

5个矮化中间砧对‘沂水红’富士苹果生长、结果和叶片矿质元素积累的影响

何平, 李林光, 王海波, 常源升

(山东省果树研究所, 山东泰安 271000)

摘要: 【目的】探讨5个不同矮化中间砧对‘沂水红’富士树体生长发育的影响, 为推广中国培育的具有自主知识产权的苹果矮化砧木提供依据。【方法】以5年生的矮化中间砧苹果幼树(‘沂水红’富士/M26、SH6、青砧2号、辽砧2号、M9T337/平邑甜茶)为试材, 连续3年对不同砧穗组合树体生长、果实产量、品质及生长期叶片矿质元素进行测定分析。【结果】从嫁接复合体主干生长一致性看, 辽砧2号与基础和接穗的亲合性最好; 在新梢生长动态上, 不同砧穗组合虽相似, 但SH6树体新梢年生长量始终处于较高水平; 在枝类组成上, M9T337树体短枝比例最高(65.2%), 长枝比例最小(11.1%); 在单株平均产量上, M26较高; 各组合果实的单果重、果形指数、果实硬度、可溶性固形物和可滴定酸含量差异不大。生长期, 辽砧2号、青砧2号和SH6上的叶片氮、磷、钾、钙和镁含量处于较高水平, 辽砧2号叶片铁含量在整个生长期保持较高水平; 生长后期, M9T337钙含量略高。【结论】SH6、青砧2号和辽砧2号作为中间砧嫁接‘沂水红’富士具有亲合性好, 树体小, 枝类组成合理, 产量稳定, 果实品质优良等特点。

关键词: 矮化中间砧; 沂水红富士; 树体生长; 矿质元素

Effects of Five Dwarfing Interstocks on Shoot Growth, Fruiting and Accumulation of Mineral Elements in Leaves of Yishui Red Fuji Apple

HE Ping, LI LinGuang, WANG HaiBo, CHANG YuanSheng

(Shandong Fruit Research Institute, Tai'an 271000, Shandong)

Abstract: 【Objective】Five dwarfing interstocks were evaluated on tree growth, yield, fruit quality and accumulation of mineral elements in leaves of Yishui red Fuji apple (*Malus domestica* Mill) for three years in order to select the suitable dwarfing interstock with independent intellectual property rights. 【Method】The Yishui red Fuji apple tree seedlings with different dwarf interstock (M26, SH6, Qing 2, Liao 2 and M9T337) planted in spring of 2009 were used as experimental trees, and the dynamic changes of tree growth, yields and fruit qualities and accumulation of mineral elements in leaves were investigated from 2014 to 2016. 【Result】The results showed that the interstock Liao 2 had better growing compatibility with the rootstock and the scion. The shoot growth of Yishui red Fuji trees grafted on SH6 was significantly higher than that of on other four interstocks, although the shoot growth tendency of Yishui red Fuji trees grafted on different interstocks was similar. The ratio of short shoots of SH6 dwarfing interstock apple tree was the highest (65.2%), and the ratio of long branches was the lowest (11.1%). The average yield per plant of M26 dwarfing interstock apple trees was significantly higher than the other four interstock, but the proportion of big fruits (the fruit weight more than 200 g) from high to low in order was Qing 2>Liao 2>SH6>M9T337>M26. There was no significant difference among five dwarfing interstock apple trees in average weight of fruit weight, fruit shape, fruit hardness, the content of soluble solid

收稿日期: 2017-07-05; 接受日期: 2017-10-12

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-27)、山东省重点研发计划(2016GNC113008, 2014GNC113004, 2017GNC13113)、山东省农业重大应用创新(2014)、山东省农业科学院农业科技创新工程(CXGC2016B07)

联系方式: 何平, E-mail: heping024@163.com. 通信作者李林光, Tel: 0538-8266675; E-mail: llg6536@163.com

and solid-acid ratio. During the growing stages, the contents of N, P, Ca, and Mg in the leaves of the scion trees grafted on Qing 2, Liao 2 and SH6 were relatively higher, and high Zn content was found on Liao 2 interstock tree. However, the contents of Ca in leaves of the Yishui red Fuji trees grafted on M9T337 were slightly higher in later growth stage. 【Conclusion】 According to the 3 years survey data, Yishui Red Fuji apple trees with Qing 2, Liao 2 and SH6 dwarf interstocks showed better growing compatibility, small tree, moderate growth, early bearing, high and stable yield, and good fruit quality characters.

