

不同甜柿砧穗组合根系差异性研究

汤丹, 龚榜初*, 江锡兵, 吴开云, 徐阳

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江省林木育种技术研究重点实验室, 浙江 杭州 311400)

摘要: [目的] 研究甜柿嫁接苗地上部分和根系表型性状差异, 可在形态学上揭示接穗对砧木生根的影响及砧穗间互动, 为甜柿嫁接砧木选择和栽培推广提供理论依据。[方法] 采用方差分析、多重比较及主成分分析等方法, 对 27 种 1 年生甜柿嫁接组合, 3 种 2 年生嫁接组合和 3 种 2 年生中间砧嫁接组合的地上部分和根系形态指标进行多样性和综合评价。[结果] 不同甜柿嫁接苗地上部分和根系形态指标组合间存在差异性; 同种砧木下 (老鸦柿除外), 嫁接‘次郎’或‘阳丰’的嫁接苗根系鲜质量、根系干质量、根系长度、根系表面积及根系体积优于嫁接‘太秋’或‘富有’的嫁接苗, 表型性状综合评价结果也如此; 除含水率外, 地上部分和根系表型指标均存在极显著或显著相关, 地上部分鲜质量与地上部分干质量是影响根鲜质量、根干质量、根系长度、根系表面积和根系体积的主导因子, 株高和接穗直径则是影响这些根系表型性状的重要因子; 山东产君迁子和浙江柿嫁接‘富有’的 2 年生嫁接苗根系有衰退迹象, 利用‘次郎’作中间砧可明显改善其早期生根状况。[结论] 研究结果初步反应了甜柿嫁接苗接穗对砧木生根的影响, 且影响或与嫁接亲和性相关。砧木根系和接穗生长存在紧密的相互作用。利用‘次郎’作中间砧, 或可改善浙江柿、山东产君迁子嫁接‘富有’不亲和。

关键词: 甜柿; 嫁接; 根系; 互动; 中间砧

中图分类号: S665.2

文献标识码: A

Effects of Different Scions on Rootstock Root System in Persimmon

TANG Dan, GONG Bang-chu, JIANG Xi-bing, WU Kai-yun, XU Yang

(Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding of Zhejiang Province, Hangzhou 311400, Zhejiang, China)

Abstract: The difference of shoots and roots phenotypic in persimmon grafted seedlings reflects the influence of scion on the growth of roots and interaction existed between scion and rootstock. It may provide evidences for rootstock selection and cultivation on persimmon. The shoot and root phenotypic traits of 27 one-year-old grafted combinations, 3 two-year-old grafted combinations and 3 two-year-old grafted combinations with interstock were analyzed using variance analysis, multiple comparisons and principal component analysis. The results showed that there were significant differences for shoot and root phenotypic traits among grafted combinations; Under same rootstock, grafted seedlings with *Diospyros kaki* ‘Jirou’ or *D. kaki* ‘Youhou’ scions had higher root fresh, dry weight, root length, root area and root volume than *D. kaki* ‘Taishu’ or *D. kaki* ‘Fuyu’ scions, on the eight rootstocks (without *D. rhombifolia* Hemsl), and the comprehensive evaluation also revealed similar results. In addition to moisture content, the shoot and root phenotypic traits had significantly correlation, thereinto, the shoot fresh weight and dry weight were the dominant factors, plant height and scion diameter were important factors on roots fresh weight, roots dry weight, root length, root area and root volume. Two-year-old grafted seedlings of *D. lotus* or *D. glaucifolia* graf-

收稿日期: 2015-04-09

基金项目: 国家林业局“948”引进项目(2013-4-26); 浙江省“果品农业新品种选育”重大科技专项重点项目(2012C12904-10)

作者简介: 汤丹(1990—), 男, 湖南衡阳人, 在读硕士研究生, 主要从事经济林栽培与育种研究。

* 通讯作者: 研究员, 主要从事经济林栽培与育种研究. E-mail: gongbc@126.com

ted onto *D. kaki* 'Fuyu' scion showed weakening roots phenotypic traits, but it was improved with *D. kaki* 'Jirou' interstock in the early. It is concluded that scion had influence on rootstock roots, and maybe associate with the graft compatibility, there existed close interaction between scion and rootstock roots. It is estimated taking *D. kaki* 'Jirou' as interstock may improve the affinity of *D. lotus* or *D. glaucifolia* grafted onto *D. kaki* 'Fuyu' scion.

Key words: persimmon; graft; root system; interaction; interstock

甜柿 (*Diospyros kaki* Thunb.) 属柿树科 (Ebenaceae) 柿属 (*Diospyros* L.) 落叶乔木, 果实具有较高的营养价值, 是一种重要的经济林树种, 现已在我国多个地区栽培。但是, 我国除湖北罗田甜柿 (*D. kaki* Thunb 'Luotian') 外, 其它甜柿品种均为日本引种。嫁接是保持果树优良性状和快速推广常用的手段。然而, 前人的研究表明, 甜柿在引种嫁接过程中, 对砧木的选择比较严格, 例如君迁子 (*D. lotus* L.) 和浙江省的几种野柿作完全甜柿砧木, 多有不亲和现象^[1]; '富有' (*D. kaki* Thunb 'Fuyu') 甜柿嫁接君迁子、浙江柿 (*D. glaucifolia* Metc) 砧木, 砧木导管易阻碍, 出现延迟不亲和现象^[2]; 油柿 (*D. Oleifera* Cheng) 不宜作 '阳丰' (*D. kaki* Thunb 'Youhou') 甜柿的砧木^[3] 等。因此, 选择合适的砧木是甜柿栽培推广成功的关键。

