

不同类型砧木对“红富士”苹果地下及地上部分生长的影响

马 丽^{1,2}, 娄喜艳³

(1. 商丘师范学院 生命科学学院, 植物与微生物互作重点实验室, 河南 商丘 476000; 2. 中国农业大学 园艺植物研究所, 北京 100193; 3. 商丘工学院 土木工程学院, 河南 商丘 476000)

摘 要:以八棱海棠实生砧、M9 和 SH40 矮化自根砧、或 M9 和 SH40 中间砧(八棱海棠作基砧)为砧木, 分别与“红富士”苹果嫁接, 利用根系观测系统, 研究了不同砧木苹果根系生长状况, 并分析了其与地上部生长的相关性。结果表明: 年平均根长密度、表面积密度、体积密度、根条数密度均表现为“红富士”/八棱海棠>“红富士”/SH40/八棱海棠>“红富士”/M9/八棱海棠>“红富士”/M9>“红富士”/SH40。在接穗和乔砧八棱之间加入矮化中间砧, 使根长密度减小, 但仍然高于矮化自根砧。与“红富士”/八棱海棠相比, M9 和 SH40 作中间砧或基砧均使树体变小。相关性分析表明, 累积枝条长度、干径、短枝数量和长枝数量均可作为判断根系特征的重要指标, 其中长枝数量和累积枝条长度可作为判断多项根系性状的重要指标。

关键词:苹果树; 根系生长; 营养生长; 相关性

中图分类号:S 661.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)16-0013-05

根系是果树生长发育的中心器官, 它通过吸收水分、矿质营养和合成内源激素等方式对地上部分的新梢

和叶片生长、碳素同化、花芽分化、果实发育等许多过程产生深刻影响^[1-2]。自英国东茂林试验站开展了矮化砧木的研究以来, 矮化砧木在生产中的应用带来了果树栽植密度的重大变革^[3]。在苹果和许多其它果树上, 矮化砧木不仅可以提高栽培品种的抗逆性, 而且对生长和结果亦有良好影响^[4-5]。但是, 矮化砧木的根系往往不如乔化砧木的发达^[6-7], 虽然根系对果树高产稳产起着重要的作用^[8], 但前人对果树根系的研究多集中在土壤理

第一作者简介:马丽(1982-), 女, 博士, 讲师, 现主要从事园林植物的教学与科研工作。E-mail: ndmali@163.com.

基金项目:河南省教育厅科学技术研究重点资助项目(13B210194); 河南省科技攻关计划资助项目(122102310613; 122102110213)。

收稿日期:2013-04-08

[17] 王瑞, 马凤鸣, 李彩凤, 等. 低温胁迫对玉米幼苗脯氨酸、丙二醛含量及电导率的影响[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(5): 20-23.

[18] 鲁福成, 王明启. 逆境条件下几种蔬菜作物生理指标的变化[J]. 天津

农业科学, 2001, 7(2): 6-10.

[19] 张学财, 周文钊, 李俊峰. 低温胁迫下 4 个剑麻品种的 SOD、POD、CAT 变化[J]. 中国热带农业, 2009(4): 24.

Influence of Different Suboptimal Temperature on Adaptability of Tomato Seedlings

ZHAO Rui-qiu, YE Hua, ZHANG Ya-hong

(College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: Taking ‘Israel 168’ tomato seedlings as materials, using the intelligent artificial climate box to simulate 3 suboptimal temperature environment (Day/Night 24°C/11°C, 21°C/8°C, 18°C/5°C) in production facilities, MDA, proline, electric conductivity and catalase four physiological and biochemical indexes of tomatoes under different temperature were measured. The results showed that, compared to the plant growth in the appropriate temperature CK (28°C/15°C), T1 treatment (24°C/11°C) of tomato seedlings could adapt to suboptimal temperature environment at least 10 d, T2 treatment (21°C/8°C) of tomato seedlings adaptability enhancement after 8 d suboptimal temperature environment, T3 treatment (18°C/5°C) of tomato seedlings growth declined through 6 d suboptimal temperature environment.

