



杨惠栋,彭震宇,彭良志,等.不同砧木对纽荷尔脐橙嫁接苗生长和生理指标的影响[J].江西农业大学学报,2023,45(3):575–583.

YANG H D,PENG Z Y,PENG L Z,et al.Effect of growth and physiological indexes of navel orange budlings grafted on seven citrus rootstock cultivars[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2023,45(3):575–583.

不同砧木对纽荷尔脐橙嫁接苗生长和生理指标的影响

杨惠栋^{1,2},彭震宇^{1,3*},彭良志^{1*},袁梦¹,淳长品¹,袁高鹏¹

(1.西南大学 柑桔研究所/国家柑桔工程技术研究中心,重庆 400712;2.江西省农业科学院 园艺研究所,江西 南昌 330200;3.四川省内江市农业科学院,四川 内江 641000)

摘要:【目的】砧木对柑桔接穗品种生长、产量和品质的影响虽已被证实,但仍缺少更广范围的系统性研究。【方法】比较了资阳香橙、卡里佐枳橙、枸头橙、宜昌橙、印度酸桔、红桔和枳共7种砧木对纽荷尔脐橙嫁接苗生长量、光合色素、可溶性总糖、淀粉和叶片矿质营养的影响。【结果】资阳香橙砧嫁接苗地上部的株高、干径、成枝量、叶面积、叶片厚度、干鲜重,以及地下部根长和干鲜重,均显著高于其他砧木的嫁接苗;在光合色素方面,枳砧最高,其他砧木嫁接苗之间差异不显著;资阳香橙砧嫁接苗叶片的可溶性蛋白含量较高,而卡里佐枳橙砧较低,且与其他砧木存在显著性差异;此外,资阳香橙砧嫁接苗叶片的脯氨酸、可溶性总糖含量最高,卡里佐枳橙砧嫁接苗叶片的淀粉含量最高;在叶片矿质元素方面,资阳香橙砧嫁接苗叶片N、P和K含量较低,其他中微量元素含量较高。【结论】资阳香橙砧纽荷尔脐橙嫁接苗在生长量、叶片可溶性总糖和叶片矿质营养方面优势较明显。在生产应用中,资阳香橙砧具有树势强健,根系发达,嫁接亲和性好,对于中微量元素吸收能力较强等明显优势,适应在碱性土柑桔产区应用。

关键词:柑桔;砧木;嫁接苗;生长量;矿质营养

中图分类号:S666.4 文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号:1000-2286(2023)03-0575-09



Effect of Growth and Physiological Indexes of Navel Orange Budlings Grafted on Seven Citrus Rootstock Cultivars

YANG Huidong^{1,2}, PENG Zhenyu^{1,3*}, PENG Liangzhi^{1*}, YUAN Meng¹,
CHUN Changpin¹, YUAN Gaopeng¹

(1. Citrus Institute of Southwest University/National Citrus Engineering Research Center, Chongqing 400712, China; 2. Institute of Horticulture, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; 3. Neijiang Academy of Agricultural Sciences, Neijiang, Sichuan 64100, China)

收稿日期:2022-12-09 修回日期:2023-02-16

基金项目:国家重点研发计划项目(2020YFD1000102)和国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-26-01A)

Project supported by the National Key R&D Program (2020YFD1000102) and National Modern Agricultural Industrial Technology System Sponsored by Ministry of Finance and Ministry of Agriculture and Rural Affairs (CARS-26-01A)

作者简介:杨惠栋,助理研究员,硕士,orcid.org/0000-0001-8903-9830,274997541@qq.com; *共同第一作者; *通信作者:彭良志,研究员,主要从事果树栽培与生理研究,orcid.org/000-0003-1620-027X, pengliangzhi@eric.cn。

Abstract: [Objective] Effects of rootstocks on tree growth, yield and fruit quality of citrus trees has been confirmed, but there is still a lack of systematic research on a wider range. [Method] In this study, the effects of seven rootstocks, namely Ziyangxiang orange, Carrizo trifoliate orange, Goutou orange, Yichang orange, Indian tangerine, red tangerine and trifoliate orange, on the growth, photosynthetic pigment, total soluble sugar, starch and leaf mineral nutrition of Newhall navel orange grafted seedlings were compared. [Result] The results showed that the plant height, stem diameter, quantity of spring branches, leaf area, leaf thickness, leaf fresh weight, leaf dry weight, root length as well as dry and fresh weight of Ziyangxiang orange budlings were significantly higher than those grafted on other rootstocks. Budlings of trifoliate orange had the highest photosynthetic pigments content and there was no significant difference among budlings on other rootstocks. Compared with other seedlings, budlings on Ziyangxiang orange exhibited higher soluble protein content, while budlings on Carrizo trifoliate orange showed a low level of soluble protein content and there was no significant differences among budlings on other rootstocks. Besides, the largest amount of total soluble sugar and proline in leaf was extracted from budlings on Ziyangxiang rootstock and the largest amount of starch content was obtained on Carrizo trifoliate rootstock. In terms of mineral elements in leaves, the contents of N, P and K in leaves of Ziyangxiang orange rootstock grafted seedlings were lower, and the contents of medium trace elements were higher. [Conclusion] Ziyangxiang orange rootstock has more remarkable advantages than other rootstocks for Newhall navel orange scion on growth rate, as well as soluble sugars and mineral nutrition of leaves. In production, it has obvious advantages such as strong tree strength, developed root system, broad grafting affinity and strong absorption ability of medium trace elements, making it suitable for citrus production in alkaline soil.

