

猕猴桃树体年生长周期内生物量及 不同器官钙累积动态研究

王 建^{1,2}, 同延安², 高义民², 高鹏程²

(1 延安大学 能源与环境工程学院, 陕西 延安 716000; 2 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 【目的】研究猕猴桃树对钙素的吸收及分配规律, 为猕猴桃的合理适时施肥提供参考依据。【方法】以10年生“秦美”猕猴桃树为试材, 采用彻底刨根、分解取样的方法, 研究了年生长周期内猕猴桃树各器官的生物量、钙含量和钙累积量的变化动态。【结果】在猕猴桃树的年生长周期内, 根、茎、叶、果实的生物量(干质量)分别增加了2.21, 7.06, 2.73和8.21 t/hm², 共计为20.21 t/hm²。猕猴桃整株生物量在生育前期的3月底到5月中旬增加较慢, 5月中旬以后生物量快速增加, 9月上旬以后由于果实的收获和落叶使整株生物量大幅下降。各器官钙含量水平表现为叶>根>茎>果实。果实钙含量在生育前期较高, 随生长发育逐渐降低。木质部钙含量全年没有明显变化, 而皮层钙含量波动较大。茎皮层的钙含量为13.21~27.54 g/kg, 木质部为1.12~2.14 g/kg; 根皮层的钙含量为19.03~25.00 g/kg, 根木质部的钙含量大于茎木质部, 为6.35~7.55 g/kg。每生产50 kg果实, 根、茎、叶、果实当年钙吸收量分别为68.04, 116.36, 154.19和40.26 kg/hm², 共计达378.85 kg/hm²; 整株钙累积量表现为3月底到11月上旬直线增加, 从3月底的106.97 kg/hm²增加到最高值255.21 kg/hm², 到休眠期降低到195.89 kg/hm²。【结论】猕猴桃树各器官钙含量水平以叶最高, 果实最低, 叶中的钙素难以运输到果实; 由于果实钙含量随生长发育而降低, 因此要提高猕猴桃果实的钙含量, 应在生长后期对果实直接施钙。

[关键词] 猕猴桃; 生物量; 器官; 钙含量; 钙累积

[中图分类号] S663.406⁺.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2010)09-0066-07

Study on the dynamics of kiwifruit tree biomass and calcium accumulation in the growth cycle

WANG Jian^{1,2}, TONG Yan-an², GAO Yi-min², GAO Peng-cheng²

(1 College of Energy and Environmental Engineering, Yanan University, Yan'an, Shaanxi 716000, China;

2 College of Resources and Environmental Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】The research is to study the dynamics of calcium nutrient in kiwifruit tree, in order to provide a theoretical foundation for high quality kiwifruit tree and timely and proper fertilization of kiwifruit. 【Method】A field experiment was carried out on 10-year-old *Actinidia deliciosa*, Qinmei kiwifruit trees in growing seasons in Shaanxi Province, China. Biomass, calcium content and accumulation in different organs were studied in this paper. 【Result】The results showed that biomass increment of roots, stems, leaves and fruits was 2.21, 7.06, 2.73 and 8.21 t/hm², total plant increased 20.21 t/hm² in one year. Biomass of plant vegetated slowly from March 28 to May 18, and developed more quickly from May 18 to September 8, and dropped rapidly after fruit harvest and defoliation. Calcium content order in organs was leaves>roots>stems>fruits. Calcium content of fruit was high in spring and dropped slowly after July. Calcium content in xylem changed less, but fluctuated in cortex. Calcium content in cortex of stems was 13.21—

* [收稿日期] 2010-01-25

[基金项目] 国际植物营养研究所项目(IPNI); 西北农林科技大学创新团队项目

[作者简介] 王 建(1982—), 男, 陕西延安人, 助教, 硕士, 主要从事环境保护相关研究。E-mail: wangjian595573@sohu.com

[通信作者] 同延安(1956—), 男, 陕西华县人, 教授, 博士生导师, 主要从事施肥与环境研究。E-mail: tongyanan@nwsuaf.edu.cn

27.54 g/kg, in xylem of stems 1.12—2.14 g/kg, in cortex of roots between 19.03 g/kg and 25.00 g/kg, and in xylem of roots 6.35—7.55 g/kg. The study showed that trees could produce 50 kg fruits by absorbing calcium 378.85 kg/hm². The calcium accumulation rose perpendicularly from March 28 to November 6, from 106.97 kg/hm² to 255.21 kg/hm², then dropped to 195.89 kg/hm² in January 11 (tree dormancy). **【Conclusion】** Calcium content in leaves is the highest and in fruits the lowest, as calcium is difficult to transport from leaves to fruits. Fruits calcium content is higher in the earlier stage of growth and declines in the later stage of growth, so to increase the calcium content of ripe fruit, calcium should be fertilized directly on fruits in the later growth stage.

