网络出版时间:2026-04-08 DOI:10.13207/j.jnwafu.2026.10.014

吴起楸子不同高度嫁接对‘秦脆’苹果生理特性的影响

杨如意,胡悦,坚宇宇,邹养军
(西北农林科技大学 园艺学院,陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 【目的】分析吴起楸子不同嫁接高度对‘秦脆’苹果生理特性的影响,筛选出最佳嫁接高度,为‘秦脆’苹果的优质高效栽培提供理论支撑。【方法】以田间种植的脱毒吴起楸子组培苗(砧木)和脱毒‘秦脆’接穗为材料,分别设置8个不同梯度的嫁接高度处理(砧木地上部10,20,30,40,50,60,70,80 cm),培育成2年生大苗后定植于大田,测定‘秦脆’苹果的树干直径、萌芽率、叶片特征和光合参数、新梢长度与粗度以及枝类组成,比较不同嫁接高度对‘秦脆’树体生理特性以及叶片光合效率的影响。【结果】当嫁接高度在10和50 cm时,树干直径均较高;当嫁接高度为30~50 cm时,萌芽率明显高于其他处理;当嫁接高度为50 cm时,百叶厚度、百叶鲜质量、叶片面积和叶绿素相对含量均最大。净光合速率、蒸腾速率、气孔导度在嫁接高度为50和60 cm时均较高,胞间CO_2较低。当嫁接高度为80 cm时,新梢长度最大,新梢粗度最小;当嫁接高度为50 cm时,新梢长度最小,新梢粗度最大。枝类组成在嫁接高度为10和50 cm时表现较好。【结论】吴起楸子不同高度嫁接对‘秦脆’苹果生理特性均有明显影响,最佳嫁接高度为50 cm。

[关键词] ‘秦脆’苹果;吴起楸子;嫁接高度;树干直径;生理特性
[中图分类号] S661.104+.3 [文献标志码] A [文章编号] 1671-9387(2026)10-0130-08

Effects of grafting height on physiological characteristics of ‘Qincui’apple grafted onto *Malus prunifolia*‘Wuqi’

YANG Ruyi,HU Yue,JIAN Yuyu,ZOU Yangjun
(*College of Horticulture,Northwest A&F University,Yangling,Shaanxi* 712100,*China*)

Abstract:【Objective】This study aimed to investigate the effects of different grafting heights on the physiological characteristics of ‘Qincui’ apple grafted onto *Malus prunifolia* ‘Wuqi’ rootstocks,and identify the optimal grafting height,to provide theoretical support for the high-quality and efficient cultivation of ‘Qincui’ apple.【Method】Using virus-free tissue-cultured seedlings of *Malus prunifolia* ‘Wuqi’ rootstocks and virus-free ‘Qincui’ apple scions as materials,eight different grafting height treatments (10,20,30,40,50,60,70,and 80 cm above ground on the rootstock) were established. After cultivating them into two-year-old nursery trees,they were transplanted into the field. Measurements were taken on trunk diameter,bud burst rate,leaf characteristics,photosynthetic parameters,shoot length and diameter, and branch type composition of the ‘Qincui’ apple trees. The effects of different grafting heights on the physiological traits and leaf photosynthetic efficiency of ‘Qincui’ trees were compared.【Result】The trunk diameter was relatively large at grafting heights of 10 cm and 50 cm. The bud burst rate was significantly higher in the 30—50 cm grafting height range compared with other

[收稿日期] 2025-10-22 [修回日期] 2025-12-20
[基金项目] 陕西省两链融合重点专项“延安山地苹果优良砧木和砧穗组合研究与示范”(2023LLRH-01);国家苹果产业技术体系延安综合试验站项目(CARS-27)
[作者简介] 杨如意(2000—),女,陕西韩城人,在读硕士,主要从事苹果栽培与生理生态研究。E-mail:19991222766@163.com
[通信作者] 邹养军(1969—),男,陕西乾县人,研究员,博士,博士生导师,主要从事苹果栽培与生理生态研究。E-mail:yangjunzou@126.com

treatments. At 50 cm, the leaf thickness per 100 leaves, fresh weight per 100 leaves, leaf area, and relative chlorophyll content all reached their maximum. The net photosynthetic rate, transpiration rate, and stomatal conductance were higher at grafting heights of 50 cm and 60 cm, while the intercellular CO_2 concentration was lower. Shoot length was greatest at 80 cm but its diameter was the smallest. Conversely, shoot length was the smallest and the shoot diameter was the largest at 50 cm. Branch-type composition was optimal at grafting heights of 10 cm and 50 cm.【Conclusion】This study demonstrated that grafting height on *Malus prunifolia* ‘Wuqi’ rootstocks significantly affected the physiological traits of ‘Qincui’ apple trees, and 50 cm was identified as the optimal height.