在甜柿嫁接植株中, 因来源不同, 砧木和接穗间具有明显的相互作用^[3-5]。开展砧木与接穗互作研究, 对于明确砧穗互作机制和科学选择砧穗组合具有重要意义。前人已在嫁接的砧木选择^[1,6]、接穗早期生长和生理生化特性^[7-8] 等方面探讨甜柿嫁接的砧穗互作。但尚没有关于甜柿接穗对砧木影响, 尤其是对砧木生根影响的研究。因此, 本研究以甜柿 1、2 年生嫁接苗及 2 年生中间砧嫁接苗为材料, 对地上部分和根系表型特征进行多样性分析, 旨在从形态学上揭示接穗对砧木生根的影响, 并探讨砧木和接穗在嫁接体系中的相互作用, 为甜柿嫁接砧木选择及栽培推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料来源于中国林科院亚热带林业研究所甜柿苗圃, 1 年生甜柿嫁接组合共 27 种, 包括 4 种接穗, 即 '太秋' (*D. kaki* Thunb 'Taishu')、'次郎' (*D. kaki* Thunb 'Jirou')、'富有'; 8 种砧木, 分别为: '537 号' (*D. kaki* var. *sylvestris* Mak)、山东产君迁子、浙江柿、云南产君迁子、'禅寺丸' (*D. kaki* Thunb 'Zenjimarū')、罗田甜柿、老鸦柿 (*D. rhombi-*

folia Hemsl) 和金枣柿 (*D. zhejiangensis* G.), 嫁接时间为 2014 年 3 月。2 年生甜柿嫁接组合 (2013 年 3 月嫁接) 及中间砧嫁接组合 (2013 年 3 月嫁接中间砧, 2014 年 3 月嫁接接穗) 各 3 种。试验地位于浙江省杭州市富阳区, 气候类型为亚热带季风气候, 年平均气温为 16.9℃, 年降水量 1 461.2 mm, 年日照时数为 1 666.9 h, 土壤类型为黄壤。各嫁接组合为随机区组设计, 每种组合 3 次重复, 每个重复嫁接 30 株苗。

1.2 成活率、保存率及地上部分表型性状测量

2014 年 5 月, 统计 1 年生甜柿嫁接苗的成活率; 12 月份统计 1 年生嫁接苗保存率。

2014 年 12 月, 对 1 年生甜柿嫁接苗每小区随机选取 10 株, 每个处理共选取 30 株, 采用卷尺或游标卡尺, 测量嫁接苗的株高、砧木直径和接穗直径 (接穗、砧木直径分别测量嫁接接口上下 5 cm 处), 穗砧直径比计算公式为: 穗砧直径比 = 接穗直径 / 砧木直径。

1.3 根系表型性状测量

2014 年 12 月, 对 1、2 年生甜柿嫁接苗及中间砧嫁接苗的各组合, 每个小区随机选择 3 株, 每个处理共选 9 株长势一致的嫁接苗, 采用挖掘法取样。挖掘出完整根系, 而后在水中浸泡, 待根系周围泥土软化后用水冲洗干净, 再用吸水纸吸去残余的水分后待测。

地上部分鲜质量、地上干质量、根鲜质量及根干质量采用百分之一电子天平称量。其中, 根冠比 = 根干质量 / 地上部分干质量; 含水率 = (鲜质量 - 干质量) / 干质量。根系长度、根系表面积、根系体积及各径级根系分配通过 ScanMaker i800 Plus 扫描仪 (上海中晶科技有限公司) 扫描后用 LA-S 根系分析系统 (杭州万深检测科技有限公司) 分析而得。

1.4 数据分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 软件对各表型性状进行方差分析, Duncan's 多重比较及综合评价。

2 结果与分析

2.1 甜柿嫁接苗地上部分表型性状对比分析

27 种甜柿嫁接组合的嫁接成活率、保存率统计

显示(表1),除老鸦柿作砧木的组合外,成活率均达到70%,罗田甜柿嫁接‘阳丰’成活率最高(96.7%);不同砧木嫁接下,‘太秋’、‘阳丰’或‘富有’接穗在‘537号’、‘禅寺丸’和罗田甜柿上保存率均高于70%,‘次郎’接穗则在‘537号’、山东产君迁子和浙江柿砧木上保存率较高(高于70%);‘537号’嫁接‘次郎’保存率最高(88.9%)。1年生甜柿嫁接苗地上部分表型性状方差分析显示(表2),株高、砧木直径、接穗直径及穗砧直径比在组合间的差异均达到极显著水平,其中株高表型性状的

组合间差异最大($F=83.8$)。各种嫁接组合地上部分表型对比表明,老鸦柿作砧木的嫁接苗(C23~C25)地上部分表型较弱,在株高、砧木直径、接穗直径(C25除外)、地上部分鲜质量和干质量上低于其它嫁接组合。同种砧木下,不同接穗的嫁接苗地上部分各表型性状多重比较表明,砧木直径(C9除外)、穗砧直径比和地上部分含水率差异性不明显;地上部分鲜质量和干质量表现为嫁接‘次郎’的组合优于嫁接‘阳丰’的组合,且这两种接穗嫁接的组合均优于嫁接‘富有’或‘太秋’的组合。

表1 甜柿1年生嫁接组合成活率、保存率

接穗	成活率/%(保存率/%)							
	砧木							
	‘537号’	山东产君迁子	浙江柿	云南产君迁子	‘禅寺丸’	罗田甜柿	老鸦柿	金枣柿
‘太秋’	84.5(77.8)	80.0(60.0)	75.6(66.7)	87.8(55.6)	76.7(70.0)	91.1(73.3)	40.0(27.7)	-
‘阳丰’	93.3(83.3)	94.4(86.7)	86.7(61.1)	85.6(61.1)	85.6(78.9)	96.7(85.6)	47.8(33.3)	76.7(46.7)
‘次郎’	92.2(88.9)	91.1(85.6)	84.4(72.2)	85.6(68.9)	-	-	-	-
‘富有’	92.2(87.8)	92.2(56.7)	91.1(68.9)	74.4(54.4)	83.3(80.0)	91.1(81.1)	68.9(27.7)	72.2(50.0)