Key words: kiwifruit tree; biomass; organ; Ca content; Ca accumulation

猕猴桃作为新型保健果品,在世界各地得到了迅速发展。据联合国粮农组织(UN, FAO)统计,2005年世界猕猴桃结果面积为10.75万hm²,其中中国的猕猴桃结果面积约为5万hm²。世界猕猴桃总产量为125万t,中国所占份额约为18%。目前,世界猕猴桃平均单产为17.8 t/hm²,新西兰为21.5 t/hm²,意大利为18.5 t/hm²,而中国平均单产仅为8.5 t/hm²。近年来,中国的猕猴桃在单产上已有很大的提高,但在提高产量的过程中,由于对猕猴桃的树体营养缺乏研究,不能做到合理施肥以及采后处理,致使我国猕猴桃优质果较少,在果品的大小、风味以及外观品质上往往达不到销售标准,严重制约了猕猴桃鲜果的内销与出口。

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,在果树矿质营养中占有重要的地位^[1]。Barrelage^[2]研究认为,钙对苹果品质的影响远比N、P、K、Mg重要,许多果树的生理失调与缺钙密切相关。目前,对钙素吸收、运输与分配以及果树补钙措施的研究较多^[3-9],但由于果树是多年生经济作物,对其不同器官中钙分布的研究比较困难,这方面的研究报道也相对较少^[10-13]。虽已有对苹果等果树不同器官生物量、钙含量及其累积量的研究^[14],但尚未见对猕猴桃树体钙素营养累积动态的研究报道。为此,本研究以10年生秦美猕猴桃为研究对象,对其年生长周期内各器官的生物量、钙含量和钙累积量变化动态进行了测定和分析,旨在初步探索猕猴桃树钙素的吸收及分配规律,为猕猴桃的合理适时施肥提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试材取自陕西省周至县小麦屯村农户猕猴桃果园,该村位于秦岭北麓的猕猴桃主产区,年平均气温13.2℃,历年极端最高气温42.4℃,极端最低气温

—20.2℃,年降水量660.1mm,年日照时数1867.5h。果园面积0.153hm²,1995年定植,品种为“秦美”(Actinidia deliciosa cv. Qinmei),生长结果正常,全园树体大小均匀,株行距1.5m×4m,果树密度1666株/hm²。果园土壤为塿土,地势平坦,可灌溉。肥料在春季一次施入,折合纯氮(N)、纯磷(P)、纯钾(K)分别为280,160和50g/株,即466,267和83kg/hm²。果园采取冬季一次性彻底修剪。试验地0~100cm土壤速效养分与耕层有机质状况见表1。

1.2 采样方法

分别于2005-03-28(萌芽期)、05-18(果实生长始期)、07-09(果实迅速膨大末期)、09-08(进入收获期)、11-06(落叶期)和2006-01-11(休眠期)进行采样。每次采样前充分观察全园果树,然后选择主干粗度和枝叶情况中等的猕猴桃树作为采样株,每次选3株作为重复,采样株邻近的区域不再采样。

(1)根的采样。以树干为中心,在1.5m(株间)×2m(行间)的区域,将1m土层内的根按20cm分层刨出,用自来水冲去泥土,分别称鲜质量。03-28首次采样时,将不同土层的根按直径>1cm、0.2~1cm、<0.2cm分开,分别称鲜质量,计算各土层中不同直径根所占的比例。以后各次采样时,只计各土层根的质量,并取直径>1cm、0.2~1cm、<0.2cm的根样备用。

(2)地上部的采样。按1年枝、2年枝、多年枝、主干、叶、果6个部分分解,分别称鲜质量,并取样备用。

1.3 样品分析

分离直径>1cm根、1年枝、2年枝、多年枝、主干样品的木质部和皮层,烘干,称干质量,计算单株各器官干质量及其所占总株的百分数、含水量,以及分离木质部、皮层与器官木质部、皮层的比例。钙含量用HNO₃-HClO₄消解后用等离子光谱仪测定。

