192.9±59.6abc	788.6±39.4efg
	T2	1321.5±64.5b	1457.6±72.9cd	1520.7±76.0de	1102.8±55.1cde	944.2±47.2b
	T3	1321.5±64.5b	1623.6±81.2b	1659.8±83.0cd	1212.9±60.6abc	1063.0±53.2a
	T4	1321.5±64.5b	1392.0±69.6d	1443.4±72.2e	1183.9±59.2abc	754.6±37.7fg
中部 Middle part	CK	1433.3±74.8b	1543.0±77.2bcd	1605.5±80.3cde	1042.0±52.1de	933.6±46.7bc
	T1	1433.3±74.8b	1444.0±72.2cd	1525.5±76.3de	1241.0±62.1ab	739.8±37.0gh
	T2	1433.3±74.8b	1482.5±74.1bcd	1589.6±79.5cde	1232.7±61.6ab	859.0±43.0cde
	T3	1433.3±74.8b	1479.7±74.0bcd	1719.4±84.8bc	1023.6±50.7e	898.0±44.9bcd
	T4	1433.3±74.8b	1471.3±73.6bcd	1501.5±75.1de	1231.8±61.6ab	667.2±33.4h
上部 Upper part	CK	1768.0±85.3a	1925.3±96.3a	2044.7±102.2a	1133.1±56.7bcd	1097.9±54.9a
	T1	1768.0±85.3a	1888.8±94.4a	1719.0±79.6bc	1057.4±52.9de	919.4±46.6bc
	T2	1768.0±85.3a	1931.8±96.6a	1847.1±92.4b	1277.2±63.9a	826.0±41.3def
	T3	1768.0±85.3a	1948.5±97.4a	2073.1±103.7a	1171.7±58.6abc	974.3±48.7b
	T4	1768.0±85.3a	1984.5±99.2a	2020.2±101.1a	1224.8±61.2ab	902.7±42.1bcd

除枝条上部 ZR 含量 T1、T2 处理显著低于 CK 外,其他处理均与 CK 无显著差异。说明枝条休眠芽打破休眠过程中 ZR 含量高峰出现在处理后 14 d(即芽膨大期),但刻芽对 ZR 含量无影响。

2.3.5 内源 ABA 的变化 由表 6 可见,从对照枝条 ABA 分布特征看,ABA 含量由高到低依次为基部>中部>上部。刻芽后,枝条各部位 ABA 含量均呈先降低后增加的“V 型”趋势,其中,枝条基部和中部 ABA 含量在处理后 21 d 内逐渐降低,21 d 后含量迅速增加,而枝条上部 ABA 含量在处理后 14 d 内逐渐降低,而 14 d 后含量开始增加。刻芽处理后 7 d,枝条基部 ABA 含量 T1 处理最低,为 296.4 ng·g⁻¹,枝条中部 ABA 含量 T1、T3 处理显著低于 CK,枝条上部 ABA 含量 T1、T4 处理显著低于 CK。刻芽处理后 14 d,枝条基部 ABA 含量 T1 处理最低,为 169.3

ng·g⁻¹,枝条中部 ABA 含量 T3 处理最低,为 106.6 ng·g⁻¹,枝条上部 ABA 含量 T4 处理最低,为 40.7 ng·g⁻¹。说明解除休眠过程中枝条各部位芽体中 ABA 含量不断降低,而刻芽可显著降低枝条被刻部位及相邻部位芽体中 ABA 含量。

2.4 枝条萌芽率与成枝力、枝类组成的相关性分析

由表 7 可见,枝条萌芽率与成枝力呈极显著正相关($P<0.01$),与短枝率呈显著负相关($P<0.05$),与长枝率呈显著正相关($P<0.05$)。说明刻芽处理可显著提高芽的萌芽率、成枝力和抽生长枝的比率,可能是由于刻芽造成的逆境促进了从根部运输来的养分向枝条刻伤部位运输以修复枝条受伤部位,造成整个树体养分运输向刻芽处理的 1 a 生枝条倾斜,从而促进刻芽部位芽眼的萌发及新梢生长量的增加。

表 6 不同刻芽处理下枝条各部位芽体 ABA 含量动态/(ng·g⁻¹)

Table 6 Dynamics of ABA content treated with different ways of bud-notching in different parts of branches