Keywords: Citrus; rootstock; budling; growth; mineral nutrition

【研究意义】柑桔是一种嫁接果树,依靠地下部砧木吸收水分和营养。不同砧木对接穗品种的生长发育及果实产量和品质等均有重要影响^[1]。【前人研究进展】我国是世界上柑桔砧木资源最为丰富的国家之一,在柑桔主产区,常以枳、酸橙和红桔等作为砧木,其中枳砧的植株具有矮化或半矮化,早结丰产,品质优良等特点,因此成为我国目前应用最多、最广泛的柑桔砧木^[2-6]。但是,枳砧不耐盐碱、生长慢、易感染裂皮病和碎叶病、树势偏弱等缺点成为生产中的突出问题^[4,7]。生产上发现,以资阳香橙为砧木的不知火杂柑、清家脐橙、温州蜜柑等品种在四川、贵州、云南等地种植的长势普遍比枳砧强健,根系发达,丰产稳产,无黄化落叶现象^[8-9]。除枳和资阳香橙外,我国柑桔生产中还有枸头橙、宜昌橙、红桔等砧木,以及国外引进的卡里佐枳橙、施文格枳柚等有性杂种砧木。【本研究切入点】在前人的研究中,主要比较了不同砧木对柑桔果实产量和品质方面的影响^[10-12],而在砧木对柑桔生长、叶片矿质营养、光合色素、叶片可溶性总糖、淀粉等方面影响的系统研究报道较少,且同时比较的砧木品种较少,仍缺少更广范围的系统性研究。【拟解决的关键问题】本研究同时选择了7种主要柑桔砧木,系统地比较研究其对我国栽培面积最大的纽荷尔脐橙生长和相关生理指标的影响,以期生产上选择适宜砧木提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试砧木分别为一年生枳(*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.)、红桔(*C. tangerine* Hort. ex Tanaka)、卡里佐枳橙(*C. sinensis* Osb. × *P. trifoliata* Raf.)、枸头橙(*C. aurantium* L.)、资阳香橙(*C. junos* (Sieb.) Tanaka)、印度酸桔(*C. reshni*, ex Tanaka)和宜昌橙(*C. yichangensis* Swingle),共7种。7种砧木均种植在长方体塑料箱中(59 cm×45.5 cm×32 cm),每箱7种砧木,每种砧木10株排成1行,7行随机排列,共11箱。箱土为等量的pH 6.5左右砂壤土,箱土的配比为果园土:河沙为2:1。砧木生长1年后嫁接,接穗为纽荷尔脐橙(*Citrus sinensis* Osbeck 'Newhall')。在避雨塑料棚下栽培,每月定期浇施1~2次0.3%复合肥,复合肥的N:P:K比例为17:17:17。嫁接苗第3次新梢老熟后进行各项指标测定。

1.2 试验方法

1.2.1 生理指标测定 植株干茎指标(株高、干径、成枝量)和叶片生长指标(全株叶面积、平均单叶面积、叶片厚度、叶鲜重、叶干重等)参考宗学风等^[13]的方法进行调查测定。株高为嫁接苗的生理株高,干径用游标卡尺测得距嫁接口 2 cm 处粗度,成枝量为当年春梢成枝数量。另外,每箱位于同一行砧木嫁接苗随机各取 1 株,用清水冲去根部的泥土,称量地上部鲜重、地下部鲜重,同时采集全株叶片放入冰盒,带回实验室,测定叶鲜重、叶面积、叶片厚度等指标。测定完成后,将植株的茎、叶、根鲜样放入烘箱,在 105 ℃下烘 0.5~1 h,然后在 75 ℃下烘干约 8 h 至恒重,称量得到叶片干重、地上部干重和地下部干重。叶绿素含量按李合生^[14]的方法进行测定,叶片可溶性蛋白按考马斯亮蓝染色法进行测定。叶片可溶性总糖按蒽酮比色法进行测定。

1.2.2 叶片营养元素的测定 随机选择 3 盆长势一致嫁接苗,采集每箱不同砧木嫁接苗的全株叶片,放入冰盒,带回实验室。叶片经过自来水清洗、超纯水清洗、105 ℃灭酶、75 ℃烘干、粉碎、干燥、装瓶密封后保存待测。按照庄伊美^[15]的方法进行测定。氮(N)含量用浓硫酸消解后用盐酸滴定法测定;磷(P)含量用硝酸-高氯酸消解后用 TU-1901 紫外可见分光光度计在 700 nm 波长下测定;钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)和铜(Cu)含量经硝酸-高氯酸消解后,用 AA-800 原子吸收分光光度计测定;硼(B)含量采用干灰化法,用 TU-1901 紫外可见分光光度计在 430 nm 波长下测定。

1.3 数据分析

运用 Excel 2016 和 Spss 19.0 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 不同砧木对纽荷尔嫁接苗地上部和地下部生长量的影响

由表 1 可知,在 7 种砧木嫁接苗中,资阳香橙砧的株高、干径、成枝量、地上部鲜重和地上部干重最大,印度酸桔砧最小,资阳香橙分别是印度酸桔砧的 2.72、2.10、4.76、5.79 和 4.42 倍,卡里佐枳橙和枸头橙砧居中。此结果表明,与其他砧木嫁接苗相比,资阳香橙砧嫁接苗的地上部生长量更大。

表 1 不同柑桔砧木嫁接苗的地上部生长量比较

Tab.1 Shoot growth comparison of Newhall navel orange budlings grafted on different rootstocks