生物量即为干质量,不同器官钙累积量为其钙含量与器官干质量的乘积,整株钙含量等于整株钙累积量除以整株生物量。

表 1 试验地 0~100 cm 土层土壤速效养分与耕层的有机质状况

Table 1 Soil available fertility of each soil layer in 0—100 cm depth and organic matter in topsoil

土层深度/cm Soil depth	速效养分/(mg·kg ⁻¹) Available fertility			有机质/(g·kg ⁻¹) O. M.
	碱解氮 Available N	速效磷 Available P	速效钾 Available K	
0~20	55.4	16.8	246.0	14.2
20~40	29.5	2.9	187.7	
40~60	18.8	2.9	112.6	
60~80	42.3	1.7	97.2	
80~100	51.5	1.7	82.2	

1.4 数据处理

本研究中的数据均为 3 株树的平均值。采用 EXCEL 和 DPS 软件对试验数据进行处理与分析。

2 结果与分析

2.1 猕猴桃树生物量的变化动态

图 1 是猕猴桃树年生长周期内生物量的变化动态。由图 1 可知,猕猴桃树全年根、茎、叶的生物量表现为茎>根>叶,果实生物量在 7 月上旬以后到收获时超过叶和根,但小于茎。在生育前期的 3 月下旬,根和茎的生物量分别为 3.52 和 5.43 t/hm²,至翌年 01-11,增加量分别为 2.21 和 7.06 t/hm²;叶生物量从 3 月下旬持续增加到 11-06 的 2.73 t/hm²;果实生物量持续增加到收获期的 09-08,达到 8.21 t/hm²。年周期内,根、茎、叶和果实生物量的增加量共计 20.21 t/hm²,表现为果实>茎>叶>根,其中果实和茎都达到了 6 t/hm² 以上,叶和根均低于 3 t/hm²,说明猕猴桃的果实和茎是主要的养分需求器官,叶和根的累积量相对较少。

t/hm²,增加量较小,仅为 1.6 t/hm²;随着生育期的延长,整株生物量快速增加,从 5 月中旬到 7 月上旬,整株生物量从 10.55 增加到 18.68 t/hm²,增加了 8.13 t/hm²,到 9 月上旬增加到了 23.86 t/hm²,增加了 27.74%;之后由于果实的收获和落叶导致整株生物量大幅下降,到 11 月上旬降到 20.23 t/hm²,在叶子全部落完的 01-11 降低到 18.23 t/hm²,与 3 月底相比,生物量增加了 9.28 t/hm²。

茎的生物量从在 3 月底的 5.43 t/hm² 增加到 5 月中旬的 5.83 t/hm²,增幅较少,仅增加了 0.4 t/hm²;5 月中旬到 11 月上旬增长较快,从 5.83 增加到 11.83 t/hm²,增加了 102.86%;11 月上旬以后也有一定的生长,但相对较为平缓,到休眠期的 01-11 仅增加了 0.67 t/hm²。

叶的干物质量在 3 月底到 5 月中旬增加量较大,为 0.9 t/hm²;在 5 月中旬至 9 月增加较慢,增加量为 0.6 t/hm²;9 月上旬到 11 月上旬有大幅度增加,增加量达 1.23 t/hm²,干物质累积量达到 2.73 t/hm²。猕猴桃正常叶从展叶到最终叶面大小,大约需要 35~40 d,展叶后的第 10~25 天是叶面积扩大最迅速的时期,此期的叶面积可达到最终的 90% 左右^[15],所以表现为前期干物质增加较快。中期的缓慢增加是由于树体的营养物质主要输送给“库”器官果实,后期的迅速生长可能是由于果实的收获使营养物质更多地累积到了叶中所致。

果实在 5 月中旬到 7 月上旬生长迅速,生物量达 5.93 t/hm²,达到了最终生物量的 72.21%,从 7 月上旬到 9 月上旬仅增加 2.28 t/hm²,说明在 7 月上旬以后果实的生长已经度过了迅速膨大期,生长有所减慢。

根系在 3 月底到 11 月上旬增加缓慢,其生物量由 3.52 t/hm² 增加到 5.66 t/hm²,11 月上旬以后趋于稳定,测算值仅增加 0.07 t/hm²。根系生物量年周期内共增加了 2.21 t/hm²,与地上部器官相比

