

矮化自根砧T337对苹果幼树N、P、K累积量和内源激素含量的影响

张晨光, 赵德英*, 袁继存, 徐锴, 程存刚, 闫帅

中国农业科学院果树研究所/农业部园艺作物种质资源利用重点实验室, 辽宁兴城125100

摘要: 以T337自根砧和乔砧‘富士’苹果幼树为试材, 研究了苹果幼树根木质部、根韧皮部、须根、砧木木质部、砧木韧皮部、主干木质部、主干韧皮部、叶片和新梢9个部位的干物质累积量、氮磷钾含量、氮磷钾累积量和内源激素(IAA、GA、ZR、ABA)含量的差异。结果表明: T337自根砧抑制‘富士’苹果幼树的生长发育。T337自根砧‘富士’苹果幼树各部位干物质累积量、氮磷钾含量与累积量均与乔砧‘富士’存在一定差异, 表明T337自根砧影响‘富士’苹果幼树干物质积累以及对N、P、K的吸收与累积。但T337砧木对‘富士’苹果幼树N、P、K累积分配特性影响较小, 聚类分析结果表明, 生长旺盛的叶片、新梢以及主干木质部累积分配较高, 其他部位相对较低。T337自根砧‘富士’苹果幼树N:P:K为7.78:1:3.39, 乔砧为6.01:1:2.66, T337自根砧氮钾需求比例高于乔砧。内源激素方面, T337自根砧‘富士’苹果幼树IAA和GA含量较低, (IAA+GA+ZR)/ABA、IAA/ABA比值较小, 可能是导致树体矮化的重要原因。T337自根砧‘富士’苹果幼树N和K含量高于乔砧, 可能的原因是其生长速度低于乔砧。

关键词: T337自根砧; 乔砧; 氮磷钾含量; 氮磷钾累积量; 内源激素含量

苹果矮砧密植栽培具有早果、丰产、质优、便于机械化作业等特点(白海霞2008; 张松柏2011), 已成为国内外苹果产业发展的方向和趋势。运用矮化自根砧是实现矮化密植栽培的重要形式。目前, 欧洲主要苹果生产国以种植矮化自根砧苹果为主, M9及其优系T337是应用面积最广的苹果矮化砧木, 意大利、法国、荷兰等国家90%以上果园均采用M9作为自根砧(王荣等2012)。我国矮化自根砧苹果栽培起步较晚, 且矮化自根砧生根难、固地性差、肥水条件要求高, 其推广进程缓慢, 远落后于发达国家(杨蕊2013)。

氮磷钾是植物生长发育所需的“三大元素”, 对植物整个生命周期具有重要影响。内源激素在细胞、器官和整体水平上均对植株的一些特定过程具有调节控制作用, 通过调控花、果实及种子等重要器官的形态建成(杜研等2013; 尹培培等2012; 于敏等2016), 进而影响果树产量和品质。以往对矮化自根砧苹果树的研究多集中在育苗(邓丰产和马峰旺2012; 聂佩显等2012; 杨蕊2013; Avestan等2016)、栽培表现(董然然等2013; Avdiu等2014; Rabi和Fazal 2016)、致矮机理(张鹤2013; Li等2012)等方面, 对矿质元素(张秀芝等2014; Mohammade等2014)和内源激素(王丽琴等2002; Tworkoski和Fazio 2016)的研究也有一些报道, 但多为对叶片或树体少量部位的研究, 通过树体各部位更加细化的解析研究氮磷钾和内源激素方面的工作较缺乏。

本研究以乔砧‘富士’苹果幼树为对照, 旨在探

讨T337自根砧‘富士’苹果幼树各部位氮磷钾含量和累积量, 以及各部位生长素(auxin, IAA)、赤霉素(gibberellin, GA)、玉米素核苷(trans-zeatin-riboside, ZR)、脱落酸(abscisic acid, ABA)含量状况, 了解其各部位氮磷钾累积分配和累积比例特性, 以及各内源激素和激素间比例的异同, 为T337自根砧‘富士’苹果幼树合理施肥, 提高肥料利用率以及致矮机理的研究提供依据。

材料与方法

1 试验材料

本试验于2015年在辽宁省绥中前所农场基地进行, 基地土壤理化指标为: 有机质 $8.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、pH值5.1、全氮 $1.25 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全磷 $0.16 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全钾 $34.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $11.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $97.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。以3a T337/‘长富2号’(T337自根砧)苹果(*Malus pumila* Mill)幼树为试材, 3a山定子/‘长富2号’(乔砧)苹果幼树为对照。

2 样品采集与处理

2015年9月(秋梢停长期), 选取长势基本一致、无病虫害的不同砧穗组合幼树各5株, 每株样品按根木质部、根韧皮部、须根、砧木木质部、

收稿 2016-08-31 修定 2016-11-21

资助 中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP)、国家现代农业产业技术体系项目(CARS-28)和辽宁省果树产业技术体系栽培技术研究岗位(LNGSCYTX-15-5)。

* 通讯作者(E-mail: zhaodeying@caas.cn)。

砧木韧皮部、主干木质部、主干韧皮部、叶片、新梢9个部位进行解析, 分别测定各部位样品矿质元素和内源激素含量, 设3次重复。试验样品依次经自来水→0.1%中性洗涤剂溶液→自来水→自来水→0.2% HCl溶液→蒸馏水→蒸馏水→去离子水→去离子水洗涤(张秀芝等2014)。总清洗时间不超过2 min, 以减少养分损失。

3 分析测定

3.1 内源激素含量的测定

天平称取0.1000 g (精确到0.0001)各部位样品, 锡纸包裹样品, 液氮冷冻后置于-40℃冰箱保存。采用酶联免疫吸附测定法(ELISA)测定各部位IAA、GA、ZR和ABA含量。试剂盒由中国农业大学生物技术实验室提供, 试验在中国农业大学农学与技术学院实验室进行。

3.2 矿质元素含量的测定

样品经105℃杀青30 min, 80~85℃烘干至恒重, 粉碎后过60目筛(筛孔直径0.25 mm), 密封袋保存于干燥器中。准确称取各部位样品0.2500 g (精确到0.0001), 置于消煮管, 加入少量超纯水润湿样品, 加入5 mL浓H₂SO₄浸泡过夜。第2天按H₂SO₄-H₂O₂法进行消煮, 待消解液透明澄清, 冷却后移入100 mL容量瓶, 定容。N、P含量用连续流动分析仪(ATUOSAMPLER AA3, 澳大利亚)测定, K含量用原子吸收分光光度计(WFX-120C, 北京瑞利)测定, 在中国农业科学院农业资源与农业区划研究所国家测土施肥中心实验室进行。

