

# 苹果中间砧入土深度对根系生长及其激素含量和果实产量品质的影响

任雪菲, 李丙智\*, 张林森, 韩明玉, 李雪薇

(西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨陵 712100)

**摘要:** 以陕西杨凌试验区大田栽培的 3 年生‘长富 2 号’苹果为材料, 结合凤翔、永寿和蒲城等试验区的调查, 研究比较矮化中间砧 ( $M_{26}$ ) 入土深度对富士苹果树基础根系生长分布、根系激素含量和果实产量品质的影响。结果表明, 矮化中间砧入土深度为 15 cm 时, 树体细根 ( $< 2$  mm) 主要分布在 0 ~ 40 cm 土层, 细根数比其他处理多 13.6% ~ 41.5%, 总根数多 18.2% ~ 33.3%, 根系干质量多 11.2% ~ 68.4%, 果实产量高, 单果质量大, 可溶性固形物含量高, 硬度大, 可滴定酸含量少, 着色率高, 品质较好。矮化中间砧入土深度为 15 cm, 树体根系中促进生长的 IAA、ZR、GA 含量较高, 抑制生长的 ABA 含量较少, (IAA + GA + ZR) / ABA 比值较大, 有利于刺激根系的生长。研究表明矮化中间砧入土深度为 15 cm 时, 根系生长旺盛, 细根数量较多, 能够为果树生长发育提供较多养分, 果实品质较好。

**关键词:** 苹果; 中间砧; 入土深度; 根系分布; 激素; 产量; 品质

**中图分类号:** S 661.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2013) 11-2127-10

## Effects of Planting Depth of Apple Dwarfing Rootstock on Root Growth, Hormone Content, Fruit Yields and Quality

REN Xue-fei, LI Bing-zhi\*, ZHANG Lin-sen, HAN Ming-yu, and LI Xue-wei

(College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In the present study, three-year old ‘Changfu 2’ apple trees grafted on dwarfing interstock ( $M_{26}$ ) were respectively planted with different planting depth in Yangling, combined with the investigation of Fengxiang, Yongshou and Pucheng, Shaanxi Province. Then these trees were used to investigate the effects of the planting depth on root system growth, root hormone, fruit yields and quality. The results showed that, in the treatment with 15 cm planting depth of dwarfing interstock, fine roots ( $< 2$  mm) mainly distributed in the soil layer of 0 – 40 cm, and the number of fine roots was 13.6% – 41.5% more than other treatments, total roots number was 18.2% – 33.3% more than other treatments, the root dry weight was 11.2% – 68.4% of that in other treatments. Moreover, 15 cm treatment showed more competitive advantage, i.e., the quantity of fruit yields, single fruit weight, soluble solid contents, fruit hardness, fruit coloring and the titratable acid. Furthermore, the 15 cm planting depth had highest level of

**收稿日期:** 2013 – 06 – 28; **修回日期:** 2013 – 09 – 03

**基金项目:** 国家现代农业产业技术体系建设资金项目 (CARS-28); 陕西省科技厅重大攻关项目 (2011KTZB02-02-05); 陕西省果业专项 (2011-2012)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: bzhli530530@163.com)

IAA, ZR and GA contents, but the contents of ABA was at the lowest level. the ratio of (IAA + GA + ZR)/ABA was at the peak, which helps to stimulate the growth of roots. These results indicate that 15 cm planting depth of dwarfing interstock can promote the growth of root, increase fine and total root numbers so that apple trees obtain more nutrition by root and have good fruit quality.

**Key words:** apple; interstock; planting depth; distribution of root system; hormone; yield; quality

苹果矮砧栽培已成为世界苹果发展的方向。采用矮化砧木是实现苹果矮化栽培的最主要途径（李淑霞和杨金凤，2006；李丙智等，2010）。矮化中间砧的合理入土深度对矮化栽培非常重要，许多矮化树的后期旺长或者早期衰弱都与矮化中间砧栽植深度不当有关，中间砧入土浅，幼树生长缓慢，树体小，产量低，容易早衰；中间砧入土过深，幼树生长快、树冠大、前期产量较高，但中后期树冠郁闭，果树易旺长乔化（秦玲等，2006；翟衡等，2007）。所以研究矮化中间砧不同入土深度对果树根系分布、根系激素含量和果实产量品质的影响，对更好推广苹果矮化栽培具有重要意义。

根系是果树从土壤环境中获取资源的器官，而且根系的生理功能几乎全部由细根（ $< 2\text{ mm}$ ）完成（Johnson et al., 2001；Schenk, 2005；范伟国和杨洪强，2006；甘卓亭和刘文兆，2008）。因此，细根数对于果树生长发育至关重要。陈登文等（2002b）研究发现矮化栽培富士根系垂直分布主要集中在  $0 \sim 60\text{ cm}$  土层中，占根系总量的 96% 以上，根系密集区分布于  $20 \sim 40\text{ cm}$  土层中，占总根量的 70% 以上。当  $M_{26}$  作中间砧时，其入土  $15\text{ cm}$  和未入土相比，根系数和根干质量增加，产量提高。贾梯等（1991）研究了矮化中间砧深栽对苹果树的效应，指出中间砧矮化程度越高果树根系越集中分布在土壤上层，直径  $0 \sim 5\text{ mm}$  的细根占总根量的百分率也越高。马宝焜等（2010）研究认为矮化中间砧入土过深，接穗部分埋入土中容易生根，树体易乔化；矮化中间砧入土过浅，如  $M_{26}$  容易产生中间砧日灼或冻害，引起枝干病害。因此，一般要求接穗与砧木的接口在地表以上  $5 \sim 10\text{ cm}$  处，栽后浅培土。可见，前人的研究主要集中在矮化中间砧木深栽方面，而对矮化中间砧不同入土深度之间的对比和对果实产量品质的影响研究较少，特别是矮化中间砧不同入土深度对果树根系激素的影响研究更少（刘国荣等，2007；薛晓敏等，2012）。