注:括号内数据为保存率。

表2 甜柿1年生柿嫁接苗地上部分形态指标多重比较

组合编号	砧木	接穗	株高/cm	砧木直径/mm	接穗直径/mm	穗砧直径比
C1	‘537号’	‘太秋’	114.5±16.09AB	13.51±2.55A	10.51±1.93A	0.783±0.085A
C2		‘阳丰’	113.2±14.7AB	13.71±1.98A	11.01±1.32A	0.800±0.079A
C3		‘富有’	118.9±13.7A	13.30±1.86A	10.61±1.88A	0.798±0.012A
C4		‘次郎’	109.2±16.7B	13.42±1.65A	10.63±1.17A	0.800±0.011A
C5	山东产君迁子	‘太秋’	111.7±19.7B	13.01±1.47A	10.54±1.16A	0.815±0.006A
C6		‘阳丰’	124.3±15.2A	14.43±2.04A	11.58±1.34A	0.813±0.064A
C7		‘富有’	110.0±7.7B	14.31±2.53A	11.54±1.60A	0.817±0.066A
C8		‘次郎’	116.3±15.2AB	14.48±2.18A	11.98±1.57A	0.833±0.068A
C9	浙江柿	‘太秋’	101.8±8.7B	13.40±1.48B	10.25±0.979B	0.767±0.037A
C10		‘阳丰’	125.7±10.0A	16.87±2.61A	13.18±1.70A	0.785±0.049A
C11		‘富有’	117.6±7.5A	18.55±2.54A	14.10±2.23A	0.761±0.007A
C12		‘次郎’	118.6±7.7A	17.85±3.27A	14.01±2.86A	0.795±0.030A
C13	云南产君迁子	‘太秋’	75.0±5.9B	13.39±2.18A	9.16±1.81B	0.686±0.019A
C14		‘阳丰’	97.4±5.9A	15.82±3.17A	11.00±1.92A	0.701±0.062A
C15		‘富有’	77.4±5.7B	14.27±2.90A	9.15±1.92B	0.642±0.022A
C16		‘次郎’	95.5±4.9A	15.05±2.85A	10.57±2.13AB	0.702±0.064A
C17	‘禅寺丸’	‘太秋’	106.6±5.8C	13.60±2.28A	9.46±1.33A	0.702±0.036A
C18		‘阳丰’	114.3±5.3B	14.37±2.55A	10.95±1.65A	0.770±0.017A
C19		‘富有’	124.6±9.8A	14.65±2.47A	10.81±1.60A	0.743±0.014A
C20		‘次郎’	114.5±17A	13.27±2.83A	10.97±2.15A	0.832±0.004A
C21	罗田甜柿	‘阳丰’	114.9±15.6A	13.33±2.18A	10.99±1.90A	0.828±0.023A
C22		‘富有’	116.3±18.5A	12.98±2.16A	10.67±1.90A	0.825±0.010A
C23		‘太秋’	44.5±3.2B	9.66±1.09A	7.42±1.24B	0.770±0.016A
C24		‘阳丰’	49.8±5.5A	9.39±1.27A	6.70±1.05B	0.716±0.032A
C25	老鸦柿	‘富有’	52.9±4.2A	10.86±0.99A	8.64±1.16A	0.797±0.020A
C26		‘阳丰’	79.8±10.1	13.36±1.34	8.73±1.32	0.65±0.050
C27		‘富有’	63.1±7.9	12.19±1.61	8.36±1.39	0.68±0.013
C27		‘次郎’	63.1±7.9	12.19±1.61	8.36±1.39	0.68±0.013
组合间F值			83.8**	14.6**	18.9**	9.2**

注:不同大写字母表示相同砧木下不同接穗的嫁接组合间表型性状差异达极显著水平($p<0.01$)。* $p<0.01$ 。下同。

2.2 甜柿嫁接苗根系表型性状对比分析

根系表型是植物根系生长状况的直接体现,根系对水分和养分的吸收与根系活性、根系分布、根系表面积等因素密切相关。表3结果显示,27种甜柿嫁接组合的根系含水率(变幅0.767~1.267)高于地上部分含水率(变幅0.621~0.935),表明根系能维持较高的含水率以供应地上部分的水分需求。1年生甜柿嫁接苗的根幅25~50 cm,分布深度20~50 cm(表4)。其中,‘537号’、罗田甜柿和‘禅寺丸’为深根系砧木(根深40~50 cm),山东产君迁

子、浙江柿等为浅根系砧木(根深20~35 cm)。根鲜质量、根干质量、根系含水率、根冠比(干物质)、根系长度、根系表面积、根系体积及各径级根系长度方差分析显示,组合间差异均极显著,且以细根(直径0~2 mm)长度差异最显著($F=252.7$),表明各嫁接组合因砧木特性或接穗等因素的影响,根系表型表现出差异性。同种砧木下,根鲜质量和根干质量表现为‘次郎’作接穗的组合最优,‘阳丰’作接穗的组合次之(组合C23~C25除外)。根冠比(干物质)变幅为0.51(C27)~1.49(C23)。