4 数据处理

$N、P、K \text{ 累积量} = N、P、K \text{ 含量} \times \text{干物质累积量}$ 。

试验数据采用Excel 2007和SAS (9.2)统计软件进行统计分析。

实验结果

1 T337自根砧与乔砧‘富士’苹果幼树生长发育状况差异

表1表明2种砧木类型‘富士’苹果幼树的生长发育状况存在一定的差异。方差分析表明, 乔砧‘富士’苹果幼树树高、主干粗度、新梢总长度均显著高于T337自根砧, 分别高23.88%、20.73%、46.60%。表明T337自根砧对‘富士’苹果幼树的生长发育具显著的抑制作用, 阻碍树体的快速生长。

表1 2种砧木类型‘富士’苹果幼树生长发育状况

Table 1 The growth of two stock types of young ‘Fuji’ apple trees

砧木类型	树高/cm	主干粗度/mm	新梢总长度/cm
T337自根砧	134±7 ^b	14.71±0.54 ^b	145.5±9.5 ^b
乔砧	166±1 ^a	17.76±0.20 ^a	213.3±6.3 ^a

小写字母表示不同砧木之间 $P < 0.05$ 的显著水平。下表同此。

2 T337自根砧与乔砧‘富士’苹果幼树各部位干物质累积量差异

由表2可以看出, 2种砧木类型‘富士’苹果幼树各部位以及总体干物质累积量均存在一定的差异。方差分析表明, 乔砧‘富士’苹果幼树总干物质累积量显著高于T337自根砧, 比自根砧高34.56%。T337自根砧‘富士’苹果幼树干物质累积量以砧木木质部、主干木质部和叶片居多, 占总干物质累积量的比重均高于16%; 乔砧‘富士’干物质主要集中在主干木质部和叶片中, 分别占总干物质累积量的29.99%和22.63%。T337自根砧‘富士’苹果幼树除砧木木质部和砧木韧皮部干物质累积量高于乔砧‘富士’外, 其余部位根木质部、根韧皮部、须根、主干木质部、主干韧皮部、叶片、新梢分别比乔砧低4.31%、26.79%、16.67%、60.27%、54.61%、34.26%、44.31%。

表2 2种砧木类型‘富士’苹果幼树各部位及总体干物质累积量

Table 2 Each part and total dry matter accumulation of the two stock types of young ‘Fuji’ apple trees

部位	干物质累积量/g	
	T337自根砧	乔砧
根木质部	11.1±2.4 ^a	11.6±1.3 ^a
根韧皮部	4.1±0.8 ^b	5.6±0.5 ^a
须根	14.5±1.2 ^b	17.4±2.1 ^a
砧木木质部	26.5±1.9 ^a	6.8±0.4 ^b
砧木韧皮部	6.7±0.5 ^a	1.9±0.1 ^b
主干木质部	20.9±0.2 ^b	52.6±4.3 ^a
主干韧皮部	6.4±0.4 ^b	14.1±2.6 ^a
叶片	26.1±1.3 ^b	39.7±0.3 ^a
新梢	14.2±0.9 ^b	25.5±1.5 ^a
总量	130.5 ^b	175.4 ^a

3 T337自根砧与乔砧‘富士’苹果幼树各部位N、P、K含量差异

由图1可以看出, 2种砧木类型‘富士’苹果幼树

N、P、K均表现为木质部含量较低,生长旺盛的叶片、新梢、须根以及韧皮部含量较高。其中N、P、K含量均为叶片最高,砧木木质部N、P含量最低,根木质部K含量最低。T337自根砧‘富士’苹果幼树叶片N含量比乔砧低6.78%,根木质部、根韧皮部、须根、砧木木质部、砧木韧皮部、主干木质部、主干韧皮部和新梢的N含量均高于乔砧,分别高43.23%、42.38%、65.84%、14.53%、25.38%、13.25%、42.79%和29.79%。T337自根砧‘富士’苹果幼树根木质部、主干木质部和主干韧皮部P含量分别比乔砧高6.73%、3.55%和0.90%,须根和砧木韧皮部低0.65%和0.97%,差异较小,均在7%以内,而根木质部、砧木木质部、叶片和新梢的P含量均低于乔砧,差异在13%以上,其中叶片和根木质部分别比乔砧低34.39%和32.67%,差异较大。2种砧木类型‘富士’苹果幼树间各部位K含量存在较大差异。T337自根砧‘富士’苹果幼树只有主干木质部和新梢K含量低于乔砧,分别低8.64%和2.00%;剩余各部位均高于乔砧,其中砧木木质部高41.25%,差异最大。通过以上分析可以看出,T337自根砧‘富士’苹果幼树树体N、K含量高于乔砧,P含量低于乔砧。

4 T337自根砧与乔砧‘富士’苹果幼树各部位及总体N、P、K累积量差异

2种砧木类型‘富士’苹果幼树各部位N、P、K累积量存在差异(图2)。T337自根砧‘富士’苹果幼树砧木木质部和砧木韧皮部N、P和K累积量高于乔砧,其中K累积量比乔砧高454.41%和389.79%,差异最大。T337自根砧‘富士’根木质部、根韧皮部和须根的N累积量高于乔砧,P累积量低于乔砧,根韧皮部K累积量比乔砧低7.91%,根木质部和须根分别比乔砧高15.27%和3.34%。2种砧木类型‘富士’苹果幼树的主干木质部、主干韧皮部、叶片和新梢N、P、K累积量均为T337自根砧<乔砧,T337自根砧‘富士’主干木质部N、P和K累积量分别比乔砧低55.34%、57.63%和63.94%,差异最大。

由表2可知,2种砧木类型‘富士’苹果幼树N累积量最高,K居中,P最少。其N、P、K累积比率不同,T337自根砧N:P:K为7.78:1:3.39,乔砧为6.01:1:2.66。说明T337自根砧‘富士’苹果幼树N、K的吸收比率高于乔砧。方差分析表明,T337自根砧‘富士’苹果幼树N、P、K总累积量显著低于乔砧,分别低23.10%、40.59%、24.34%。T337自根砧‘富士’N、P、K需求量明显低于乔砧。