Key words: ‘Qincui’ apple; *Malus prunifolia* ‘Wuqi’; grafting height; trunk diameter; physiological trait

黄土高原作为我国苹果的优势产区，长期面临干旱少雨、土壤瘠薄及腐烂病高发等问题。‘秦脆’是由‘长富 2 号’和‘蜜脆’育成的晚熟苹果新品种，因早果性、脆甜多汁、耐贮运等特性[1]，2023 年和 2024 年连续被农业农村部列为主推品种，目前全国推广面积近 2.7 万 km^2。该品种的育成对于陕西苹果产业的更新换代、结构调整、转型升级具有重要意义[2]。然而，该品种在旱区的表现受制于砧木适配性——传统乔化砧木（如山定子）低位嫁接易诱发枝干轮纹病[3]，而引入矮化砧（如 M9）则存在抗旱性不足、需支架栽培等问题[4]。

楸子（*Malus prunifolia*（Willd.）Borkh.）是蔷薇科苹果属植物，别名海棠果，原产自我国，栽培历史悠久，其中吴起楸子是珍贵的砧木材料，作为本土优质砧木，兼具强抗旱性（根系深达 3 m）、耐盐碱（pH 6.5～7.8）、抗腐烂病等特性，且嫁接亲和力强[5]。然而，目前尚未见关于吴起楸子与‘秦脆’的嫁接适配机制，尤其是嫁接高度对树体生理及产量的调控作用研究。

近年来的研究表明，不同特性的苹果品种在嫁接高度上也有所差异[6]。在实际生产中，乔化砧木和半乔化砧木通常采用高位嫁接来提高苹果的抗旱性、耐寒性、抗盐碱性以及果实产量，该方法甚至可以改善果实的品质[7-11]。虽然高位嫁接能够控制生长势，提高水分利用率和成花率，但会使长枝与短枝的比例减小，叶绿素相对含量也不如低位嫁接树体[12]。在乔化砧木上进行嫁接，当嫁接高度在 60 cm 时树体的长、中、短枝及总枝量整体表现好于嫁接高度为 30 和 0 cm 的树体，而当嫁接高度为 0 和 30 cm 时果实外在品质优于嫁接高度 60 cm 处理[13]。国外关于苹果嫁接高度研究较少，但有一些关于其他果树嫁接高度的研究，例如，嫁接高度对酸橙幼树生长有显著影响，并且酸橙嫁接枳壳砧木的最佳高度是 16 cm[14]。此外，研究发现，嫁接时间、方法和高度影响着温带水果嫁接成功率[15]。也有研究发现，嫁接高度与病害也有一定的联系，如低位嫁接会增加印度尼西亚可可血管条纹枯萎病（VSD）传播的可能性[16]。

以往有关苹果树嫁接高度的研究，主要集中于山丁子[8,17]、平邑甜茶[3,9-12]和富平楸子[7,18]等砧木，而关于吴起楸子的研究较少，且其嫁接‘秦脆’的适宜高度尚不明确。为此，本研究设置嫁接高度多梯度试验，首次探索吴起楸子不同嫁接高度对‘秦脆’苹果生理特性的影响，旨在筛选出适宜的嫁接高度，以期为‘秦脆’苹果在旱区优质高效栽培提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验地点

试验于 2024 年 4 月开始在西北农林科技大学洛川苹果试验站进行。试验站位于陕西省延安市洛川县凤栖镇卢白村（109°21′ E，35°47′ N），属于渭北黄土高原沟壑区，塬面平坦，土地宽广，质地优良；属暖温带半湿润大陆性季风气候，平均海拔 1 080 m，年平均气温 9.2 ℃，昼夜温差 12.8 ℃，年降雨量 622 mm，年均无霜期 167 d，年均日照时数 2 525 h。园区土壤类型是沙壤土。

1.2　试验材料及处理

以脱毒吴起楸子组培苗为砧木，嫁接脱毒‘秦脆’接穗，嫁接高度分别为 10，20，30，40，50，60，70 和 80 cm，培育成 2 年生多分枝大苗（干粗 3～5 cm，高度 1.8～2 m，分枝数 7～10），于 2024 年 4 月 12 日在洛川试验站种植，行距 4 m，株距 1.5 m，种植时地面与嫁接口的距离与嫁接高度对应，每个嫁接高度种植 10 株，进行常规管理。

1.3　测定指标与方法

1.3.1　树干直径　树干直径指砧木和接穗嫁接口以上 10 cm 处中心干的直径。在 2024 年 7 月 13 日，

将每个处理的10棵树进行标记后测量树干直径并记录数据,取每个处理的平均值;在2024年12月13日测量每个处理相同的10棵树的树干直径,取每个处理的平均值。使用游标卡尺测量树干直径,精确到0.01 mm。2024年12月13日与2024年7月13日树干直径的差值,即为树干直径增量。

1.3.2 萌芽率调查 在萌芽结束后调查,于2024年5月11日,在苹果树的东西南北4个方向各选一个枝组进行调查,每个处理调查10个枝组,萌芽率=萌芽数/总芽数×100%。

1.3.3 叶片指标测定 2024年7月,在苹果树东西南北4个方向随机采集叶片,每个处理重复10次。百叶厚度用游标卡尺测定,百叶鲜质量用精度为0.01的电子天平称量,叶面积用Yaxin-1242叶面积仪测量,叶绿素相对含量用手持式叶绿素仪(Chlorophyll Meter SPAD-502 Plus)测定。

1.3.4 光合指标 于2024年7月中上旬,选择晴天08:00—10:00,在苹果树东西南北4个方向选择健康完整叶片,每个处理20片叶。使用LI-6400XT便携式光合仪(叶室为6400-40荧光叶室,光子照度1 500 μmol/(m^2·s))测定净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和胞间CO_2浓度(C_i)。

1.3.5 新梢长度和粗度 于2024年12月2日,在每棵苹果树树冠外围东南西北4个方向各选择1个新梢,用卷尺测量新梢长度,用游标卡尺测量新梢粗度,每个处理测量20个新梢。