Key words: dwarf interstock; yishui red fuji apple; tree growth; mineral element

0 引言

【研究意义】苹果 (*Malus domestica* Mill) 属于蔷薇科 (Rosaceae) 苹果属 (*Malus*), 在世界上广泛栽培的果树, 中国是世界上最大苹果生产国, 面积和产量均占世界 50% 左右^[1]。矮砧栽培已成为世界苹果栽培发展方向, 近年来, 中国苹果矮化栽培面积也在不断扩大, 其中, 利用国外引进的 M26 等矮化中间砧的栽培模式占有相当大的比例^[2-4]。但是, 国外引进砧木的适应性存在风险, 不能满足中国不同苹果产区的多样化需求。因此, 系统评价国内选育的矮化砧木, 对于满足不同产区的技术需求, 保障中国苹果产业的健康可持续发展具有重要意义。【前人研究进展】国外应用的苹果矮化砧木主要为由英国东茂林试验站育成的 M 系和 MM 系^[5-7], 由俄罗斯米丘林大学选育的 B 系, 由美国密执安大学选育的 MAC 系^[8]和由波兰斯凯尔捏维采果树研究所育成的 P 系^[8-9], 这些砧木已被世界各国广泛应用于生产或作为育种资源, 发挥了重大作用。20 世纪 80 年代, 中国先后从国外引进优良砧木资源, 开展了系统的推广应用和选育工作^[10], 选育出一批适宜中国气候条件、土壤类型和栽植方式的苹果矮化中间砧木类型。SH 系砧木是山西省农业科学院果树研究所培育的一系列苹果矮化砧木, 该系列砧木具有适应范围广, 易成花, 结果早, 抗冻力强, 方便管理等特点^[11]。在山西、河南和河北等苹果主产区试验均表现出抗寒性突出, 适应性强, 亲合力好^[12-13]。青砧系列砧木为山东省青岛市农业科学院选育而成的具有无融合生殖特点的苹果砧木系列, 种子繁殖的实生后代表现整齐一致, 矮生, 经多年区域性试验, 结果表明适应性、嫁接亲和性、矮化效果、丰产性突出^[14-15]。辽砧系列砧木为辽宁省果树科学研究所从助列涅特与 M9 的杂交后代中选育出的一批矮化砧木, 具有早果、丰产、亲和性好、抗寒性强等优点。在辽宁等地以辽砧 2 号为中间砧嫁接不同品种, 表现抗性强, 产量高、品质优良^[16]。【本研究切入点】SH 系、青砧系和辽砧系矮化砧木为具有自主知识产权的

矮化砧木, 适应中国的气候、土壤等生态条件, 作为矮化中间砧在国内推广应用意义重大, 但缺乏与国外优良砧木的比较及砧穗组合的综合评价。【拟解决的关键问题】本研究以 M26、SH6、青砧 2 号、辽砧 2 号和 M9T337 为中间砧的‘沂水红’富士苹果树 (‘沂水红’富士/矮化中间砧/平邑甜茶) 为试材, 通过不同砧穗组合对树体生长发育情况和生长期叶片矿质元素含量变化的测定分析, 探讨不同中间砧对树体生长发育及营养水平、产量及果实性状的影响, 为具有自主知识产权的苹果矮化砧木推广应用提供依据。

1 材料与方法

试验于 2014—2016 年在山东省泰安市山东省果树研究所天平湖试验基地进行。

1.1 试验材料

2009 年定植矮化中间砧苗木 (‘沂水红’富士/M26、SH6、青砧 2 号、辽砧 2 号、M9T337/平邑甜茶), 中间砧长度为 20 cm, 株行距为 2.0 m×5.0 m, ‘红珍珠’海棠为专业授粉树。试验园为丘陵梯田, 沙壤土, pH 为 6.8—7.0, 土壤有机质 9 g·kg⁻¹ 左右, 碱解氮 5.8 mg·kg⁻¹, 速效磷 1.0—2.0 mg·kg⁻¹, 速效钾 7.8—9.1 mg·kg⁻¹。按照细纺锤树形整形修剪, 常规管理, 并保证试验条件一致。

1.2 试验方法

2014 年开始, 连续 3 年进行树体生产情况调查。每个砧穗组合选取 15 株生长势基本一致的试验树, 5 株为 1 个重复, 3 次重复。在 4—11 月, 每株树选 10 个新梢测量其长度, 每隔 15 d 测量一次; 同时取外围新梢的中部叶片, 每株取 20 片叶测定矿质元素含量。氮含量用半微量凯氏定氮法, 磷用钒钼黄比色法, 钾用火焰光度计法测定, 用原子吸收分光光度计法测定其他元素^[17]。

落叶前调查不同砧穗组合的树冠内不同类型当年生枝的枝条数量, 枝条分类为: <5 cm, 5—15 cm, 15—30 cm, >30 cm; 落叶后测定主干生长情况, 包括: 基砧与中间砧接口下部 10 cm 处粗度, 两个接口

之间粗度,接穗品种与中间砧接口上 10 cm 处的粗度。

产量以单株采收计算,每个砧穗组合,随机选取共 60 个果实进行品质测定(包括单果质量、横径、纵径、果实硬度和可溶性固形物和可滴定酸含量)。

1.3 数据处理与分析

应用 SPSS 和 Excel 等软件进行数据统计分析及作图。

2 结果

2.1 不同中间砧对主干生长的影响

嫁接树(由基础、中间砧和‘沂水红’富士砧穗组合)的生长情况来看,中间砧辽砧 2 号与基础生长一致性最好,比值接近 1,其他中间砧与基础表现一定程度的‘小脚’现象,其中 SH6 和青砧 2 号稍轻点,

与基础的比值为 1.06,而 M9T337 和 M26 与基础的比值分别为 1.09 和 1.14,明显表现‘小脚’现象(表 1)。

从接穗与中间砧干径比值结果表明,辽砧 2 号为中间砧对沂水红富士接穗主干增粗的影响较小,品种接穗与中间砧比值接近于 1,相对于其他砧穗组合表现亲和性较好;而 M26 和 M9T337 对品种主干增粗影响较大(表 1)。

