

## Short Report

## カラムナータイプリンゴの接ぎ木増殖に関する研究

## 植物ホルモンによる側枝伸長効果の検討

北本尚子<sup>1</sup>, 成田絢音<sup>1</sup>, 石井美帆<sup>1</sup>, 佐藤ふうこ<sup>1</sup>, 佐藤美桜<sup>1</sup>, 近藤実紀<sup>1</sup>, 神田啓臣<sup>1</sup>,  
吉田康徳<sup>1</sup>, 今西弘幸<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 秋田県立大学生物資源科学部アグリビジネス学科

<sup>2</sup> 秋田県立大学アグリイノベーション教育研究センター

側枝が短いカラムナータイプリンゴは、横への枝はりが抑えられるため機械化に対応しやすいが、接ぎ木に必要な穂木が得られにくいため増殖効率が低い。そこで、カラムナータイプリンゴの増殖効率を向上させるために、植物ホルモンを散布し側枝長や穂木の採取数を比較した。2019年は、①無処理区、②合成サイトカイニンである6-ベンジルアミノプリン散布区（BA区）③ジベレリンA3散布区（GA区）、④BAとGA散布区（BA+GA区）の4処理を行った。2020年は、無処理区とBA+GA区に加え、BAを2回散布後にGAを3回散布する区（BA→GA区）を設けた。いずれの年も、6月上旬から週に1回の頻度で計5回処理を行った。その結果、側枝長は無処理区とGA区で有意差はなかったが、BA区で平均5.3cm、BA+GA区で平均10.0cmと有意に伸長した。穂木の採取数はBA+GA区で最も多く、無処理区と比較して2019年は約22倍、2020年は約3倍多くなった。そのため、カラムナータイプリンゴの増殖効率を向上させるためには、BA+GA処理が有効であることが分かった。

**キーワード：**カラムナー、機械化、サイトカイニン、ジベレリン、増殖効率

日本では、果樹農家の減少と高齢化が急速に進んでいる。2010年からの5年間で果樹の栽培農家数は13%減少し、60歳以上の経営者が占める割合は7.5ポイント上昇して77.2%となっている（農林水産省2021）。国産果実の生産量を維持するためには、さらなる省力化・機械化を進める必要がある。

リンゴのカラムナータイプとは、側枝が極端に短い円筒状の樹形を形成する品種の総称である。横への枝はりが抑えられるため、剪定や収穫等が容易で、省力化と機械化に対応しやすい（岩波, 2019; Xu, 2016）。しかし、カラムナータイプのリンゴは、側枝が出にくいため接ぎ木に必要な穂木が得られにくく、増殖効率が低いという問題がある。カラムナータイプのリンゴを今後実用化するためには、側枝の伸長を促進する条件を明らかにし、苗木の増殖効率を向上させる必要がある。

渡邊ら（2003）は、合成サイトカイニンである6-ベンジルアミノプリンを散布すると、カラムナータイプリンゴの‘タスカン’と‘トラジャン’の2品種で側枝が伸長することを明らかにした。一方、Okada et al.（2020）は、カラムナータイプリンゴの‘ウィジック’を用い、高濃度のジベレリンA3の散布で側枝が増えることを報告している。カラムナー形質の原因遺伝子である*MdDOX-Co*をシロイヌナズナに導入した形質転換体の解析から、カラムナー形質の原因は、ジベレリン代謝経路の変化による活性型ジベレリンの不足であることが示された（Watanabe et al., 2021）。そのため、ジベレリンの散布のみで側枝数が増えるとしたOkada et al.（2020）のほうが蓋然性が高いように思われる。

しかし、ジベレリンはサイトカイニンを含む多くの植物ホルモンの内生量に大きく影響するため

(Zhang et al., 2019), カラムナータイプリンゴの側枝伸長にジベレリンとサイトカイニンがそれぞれの程度影響するかは、より多くの品種を用いて統一的に明らかにする必要がある。そこで、カラムナータイプリンゴの接ぎ木での増殖効率を向上させるため、合成サイトカイニンである 6-ベンジルアミノプリン (以下, BA) とジベレリン A3 (以下, GA) を散布し、側枝の伸長に及ぼす影響を検討した。