本研究中以‘长富 2 号’苹果为试材，调查比较矮化中间砧  $M_{26}$  不同入土深度对基砧（新疆野苹果）根系生长分布、根系内源激素和果实产量品质的影响，以期确定合适的矮化中间砧入土深度，为苹果矮化栽培提供理论依据和指导方案。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验园概况

试验于 2011 年 9 月—2012 年 11 月进行，试验地主要设在陕西杨凌示范区大寨乡官村国家苹果产业技术体系示范园， $N34^{\circ}18'$ 、 $E108^{\circ}02'$ ，海拔  $525\text{ m}$ ，年均日照时数  $2\,150\text{ h}$ ，无霜期  $210\text{ d}$ 。 $0 \sim 60\text{ cm}$  土壤基础养分主要为：有机质  $15.13\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，碱解氮  $67.83\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，速效磷  $15.37\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，速效钾  $179.1\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，土壤  $\text{pH}$  7.5。

以矮化中间砧不同入土栽植深度‘长富 2 号’苹果为试材，基砧为新疆野苹果 [*Malus sieversii* (Ledeb) Roem]，矮化中间砧为  $M_{26}$ ，中间砧长度为  $30\text{ cm}$ ，有灌溉条件，管理水平较高。试验地概况见表 1。

表 1 调查果园基本情况  
Table 1 Basic situations of the orchards

地点 Location	株距 × 行距/ (m × m) Plant spacing × Row spacing	降雨量/mm Rainfall	年均温/℃ Annual average temperature	土壤类型 Soil type	树龄 Tree age
杨凌 Yangling	2.0 × 4.0	635.1	12.9	黑垆土 Dark loessial soils	3
凤翔 Fengxiang	2.0 × 3.5	601.6	11.5	黄壤土 Yellow earths	7
永寿 Youshou	2.0 × 4.0	600.0	10.8	黑垆土 Dark loessial soils	10
蒲城 Pucheng	2.0 × 4.0	541.7	13.2	黄绵土 Cultivated loessial soils	8

1.2 处理方法

在杨凌选取不同入土深度，且同一入土深度长势一致的树做处理，共 5 个处理，矮化中间砧入土深度分别是：5、10、15、20、30 cm，每个处理 5 次重复，每次重复 3 株。由于凤翔、永寿、蒲城的果园栽植较早，矮化中间砧按 5、15、30 cm 入土深度栽植，所以只调查 3 个处理，也是每个处理 5 次重复，每次重复 3 株。

1.3 根系分布的调查

参考秦玲等（2006）方法，用壕沟法对根系进行研究。在被调查树的树冠投影外缘（距离主干基部 60 cm）处，垂直于行向挖深 60 cm、长 120 cm、宽 60 cm 的壕沟，将壕沟靠被调查树的土壤剖面用铁锹铲平，在剖面上划 20 cm × 20 cm 的网格线，按直径将根分为 3 级，统计剖面上每个网格内直径为 < 2 mm、2~5 mm、> 5 mm 根的数量；在 0~20，20~40 和 40~60 土层，用方块取土法在距离果树主干横向 20、40、60 cm 处挖 20 cm × 20 cm × 20 cm 的土块，过筛将根系分离，冲洗干净后统计各土层不同类型根系的数量和干质量。

1.4 根系激素含量测定

2012 年 7—10 月对陕西杨凌示范园中树体细根（< 2 mm）每月采样 1 次，选取生长势相近果树的生长根作为激素测定的试材。

采样时间均在上午 8：00—11：00，分别采取各处理 0~20、20~40 和 40~60 cm 土层的生长根约 20 g，每个处理单株 5 次重复。所采样品封入塑封袋，用冰盒带回实验室，洗净后置于 - 70 ℃ 冰箱内储存，用酶联吸附免疫分析方法（ELISA）测定根系 ABA、IAA、ZR、GA 含量（邹养军 等，2006）。由于凤翔、永寿和蒲城距离实验室较远，根带回后已不能用作激素的测定，故只对杨凌试点取材的根测定激素。

1.5 果实产量品质调查

2012 年 10 月 18 日调查，从各处理树冠东西南北 4 个方向，每株随机取 4 个果实，每处理共取 20 个果实，运回实验室测定果实品质和单果质量；用数码游标卡尺测定果实纵、横径；用 GS-15 型水果质地分析仪测定果实去皮后的硬度；用 YTF-J 型手持折光仪测可溶性固形物含量；用酸碱滴定法测定可滴定酸；用日本 CR-400 型自动测色色差计测定果面色泽；采收时测定单株产量。

1.6 数据处理

数据经 Excel 整理后，采用 SPSS17.0 软件包进行统计方差分析。

2 结果与分析

2.1 矮化中间砧不同入土深度对果树根系生长分布的影响

从表 2 看出, 杨凌试验区不同处理根系数差异明显, 直径 < 2 mm 细根主要分布在 0~40 cm 土层, 而且占总根数 80% 以上, 各处理细根总数由大到小的排列顺序为中间砧入土深度 15、20、5、10 和 30 cm, 即矮化中间砧入土深度为 15 和 20 cm 时根系的细根条数最多。同样从表 2 看出各土层根系总数差异性显著, 各处理根系总数由大到小的排列顺序为中间砧入土 15、5、20、10、30 cm, 入土 15 cm 处理根系总数比入土 5、10、20 和 30 cm 处理多 18.2%、30%、19.5% 和 33.3%。

在凤翔、永寿和蒲城试验地, 各处理根系主要分布在 0~40 cm 土层, 直径 < 2 mm 的细根系数占总根系的 80% 以上。在这 3 地不同处理间根系数差异显著, 中间砧入土 15 cm 的细根数和总根数均大于入土 5 和 30 cm。总的来说中间砧入土深度为 15~20 cm 时有利于促进根系生长, 使根系数显著增加, 从而有利于树体吸收营养, 促进果树生长发育。

表 2 杨凌示范园矮化中间砧不同入土深度根系垂直分布状况  
Table 2 The difference of vertical distribution of root system with different planting depth of dwarfing rootstock in Yangling, Shaanxi