1.3.6 枝类数量与组成 当苹果树处于休眠期(2024年11月30日)时,测定8个处理苹果树的枝类组成。根据枝条长度,可分为5类:大于30 cm为极长枝;>15~30 cm为长枝;>5~15 cm为中枝;2~5 cm为短枝;叶片丛状排列、节间很短的为叶丛枝(小于2 cm)。每个处理选取10株树,统计极长枝、长枝、中枝、短枝和叶丛枝的数量,以上枝条总和作为总枝数量,各枝类数量与总枝数量的百分比作为该枝类的比例。

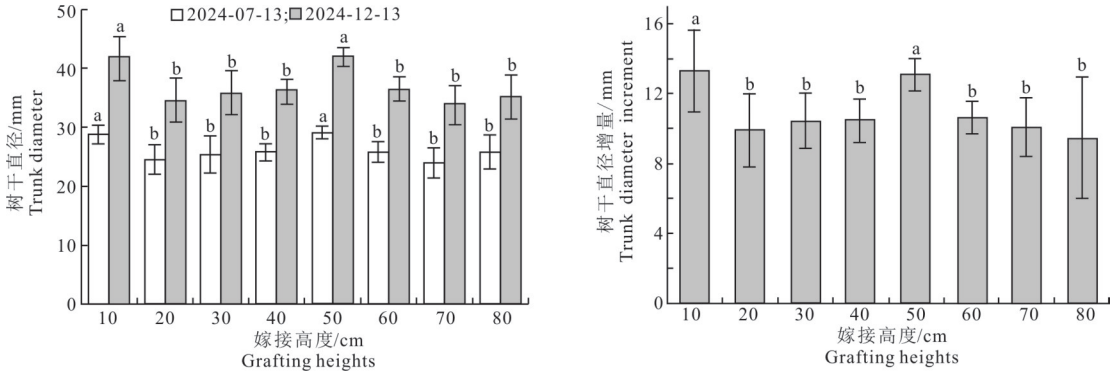
1.4 数据统计与分析

试验结果用"平均值±标准误差(SE)"来表示(n=3),用SPSS 25.0进行了单一变量差异检验(ANOVA)(P<0.05)。采用WPS(12.1.021541)进行数据整理,使用Origin 2022进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同嫁接高度对'秦脆'苹果树干直径的影响

从图1可以看出,吴起楸子不同嫁接高度对'秦脆'苹果树干直径有明显影响。当嫁接高度为50 cm时,'秦脆'苹果树干直径最大,2024年7月13日和2024年12月13日的测定值分别是29.12和42.21 mm;其次是嫁接高度10 cm处理,但二者之间无显著差异;嫁接高度10和50 cm处理树干直径显著高于其他处理。从2024年7月13日到2024年12月13日,'秦脆'苹果树干直径增量最大的是嫁接高度10 cm处理,其次是嫁接高度50 cm处理,二者之间没有显著差异,但与其他6个嫁接高度处理都有显著差异。总体而言,当吴起楸子嫁接'秦脆'的高度在10和50 cm时,树干直径表现较好。



图柱上标不同小写字母代表各处理间具有显著差异(P<0.05)。下图同。

Different lowercase letters indicate significant differences among treatments(P<0.05). The same below.

图1 8个不同嫁接高度对'秦脆'苹果树干直径的影响

Fig. 1 Effects of eight grafting heights on the trunk diameter of 'Qincui' apple

2.2 不同嫁接高度对'秦脆'苹果萌芽率的影响

不同高度嫁接对'秦脆'萌芽率的影响如图2所示。图2显示,当嫁接高度为10~30 cm时,萌芽率开始升高;当嫁接高度为30 cm时达到最高,为45.29%;之后逐渐降低。当嫁接高度为30 cm时萌芽率最高,但与嫁接高度40和50 cm处理之间无显

著差异；当嫁接高度为 80 cm 时萌芽率最低（为 32.39%）。总体来看，萌芽率在嫁接高度为 30，40 和 50 cm 时表现较好。

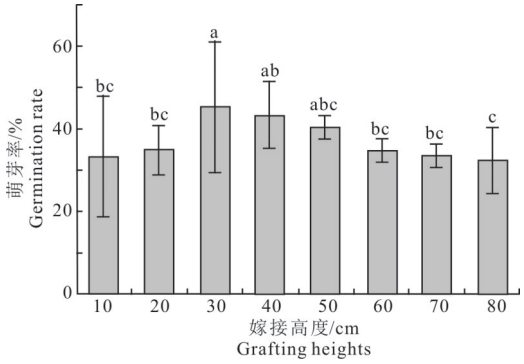


图 2　8个不同嫁接高度对‘秦脆’苹果萌芽率的影响

Fig. 2　Effects of eight grafting heights on the germination rate of ‘Qincui’ apple

2.3　不同嫁接高度对‘秦脆’苹果叶片指标的影响

从表 1 可以看出，不同嫁接高度对‘秦脆’苹果叶片的百叶厚度、百叶鲜质量以及叶绿素相对含量都有显著影响，但对叶片面积没有显著性影响。当吴起楸子嫁接‘秦脆’高度为 50 cm 时，百叶厚度最大，为 68.5 mm，显著高于其他 7 个嫁接高度处理；当嫁接高度为 30 cm 时百叶厚度最小，为 47.0 mm，比嫁接高度为 50 cm 时的百叶厚度减少了 31.4%。

