

# 苹果树各器官钙素分布研究

樊红柱, 同延安

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

**[摘要]** 对幼果期富士苹果树不同器官的生物量、含水量、钙含量及钙吸收量进行了研究。结果表明, 幼果期富士苹果树干重为 10.19 kg, 地上部钙含量为 5.18~16.66 g/kg, 根系为 6.60~11.7 g/kg, 钙吸收总量为 74.29 g, 地上部与根系分别为 51.38 g 和 22.91 g; 春梢钙含量最高, 骨干枝干重最大, 果树新器官(果实、叶片和春梢)中叶片的干重较大, 同时其钙吸收量为新器官之首; 地上部各器官含水量总的趋势是幼嫩器官高于成熟器官, 在同一土层中, 根干重随根直径减小而减小, 而其含水量相反; 直径相同的根, 其含水量随土层深度增加而增加; 果树根系结构组成中, 以直径 1.0~5.0 cm 的根为主, 且集中分布在 20~40 cm 土层中; 果树钙贮藏器官主要是骨干枝和直径 1.0~5.0 cm 的根。

**[关键词]** 苹果树; 器官; 钙素营养; 分布

**[中图分类号]** S661.101

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-9387(2006)03-0119-03

钙是植物体内重要的必需元素, 对植物细胞的结构和生理功能具有十分重要的作用。钙素在果树矿质营养中占有重要的地位<sup>[1]</sup>。Barrelage<sup>[2]</sup>研究认为, 钙对苹果品质的影响远比 N, P, K 和 Mg 重要, 许多果树的生理失调与缺钙密切相关。果实缺钙可导致许多采前或储藏期的生理性病害<sup>[3-6]</sup>, 如苦痘病、水心病和痘斑病等, 给果树生产造成很大经济损失。Wilkinson<sup>[7]</sup>研究表明, 苹果果实钙积累分两个阶段: (1) 主要为细胞分裂期, 钙积累时间短, 钙含量迅速增加; (2) 细胞膨大期和果实成熟期, 钙吸收速度较慢。国内外研究表明<sup>[8-9]</sup>, 苹果果实吸收钙主要在第一阶段, 其特点是钙在果实中的含量迅速增加, 约占果实中总钙量的 80%~90%; 而在第二阶段, 钙吸收的速度较慢, 以至最后完全停止。

对钙素的吸收、运输与分配以及果树补钙措施的研究较多<sup>[10-12]</sup>。但由于果树为多年生经济作物, 对其不同器官中钙分布的研究比较困难, 这方面的报道也相对较少。本试验对幼果期富士苹果树不同器官的生物量、钙含量及钙吸收量进行了研究, 旨在初步探索苹果树不同器官钙素吸收及分配规律, 以为果树钙素营养分析及指导施肥提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试材选自陕西省苹果优生区岐山县。果园中心位于东经 107°34'45", 北纬 34°28'25"。该区属暖温带半湿润气候, 年平均降水量为 631.5 mm, 平均气温为 11.9℃。品种为 9 年生红富士, 砧木为八棱海棠 (*M. micromalus* Makino), 株行距 2 m × 3 m, 果园土壤为壤土, 地势平坦, 可灌溉。

### 1.2 样品的采集与分析

试验于 2004-04-30(幼果期)进行。在园中选择 3 株株型相似、自由纺锤形、生长结果正常的苹果树; 地上部按果实、叶片、春梢、1 年枝、2 年枝、多年枝、主干、中央干、骨干枝各器官肢解; 根系距主干半径 100 cm 范围内, 深 0~100 cm, 每 20 cm 为一层, 各层按直径 >5.0 cm, 1.0~5.0 cm, 0.5~1.0 cm 和 <0.5 cm 4 个级别分别采样, 称量各器官鲜重, 并采集植株样品。

植株鲜样在 100~105℃ 下杀酶 15 min, 然后 70~80℃ 下烘干至恒重, 同时测定不同器官含水量, 并计算各器官干重。钙含量以 HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub> 消解后用等离子光谱仪测定。不同器官钙吸收量为其

**[收稿日期]** 2005-08-02

**[基金项目]** 农业部 948 重大引进项目(2003-Z53); PPI/PPIC 资助项目

**[作者简介]** 樊红柱(1978-), 男, 陕西蓝田人, 在读硕士, 主要从事果树营养研究。

**[通讯作者]** 同延安(1956-), 男, 陕西华县人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事氮素的土壤化学与植物营养研究。E-mail: tongyanan@nwsuaf.edu.cn