Key words: tomato; seedlings; suboptimal temperature; adaptability

化性状、养分及水分的关系等方面^[9-11],对不同砧木苹果树根系与地上部生长关系的研究较少。

该试验采用微根管技术对根系生长进行定位观测,研究了 M9、SH40 和八棱海棠这 3 种砧木类型根系的生长,同时观察了其地上部“红富士”接穗的生长状况,目的是明确不同砧穗组合根系与地上部的生长特性及其相互关系,为根系生长调控及培育高抗、广适性的特殊砧木提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

根窖建于温室内,规格为:1.5 m×1.5 m×4 m(长×宽×高)。根窖底部和四周用混凝土材料建造,底部有 8 个灌溉渗水用的小孔,顶部边缘高出地面 10 cm。填土之前先将 5 层微根管(长 178 cm,直径 5.6 cm)水平安装。微根管开口的一端穿过墙壁朝外,封口的一端朝向墙体内部。5 层的微根管离地面的距离分别为-20、-60、-100、-150、-200 cm。每层有 4 根微根管,对称分布在树体两侧,且平行分布。每 2 根微根管之间的水平距离为 37.5 cm,故每层同一侧的 2 根微根管距离树体的水平距离分别为 18.75、56.25 cm。根窖用混合土(园土、草炭和蛭石 3:1:1 混合)填充,通过不断灌水压实土壤,根窖中土壤表面与温室地面齐平。

1.2 试验材料

供试材料为 1 a 生“红富士”(RF)/八棱海棠(BC)(对照)、RF/M9、RF/SH40、RF/M9/BC、RF/SH40/BC,于 2009 年 5 月 23 日选择干径、长势一致的植株移栽至根窖,单株小区,2 次重复。修剪成纺锤形为标准,采用滴灌和传统的病虫害管理方法。温室的温度在生长季节控制在 35℃ 以下,休眠期控制在 5~15℃ 范围内。

1.3 试验方法

1.3.1 根系数据的采集及计算 根系图片采集采用 ET100 根系观测系统(Bartz Technology Corporations, 美国)。鉴于试验条件的限制,根窖数量较少,每个处理仅设置了 2 个重复,所以缩短了图片采集的间隔,以此来减小测量的误差。2009 年 8 月 2 日至 2010 年 12 月 10 日进行图片采集,其中 2009 年 8 月 2 日至 2010 年 1 月 12 日,每周采集 1 次,2010 年 1 月 12 日至 2010 年 5 月 1 日,每 2 周采集 1 次,2010 年 5 月 1 日之后,鉴于 2009 年结果,每 10 d 采集 1 次,共采集图片 50 次。根长密度 $RLD(m/m^3) = L/(nA \times ST)$; 根表面积密度 $(m^2/m^3) = SA/(nA \times ST)$; 根体积密度 $(m^3/m^3) = V/(nA \times ST)$ 。根条数密度 $(10^3/m^3) = TN/(nA \times ST)$ 。L:根总长(m),SA:根总表面积(m^2),V:根总体积(m^3),n:根系图片的数量,A:每张图片观察范围的面积(m^2),TN:根总条数

($\times 10^3$),ST:通过微根管观察到的土壤厚度(m)。A=18.0×13.5×10⁻⁶ m²,通常通过微根管观察选取的土壤厚度为 2 cm^[12] 或 3 mm^[13],因此,该试验选择中间值 ST=2.5×10⁻³ m,年平均根系特征取其年平均值。单根长=单位体积内总根长/单位体积内根条数,即单根长(mm)=总根长密度(m/m³)/根条数密度(10³/m³)。年平均根系特征取 2 个重复,2009 年 11 月 23 日至 2010 年 11 月 19 日、2009 年 11 月 30 日至 2010 年 11 月 29 日,2009 年 12 月 14 日至 2010 年 12 月 10 日年平均值作为重复,并进行统计分析。

1.3.2 株高、干径、树冠面积、枝类组成及枝条累积量测定 在封顶期测定株高(指从地面到树体最高处)、干径(距离上部嫁接口 10 cm 高处的主干的直径)、树冠面积(分别测定树冠东西投影直径和南北投影直径,即东西或南北方向的最大值,二者之积即为树冠投影面积);并记录各枝类组成,包括长枝(>15 cm)、中枝(>5 cm 且 ≤15 cm)和短枝(≤5 cm);测定全部枝条长度为枝条累积量。分别取 2 个重复 2010 年 11 月 19 日、2010 年 11 月 29 日、2010 年 12 月 10 日数据作为重复,并进行统计分析。

1.4 数据分析

图片的分析和数据的获得采用 WinRHIZO TRON 图像分析软件(REGENT INSTRUMENTS CANADA INC.)进行。采用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 数据处理及统计分析软件对数据进行统计分析和差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 根系特性的比较