枝条部位 Part in a branch	处理 Treatment	刻芽后天数 Time after bud-notching/d				
		0	7	14	21	28
基部 Lower part	CK	424.9±21.2a	370.2±18.1a	237.7±11.9a	157.4±8.9c	455.9±27.8a
	T1	424.9±21.2a	296.4±14.2c	169.3±8.5d	78.8±3.4f	279.9±13.9d
	T2	424.9±21.2a	298.8±15.6c	176.0±9.1d	62.7±3.7g	232.8±11.6e
	T3	424.9±21.2a	342.4±16.2b	189.2±8.6c	112.2±5.2e	327.4±16.4c
	T4	424.9±21.2a	360.7±17.8ab	209.1±9.5b	110.3±5.5e	302.4±15.1cd
中部 Middle part	CK	351.8±15.6b	283.5±13.2cd	147.9±7.4e	134.9±6.7d	431.2±21.6a
	T1	351.8±15.6b	172.1±8.7fg	119.2±6.5fg	69.8±3.5fg	206.4±11.3ef
	T2	351.8±15.6b	261.9±12.1d	121.9±6.7f	102.5±5.1e	373.1±18.7b
	T3	351.8±15.6b	171.9±8.6fg	106.6±4.3gh	45.8±2.8h	282.1±14.1d
	T4	351.8±15.6b	267.3±12.4d	139.5±7.0e	127.7±6.4d	290.1±14.5d
上部 Upper part	CK	293.7±14.7c	211.5±10.6e	116.8±5.8fg	199.3±11.3a	307.6±15.4cd
	T1	293.7±14.7c	152.8±12.6g	71.9±3.6i	100.3±5.2e	185.1±10.3fg
	T2	293.7±14.7c	201.2±10.8e	103.7±5.2h	171.9±8.6b	281.3±14.1d
	T3	293.7±14.7c	189.5±11.5ef	97.7±4.9h	167.3±8.4bc	229.1±11.5e
	T4	293.7±14.7c	172.3±12.8fg	40.7±2.8j	157.7±7.9c	171.0±8.6g

表 7 枝条萌芽率与成枝力、枝类组成的相关系数矩阵

Table 7 Matrix of correlation coefficients between any two of germination rate, sprout rate, short shoot rate, medium shoot rate, and long shoot rate

	萌芽率 Germination rate	成枝力 Branch rate	短枝率 Short shoot rate	中枝率 Medium shoot rate	长枝率 Long shoot rate
萌芽率 Germination rate	1.000				
成枝力 Sprouting rate	0.643**	1.000			
短枝率 Short shoot rate	-0.613*	-0.944**	1.000		
中枝率 Medium shoot rate	0.348	0.461	-0.675**	1.000	
长枝率 Long shoot rate	0.594*	0.996**	-0.943**	0.453	1.000

注: * 表示显著相关 ($P<0.05$), ** 表示极显著相关 ($P<0.01$)。下同。

Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$), ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$). The same below.

2.5 枝条萌芽率与内源激素含量的相关性分析

利用枝条萌芽率和不同时期内源激素含量进行相关性分析,由表 8 可见,枝条刻芽处理后 14 d IAA 含量与萌芽率呈极显著正相关($P<0.01$),刻芽处理后 14 d ABA 含量与萌芽率呈极显著负相关($P<0.01$),刻芽处理 7 d 枝条 IAA/ABA 比值与萌芽率呈极显著正相关($P<0.01$),刻芽处理 7 d 枝条 ZT/IAA 比值与萌芽率呈极显著负相关($P<0.01$),刻芽处理 14 d 枝条 ZR/GA₃比值与萌芽率呈极显著负相关($P<0.01$)。

3 讨 论

刻芽是果树上常用的促萌增枝技术措施^[22-24],春季刻芽可调节苹果旺枝的生长势,分散旺枝的顶端发枝优势,提高旺枝基部和中部发枝数,缓和旺枝生长势,促进树体尽早成形及早花早果^[25]。张建

表 8 枝条萌芽率与内源激素含量的相关系数矩阵

Table 8 Matrix of correlation coefficient between germination rate and endogenous hormone content

内源激素	刻芽后天数 Time after bud-matching/d				
Endogenous hormone	0	7	14	21	28
IAA	0.348	0.541 *	0.682 **	0.605 *	0.468
GA ₃	0.381	0.506	0.388	0.619 *	0.505
ZT	0.319	0.221	0.306	-0.015	0.086
ZR	0.319	0.280	0.174	-0.223	-0.362
ABA	-0.371	-0.626 *	-0.650 **	-0.318	-0.506
IAA/ABA	0.346	0.673 **	0.600 *	0.507	0.582
IAA/GA ₃	0.101	-0.007	0.193	0.308	0.429
GA ₃ /ABA	0.369	0.587 *	0.548 *	0.498	0.532 *
ZT/IAA	-0.380	-0.731 **	-0.615 *	-0.604 *	-0.605 *
ZR/GA ₃	-0.380	-0.459	-0.719 **	-0.641 *	-0.627 *
(IAA+GA ₃ +ZR)/ABA	0.363	0.607 *	0.560 *	0.506	0.616 *