## 材料と方法

秋田県立大学アグリノベーション教育研究センターの果樹園にカラムナータイプの‘メイポール’、‘メイちゃんの瞳’、‘テラモン (商品名: ワルツ)’、‘トラジャン (商品名: ポルカ)’ の 1 年生苗木を 2019 年 5 月に定植し供試した。各品種 18 樹を列間 1.5m, 樹間 0.6m で列状に栽植した。いずれの品種もカラムナータイプの‘ウィジック’と普通樹形品種との交雑によって育成された品種であり、‘メイちゃんの瞳’は‘メイポール’の枝変わり品種である。

2019 年に、無処理区, BA 区, GA 区, BA+GA 区の 4 処理区を設定した。無処理区は 1 品種あたり 6 樹供試し, 他の処理区では 1 品種あたり 4 樹ずつ供試した。GA と BA は, それぞれ 600ppm に調整し, 展着剤 (グラミン S) 0.01% を添加した。無処理区は水に展着剤 0.01% を添加した。6 月 12 日から週に 1 回の頻度で計 5 回, 新梢部に霧吹きで 1 樹当たり約 20ml 散布した。1 樹ごとに樹の上部から 3 芽, 下部から 3 芽, 計 6 芽をランダムに選び, 1 品種あたり各処理, 計 24~36 芽について新梢の長さを計測し, 側枝長とした。側枝の計測は 6 月 12 日から 7 月 10 日までは毎週 1 回計 5 回行い, さらに 8 月 7 日と 9 月 5 日も計測して計 7 回計測した。また, 樹の生育状態を明らかにするために 5 月 21 日と 10 月 15 日に樹高と接ぎ木部上部 10 cm の幹径を計測し, その差を 2019 年の樹高の伸長および幹径の増加とした。2020 年 1 月 27 日に, 10cm 以上伸長した 1 年生の側枝を穂木として採取し, 穂木採取数と穂木の長さおよび穂木の重さを計測した。2020 年は, 無処理区と BA+GA 区の他に, BA を 2 回散布後 GA を 3 回散布する区 (以下, BA→GA 区) を設けた。1 品種あた

り各処理 4 樹ずつ供試し, 前年に無処理区だった樹は, 引き続き無処理区とし, 前年に BA 区に供試した樹は, BA→GA 区に, 前年 GA 区だった樹は BA+GA 区に供試した。前年に BA+GA 区だった樹は, 一部で薬害による生育不良が認められたため, 供試しなかった。薬剤の調整方法は前年と同様とした。6 月 10 日から週に 1 回の頻度で計 5 回, 新梢部に霧吹きで 1 樹当たり約 20ml 散布した。薬害を回避するために, 高温の晴天時には散布を避けた。2021 年 1 月 26 日に, 10cm 以上伸長した 1 年生の側枝数を穂木採取数として計測した。同時に, 樹高と接ぎ木部上部 10 cm の幹径を計測し, 2019 年 10 月からの増加分を 2020 年の樹高の伸長および幹径の増加とした。

## 結果

2019 年に計測した品種ごとの側枝長の推移を図 1 に示す。各処理に対する側枝の伸長は, ‘メイポール’ とそれ以外の品種で異なっていた。‘メイポール’以外の品種では, 無処理区と GA 区でほとんど側枝が伸長しなかった。BA 区と BA+GA 区では, 処理開始から 2 週間後の 6 月 26 日頃から側枝の伸長が認められた。この側枝の伸長は, 薬剤散布が終了した 7 月 10 日以降も認められたが, 8 月 7 日 (図 1 の処理後 56 日目) 以降はみられなかった。‘メイポール’では, GA のみでも平均 5.3cm 伸長し, BA 区は BA+GA 区と同様の長さにまで伸長した。また, BA+GA 区で, 7 月上旬から新梢の先端が茶色く変色しているのが一部の個体で見られ (図 2), 薬害の発生が疑われた。