2.2 不同中间砧对新梢生长的影响

不同中间砧的‘沂水红’富士树体新梢生长情况存在差异。整体来看,不同中间砧树体新梢生长的年变化趋势相同,进入结果期后,树体新梢的年生长量呈现逐年下降的趋势,进入稳定生产阶段(图 1)。栽植前 5 年(2009—2013 年)不同中间砧沂水红富士树体新梢生长动态差异显著,年生长量上差异较

表 1 基础、中间砧和接穗品种主干生长情况(2014—2016 年均值)

Table 1 The growth condition of rootstock, interstock and tree trunk (mean values from 2014 to 2016)

中间砧 Interstock	干径/cm Diameter			中间砧/基础 I/R	接穗/中间砧 S/I
	基础 Rootstock (R)	中间砧 Interstock (I)	接穗 Scion(S)		
M26	6.4a	7.3a	5.2b	1.14	0.71
SH6	6.4a	6.8b	6.4a	1.06	0.94
青砧 2 号 Qing 2	6.5a	6.9ab	6.6a	1.06	0.95
辽砧 2 号 Liao 2	6.4a	6.5b	6.7a	1.01	1.03
M9T337	6.5a	7.1a	5.5b	1.09	0.77

不同小写字母表示差异达 5%显著水平。下同

Different letters means significant at 5% level. The same as below

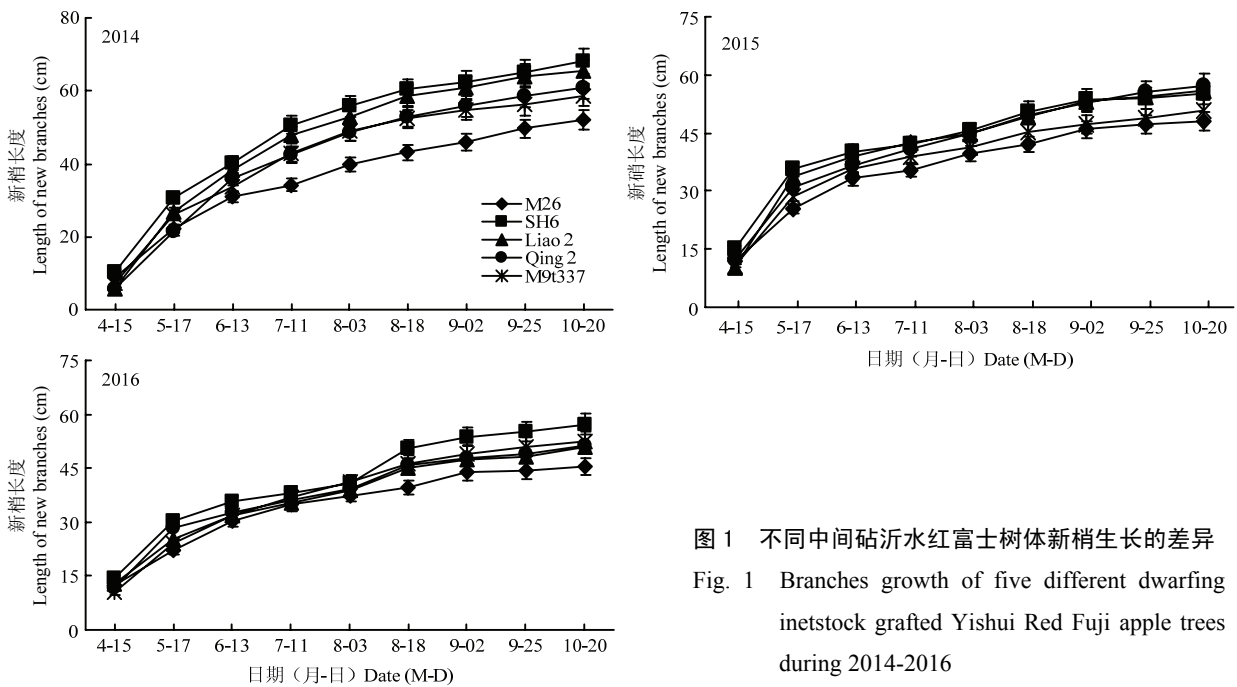


图 1 不同中间砧沂水红富士树体新梢生长的差异

Fig. 1 Branches growth of five different dwarfing inetstock grafted Yishui Red Fuji apple trees during 2014-2016

大（数据未提供），到第 6 年（2014 年），不同中间砧树体开始呈现相同生长变化规律，且差异不显著，但年生长量上还有一点差异。根据 2014—2016 三年的调查发现，SH6 树体的新梢年生长量始终处在较高水平，M26 树体的新梢生长量基本保持最低，辽砧 2 号与青砧 2 号树体的新梢生长量相接近（图 1）。

2.3 不同中间砧对枝类组成的影响

不同矮化中间砧嫁接‘沂水红’富士组合在树体枝类组成上存在差异，如图 2 所示。整体来看，不同中间砧对树体枝类组成的影响趋势相同。从定植到稳定结果期，不同中间砧树体的枝类组成呈现明显的逐年变化规律，即长枝比例不断减少，短枝比例不断增加，盛果期后，树体枝类组成趋于稳定。综合 2014—2016 年 3 年不同中间砧树体的枝类组成数据，可以看出，M9T337 作为中间砧，‘沂水红’富士树体短枝比例最高（65.2%），长枝比例最小（11.1%）。

2.4 不同中间砧对果实产量和品质的影响

不同矮化中间砧的‘沂水红’富士，栽植第 3 年（2012 年）开始有产量，第 5 年，平均单株产量在 30 kg 左右（亩产约 2 600 kg）。综合 2014—2016 年 3 年的单株产量情况，3 年累计单株产量均超过 100 kg，