从表 1 可以看出,不同砧木苹果树年平均根长密度、表面积密度、体积密度、根条数密度均表现为 RF/BC>RF/SH40/BC>RF/M9/BC>RF/M9>RF/SH40,各处理单根长无显著差异。其中 RF/SH40 的根长密度、根表面积密度、根体积密度、根条数密度分别比 RF/BC 低 67.3%、69.1%、71.9% 和 73.3%,且均达到差异显著水平。根长密度除 RF/SH40 外各处理均与 RF/BC 差异不显著;根表面积密度除 RF/SH40/BC 与 RF/BC 差异不显著外,其它处理均与 RF/BC 达到差异显著性;RF/M9 和 RF/SH40/BC 的根体积密度低于 RF/BC,但二者间差异不显著,而 RF/M9/BC 和 RF/SH40 根体积密度显著低于 RF/BC,各处理根条数密度差异与根长密度表现一致。

2.2 树体干径、树高及投影面积的比较

不同砧木对“红富士”苹果树的生长发育有很大的影响,从表 2 可以看出,对照接穗的直径最大,M9 中间砧与对照相比,接穗的直径降低了 26.6%。SH40 中间砧同样也使接穗直径降低,降低幅度为 2.1%。自根砧处理,接穗的直径最小,而 M9 和 SH40 作自根砧,接穗

直径分别比对照降低 30.9%和 34.8%。各处理基础直径仍表现为对照最大,其次为 SH40 中间砧处理,M9 作中间砧和自根砧,基础的直径以 RF/SH40/BC 最小,比对照低 50.5%,其中 RF/M9 和 RF/SH40 与对照达到差

异显著水平($P < 0.05$)。M9 和 SH40 作为中间砧(RF/M9/BC 和 RF/SH40/BC),其中间砧的直径差异不显著,且分别大于自身作为自根砧的基础直径,但明显小于乔砧直径(无论是在对照还是中间砧处理上)。

表 1 不同砧木苹果树的年平均根系特性比较

Table 1 Comparision on annual mean root characteristics of apple tree by using different rootstocks or inter-stems

处理 Treatments	根长密度 Root length density/ $\text{m} \cdot \text{m}^{-3}$	根表面积密度 Roots surface area density $/\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$	根体积密度 Root volume density $/\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	根条数密度 Root number density $/\times 10^3 \cdot \text{m}^{-3}$	单根长 Root length $/\text{mm}$
RF/BC(CK)	1 696.98a	2.07a	244.21a	200.22a	8.86a
RF/M9	795.65ab	0.98b	115.86ab	86.67ab	9.69a
RF/SH40	554.90b	0.64b	68.66b	53.42b	10.13a
RF/M9/BC	959.58ab	1.05b	105.98b	110.25ab	8.61a
RF/SH40/BC	1 110.23ab	1.45ab	188.32ab	135.96ab	8.32a

注:同一列不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。以下同。

Note: Different letters in the same column mean significant difference at 0.05 level. The same below.

表 2 不同砧木对苹果树干径、树高及投影面积的影响

Table 2 Effect of different rootstocks and inter-stems on diameter of trunk, tree height and crown area of apple tree

处理 Treatments	基础直径 Diameter of rootstock/ mm	中间砧直径 Diameter of inter-stem/ mm	接穗直径 Diameter of scion/ mm	树高 Tree height/ cm	投影面积 Crown area/ m^2	每株树修剪量 Pruning wood per tree/ cm
RF/BC(CK)	38.6a	—	28.2a	203.0a	3.2a	448.25
RF/M9	26.5bc	—	19.5a	183.5a	1.4bc	251.80
RF/SH40	19.1c	—	18.4a	144.5b	0.5c	59.75
RF/M9/BC	28.9abc	27.1a	20.7a	174.0ab	2.2ab	268.15
RF/SH40/BC	34.3ab	25.7a	27.6a	191.0a	1.8b	208.50

从树高上来看,乔化砧对照的树高最高(203.5 cm),其次为 RF/SH40/BC(比对照低 5.9%),M9 作自根砧和中间砧,树高分别比对照降低 9.6%和 14.3%,SH40 作自根砧,树高最低,即树高表现为:RF/BC>RF/SH40/BC>RF/M9>RF/M9/BC>RF/SH40,其中 RF/SH40 与 RF/BC 达到差异显著水平,其它处理与 RF/BC 差异不显著。不同处理基础的直径与树高表现一致。中间砧的加入,降低了树高,也减小了树体投影面积,但在矮化中间砧和乔化砧木的共同作用下,树体投影面积比矮化自根砧增加,但仍小于乔化自根砧处理。