从表 1 还可以看出，当嫁接高度为 50 cm 时，百叶鲜质量最大，为 94.50 g，与其他 7 个嫁接高度具有显著差异；当嫁接高度为 30 cm 时，百叶鲜质量最低，为 84.46 g，但与嫁接高度 20 cm 处理之间无显著差异。

从表 1 还可以看出，吴起楸子不同嫁接高度对‘秦脆’苹果叶面积没有显著性影响。当嫁接高度为 50 cm 时叶面积最大，为 3 835.16 mm^2；当嫁接高度为 10 cm 时叶面积最小，为 3 147.96 mm^2；与嫁接高度 10 cm 处理相比，嫁接高度 50 cm 处理的苹果叶面积提高了 21.83%。

从表 1 还可以看出，叶绿素相对含量在嫁接高度为 50 cm 时最大，为 62.37，与嫁接高度 10，20，30，70 和 80 cm 处理都有显著差异，但与嫁接高度 40 和 60 cm 处理没有显著差异。当嫁接高度为 80 cm 时叶绿素相对含量最少，为 56.56，比嫁接高度 50 cm 处理叶绿素相对含量显著减少了 9.32%。

表 1　不同嫁接高度对‘秦脆’苹果叶片指标的影响

Table 1　Effects of different grafting heights on leaf indicators of ‘Qincui’ apple

嫁接高度/cm Grafting height	百叶厚度/mm One hundred leaves thickness	百叶鲜质量/g One hundred leaves fresh weight	叶面积/mm^2 Leaf area	叶绿素相对含量 Relative chlorophyll content
10	49.7±0.07 c	90.97±0.64 c	3 147.96±904.89 a	57.54±1.73 b
20	47.5±0.04 d	85.11±0.50 d	3 354.19±748.75 a	57.75±3.82 b
30	47.0±0.06 d	84.46±0.72 d	3 285.65±652.53 a	57.69±2.92 b
40	49.6±0.06 c	90.81±0.42 c	3 359.78±762.10 a	60.52±6.75 ab
50	68.5±0.28 a	94.50±0.59 a	3 835.16±330.01 a	62.37±8.07 a
60	48.8±0.03 c	90.74±0.55 c	3 768.40±442.08 a	60.79±7.98 ab
70	51.1±0.04 b	91.37±0.64 bc	3 722.12±381.21 a	57.52±5.74 b
80	51.3±0.04 b	91.90±0.84 b	3 737.26±240.11 a	56.56±3.49 b

注：同列数据后标不同小写字母代表不同处理间差异显著（$P<0.05$）。下表同。

Note：Different lowercase letters indicate significant differences among treatments（$P<0.05$）. The same below.

2.4　不同嫁接高度对‘秦脆’苹果光合指标的影响

从表 2 可以看出，不同嫁接高度对‘秦脆’苹果叶片的净光合速率（P_n）、蒸腾速率（T_r）、气孔导度（G_s）和胞间 CO_2 浓度（C_i）都有显著影响。随着嫁接高度的增加，净光合速率（P_n）呈现先增高后降低的趋势，当嫁接高度为 50 cm 时达到峰值（22.16 μmol/（m^2·s）），与嫁接高度 60 cm 处理之间没有显著差异，但这 2 个嫁接高度处理的 P_n 显著高于其他处理。

从表 2 可以看出，随着嫁接高度的增加，蒸腾速率（T_r）也呈先增高后降低的趋势，在嫁接高度为 60 cm 时到达峰值（4.78 mmol/（m^2·s）），但与嫁接高度 50 cm（4.63 mmol/（m^2·s））处理之间没有显著差异，这 2 个嫁接高度处理显著高于其余 6 个处理。

从表 2 可以看出，随着嫁接高度的增加，气孔导度（G_s）同样呈先增高后降低的趋势，当嫁接高度 50～60 cm 时达到最高值（0.17 mmol/（m^2·s）），且与其他 6 个嫁接高度处理之间具有显著差异。

从表 2 可以看出，随着嫁接高度的增加，C_i 与其他 3 个光合特性指标的表现相反，即呈先降低后增高的趋势，在嫁接高度为 50 cm 时最低（234.69 μmol/mol），与其他 7 个嫁接高度处理间均具有显著差异。综上可知‘秦脆’苹果光合效率在嫁接高度为 50 和 60 cm 时表现较好。

表2 8个不同嫁接高度对'秦脆'苹果光合特性的影响

Table 2 Effects of eight grafting heights on the photosynthetic characteristics of 'Qincui' apple

嫁接高度/cm Grafting height	净光合速率/($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) Net photosynthetic rate	蒸腾速率/($mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) Transpiration rate	气孔导度/($mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) Stomatal conductance	胞间CO_2浓度/($\mu mol \cdot mol^{-1}$) Intercellular CO_2 concentration
10	18.16±0.49 d	2.13±0.21 d	0.07±0.01 f	294.56±5.77 a
20	18.21±0.57 d	2.37±0.38 d	0.08±0.01 e	294.13±5.18 a
30	20.28±0.65 b	3.83±0.40 b	0.13±0.01 c	270.08±3.18 c
40	20.42±0.54 b	3.97±0.28 b	0.14±0.01 b	268.83±3.23 c
50	22.16±0.35 a	4.63±0.31 a	0.17±0.01 a	234.69±6.35 f
60	22.06±0.28 a	4.78±0.40 a	0.17±0.01 a	239.82±4.59 e
70	18.85±0.33 c	2.69±0.35 c	0.11±0.01 d	258.83±2.66 d
80	18.28±0.36 d	2.21±0.29 d	0.11±0.01 d	278.27±3.47 b