表3 甜柿1年生嫁接苗地上部分与根系鲜质量、干质量及含水率

组合编号	地上部分 鲜质量/g	地上部分 干质量/g	地上部分 含水率	根鲜质量/g	根干质量/g	根系含水率	根冠比
C1	63.2±5.9C	34.4±5.9C	0.851±0.091A	65.9±11.1B	32.0±5.9B	1.034±0.06A	0.93±0.13A
C2	85.8±4.3AB	47.1±1.7B	0.823±0.067A	76.9±7.9AB	38.7±1.8B	1.019±0.039A	0.82±0.1A
C3	73.6±6.4BC	41.3±5.8BC	0.782±0.067A	56.5±3.7B	29.1±2.5C	1.042±0.012A	0.7±0.22A
C4	95.9±5A	56.3±3.9A	0.707±0.071A	95.3±14.1A	50.6±8.6A	0.952±0.137A	0.9±0.11A
C5	111.2±1.2BC	60.6±1.8B	0.751±0.035A	62.7±4.9B	35.5±3.7B	0.77±0.053A	0.58±0.04A
C6	122.5±8.5AB	70.0±4.6A	0.753±0.06A	88.1±5A	46.4±3A	0.767±0.09A	0.66±0.10A
C7	102.7±7.7C	58.8±5.4B	0.75±0.052A	56.8±10.7B	32.8±3B	0.871±0.104A	0.56±0.04A
C8	127.2±6.7A	75.8±5.2A	0.679±0.046A	91.5±8.1A	50.6±1.8A	0.799±0.033A	0.68±0.11A
C9	81.7±6.6C	47.6±3.6C	0.716±0.039A	55.5±7.3B	29.6±3.9C	0.889±0.003AB	0.67±0.02A
C10	132.4±5.7A	78.2±2.7AB	0.692±0.025A	98.8±7.2A	51.9±3.9B	0.907±0.015A	0.66±0.06A
C11	114.5±9B	70.9±8.5B	0.621±0.069A	90.2±13A	48.9±7.4B	0.844±0.023B	0.69±0.02A
C12	121.0±7.5AB	81.3±6.9A	0.692±0.074A	108.5±10.3A	56.7±5.4A	0.915±0.03A	0.69±0.17A
C13	68.2±3.4C	35.8±3.8C	0.935±0.041A	55.2±5C	29.3±1.6C	1.22±0.071A	0.82±0.09AB
C14	85.8±10.2AB	42.5±5.4B	0.923±0.048A	83.9±10.3AB	42.8±4.3AB	0.956±0.043A	1.01±0.04A
C15	79.1±5.5B	40.7±2.1B	0.935±0.047A	74.9±6.7B	38.1±5.1B	0.942±0.022A	0.94±0.1A
C16	103.8±6.9A	55.4±6.1A	0.88±0.084A	96.0±9.8A	48.8±5.7A	0.97±0.059A	0.89±0.16A
C17	63.8±5.9C	35.2±3.2C	0.813±0.024A	78.0±4.6B	36.8±2.6B	1.124±0.036A	1.05±0.16A
C18	138.1±16.3A	79.2±10.7A	0.746±0.035A	116.7±14.8A	59.4±9.2A	0.972±0.017B	0.75±0.07B
C19	86.0±4.3B	50.7±4.4B	0.756±0.012A	91.9±5.6A	38.7±1.6B	1.211±0.014A	0.77±0.09B
C20	94.3±14.6B	51.6±9.2B	0.835±0.047A	112.7±14.1A	57.0±7.4A	0.976±0.017A	1.11±0.08A
C21	131.5±5.7A	75.2±4.1A	0.749±0.019A	114.2±3.8A	57.1±2.5A	0.862±0.083A	0.76±0.03B
C22	59.0±4.8C	32.5±2.9C	0.816±0.022A	41.8±3.1B	21.1±1.4B	0.978±0.01A	0.65±0.04B
C23	24.3±2.4A	13.8±1A	0.763±0.046A	37.4±4.1A	20.4±1.7A	0.835±0.054A	1.49±0.19A
C24	26.6±7.4A	15.7±4.4A	0.695±0.017A	31.2±7.9A	17.6±5.3A	0.799±0.032A	1.14±0.11A
C25	23.3±5.7A	14.3±3A	0.645±0.065A	32.4±6.8A	17.9±3.5A	0.807±0.02A	1.29±0.06A
C26	53.2±3.8	27.9±0.8	0.908±0.164	35.5±7.3	15.6±2.2	1.267±0.05	0.56±0.24
C27	35.7±3.3	20.2±1.9	0.769±0.035	21.0±3.8	10.3±1.8	1.03±0.053	0.51±0.09
组合间 F 值	72.9**	53.7**	6.5**	81.2**	58.6**	8.6**	10.5**

1年生甜柿嫁接苗根系扫描结果显示(表4),各嫁接组合中,C8具有最高的根系长度、根系表面积及根系体积;山东产君迁子作砧木的嫁接苗(组合C5~C8)根系长度表现最优;‘537号’作砧木,嫁接‘次郎’(C4)的组合根系长度、根系表面积和根系体积均明显高于嫁接‘阳丰’、‘富有’或‘太秋’的组合,且山东产君迁子或云南产君迁子作砧木,嫁接‘次郎’苗的这3个根系性状表现也如此;浙江柿、

‘禅寺丸’、罗田甜柿或金枣柿为砧木,同种砧木下,嫁接‘阳丰’的组合根系长度、根系表面积和根系体积高于其它组合;老鸦柿为砧木,3种接穗嫁接的嫁接苗根系表现为‘太秋’的根系长度最高,根系表面积和根系体积在嫁接‘富有’的嫁接苗中最高。根系分级表明,老鸦柿作砧木时(C23~C25),细根(直径0~2 mm)是砧木根系的主要组成部分(56.7%~62.2%),而其它组合则不同,细根所占

比例均低于50% (变幅16.7%~48.2%);组合C6具有最大的细根长度;537作砧木,嫁接‘阳丰’或‘次郎’的嫁接苗细根长度极显著高于嫁接‘太秋’或‘富有’的嫁接苗,山东产君迁子、云南产君迁子

和金枣柿作砧木时表现也如此;在浙江柿、‘禅寺丸’或老鸦柿上,同砧木嫁接‘富有’的细根长度显著高于其它接穗嫁接的嫁接苗,在罗田甜柿的砧木上细根长度则以嫁接‘太秋’最高。