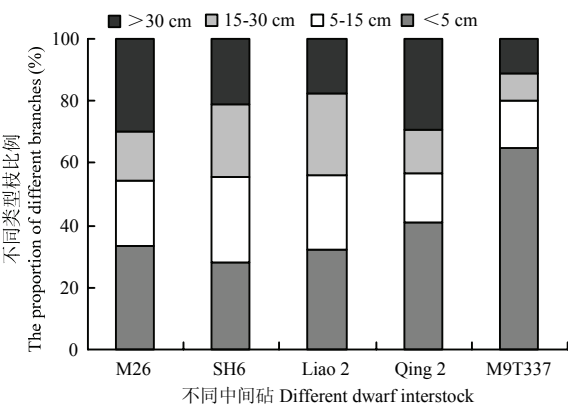


图 2 不同中间砧沂水红富士树体枝类组成差异（2014—2016 年均值）

Fig. 2 The proportion of different branches (%)in Yishui Red Fuji apple trees during 2014 to 2016

其中 M9T337 稍低，M26、青砧 2 号高，辽砧 2 号、SH6 居中。根据果实单果重比较不同中间砧‘沂水红’富士的果实分级情况，大果率（单果重>200 g 的果实占总产量的比例）由高到低依次为：青砧 2 号>辽砧 2 号>SH6>M9T337>M26（表 2）。

表 2 不同中间砧沂水红富士果实产量差异

Table 2 Plant yield of five dwarfing interstock grafted Yishui Red Fuji apple trees

中间砧 Interstock	2014		2015		2016	
	单株产量	>200 g 果实比例	单株产量	>200 g 果实比例	单株产量	>200 g 果实比例
	Single plant yield (kg)	>200 g fruits (%)	Single plant yield (kg)	>200 g fruits (%)	Single plant yield (kg)	>200 g fruits (%)
M26	37	45	42	51	52	54
SH6	30	57	38	53	45	59
辽砧 2 号 Liao 2	32	61	40	60	44	59
青砧 2 号 Qing 2	35	63	45	60	49	62
M9T337	28	52	35	50	40	55

综合 2014—2016 年的调查比较不同中间砧沂水红富士果实品质（表 3），结果表明，不同中间砧‘沂水红’富士果实的平均单果重、果形指数差异不显著，M26 可溶性固形物含量最高，辽砧 2 号果实硬度最大，青砧 2 号可滴定酸含量较低；其中 M26 作为中间砧果实果形指数的变异系数最小，果实一致性最好。青砧 2 号作为中间砧果实的固酸比最高，表现突出。

2.5 不同中间砧对树体生长期叶片中大量元素含量的影响

不同砧木的‘沂水红’富士树体生长期内叶片氮

含量变化趋势相同，仅在 5 月中旬有一个上升高峰，6—9 月的叶片含氮量持续下降，随后在 9 月下旬 10 月初略有回升（图 3-A）。生长初期辽砧 2 号上叶片氮含量明显高于其他砧，这与辽砧 2 号上‘沂水红’富士新梢生长量前期明显大于其他组合是一致的。与其他砧穗组合相比，M9T337 上的叶片含氮量在生长期大多处于较低状态，这也可能是 M9T337 上的‘沂水红’富士易成花，但单果质量和单株产量均相对较低的原因之一。

不同砧木的沂水红富士树体生长期内叶片磷含量变化趋势与叶片氮含量变化趋势相同，仅在 5 月中旬

表 3 不同中间砧沂水红富士果实品质差异（2014-2016 年均值）

Table 3 Fruit quality of five different dwarfing interstock Yishui Red Fuji apple trees from 2014 to 2016

中间砧	平均单果重	果形指数	可溶性固形物	果实硬度	可滴定酸	固酸比
Interstock	Mean fruit mass (g)	Fruit figure index	Soluble solids (%)	Firmness (kg·cm ⁻²)	Titrate acidity (%)	TSS/TA
M26	248.3a	0.77a	16.3a	8.2ab	0.57a	28.60
SH6	249.1a	0.82a	16.0a	8.8a	0.61a	26.23
辽砧 2 号 Liao 2	252.3a	0.79a	15.3b	9.0a	0.59a	25.93
青砧 2 号 Qing 2	247.6a	0.83a	14.9b	8.5a	0.42b	35.48
M9T337	235.9a	0.86a	15.7ab	7.9b	0.55a	28.55