2.5 不同嫁接高度对'秦脆'苹果新梢生长的影响

从图3可以看出,不同嫁接高度对'秦脆'苹果新梢生长有显著影响。当嫁接高度为80 cm时新梢长度最大,为23.03 cm,与嫁接高度20,60和70 cm处理之间均没有显著差异;当嫁接高度为50 cm时新梢长度最小,为16.85 cm,与嫁接高度10,30和40 cm处理之间均没有显著差异。当嫁接高度从50 cm增加至80 cm时,新梢长度增加了约36.68%。新梢粗度的变化与新梢长度总体相反,在嫁接高度为50 cm时新梢粗度达到最大,为6.72 mm,与嫁接高度10 cm处理之间没有显著差异,与其他6个嫁接高度处理之间均有显著差异;当嫁接高度为80 cm时新梢粗度最小,为3.32 mm,与嫁接高度70 cm处理之间没有显著差异,但与其他6个嫁接高度处理之间均具有显著差异。因此可以看出,嫁接高度为60~80 cm时新梢长度长势良好,嫁接高度为10和50 cm时新梢粗度长势良好。

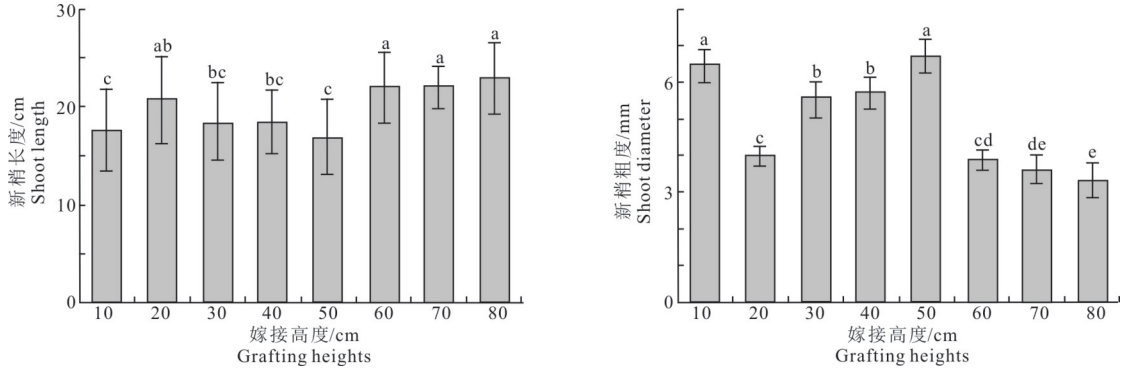


图3 8个不同嫁接高度对'秦脆'苹果新梢生长的影响

Fig. 3 Effects of eight grafting heights on shoot growth of 'Qincui' apple

2.6 不同嫁接高度对'秦脆'苹果枝类数量与组成的影响

2.6.1 枝类数量 从表3可以看出,不同嫁接高度对'秦脆'各类枝条的数量有显著影响。当嫁接高度为80 cm时,极长枝数量最大,与其他7个嫁接高度都具有显著差异;当嫁接高度为10 cm时,极长枝数量最小,与其他7个嫁接高度都具有显著差异,比嫁接高度为80 cm时的极长枝数量减少了82.76%。

从表3可以看出,当嫁接高度为70 cm时长枝数量最大,与嫁接高度80 cm时没有显著差异,但与其他6个嫁接高度处理之间具有显著差异;当嫁接高度为50 cm时长枝数量最小,比嫁接高度为70 cm时减少了81.01%。

从表3可以看出,当嫁接高度为50 cm时,中枝数量最大,与其他7个嫁接高度处理之间均具有显著差异;当嫁接高度为80 cm时,中枝数量最小,比嫁接高度50 cm时减少了70.11%,与嫁接高度60 cm处理之间没有显著差异,但与其他6个嫁接高度处理均具有显著差异。

从表3可以看出,当嫁接高度为50 cm时短枝数量达到最大,与其他7个嫁接高度均具有显著性差异;当嫁接高度为80 cm时短枝数量最小,比嫁接高度50 cm时减少了59.41%。

从表3可以看出,当嫁接高度为50 cm时叶丛枝数量最多,当嫁接高度为10 cm时最低,比嫁接高度50 cm时减少了75.3%。

从表3可以看出，当嫁接高度为50 cm时总枝数量最大，显著高于其他处理，当嫁接高度为10 cm时最小，比嫁接高度50 cm时的总枝数量减少了41.59%。

表3　8个不同嫁接高度对‘秦脆’苹果枝类数量的影响

Table 3　Effects of eight grafting heights on the number of various branch types in ‘Qincui’ apple　　个/株