根直径/mm Roots diameter	入土深度/cm Depth	不同土层根数 Number of root of different soil layer			根总数 Number of total roots
		0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	
< 2	5	33.00 ± 4.50 bc	35.00 ± 4.04 ab	9.00 ± 1.08 b	77.00 ± 3.51 b
	10	27.00 ± 2.67 c	31.00 ± 2.83 b	14.00 ± 0.81 a	72.00 ± 5.62 bc
	15	47.00 ± 3.32 a	36.00 ± 1.84 a	9.00 ± 1.21 b	92.00 ± 4.16 a
	20	34.00 ± 1.05 b	34.00 ± 1.25 ab	13.00 ± 0.54 a	81.00 ± 4.02 b
	30	33.00 ± 3.82 bc	22.00 ± 2.62 c	10.00 ± 0.81 b	65.00 ± 4.81 c
2~5	5	4.00 ± 0.51 a	3.00 ± 0.46 b	2.00 ± 0.54 a	9.00 ± 0.64 a
	10	1.00 ± 0.33 c	1.00 ± 0.33 c	1.00 ± 0.33 b	3.00 ± 0.53 c
	15	2.00 ± 0.33 b	4.00 ± 0.38 a	1.00 ± 0.33 b	7.00 ± 0.47 b
	20	1.00 ± 0.33 c	1.00 ± 0.33 c	1.00 ± 0.33 b	3.00 ± 0.52 c
	30	2.00 ± 0.33 b	4.00 ± 0.27 a	2.00 ± 0.58 a	8.00 ± 0.55 ab
> 5	5	0.00 ± 0.00 c	1.00 ± 0.33 b	1.00 ± 0.33 b	2.00 ± 0.66 b
	10	1.00 ± 0.33 b	2.00 ± 0.66 a	2.00 ± 0.66 a	5.00 ± 0.58 a
	15	2.00 ± 0.66 a	2.00 ± 0.33 a	1.00 ± 0.33 b	5.00 ± 0.33 a
	20	0.00 ± 0.00 c	2.00 ± 0.66 a	1.00 ± 0.33 b	3.00 ± 0.57 b
	30	2.00 ± 0.33 a	2.00 ± 0.66 a	1.00 ± 0.33 b	5.00 ± 0.88 a
合计 Total	5	37.00 ± 3.43 b	39.00 ± 2.14 b	12.00 ± 0.62 b	88.00 ± 2.31 b
	10	29.00 ± 2.51 c	34.00 ± 1.25 c	17.00 ± 1.73 a	80.00 ± 3.24 c
	15	51.00 ± 2.74 a	42.00 ± 0.69 a	11.00 ± 1.06 b	104.00 ± 3.43 a
	20	35.00 ± 1.35 b	37.00 ± 1.55 b	15.00 ± 0.62 a	87.00 ± 2.71 b
	30	37.00 ± 2.49 b	28.00 ± 1.31 d	13.00 ± 1.27 b	78.00 ± 3.43 c

注: 不同小写字母表示相同土层相同直径中间砧不同入土深度之间在 0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters means significant at 0.05 level in different planting depth of apple dwarfing on the same soil layer and root diameter.

从表 3 可以看出, 杨凌试验区不同处理各土层苹果根系单位体积干质量, 在 0~40 cm 土层占较大比重; 40~60 cm 土层与 0~40 cm 土层相比呈减少趋势; 即根系主要集中分布在 0~40 cm 土层内。由表 3 还可以看出, 各处理不同土层根系单位体积总干质量由大到小的排列顺序为中间砧入土 15、5、20、30、10 cm, 中间砧入土 15 cm 的单位体积总干质量分别比入土 5、10、20、30 cm 的高 11.2%、68.4%、22% 和 45.3%。

在凤翔、永寿和蒲城等试验区的调查表明，中间砧入土 15 cm 处理的果树根系的干质量均大于入土 5 和 30 cm 处理，变化规律与杨凌试验区基本一致，说明矮化中间砧入土深度为 15 cm 时能明显促进果树根系的生长发育。

表 3 矮化中间砧不同入土深度各土层根系干质量差异

Table 3 The difference of dry weight of roots in each layer of earth with different dwarfing rootstock planting depth

地点 Location	入土深度/cm Depth	不同土层根系干质量/(mg·cm <sup>-3</sup> ) Dry weight of different soil layer			合计/(mg·cm <sup>-3</sup> ) Total
		0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	
杨凌 Yangling	5	0.184±0.025 ab	0.244±0.031 a	0.116±0.016 ab	0.545±0.037 ab
	10	0.091±0.013 c	0.148±0.045 b	0.122±0.042 ab	0.360±0.024 c
	15	0.238±0.036 a	0.217±0.013 a	0.151±0.035 a	0.606±0.033 a
	20	0.191±0.023 ab	0.215±0.036 ab	0.090±0.024 b	0.496±0.052 b
	30	0.161±0.016 b	0.169±0.023 b	0.087±0.031 ab	0.417±0.047 bc
凤翔 Fengxiang	5	0.197±0.013 b	1.672±0.152 b	0.725±0.031 c	2.594±0.485 b
	15	0.245±0.021 a	1.924±0.014 a	0.986±0.041 a	3.155±0.068 a
	30	0.103±0.035 c	1.581±0.032 b	0.839±0.012 b	2.523±0.039 b
永寿 Yongshou	5	1.017±0.038 b	1.283±0.041 c	0.371±0.014 b	2.671±0.035 c
	15	1.325±0.037 a	1.615±0.025 a	0.955±0.042 a	3.895±0.015 a
	30	1.330±0.051 a	1.465±0.036 b	0.295±0.049 c	3.090±0.036 b
蒲城 Pucheng	5	0.927±0.046 c	0.924±0.071 b	0.413±0.065 b	2.264±0.031 c
	15	1.293±0.012 a	1.578±0.055 a	0.903±0.042 a	3.774±0.044 a
	30	1.152±0.026 b	0.955±0.037 b	0.376±0.023 b	2.483±0.061 b

注：不同小写字母表示相同土层中间砧不同入土深度之间在 0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters means significant at 0.05 level in different planting depth of apple dwarfing on the same soil layer.