砧木品种 Rootstocks	株高/cm Tree height	干径/mm Rootstock diameter	成枝量 Quantity of spring branches	地上部鲜重/g Fresh weight of shoot	地上部干重/g Shoot dry weigh	地上部干鲜比 Dry weight/fresh weight
资阳香橙 Ziyangxiangcheng	50.5±11.4 ^a	10.83±0.52 ^a	10.0±3.5 ^a	190.66±48.19 ^a	58.95±1.25 ^a	0.4±0.004 ^a
卡里佐枳橙 Carrizo citrange	48.8±10.1 ^{ab}	9.4±1.16 ^{ab}	7.9±2.4 ^{ab}	66.02±12.38 ^b	26.72±2.38 ^d	0.4±0.03 ^a
枸头橙 Goutou sour orange	38.6±2.9 ^{abc}	8.0±1.72 ^{bc}	7.1±2.2 ^{abc}	61.06±4.63 ^b	24.53±1.75 ^b	0.41±0.01 ^a
红桔 Red Tangerine	34.3±1.1 ^{bc}	6.0±0.92 ^{cd}	3.6±1.8 ^{bc}	27.93±2.05 ^b	10.31±0.6 ^e	0.39±0.08 ^a
宜昌橙 Ichang papeda	28.9±7.8 ^{cd}	7.±1.54 ^{bcd}	3.3±1.7 ^{bc}	10.09±1.13 ^b	4.21±1.07 ^e	0.42±0.02 ^a
枳 Trifoliate orange	24.9±11.7 ^{cd}	6.5±2.08 ^{cd}	4.0±3.9 ^{bc}	50.31±6.61 ^b	19.59±2.64 ^c	0.36±0.02 ^a
印度酸桔 Cleopatra orange	18.6±6.0 ^d	5.15±1.51 ^d	2.1±1.5 ^c	32.82±3.61 ^b	13.32±1.54 ^e	0.4±0.13 ^a

表内同列数字后不同小写字母表示达到显著差异水平, $P \leq 0.05$ 。

Different small letters in the same column mean significant difference, $P \leq 0.05$.

由表 2 所示,比较 7 种砧木嫁接苗地下部生长情况,资阳香橙砧嫁接苗主根长度最大,卡里佐枳橙砧、宜昌橙和枳次之,红桔最小;此外,由于资阳香橙的主根较长,侧根量大,因此其地下部鲜重、地下部干重也显著地高于其他砧木嫁接苗。经方差分析,不同砧木嫁接苗的地下部干鲜比存在差异,说明不同砧木嫁接苗的根系生长势不同,而且根系的含水量和干物质的量也有所差异。地下部生长量分析结果也表明,资阳香橙砧在 7 种砧木中具有明显优势。

表 2 不同柑桔砧木嫁接苗的地下部生长情况比较

Tab.2 Root growth comparison of Newhall navel orange budlings grafted on different rootstocks

砧木品种 Rootstocks	主根长/cm Root length	地下部鲜重/g Root fresh weight	地下部干重/g Root dry weight	地下部干鲜比 Dry weight/fresh weight
资阳香橙 Ziyangxiangcheng	53.55±2.9 ^a	84.3±7.79 ^a	42.14±0.16 ^a	0.59±0.01 ^a
卡里佐枳橙 Carrizo citrange	30.5±6.93 ^c	35.45±5.88 ^{bc}	12.47±1.46 ^{bc}	0.46±0.03 ^b
枸头橙 Goutou sour orange	25.53±0.45 ^c	23.58±1.43 ^b	12.36±1.02 ^b	0.46±0.01 ^b
红桔 Red Tangerine	24.1±0.99 ^c	13.51±0.78 ^c	6.32±0.51 ^c	0.37±0.03 ^c
宜昌橙 Ichang papeda	34.17±0.92 ^b	7.64±2.35 ^c	3.23±0.7 ^c	0.45±0.02 ^b
枳 Trifoliate orange	32.7±1.27 ^c	23.3±7.22 ^b	10.99±0.28 ^b	0.54±0.05 ^a
印度酸桔 Cleopatra orange	41.03±4.31 ^b	21.61±3.83 ^c	8.46±1.63 ^c	0.57±0.02 ^a

表内同列数字后不同小写字母表示达到显著差异水平, $P\leq 0.05$ 。
Different small letters in the same column mean significant difference, $P\leq 0.05$.

2.2 不同砧木对纽荷尔嫁接苗叶片生长的影响

表 3 结果显示,印度酸桔嫁接苗的叶面积最小,平均单叶面积为 13.28 cm²,卡里佐枳橙砧嫁接苗的叶面积最大,平均单叶面积为 17.34 cm²,两者之间存在显著差异,但与其他 5 种砧木嫁接苗的差异均不显著;从全株叶面积看,资阳香橙砧嫁接苗的最大,宜昌橙砧最小,资阳香橙砧显著大于其他 6 种砧木嫁接苗的全株叶面积,枳砧和宜昌橙砧的嫁接苗的全株叶面积都显著小于其他 5 种砧木嫁接苗。不同砧木

表 3 不同柑桔砧木嫁接苗叶片生长比较

Tab.3 Growth comparison of leaves of Newhall navel orange budlings grafted on different rootstocks

砧木品种 Rootstocks	单叶面积/cm ² Leaf area	全株叶面积/cm ² Total plant leaf area	叶片厚度/mm Leaf thickness	叶鲜重/g Leaf fresh weight	干重/g Dry weight	干鲜比 Dry weight/fresh weight
卡里佐枳橙 Carrizo citrange	17.34±1.81 ^a	36 337.60±9 253.91 ^{bc}	0.25±0.02 ^a	0.47±0.07 ^a	0.17±0.02 ^a	0.37±0.02 ^{bc}
资阳香橙 Ziyangxiangcheng	16.10±0.25 ^{ab}	133 925.53±21 561.17 ^a	0.26±0.00 ^a	0.43±0.04 ^{abc}	0.16±0.01 ^{ab}	0.38±0.01 ^{ab}
枸头橙 Goutou sour orange	15.62±1.80 ^{ab}	56 503.30±5 644.13 ^b	0.25±0.01 ^a	0.44±0.06 ^{ab}	0.17±0.02 ^{ab}	0.38±0.02 ^{ab}
枳 Trifoliate orange	15.49±1.86 ^{ab}	40 922.67±14 894.36 ^c	0.24±0.03 ^{ab}	0.38±0.06 ^{bc}	0.13±0.01 ^b	0.35±0.02 ^c
宜昌橙 Ichang papeda	14.87±3.12 ^{ab}	12 232.20±265.45 ^c	0.22±0.01 ^b	0.32±0.04 ^{abc}	0.13±0.02 ^b	0.41±0.01 ^a
红桔 Red Tangerine	13.93±1.40 ^{ab}	33 094.55±3 299.15 ^{bc}	0.26±0.02 ^a	0.41±0.08 ^{abc}	0.16±0.03 ^{ab}	0.39±0.01 ^{ab}
印度酸桔 Cleopatra orange	13.28±0.80 ^b	45 807.50±5 153.54 ^{bc}	0.24±0.01 ^{ab}	0.35±0.05 ^c	0.14±0.01 ^b	0.39±0.02 ^{ab}

表内同列数字后不同小写字母表示达到显著差异水平, $P\leq 0.05$ 。
Different small letters in the same column mean significant difference, $P\leq 0.05$.