2.3 枝类组成和枝条累积量情况比较分析

由表 2 可知,矮化自根砧和矮化中间砧的应用均削弱了树体的营养生长,但矮化自根砧对树体生长的影响比矮化中间砧大,同样不同砧木对苹果枝类组成和树枝条累积量的影响也不相同。由表 3 可知,矮化砧木(M9 和 SH40 作中间砧和自根砧)使枝条总长度明显降低,M9 和 SH40 自根砧处理,枝条累积量分别为 1 118.5 cm 和 503.5 cm,分别比对照(4 484.5 cm)降低 75.1%和 88.8%,与对照差异显著;M9 和 SH40 中间砧处理枝条总长度分别为 1 800.5 cm 和 2 008.5 cm,分别比对照降低 59.9%和 55.2%,与对照也达到差异显著水平。从枝类组成上来看,各处理均为长枝数量最多,长枝所占比例也最大,长枝数量在总枝条数量中的比例

达到 63.6%~72.65%。与对照相比,M9 和 SH40 中间砧和自根砧处理,长枝数量降低,且与对照达到差异显著水平,因此矮化砧木处理的修剪量也减小。处理间短枝数量和中枝数量的与长枝表现一致,也表现为 RF/BC 和 RF/SH40/BC 最多,RF/SH40 最少,M9 中间砧和自根砧处理的长枝数量和中枝数量居中。但处理间各枝类所占的比例没有明显差异。

表 3 不同砧木对枝类组成和枝条累积量的影响

Table 3 Effect of different rootstocks and inter-stems on types of shoots and branches cumulant

处理 Treatments	短枝数量 Short shoots number/个	中枝数量 Medium shoots number/个	长枝数量 Long shoots number/个	枝条累积量 Branches cumulant/ cm
RF/BC(CK)	19.5a	8.0a	68.5a	4 484.5a
RF/M9	4.5b	4.5a	14.0bc	1 118.5b
RF/SH40	2.5b	0.0a	7.5c	503.5b
RF/M9/BC	5.0b	4.0a	20.5bc	1 800.5b
RF/SH40/BC	10.5ab	8.0a	32.5b	2 008.5b

注:短枝枝条长度 ≤ 5 cm;中枝枝条长度 > 5 cm 且 ≤ 15 cm;长枝枝条长度 > 15 cm。

Note: Length of short shoots ≤ 5 cm; length of medium shoots > 5 cm and ≤ 15 cm; length of long shoots > 15 cm.

2.4 地上部分与地下部分生长相关性分析

由表 4 根系生长与地上部分的生长相关性可知,年平均根长密度、年平均根表面积、年平均根体积密度和

年平均根条数密度与累积枝条长度、干径和树高表现出正相关关系,而单根长与地上部的生长呈现负相关。其中根表面积和根体积与累积枝条长度的相关系数均在 0.01 水平上达到显著;根条数密度与干径之间的相关系

数在 0.01 水平上达到显著水平;根长密度与累积枝条长度和干径的相关系数在 0.05 水平上达到显著相关性;根条数密度与累积枝条长度和树高的相关系数在 0.05 水平上达到显著相关性。

表 4 根系特性与地上指标特性的相关性

Table 4 Correlation coefficient between characteristics of roots and top growth

指标 Trait	累积枝条长度 Total length of branches/cm	干径 Tree diameter/mm	树高 Tree height/cm	短枝数量 Shoot shoots number	中枝数量 Medium shoot number	长枝数量 Length shoot number
Root length density/ $\text{m} \cdot \text{m}^{-3}$	0.687 *	0.707 *	0.599	0.450	0.312	0.743 *
根表面积密度 Roots surface area density/ $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$	0.835 * *	0.624	0.465	0.668 *	0.513	0.883 * *
根体积密度 Root volume density/ $\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$	0.875 * *	0.450	0.246	0.811 * *	0.666 *	0.909 * *
根条数密度 Root number density/ $\times 10^3 \cdot \text{m}^{-3}$	0.636 *	0.774 * *	0.654 *	0.395	0.258	0.690 *
根条数密度 Root number density/ $\times 10^3 \cdot \text{m}^{-3}$	-0.208	-0.593	-0.457	-0.066	0.128	-0.190

注: * 和 * * 分别表示指标在 0.05 和 0.01 水平上差异显著(双尾 t 测验)。Note: * and * * mean significance at 0.05 and 0.01 level.