嫁接高度/cm Grafting height	极长枝数量 Number of extremely long shoots	长枝数量 Number of long shoots	中枝数量 Number of medium shoots	短枝数量 Number of short shoots	叶丛枝数量 Number of spur shoots	总枝数量 Total number of shoots
10	0.40±0.07 e	0.36±0.09 cd	0.92±0.08 b	1.00±0.16 cd	1.14±0.13 e	3.82±0.31 f
20	1.20±0.07 c	0.58±0.08 b	0.78±0.08 bc	0.90±0.07 cd	1.96±0.27 cd	5.42±0.30 d
30	0.72±0.08 d	0.40±0.07 cd	0.80±0.07 bc	0.86±0.11 cd	1.76±0.06 d	4.54±0.11 ef
40	0.80±0.10 d	0.40±0.07 cd	0.88±0.05 b	1.12±0.13 c	1.80±0.10 d	5.00±0.12 de
50	1.18±0.13 c	0.30±0.07 d	1.74±0.11 a	2.02±0.11 a	4.62±0.13 a	9.86±0.38 a
60	1.98±0.15 b	0.46±0.11 bc	0.54±0.15 de	1.60±0.35 b	1.96±0.32 cd	6.54±0.76 c
70	2.12±0.13 b	1.58±0.11 a	0.68±0.08 cd	0.88±0.24 cd	2.74±0.53 b	8.00±0.81 b
80	2.32±0.13 a	1.44±0.09 a	0.52±0.08 e	0.82±0.11 d	2.22±0.23 c	7.32±0.38 b

2.6.2　枝类组成　苹果是以中短果枝结果为主的树种，枝条组成直接影响果实产量和品质。极长枝，也称为发育枝或徒长枝，主要功能是扩大树冠、建立骨架、积累养分，数量过多会造成树冠郁闭，消耗大量养分，影响成花结果；长枝主要功能是扩大枝组和提供营养，因此将极长枝率和长枝率分为一组，命名T1。中枝、短枝和叶丛枝是主要结果枝，因此将中枝率、短枝率和叶丛枝率分为一组，命名T2。由表4可知，当嫁接高度为80 cm时，T1最大（51.45%），T2最小（48.55%）；当嫁接高度为50 cm时，T1最小（15.01%），T2最大（84.99%）。因此可以得出嫁接高度为50 cm时，枝类组成的比例最优；当嫁接高度为80 cm时，枝类组成的比例最差。长枝少、短枝多会构成更加合理的枝类分布，并提高树体丰产性[19]。因此，本试验将T2高于70%以上视作枝类组成比例良好，据此标准可知当嫁接高度10，30和40 cm时，T2分别为80.05%，75.33%和76.03%，以上3个处理‘秦脆’苹果枝类组成比例良好；当嫁接高度20，60和70 cm时，T2分别为67.14%，62.37%和53.39%，‘秦脆’枝类组成比例较差。

表4　不同嫁接高度对‘秦脆’苹果枝类组成的影响

Table 4　Effects of different grafting heights on the branch type composition of ‘Qincui’ apple　　%

嫁接高度/cm Grafting height	极长枝率 Percentage of vegetative shoots	长枝率 Percentage of long shoots	中枝率 Percentage of medium shoots	短枝率 Percentage of short shoots	叶丛枝率 Percentage of spur shoots
10	10.51±2.05 e	9.44±2.23 bc	24.19±2.81 a	26.06±2.19 a	29.80±1.88 d
20	22.14±0.46 c	10.71±1.47 b	14.40±1.52 c	16.65±1.71 e	36.09±3.73 bc
30	15.86±1.85 d	8.82±1.59 bc	17.63±1.63 b	18.92±2.21 de	38.78±1.28 b
40	15.99±1.79 d	7.98±1.24 bc	17.61±1.00 b	22.43±2.91 bc	35.99±1.62 bc
50	11.98±1.36 e	3.03±0.63 d	17.64±0.60 b	20.48±0.66 cd	46.87±0.74 a
60	30.59±4.03 a	7.04±1.73 c	8.20±1.84 d	24.33±3.40 ab	29.84±1.86 d
70	26.63±2.12 b	19.98±2.91 a	8.50±0.56 d	10.87±1.75 f	34.02±3.07 c
80	31.76±2.26 a	19.69±1.21 a	7.09±0.99 d	11.17±0.99 f	30.29±1.96 d

3　讨论与结论

研究表明，山丁子嫁接不同苹果品系最适宜嫁接高度为距地面40～45 cm，嫁接高度过高或过低均会限制枝条的生长[17]。关于薄壳山核桃的研究发现，砧木地径会随着嫁接高度的增加而增大[20]；研究发现，瑞雪苹果树干周会随着嫁接高度的增加而增大[13]，这与本试验研究结果不同。本试验发现，‘秦脆’苹果树干直径并未随嫁接高度的增加呈线性增长，其中当嫁接高度为20～50 cm时，树干直径随嫁接高度的增加而增大；在嫁接高度为50～80 cm时，树干直径随嫁接高度的增加而总体减小，分析其原因，可能与研究对象和设置的嫁接高度梯度不一致有关。本研究中，‘秦脆’苹果树干直径在嫁接高度为10和50 cm时均较高，可能是由于嫁接高度为10 cm时果树具有较高的生理效率，而嫁接高度为50 cm时果树具有较优冠层结构与较高的光合生产力。