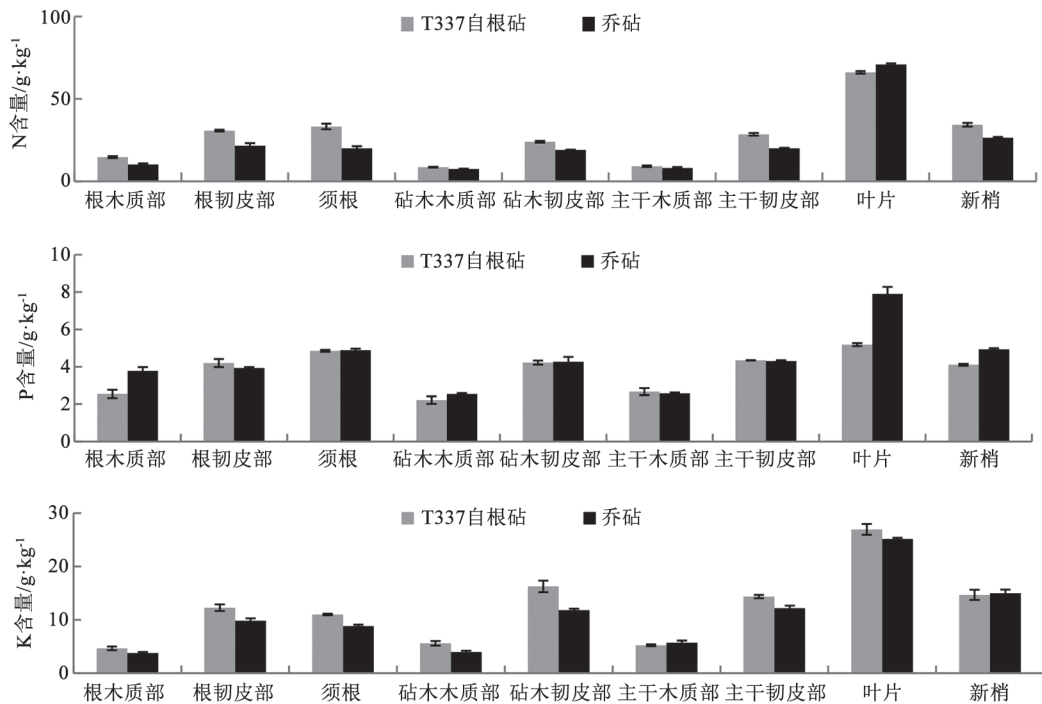


图1 2种砧木类型‘富士’苹果幼树各部位N、P和K含量

Fig.1 N, P, K contents in each part of the two stock types of young ‘Fuji’ apple trees

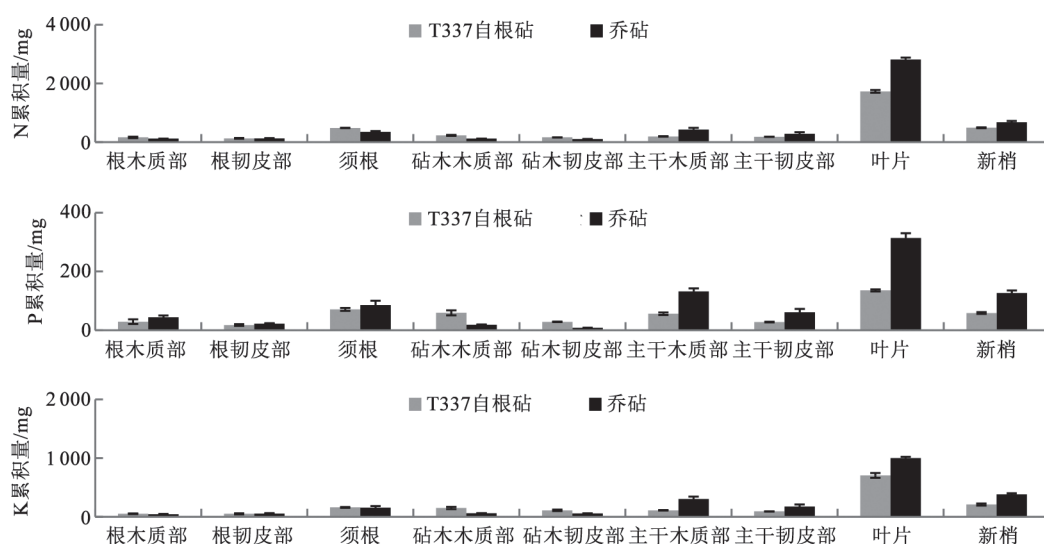


图2 2种砧木类型‘富士’苹果幼树各部位N、P和K积累量

Fig.2 N, P, K accumulation amount in each part of the two stock types of young ‘Fuji’ apple trees

表3 2种砧木类型‘富士’幼树树体N、P和K总积累量

Table 3 Total N, P, K accumulation amount of the two stock types of young ‘Fuji’ apple trees

砧木类型	N总积累量/mg	P总积累量/mg	K总积累量/mg
T337自根砧	3 747.81 ^b	481.63 ^b	1 633.74 ^b
乔砧	4 873.70 ^a	810.74 ^a	2 159.24 ^a

5 T337自根砧与乔砧‘富士’苹果幼树各部位N、P、K积累量聚类分析

利用最短距离法分别对2种砧木类型‘富士’苹果幼树进行系统聚类。由图3和4可以看出, T337自

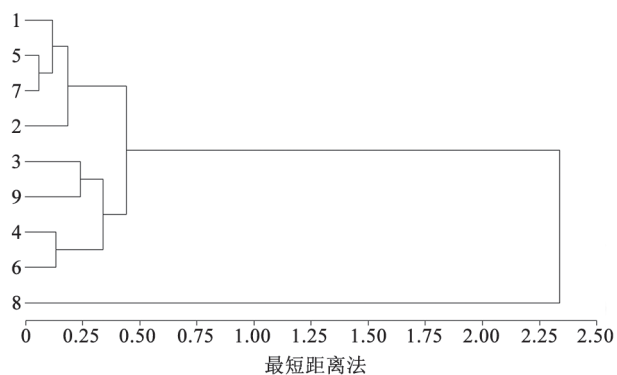


图3 T337自根砧‘富士’各部位N、P和K积累量聚类分析
Fig.3 Cluster analysis of N, P, K accumulation in each part of T337 rootstock ‘Fuji’ apple trees