9 月時点における側枝長を二元配置分散分析したところ, 処理区間, 品種間および交互作用ともに有意だった (表 1)。処理区間では, BA+GA 区が平均 10.0cm と有意に長く, 次いで BA 区が平均 5.3cm と長かった (表 2)。無処理区と GA 区間では有意差は認められなかった (表 2)。品種間では ‘メイポール’が他の品種よりも有意に長かった (データ省略)。

樹高の伸長も処理区間, 品種間ともに有意差がみとめられた (表 1)。GA 区, BA+GA 区の順で伸長効果が認められ, BA 区で最も伸長しなかった (表 2)。

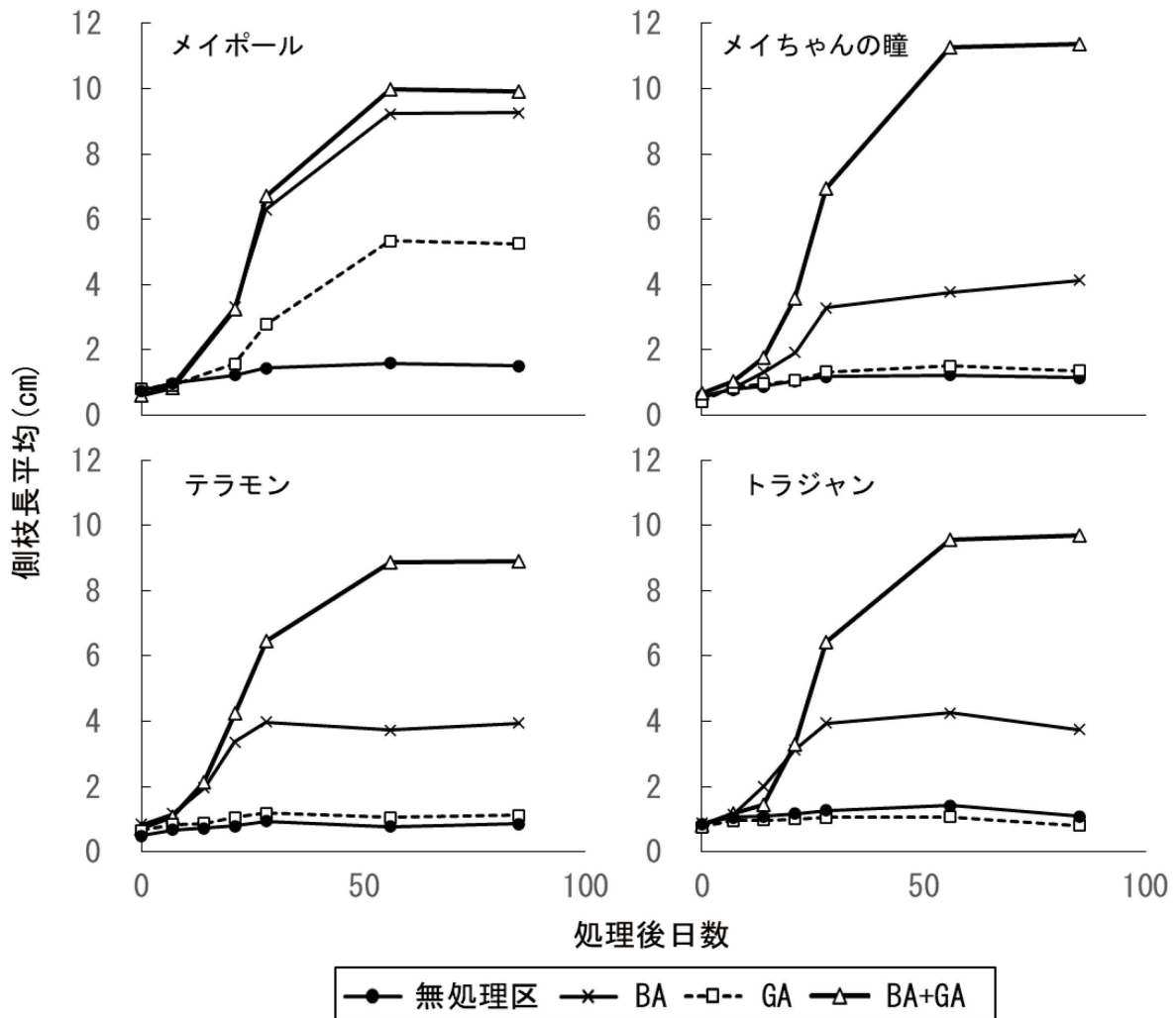


図1 カラムナータイプリンゴの各品種における処理後日数による側枝長の推移。



図2 BA+GA 区で観察された葉害

品種間では‘メイちゃんの瞳’の樹高が‘メイポール’よりも有意に伸長していた(データ省略)。幹径の増加は、処理区間のみ有意差が認められ(表1)、GA区が最も大きかった(表2)。穂木採取数、穂木長、穂木重では、品種間、処理区間および交互作用で有意差がみられた(表1)。無処理区では平均0.4本しか穂木を採取できなかったのに対し、BA+GA区では平均8.7本採取された(表2)。また、すべての区で‘テラモン’の穂木採取数が少なかった(データ省略)。穂木長はGA区で長く、穂木重は無処理区で重かった(表2)。

2020年の穂木採取数は、BA+GA区で平均29.4本、BA→GA区で平均16.2本、無処理区で平均9.9本と処理区間で有意に異なった(表1、表3)。樹高は、BA→GA区で最も伸長した(表3)。幹径の増加は、処理区間で有意差は認められなかった(表1)。また、

表 1 各形質における二元配置分散分析の結果。

表中の数字はF値をアスタリスクは有意水準を示す。\*\*\*:  $p < 0.001$ , \*\*:  $p < 0.01$ , \*:  $p < 0.05$ 

要因	2019年						2020年		
	側枝長	樹高の伸長	幹径の増加	穂木採取数	穂木長	穂木重	樹高の伸長	幹径の増加	穂木採取数
処理区	100.4 ***	22.9 ***	4.4 **	65.9 ***	21.0 ***	13.9 ***	21.7 ***	2.0	72.4 ***