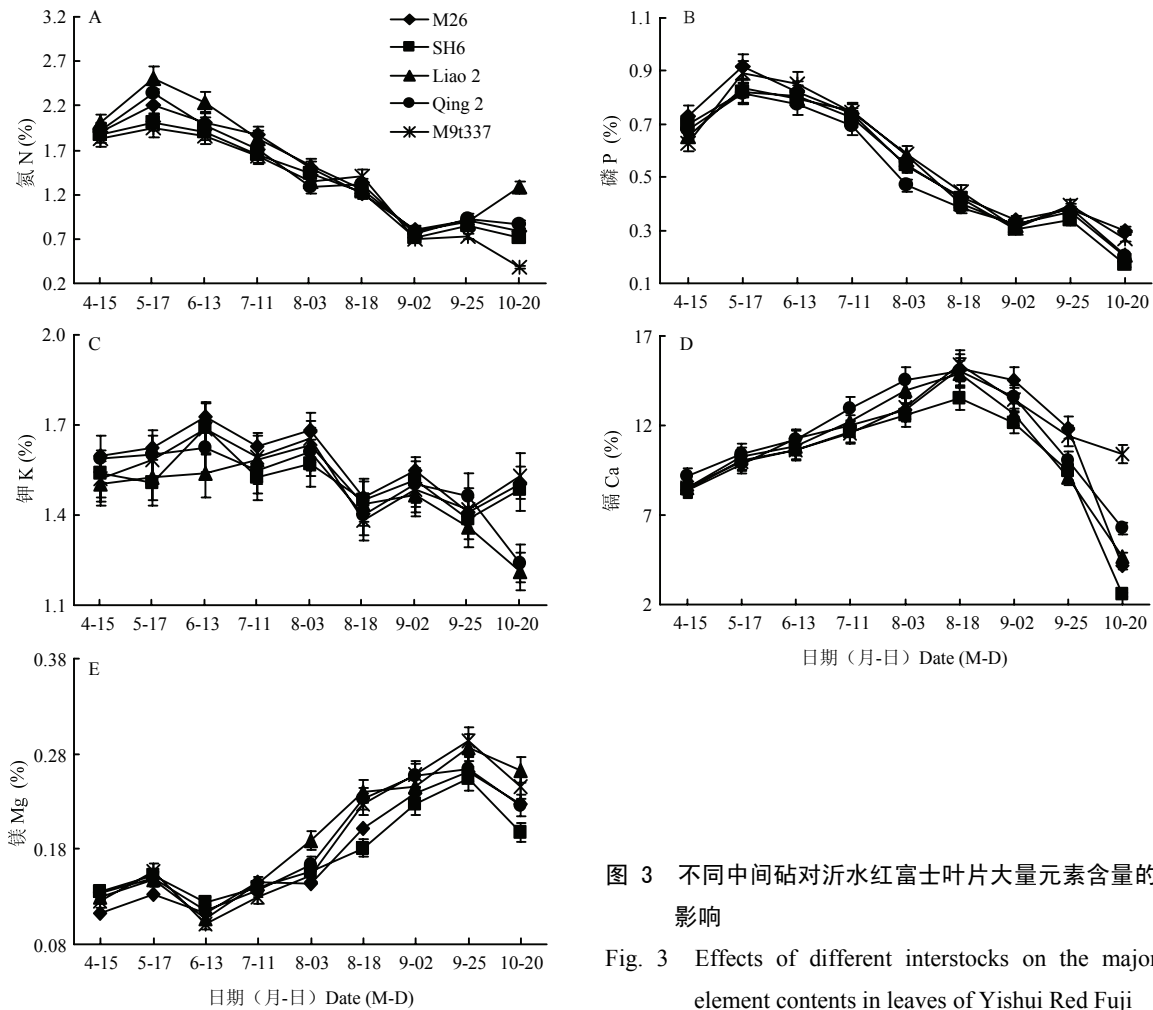


图 3 不同中间砧对沂水红富士叶片大量元素含量的影响

Fig. 3 Effects of different interstocks on the major element contents in leaves of Yishui Red Fuji

有一个上升高峰，6—8 月末的叶片含氮量持续下降，随后在 9 月略有回升，但 10 月又下降（图 3-B）。不同中间砧树体生长期叶片磷含量变化虽有差异，但不显著。

不同砧木的‘沂水红’富士树体生长期内叶片钾含量表现为叶片生长前期上升，7 月初开始呈现下降趋势，9 月初有一个明显回升，辽砧 2 号砧木上的‘沂水红’富士树体在中后期低于其他中间砧（图 3-C）。

不同砧木的‘沂水红’富士树体生长期内叶片钙

含量表现为生长前期随着新梢生长而增加，在 8 月中旬达到高峰，随后缓慢下降，落叶前达到最低点（图 3-D）。SH6 中间砧的‘沂水红’富士树体钙总体上是低于其他中间砧，青砧 2 号表现高些，各中间砧穗组合叶片钙含量差异不显著。

不同砧木的‘沂水红’富士树体生长期内叶片镁含量（图 3-E）变化趋势相似。6 月中旬含量均较低，之后快速上升，9 月末达到最高值，落叶前有所回落。

2.6 不同中间砧对树体生长期叶片中微量元素含量的影响

生长期不同中间砧上的沂水红富士叶片铁含量及变化比较大(图 4-A)。SH6 中间砧上的叶片铁含量生长前期表现上升,在 6 月中旬达到高峰,之后开始下降,8 月初含量最低,随着二次生长的开始,又有所回升。其他中间砧上的叶片铁含量表现出随着生长而增加,相较他微量元素,保持在一个较高水平。

由图 4-B、C 可以看出,不同中间砧上的‘沂水

红’富士叶片锰和锌表现相同的趋势,生长期内总体呈增加趋势,含量在前期明显处于较低水平,之后表现出随着生长而一直上升,不同中间砧间差异不显著。

图 4-D 表明,不同中间砧上的‘沂水红’富士叶片中铜含量及变化趋势表现为先期有所回落,在 6 月中旬上升,7 月中旬达到生长期内高峰,之后缓慢减少。不同中间砧树体以辽砧 2 号在整个生长季叶片中铜含量一直高于其他中间砧树体。