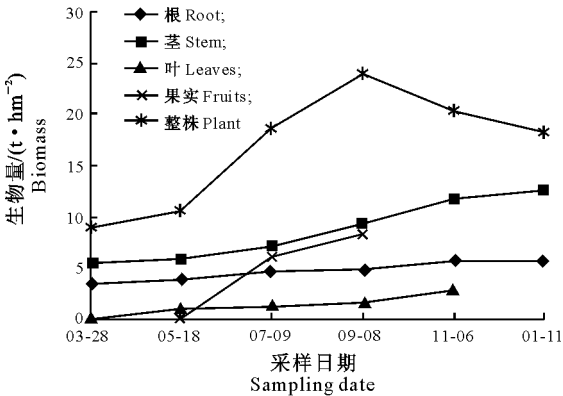


图 1 猕猴桃树生物量年生长周期的变化动态
Fig. 1 Annual changes of biomass in different organs of kiwifruit trees

猕猴桃的整株生物量在生育前期增加较慢,从 3 月底到 5 月中旬,其生物量由 8.95 增加到 10.55

生长量较少。但就根系本身而言,1个年周期内生物量增加了62.78%。10年树龄的成龄猕猴桃树的根系总量应该维持在一个平衡状态,每年的增加量应该较小,不可能以每年62.78%的增幅增加,本研究之所以得出这样的结果,可能是因为本试验研究的是1个年生长周期,而果树局部自疏与更新贯穿于整个生命周期,吸收根的死亡与更新在生命的初始阶段就已发生,随之须根和低级次根也发生更新现象^[16],所以推测在休眠期旧的根系可能有较多的脱落,关于猕猴桃根系的更新机理还有待于进一步研究。

2.2 猕猴桃树体钙含量的年生长周期变化动态

2.2.1 各器官钙含量年生长周期变化动态 猕猴桃树各器官钙含量年生长周期的变化动态见图2。

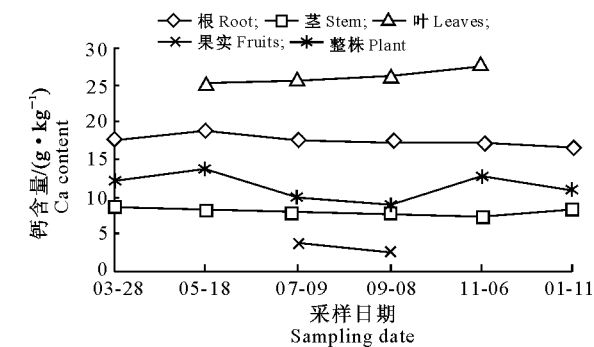


图2 猕猴桃树各器官钙含量年生长周期的变化动态

Fig. 2 Annual changes of calcium content in different organs of kiwifruit trees

从图2可以看出,猕猴桃树体各器官钙含量水平有明显差异,总体表现为叶>根>茎>果实,与杏和李树的相关研究结果一致^[12-13],均表现为叶的钙含量远大于果实,这是由于钙运输的主要动力是蒸腾作用,蒸腾强度越大和时间越长,运输的 Ca^{2+} 就越多,而果实蒸腾强度远小于叶片。各器官钙含量全年变化相对较小,根、茎和果实钙含量随生育期的延长均有降低的趋势,这是因为干物质的累积速率大于养分的吸收速率。叶钙含量与生物量的变化动态一致,在5月中旬到9月上旬略有增加,9月上旬到11月上旬增加较快,05-18,07-09,09-08和11-06的测定结果依次为25.05,25.41,25.88和27.21 g/kg。根钙含量在3月底为17.51 g/kg,到5月中旬增加到全年最高值18.64 g/kg,之后有所降低,7月上旬、9月上旬和11月上旬间变化不大,分别为17.34,17.00和17.15 g/kg,到休眠期的01-11下降为16.46 g/kg。茎的钙含量在3月底和5月中旬较高,分别为8.37和8.19 g/kg,之后几乎没有明显

变化,维持在7.08~8.13 g/kg。果实钙含量在7月上旬到收获期的9月上旬有所下降,从3.65下降到2.65 g/kg。猕猴桃树整株钙含量表现为3月底到5月中旬和11月上旬到01-11较高,7月上旬到9月上旬较低,这是由于7月上旬到9月上旬生物量较高,而钙含量极低的果实产生的稀释作用所致。