钙含量与器官干重乘积。文中数据均采用 EXCEL 和 SAS 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 苹果树地上部各器官干重、钙含量与钙吸收量

由表 1 可见,幼果期富士苹果树地上部分各器官干重变化较大,部分器官间的差异达显著水平。地上部总干重为 7.32 kg,平均含水量为 619.1 g/kg。骨干枝的干重最大,主干、中央干的次之。新生器官(果实、叶片和春梢)、枝(1 年枝、2 年枝、多年枝和骨干枝)和干(主干和中央干)的干重分别为 0.88,3.35 和 3.09 kg,分别占地上部总干重的 12.02%,45.76%和 42.22%。在果树新生器官中叶片干重相对较高,占新生器官总干重的 80%以上。苹果树各器官含水量总的趋势是幼嫩器官高于成龄器官,其中果实的含水量最高,达 862.2 g/kg,而主干的含

水量最低。

富士苹果树地上部分各器官钙含量在 5.18~16.66 g/kg,春梢的钙含量为各器官之首,主干的钙含量最低,这可能与果树对钙素的吸收和运输有关。地上部枝、干的钙含量顺序为 2 年枝>1 年枝>多年枝>骨干枝>中央干>主干,表明苹果树各器官对钙素的吸收能力存在差异。春梢的钙含量与果实、叶片的差异显著,但果实的钙含量与叶片的差异不显著。1 年枝、2 年枝和多年枝间的钙含量差异不显著。幼果期富士苹果树地上部钙吸收总量为 51.38 g。新生器官、枝和干的钙吸收量分别为 8.88,26.30 和 16.20 g,分别占钙吸收总量的 17.29%,51.18%和 31.53%。在苹果树新生器官中叶片的钙吸收量较多,为 6.77 g;骨干枝的钙吸收量在各器官中最高,达 12.38 g。

表 1 幼果期富士苹果树不同器官的干重、钙含量与钙吸收量

Table 1 Statistics of dry weight, concentration and uptake of calcium in different organs of apple tree

器官 Organs	干重/kg Dry weight	占总干重 百分比/% Ratio	含水量/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Water content	钙含量/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Concen- tration	钙吸收量/g Uptake	占钙吸收总量 百分比/% Ratio
果实 Fruits	0.05 d	0.68	862.2	7.82 cd	0.36 d	0.70
叶片 Leaves	0.73 bc	9.97	722.7	9.23 bc	6.77 bc	13.18
春梢 Spring shoots	0.10 d	1.37	748.1	16.66 a	1.75 d	3.41
1 年枝 One year branch	0.14 cd	1.91	615.8	9.02 bc	1.22 d	2.37
2 年枝 Two year branch	0.20 cd	2.73	577.8	10.31 b	2.11 cd	4.11
多年枝 Limb	1.18 b	16.12	525.4	8.85 bc	10.59 ab	20.61
骨干枝 Scaffold	1.83 a	25.00	513.3	6.74 de	12.38 a	24.09
主干 Trunk	1.79 a	24.16	487.1	5.18 f	9.31 ab	18.12
中央干 Central leader	1.30 ab	17.76	519.8	5.42 ef	6.89 bc	13.41

注:不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下表同。

Note: values followed by different letters in the column are significant at  $P<0.05$ , the same as follows.

### 2.2 苹果树根系的干重、钙含量与钙吸收量

由表 2 可知,在同一土层中,根干重随根直径减小而减小。在 0~100 cm 土层中,各层根的干重占总根干重百分比分别为 37.28%,39.03%,14.29%,5.57%和 3.83%,说明苹果树 90%以上的根分布在 0~60 cm 土层中,该层是果园水肥管理的主要部分。直径>5.0 cm,1.0~5.0 cm,0.5~1.0 cm 和<0.5 cm 根的干重分别占总根干重的 34.84%,54.00%,7.66%和 3.50%,说明苹果树根系结构组成中,以直径 1.0~5.0 cm 的根为主,且主要集中分布在 20~40 cm 土层中,而直径>5.0 cm 的根干重占总根干重的比例较大,但仅存在于 0~20 cm 土层中。在同一土层中,苹果树根系含水

量随根直径的减小而增加;对直径相同的根,根系含水量随土层深度增加而增加。

由表 2 可知,幼果期富士苹果树根系中的钙含量差异不显著。富士苹果树根系钙吸收总量为 22.91 g,其中直径>5.0 cm 根的钙吸收量为 6.67 g,占根系钙吸收总量的 29.11%;直径 1.0~5.0 cm 根的钙吸收量为 13.09 g,占根系钙吸收总量的 57.14%;直径为 0.5~1.0 cm 和<0.5 cm 根的钙吸收量分别为 2.16 和 0.99 g,占根系钙吸收总量的 9.43%和 4.32%。在 0~100 cm 土层中,各土层根的钙吸收量分别为 7.39,9.40,3.39,1.57 和 1.16 g,分别占根系钙吸收总量的 32.25%,41.03%,14.80%,6.85%和 5.07%,表明苹果树根系中钙