1为根木质部, 2为根韧皮部, 3为须根, 4为砧木木质部, 5为砧木韧皮部, 6为主干木质部, 7为主干韧皮部, 8为叶片, 9为新梢。下图如此。

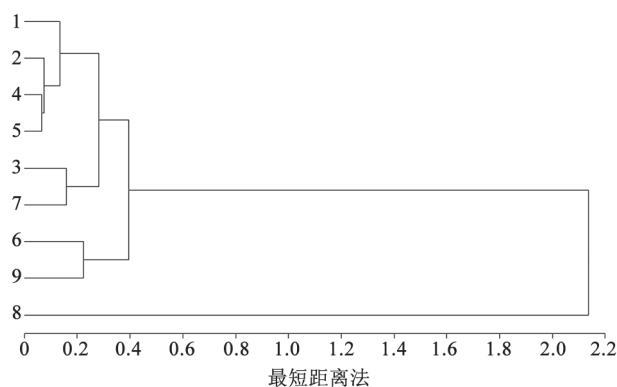


图4 乔砧‘富士’各部位N、P和K积累量聚类分析
Fig.4 Cluster analysis of N, P, K accumulation in each part of vigorous rootstock ‘Fuji’ apple trees

根砧和乔砧‘富士’的叶片N、P、K积累量与其它各部位差异最大, 距离均超过2.1。若以0.35为各部位N、P、K积累量划分距离, T337自根砧‘富士’可分为3类: 叶片为一类, 属高N、P、K积累部位; 须根、砧木木质部、主干木质部和新梢为一类, 属中等N、P、K积累部位; 根木质部、根韧皮部、砧木韧皮部和主干韧皮部为一类, 属低N、P、K积累部位。乔砧‘富士’也可分为3类, 高N、P、K积累部位为叶片; 中等N、P、K积累部位为主干木质部和新梢; 低N、P、K积累部位为根木质部、根韧皮部、须根、砧木木质部、砧木韧皮部和主干韧皮部。2种砧木类型‘富士’苹果幼树各部位N、P、K积累分配差异较小, 仅须根和砧木木质部不同。

6 T337自根砧与乔砧‘富士’苹果幼树各部位内源激素含量差异

如图5所示, T337自根砧‘富士’苹果幼树各部位内源激素含量与乔砧存在一定的差异。根木质部、根韧皮部、须根、砧木韧皮部、主干木质部、主干韧皮部、叶片和新梢IAA含量均低于乔砧, 分别低29.22%、31.80%、3.90%、24.91%、48.15%、30.97%、24.98%、19.12%。T337自根砧‘富士’各部位GA含量均低于乔砧, 主干韧皮部比

乔砧低31.90%, 差异最大。对于ZR含量, T337自根砧‘富士’根韧皮部、砧木木质部、砧木韧皮部和新梢分别比乔砧高18.91%、59.59%、21.18%和31.35%, 而剩余部位均低于乔砧。2种砧木类型‘富士’苹果幼树各部位ABA含量表现出一致性, 除砧木韧皮部外, T337自根砧‘富士’各部位ABA含量均高于乔砧, 其中须根比乔砧高96.19%, 差异最大。以上分析表明, T337自根砧‘富士’苹果幼树IAA、GA含量低于乔砧, ABA含量高于乔砧。

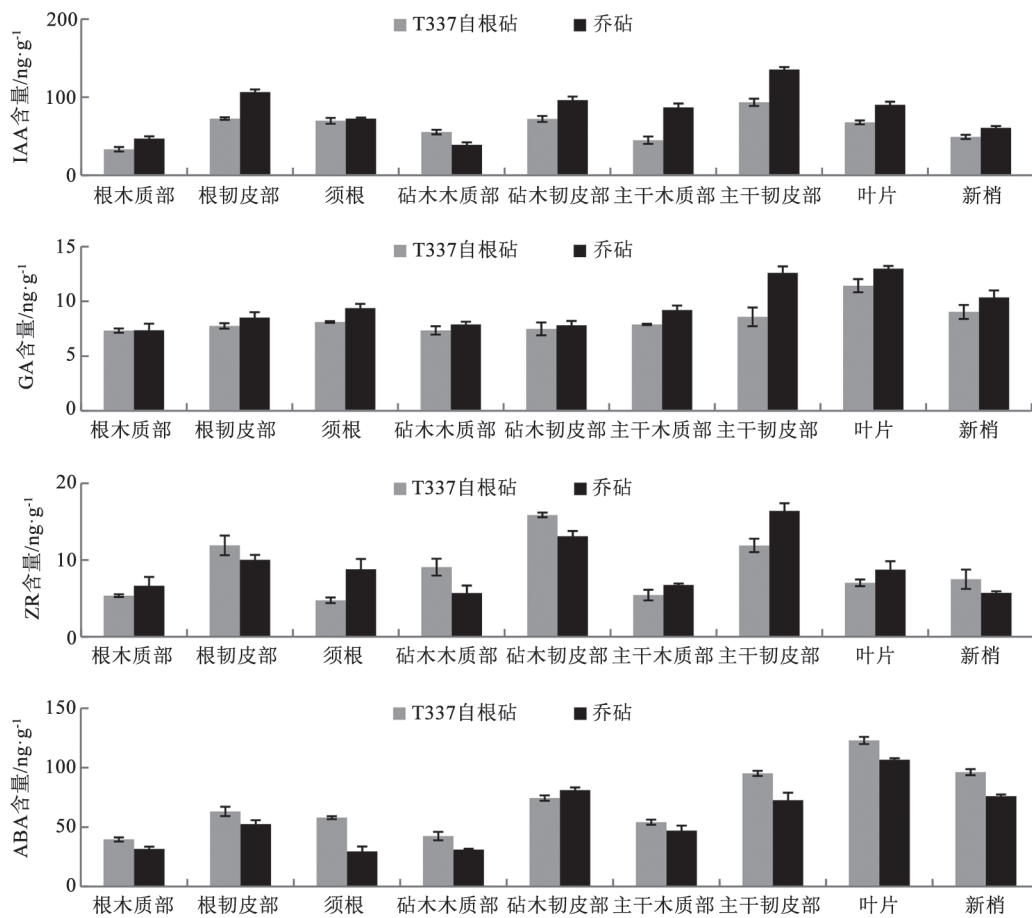


图5 2种砧木类型‘富士’苹果幼树各部位内源激素含量

Fig.5 Endogenous hormones contents of each part of the two types stock young ‘Fuji’ apple trees