光等^[26]在萌芽前对黄冠梨高接树 1a 生枝上所有芽进行刻芽处理,结果提高了成枝力、长枝率和枝条总生长量。Renton 等^[27]认为枝条萌发新梢长度是评价刻芽效果的一个重要指标。魏常燕等^[28]研究认为刻芽可提高核桃枝条萌芽率,但与对照差异不显著,萌芽成枝主要是由新梢的分布情况及其所着生的位置决定的。上述结论出现争议的原因可能是刻芽处理时期不同造成的,通常处理的时间越晚对萌芽率造成的影响越小^[29]。本研究中刻芽可显著提高枝条萌芽率和成枝力($P<0.05$),萌芽率和成枝力均为上部>中部>基部,这是由于顶端优势造成的。萌芽是成枝的基础,本研究中枝条萌芽率与成枝力呈极显著正相关关系($P<0.01$),而与短枝率呈显著负相关关系($P<0.05$),与长枝率呈显著正相关关系($P<0.05$),说明刻芽处理显著促发新梢生长,这与郭素萍等^[16]的研究结论基本一致。

内源激素 GA₃、ABA、IAA 等对促发休眠芽的作用不尽相同^[30]。IAA 含量增加能促进休眠芽解除休眠^[31],同时能促进枝条增长加粗^[32]。本研究中 3 月 17 日后枝条基部、中部、上部 IAA 含量均呈先增加后降低的趋势,3 月 31 日达到峰值后 IAA 含量迅速降低,刻芽处理不影响各类激素的变化趋势,但可显著增加各个部位枝条中 IAA 含量,这可能与枝条萌芽率和成枝力显著增加有关。Olsen 等^[33]研究证实 GA₃主要通过影响芽体内细胞的分化及伸长来调控芽的萌发及成枝状况,GA₃并不是单独影响芽的萌发,而是通过调节 IAA 水平,改变 ZT/IAA 比值而起到间接的调控作用^[34]。本研究中 3 月 17 日后 GA₃含量也呈先增加后降低的趋势,3 月 31 日达到峰值后 GA₃含量迅速降低,刻芽处理可显著增加枝条中 GA₃含量。ZT 和 ZR 是细胞分裂素,主要存在于细胞分裂旺盛的部位如根尖、茎尖、萌发的种子

和生长期的果实等^[35]。伴随休眠的解除,ZT 的含量下降到一定水平后趋于平稳,并在此时促进细胞分裂和生长,ZR 对于促进侧芽的生长作用显著,萌芽期芽体中通常伴随着 ZR 含量的增加^[17],但在之前的研究中刻芽处理能否影响 ZR 含量尚未有定论。本研究中枝条 ZT 和 ZR 的含量在 3 月 17 日后略有增加,3 月 31 日后快速降低,而刻芽对 ZT 和 ZR 含量无显著影响。ABA 促进芽休眠且对休眠芽萌发有抑制作用^[36-37]。本研究 ABA 的含量在 4 月 7 日前呈逐渐降低趋势,4 月 7 日后迅速增加,刻芽可显著降低枝条芽内 ABA 含量,从而促进了萌芽率和成枝力的提高,这与前人研究结论基本一致。

在植物休眠芽萌发过程中不是单一激素起作用,而是各种激素综合作用的结果^[38],各类激素之间通过相互制约、相互促进作用共同达成一种平衡,萌芽过程中平衡被打破从而表现出相应的增效与拮抗效应^[39]。GA₃/ABA 和 ZT/IAA 值在一定范围内可促进芽的萌发,刻芽主要是通过提高苹果休眠芽芽体内 GA₃/ABA 值来提高萌芽率^[40],也有学者认为枝条的萌芽率主要是通过 (IAA+GA₃+ZR)/ABA 比值来调控的,比值较大的芽体易萌发成枝^[41]。本研究中刻芽处理后 14 d 枝条萌芽率与 IAA 含量呈极显著正相关($P<0.01$),与 ABA 含量呈极显著负相关($P<0.01$);刻芽处理 7 d 枝条萌芽率与 IAA/ABA 呈极显著正相关($P<0.01$),与 ZT/IAA 比值呈极显著负相关($P<0.01$);刻芽处理 14 d 枝条萌芽率与 ZR/GA₃呈极显著负相关($P<0.01$)。综上,枝条萌芽率不仅与内源激素的含量、比例有关,更是由枝条所处的生理时期、芽眼着生位置、内源激素的动态特征共同决定的。