2.2 矮化中间砧不同入土深度对果树根系内源激素含量的影响

2.2.1 对果树根系内源激素含量变化的影响

由表 4 可以看出，中间砧不同入土深度各处理根系 ABA 含量差异显著，在 7 月，0~20 cm 土层，中间砧入土 5 cm 处理的根系 ABA 含量最高，其次是入土 15 cm；在 20~40 和 40~60 cm 土层，入土 15 cm 处理的 ABA 含量小于入土 5 和 30 cm 处理。在 8 月和 9 月，0~20 和 20~40 cm 土层，入土 15 cm 处理的根系 ABA 含量小于入土 5 和 30 cm 处理，在 10 月，0~20 和 40~60 cm 土层，中间砧入土 15 cm 处理的根系 ABA 含量小于入土 5 和 30 cm 的处理。总体上，中间砧入土深度为 15 cm 时，根系 ABA 含量小于中间砧入土深度为 5 和 30 cm 的处理。

在 7—10 月，根系 IAA 含量呈下降的趋势（表 4）。在 7 月，0~20 cm 土层根系，中间砧入土 5 cm 处理的 IAA 含量最高，其次是入土 15 cm 的处理，在 20~40 和 40~60 cm 土层，入土 15 cm 处理的 IAA 含量大于入土 5 和 30 cm 处理。8、9、10 月，在各土层入土 15 cm 根系的 IAA 含量最高。

中间砧不同入土深度处理的根系 GA 含量差异显著，7、9、10 月，各土层中入土 15 cm 处理的根系的 GA 含量大于入土 5 和 30 cm 处理；在 8 月，0~20 和 20~40 cm 土层，入土 30 cm 处理的根系 GA 含量大于入土 5 和 15 cm 处理，在 40~60 cm 土层，入土 5 cm 根系 GA 含量较大（表 4）。

在 7 月，0~20 cm 土层，入土 5 cm 处理的根系 ZR 含量最高为 7.11 ng·g<sup>-1</sup> FW，其次是入土 15 cm 处理，在 20~40 和 40~60 cm 土层，入土 15 cm 的 ZR 含量较高；在 8 月，0~20 和 40~60 cm 土层，入土 15 cm 处理的 ZR 含量大于入土 5 和 30 cm 处理。在 9 月和 10 月，0~20 和 20~40 cm 土层，入土 15 cm 处理的 ZR 含量较高（表 4）。

总的来看，在 7—10 月，促进根系生长的激素 IAA、GA、ZR 含量在中间砧入土 15 cm 中较高，

抑制生长的激素 ABA 含量较低。另外, ABA、IAA、ZR 含量随中间砧入土深度增加, 含量呈降低的趋势, 但 GA 的含量相对比较稳定, 在 20~40 cm 土层的根系中含量较高。

表 4 杨凌地区矮化中间砧不同入土深度各土层细根的内源激素含量

Table 4 The concentration of original hormone of roots in different layer of earth with different dwarfing rootstock planting depth

月份 Month	入土深度/cm Depth	ABA/ (ng · g <sup>-1</sup> FW)			IAA/ (ng · g <sup>-1</sup> FW)			GA/ (ng · g <sup>-1</sup> FW)			ZR/ (ng · g <sup>-1</sup> FW)		
		0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
7	5	90.81 a	89.45 a	73.53 a	145.88 a	106.98 c	88.12 b	6.11 c	5.51 c	4.96 c	7.11 a	5.91 c	4.09 c
July	15	83.93 b	61.02 c	64.97 b	145.84 a	155.79 a	137.90 a	7.72 a	10.33 a	9.15 a	6.52 b	6.77 a	5.97 a
	30	64.60 c	68.03 b	74.33 a	86.97 b	111.76 b	81.14 c	6.86 b	6.47 b	6.47 b	6.20 c	6.06 b	5.56 b
8	5	64.87 b	77.75 a	71.11 a	89.31 c	70.23 b	65.75 b	7.36 c	8.34 b	8.38 a	4.37 b	6.73 a	5.32 b
Aug.	15	63.44 b	54.60 c	56.81 b	98.67 a	90.97 a	70.01 a	7.86 b	6.50 c	6.32 c	6.69 a	5.47 c	9.08 a
	30	76.64 a	61.23 b	49.72 c	90.02 b	33.52 c	25.64 c	8.40 a	10.23 a	7.42 b	4.30 b	5.73 b	4.17 c
9	5	85.43 a	69.15 a	67.95 b	59.58 b	25.39 c	30.01 b	7.33 b	5.92 c	6.21 b	6.20 b	4.51 b	5.61 a
	15	67.73 b	65.50 c	58.90 c	62.87 a	35.73 a	69.85 a	7.62 a	8.84 a	7.07 a	7.88 a	6.26 a	3.55 c
Step.	30	68.57 b	66.15 b	84.26 a	25.18 c	30.27 b	26.85 c	6.82 c	7.32 b	4.98 c	4.33 c	4.57 b	5.30 b
10	5	78.21 a	68.27 b	50.48 b	45.42 b	24.39 c	28.52 b	6.52 a	8.84 b	5.93 b	5.78 b	3.82 c	3.62 c
	15	67.06 c	69.52 a	38.18 c	49.82 a	30.75 a	30.38 a	6.61 a	9.23 a	6.13 a	5.99 a	5.80 a	4.10 b
Oct.	30	69.82 b	67.35 c	58.17 a	23.23 c	25.82 b	22.19 c	6.34 b	7.25 c	5.02 c	3.76 c	4.92 b	4.76 a

注: 不同小写字母表示相同时期相同土层中间砧不同入土深度 (5 cm、15 cm、30 cm) 之间在 0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters means significant at 0.05 level in different planting depth (5 cm, 15 cm, 30 cm) of apple dwarfing on the same month and soil layer.