激素之间的比例关系如图6所示。由图中可以看出, T337自根砧‘富士’苹果幼树各部位(IAA+GA+ZR)/ABA比值均低于乔砧, 只有砧木木质部和砧木韧皮部与乔砧差异较小, 其余部位均比乔砧低32%以上。IAA/ABA比值具有相似的结果, T337自

根砧‘富士’砧木木质部比乔砧高3.86%, 砧木韧皮部低18.19%, 差异均较小, 而根木质部、根韧皮部、须根、主干木质部、主干韧皮部、叶片和新梢分别比乔砧低43.56%、43.35%、51.02%、54.93%、47.41%、34.97%和36.11%, 差异较大, 均在34%以上。

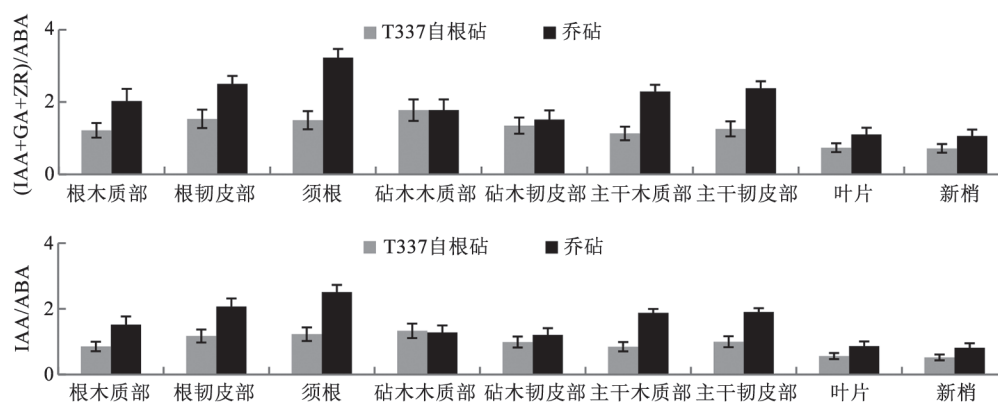


图6 2种砧木类型‘富士’苹果幼树各部位内源激素比值

Fig.6 Endogenous hormone ratio of each part of the two types stock young 'Fuji' apple trees

讨 论

1 砧木影响苹果树体干物质积累、氮磷钾含量与累积量

砧木影响果树的生长发育(廖玲等2015; Ali等2014; Dubey和Sharma 2016)。矮化砧木阻碍水分、矿质元素的向上运输和有机物的向下运输(罗静2013),影响苹果树的物质合成与代谢,阻碍树体的生长。乔砧对于物质运输的阻碍作用较小。本研究中, T337自根砧‘富士’苹果幼树树高、主干粗度、新梢长度均显著低于乔砧,且除砧木木质部和砧木韧皮部干物质累积量高于乔砧‘富士’外(矮化自根砧和乔砧苹果定植技术不同,定植时乔砧部分露出地面只有5 cm左右,而T337砧木露出地面15 cm左右),其余部位均低于乔砧,并且其干物质总累积量低于乔砧‘富士’,表明T337砧木影响树体生长发育,阻碍树体干物质积累,与上述研究结果一致。

矿质元素含量为树体不同器官中某种矿质营养的绝对含量,可以代表树体对土壤矿质营养的吸收利用状况,可作为果树营养诊断的理论依据,而养分累积量反映树体矿质元素在不同组织器官中的分配和累积水平,受养分吸收量和树体生物量双重调控,是树体干物质形成和累积的基础,而树体生物量的累积决定着产量的形成,二者均为指导科学合理施肥的重要参考指标(Marschner 2012)。不同砧木影响植株矿质元素含量, Mohammad (2014)研究发现M.9自根砧叶片N、Mn和Fe含量较高, K含量较低; MM.106自根砧叶片P含量较高。安贵

阳等(2006)认为M.9、M.26、M.7、MM.106中间砧叶片矿质元素含量均存在一定的差异。Hrotkó等(2014)对甜樱桃和袁军伟等(2015)对葡萄的研究也得到了相同的结论:不同砧木植株矿质元素含量存在一定的差异。本研究也得到了相同的结果,2种砧木类型‘富士’苹果幼树之间各部位N、P和K含量不同, T337自根砧‘富士’苹果幼树树体N和K含量高于乔砧, P含量低于乔砧。表明T337自根砧影响‘富士’苹果幼树对N、P、K的吸收运转。可能的原因是2种砧木类型‘富士’苹果幼树的根系不同, T337自根砧为T337砧木根系, 乔砧为山定子根系, 2种根系构型不同, 矿质养分吸收特性不同, 且T337砧木阻碍养分的运输, 导致树体各部位N、P、K含量存在差异。

干物质累积量与N、P、K含量的不同, 必然使2种砧木类型‘富士’苹果幼树N、P、K累积量存在差异。本研究发现, T337自根砧‘富士’苹果幼树N、P和K总累积量显著低于乔砧, 表明T337自根砧‘富士’N、P和K需求量明显低于乔砧, 生产上可根据这一特性对2种砧木类型‘富士’苹果幼树制定不同的施肥措施, 适量施肥, 提高肥料利用效率, 保证‘富士’苹果幼树的正常生长。聚类分析结果表明, 2种砧木类型‘富士’苹果幼树叶片N、P和K累积量最高, 主干木质部和新梢相对较高, 根木质部、根韧皮部、砧木韧皮部和主干韧皮部相对较低, 只有须根和砧木木质部N、P和K累积量聚类结果不同, 说明T337砧木对‘富士’苹果幼树N、P和K累积分配特性影响较小, 生长旺盛的叶片、新梢以及主干木质部累积分配较高, 其他部位相对较低。