4 结 论

1)春季萌芽前对中秋王苹果 1 a 生枝条进行刻芽处理可显著提高枝条总体萌芽率、成枝力($P<0.05$)。枝条基部刻芽可显著提高枝条基部萌芽率和各部成枝力($P<0.05$),中部刻芽可显著提高枝条中基部萌芽率和中上部成枝力($P<0.05$),枝条上部刻芽可显著提高枝条上部萌芽率和中上部成枝力($P<0.05$)。说明刻芽可显著促进刻芽部位及相邻部位芽眼的萌发及新梢生长量的增加。枝条萌芽率与成枝力呈极显著正相关关系($P<0.01$),与短枝率呈显著负相关关系($P<0.05$),与长枝率呈显著正相关关系($P<0.05$)。

2)刻芽后,IAA、GA₃含量逐渐升高而 ABA 含量逐渐降低,枝条各部 IAA 含量和枝条上部 GA₃含量

在芽膨大期达到峰值,而枝条中基部 GA_3 含量高峰出现在芽开绽期,枝条中基部 ABA 含量也在芽开绽期降至最低,枝条上部 ABA 含量在芽膨大期降至最低,上述3种激素含量达到极值后,IAA、 GA_3 含量迅速降低而 ABA 含量迅速升高,枝条刻芽后7 d 的 ZT/IAA 和刻芽后14 d 的 ZR/ GA_3 与萌芽率相关系数最高,对枝条萌发的调控作用最大。

参考文献:

[1] 于祎伟,滕慧颖,刘雯斐,等.红国光苹果拉枝和刻芽的树体整形效应[J].河北农业科学,2019,23(1):37-40.

[2] 张宝娟,马娟娟,张东,等.渭北地区不同砧穗组合富士苹果幼树树体易成形性及早花早果性研究[J].西北农业学报,2017,26(3):405-411.

[3] 苏曼琳,吴尚,马履一,等.3种修剪方法对文冠果芽内源激素含量和萌芽成枝的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(5):101-108,115.

[4] 王琳琳,徐大平,杨曾奖,等.不同栽培措施对降香黄檀内源激素含量的影响[J].植物研究,2018,38(5):688-696.

[5] 王尚堃.苹果品种中秋王密植早果优质丰产栽培技术[J].农业科技通讯,2015,(1):159-162.

[6] 赵丹,潘亚菲,李惠,等.苹果新品种‘中秋王’生物学特性研究[J].北方园艺,2015,(8):32-35.

[7] 王尚堃,杜红阳.‘中秋王’苹果密植栽培对比试验研究[J].吉林农业科学,2015,40(3):92-96.

[8] 宋枫春.中秋王苹果在晋城引种表现及栽培技术要点[J].山西果树,2013,(4):23.

[9] 李雪薇.刻芽、扭枝和去顶梢对富士苹果枝条导水率、激素含量和花芽形成的影响[D].咸阳:西北农林科技大学,2014.

[10] 闫帅,徐锴,袁继存,等.刻芽及涂抹发枝素对早酥梨芽体内源激素的影响[J].中国南方果树,2017,46(1):20-23.

[11] 李雪薇,李丙智,刘富庭,等.刻芽、扭枝和去顶梢对富士苹果枝条导水率、激素含量和花芽形成的影响[J].中国农业科学,2013,46(17):3643-3650.

[12] Anita S, Gregor O, Franci S, et al. Branching of annual shoots in common walnut (*Juglans regia* L.) as affected by bud production and indol-3-acetic acid (IAA) content [J]. Trees, 2011, 25(6): 1083-1090.

[13] 张国林.不同刻芽处理对文冠果芽内源激素含量及平衡的影响[J].防护林科技,2018,(5):18-19,57.

[14] Bendokas V, Stanys V. Variation of hormones in apple trees with different canopy architecture [J]. Žemdirbystė, 2009, 96(3):76-82.

[15] Veronica O, Ottoline L. Hormonal control of shoot branching. Journal of Experimental Botany, 2008, 59(1):67-74.

[16] 郭素萍,祁娇娇,张雪梅,等.拉枝刻芽对烟富3苹果萌芽和内源激素含量的影响[J].河北林业科技,2011,(4):1-3.

[17] 艾沙江·买买提,杨清,王晶晶,等.短截、拉枝、刻芽对苹果枝条不同部位芽激素含量的影响[J].园艺学报,2013,40(8):1437-1444.