嫁接苗的单叶面积和全株叶面积差异不尽相同,与不同砧木嫁接苗的成枝量、叶片生长量有直接关系。对于叶片厚度,宜昌橙砧嫁接苗最小,为 0.22 mm,与卡里佐枳橙砧、资阳香橙砧、枸头橙砧、红桔砧的差异显著,而与枳砧和印度酸桔砧差异不显著;在叶片干鲜重方面,宜昌橙砧嫁接苗叶片鲜重和干重均最小,但干鲜比最大,卡里佐枳橙砧嫁接苗叶片鲜重和干重最大,干鲜比较小,且两种砧木嫁接苗的这 3 项指标都存在显著性差异。

2.3 不同砧木对纽荷尔嫁接苗光合色素的影响

由表 4 可知,虽然嫁接在不同柑桔砧木上的纽荷尔脐橙苗叶片光合色素含量有差异,但多数不同砧木之间未达到显著水平,而且并不因为砧木不同而使叶绿素 a/b 值有显著差异。叶绿素含量均以枳砧嫁接苗最高,以印度酸桔砧的最低,且二者之间有显著差异,其他砧木的嫁接苗叶绿素含量之间存在差异,但均不显著。类胡萝卜素含量差异规律与叶绿素含量相类似。

表 4 不同柑桔砧木嫁接苗叶片光合色素比较

Tab.4 The content and relative constitution of photosynthetic pigments in leaves of Newhall navel orange budlings grafted on different rootstocks

砧木品种 Rootstocks	叶绿素 a/ (mg·g ⁻¹) Chorophyll a	叶绿素 b/ (mg·g ⁻¹) Chorophyll b	叶绿素 a+b/ (mg·g ⁻¹) Chorophyll a+b	叶绿素 a/b Chorophyll a/b	类胡萝卜素/ (mg·g ⁻¹) Carotenoid
枳 Trifoliate orange	2.28±0.03 ^a	0.70±0.04 ^a	2.94±0.07 ^a	3.21±0.12 ^a	0.77±0.01 ^a
卡里佐枳橙 Carrizo citrange	2.01±0.21 ^{ab}	0.65±0.06 ^{ab}	2.66±0.27 ^{ab}	3.11±0.09 ^a	0.70±0.05 ^{ab}
红桔 Red Tangerine	1.98±0.15 ^{ab}	0.66±0.03 ^{ab}	2.64±0.17 ^{ab}	3.01±0.13 ^a	0.68±0.05 ^{ab}
枸头橙 Goutou sour orange	1.97±0.27 ^{ab}	0.62±0.09 ^{ab}	2.59±0.36 ^{ab}	3.19±0.04 ^a	0.66±0.07 ^{ab}
资阳香橙 Ziyangxiangcheng	1.95±0.01 ^{ab}	0.58±0.01 ^{ab}	2.57±0.02 ^{ab}	3.14±0.02 ^a	0.69±0.00 ^{ab}
宜昌橙 Ichang papeda	1.91±0.04 ^{ab}	0.62±0.01 ^{ab}	2.48±0.04 ^{ab}	3.31±0.09 ^a	0.65±0.01 ^{ab}
印度酸桔 Cleopatra orange	1.68±0.19 ^b	0.53±0.04 ^b	2.23±0.23 ^b	3.13±0.12 ^a	0.59±0.04 ^b

表内同列数字后不同小写字母表示达到显著差异水平, $P \leq 0.05$ 。
Different small letters in the same column mean significant difference, $P \leq 0.05$.

2.4 不同砧木对纽荷尔嫁接苗渗透调节物质含量的影响

由表 5 可知,不同砧木的纽荷尔嫁接苗叶片可溶性蛋白含量存在一定的差异。其中宜昌橙、资阳香橙和红桔砧嫁接苗叶片可溶性蛋白含量分别为 2.95, 2.94, 2.88 mg/g, 以卡里佐枳橙砧的含量最低为 2.74 mg/g, 经方差分析,除卡里佐枳橙砧与宜昌橙、资阳香橙、红桔和印度酸桔砧之间有显著差异外,其余砧木嫁接苗之间差异不显著。对于淀粉含量,卡里佐枳橙砧嫁接苗叶片的淀粉含量最高,为 172.21 mg/g,枳最低为 131.62 mg/g,枳砧显著的小于卡里佐枳橙砧和红桔,与其他砧木的嫁接苗无显著性差异。

表 5 不同砧木纽荷尔嫁接苗叶片渗透调节物质含量

Tab.5 Osmotic regulation substances content in leaves of Newhall navel orange budlings grafted on different rootstocks

砧木品种 Rootstocks	可溶性蛋白含量/ (mg·g ⁻¹) Content of soluble protein	淀粉含量/ (mg·g ⁻¹) Content of starch	可溶性总糖含量/ (mg·g ⁻¹) Content of total soluble sugar	脯氨酸/ (μg·g ⁻¹) Proline
枸头橙 Goutou sour orange	2.62±0.05 ^{ab}	147.82±4.79 ^{bc}	1.24±0.05 ^{ab}	119.21±7.6 ^{abc}
枳 Trifoliate orange	2.54±0.13 ^{ab}	131.62±10.83 ^c	1.08±0.12 ^b	150.11±20.42 ^a
资阳香橙 Ziyangxiangcheng	2.94±0.06 ^a	152.9±15.31 ^{abc}	1.49±0.12 ^a	150.11±20.42 ^a
红桔 Red Tangerine	2.88±0.23 ^a	155.39±14.27 ^{ab}	1.3±0.01 ^{ab}	88.12±10.43 ^c
卡里佐枳橙 Carrizo citrange	2.23±0.11 ^b	172.22±13.73 ^a	1.27±0.13 ^{ab}	144.05±14.81 ^a
宜昌橙 Ichang papeda	2.95±0.13 ^a	149.59±6.28 ^{bc}	1.34±0.24 ^{ab}	125.77±42.61 ^{ab}
印度酸桔 Cleopatra orange	2.74±0.17 ^a	148.47±8.51 ^{bc}	1.19±0.21 ^b	98.48±24.93 ^{bc}

表内同列数字后不同小写字母表示达到显著差异水平, $P \leq 0.05$ 。
Different small letters in the same column mean significant difference, $P \leq 0.05$.