2.2.2 对根系 (IAA + GA + ZR) /ABA 比值变化的影响

由表 5 看出, 7—10 月各土层细根的 (IAA + GA + ZR) /ABA 比值呈下降的趋势, 且中间砧不同入土深度处理间差异显著。中间砧入土 15 cm 处理的细根中 (IAA + GA + ZR) /ABA 比值显著高于入土 5 和 30 cm 处理。(IAA + GA + ZR) /ABA 比值大有利于促进根系生长, 说明中间砧入土深度为 15 cm 时根系的生长状况较入土深度为 5 和 30 cm 处理的好。

表 5 杨凌地区矮化中间砧不同入土深度各土层细根 (IAA + GA + ZR) /ABA 比值

Table 5 The ratio of (IAA + GA + ZR) and ABA of fine roots in different layer of earth with different dwarfing rootstock planting depth

月份 Month	入土深度/cm Depth	(IAA + GA + ZR) /ABA		
		0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
7	5	1.750 ± 0.012 b	1.320 ± 0.003 c	1.320 ± 0.002 b
July	15	1.910 ± 0.003 a	2.830 ± 0.005 a	2.360 ± 0.002 a
	30	1.550 ± 0.008 c	1.840 ± 0.016 b	1.250 ± 0.004 c
8	5	1.560 ± 0.021 b	1.100 ± 0.008 b	1.120 ± 0.015 b
	15	1.780 ± 0.021 a	1.890 ± 0.012 a	1.500 ± 0.006 a
Aug.	30	1.340 ± 0.003 c	0.810 ± 0.021 c	0.750 ± 0.004 c
9	5	0.860 ± 0.013 b	0.520 ± 0.007 c	0.620 ± 0.005 b
	15	1.160 ± 0.003 a	0.780 ± 0.009 a	1.370 ± 0.005 a
Step.	30	0.530 ± 0.016 c	0.640 ± 0.005 b	0.440 ± 0.002 c
10	5	0.740 ± 0.009 b	0.540 ± 0.002 c	0.750 ± 0.011 b
	15	0.930 ± 0.007 a	0.660 ± 0.005 a	1.060 ± 0.004 a
Oct.	30	0.480 ± 0.008 c	0.560 ± 0.004 b	0.550 ± 0.001 c

注: 不同小写字母表示相同时期相同土层中间砧不同入土深度 (5 cm、15 cm、30 cm) 之间在 0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters means significant at 0.05 level in different planting depth (5 cm, 15 cm, 30 cm) of apple dwarfing on the same month and soil layer.

## 2.3 矮化中间砧不同入土深度对果实产量品质的影响

### 2.3.1 对果实产量的影响

杨凌试验区不同处理对苹果单株产量见表 6, 中间砧入土 15 cm 处理的单株产量较高, 比入土 5、10、20、30 cm 处理分别高 1.82、1.97、1.26、2.04 kg。在凤翔、永寿和蒲城试验地也是入土 15 cm 处理的单株产量最高。

### 2.3.2 对果实品质的影响

从表 6 中可以看出, 在杨凌试验区, 不同处理之间苹果果形指数差异不显著。矮化中间砧入土深度不同苹果单果质量有显著差异, 由大到小的排列顺序依次为, 入土 15 cm、20 cm、10 cm、30 cm、5 cm, 入土 15 cm 处理的单果质量比入土 5 cm、10 cm、20 cm、30 cm 分别大 60.01、38.59、37.6 和 56.2 g。在凤翔、永寿和蒲城试验区, 各处理间果形指数差异也不明显, 入土 15 cm 的单果质量最大。这说明中间砧入土深度为 15~20 cm 时, 根系吸收充足养分供果实生长发育。

从表 6 中还可以看出, 杨凌试验区各处理间果实可溶性固形物含量和硬度差异不显著。入土 15 cm 处理的可滴定酸含量显著低于其他处理。在凤翔、永寿和蒲城试验地, 中间砧入土 15 cm 的果实硬度较大, 可溶性固形物含量高, 可滴定酸含量少。

表 6 矮化中间砧不同入土深度对果实产量和品质的影响

Table 6 The impact of different dwarfing rootstock planting depth on yield and on fruit quality

地点 Location	入土深度/cm Depth	单果质量/g Single weight	果形指数 Length to diameter	果实硬度/ (kg · cm <sup>-1</sup> ) Hardness	可溶性固形物/% Soluble solid conten	可滴定酸/% Titratable acid content	单株产量/kg Yield/ Tree
杨凌 Yangling	5	212.70 ± 6.18 c	0.87 ± 0.021 a	6.53 ± 0.51 a	15.70 ± 0.36 a	0.44 ± 0.003 a	5.07 ± 0.13 c
	10	234.12 ± 7.26 b	0.79 ± 0.023 b	6.57 ± 0.56 a	15.80 ± 0.42 a	0.38 ± 0.007 c	4.92 ± 0.17 cd
	15	272.71 ± 6.31 a	0.83 ± 0.028 a	7.35 ± 0.62 a	15.53 ± 0.31 a	0.33 ± 0.013 d	6.89 ± 0.08 a
	20	235.11 ± 5.25 b	0.83 ± 0.024 a	6.52 ± 0.41 a	15.90 ± 0.47 a	0.41 ± 0.011 b	5.63 ± 0.16 b
	30	216.51 ± 6.48 c	0.82 ± 0.022 b	6.70 ± 0.73 a	15.52 ± 0.51 a	0.40 ± 0.015 bc	4.85 ± 0.05 d
凤翔 Fengxiang	5	262.00 ± 4.31 b	0.87 ± 0.054 a	6.37 ± 0.48 a	13.78 ± 0.34 b	0.46 ± 0.013 ab	89.00 ± 0.73 c
	15	275.00 ± 5.21 a	0.85 ± 0.014 a	6.42 ± 0.53 a	14.72 ± 0.15 a	0.45 ± 0.002 b	106.00 ± 0.86 a
	30	265.00 ± 4.04 b	0.76 ± 0.065 a	6.23 ± 0.36 a	13.96 ± 0.21 b	0.47 ± 0.003 a	93.00 ± 0.57 b
永寿 Yongshou	5	243.00 ± 5.13 b	0.77 ± 0.026 b	7.12 ± 0.13 b	14.93 ± 0.33 c	0.42 ± 0.012 a	72.00 ± 0.87 c
	15	256.00 ± 5.52 a	0.88 ± 0.031 a	7.69 ± 0.25 a	16.29 ± 0.27 a	0.39 ± 0.011 b	87.00 ± 0.93 a
	30	231.00 ± 4.71 c	0.82 ± 0.024 b	7.25 ± 0.16 b	15.81 ± 0.11 b	0.41 ± 0.002 a	76.00 ± 0.48 b
蒲城 Pucheng	5	249.00 ± 5.27 b	0.81 ± 0.041 ab	6.31 ± 0.21 a	13.91 ± 0.45 c	0.45 ± 0.003 b	84.00 ± 0.89 c
	15	268.00 ± 6.18 a	0.85 ± 0.017 a	6.46 ± 0.52 a	15.02 ± 0.23 a	0.44 ± 0.005 c	95.00 ± 0.98 a
	30	253.00 ± 5.32 ab	0.79 ± 0.031 b	6.29 ± 0.45 a	14.57 ± 0.12 b	0.47 ± 0.016 a	86.00 ± 0.53 b