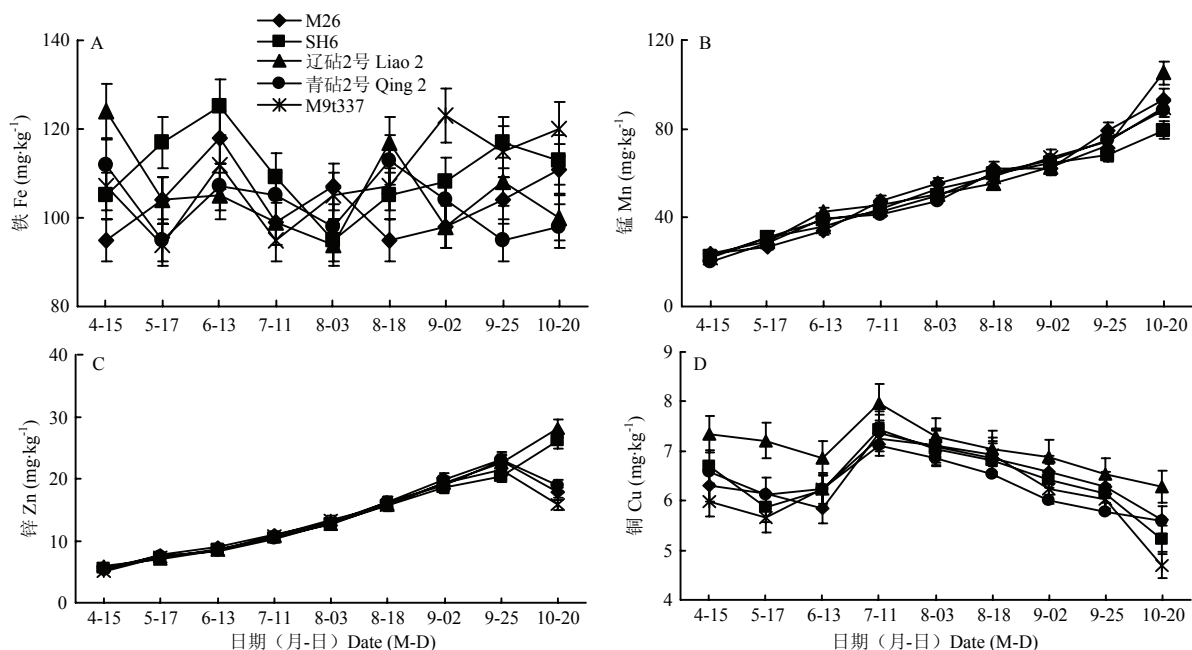


图 4 不同中间砧对‘沂水红’富士叶片微量元素含量的影响

Fig. 4 Effects of different interstocks on the trace element contents in leaves of Yishui Red Fuji

3 讨论

嫁接复合体是通过嫁接技术将砧木、中间砧和接穗组合成一个单元,在这个单元中,3 部分相互影响、相互制约、相互适应,又相互依靠,保持着各部分的特性^[18-19]。李开花等^[20]对新疆野苹果的砧木研究中报道中间砧不仅影响嫁接体树干的生长,同时对接穗品种的生长也有影响。因此,在苹果^[20]、樱桃^[21]、柿^[22]和梨^[23]等树种上利用中间砧来控制果树的生长情况得到广泛应用。前人研究发现,中间砧影响的大小与砧木本身的遗传特性和砧穗组合的亲合性相关^[24-25]。本研究结果表明, M26、SH6、青砧 2 号、辽砧 2 号、M9T337 中间砧与基础平邑甜茶和接穗‘沂水红’富

士具有良好的亲合性,但对树体生长发育和主干生长的影响存在明显差异。

前人研究发现矮化砧可以显著促进成花、结果,比乔砧提早 2—3 年进入结果期。薛晓敏等^[26]对山东地区的 M26 矮化中间砧的苹果树产量和品质性能进行了全面调查,结果发现,矮化砧果树早实性好、丰产性强,在着色指数、果面光洁度、果实的可溶性固形物含量上,矮砧树高于乔砧树。李民吉等^[27]对 5 个 SH 系矮化中间砧研究表明,栽植第 4 年开始有产量,第 5 年开始平均单株产量超过 20 kg,而 SH6 产量稳定性最好。本研究中,5 个不同中间砧的‘沂水红’富士在定植第 5 年平均单株产量在 30 kg 左右,青砧 2 号产量较其他砧穗组合稍高;在果实品质上,平均单

果重、果形指数差异不显著, M26 可溶性固形物含量最高, 辽砧 2 号果实硬度最大, 青砧 2 号可滴定酸含量较低, 基本与前人研究结论一致。

马建军和张立彬^[28]在野生欧李的研究中发现, 砧木通过影响接穗矿质元素的吸收利用, 来调控树体的构成。前人研究同样得到不同砧穗组合对树体矿质元素含量存在差异的结论^[29-30]。本研究通过对 M26、SH6、青砧 2 号、辽砧 2 号、M9T337 中间砧‘沂水红’富士树体生长期叶片矿质元素的检测, 结果表明 M9T337 上的叶片含氮量在生长期大多处于较低状态, 而磷、钾元素含量多数时期居中, 总体来看, M9T337 短枝较多, 但单果质量和产量不高, 这可能与该组合对氮、磷和钾的吸收利用状态有关。这一结果与前人得出的叶片中氮、磷和钾元素含量的高低是影响果树产量的重要因素^[31-33]相一致。另外, SH6 中间砧上的叶片铁含量随新梢的生长而增加, 在新梢停长之前基本处于较高水平, 辽砧 2 号中间砧上的接穗叶片铁含量在整个生长期也保持了比较高的水平, 这有利于改善树体养分吸收利用。