2.2.2 皮层与木质部的钙含量及其年生长周期变化动态 从图3可以看出,猕猴桃木质部和皮层钙含量水平及变化动态有明显差异,从钙含量水平来看,无论是茎还是根,其皮层钙含量均远高于其木质部。茎皮层的钙含量为13.21~27.54 g/kg,而木质部仅为1.12~2.14 g/kg;根皮层的钙含量为19.03~25.00 g/kg,木质部为6.35~7.55 g/kg,根木质部钙含量大于茎木质部。年生长周期内,各枝龄茎木质部的钙含量没有明显差异,而皮层差异较为明显,总体表现为主干>多年枝>2年枝>1年枝;根皮层钙含量高于1年枝和2年枝,但低于主干和多年枝。

从钙含量的变化动态来看,茎木质部钙含量全年之内没有明显变化,而皮层钙含量波动较大,其中1年枝和2年枝的变化幅度大于多年枝和主干。1年枝皮层钙含量从3月底到7月上旬的降低幅度较大,由19.47降低到13.21 g/kg,降低了32.14%;7月上旬到11月上旬又回升到17.92 g/kg,升高了35.58%;11月上旬以后变化较小。2年枝皮层钙含量在3月底到5月中旬没有明显变化,从5月中旬到9月上旬由22.80降低到17.70 g/kg,降低了22.36%,降低幅度较大;9月上旬以后稍有升高,但变化不大。多年枝和主干皮层钙含量在3月底到5月中旬增加幅度较大,分别从21.98和23.25 g/kg升高到25.65和25.86 g/kg,分别升高了16.70%和11.22%;5月中旬以后变化不大。根木质部钙含量变化幅度小于皮层,但大于茎木质部,从3月底到5月中旬,由7.46降低到6.48 g/kg,降低了13.26%;5月中旬到9月上旬没有明显变化,9月上旬到11月上旬上升了17.11%;11月上旬到01-11又下降了13.33%。根皮层的钙含量从3月底到5月中旬,由23.37升高到25.00 g/kg;5月中旬到7月上旬降低了13.63%;7月上旬到9月上旬变化不大;9月上旬到11月上旬降低了10.74%,之后到01-11又升高了9.01%。

猕猴桃树皮层钙含量远高于木质部,根木质部钙含量大于茎木质部,茎木质部钙含量全年几乎没有明显变化,而皮层波动较大,由于钙随蒸腾液运

输,木质部和皮层的含水量及其变化与钙含量的变化有一定关系,皮层的含水量及其变化较大,所以钙

含量及其波动也较大。要进一步明确钙素的运移规律,还需要对猕猴桃树体的汁液进行研究。

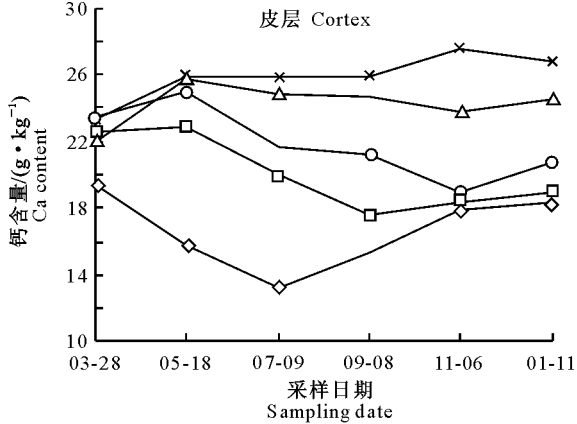
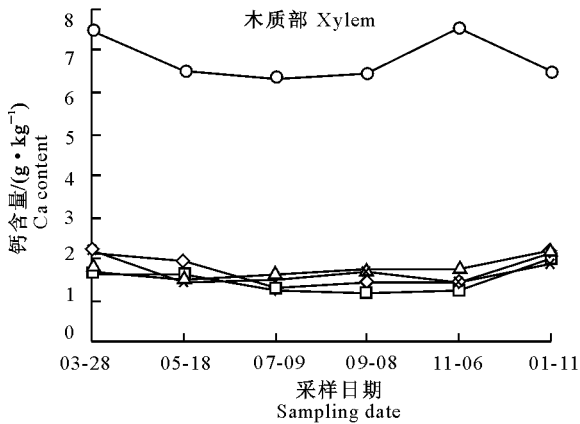


图 3 猕猴桃树木质部和皮层钙含量及其年生长周期的变化动态

—◇—, 1 年枝; —□—, 2 年枝; —△—, 多年枝; —×—, 主干; —○—, 1 cm 根

Fig. 3 Annual changes of calcium content in xylem and cortex of kiwifruit trees

—◇—, 1-year-old branch; —□—, 2-year-old branch; —△—, Limb; —×—, Trunk; —○—, 1 cm root