注: 不同小写字母表示相同地点中间砧不同入土深度之间在 0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters in some column means significant at 0.05 level in different planting depth of apple dwarfing on the same location.

杨凌试验区不同处理对苹果色度的影响由表 7 可见,  $L^*$  值的大小排列顺序为, 入土 20 cm、5 cm、30 cm、15 cm、10 cm, 其中入土 20 cm 的  $L^*$  值最大为 59.48, 其他处理  $L^*$  值差异不显著。 $b^*$  值的大小排列顺序为, 入土 20 cm、5 cm、30 cm、10 cm、15 cm, 入土 20 cm 的  $b^*$  值最大为 22.23, 其他处理  $b^*$  值差异不显著。 $a^*$  值的大小排列顺序为, 入土 15 cm、30 cm、10 cm、20 cm、5 cm, 入土 15 cm 的  $a^*$  值最大为 14.04, 其他处理  $a^*$  值差异不显著。在凤翔、永寿和蒲城, 入土 15 cm 的果实色度优于其他处理。说明矮化中间砧入土深度在 15~20 cm 时, 可以显著改善果皮色度, 增加果实的整体着色, 提高红色程度。

表 7 矮化中间砧不同入土深度对果实色度的影响

Table 7 The impact of different dwarfing rootstock planting depth on fruit chromaticity

地点 Location	入土深度/cm Depth	$L^*$	$a^*$	$b^*$
杨凌 Yangling	5	56.92 ± 1.12 ab	12.87 ± 0.54 b	21.71 ± 0.53 ab
	10	55.69 ± 1.38 b	13.24 ± 0.42 ab	20.68 ± 0.94 b
	15	56.32 ± 2.33 ab	14.04 ± 0.39 a	19.73 ± 1.02 b
	20	59.48 ± 1.52 a	13.11 ± 0.42 b	22.23 ± 0.03 a
	30	56.61 ± 1.86 ab	13.63 ± 0.55 ab	20.76 ± 0.82 b
凤翔 Fengxiang	5	48.53 ± 1.53 b	32.01 ± 0.21 b	13.21 ± 0.43 b
	15	50.56 ± 0.40 a	33.22 ± 0.71 a	14.81 ± 0.53 a
	30	47.95 ± 0.99 b	31.03 ± 0.91 b	12.67 ± 0.48 b
永寿 Yongshou	5	52.57 ± 1.32 b	33.41 ± 0.41 b	12.54 ± 0.64 c
	15	55.12 ± 0.54 a	35.50 ± 0.47 a	15.44 ± 0.37 a
	30	51.76 ± 1.49 b	32.29 ± 0.37 c	13.99 ± 0.38 b
蒲城 Pucheng	5	46.63 ± 0.43 b	30.01 ± 0.31 b	12.43 ± 0.54 b
	15	49.33 ± 0.87 a	33.53 ± 0.65 a	14.05 ± 0.46 a
	30	45.49 ± 0.55 c	32.72 ± 0.75 a	12.94 ± 0.52 b

注：不同小写字母表示相同地点中间砧不同入土深度之间在 0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters means significant at 0.05 level in different planting depth of apple dwarfing on the same location.

3 讨论

根系作为果树吸收、疏导、调节、合成、贮藏、固定和支持的重要器官，在果树的生长发育中起着非常重要的作用（侯立群和王露琴，2003）。矮化中间砧的入土深度不同，直接影响果树根系的分布与生长。陈登文等（2002a）等研究表明，苹果矮化栽培，细根（< 2 mm）主要分布在 0~40 cm 土层，矮化中间砧入土 15 cm，果树细根的数量最多，总根数最多，干质量最大。本研究结果证实了此结论。贾稊等（1991）指出中间砧矮化程度越高果树根系越集中分布在土壤上层，直径 0~5 mm 的细根占总根量的百分率也越高，而且矮化中间砧深栽后，第 2 年中间砧开始生根。研究表明，矮化中间砧入土深度为 15 cm 时，根系数最多而且干质量最大，其次是入土深度为 20 cm。在调查的过程中发现各个入土深度埋入土壤中的中间砧已生根，形成中间砧根系和基础根系的两层根系。总体来看，矮化中间砧入土深度在 15~20 cm，树体地下部所处的环境最为适宜，土壤养分、水分含量及孔隙度为根系生长提供了良好的条件，故树体细根在此土层大量生长，进一步促进了树体地上部的生长发育，良好的树势反过来又促进了大量的细根发生，为其营养的吸收提供有力条件。矮化中间砧入土过深，入土 30 cm，土壤通气性差，土壤温度较低，限制了细根生长和活力的提高，所以细根生长量下降。