4 结 论

综合 M26、SH6、青砧 2 号、辽砧 2 号、M9T337 中间砧嫁接‘沂水红’富士生长期, 嫁接树体枝干生长、产量和矿质元素含量变化等特性, SH6、青砧 2 号和辽砧 2 号表现良好, 与‘沂水红’富士亲合性好, 树体小, 枝类组成合理, 产量稳定, 果实品质优良, 可以结合产地情况推广应用。

References

- [1] ROBINSON T. Recent advances and future directions in orchard planting systems. *Acta Horticulturae*, 2004, 732: 367-381.
- [2] MARIA L M. Influence of planting and training systems on fruit yield in apple orchard. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 2004, 12: 97-104.
- [3] 马宝焜, 徐继忠, 孙建设. 关于我国苹果矮砧密植栽培的思考. *果树学报*, 2010, 27(1): 105-109.
MA B K, XU J Z, SUN J S. Consideration for high density planting with dwarf rootstocks in apple in China. *Journal of Fruit Science*, 2010, 27(1): 105-109. (in Chinese)
- [4] 李丙智, 韩明玉, 张林森, 雷小明. 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*, 2010(2): 1-4.
LI B Z, HAN M Y, ZHANG L S, LEI X M. The suggestion and analysis of the causes of slow development on short anvil apple production in China present situation. *Yantai Fruits*, 2010(2): 1-4. (in Chinese)
- [5] CLAUDIO D V, CHIARA C, MARINA B, FRANCESCO L. Effect of interstock (M.9 and M.27) on vegetative growth and yield of apple trees. *Scientia Horticulturae*, 2009, 119: 270-274.
- [6] PAWLICKI N, WELANDER M. Adventitious shoot regeneration from leaf segments of *in vitro* cultured shoots of the apple rootstock Jork. *Journal of Horticultural Science*, 1994, 69: 687-696.
- [7] RABI F, RAB A, RAHMAN K U. Response of apple cultivars to graft take success on apple rootstock. *Journal of Biology Agriculture and Healthcare*, 2014, 4(3): 78-84.
- [8] EMBREE C G. Early performance of ‘Fuji’ and ‘Mcintosh’ apple trees on several dwarf rootstocks in the 1999 Nc-140 rootstock trial. Time series modeling for analysis and control. *Springer Japan*, 2015: 758-768.
- [9] ZAGAJA S W. Performance of two apple cultivars on pseries dwarf rootstocks. *Acta Horticulturae*, 1980, 114: 162-169.
- [10] 林淑芳. 国内外苹果矮化砧木选育与使用概况. *吉林农业科学*, 1997(1): 27-29.
LIN S F. Overview of breeding and employment of apple dwarf stocks. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 1997(1): 27-29. (in Chinese)
- [11] 李登科, 邵开基, 张忠仁. SH 系苹果矮化砧的主要性状及其利用技术. *北方果树*, 1994(1): 8-10.
LI D K, SHAO K J, ZHANG Z R. The main character and technology of SH line apple dwarfing rootstock. *Northern Fruits*, 1994(1): 8-10. (in Chinese)
- [12] 张建军, 仇宏昌, 吕国娟. SH6 苹果矮化中间砧在河南三门峡市的表现及发展建议. *山西果树*, 2013(6): 16-17.
ZHANG J J, QIU H C, LÜ G J. Findings and suggestions for the development of apple SH6 interstocks in Henan of Sanmenxia city. *Shanxi Fruits*, 2013(6): 16-17. (in Chinese)
- [13] 郭静, 隗晓雯, 王菲. SH(40)实生后代嫁接红富士苹果对其树体生长的影响. *贵州农业科学*, 2013, 41(10): 146-148.
GUO J, WEI X, WANG F. Effect of grafting by seedlings of SH(40) on tree growth in Fuji apple. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2013, 41(10): 146-148. (in Chinese)
- [14] 沙广利. 苹果无融合生殖矮化种质创新[D]. 泰安: 山东农业大学, 2007.
SHA G L. Apomictic dwarf apple germplasm innovation [D]. Tai'an: *Shandong Agricultural University*, 2007. (in Chinese)
- [15] 沙广利, 郝玉金, 宫象晖, 束怀瑞, 黄粤, 邵永春, 尹涛. 苹果无融合生殖砧木‘青砧 1 号’. *园艺学报*, 2013, 40(7): 1407-1408.
SHA G L, HAO Y J, GONG X H, SHU H R, HUANG Y, SHAO Y C,