[18] 王雅倩.不同修剪方法对苹果芽和叶内源激素的影响[D].咸阳:西北农林科技大学,2012.

[19] 张雲慧,李文胜,周文静,等.修剪技术对分层纺锤形红富士苹果树体生长发育及果实品质的影响[J].新疆农垦科技,2018,41(7):13-16.

[20] 齐永顺,张志华,王同坤,等.同源四倍体玫瑰香葡萄嫩枝扦插不定根发生过程中内源激素的变化[J].园艺学报,2009,36(4):

565-570.

[21] 侯凯,陈郡雯,申浩,等.川白芷内源激素的提取纯化和高效液相色谱法同步测定[J].核农学报,2013,27(5):653-657.

[22] 刘金利,崔丽贤,张海娥,等.刻芽对不同品种梨树萌芽率与成枝力的影响[J].河北农业科学,2012,16(9):37-39,43.

[23] 孙洪雁,陈雯,孙清荣,等.不同刻芽处理对美早甜樱桃2年生光秃主干萌芽率的影响[J].江西农业学报,2018,30(2):26-29.

[24] 刘洋,孙淑敏,赵丹,等.涂高效抽枝宝和刻芽对苹果幼树1a生枝条萌芽和新梢生长的影响[J].河北林果研究,2014,29(4):364-367.

[25] 温吉华,隋晶利,李洪辛,等.拉刻技术在红富士苹果管理中的应用[J].果农之友,2011,(3):36-37.

[26] 张建光,张江红,许建锋,等.刻芽对黄冠梨高接树萌芽和成枝的影响[J].中国果树,2010,(4):26-28.

[27] 魏常燕,张雪梅,齐国辉,等.不同时期拉枝刻芽对‘绿岭’核桃萌芽成枝和内源激素含量的影响[J].林业科学,2013,49(6):167-171.

[28] 郭俊强,宋建伟,赵东波,等.不同时期及不同部位刻芽对山楂萌芽率和枝条生长量的影响[J].山西果树,2014,(5):13-14.

[29] Renton M, Guedon Y, Godin C, et al. Similarities and gradients in growth unit branching patterns during ontogeny in ‘Fuji’ apple trees: a stochastic approach [J]. Journal of Experimental Botany, 2006, 57(12):3131-3143.

[30] Wang J, Li X M, Qi J X. Effects of removing scales and exogenous hormone treatments on changes of endogenous hormone in sweet cherry flower buds and dormancy release during dormancy [J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2004, 24(4):615-620.

[31] 高庆玉,闫超,张丙秀,等.树莓果实与休眠芽生长过程中内源激素含量变化研究[J].东北农业大学学报,2015,46(1):19-25.

[32] Zhi W, Wen Z, Bing T U, et al. Study on changes and regulations of endogenous hormones in empty-shell chestnut ovary [J]. Forest Research, 2000,13(6):646-651.

[33] Olsen J E, Junttila O, Moritz T. Long-day induced bud break in *Salix pentandra* is associated with transiently elevated levels of GA1 and gradual increase in indole-3 acetic acid [J]. Plant Cell Physiol., 1997, 38(5):536-540.

[34] Davenport T, Pearce D, Rood S. Correlation of endogenous gibberellic acid with initiation of mango shoot growth [J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2000, 19(4):445-452.

[35] 王忠.植物生理学[M].北京:中国农业出版社,2008:264-290.

[36] 袁燕波,王历慧,于晓南.芍药休眠芽发育进程内源激素变化研究[J].浙江农业学报,2014,26(1):54-60.

[37] 苏海兰,周先治,李希,等.云南重楼种子萌发过程内源激素含量及酶活性变化研究[J].核农学报,2018,32(1):141-149.

[38] 邢璐.植物激素脱落酸的受体蛋白PYL8和PYL9通过结合转录因子MYB家族成员调控拟南芥的侧根生长[D].合肥:中国科学技术大学,2016.

[39] 陈静,江玲,王春明,等.花生种子休眠性的影响因素[J].核农学报,2015,29(7):1392-1398.

[40] Koshitaa Y, Takaharara T, Ogataa T, et al. Involvement of endogenous plant hormones (IAA, ABA, GAs) in leaves and flower bud formation of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) [J]. Scientia Horticulturae, 1999, 79(3):185-194.

[41] Ito A, Yaegaki H, Hayama H, et al. Bending shoots stimulates flowering and influences hormone levels in lateral buds of Japanese pear [J]. HortScience, 1999, 34(7):1224-1228.