合理的施肥配比是果树正常生长和提高产量的重要保障。赵佐平等(2009)研究认为,氮磷钾配合施肥可提高苹果产量,改善苹果品质,其效果优于氮磷、氮钾、磷钾配合施肥。秦伟等(2013)认为氮磷钾配比施肥对红‘富士’苹果的纵径、横径和单果重均有影响,且不同配比的影响程度不同。孙霞等(2011)通过对不同氮磷钾施肥配比对新疆红‘富士’苹果产量和品质影响的研究发现,氮、磷、钾肥的最佳施用量分别为 $27.06 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 、 $17.80 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 、 $2.06 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 。本研究中,T337自根砧‘富士’苹果幼树N:P:K为7.78:1:3.39,乔砧为6.01:1:2.66。可以看出氮需求比例较磷钾高,氮是果树营养生长最重要的元素,2种砧木类型‘富士’苹果幼树处于营养生长阶段,需要充足的氮保证营养器官的快速建成,为生殖生长奠定基础。T337自根砧‘富士’苹果幼树的氮钾需求比例高于乔砧,生产上需要适当调整氮磷钾施肥配比,保证树体正常生长。

2 T337自根砧‘富士’内源激素含量与乔砧的差异

果树的生长发育受内源激素调控,树体大小与生长素(IAA)、赤霉素(GA)、玉米素(ZR)、脱落酸(ABA) 4类激素关系密切(韩振海2011)。IAA促进植物根、茎的生长,GA对茎的伸长生长作用显著,ZR促进侧芽生长,而ABA抑制生长,促进脱落(段娜等2015)。IAA、GA和ZR为生长促进型激素,ABA为生长抑制型。前人研究表明,矮砧苹果树体的IAA、GA、ZR含量低于乔砧,ABA含量高于乔砧(郝婕等2014)。曹敏格等(2008)和隗晓雯等(2013)认为(IAA+GA+ZR)/ABA、IAA/ABA比值越小,苹果砧木矮化性越强,二者可作为预测苹果砧木矮化程度的参考指标。本研究中,T337自根砧‘富士’苹果幼树各部位IAA含量除砧木木质部外均低于乔砧‘富士’,各部位GA含量均低于乔砧,而各部位ABA含量除砧木韧皮部外均高于乔砧。各部位(IAA+GA+ZR)/ABA比值均为T337自根砧低于乔砧,IAA/ABA比值具有相似的结果,只有T337自根砧‘富士’砧木木质部IAA/ABA比乔砧高,其余部位均低于乔砧。表明较低的IAA、GA含量,较小的(IAA+GA+ZR)/ABA、IAA/ABA比值,以及较高的ABA含量是矮砧苹果区别于乔砧的重要特点,可能是导致树体矮化的重要原因。

内源激素含量影响矿质元素吸收(库文珍等2009)。本研究中,T337自根砧‘富士’苹果幼树树体ABA含量高于乔砧,IAA、GA含量以及(IAA+GA+ZR)/ABA、IAA/ABA比值低于乔砧,而N、K含量高于乔砧。可能的原因是内源激素影响树体的生长发育速度,内源激素含量水平的差异导致T337自根砧‘富士’苹果幼树的生长速度低于乔砧,由于乔砧‘富士’苹果幼树生长速度过快,对矿质元素的含量具有一定的“稀释”作用,而T337自根砧‘富士’生长速度相对较慢,“稀释”程度较低,导致N、K含量高于乔砧。但P含量则为T337自根砧‘富士’苹果幼树高于乔砧,其原因有待进一步探索。

参考文献

- Ali I, Ibrahim B, Sezai E, Ossama K (2014). Influence of rootstocks on growth, yield, fruit quality and leaf mineral element contents of pear cv. ‘Santa Maria’ in semi-arid conditions. *Biol Res*, 47: 71–78
- An GY, Fan CH, Du ZH, Yu JY, Deng FC, Shi LR (2006). Analysis of effective factors of nutrient content in apple leaves. *Acta Hort Sin*, 33 (1): 12–16 (in Chinese with English abstract) [安贵阳, 范崇辉, 杜志辉, 郁俊谊, 邓丰产, 史联让(2006). 苹果叶营养元素含量的影响因素分析. *园艺学报*, 33 (1): 12–16]
- Avdiu V, Thomaj F, Sylanaj S, Kullaj E (2014). Effect of rootstock diameter on apple saplings growth. *Albanian J Agric Sci*, 13 (1): 48–52
- Bai HX (2008). Analysis on production of dwarfing self-root stock apple tree M26 (Master’s thesis). Yangling: Northwest A&F University (in Chinese with English abstract) [白海霞(2008). 苹果M26自根砧树的生产效应分析(硕士论文). 杨凌: 西北农林科技大学]
- Cao MG, Yang HL, Zhang W, Zhang ZD, Sun YW, Zhu YD (2008). Parameters for evaluating dwarfing ability in apple rootstocks. *J China Agric Univ*, 13 (5): 11–18 (in Chinese with English abstract) [曹敏格, 杨海玲, 张文, 张治东, 孙杨吾, 朱元娣(2008). 苹果砧木矮化性评价指标的研究. *中国农业大学学报*, 13 (5): 11–18]
- Deng FC, Ma FW (2012). Propagation studies of self-rooted dwarf grafted apple trees. *Acta Hort Sin*, 39 (7): 1353–1358 (in Chinese with English abstract) [邓丰产, 马锋旺(2012). 苹果矮化自根砧嫁接苗繁育技术研究. *园艺学报*, 39 (7): 1353–1358]
- Dong RR, An GY, Zhao ZY, Mei LX, Li MM (2013). Comparison of light interception ability and growth and yield of different apple tree shapes on dwarf rootstock. *Sci Agric Sin*, 46 (9): 1867–1873 (in Chinese with English abstract) [董然然, 安贵阳, 赵政阳, 梅立新, 李敏敏(2013). 不同树形矮化自根砧苹果的冠内光照及其生长和产量比较. *中国农业科学*, 46 (9): 1867–1873]
- Du Y, Li JG, Shi R, Chen HH, Nuernisa, Niu ZZ, Wang HR, Zhang DY (2013). Effects of BA, GA₃ and IAA on shape formation of Fuji apple. *Plant Physiology J*, 49 (9): 895–901 (in Chinese with