品種	8.9 ***	8.1 ***	0.7	15.6 ***	11.2 ***	7.2 ***	2.1	1.3	1.9
処理区×品種	3.1 **	2.0	0.8	9.1 ***	3.4 **	7.3 ***	1.6	0.8	1.8

表 2 2019年の各処理がカラムナータイプリンゴの側枝長や穂木採取数におよぼす影響。

表中の数字は各形質の平均値を示す。形質内の同じアルファベットはTukey-Kramer検定で有意差がないことを示す ( $p < 0.05$ )。

処理区	品種	側枝長 (cm)	樹高の伸長 (cm)	幹径の増加 (mm)	穂木採取数	穂木長 (cm)	穂木重 (g)
無処理区	メイポール	1.5	92.6	12.6	0.3	11.7	3.2
	メイちゃんの瞳	1.1	111.8	14.3	0.8	23.6	6.0
	テラモン	0.9	79.1	15.7	0.3	28.0	12.6
	トラジャン	1.1	95.9	14.6	0.3	35.6	12.3
	平均	1.1 c	94.8 bc	14.3 ab	0.4 b	24.4 ab	7.7 a
BA区	メイポール	9.3	83.3	14.0	5.5	13.6	2.1
	メイちゃんの瞳	4.1	109.2	15.9	1.3	20.3	5.6
	テラモン	3.9	73.9	16.3	0.0	-	-
	トラジャン	3.7	90.5	15.6	0.3	43.0	18.8
	平均	5.3 b	89.7 c	15.4 b	1.8 b	15.8 b	3.3 bc
GA区	メイポール	5.3	99.4	14.3	2.0	19.9	3.4
	メイちゃんの瞳	1.4	135.8	18.6	2.8	35.2	5.3
	テラモン	1.1	95.9	17.1	0.5	33.6	10.6
	トラジャン	0.8	104.3	14.7	0.5	30.2	6.0
	平均	2.1 c	108.9 a	16.2 a	1.4 b	29.3 a	5.1 ab
BA+GA区	メイポール	9.9	85.0	13.3	8.3	15.2	2.1
	メイちゃんの瞳	11.4	130.6	18.3	14.5	20.0	3.1
	テラモン	8.9	90.4	16.1	1.5	19.5	2.9
	トラジャン	9.7	91.2	15.4	10.5	16.9	2.2
	平均	10.0 a	99.3 b	15.8 b	8.7 a	17.9 b	2.6 c