表4 1年生柿嫁接苗根系形态指标多重比较

组合编号	根系分布		根系长度 /cm	根系表面积 /cm ²	根系体积 /cm ³	各级根系长度/cm(分级比/%)		
	根幅/cm	根深/cm				0~2 mm	2~5 mm	5 mm以上
C1	38	50	263.1C	60.0C	3.271C	66.0C(25.1)	105.7C(40.2)	91.4C(34.7)
C2	35	45	445.6A	80.4B	4.180BC	150.7A(33.8)	178.2A(40.0)	117.0B(26.2)
C3	33	40	390.0B	87.3B	5.238AB	108.2B(27.7)	140.8B(36.1)	141.0A(36.2)
C4	43	40	479.5A	102.2A	6.370A	146.5A(30.6)	179.7A(37.4)	153.3A(32.0)
C5	35	30	915.2C	137.3B	6.032B	239.4C(26.2)	266.1C(29.1)	409.7A(44.7)
C6	35	30	1081.9A	189.3A	4.965C	521.5A(48.2)	354.9B(32.8)	216.4C(19.0)
C7	40	25	758.2D	122.0B	4.905C	240.1C(31.7)	319.4B(42.1)	198.8C(26.2)
C8	35	30	1099.5A	196.7A	8.273A	316.7B(28.8)	442.4A(40.3)	340.4B(30.9)
C9	33	30	287.3D	58.1B	2.54B	76.3C(26.7)	114.7D(39.9)	96.0C(33.4)
C10	44	35	664.8A	133.5A	6.621A	191.2A(28.8)	275.6A(41.5)	198.1A(29.7)
C11	48	25	594.3B	107.5A	6.163A	205.3A(34.5)	236.4B(39.8)	152.6B(25.7)
C12	40	25	462.5C	117.3A	6.463A	97.0B(21.0)	182.2C(39.4)	183.3A(39.6)
C13	38	20	285.8D	57.3D	2.253B	76.3B(26.7)	110.9C(38.8)	98.6D(34.5)
C14	42	25	486.9B	95.2B	4.626A	127.9A(26.3)	195.0A(40.0)	163.9B(33.7)
C15	33	25	351.5C	77.1C	2.650B	71.6B(20.4)	154.9B(44.1)	125.0C(35.5)
C16	37	30	518.3A	130.9A	5.429A	133.1A(25.7)	186.4A(36.0)	198.9A(38.3)
C17	30	40	478.7B	92.4B	3.623B	160.9C(33.6)	211.2B(44.1)	106.6B(22.3)
C18	35	50	682.7A	122.3A	6.756A	228.0B(33.4)	257.4A(37.7)	197.3A(28.9)
C19	32	40	659.1A	99.0B	4.368B	267.3A(40.6)	261.3A(39.6)	130.5B(19.8)
C20	34	45	411.5A	76.1A	4.144A	152.7A(37.1)	157.4A(38.3)	101.4A(24.6)
C21	30	50	438.9A	83.7A	4.502A	142.1A(32.4)	165.8A(37.8)	130.9A(29.8)
C22	25	40	170.8B	31.5B	1.566B	61.6B(36.1)	69.3B(40.6)	39.9B(23.3)
C23	33	25	320.2A	33.3A	0.868B	189.4A(59.2)	84.8A(26.5)	46.1A(14.3)
C24	35	25	204.3B	29.1A	1.026A	115.8B(56.7)	43.7B(21.4)	44.7A(21.9)
C25	38	30	310.2A	36.2A	1.308A	193.0A(62.2)	69.3B(22.4)	47.9A(15.4)
C26	38	30	196.1	35.3	1.464	40.2(20.5)	101.2(51.6)	54.7(27.9)
C27	25	25	97.7	18.1	0.811	21.4(21.9)	56.5(57.8)	19.8(20.3)
嫁接组间 F 值	-	-	186.5**	113.7**	103.5**	252.7**	137.7**	70.9**

注:括号内数据为分级比,表8同。

2.3 地上部分表型性状与根系表型性状相关分析

对甜柿嫁接苗地上部分与根系的16个表型性状进行相关分析(表5),结果显示,除地上部分含水率和根系含水率外,其它表型性状间均存在极显著或显著相关,体现了甜柿嫁接苗地上部分与根系间的互作。其中,根鲜质量、根干质量、根系长度、根系表面积及根系体积与地上部分各表型(地上含水率除外)呈正相关,且与地上部分鲜质量和地上干质量的相关性最高,与株高和接穗直径的相关性次之;根冠比与地上部分表型(地上含水率除外)呈负相关,与成活率相关性最显著(相关系数-0.601);根系含水率与穗砧直径比呈极显著负相关,与地上部分含水率呈极显著正相关。

2.4 甜柿嫁接苗表型性状综合评价

利用主成分分析法,对甜柿各嫁接组合地上部分的6个表型指标(株高、砧木直径、接穗直径、穗砧直径比、地上部分鲜质量及地上部分干质量)、6个根系形态指标(根系鲜质量、根系干质量、根冠比/干物质、根系长度、根系表面积和根系体积)、成活率和保存率进行主成分分析和综合评价。结果表明(表6),所有的主成分构成中,信息主要集中于前4个主成分,其累积贡献率达到90.966%。其中,第1主成分特征根为9.309,贡献率占66.492%,各表型指标(根冠比/干物质除外)均与第1主成分呈正相关,特征向量大小依次顺序为地上部分干质量、地上部分鲜质量、根系体积等;第2主成分特征根为1.487,贡

献率占 10.625%，特征向量大小依次顺序为根冠比/干物质、根干质量、根系长度等；第3主成分特征根为 1.032，贡献率占 7.371%，特征向量大小依次顺序为砧穗直径比、根系长度、株高等；而第4成分