的主要贮藏器官是直径 1.0~5.0 cm 的根,且集中在 20~40 cm 土层中。

表 2 幼果期富士苹果树根系中的钙含量与钙吸收量

Table 2 Concentration and uptake of calcium in roots of apple tree

土层深度/cm Depths	根直径/cm Diameter	干重/kg Dry weight	占总干重 百分比/% Ratio	含水量/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Water content	钙含量/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Concen- tration	钙吸收量/g Uptake	占钙吸收总量 百分比/% Ratio
0~20	>5.0	1.00 a	34.84	504.0	6.60 e	6.67 b	29.11
	1.0~5.0	0.04 bc	1.39	514.8	10.87 abcd	0.39 d	1.70
	0.5~1.0	0.02 c	0.70	531.5	11.18 abcd	0.21 d	0.92
	<0.5	0.01 c	0.35	579.5	10.35 abcd	0.12 d	0.52
20~40	1.0~5.0	1.05 a	36.59	539.0	8.74 abcde	8.76 a	38.24
	0.5~1.0	0.04 bc	1.39	550.0	9.71 abcd	0.40 d	1.74
	<0.5	0.03 c	1.05	584.0	8.56 abcde	0.24 d	1.05
40~60	1.0~5.0	0.30 b	10.45	574.4	8.33 cde	2.30 c	10.04
	0.5~1.0	0.08 bc	2.79	576.5	9.01 abcde	0.71 d	3.10
	<0.5	0.03 bc	1.05	592.0	11.71 a	0.38 d	1.66
60~80	1.0~5.0	0.10 bc	3.48	589.6	10.26 abcd	0.96 cd	4.19
	0.5~1.0	0.04 bc	1.39	597.6	10.25 abcd	0.43 d	1.88
	<0.5	0.02 c	0.70	616.5	8.46 bcde	0.18 d	0.78
80~100	1.0~5.0	0.06 bc	2.09	622.0	11.64 ab	0.68d	2.97
	0.5~1.0	0.04 bc	1.39	623.0	11.43 abc	0.41 d	1.79
	<0.5	0.01 c	0.35	635.4	8.07 de	0.07 d	0.31

### 3 结论与讨论

对幼果期富士苹果树各器官的生物量、钙含量和钙吸收量研究结果表明,苹果树干重为10.19 kg,地上部和根系的干重分别为7.32和2.87 kg。骨干枝的干重在各器官中最大,果树新生器官中叶片干重相对较高;在同一土层中,根干重随根直径减小而减小,这与薛进军等<sup>[13]</sup>的报道一致;果树根系结构组成中,以直径1.0~5.0 cm的根为主,且主要集中在20~40 cm土层中;各器官含水量总的趋势

是幼嫩器官高于成龄器官,在各器官含水量中,果实的含水量最高,达862.2 g/kg;富士苹果树各器官对钙素的吸收和贮藏能力存在差异,幼果期富士苹果树钙吸收总量为74.29 g,地上部与根系分别为51.38 g和22.91 g;地上部钙吸收总量明显高于根系,研究还发现,苹果树钙素的主要贮藏器官是骨干枝和直径1.0~5.0 cm的根。