- YIN T. Apple apomictic rootstock ‘Qingzhen 1’. *Acta Horticulturae Sinica*, 2013, 40(7): 1407-1408. (in Chinese)
- [16] 袁继存, 赵德英, 徐锴, 程存刚. 辽砧 2 号中间砧对华红苹果不同部位养分含量的影响. *浙江农业学报*, 2016, 28(1): 70-73.
- YUAN J C, ZHAO D Y, XU K, CHENG C G. Effects of intermediate stock Liaozhen No. 2 on nutrient contents in different parts of Huahong apple tree. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2016, 28(1): 70-73. (in Chinese)
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2005: 264-286.
- BAO S D. Agricultural chemical analysis of soil. Beijing: *China Agriculture Press*, 2005: 264-286. (in Chinese)
- [18] HAINES R J, SIMPSON J A. Scion-rootstock relationships with respect to height growth and foliar concentrations of nitrogen and phosphorus in reciprocal grafts of *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. *New Forests*, 1994, 8: 71-79.
- [19] KOIKE H, TSUKAHARA K. Studies on root system and growth of ‘Fuji’ apple trees on dwarfing interstock and rootstocks. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 1993, 62: 49-54.
- [20] 李开花, 刘香, 袁培红, 周龙. 新疆野苹果砧木嫁接亲和性试验研究. *中国园艺文摘*, 2015(5): 22-23.
- LI K H, LIU X, YUAN P H, ZHOU L. Study of graft compatibility on *Malus sieversii* Ledeb. rootstocks. *Chinese Horticulture Abstracts*, 2015(5): 22-23. (in Chinese)
- [21] MAGYAR L, HROTKO K. *Prunus cerasus* and *Prunus fruticosa* as interstocks for sweet cherry trees. *International Cherry Symposium*, 2005, 795: 287-292.
- [22] KOSHITA Y, MORINAGA K, TSUCHIDA Y. The early growth and photosynthetic rate of Japanese persimmons (*Diospyros kaki* L.) grafted onto different interstocks. *Scientia Horticulturae*, 2006, 109(2): 138-141.
- [23] 姜淑苓, 贾敬贤, 王斐, 欧春青, 王志刚, 宣利利, 程飞飞, 马力. 三个梨树中间砧木对嫁接树的矮化效应. *中国农业科学*, 2010, 43(23): 4886-4892.
- JIANG S L, JIA J X, WANG F, OU C Q, WANG Z G, XUAN L L, CHENG F F, MA L. The dwarfing effect of three pear dwarfing intermediate stocks on grafting trees. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(23): 4886-4892. (in Chinese)
- [24] FUJISAWA H, MORIYA Y. Influence of rootstock and soil moisture on leaf photosynthesis of apple trees on JM1, JM7, JM8, and M9 rootstocks. *Acta Horticulture*, 2010, 932: 441-446.
- [25] BOSA K, JADCZUK-TOBJASZ E, KALAJI M, MAJEWSKA M, ALLAKHVERDIEV S. Evaluating the effect of rootstocks and potassium level on photosynthetic productivity and yield of pear trees. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2014, 61(6): 231-237.
- [26] 薛晓敏, 路超, 王金政, 苏桂林, 王贵平, 于国合. 山东省不同地区 M26 矮化中间砧对苹果树生长发育、果实产量与品质的影响. *山东农业科学*, 2012, 44(6): 53-57.
- XUE X M, LU C, WANG J Z, SU G L, WANG G P, YU G H. Effects of dwarfing interstock M26 on growth, yield and quality of apple trees in different areas of Shandong province. *Shandong Agricultural Sciences*, 2012, 44(6): 53-57. (in Chinese)
- [27] 李民吉, 张强, 李兴亮, 周贝贝, 孙健, 张军科, 魏钦平. 五个 SH 系矮化中间砧对‘富士’苹果树体生长、产量和品质的影响. *中国农业科学*, 2016, 49(22): 4419-4428.
- LI M J, ZHANG Q, LI X L, ZHOU B B, SUN J, ZHANG J K, WEI Q P. Effect of five different dwarfing interstocks of SH on growth, yield and quality in ‘Fuji’ apple trees. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(22): 4419-4428. (in Chinese)
- [28] 马建军, 张立彬. 野生欧李生长期矿质营养元素含量的变化. *园艺学报*, 2004, 31(2): 165-168.
- MA J J, ZHANG L B. Change of mineral nutrient elements content in growing period of *Cerasus humilis*. *Acta Horticulturae Sinica*, 2004, 31(2): 165-168. (in Chinese)
- [29] SMITH E, WHITING M. Effect of ethephon on sweetcherry pedicel fruit retention force and quality is cultivar dependent. *Plant Growth Regulation*, 2010, 60(3): 213-223.
- [30] 赵静, 赵娜娜, 宋健坤, 孙华丽, 王然. 5 个中间砧对‘黄金梨’生长、结果及叶片矿质元素积累的影响. *园艺学报*, 2016, 43(7): 1367-1376.
- ZHAO J, ZHAO N N, SONG J K, SUN H L, WANG R. Effects of five interstocks on shoot growth, fruiting and accumulation of mineral elements in leaves of ‘whangkeumbae’ pear. *Acta Horticulturae Sinica*, 2016, 43(7): 1367-1376. (in Chinese)
- [31] NOE E, ECCHER T, STAINER R, PORRO D. Influence of nitrogen phosphorus and magnesium fertilization on fruit quality and storability of Golden Delicious apples. *Acta Horticulture*, 1995, 383: 439-447.
- [32] AWASTHI R P, KAITH N S, DEV G. Influence of rate and method of potassium application on growth, yield, fruit quality and leaf nutrient status of apple. *Potassium Research II*, 1995, 1: 3-4.
- [33] FALLAHIE, WESTWOOD M N, CHAPLIN M H, RICHARDSON D G. Influence of apple rootstock and K and N fertilizers on leaf mineral composition and yield in high density orchard. *Plant Nutrition*, 1984, 7: 1161-1177.

(责任编辑 赵伶俐)