表 3 2020年の各処理がカラムナータイプリンゴの穂木採取数におよぼす影響。

表中の数字は各形質の平均値を示す。形質内の同じアルファベットはTukey-Kramer検定で有意差がないことを示す ( $p < 0.05$ )。

処理区	品種	樹高の伸長 (cm)	幹径の増加 (mm)	穂木採取数
無処理区	メイポール	49.5	12.8	12.3
	メイちゃんの瞳	55.5	9.2	11.3
	テラモン	44.3	9.5	5.0
	トラジャン	54.0	10.3	11.0
	平均	50.8 b	10.4 a	9.9 c
BA→GA区	メイポール	66.5	12.4	17.5
	メイちゃんの瞳	88.0	13.3	20.5
	テラモン	80.3	10.7	12.7
	トラジャン	70.0	11.5	13.3
	平均	75.9 a	12.0 a	16.2 b
BA+GA区	メイポール	61.0	10.5	25.5
	メイちゃんの瞳	60.0	10.8	30.5
	テラモン	61.8	9.3	30.3
	トラジャン	48.8	11.6	31.3
	平均	57.9 b	10.5 a	29.4 a

2020年は、すべての区で薬害は確認されなかった。

## 考察

カラムナータイプリンゴの接ぎ木での増殖効率を向上させるため、BAとGAを新梢部に散布し、側枝の伸長に及ぼす影響を検討した。その結果、‘メイポール’を除く3品種では、GA散布のみでは側枝は伸長せず、BAを散布したBA区とBA+GA区で側枝が伸長した(図1, 表2)。このことから、カラムナータイプリンゴの側枝伸長は、ジベレリンではなくサイトカイニン不足が制限要因となっていることが示唆された。

リンゴのカラムナー形質の原因遺伝子は、

*MdDOX-Co* であることが明らかになっている (Okada et al. 2016). *MdDOX-Co* は、普通樹形品種では根でのみ発現しているが、カラムナータイプリングゴでは、*MdDOX-Co* 遺伝子の上流にトランスポゾンが挿入されたことにより、根だけでなく、地上部でも発現するように変化している (Wada et al. 2018). シロイヌナズナに *MdDOX-Co* を導入したところ、ジベレリンの代謝経路が変化し、活性型ジベレリンである  $GA_4$  の内生量が減少した (Watanabe et al., 2021). このことから、リングゴのカラムナー形質は、地上部で *MdDOX-Co* が発現することにより、地上部における活性型ジベレリンが減少することが原因と考えられている (Watanabe et al., 2021).

Okada et al. (2020) は、カラムナータイプである‘ウィジック’の苗木に  $100\mu M$ ,  $500\mu M$ ,  $1mM$  の  $GA_3$  を週 1~2 回の頻度で 10 週間散布し、 $1mM$  の  $GA_3$  を散布した区では側枝本数が増加することを明らかにした. この結果から、カラムナータイプリングゴの側枝が少ない形質は、ジベレリン不足が原因であると推測している. 本研究で用いた  $GA_3$  の濃度  $600ppm$  は  $1.732mM$  に相当するため、Okada et al. (2020) の  $1mM$  区よりも高濃度である. 本研究の  $GA$  区で側枝が増えなかった原因としては、 $GA$  の濃度ではなく、散布回数が 5 回と少なかったことが影響している可能性がある. しかし、Okada et al. (2020) の  $1mM$  区では、側枝長は無処理区と有意差はなく、 $0.5cm$  以上伸びた側枝本数は無処理区の平均  $0.2$  本から平均  $3.0$  本に増えただけである. そのため、散布回数を 10 回にしたとしても、本研究の  $BA$  区や  $BA+GA$  区と比べれば、 $GA$  のみでの側枝伸長効果は限定的であるといえる.