资阳香橙砧嫁接苗叶片可溶性总糖含量最高为 1.49 mg/g, 显著高于印度酸桔砧(1.18 mg/g)和枳砧(1.07 mg/g)嫁接苗叶片, 其他砧木嫁接苗的可溶性总糖含量之间的差异不显著。上述结果表明, 不同砧木对纽荷尔嫁接苗叶片可溶性总糖有一定影响, 但多数不明显。资阳香橙砧嫁接苗叶片的脯氨酸含量最高, 为 150.11 $\mu\text{g/g}$, 卡里佐枳橙砧次之, 为 144.05 $\mu\text{g/g}$ 。红桔砧最低为 88.12 $\mu\text{g/g}$, 显著小于资阳香橙、卡里佐枳橙、宜昌橙和枸头橙的砧木嫁接苗, 与其他砧木嫁接苗无显著差异。

2.5 不同砧木对纽荷尔嫁接苗叶片矿质元素含量的影响

在大量元素方面, 枳砧嫁接苗叶片 N 含量最高为 2.79%, 卡里佐枳橙砧和资阳香橙砧最低, 且存在显著差异, 其他砧木嫁接苗的叶片 N 含量无显著差异; 印度酸桔、枸头橙砧的叶片 P 含量最高为 0.16%, 与枳砧、宜昌橙砧、资阳香橙砧的叶片含量差异显著, 其中资阳香橙砧嫁接苗叶片含量最低, 为 0.12%; 叶片 K 元素, 枳砧的叶片 K 含量最高为 1.72%, 其次为印度酸桔砧为 1.69%, 二者显著高于其余 5 种砧木嫁接苗叶片 K 含量, 其中宜昌橙砧的最低为 1.19%, 较枳砧的低 0.53%。由此可见, 枳砧纽荷尔脐橙嫁接苗 N、P、K 元素积累均较高, 资阳香橙、卡里佐枳橙、宜昌橙等砧木嫁接苗的在 N、P、K 积累较低。

在叶片中微量元素方面, 不同砧木纽荷尔脐橙嫁接苗叶片 Ca、Mg 元素含量存在一定差异。Ca 含量以资阳香橙砧嫁接苗为最高达 3.89%, 显著高于 6 个砧木嫁接苗; Mg 含量以资阳香橙、印度酸桔砧嫁接苗的叶片含量最高, 枸头橙砧的最低为 0.21%, 且显著低于其余 6 个砧木嫁接苗叶片含量。在叶片微量元素方面, Fe、Mn、Zn 含量在不同砧木嫁接苗叶片中差异相似, 资阳香橙砧含量最高, 卡里佐枳橙砧的 Fe、Mn 含量最低, 而枸头橙砧的 Zn 含量最低。红桔砧的 B 含量最高, 枳砧的最低, 其他砧木居中。由此可见, 资阳香橙砧嫁接苗的叶片中微量元素含量均较高。

表 6 不同砧木嫁接苗叶片矿质元素含量比较

Tab.6 Nutrient element in leaves of Newhall navel orange budlings grafted on different rootstocks

砧木品种 Rootstocks	N/%	P/%	K/%	Ca/%	Mg/%	Fe/ (mg·kg ⁻¹)	Mn/ (mg·kg ⁻¹)	Zn/ (mg·kg ⁻¹)	Cu/ (mg·kg ⁻¹)	B/ (mg·kg ⁻¹)
资阳香橙 Ziyangxiangcheng	2.31c	0.12d	1.56b	3.89a	0.25ab	164.61a	30.62b	42.69a	10.0c	138.95b
枸头橙 Goutou sour orange	2.51b	0.16a	1.26c	3.57c	0.21d	117.47c	23.75d	23.68f	10.13c	147.09b
印度酸桔 Cleopatra orange	2.50b	0.16a	1.69a	3.66b	0.25a	112.41cd	34.49a	28.79d	11.54b	140.93b
红桔 Red Tangerine	2.51b	0.15ab	1.60b	3.63b	0.23c	144.21b	28.72c	30.91c	7.82d	159.86a
枳 Trifoliate orange	2.79a	0.14bc	1.72a	3.00f	0.23bc	119.83c	30.19b	27.06e	11.59b	127.87c
宜昌橙 Ichang papeda	2.51b	0.13cd	1.19d	3.06e	0.24abc	105.31d	30.86b	35.26b	7.73d	138.84b
卡里佐枳橙 Carrizo citrange	2.27c	0.15a	1.58b	3.37d	0.24bc	66.71e	18.25e	35.50b	14.487a	139.42b

表内同列数字后不同小写字母表示达到显著差异水平, $P \leq 0.05$ 。

Different small letters in the same column mean significant difference, $P \leq 0.05$.