- English abstract) [杜研, 李建贵, 侍瑞, 陈辉煌, 努尔妮萨, 牛真真, 王海儒, 张东亚(2013). BA、GA₃和IAA对富士苹果果形形成的影响. 植物生理学报, 49 (9): 895-901]
- Duan N, Jia YK, Xu J, Chen HL, Sun P (2015). Research progress on plant endogenous hormones. Chin Agric Sci Bull, 31 (2): 159-165 (in Chinese with English abstract) [段娜, 贾玉奎, 徐军, 陈海玲, 孙鹏(2015). 植物内源激素研究进展. 中国农学通报, 31 (2): 159-165]
- Dubey AK, Sharma RM (2016). Effect of rootstocks on tree growth, yield, quality and leaf mineral composition of lemon (*Citrus limon* (L.) Burm.). Sci Horti, 200: 131-136
- Fazal R, Abdur R, Nadia B, Muhammad S, Khalil-UR-R (2016). Growth behaviour of apple cultivars on different apple rootstock. Pure Appl Biol, 5 (2): 339-344
- Han ZH (2011). Apple Dwarf Dense Planting Cultivation-Theory and Practice. Beijing: Science Press, 21-22 (in Chinese) [韩振海(2011). 苹果矮化密植栽培-理论与实践. 北京: 科学出版社, 21-22]
- Hao J, Wang XG, LI XY, Yan XM, Feng JZ (2014). Grafting effects on the endogenous hormones of apple seedling leaves on SH38 dwarfing stocks. Acta Agric Boreali-occidentalis Sin, 23 (3): 139-144 (in Chinese with English abstract) [郝婕, 王献革, 李学营, 鄢新民, 冯建忠(2014). SH38矮化中间砧嫁接对苹果实生苗叶片内源激素含量变化的影响. 西北农业学报, 23(3): 139-144]
- Hrotkó K, Magyar L, Borsos G, Gyeviki M (2014). Rootstock effect on nutrient concentration of sweet cherry leaves. J Plant Nutr, 37: 1395-1409
- Ku WZ, Peng KQ, Zhang XQ, Tong JH, Zhou H, Xiao LT (2009). Effects of low potassium stress on mineral nutrient absorption and phytohormone contents of rice seedling. J Plant Nutr Fert, 15 (1): 69-75 (in Chinese with English abstract) [库文珍, 彭克勤, 张雪芹, 童建华, 周浩, 萧浪涛(2009). 低钾胁迫对水稻苗期矿质营养吸收和植物激素含量的影响. 植物营养与肥料学报, 15 (1): 69-75]
- Li HL, Zhang H, Yu C, Ma L, Wang Y, Zhang XZ, Han ZH (2012). Possible roles of auxin and zeatin for initiating the dwarfing effect of M9 used as apple rootstock or interstock. Acta Physiol Plant, 34: 235-244
- Liao L, Zeng HQ, Cao SY, Gu XJ, Li QN, Gao JF, Zhang TT, Shi DD, Xiong B, Wang ZH (2015). Effects of different rootstocks on key photosynthetic enzyme in leaves and fruit quality of *Citrus* cv. 'Huangguogan'. Plant Physiol J, 51 (4): 523-527 (in Chinese with English abstract) [廖玲, 曾海琼, 曹淑燕, 古咸杰, 李清南, 高婧斐, 张婷婷, 石冬冬, 熊博, 汪志辉(2015). 不同砧木对'黄果柑'叶片光合作用关键酶和果实品质的影响. 植物生理学报, 51 (4): 523-527]
- Luo J (2013). The study on dwarf effect of apple dwarf interstock (Master's thesis). Yangling: Northwest A&F University (in Chinese with English abstract) [罗静(2013). 苹果矮化中间砧矮化效应的研究(硕士学位论文). 杨凌: 西北农林科技大学]
- Marscher H (2012). Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd Ed. London: Academic Press Ltd, 85-86
- Mohammad A, Esmail F, Masumeh S (2014). Influence of rootstock on mineral uptake and scion growth of 'Golden Delicious' and 'Royal Gala' apples. J Plant Nutr, 37: 16-29
- Nie PX, Xue XM, Lu C, Wang GP (2012). Propagation of self-rooted dwarf grafted apple trees. J Hebei Agric Sci, 16 (7): 45-47, 80 (in Chinese with English abstract) [聂佩显, 薛晓敏, 路超, 王贵平(2012). 矮化自根砧苹果苗繁育技术. 河北农业科学, 16 (7): 45-47, 80]
- Qin W, Guo YP, Chen BL, He Q, Si HZ, Li JG (2013). Effects of NPK fertilization on the fruit quality of Red Fuji apple. Xinjiang Agric Sci, 50 (12): 2203-2210 (in Chinese with English abstract) [秦伟, 郭艺鹏, 陈波浪, 何琼, 司宏章, 李建贵(2013). 不同氮磷钾配比施肥对红富士苹果果实品质的影响. 新疆农业科学, 50 (12): 2203-2210]
- Saber A, Loft AN, Ali H, Salim Mohammad S, Allen VB (2015). Effects of nanosilicon dioxide application on *in vitro* proliferation of apple rootstock. J Plant Nutr, 39 (6): 850-855
- Sun X, Chai ZP, Jiang PA (2011). Different ratios of N, P and K fertilizers on yield and quality of Fuji apple in south Xinjiang. Agric Res Arid Areas, 29 (6): 130-134 (in Chinese with English abstract) [孙霞, 柴仲平, 蒋平安(2011). 氮磷钾配比对南疆红富士苹果产量和品质的影响. 干旱地区农业研究, 29 (6): 130-134]
- Tworokski T, Fazio G (2016). Hormone and growth interactions of scions and size-controlling rootstocks of young apple trees. Plant Growth Regul, 78 (1): 105-119
- Wang LQ, Tang F, Zhao F, Shu HR (2002). Effect of compact mutants and dwarfing rootstocks on endogenous hormone content of apple. Acta Horti Sin, 29 (1): 5-8 (in Chinese with English abstract) [王丽琴, 唐芳, 赵飞, 束怀瑞(2002). 苹果紧凑型品种和矮化砧木内源激素的变化. 园艺学报, 29 (1): 5-8]
- Wang R, Shen X, Huang CX, Xia YF, Zhang WH, Hu YL (2012). Summary of apple stock and the rapid propagation of self-rooted stock apple trees. Tianjin Agric Sci, 18 (3): 115-119 (in Chinese with English abstract) [王荣, 沈向, 黄翠香, 夏燕飞, 张文会, 胡艳丽(2012). 关于苹果砧木与自根砧快繁技术的综述. 天津农业科学, 18 (3): 115-119]
- Wei XW, Guo J, Wang F, Zhang XY, Xu JZ (2013). Difference of enzyme activity and the content of endogenous hormones in the leaves of different apple dwarfing rootstocks. Northern Hortic, (14): 15-18 (in Chinese with English abstract) [魏晓雯, 郭静, 王菲, 张学英, 徐继忠(2013). 不同矮化砧木叶片酶活性与内源激素含量的差异. 北方园艺, (14): 15-18]
- Yang R (2013). Research on the propagate technology of several apple dwarfing rootstocks self-rooted rootstocks (Master's thesis). Yangling: Northwest A&F University (in Chinese with English abstract) [杨蕊(2013). 几种苹果矮化砧自根砧苗繁殖技术的研究(硕士学位论文). 杨凌: 西北农林科技大学]
- Yin PP, Bao RS, Dai JK, Wei YH (2012). Research advance in impact of phytohormone on plant organogenesis. Acta Agric Jiangxi, 24 (6): 37-41 (in Chinese with English abstract) [尹培培, 包日双, 戴佳钰, 尉亚辉(2012). 植物激素对植物器官发生影响的研究进展. 江西农业学报, 24 (6): 37-41]
- Yu M, Xu H, Zhang H, Zhu Y (2016). Regulation of plant hormones on seed dormancy and germination. Plant Physiol J, 52 (5):