特征根为 0.907，贡献率占 6.478%，特征向量大小依次顺序为根冠比/干物质、根鲜质量及根干质量等。

表5 1年生甜柿嫁接苗地上部分与根系表型性状相关分析

表型性状	根鲜质量	根干质量	根冠比	根系含水率	根系长度	根系表面积	根系体积
成活率	0.566**	0.561**	-0.601**	0.134	0.410*	0.536**	0.620**
保存率	0.555**	0.541**	-0.466*	0.149	0.392*	0.500**	0.557**
株高	0.705**	0.698**	-0.525**	0.028	0.567**	0.671**	0.759**
砧木直径	0.671**	0.661**	-0.453*	0.066	0.407*	0.572**	0.684**
接穗直径	0.730**	0.752**	-0.445*	-0.175	0.553*	0.681**	0.802**
穗砧直径比	0.432*	0.399*	-0.462*	-0.519**	0.431*	0.389*	0.439*
地上部分鲜质量	0.847**	0.877**	-0.469*	-0.264	0.732**	0.839**	0.901**
地上部分干质量	0.847**	0.882**	-0.457*	-0.286	0.722**	0.832**	0.906**
地上部分含水率	-0.151	-0.230	0.002	0.586**	-0.380	-0.313	-0.367

注：* $p < 0.05$ ，** $p < 0.01$ 。

表6 甜柿1年生嫁接苗各表型性状主成分分析

主成分因子	Z1	Z2	Z3	Z4	主成分因子	Z1	Z2	Z3	Z4
特征根	9.309	1.487	1.032	0.907	地上部分鲜质量	0.960	0.083	-0.066	-0.068
贡献率	66.492	10.625	7.371	6.478	地上部分干质量	0.958	0.105	-0.070	-0.062
累积贡献率	66.492	77.117	84.489	90.966	根鲜质量	0.852	0.307	-0.232	0.304
成活率	0.795	-0.440	0.147	0.154	根干质量	0.874	0.345	-0.175	0.245
保存率	0.725	-0.391	0.171	0.241	根冠比	-0.462	0.737	-0.043	0.396
株高	0.898	-0.236	0.175	0.158	根系长度	0.741	0.319	0.185	-0.506
砧木直径	0.787	-0.231	-0.474	0.040	根系表面积	0.856	0.254	0.040	-0.387
接穗直径	0.905	-0.110	-0.081	0.104	根系体积	0.922	0.178	-0.033	-0.136
穗砧直径比	0.480	0.218	0.766	0.212	-	-	-	-	-

综合评价价值(Q)显示(表7),组合C8的综合评价价值($Q = 2.78$)最大,C6($Q = 2.77$)、C12($Q = 2.62$)等次之,C24($Q = -4.15$)的综合评价价值最低;同种砧木下(C23~C25除外),嫁接‘次郎’的组合综合评价价值最高,嫁接‘阳丰’的组合次之,嫁接‘太秋’或‘富有’接穗的组合综合评价价值最低,表明嫁接‘次郎’和‘阳丰’的组合较嫁接‘太秋’或‘富有’的组合拥有更好的表型;组合C23~C25中,则以老鸦柿嫁接‘富有’的组合(C25)综合评价价值最高。

2.5 ‘富有’与‘次郎’品种1、2年生嫁接苗及中间砧嫁接苗根系表型对比分析

不同年龄甜柿嫁接苗及中间砧嫁接苗根系表型对比分析表明(表8),浙江柿或山东产君迁子嫁接‘富有’的2年生嫁接苗根鲜质量、根干质量、根系长度、根系表面积及根系体积均低于1年生嫁接苗,而使用‘次郎’作中间砧,能明显改善各嫁接组合的根鲜质量、根干质量、根系长度、根系表面积及根系体

表7 甜柿1年生嫁接苗各形态指标综合评价

组合编号	综合评价价值(Q)	排序	组合编号	综合评价价值(Q)	排序
C1	-0.5	17	C15	-1.25	21
C2	0.53	14	C16	0.79	12
C3	0.23	15	C17	-0.53	18
C4	1.36	8	C18	2.32	5
C5	1.26	9	C19	0.66	13
C6	2.77	2	C20	1.2	10
C7	1.16	11	C21	1.84	7
C8	2.78	1	C22	-1.05	20
C9	-0.9	19	C23	-3.95	26
C10	2.36	4	C24	-4.15	27
C11	1.99	6	C25	-3.26	24
C12	2.62	3	C26	-2.82	23
C13	-2.05	22	C27	-3.59	25
C14	0.21	16	-	-	-

积。根系分级对比表明,细根随着砧木年龄的增加所占比例降低,直径大于2mm的根系则反之;‘次郎’作中间砧的2年生嫁接苗各分级根系长度均高于对应的2年生‘富有’嫁接苗。