研究发现,低位嫁接处理(嫁接高度10 cm)'岳冠'苹果净光合速率、蒸腾速率显著高于高位嫁接处理(嫁接高度70 cm)[10];低位嫁接处理(嫁接高度10 cm)丽嘎拉苹果树干直径显著高于高位嫁接(嫁接高度60 cm)处理[11]。本试验结果显示,当嫁接高度为50~60 cm时,'秦脆'苹果树叶片的光合特性明显优于其他处理,这与前人的研究结果有差异,这可能是由于不同苹果品种的遗传背景差异较大,其对砧木信号的敏感性和响应模式不同所致。

本研究发现,随着嫁接高度的增加,'秦脆'苹果果树的总枝数量基本上呈先增加后降低的趋势,这与邢燕[13]、高梦澜[18]的研究结果一致;当嫁接高度为50 cm时,总枝数量最大,枝类组成的比例最优,这与前人发现的当嫁接高度为40~60 cm时,具有促进苹果果实分枝和早期生育潜力的研究结论[13]一致。

优良砧木或接穗可以显著促进嫁接植物生长,提高其抗逆性及果实产量和品质,是一种绿色安全可持续的方法[21]。本试验通过设置8个梯度的嫁接高度,研究吴起楸子不同嫁接高度对'秦脆'生理特性的影响,综合分析认为吴起楸子嫁接'秦脆'苹果的最佳高度是50 cm,这是乔化砧木嫁接中多种生理机制协同作用的结果。首先,从光合系统与碳同化优势理论出发,8个嫁接高度处理中,嫁接高度50 cm处理苹果树的干高具有最优冠层结构基础,为树冠提供了一个理想的通风透光环境,减少了基部叶片相互遮挡,提高了群体光能捕获效率,这直接导致了该处理苹果树叶片具有较高净光合速率;此外,优越的光合环境还促进了叶片的形态建成,嫁接高度50 cm处理苹果树的百叶厚度、百叶鲜质量、叶片面积以及叶绿素相对含量表现良好,这通常是因为叶片栅栏组织更发达,叶片更厚,叶肉细胞排列紧密,增加了光合作用场所,避免了弱光下叶绿素的分解,并减少了强光下的光抑制风险。其次,从激素平衡与营养输导的理论出发,接穗产生的生长素向下运输,主导了砧木根系的发育和功能,嫁接高度50 cm是一个"最适距离",距离过短(嫁接高度10 cm),生长素流过于集中、强烈,可能导致砧根局部活性过高,与地上部竞争养分,或引发不必要的萌蘖(消耗养分);而距离过长(嫁接高度>50 cm),生长素在长距离运输中会有降解和再分配,信号减弱,对根系的刺激作用下降,影响根系对水分和养分的吸收效率,进而影响地上部生长。综上,嫁接高度50 cm可能实现了生长素信号的稳定、持续传输,最优地协调了地上部生长与地下部生长的平衡。

[参考文献]

[1] 曹依静,孙昂,聂琳,等. 黄河故道地区中晚熟苹果品种"秦脆"的引种表现及栽培技术[J]. 中国南方果树,2024(2):229-233.
CAO Y J,SUN A,NIE L,et al. Introduction performance and cultivation techniques of middle-late ripening apple variety 'Qincui' in the old Yellow River area[J]. South China Fruits,2024(2):229-233.

[2] 邹养军,马锋旺,符轩畅,等. 晚熟苹果新品种'秦脆'[J]. 园艺学报,2019(5):1011-1012.
ZOU Y J,MA F W,FU X C,et al. A new late-maturing apple variety 'Qincui'[J]. Acta Horticulturae Sinica,2019(5):1011-1012.

[3] 张广仁,张秀美,李广旭. 平邑甜茶砧木对苹果轮纹病的影响[J]. 辽宁农业科学,2020(3):62-64.
ZHANG G R,ZHANG X M,LI G X. Effect of *Malus hupehensis* var. *pingyiensis* rootstock on apple ring rot[J]. Liaoning Agricultural Sciences,2020(3):62-64.

[4] 王朱莉,金喜丽阁,李文胜,等. 干旱胁迫对4个苹果砧木资源幼苗生理特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2025,53(11):120-132.
WANG Z L,JIN X,LI W S,et al. Effects of drought stress on physiological characteristics of seedlings of four apple rootstock resources[J]. Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition),2025,53(11):120-132.

[5] 程占叶,高伯明,高彦,等. 吴起楸子资源现状与原生境保护对策[J]. 西北园艺,2024(8):71-73,83.
CHENG Z Y,GAO B M,GAO Y,et al. Present situation of *Catalpa bungeana* resources in Wuqi and its original habitat protection countermeasures[J]. Northwest Horticulture,2024(8):71-73,83.

[6] 程瑞春. 林木嫁接砧穗平衡理论及其应用[J]. 内蒙古林业调查设计,2021,44(1):14-17,55.
CHENG R C. The rootstock-scion balance theory and its application in tree grafting[J]. Inner Mongolia Forestry Investigation and Design,2021,44(1):14-17,55.

[7] 高梦澜,马锋旺. 苹果砧木富平楸子嫁接高度对抗旱性的影响[J]. 陕西农业科学,2023,69(3):28-34.
GAO M L,MA F W. Effect of grafting height on drought resistence of apple rootstock *Malus prunifolia*[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences,2023,69(3):28-34.

[8] 刘文丽. 大同地区红叶山丁子高位嫁接快繁技术试验及园林应用[J]. 林业科技通讯,2023(7):61-63.
LIU W L. The rapid propagation technique and landscape application of high grafting of *Malus baccsta* in Datong Area[J]. Forest Science and Technology,2023(7):61-63.