果树根系是脱落酸、赤霉素、细胞分裂素等内源激素的合成器官，也是果树生长发育的基础和中心，果树在适应环境时，根系起到了主要的调节、控制作用（王丽琴 等，2002；罗琏 等，2008；）。较高的内源 IAA 和 ZR 浓度有利于不定根的分化，对根的生长有促进作用，而且内源 IAA 是促进果树根系形成与生长的主要激素（Pagnussat et al., 2003；王金祥 等，2005；唐妍和杨喜田，2008；李永欣 等，2010）。本试验中选择 6—7 月和 9—11 月苹果树根系二次生长高峰期进行根系取样测定激素变化。研究得出，矮化中间砧入土 15 cm，较其他入土深度，在 7—10 月促进根系生长的激素 IAA、GA、ZR 含量均较高，抑制生长的激素 ABA 含量均较低，（IAA + GA + ZR）/ABA 比值最大。另外，ABA、IAA、ZR 含量随中间砧入土深度增加，含量出现降低的趋势，可能是由于 8、9、10 月杨凌进入了雨季，土壤的含水量增加，导致苹果根系 ABA 含量下降。但 GA 的含量相对比较稳定，在 20~40 cm 土层的根系中含量较高。这是因为在这个深度促进根系生长发育的 IAA、GA、ZR 含量较其他处理最多，而抑制根系生长的 ABA 含量较其他处理最少，所以矮化中间砧入土深度



为 15 cm 容易刺激果树根系的生长。王磊等(2010)研究认为, 较高的 (IAA + GA + ZR) / ABA 比值有利于果树细根的生长。本研究发现矮化中间砧入土深度为 15 cm 时 (IAA + GA + ZR) / ABA 比值最大, 这有利于促进果树根系的分化生长。有关苹果矮化中间砧入土生根后根系中激素的变化问题还有待于今后进一步的研究。

陈登文等(2002a)调查表明, 矮化中间砧入土 15 cm 较未入土果实单果质量较大, 可溶性固形物含量高, 着色率好, 优果率高, 产量高。本研究表明, 矮化中间砧入土深度为 15 cm, 苹果单果质量、可溶性固形物、着色率等都较矮化中间砧其他入土深度有所提高, 果实硬度较大, 可滴定酸含量小, 产量高, 果实品质优于其他处理。可能是因为矮化中间砧入土深度为 15 cm 较 5 cm 和 10 cm 处理, 一方面缩短了矮化中间砧长度, 使根系向上运输水分和营养的消耗减少, 积累量增多, 使地上部分的生理活性增强, 物质积累量增多。而且中间砧入土深度为 15 cm 果树根系数多, 可以从土壤中吸收充足的养分和水分, 果树体内养分充足, 增强了果树的光合特性, 果实得到的光合产物增多, 单果质量增加及产量提高。

综上所述, 苹果矮砧栽培矮化中间砧不同入土深度对果树根系激素含量, 根系生长和果实品质的影响显著。矮化中间砧适宜的入土深度对苹果矮化栽培非常重要, 在确定矮化中间砧的入土深度时应综合考虑气候、土壤、水肥、品种等因素。本研究认为矮化中间砧入土深度为 15 cm 促进果树生长的 GA、IAA、ZR 含量较多, (IAA + GA + ZR) / ABA 比值大。矮化中间砧入土深度为 15 ~ 20 cm, 果树细根数量多, 吸收充足的养分、水分供树体生长, 果实品质较优。

## References

- Chen Deng-wen, Li She-yi, Gao Ai-qin, Li Jia-rui. 2002a. Affection of planting pattern of short shape interstock apple trees on root distribution root system growth and development and fruit quality. *Journal of Northwest Forestry University*, 17 (4): 6 - 8. (in Chinese)
- 陈登文, 李社义, 高爱琴, 李嘉瑞. 2002a. 矮化中间砧苹果树定植方式对根系分布、生长及其果实品质的影响. *西北林学院学报*, 17 (4): 6 - 8.
- Chen Deng-wen, Yuan Jun-ru, Gao Ai-qin, Li Jia-rui. 2002b. The effect of different usage method of dwarfing on distribution of root system and growth and development of apple trees. *Northwest Acta Botanica Sinica*, 22 (5): 1165 - 1170. (in Chinese)
- 陈登文, 袁军儒, 高爱琴, 李嘉瑞. 2002b. 矮化砧不同利用方式对苹果树根群分布及生育的影响. *西北植物学报*, 22 (5): 1165 - 1170.
- Fan Wei-guo, Yang Hong-qiang. 2006. Root system architecture and the relations to nutritional status and plant growth hormone in fruit trees. *Journal of Fruit Science*, 23 (4): 587 - 592. (in Chinese)
- 范伟国, 杨洪强. 2006. 果树根系构型及其与营养和激素的关系. *果树学报*, 23 (4): 587 - 592.
- Gan Zhuo-ting, Liu Wen-zhao. 2008. Distribution of the fine roots of different age dapple trees in Weibei rainfed tableland of the loess plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 28 (7): 3402 - 3407. (in Chinese)
- 甘卓亭, 刘文兆. 2008. 渭北旱塬不同龄苹果细根空间分布特征. *生态学报*, 28 (7): 3402 - 3407.
- Hou Li-qun, Wang Lu-qin. 2003. The apple root research dynamic and prospect. *Shandong Forestry Science and Technology*, 149 (6): 53 - 55. (in Chinese)
- 侯立群, 王露琴. 2003. 果树根系研究动态与展望. *山东林业科技*, 149 (6): 53 - 55.
- Johnson M G, Tingey D T, Phillips D L, Storm M J. 2001. Advancing fine root research with minirhizotrons. *Environmental and Experimental Botany*, 45: 263 - 289.
- Jia Ti, Jia Peng, Liu Nai-yu, Jia Pin, Zhang Gui-rong. 1991. Effect of dwarf rootstocks in apple tree deep planting. *Journal of China Fruit Tree*, (1): 1 - 3. (in Chinese)
- 贾 梯, 贾 棚, 刘乃玉, 贾 频, 张桂荣. 1991. 矮化中间砧苹果树深栽的效应. *中国果树*, (1): 1 - 3.
- Li Bing-zhi, Han Ming-yu, Zhang Lin-sen, Lei Xiao-ming. 2010. Reasons for the slow dwarf rootstocks in apple production status and development. *Journal of Yantai Fruit*, (2): 1 - 4. (in Chinese)
- 李丙智, 韩明玉, 张林森, 雷小明. 2010. 我国矮砧苹果生产现状与发展缓慢的原因分析及建议. *烟台果树*, (2): 1 - 4.