表8 不同年龄甜柿嫁接苗及中间砧嫁接苗根系表型指标对比分析

苗龄	接穗	中间砧	砧木	根系分布		根鲜质量/g	根干质量/g	根系含水率	根系长度/cm	根系表面积/cm ²	根系体积/cm ³	各级根系长度/cm(分级比/%)		
				根幅/cm	根深/cm							0~2 mm	2~5 mm	5 mm以上
1	‘次郎’	-	‘537号’	45	40	95.3A	50.6A	0.952	479.5B	102.2B	6.370B	146.5A(30.5)	179.7A(37.5)	153.3(B32.0)
1	‘富有’	-	‘537号’	32	40	56.5B	29.1B	1.042	390.0C	87.3C	5.238C	108.2B(27.7)	140.8A(36.1)	141.0(B36.2)
2	‘富有’	-	‘537号’	38	40	92.2A	54.2A	0.701	463.8B	116.7A	6.821B	116.4B(25.1)	155.7A(33.6)	191.7A(41.3)
2	‘富有’	‘次郎’	‘537号’	40	40	97.5A	56.45A	0.726	531.9A	127.9A	8.400A	143.1A(26.9)	177.0A(33.3)	211.7A(39.8)
1	‘次郎’	-	浙江柿	40	25	118.5A	63.3A	0.915	462.5B	117.3B	6.463B	97.0C(21.0)	182.2B(39.4)	183.3B(39.6)
1	‘富有’	-	浙江柿	47	25	90.2B	48.9B	0.844	594.3A	107.5B	6.163B	205.3A(34.5)	236.4A(39.8)	152.6C(25.7)
2	‘富有’	-	浙江柿	28	25	66.9C	38.2C	0.751	244.6C	81.4C	4.060C	48.9D(20.0)	97.8C(40.0)	97.8D(40.0)
2	‘富有’	‘次郎’	浙江柿	38	30	107.9A	60.5A	0.783	546.5A	172.9A	7.983A	119.1B(11.8)	199.5B(36.5)	227.3A(41.6)
1	‘次郎’	-	山东产君迁子	35	30	87.5B	48.6A	0.799	1099.5A	196.7A	8.273B	316.7A(28.8)	442.5A(40.2)	340.4B(31.0)
1	‘富有’	-	山东产君迁子	40	25	56.8C	31.8B	0.871	758.2B	122.0B	4.905C	240.1B(31.7)	319.4B(42.1)	198.8D(26.2)
2	‘富有’	-	山东产君迁子	30	25	45.2D	28.5B	0.773	551.7C	98.2C	4.767C	94.3C(17.1)	211.9C(38.4)	245.5C(44.5)
2	‘富有’	‘次郎’	山东产君迁子	45	35	99.8A	56.7A	0.760	1114.7A	192.0A	10.015A	236.2B(21.2)	356.7B(32.0)	521.8A(46.8)

3 结论与讨论

植物嫁接过程中,影响嫁接成活的因子主要是砧木和接穗间亲和力,亲和力高则嫁接成活率高^[10]。不同甜柿品种嫁接试验显示,‘537号’、‘禅寺丸’和罗田甜柿作砧木嫁接苗成活率和保存率较高,表明‘537号’、‘禅寺丸’和罗田甜柿嫁接‘太秋’、‘阳丰’和‘富有’接穗早期具有较好的亲和性。老鸦柿常作矮化砧^[9,11]。本研究表明,成活老鸦柿嫁接苗细根的根系长度比例高,株高较矮,体现了老鸦柿具有作矮化砧的潜力。

根系是植物的重要器官,具有吸收水分、矿质元素和储藏养分等作用,对植物生长起着决定性作用^[12-13]。研究嫁接苗根系能了解接穗对砧木根系生长的影响及嫁接亲和性情况。27种甜柿嫁接组合根系形态特征对比分析表明,不同嫁接苗的组合间方差分析差异极显著,且以细根长度差异性最大。同种砧木下,因接穗的不同,各嫁接组合的地上部分和根系表型存在一定差异,研究结果与康乐等研究^[14]一致,表明甜柿嫁接组合中,接穗对砧木根系生长产生影响;其中,8种砧木(老鸦柿除外)嫁接‘次郎’或‘阳丰’的嫁接苗根系鲜质量、根系干质量、根系长度、根系表面积及根系体积优于嫁接‘太秋’或‘富有’的嫁接苗,且利用主成分分析法,对不同嫁接组合各表型性状综合评价,结果也如此。前人研究发现,‘富有’嫁接在君迁子等砧木上表现不亲和^[2],嫁接‘次郎’等则亲和性良好^[1],表明接穗对砧木根系生长的影响或与砧穗间亲和性相关联。

细根是植物根系的主要组成部分之一,具有巨大的吸收表面积,是树木吸收水分和养分的主要器

官^[15],同时也在陆地生态系统能量流动和物质循环中扮演重要角色^[16]。本研究结果显示,1年生甜柿嫁接苗细根均占较少的一部分(除老鸦柿作砧木的组合外),体现了柿科植物生根难、发根迟缓的特性^[17]。2年生甜柿嫁接苗或中间砧嫁接苗的细根长度比1年生嫁接苗明显减少,表明随着年限的增加,甜柿嫁接苗主根系组成比例增加,以固定和支撑植物体,提高苗木对外界环境条件的适应。

在嫁接植株中,砧木和接穗间的作用是相互的。砧木能够影响接穗的生理生态特性和果实品质,以适应外界生物或非生物的环境条件限制^[18-20]。接穗因生理机能、代谢产物和砧穗间亲和程度等差异,对砧木生长也有一定的影响^[10]。不同环境条件下,砧穗间的互作存在许多争议^[21],但常在嫁接植株的形态特征上得到体现^[22-23]。本研究结果显示,甜柿嫁接苗地上部分和根系表型性状均存在极显著或显著相关(含水率除外),反映了接穗和砧木根系间存在紧密的相互作用。各种表型性状中,地上部分鲜质量与干质量是影响根鲜质量、根干质量、根系长度、根系表面积和根系体积的主导因子,株高和接穗直径则是影响这些根系表型性状的重要因子。同种砧木不同接穗嫁接组合间或同种接穗不同砧木嫁接组合间的各表型性状差异性表明,砧穗间的互作可能因物种或环境条件不同而表现不同^[24-26]。

中间砧是位于接穗和基础之间的一段砧木,用于二重或多重嫁接。国内外中间砧在苹果(*Malus pumila* Mill.)^[27-29]、梨(*Pyrus* spp.)^[30-31]、甜柿^[9,11]等果树的研究已见报道,具有改善砧穗嫁接不亲和、矮化树势等作用。本研究中,浙江柿和山东产君迁子嫁接‘富有’的1年生甜柿苗生根良好,而对2年

生嫁接苗根系分析显示,根系各表型性状均有衰退现象,究其原因可能是浙江柿、山东产君迁子嫁接‘富有’延迟不亲和^[1]。‘次郎’与君迁子等砧木嫁接亲和性良好,故选用‘次郎’作中间砧以期改良‘富有’嫁接苗表型不优现状。结果表明,选用‘次郎’作中间砧,能明显改善537号、浙江柿及山东产君迁子嫁接‘富有’的早期生根状况。因此,‘次郎’甜柿或可作优良中间砧,改善浙江柿、山东产君迁子嫁接‘富有’不亲和现状。

参考文献:

[1] 王元裕,李伯均,周碧英,等. 甜柿砧穗组合嫁接亲和力研究[J]. 园艺学报,1996,23(2):110-114.