3 讨 论

3.1 不同砧木对纽荷尔嫁接苗生长势的影响

柑桔植株生长势不仅与栽培技术和生长环境密切相关, 也受砧穗组合影响, 如柑桔不同品种在同一砧木上或同一品种在不同砧木上都可能会有不同的栽培表现^[16]。本试验研究表明, 资阳香橙砧纽荷尔脐橙嫁接苗生长势最强, 无论是地上部的植株高度、干径、叶面积、叶片厚度和干鲜重, 还是地下部的根长、根干鲜重, 都显著高于其他砧木嫁接苗, 这与袁高鹏等^[17]以资阳香橙、卡里佐枳橙等砧木实生苗为材料的研究结果一致, 与刘建军^[19]等研究资阳香橙砧嫁接柑桔生长势强于枳砧和红桔砧, 与赖晓桦^[10]在卡里佐枳橙砧对赣南纽荷尔脐橙生长结果的影响中结论基本相同。

在相同栽培条件下, 嫁接在不同砧木上的柑桔, 生长表现差异的主要原因有两点: 一是地下部砧木影响, 砧木根系是植株进行矿质营养代谢和水分吸收的主要器官, 不同砧木根系生长差异, 会造成柑桔砧木对接穗矿质营养代谢的不同, 影响其他的生理代谢活动, 进而表现生长差异^[11], 如 Erismann 等^[19]发现不同柑桔砧木的瓦伦西亚甜橙叶片的干重和叶面积表现一定差异; 二是砧穗亲和性影响, 不同砧木与不同柑桔接穗间嫁接亲和性表现不一致, 常常会通过树体生长体现。彭良志等^[20]研究不同砧木对脐橙树

体与果实品质的影响结果表明,不同砧木对脐橙树体影响明显,不同砧木嫁接同一脐橙品种,大小脚差异明显,树体生长程度出现差异,如红桔砧纽荷尔脐橙树势旺,树冠高大,而普通枳砧纽荷尔脐橙树冠圆头形,半矮化。梅正敏等^[21]在不同砧木嫁接桂脐1号的生长研究中,也发现嫁接后树体的长势与砧穗组合的亲合性具有一定关系。

3.2 不同砧木对纽荷尔嫁接苗光合色素的影响

不同砧木会对柑桔光合色素产生影响,但7种砧木中仅枳砧与印度酸桔砧的植株叶片光合色素差异显著,与其他6种试验砧木嫁接苗差异不显著。枳砧纽荷尔脐橙叶片叶绿素和类胡萝卜素含量都较高,这可能与枳砧苗生长前期矮化机制有关^[22],黄翼^[23]在不同砧木叶绿素含量研究中也发现枳砧的相对叶绿素含量最高,同时吴可红等^[24]的研究也表明枳砧的椪柑植株光合色素叶绿素a含量较高。

3.3 不同砧木对纽荷尔嫁接苗渗透调节物质含量的影响

可溶性蛋白和脯氨酸两项均能直接反映植株在胁迫条件下抗性强弱的情况重要生理指标。不同柑桔砧木会影响接穗的生理生化状态,引起树体叶片的生理代谢过程发生变化,导致生长、发育和抗逆性强弱差异^[25]。本研究也发现,不同柑桔砧木会造成接穗叶片可溶性蛋白含量、脯氨酸出现差异,宜昌橙砧和资阳香橙砧植株叶片可溶性蛋白含量、脯氨酸均较高,这可能与宜昌橙高耐寒^[26]和资阳香橙的耐盐碱特性^[27]有关,相关特性需要进一步试验证实。

可溶性糖含量能够正相关的反映树体养分和运输的情况,叶片可溶性糖的积累有助于树体花芽生理分化,淀粉的积累有助于树体的生长和开花。本研究发现,资阳香橙砧嫁接苗可溶性糖含量较高,资阳香橙砧和卡里佐枳橙砧嫁接苗淀粉含量较高,并且两种砧木的嫁接苗均表现出树势强健,这与周开兵等人^[28]研究基本一致。砧木接穗叶片可溶性糖和淀粉含量差异,可能与砧木和纽荷尔脐橙的亲合性有关,仍需要进一步研究证实。

3.4 不同砧木对纽荷尔嫁接苗叶片矿质元素含量的影响

植物矿质营养为植株的生长发育和生理活动提供物质基础,对于植物的生长发育、产量和品质形成都具有十分重要的作用。砧木对于矿质元素的吸收与转运能力直接影响树体的矿质养分水平^[29-31]。本研究发现,枳砧嫁接苗的叶片N、P、K含量较高,资阳香橙叶片大量元素含量较低,这可能与枳砧嫁接苗生长慢,生长量小对大量元素的富集作用,而香橙砧嫁接苗生长快、生长量大对大量元素的稀释作用、N元素更多地富集在枝条中,以及香橙砧对于P、K元素从根系向地上部运输能力较弱相关^[32]。资阳香橙砧的嫁接苗叶片的中微量元素含量较高,与其耐碱、对Fe、Mn、Zn等金属元素的吸收能力强^[33]有关。盐碱土壤的有效态中微量元素缺乏,pH值过高造成土壤中多种矿质离子发生沉淀,从而严重干扰植物根系对矿质元素的吸收,容易造成植株的缺素症状严重^[34]。资阳香橙砧对于中微量元素的吸收与转运能力强,在渝津橙^[32]、尤力克柠檬^[33]、伦晚脐橙^[35]等的品种上都有相似的研究报道。因此,资阳香橙砧能够克服由缺乏中微量元素引起的缺素黄化症和产量品质下降的难题,适合在四川、贵州、云南、重庆等紫色碱性土柑桔产区应用。此外,由于资阳香橙砧嫁接苗生长量大,早结丰产优势明显且抽枝率较强^[8],因此在黄龙病流行区,选用资阳香橙为砧,通过统一抹芽放梢后及时喷药防治木虱,对于柑桔黄龙病的防治有积极意义。

4 结 论

本研究综合比较和评价了7种常用砧木对纽荷尔脐橙嫁接苗的生长量、光合色素、叶片渗透调节物质、叶片营养等多方面的影响。结果表明资阳香橙砧嫁接苗具有明显优势,枸头橙砧、卡里佐枳橙砧、枳砧次之,宜昌橙砧、红桔砧和印度酸桔砧嫁接苗相对较弱。资阳香橙砧具有树势强健,根系发达,嫁接亲和性好,对中微量元素吸收能力较强等明显优势,适应在碱性土柑桔产区应用。

参考文献 References:

- [1] 淳长品,彭良志,雷霆,等.不同柑橘砧木对‘锦橙’果实品质的影响[J].园艺学报,2010,37(6):991-996.
CHUN C P, PENG L Z, LEI T, et al. Effect of rootstocks on fruit quality of ‘Jincheng’ sweet orange[J]. Acta horticulturae Sinica, 2010, 37(6): 991-996.