- 599–606 (in Chinese with English abstract) [于敏, 徐恒, 张华, 朱英(2016). 植物激素在种子休眠与萌发中的调控机制. 植物生理学报, 52 (5): 599–606]
- Yuan JW, Guo ZJ, Liu CJ, Han B, Li MM, Zhao SJ (2015). Effects of different rootstocks on mineral nutrition contents of petioles of cabernet sauvignon. *J Hebei Agric Sci*, 19 (2): 29–32 (in Chinese with English abstract) [袁军伟, 郭紫娟, 刘长江, 韩斌, 李敏敏, 赵胜建(2015). 不同品种砧木嫁接对葡萄叶柄矿质元素含量的影响. 河北农业科学, 19 (2): 29–32]
- Zhang H (2013). Mechanism of dwarfing effect of M9 used as rootstock or interstem for apple (Master's thesis). Beijing: China Agricultural University (in Chinese with English abstract) [张鹤(2013). 苹果砧木M9作自根砧或中间砧的致矮机理研究(硕士论文). 北京: 中国农业大学]
- Zhang SB (2011). The problems and countermeasures of dwarfed M26 interstocks apple planting cultivation. *Deciduous Fruits*, (1): 16–17 (in Chinese with English abstract) [张松柏(2011). M26中间砧苹果矮化密植栽培的问题与对策. 落叶果树, (1): 16–17]
- Zhang XZ, Guo JY, Wang YZ, Liu CL, Yuan YB (2014). Effects of different rootstocks on mineral contents and fruit qualities of Fuji apple. *J Plant Nutr Fert*, 20 (2): 414–420 (in Chinese with English abstract) [张秀芝, 郭江云, 王永章, 刘成连, 原永兵(2014). 不同砧木对富士苹果矿质元素含量和品质指标的影响. 植物营养与肥料学报, 20 (2): 414–420]
- Zhao ZP, Tong YA, Gao YM, Fu YY (2009). Effect of different fertilization on yield and quality of Fuji apple. *J Plant Nutr Fert*, 15 (5): 1130–1135 (in Chinese with English abstract) [赵佐平, 同延安, 高义民, 付莹莹(2009). 不同肥料配比对富士苹果产量及品质的影响. 植物营养与肥料学报, 15 (5): 1130–1135]

Effect of T337 dwarf root stock on N, P, K accumulation and endogenous hormones contents of young apple tree

ZHANG Chen-Guang, ZHAO De-Ying*, YUAN Ji-Cun, XU Kai, CHENG Cun-Gang, YAN Shuai

Research Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Fruit Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture, Xingcheng, Liaoning 125100, China

Abstract: With young ‘Fuji’ apple trees of T337 rootstocks and vigorous rootstock as test material, this paper studied the difference of the dry matter accumulation, contents and accumulation amounts of N, P, K, contents of endogenous hormones (IAA, GA, ZR, ABA) in root xylem, root phloem, fibrous root, xylem of stock, stock phloem, trunk xylem, trunk phloem, leaves and shoots of apple tree. The results showed that T337 rootstock inhibited the growth and development of apple trees. There were differences between T337 rootstocks and vigorous rootstock in the dry matter accumulation, contents and accumulation amounts of N, P, K, which showed that T337 rootstock effected on the dry matter accumulation, N, P, K absorption and accumulation of young ‘Fuji’ apple trees. But T337 rootstock had little effect on the N, P, K accumulation and distribution characteristics of ‘Fuji’ apple trees, the results of cluster analysis showed that the accumulation distributions of the new leaves, shoot and scion xylem were higher, other parts were relatively low. The ratio of N:P:K in T337 rootstock was 7.78:1:3.39, and that in vigorous rootstock was 6.01:1:2.66, T337 rootstock demanded higher ratio of N and K than vigorous rootstock. The contents of IAA and GA in T337 rootstock young ‘Fuji’ apple tree were relatively low, (IAA+GA+ZR)/ABA and IAA/ABA ratio were smaller, that might be the important cause leading to the tree dwarf. IAA and GA content in shoots of T337 root stock young ‘Fuji’ apple tree, which is lower than vigorous rootstock. N, K content of T337 root stock young ‘Fuji’ apple tree is higher than vigorous one, the lower growth rate is a possible reason. And N, K contents in T337 rootstock were higher than those in vigorous rootstock, the lower growth rate is a possible reason.

Key words: T337 rootstock; vigorous rootstock; N, P, K content; N, P, K accumulation; endogenous hormone content

Received 2016-08-31 Accepted 2016-11-21

This work was supported by CAAS Science and Technology Innovation Project (Grant No. CAAS-ASTIP), Modern Agro-industry Technology Research System (Grant No. CARS-28) and Innovative Program for Fruit Tree Research of Liaoning Province, China (Grant No. LNGSCYTX-15-5)

*Corresponding author (E-mail: zhaodeying@caas.cn).