[2] 刘勇,肖德兴,刘善军,等. 几种柿砧木与‘富有’甜柿嫁接的解剖学观察[J]. 江西农业大学学报,1998,20(3):393-396.

[3] 马攀,龚榜初,王锡兵,等. 不同砧木嫁接甜柿苗期生长生理特性及亲和性评价. 林业科学研究,2015,28(4):518-523.

[4] Massail R, Remorin D, Tattini M. Gas exchange, water relations and osmotic adjustment in two scion/rootstock combinations of Prunus under various salinity concentrations [J]. Plant and Soil, 2004, 259(1):153-162.

[5] Mckenry M V, Luvisid D, Anwar S A, et al. Eight-Year nematode study from uniformly designed rootstock trials in fifteen table grape vineyards[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2004, 55(3):218-227.

[6] 周开兵,郭文武,夏仁学,等. 柑桔接穗对砧木生长及若干生理生化特性的影响[J]. 热带植物科学,2005,34(3):11-14

[7] 龚榜初,王劲风,吴开云. 日本甜柿砧木类型选择的研究[J]. 林业科学研究,1992,5(6):706-711.

[8] 刘勇,霍光华,刘善军,等. 不同砧木‘富有’甜柿幼树生长及叶片生理生化特性研究[J]. 江西农业大学学报,2000,22(1):54-57.

[9] Koshita Y, Morinaga K, Tsuchida Y. The early growth and photosynthetic rate of Japanese persimmons (*Diospyros kaki* L.) grafted onto different interstocks[J]. Scientia Horticulturae, 2006, 109(1):138-141.

[10] 河北农业大学总校. 果树栽培学[M]. 北京:人民出版社,1976.

[11] Koshita Y, Morinaga K, Tsuchida Y, et al. Selection of interstocks for dwarfing Japanese persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) trees [J]. J Japan Soc Hort Sci, 2007, 76(4):288-293.

[12] Cannadeli J, Jackson R B, Ehlfinger J R, et al. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale[J]. Oecologia, 1996, 108(4):583-595.

[13] 王政权,郭大立. 根系生态学[J]. 植物生态学报,2008,32(6):1213-1216.

[14] 康乐,杨水平,姚小华,等. 不同品种油茶嫁接苗根系生长动态研究[J]. 林业科学研究,2010,23(3):467-471.

[15] 张小全,吴可红, Muraeh D. 树木细根生产与周转研究方法评述[J]. 生态学报,2000,20(5):875-883.

[16] 程瑞梅,壬瑞丽,肖文发,等. 三峡库区马尾松根系生物量的空间分布[J]. 生态学报,2012,32(3):823-832.

[17] 王劲风,方正明. 甜柿引种栽培[M]. 北京:中国农业出版社,1995.

[18] Souza C R, Filho L, Bassoi L H, et al. Water relations of field-grown grapevines in the São Francisco Valley, Brazil, under different rootstocks and irrigation strategies [J]. Scientia Agricola, 2009, 66(4):436-446.

[19] Rizk-Alla M S, Sabry G H, Adb El-Wahab M A. Influence of some rootstocks on the performance of red globe grape cultivar[J]. The Journal of American Science, 2011, 7(4):71-81.

[20] Tramontini S, Van Leeuwen C, Domec J C, et al. Impact of soil texture and water availability on the hydraulic control of plant and grape-berry development[J]. Plant and Soil, 2013, 368(1):215-230.

[21] ambetta G A, Manuck C M, Drucker S T, et al. The relationship between root hydraulics and scion vigour across Vitis rootstocks: what role do root aquaporins play? [J]. Journal of Experimental Botany, 2012, 18(63):6445-6455.

[22] Toumi I, M' Sehli W, Bourgou S, et al. Response of ungrafted and grafted grapevine cultivars and rootstocks (*Vitis* sp.) to water stress [J]. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 2007, 41(2):85-93.

[23] Tandonnet J P, Cookson S T, Vivin P, et al. Scion genotype controls biomass allocation and root development in grafted grapevine[J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 2010, 16(2):290-300.

[24] Gedroc J J, McConnaughay K D M, Coleman J S. Plasticity in root/shoot part: optimal, ontogenic, or both? [J]. Functional Ecology, 1996, 10(1):44-50.

[25] Shipley B, Meziane D. The balanced-growth hypothesis and the allometry of leaf and root biomass allocation[J]. Functional Ecology, 2002, 16(3):326-331.

[26] Hermans C, Hammond J P, White P J, et al. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? [J]. Trends in Plant Science, 2006, 11(12):610-617.

[27] Alla N, Seleznyova D, Stuart Tustin, et al. Apple dwarfing rootstocks and interstocks affect the type of growth units produced during the annual growth cycle: precocious transition to flowering affects the composition and vigour of annual shoots [J]. Annals of Botany, 2007, 101(5):679-687.

[28] 任雪菲,李丙智,张林森,等. 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[J]. 园艺学报,2013,40(11):2127-2136.

[29] 李洪娜,葛顶峰,姜远茂,等. 苹果树矮化中间砧 SH6 对幼树氮素吸收、分配和贮藏的影响[J]. 园艺学报,2014,41(5):851-858.

[30] 罗娅,汤洁茹,李秀梅,等. 梨矮化中间砧 S2、S5 和 PDR54 的离体培养研究[J]. 园艺学报,2006,33(5):1063-1066.

[31] 姜淑苓,贾敬贤,王斐,等. 三个梨树中间砧木对嫁接树的矮化效应[J]. 中国农业科学,2010,43(23):4886-4892.