2.3 猕猴桃树钙累积量的年生长周期变化动态

钙累积量是生物量与钙含量的乘积,钙累积量变化动态是树体钙素吸收动态的体现。供试“秦美”猕猴桃树解体时(09-08)的果实产量为 40.17 t/hm²。从图 4 可知,年生长周期(03-28 至翌年 01-11)内,猕猴桃树根、茎、叶、果实钙累积量的增加量分别为 32.81,56.11,74.36 和 19.41 kg/hm²,共计为 182.69 kg/hm²,换算成生产 50 kg 果实的当年吸收量,则根、茎、叶、果实的钙累积量分别为 68.04, 116.36, 154.19 和 40.26 kg/hm²,共计 378.85 kg/hm²,表现为叶>茎>根>果实。说明虽然叶生长量小于果实和茎,但钙含量最高,因此年生长周期内累积的钙素最多;而果实虽然生长量最高,但钙含量最低,所以累积的钙素最少。各器官钙累积量在萌芽期的 3 月底到落叶期 11 月上旬表现为根>茎>叶>果实,在休眠期的 01-11 表现为茎>根。

茎钙含量在年生长周期内变化不大,所以钙累积量与生物量变化动态一致,表现为 3 月底到 5 月中旬增加较少,由 45.43 增加到 47.08 kg/hm²,增加了 5.09%;5 月中旬到休眠期的 01-11 增加平缓,05-18 至 07-09,07-09 至 09-08,09-08 至 11-06 和 11-06 至 01-11 4 个阶段的增幅依次为 16.51%, 29.13%,16.57%和 21.28%。

由于叶钙含量与生物量的变化动态一致,所以钙累积量也有相同的变化趋势,即表现为前期的 3 月底到 5 月中旬和后期的 9 月上旬到 11 月上旬增长较快,这 2 个阶段分别增加了 22.54 和 35.54 kg/hm²;生长中期的 5 月中旬到 9 月上旬增长较

慢,2 个阶段共增加了 16.28 kg/hm²。

果实钙含量在 5 月中旬到 7 月上旬增长迅速,达到 21.64 kg/hm²,7 月上旬到收获期的 9 月上旬出现了少量的减少,钙累积量降到 19.41 kg/hm²,说明果实中的钙素在该期间可能发生了向树体的“倒流”现象。

根钙累积量在 3 月底到 7 月上旬和 9 月上旬到 11 月上旬均表现为缓慢增加,7 月上旬到 9 月上旬和生育末期的 11 月上旬到 01-11 变化不大,分别表现为增加 3.27 kg/hm² 和减少 2.78 kg/hm²。

由图 4 可知,年生长周期内,猕猴桃整株钙累积量表现为 3 月底到 11 月上旬直线增加,从 106.97 kg/hm² 增加到最高值 255.21 kg/hm²,到休眠期的 01-11 由于落叶带走了大量钙素,钙累积量降低为 195.89 kg/hm²。整株钙累积量与生物量的变化动态基本一致,均表现出先增加后减小的变化趋势,不同之处在于生物量的累积高峰出现在 9 月上旬,而钙累积量高峰出现在 11 月上旬,这是因为茎和根的生物量和钙含量变化较小,作为新生器官的果实和叶是决定整株生物量和钙累积量的主要因素,果实的生长量居各器官之首,远大于叶,所以决定了在收获期的 9 月上旬,整株生物量最高,果实的收获导致了整株生物量的下降。而果实钙含量最低,远小于叶,所以果实收获带走的钙素很少,不足以影响因叶、茎、根钙累积量继续增加造成的整株钙累积量的持续增加趋势,所以钙累积量高峰出现在 11 月上旬,之后由于落叶带走了大量钙素,导致整株钙累积量有所下降。

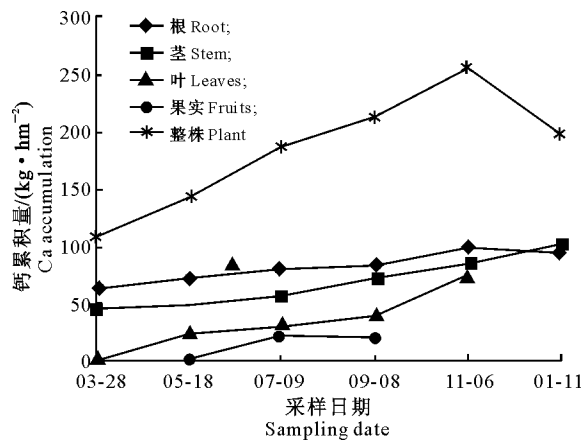


图 4 猕猴桃树各器官钙累积量年生长周期的变化动态

Fig. 4 Annual changes of calcium accumulation in different organs of kiwifruit trees