先行研究から、カラムナー形質の原因は、活性型ジベレリンの不足であることが明らかにされている (Okada et al. 2016, Watanabe et al. 2021) が、今回の研究からは、カラムナータイプリングゴの側枝が伸長しない直接の原因は、サイトカイニンの不足である可能性が示唆された. なぜサイトカイニンが不足しているのかについては、二つの可能性が考えられる. ひとつは、ジベレリン代謝経路の変化によるサイトカイニンの減少である. ジベレリンとサイトカイニンの相互作用については、未解明な点が多いが、リ

ングゴにジベレリンを散布すると、サイトカイニンの内生量が減少する (Zhang et al. 2016) ことや、サイトカイニンのシグナル伝達に関わる *AHP1* 遺伝子の発現量が減少する (Zhang et al. 2019) ことがわかっている. このようなジベレリンとの相互作用によって、カラムナータイプにおけるサイトカイニンの内生量やシグナル伝達が影響を受けている可能性が考えられる.

もうひとつの可能性は、オーキシンを介したサイトカイニンの減少である. 頂芽優勢による側枝発生の抑制は、オーキシンがサイトカイニンの合成を抑制することにより生じる. もし活性型ジベレリンがオーキシン合成を抑制しているならば、活性型ジベレリンが不足しているカラムナータイプリングゴでは、オーキシンが増えることによりサイトカイニンが減少し、側枝の伸長が抑制されている可能性がある. 実際に、リングゴにジベレリンを散布すると、オーキシンの内生量が減少すること (Zhang et al. 2016) や、カラムナータイプリングゴの脇芽における活性型オーキシンの割合が、普通樹形品種よりも多い (Looney and Lane 1984) ことが明らかになっている. そのため、カラムナータイプリングゴでは、オーキシンを介して脇芽におけるサイトカイニンが減少している可能性がある.

今回の実験では、4 品種中‘メイポール’のみが  $GA$  区で平均  $5.3cm$  まで側枝が伸長した (図 1, 表 2). 定植時の苗木の状態には、品種間で違いは見られなかったが、‘メイポール’のみが定植 1 年目の 2019 年から開花した点を考えると、接ぎ木してからの年数が‘メイポール’のみ長かった可能性がある. すなわち、‘メイポール’は加齢によって脇芽中のサイトカイニンが多く蓄積しており、それゆえ  $GA$  散布のみでも側枝が伸長した可能性が考えられた.

いずれにしても、今回の実験では、全ての品種において  $BA$  区で側枝の伸長効果がみられ、 $BA+GA$  区でさらなる伸長効果がみられた (表 2).  $BA$  と  $GA$  を併用することにより、穂木の採取数は、無処理区と比較して 2019 年は約 22 倍、2020 年は約 3 倍も多くなった (表 2, 表 3). そのため、カラムナータイプの穂木の増殖効率を向上させるためには、 $BA+GA$  処理が有効であることが分かった.

## 結論

カラムナータイプリンゴの穂木の増殖効率を向上させるためには、BA と GA を各 600 ppm に調整した薬剤を 6 月上旬から週に 1 回の頻度で計 5 回新梢部に散布すればよいことが分かった。

## 謝辞

実験材料の栽培管理にご協力いただいたアグリイノベーション教育研究センター園芸スタッフの方々に深謝いたします。また、本実験の調査にご協力いただいた、園芸プロジェクトのメンバーに謝意を表します。

## 文献

岩波 宏 (2019). 「カラムナータイプリンゴで超省力栽培」『Fruit & Tea Times』17, 9-12.

Looney, N. E., & Lane, W.D. (1984). Spur-type growth mutants of McIntosh apple: a review of their genetics, physiology and field performance. *Acta Horticulturae*, 146:31-46.

農林水産省 (2021). 「果樹をめぐる情勢」  
<https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/engei/attach/pdf/iyfv-37.pdf>

Okada, K., Wada, M., Moriya, S., Katayose, Y., Fujisawa, H., Wu, J., & Abe, K. (2016). Expression of a putative dioxygenase gene adjacent to an insertion mutation is involved in the short internodes of columnar apples (*Malus × domestica*). *Journal of Plant Research*, 129(6), 1109-1126.