[9] 孙长乾. 平邑甜茶高接'宫崎短枝红富士'苹果的密植栽培技

术[J]. 北方果树，2022(3)：26-28.
SUN C Q. Close planting cultivation techniques of pingyi sweet tea grafted with Miyazaki short branch red ‘Fuji’ apple[J]. Northern Fruits，2022(3)：26-28.

[10] 姜孝军，何明莉，杨锋，等. 平邑甜茶高接繁育苹果新品种大苗技术[J]. 北方果树，2021(1)：32-33.
JIANG X J，HE M L，YANG F，et al. Techniques of high grafting of pingyi sweet tea to breed new apple varieties and seedlings[J]. Northern Fruits，2021(1)：32-33.

[11] 李宏建，于年文，宋哲，等. 平邑甜茶高位嫁接丽嘎拉苹果树冠层内枝类结构和果实品质、产量的分布[J]. 果树学报，2024，41(5)：887-896.
LI H J，YU N W，SONG Z，et al. Distribution of branch composition，fruit quality and yield within the tree canopy of Regal Gala/*Malus hupehensis* Rehd. by top grafting[J]. Journal of Fruit Science，2024，41(5)：887-896.

[12] 吕天星，沈淑荣，闫忠业，等. 平邑甜茶嫁接高度对‘岳冠’苹果生长和结果的影响[J]. 中国果树，2021(8)：52-54，69.
LÜ T X，SHEN S R，YAN Z Y，et al. Effects of grafting height of *Malus* hupenensis on the growth and fruiting of ‘Yueguan’ apple[J]. China Fruits，2021(8)：52-54，69.

[13] 邢燕. 砧树年龄及嫁接高度对高接瑞雪苹果生长及果实品质的影响[D]. 陕西杨凌：西北农林科技大学，2021.
XING Y. Effects of rootstock age and grafting height on the growth and fruit quality of top grafting Ruixue apple[D]. Yangling，Shaanxi：Northwest A&F University，2021.

[14] CHALISE B，PAUDYAL K P，SRIVASTAVA S P. Effect of grafting height on success and subsequent growth of acid lime (*Citrus aurantifolia* Swingle) saplings[J]. Nepal Journal of Science and Technology，2014，14(2)：25-32.

[15] DAS B，KISHOR A，AHMED N. Budding and grafting time and height as determining factors for bud take and successive plant growth in some temperate fruits[J]. Indian Journal of Horticulture，2018，75(2)：326.

[16] ASMAN A，ROSMANA A，AMIN N，et al. Survival capacity of cacao top grafted with scions infected by vascular streak dieback pathogen：potential source of the disease’s long-distance spread[J]. Archives of Phytopathology and Plant Protection，2019，52(13/14)：1095-1103.

[17] 冯章丽，卜海东，刘畅，等. 山丁子不同高度嫁接对苹果品系成活率的影响[J]. 中国林副特产，2015(5)：21-23.
FENG Z L，BU H D，LIU C，et al. Effects of survival rate and growth vigor for apple tree by different grafting height of *Malus baccata* Borkh[J]. Forest By-Product and Speciality in China，2015(5)：21-23.

[18] 高梦澜. 苹果砧木富平楸子的无性繁殖和砧木嫁接高度对生长发育及抗性的影响[D]陕西杨凌：西北农林科技大学，2022.
GAO M L. Effects of asexual propagation and rootstock planting height on growth，development and stress resistance of *Malus prunifolia*[D]. Yangling，Shaanxi：Northwest A&F University，2022.

[19] 江珊. 不同砧穗组合富士系品种在陕西苹果产区的适应性研究[D]. 陕西杨凌：西北农林科技大学，2021.
JIANG S. Study on the adaptability of Fuji varieties with different rootstock-scion combinations in Shaanxi apple production area[D]. Yangling，Shaanxi：Northwest A&F University，2021.

[20] 杜洋文，邓先珍. 不同嫁接高度对薄壳山核桃实生大树高接成活及生长影响[J]. 湖北林业科技，2020，49(5)：13-16.
DU Y W，DENG X Z. Effects of different height grafting on the survival and growth of seedling tree in *Carya illinoensis*[J]. Hubei Forestry Science and Technology，2020，49(5)：13-16.

[21] 张捷，艾迪，孟景祥，等. 植物嫁接砧木与接穗互作机制研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2022，50(5)：139-145.
ZHANG J，AI D，MENG J X，et al. Research progress on interactive mechanism between rootstock and scion after plant grafting[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)，2022，50(5)：139-145.

（责任编辑：李小平）

(上接第 129 页)

[27] 李崇晖，王亮生，舒庆艳，等. 迎红杜鹃花色素组成及花色在开花过程中的变化[J]. 园艺学报，2008，35(7)：1023-1030.
LI C H，WANG L S，SHU Q Y，et al. Pigments composition of petals and floral color change during the blooming period in *Rhododendron mucronulatum*[J]. Acta Horticulturae Sinica，2008，35(7)：1023-1030.

[28] 林昭. 不同色系杜鹃花品种花部性状、花色成分分析和杂交育种试验[D]. 杭州：浙江农林大学，2023.
LIN Z. Analysis of floral traits，flower pigment composition and hybrid breeding experiments of different color cultivars of *Rhododendron*[D]. Hangzhou：Zhejiang A&F University，2023.

（责任编辑：李小平）