由表 4 根系生长特性与枝类组成的相关性分析可知,年平均根长密度、根表面积密度、根体积密度和根条数密度与短枝、中枝和长枝的数量表现出正相关关系,其中长枝数量与根表面积密度和根体积密度相关性达到高度相关;短枝数量也与根体积密度达到高度相关。而单根长与各类枝条数量呈现不显著弱正相关或不显著弱负相关关系。与累积枝条长度相比,长枝数量与根系特性的相关性表现出相似的结果。

从以上分析可以看出,苹果根系性状与地上指标特性和枝类组成有明显的相关关系,在植株地上部的直观性状中,长枝数量和累积枝条长度是判断根长密度、根表面积密度、根体积密度和根条数密度的重要指标;干径是判断根长密度和根条数密度的重要指标;树高是判断根条数密度的重要指标;短枝数量是判断根表面积密度和根体积密度的重要指标;中枝数量是判断根体积密度的重要指标。综合地上部指标的实用性及其与根系性状间的相关程度,初步认为判断根系是否发达的地上指标顺序为:长枝数量>累积枝条长度>干径>短枝条数>树高>中枝条数。长枝数量和累积枝条长度是判断根系是否发达的主要指标。

3 结论与讨论

矮化砧木作为中间砧和自根砧应用,苹果树营养生长受到很大的影响,矮化中间砧虽营养生长仍不如乔化砧(对照)生长旺盛,这与前人在矮化中间砧应用研究上结果相似^[14-15]。前人研究表明,矮化密植树的光合产物大量输送于果实生长,消耗于枝干营养生长较少,所以矮化密植树的生产效率比乔化稀植树高。前人在矮化中间砧对香梨生长发育的影响研究中也得到了相似的结果^[16]。该试验中以 M9 和 SH40 作中间砧,累积枝条

长度和枝条生长速率均优于各自作为矮化自根的处理,但却仍然低于乔化对照的营养生长。

根系的生长不是孤立的,而是与地上部的生长息息相关^[17-18]。关于根系性状与地上部性状的相关性研究,仅有个别报道。大多数根系性状与地上部茎粗、累积枝条长度、树高呈显著相关关系。而累积枝条长度主要由长枝组成,所以长枝数量也与根系特性具有较高的相关关系,因此长枝条数和累积总枝条长度是判断根系特征的重要指标。前人研究表明,水稻根长与茎秆干物重之间没有明显的线性关系,但在不同的生育时期,茎秆干物重与根长呈自然对数关系^[19],这同样也说明地上指标生长特性与根特性的显著相关性,进一步证明了地上指标可以作为判断根系生长特性的重要指标。Vogt 等^[20]曾经用钻土芯法对根系进行取样,推导出胸高处 1 cm 宽的树皮中淀粉的含量与细根生物量之间的回归方程,即: $Y = -2100 + 7.84X$ 。这里 Y 为细根生物量(kg/hm^2),X 为胸高处 1 cm 宽的树皮中的淀粉含量(g/hm^2)。也有用其它项来估算地下部分生物量的,如地上部分的枯枝落叶量等^[21],但方程中的参数变异性太大,不仅会随不同的树种而变,而且很显然随不同的立地而变化。

根系与地上指标的相关性分析表明,长枝数量和累积枝条长度是判断根长密度、根表面积密度、根体积密度和根条数密度的重要指标;干径是判断根长密度和根条数密度的重要指标;树高是判断根条数密度的重要指标;短枝数量是判断根表面积密度和根体积密度的重要指标;中枝数量是判断根体积密度的重要指标。

参考文献

- [1] Malamy J E. Intrinsic and environmental response pathways that regulate root system architecture [J]. Plant Cell Environ, 2005, 28: 67-77.