3 结论与讨论

本研究结果表明,在年生长周期内,猕猴桃树根、茎、叶、果实的生物量(干质量)分别增加了2.21, 7.06, 2.73 和 8.21 t/hm², 共计 20.21 t/hm²。猕猴桃整株生物量在生育前期的3月底到5月中旬增加较慢,5月中旬以后生物量快速增加,9月上旬以后由于果实的收获和落叶使整株生物量大幅下降。各器官钙含量水平表现为叶>根>茎>果实,且以皮层>木质部。果实钙含量在生育前期较高,随生长发育逐渐降低。木质部钙含量全年没有明显变化,而皮层波动较大。茎皮层的钙含量为 13.21~27.54 g/kg,木质部为 1.12~2.14 g/kg;根皮层的钙含量为 19.03~25.00 g/kg,木质部的钙含量为 6.35~7.55 g/kg。每生产 50 kg 果实,根、茎、叶、果实当年的钙吸收量分别为 68.04, 116.36, 154.19 和 40.26 kg/hm², 共计为 378.85 kg/hm²。整株钙累积量表现为3月底到11月上旬直线增加,从3月底的 106.97 kg/hm² 增加到最高值 255.21 kg/hm², 到休眠期降低为 195.89 kg/hm²。

猕猴桃各器官钙含量的全年变化与氮^[17]、磷^[18]等元素相比相对较小,这主要与钙的移动性差有关。有研究表明,苹果果实的钙吸收高峰主要发生在幼果期^[19-20],随着果实的生长发育,果实钙含量逐渐降低^[21-22]。本试验对猕猴桃的研究也表明,猕猴桃果实钙含量在7—9月表现出下降趋势,甚至在生育后期猕猴桃果实中的钙累积量也有下降,这可能是钙素“倒流”到树体所致,说明同为北方多年生果树的猕猴桃,其年周期钙含量的变化与苹果有相似之处。

[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.
Xie Y M, Yi G J, Zhang Q M. Effects of calcium in physiology and metabolism of fruit crops [J]. Journal of Fruit Science, 2003, 20(5): 369-373. (in Chinese)

[2] Barrelage W L. Comparisons of calcium chloride, calcium phosphate, and a calcium chelate as foliar sprays for 'Mcintosh' apple trees [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.
Bai C H, Tian S P. Fruit calcium nutrition research [J]. Journal of Fruit Science, 1989, 6(2): 121-124. (in Chinese)

[4] 王仁才, 闫瑞香, 于慧英. 猕猴桃幼果期钙处理对果实贮藏和品质的影响 [J]. 果树科学, 2000, 17(1): 45-47.
Wang R C, Yan R X, Yu H Y. Effect of various calcium treatments on the storage life and quality of kiwifruit [J]. Journal of Fruit Science, 2000, 17(1): 45-47. (in Chinese)

[5] 秦玉芝, 陈 军, 李朝阳, 等. 米良 1 号猕猴桃营养期主要矿质元素分配、吸收特性研究 [J]. 果树学报, 2004, 21(3): 212-215.
Qin Y Z, Chen J, Li Z Y, et al. Study on distribution and absorption property of the main mineral elements in *Actinidia deliciosa* cv. Miliang-1 [J]. Journal of Fruit Science, 2004, 21(3): 212-215. (in Chinese)

[6] 秦玉芝, 李朝阳, 陈 军, 等. 猕猴桃果实成熟前补钙对果实含钙量的影响 [J]. 落叶果树, 2004(1): 4-5.
Qin Y Z, Li Z Y, Chen J, et al. Influence of calcium supplementation before fruit ripening on fruit calcium content of kiwifruit [J]. Deciduous Fruits, 2004(1): 4-5. (in Chinese)

[7] 龚云池, 徐季娥, 张淑珍, 等. 鸭梨黑心病与钙素营养的关系 [J]. 园艺学报, 1986, 13(3): 145-149.
Gong Y C, Xu J E, Zhang S Z, et al. The relationship between brown core of Yali and calcium nutrition [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1986, 13(3): 145-149. (in Chinese)