Okada, K., Wada, M., Takebayashi, Y., Kojima, M., Sakakibara, H., Nakayasu, M., Mizutani, M., Nakajima, M., Moriya, S., Shimizu, T., & Abe, K. (2020) Columnar growth phenotype in apple results from gibberellin deficiency by ectopic expression of a dioxygenase gene. *Tree Physiology*, 40(9), 1205-1216.

Wada, M., Iwanami, H., Moriya, S., Hanada, T., Moriya-Tanaka, Y., Honda, C., & Okada, K. (2018). A root-localized gene in normal apples is ectopically expressed in aerial parts of columnar apples. *Plant Growth Regulation*, 85(3), 389-398.

Watanabe, D., Takahashi, I., Jaroensanti-Tanaka, N., Miyazaki, S., Jiang, K., Nakayasu, M., & Nakajima, M. (2021). The apple gene responsible for columnar tree shape reduces the abundance of biologically active gibberellin. *Plant Journal*, 105(4), 1026-1034.

渡邊学, 壽松木章, 小森貞男, 佐藤秀継 (2003). 「BA 散布がカラムナー新梢の伸長促進に及ぼす影響」『園芸学研究』2(2), 7-100.

Xu, K. (2016). Making apple trees friendlier for mechanized harvesting. *New York Fruit Quarterly*, 24(3), 29-32.

Zhang, S., Zhang, D., Fan, S., Du, L., Shen, Y., Xing, L., Li, Y., Ma, J., & Han, M. (2016). Effect of exogenous GA<sub>3</sub> and its inhibitor paclobutrazol on floral formation, endogenous hormones, and flowering-associated genes in 'Fuji' apple (*Malus domestica* Borkh.). *Plant Physiology Biochemical*, 107, 178-186.

Zhang, S., Gottschalk, C., & Van Nocker, S. (2019). Genetic mechanisms in the repression of flowering by gibberellins in apple (*Malus × domestica* Borkh.). *BMC Genomics*, 20(1), 1-15.

〔 令和 3 年 7 月 30 日受付  
令和 3 年 9 月 1 日受理 〕

## Study on the Grafting Efficiency of Columnar Type Apples Effect of Phytohormones on the Lateral Branch Elongation of Columnar Apple Trees

Naoko Kitamoto<sup>1</sup>, Ayane Narita<sup>1</sup>, Miho Ishii<sup>1</sup>, Fuuko Satou<sup>1</sup>, Mio Satou<sup>1</sup>, Minori Kondou<sup>1</sup>,  
Hiroomi Kanda<sup>1</sup>, Yasunori Yoshida<sup>1</sup>, Hiroyuki Imanishi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Bioresource Sciences, Faculty of Agribusiness, Akita Prefectural University

<sup>2</sup> Agri-Innovation Education Research Center, Akita Prefectural University

Columnar apple trees are more amenable to mechanized cultivation due to their extremely short lateral branches. However, these short branches make it difficult to gain scions for grafting, resulting in low efficiency of proliferation. Therefore, we examined the effect of phytohormones on the lengths of lateral branches as well as the number of scions, to increase the efficiency of the proliferation of columnar apple trees. In 2019, we compared the effect of four treatments: 1) control, 2) 6-Benzylaminopurine (BA), 3) Gibberellin 3 (GA), 4) both BA and GA (BA+GA). In 2020, a BA→GA treatment (in which after spraying BA two times, GA was sprayed three times) was added. Each year, the treatment was performed once a week for a total of five times from the beginning of June. The mean length of lateral branches significantly increased to 5.3 cm in the BA group and 10.0 cm in the BA + GA group. The number of scions collected was the highest in the BA + GA, being about 22 times higher than the control in 2019 and about 3 times higher than the control in 2020. These results indicate that a BA + GA treatment is effective in improving the efficiency of proliferation in columnar apple trees.

**Keywords:** Columnar, Mechanized cultivation, Cytokinins, Gibberellin, Efficiency of proliferation