- [2] Xiao C W, Sang W G, Wang R Z. Fine root dynamics and turnover rate in an Asia white birch forest of Donglingshan Mountain, China [J]. Forest Ecol Manag, 2008, 255: 765-773.
- [3] Jackson J E. World-wide development of high density planting in research and practice[J]. ISHS Acta Horticulture, 1989: 17-27.
- [4] Sarwar M, Skirvin R M, Kushad M, et al. Selecting dwarf apple (*Malus domestica* Borkh) trees in vitro; multiple cytokinin tolerance expressed among three strains of 'McIntosh' that differ in their growth habit under field conditions [J]. Plant Cell Tiss Org, 1998, 54: 71-76.
- [5] 李荣富, 梁艳荣, 蒋亲贤, 等. 苹果抗寒矮化砧木比较试验研究[J]. 华北农学报, 2004, 19(3): 114-118.
- [6] De Silva H N, Hall A J, Tustin D S, et al. Analysis of distribution of root length density of apple trees on different dwarfing rootstocks [J]. Ann Bot-London, 1999, 83: 335-345.
- [7] 马宝焜, 徐继忠, 孙建设. 关于我国苹果树矮砧密植栽培的思考[J]. 果树学报, 2010, 27(1): 105-109.
- [8] Stone E L, Kalisz P J. On the maximum extent of tree roots [J]. Forest Ecol Manag, 1991, 46: 59-102.
- [9] Fernandez R T, Perry R L, Ferree D C. Root distribution patterns of 9 apple rootstocks in 2 contrasting soil types [J]. J Am Soc Hort Sci, 1995, 120: 6-13.
- [10] Neilsen G H, Parchomchuk P, Berard R, et al. Irrigation frequency and quantity affect root and top growth of fertigated 'McIntosh' apple on M9, M26 and M7 rootstock [J]. Can J Plant Sci, 1997, 77: 133-139.
- [11] Leitner D, Klepsch S, Ptashnyk M, et al. A dynamic model of nutrient uptake by root hairs [J]. New Phytol, 2010, 185: 792-802.
- [12] Steele S J, Gower S T, Vogel J G, et al. Root mass, net primary production and turnover in aspen, jack pine and black spruce forests in Saskatchewan and Manitoba, Canada [J]. Tree Physiol, 1997, 17: 577-587.
- [13] Itoh S. In situ measurement of rooting density by micro-rhizotron[J]. Soil Sci Plant Nutr, 1985, 31: 653-656.
- [14] 郭金丽, 张玉兰, 冯良, 等. 矮化中间砧(GM256)栽植深度对金红苹果树生长的影响[J]. 内蒙古农业科学, 2003(2): 17.
- [15] 荣志祥, 伊凯, 杨峰. 不同中间砧对国光苹果树生长发育的影响[J]. 山西果树, 2007(5): 9-11.
- [16] 谢东平, 孙志红, 吴铭, 等. 矮化中间砧对乡里生长发育的影响[J]. 北方果树, 2004(5): 13-14.
- [17] 何芳禄, 王明全. 水稻根系的生长生理[J]. 植物生理学通讯, 1980(3): 21-26.
- [18] 董钻, 孙卓韬, 王克晶, 等. 盆栽条件下大豆冠根比研究初报[J]. 吉林农业科学, 1982(4): 22-25.
- [19] Chul S J, Oh Y J, Eun W L. Characterization of the growth and spatial distribution of lowland rice root [J]. Proceedings of the 1st ACSA, 1993: 391-398.
- [20] Vogt K A, Vogt D J, Moore E E, et al. Estimating Douglas-fir fine root biomass and production from bark and starch [J]. Can J For Res, 1984, 15: 177-179.
- [21] Nadelhoffer K J, Raich J W. Fine root production estimates and belowground carbon allocation in forest ecosystems[J]. Ecology, 1992, 73: 1139-1147.

Influence of Different Rootstocks or Inter-stems on Upground and Underground Growth of 'Red Fuji' Apple Trees

MA Li^{1,2}, LOU Xi-yan³

(1. Key Laboratory of Plant-Microbe Interactions, College of Life Science, Shangqiu Normal University, Shangqiu, Henan 476000; 2. Institute of Horticultural Plants, China Agricultural University, Beijing 100193; 3. College of Civil Engineering Shangqiu Institute of Technology, Shangqiu, Henan 476000)

Abstract: Taking Baleng Crab (BC) vigorous seedling rootstock, M9 and SH40 dwarfing rootstocks, or M9 and SH40 interstems with Baleng Crab as rootstocks, and 'Red Fuji' (RF) apple cultivars were grafted onto them, using minirhizotron system, the relationship between root and top growth were analyzed. The results showed that root length density, surface area density, volume density and density of root tip number acted as RF/BC > RF/SH40/BC > RF/M9/BC > RF/M9 > RF/SH40 in annual mean. Compared with RF/BC (vigorous), inserting a dwarfing interstem between scion and Baleng Crab seedling rootstock, the root length density (RLD) reduced, but it was superior to that of dwarfing rootstock. Plants with M9 or SH40 interstock showed lower vegetative growth. Correlation analysis showed that total shoot length (TSL), diameter of trunk (DT), short shoots number (SN) and long shoots number (LN) could be used as the important indicators to judge the root characteristics, and in which LN and TSL were the major indicators to judge multinomial root characteristics.

Key words: *Malus* plants; root growth; vegetative growth; correlation analysis