[8] 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]. 果树科学, 1995, 12(3): 141-145.
Li B J, Lin G R, Liu F J. Relationship between fruit quality, storability and mineral composition of apples [J]. Journal of Fruit Science, 1995, 12(3): 141-145. (in Chinese)

[9] 张承林. 果实品质与钙素营养 [J]. 果树科学, 1996, 13(2): 119-123.
Zhang C L. Relationship between fruit quality and calcium nutrition [J]. Fruit Science, 1996, 13(2): 119-123. (in Chinese)

[10] 樊红柱, 同延安. 幼果期富士苹果树体各器官钙定量分析 [J]. 中国土壤与肥料, 2006(5): 53-55.
Fan H Z, Tong Y A. Analysis of calcium distribution in different organs of young fruit for Fuji apple tree [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2006(5): 53-55. (in Chinese)

[11] 樊红柱, 同延安. 苹果树各器官钙素分布研究 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(3): 119-126.
Fan H Z, Tong Y A. Study of calcium distribution in different organs of apple tree [J]. Journal of Northwest Sci-Tech Uni-

- versity of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition, 2006, 34(3): 119-126. (in Chinese)
 - [12] 陈宝江, 刘威生, 王宝申, 等. 串枝红杏树体营养积累及分布研究 [J]. 北方果树, 2004(5): 7-9.
Chen B J, Liu W S, Wang B S, et al. Study on the tree nutrition accumulation and distributing in Chuanzhihong apricot tree [J]. Northern Fruits, 2004(5): 7-9. (in Chinese)
 - [13] 陈宝江, 刘威生, 王宝申, 等. 大石早生李树体营养积累及分布研究 [J]. 北方果树, 2003(1): 12-14.
Chen B J, Liu W S, Wang B S, et al. Study on the tree nutrition accumulation and distributing in Dashi Early Maturing Plum tree [J]. Northern Fruits, 2003(1): 12-14. (in Chinese)
 - [14] 樊红柱, 同延安, 吕世华. 苹果树体不同器官元素含量与累积量季节性变化研究 [J]. 西南农业学报, 2007, 20(6): 1202-1206.
Fan H Z, Tong Y A, Lü S H. Study on seasonal variation of nutrient elements concentration and accumulation in different organs of apple tree [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2007, 20(6): 1202-1206. (in Chinese)
 - [15] 刘旭峰. 猕猴桃栽培新技术 [M]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2005.
Liu X F. The new cultivation techniques of kiwifruit [M]. Yangling, Shaanxi: Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry Press, 2005. (in Chinese)
 - [16] 武维华. 植物生理学 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
Wu W H. Plant physiology [M]. Beijing: Science Press, 2003. (in Chinese)
 - [17] 王 建, 同延安. 猕猴桃树对氮素吸收、利用和贮存的定量研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(6): 1170-1177.
Wang J, Tong Y A. Study on absorption, utilization and storage of nitrogen of kiwifruit tree [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(6): 1170-1177. (in Chinese)
 - [18] 王 建, 同延安, 高义民. 关中地区猕猴桃树体周年磷素需求动态规律研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(6): 119-123.
Wang J, Tong Y A, Gao Y M. Study on dynamics of phosphorus need of kiwifruit tree in Guanzhong of Shaanxi Province [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2008, 26(6): 119-123. (in Chinese)
 - [19] 周 卫, 汪 洪, 赵林萍, 等. 苹果 (*Malus pumila*) 幼果钙素吸收特性与激素调控 [J]. 中国农业科学, 1999, 32(3): 52-58.
Zhou W, Wang H, Zhao L P, et al. Study on characteristics of calcium uptake by young fruit of apple (*Malus pumila*) and its regulating by hormone [J]. Scientia Agriculturae Sinica, 1999, 32(3): 52-58. (in Chinese)
 - [20] White P J, Broadley M R. Calcium in plants [J]. Annals of Plant, 2003, 92: 487-511.
 - [21] Drazeta L, Lang A, Morgan L, et al. Bitter pit and vascular function in apples [J]. Acta Horticulturae, 2001, 564: 387-392.
 - [22] 郑伟尉, 翟 衡, 徐月华, 等. 几个苹果主栽品种生长季钙含量动态的比较研究 [J]. 中国农业科学, 2005, 38(1): 2296-2300.
Zheng W W, Zhai H, Xu Y H, et al. Analysis of the changes of calcium content of several apple cultivars in developing season [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(1): 2296-2300. (in Chinese)