- [2] LIU X Y, LI J, HUANG M, et al. Mechanisms for the influence of citrus rootstocks on fruit size[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2015, 63(10): 2618-2627.
- [3] DUBEY A K, SHARMA R M. Effect of rootstocks on tree growth, yield, quality and leaf mineral composition of lemon (*Citrus limon* (L.) Burm.) [J]. Scientia horticulturae, 2016, 200: 131-136.
- [4] 周开兵, 郭文武, 夏仁学, 等. 不同砧木对脐橙幼树生长和叶片养分含量变化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(6): 657-662.
- ZHOU K B, GUO W W, XIA R X, et al. Effects of two kinds of rootstock on growth and change of nutrient contents in leaf of young tree of navel orange[J]. Plant nutrition and fertilizer science, 2004, 10(6): 657-662.
- [5] 周开兵, 郭文武, 夏仁学, 等. 柑橘体细胞杂种砧木对脐橙幼树生长及根和叶中抗氧化酶系活性的影响[J]. 植物生理学通讯, 2004, 40(5): 540-544.
- ZHOU K B, GUO W W, XIA R X, et al. Effects of somatic hybrids rootstocks on the growth of young tree and the activities of antioxidant enzymes in leaves and roots of navel orange (*Citrus sinensis*) [J]. Plant physiology communications, 2004, 40(5): 540-544.
- [6] 周开兵, 夏仁学. 中国柑橘砧木选择研究进展与展望[J]. 中国农学通报, 2005, 21(1): 213-218.
- ZHOU K B, XIA R X, et al. The proceedings and tendencies in the study on the choice of rootstocks for citrus in China [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2005, 21(1): 213-218.
- [7] 邓秀新, 彭抒昂. 柑橘学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 265-267.
- DENG X X, PENG S A. Citology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013: 265-267.
- [8] 计长远, 彭长江. 柑桔抗碱砧木: 资阳香橙[J]. 中国热带农业, 2009(1): 52-53.
- JI C Y, PENG C J. Citrus alkali-resistant rootstock: Ziyang Xiangcheng [J]. China tropical agriculture, 2009(1): 52-53.
- [9] 朱礼乾, 沈鑫健, 周上铃, 等. 氮胁迫对枳和‘资阳香橙’砧木氮代谢及相关基因表达的影响[J]. 果树学报, 2020, 37(4): 449-458.
- ZHU L Q, SHEN X J, ZHOU S L, et al. Effects of nitrogen stresses on the nitrogen metabolism and expression of related genes in *Poncirus trifoliata* and ‘Ziyang Xiangcheng’ (*Citrus junos*) rootstocks [J]. Journal of fruit science, 2020, 37(4): 449-458.
- [10] 赖晓桦, 黄传龙, 谢上海. 卡里佐枳橙砧对赣南组荷尔脐橙生长结果的影响[J]. 中国南方果树, 2009, 38(9): 25-26.
- LAI X H, HUANG C L, XIE S H. Effects of the growth and fruit of navel orange grafted on carrizo rootstock [J]. South China fruits, 2009, 38(9): 25-26.
- [11] 郑永强, 邓烈, 何绍兰, 等. 几种砧木对哈姆林甜橙植株生长、产量及果实品质的影响[J]. 园艺学报, 2010, 37(4): 532-538.
- ZHENG Y Q, DENG L, HE S L, et al. Effect of seven rootstocks on tree growth, yield, fruit quality of ‘Hamlin’ sweet orange in south China [J]. Acta horticulturae Sinica, 2010, 37(4): 532-538.
- [12] T CANTUARIAS-AVILÉS, FILHO F D A M, STUCHI E S, et al. Horticultural performance of ‘Folha Murcha’ sweet orange onto twelve rootstocks [J]. Scientia horticulturae, 2011, 129(2): 259-265.
- [13] 宗学凤, 王三根. 植物生理研究技术[M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 2011: 47-58.
- ZONG X F, WANG S G. Plant physiology research and technology [M]. Chongqing: Southwest China Normal University Press, 2011: 47-58.
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 134-137.
- LI H S. Plant physiology biochemistry experiment principle and technology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002: 134-137.
- [15] 庄伊美. 柑桔营养与施肥[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 27-30, 307-354.
- ZHUANG Y M. Citrus nutrition and fertilization [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1994: 27-30, 307-354.
- [16] 李有芳, 张超博, 陈焱, 等. 不同砧木金秋砂糖桔生长结果比较[J]. 中国南方果树, 2019, 48(4): 4-9.
- LI Y F, ZHANG C B, CHEN Y, et al. Comparison of the growth and fruiting of Jinqiushatangju with different rootstocks [J]. South China fruits, 2019, 48(4): 4-9.
- [17] 袁高鹏, 习建龙, 彭良志, 等. 7种柑桔砧木实生苗生长状况的比较[J]. 中国南方果树, 2015, 44(3): 35-37.
- YUAN G P, XI J L, PENG L Z, et al. Comparison of the growth of seedlings of 7 Citrus rootstock varieties [J]. South China Fruits, 2015, 44(3): 35-37.
- [18] 刘建军, 陈克玲, 胡强, 等. 特色地方柑橘资源“资阳香橙”的初步研究[J]. 西南农业学报, 2008, 21(6): 1658-1660.
- LIU J J, CHEN K L, HU Q, et al. Preliminary study on “Ziyang xiangcheng” (*Citrus junos* Siebex Tanaka), a special local citrus germplasm [J]. Southwest China journal of agricultural sciences, 2008, 21(6): 1658-1660.
- [19] Norma de Magalhães Erismann, Eduardo Caruso Machado, Maria Luiza Sant’ Anna Tucci. Photosynthetic limitation by CO₂