此外,本试验虽然定量描述了苹果树各器官钙吸收量,但吸收的钙是来自树体本身贮藏的钙还是根系从土壤中新吸收的钙,还需进一步试验研究。

#### [参考文献]

- [1] 谢玉明,易干军,张秋明. 钙在果树生理代谢中的作用[J]. 果树学报,2003,20(5):369-373.
- [2] Barrelage W L. Comparisons of calcium chloride, calcium phosphate, and a calcium chelate as foliar sprays for 'Mcintosh' apple trees[J]. J Amer Soc Hort. 1985, 110(6):768-789.
- [3] 白昌华,田世平. 果树钙素营养研究[J]. 果树科学,1989,6(2):121-124.
- [4] 龚云池. 鸭梨黑心病与钙素营养[J]. 园艺学报,1986,13(3):145-149.
- [5] 李宝江,林桂荣,刘凤君. 矿质元素含量与苹果风味品质及耐贮性的关系[J]. 果树学报,1995,12(3):141-145.
- [6] 张承林. 果实品质与钙素营养[J]. 果树科学,1996,13(2):119-123.
- [7] Wilkinson B C. Mineral composition of apples. X: Uptake of calcium by the fruit[J]. Sci Food Agri, 1968, 19:646-647.
- [8] 彭抒昂,岩堀修. 梨果实发育中 Ca<sup>2+</sup> 果肉细胞的定位及变化研究[J]. 园艺学报,2001,28(6):497-503.
- [9] Jones H C. Calcium uptake by developing apple fruits; III Additional studies on fruit calcium balance[J]. Hort Sci, 1989, 61(2):171-179.
- [10] 张新生,熊学林,周卫,等. 苹果钙素营养研究进展[J]. 土壤肥料,1999(4):3-6.
- [11] 刘秀春. 落叶果树的钙素营养[J]. 北方果树,2004,3(2):4-5.
- [12] 张凤敏,宫美英. 果树钙素营养浅析[J]. 山西果树,2001,11(4):30-31.
- [13] 薛进军,杨青琴,王秀茹,等. 铁及其它矿质元素在苹果树不同器官中的分布[J]. 广西农业生物科学,2003,22(1):16-20.

(下转第126页)

- diploid hybrids *S. tuberosum* L., *S. chaioense* Bitt[J]. Theor Appl Gene, 1984, 69: 139-143.
- [7] 庞淑敏, 方贯娜. 马铃薯脱毒苗快繁低成本培养基改良试验[J]. 河南农业科技, 2004(12): 59-61.
- [8] 张智策, 张凤芸. 马铃薯组织培养环境调控初探[J]. 中国马铃薯, 2004, 18(4): 236.
- [9] 李清萍. 马铃薯组织培养苗的标准化培育[J]. 中国马铃薯, 2003, 17(1): 240-241.
- [10] Fleming M L H, Maine M J D E, et al. Ploidy doubling by callus culture of potato dihaploid leaf explants and the variation in regenerated plants[J]. Ann Appl Biol, 1992, 121: 183-188.

## Study on *in vitro* regeneration technology from stem explants of four potato cultivars

LI Juan, CHENG Zhi-hui, ZHANG Guo-yu

(College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Four potato cultivars were regenerated *in vitro* from stem explants. The results showed that the optimal medium for callus induction was found to be MS+6-BA 3.0 mg/L+NAA 0.01 mg/L for cv. Dongnong 303, cv. Shepody and cv. E No. 1, MS+6-BA 3.0 mg/L+NAA 0.1 mg/L for cv. Favorite. The callus induction rate on those media reached up to 100%. The optimal medium for adventitious bud differentiation from stem callus was found to be MS+6-BA 2.0 mg/L+NAA 0.2 mg/L for cv. Favorite and cv. E No. 1, MS+6-BA 2.0 mg/L+NAA 0.1 mg/L for cv. Dongnong 303, and MS+6-BA 2.0 mg/L+NAA 0.3 mg/L for cv. Shepody. The adventitious bud differentiation rate reached 96.7%, 96.7%, 83.3% and 80.0% for the four cultivars respectively, and the rooting rate was 100% for all cultivars. The survival rate of tube plantlets after transplantation reached 95%.

**Key words:** potato; stem section; callus; plant regeneration

(上接第121页)

Abstract ID: 1671-9387(2006)03-0119-EA

## Study of calcium distribution in different organs of apple tree

FAN Hong-zhu, TONG Yan-an

(College of Resources Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The biomass, water content, calcium concentration and uptake in different organs of young fruit Red Fuji apple tree were studied in this paper. The results showed that the biomass of tree was 10.19 kg; Calcium concentration of the above ground part from 5.18 g/kg to 16.66 g/kg, the roots system from 6.60 g/kg to 11.7 g/kg, total calcium uptake 74.29 g, calcium uptake of above ground part and the roots 51.38 g and 22.91 g, respectively. Calcium concentration of spring shoots was the highest. The dry weight of scaffold was the heaviest. In the newborn organs (fruits, leaves and spring shoots) of the tree, the dry weight of the leaves were highest, and calcium uptake was the same. The water content of different organs above ground in young organs was higher than that in old organs. The dry weight of roots reduced along with the diameter in the same soil layer. In the same soil layer the water content of roots increased by the decreasing of the root diameter. In the same root diameter, the water content increased with the depth of the soil. The root in the diameter of 1.0-5.0 cm in the apple tree is the main structure. The calcium mainly stored in the scaffold and the root in 1.0-5.0 cm.

**Key words:** apple tree; organs; calcium nutrition; distribution