- Li Shu-xia, Yang Jin-feng. 2006. Present situation and prospect of cold apple dwarf cultivation, China's Forest Vice Speciality, 83 (4): 107 - 108. (in Chinese)
- 李淑霞, 杨金凤. 2006. 寒地苹果矮化栽培的现状与前景. 中国林副特产, 83 (4): 107 - 108.
- Li Yong-xin, Zeng Hui-jie, Wang Xiao-ming, Cai Neng. 2010. Changes of endogenous hormones during *Swida wilsoniana* Wanger cutting. Chinese Agricultural Science Bulletin, 26 (15): 247 - 251. (in Chinese)
- 李永欣, 曾慧杰, 王晓明, 蔡 能. 2010. 光皮树扦插过程中内源激素变化. 中国农学通报, 26 (15): 247 - 251.
- Liu Guo-rong, Chen Hai-jiang, Xu Ji-zhong, Ma Bao-kun, Zhang Yuan. 2007. The effect of different dwarfing interstocks on 'Red Fuji' apple fruit quality. Journal of Agricultural University of Hebei, 30 (4): 25 - 27. (in Chinese)
- 刘国荣, 陈海江, 徐继忠, 马宝焜, 张 媛. 2007. 矮化中间砧对红富士苹果果实品质的影响. 河北农业大学学报, 30 (4): 25 - 27.
- Luo Jin, Sun Chang-zhong, Wang Qi, Xin Xue-bing, Kong Qing-yun. 2008. Study on root system formation and its regulation by phytohormones. Journal of Anhui agricultural Science, 36 (26): 11219 - 11222. (in Chinese)
- 罗 璉, 孙长忠, 王 琦, 辛学兵, 孔庆云. 2008. 根系的发育及其激素调控研究. 安徽农业科学, 36 (26): 11219 - 11222.
- Ma Bao-kun, Xu Ji-zhong, Sun Jian-she. 2010. Consideration for high density planting with dwarf rootstocks in apple in China. Journal of Fruit Science, 27 (1): 105 - 109. (in Chinese)
- 马宝焜, 徐继忠, 孙建设. 2010. 关于我国矮化砧苹果栽培的思考. 果树学报, 27 (1): 105 - 109.
- Pagnussat G C, Lanteri M L, Lamattina L. 2003. Nitric oxide and cyclic GMP are messengers in the indole acetic acid-induced adventitious rooting process. Plant Physiol, 132: 1241 - 1248.
- Qin Ling, Wei Qin-ping, Li Jia-rui, Zou Yang-jun, Wang Xiao-wei. 2006. Effect of the apple tree canopy on root distribution. Journal of Fruit Science, 23 (1): 105 - 107. (in Chinese)
- 秦 玲, 魏钦平, 李嘉瑞, 邹养军, 王小伟. 2006. 成龄苹果树形改造对根系生长分布的影响. 果树学报, 23 (1): 105 - 107.
- Schenk H J. 2005. Vertical vegetation structure below ground scaling from root to globe. Ecology, 66: 341 - 373.
- Tang Yan, Yang Xi-tian. 2008. The effect of cut root to change of endogenous hormones of *Platycladus orientalis* seedlings[M. D. Dissertation]. Zhengzhou: Henan Agricultural University. (in Chinese)
- 唐 妍, 杨喜田. 2008. 切根对侧柏幼苗根系生长过程中内源激素含量的影响[硕士论文]. 郑州: 河南农业大学.
- Wang Li-qin, Tang Fang, Zhao Fei, Shu Huai-rui. 2002. Effect of compact mutants and dwarfing rootstocks on endogenous hormone content of apple. Acta Horticulturae Sinica, 29 (1): 5 - 8. (in Chinese)
- 王丽琴, 唐 芳, 赵 飞, 束怀瑞. 2002. 苹果紧凑型品种和矮化砧木内源激素的变化. 园艺学报, 29 (1): 5 - 8.
- Wang Jin-xiang, Yan Xiao-long, Pan Rui-chi. 2005. Relationship between adventitious root formation and plant hormones. Journal of Plant Physiology Communications, 2 (4): 133 - 142. (in Chinese)
- 王金祥, 严小龙, 潘瑞炽. 2005. 不定根形成与植物激素的关系. 植物生理学通讯, 2 (4): 133 - 142.
- Wang Lei, Jiang Yuan-mao, Peng Fu-tian, Wei Shao-chong, Ge Shun-feng, Fang Xiang-jī. 2010. Effects of branch bending on growth of new shoots and the dynamic changes of endogenous hormones in apple. Scientia Agricultural Sinica, 43 (22): 4761 - 4764. (in Chinese)
- 王 磊, 姜远茂, 彭福田, 魏绍冲, 葛顺峰, 房祥吉. 2010. 开张角度对苹果植株体内源激素含量及平衡的影响. 中国农业科学, 43 (22): 4761 - 4764.
- Xue Xiao-min, Lu Chao, Wang Jin-zheng, Yu Guo-he, Wang Gui-ping. 2012. The effect of different dwarfing interstocks on apple fruit growth and fruit quality. Deciduous Fruit, 44 (1): 5 - 7. (in Chinese)
- 薛晓敏, 路 超, 王金政, 于国合, 王贵平. 2012. 矮化中间砧对苹果树生长结果及果实品质的影响. 落叶果树, 44 (1): 5 - 7.
- Zhai Heng, Shi Da-chuan, Shu Huai-rui. 2007. Current status and developing trend of apple industry in China. Journal of Fruit Science, 24 (3): 355 - 360. (in Chinese)
- 翟 衡, 史大川, 束怀瑞. 2007. 我国苹果产业发展现状与趋势. 果树学报, 24 (3): 355 - 360.
- Zou Yang-jun, Wei Qin-ping, Li Jia-rui, Wang Xiao-wei. 2006. Effects of partial rootzones irrigation on endogenous hormones and growth of apple branches and leaves. Acta Horticulturae Sinica, 33 (5): 1039 - 1041. (in Chinese)
- 邹养军, 魏钦平, 李嘉瑞, 王小伟. 2006. 根系分区灌水对苹果叶片内源激素及生长的影响. 园艺学报, 33 (5): 1039 - 1041.