- diffusion in drought stressed orange leaves on three rootstocks[J].Photosynthesis research,2008,96:163-172.
- [20] 彭良志,曹立,淳长品,等.不同砧木对脐橙树体与果实品质的影响[J].中国南方果树,2003,32(5):1-4.
PENG L Z, CAO L, CHUN C P, et al. The effect of rootstocks on tree and quality of fruit of Qicheng[J]. South China fruits, 2003, 32(5): 1-4.
- [21] 梅正敏,罗世杏,伊华林,等.不同砧木嫁接对桂脐1号脐橙幼树生长及光合特性的影响[J].南方农业学报,2014,45(3):434-441.
MEI Z M, LUO S X, YIN H L, et al. Effects of different rootstocks on growth and photosynthetic characteristics of young Guiqi 1 navel orange trees[J]. Journal of southern agriculture, 2014, 45(3): 434-441.
- [22] 肖慈木,王丹,范昭鸣,等.砧木影响梁平柚树体生长的生理生化特性研究[J].中国南方果树,1996,25(2):14-16.
XIAO C M, WANG D, FAN Z M, et al. Study on the effects of physiological and biochemical characteristics of grafted on different rootstocks in Liangpin Pomelo[J]. South China Fruits, 1996, 25(2): 14-16.
- [23] 黄翼.水分胁迫下7种柑橘砧木品种的抗逆性评价[D].重庆:西南大学,2014.
HANG Y. Tolerance evaluation for seven citrus rootstock cultivars under water stress[D]. Chongqing: Southwest University, 2014.
- [24] 吴可红,庄伊美,谢志南.不同砧木椪柑光合速率的研究[J].福建林学院学报,1991,11(2):209-214
WU K H, ZHUANG Y M, XIE Z N. Influence of different rootstocks on the photosynthetic rate of ponkan (*Citrus reticulata* Blanco)[J]. Journal of Fujian forestry college, 1991, 11(2): 209-214.
- [25] 周开兵,夏仁学.柑橘砧穗生理互作研究进展与展望[J].中国农学通报,2006,22(2):239-245.
ZHOU K B, XIA R X. The development and tendencies in the study on the physiological interaction between scions and rootstocks for citrus[J]. Chinese agricultural science bulletin, 2006, 22(2): 239-245.
- [26] 马文涛,樊卫国.贵州野生柑橘的抗寒性测定和综合评价[J].西北植物学报,2014,34(10):2063-2069.
MA W T, FAN W G. Determination and comprehensive evaluation on cold-tolerance of wild *Citrus* from Guizhou[J]. Acta botanica boreali-occidentalia Sinica, 2014, 34(10): 2063-2069.
- [27] 曹立,彭良志,彭爱红,等.资阳香橙×枳杂种苗鉴定及耐碱株系筛选[J].果树学报,2011,28(1):20-25.
CAO L, PENG L Z, PENG A H, et al. Preliminary identification of alkali-resistance hybrid seedlings of Junos and Trifoliate orange[J]. Journal of fruit science, 2011, 28(1): 20-25.
- [28] 周开兵,郭文武,夏仁学,等.不同砧木对柑橘幼树生长和叶片糖含量的影响[J].热带亚热带植物学报,2005,13(1):17-20.
ZHOU K B, GUO W W, XIA R X, et al. Effects of different kinds of rootstocks on the growth of *Citrus* young tree and the carbohydrates contents in leaves[J]. Journal of tropical and subtropical botany, 2005, 13(1): 17-20.
- [29] ALBRECHT U, TRIPATHI I, KIM H. et al. Rootstock effects on metabolite composition in leaves and roots of young navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) and pummelo (*C. grandis* L. Osbeck) trees[J]. Trees, 2019, 33, 243-265.
- [30] KUMAR S, AWASTHI O P, DUBEY A K, et al. Root morphology and the effect of rootstocks on leaf nutrient acquisition of Kinnow mandarin (*Citrus nobilis* Loureiro × *Citrus reticulata* Blanco)[J]. The journal of horticultural science and biotechnology, 2018, 93(1): 100-106.
- [31] SHARMA R M, DUBEY A K, AWASTHI O P, et al. Growth, yield, fruit quality and leaf nutrient status of grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.): Variation from rootstocks[J]. Scientia horticulturae, 2016, 210: 41-48.
- [32] 赵旭阳.不同砧木渝津橙幼苗期表现与砧穗互作生理机制[D].重庆:西南大学,2011.
ZHAO X Y. The seedling performance and mechanism of rootstock-scion interaction of 'Yujincheng' orange on three rootstocks[D]. Chongqing: Southwest University, 2011.
- [33] 洪林,文泽富,程昌凤,等.砧木对柠檬幼树生长及叶片矿质元素积累的影响[J].西南农业学报,2012,25(5):1827-1833.
HONG L, WEN Z F, CHENG C F, et al. Effects of different rootstocks on growth and mineral nutrition changes of lemon leaves[J]. Southwest China journal of agricultural sciences, 2012, 25(5): 1827-1833.
- [34] 王佳珍,刘倩,高娅妮,等.植物对盐碱胁迫的响应机制研究进展[J].生态学报,2017,37(1):5565-5577.
WANG Q Z, LIU Q, GAO Y N, et al. Review on the mechanisms of the response to salinity-alkalinity stress in plants[J]. Acta ecologica Sinica, 2017, 37(1): 5565-5577.
- [35] 苏媚.资阳香橙砧的耐碱性及对接穗生长和果实品质的影响研究[D].武汉:华中农业大学,2017.
SU M. Study on alkaline tolerance of Ziyang orange anvil and its effect on scion growth and fruit quality[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017.