



# 核桃果实发育关键期矿质元素需求规律研究

张建英,毛向红,张莹莹

(河北省林业科学研究院/河北省林木良种工程技术研究中心,河北 石家庄 050061)

**摘要:**为掌握核桃果实发育关键期对营养元素的需求规律,为肥水一体化技术提供依据,对5年生辽宁1号核桃幼果膨大期、硬核期、脂肪转化期和果实成熟期叶片、枝条和果实矿质元素含量进行了测定和分析。结果表明:果实不同发育关键期矿质元素含量不同,幼果膨大期需N量最多,硬核期和脂肪转化期需Ca量最多;Ca、Mg、Zn在果实发育过程中的含量变化呈递增趋势,K、Cu、Fe、Mn呈递减趋势,N和P在幼果膨大期含量较高,硬核期最低,脂肪转化期有所升高,但低于膨大期;核桃果实发育关键期对N、P、K三大元素的需求比例与常规施肥量不同。

**关键词:**核桃;果实发育关键期;矿质元素含量;需求规律

近年来在国家政策的大力支持下,作为木本粮油作物的核桃产业得到了迅猛发展,全国范围内栽培面积大幅度提高,核桃在我国栽培历史虽然悠久,但实际上一直处于放任自然生长状态,进入品种化栽培历史较短,人工核桃园的管理相对比较粗放,尤其在水肥管理方面,浪费现象相当严重。我国水资源严重缺乏,干旱已成为威胁粮食安全、制约农业可持续发展的主要限制因素之一。据统计,我国化肥使用量占到了全球的1/3以上。因此我国农业急需从大水大肥粗放型转变为合理利用资源的集约型生产,核桃栽培也不例外,目前提倡的肥水一体化技术在核桃领域也已有尝试,肥水一体化技术的实施要求必须掌握核桃矿质元素含量的变化规律。山西农业大学的冀爱青<sup>[1]</sup>、河北农业大学的史永江<sup>[2]</sup>、郭向华<sup>[3]</sup>、浙江农林大学的夏国华<sup>[4]</sup>都做过核桃叶片、果实矿质元素含量以及变化规律的研究,但对矿质元素中的微量元素研究相对较少,赵明范<sup>[5]</sup>在确定核桃树体营养诊断指标时涉及到钙和镁,郭向华<sup>[3]</sup>在对香玲核桃叶片中矿质元素含量的研究中涉及到了微量元素,而关于核桃果实发育关键期矿质元素含量的变化规律还鲜有报道。本项研究旨在通过试验检测,初步掌握核桃果实发育关键期对营养元素的需求规律,为核桃肥水一体化栽培提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验材料采自河北省林业科学研究院内核桃基地示范园,品种为辽宁1号,5年生。果园常规管理,3月复合肥:尿素=3:1混合施入,施肥方法为穴施,每株100 g。选取生长良好、树势相对一致、健康无病虫害的6株树挂牌标记。

### 1.2 方法

**1.2.1 样品采集** 果实发育关键期从树冠中部东南西北4个方向的结果枝上采样,每次采10根新梢、10片复叶、10个果实,分别烘干粉碎装袋。生长季幼果整体烘干粉碎,成熟期果实青皮、种壳和种仁分别烘干粉碎装袋。具体采样方法详见表1。

表1 样品采集方法

Table 1 Sample collection method

果实发育关键期 Critical period of fruit development	采样时间 Sampling time	采样部位 Sampling site
幼果膨大期 Fruit expanding stage	2017年5月20日	枝条、叶片、幼果
硬核期 Shell-hardening stage	2017年6月20日	枝条、叶片、幼果
脂肪转化期 Fat transformation stage	2017年7月20日	枝条、叶片、幼果
果实成熟期 Fruit ripening stage	2017年9月7日	枝条、叶片、成熟果实

**1.2.2 测定项目及方法** 测定样品中大量元素N、P、K、Ca、Mg,微量元素Fe、Mn、Zn、Cu的含

收稿日期:2018-09-15

基金项目:中央财政林业科技推广示范资金项目(冀

TG[2016]001号)。

第一作者简介:张建英(1970-),女,学士,高级农艺师,从事经济林育种与栽培研究。E-mail:lkyjyl@163.com。

量,确定各发育关键期矿质营养元素含量比例。矿质元素的测定参照鲍士旦<sup>[6]</sup>的测定方法。测定委托单位为北京市营养源研究所。

1.2.3 数据分析 采用 Excel 2003 进行数据分析及作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 果实发育关键期 N 含量的变化

由图 1 可知,在果实发育前期,即脂肪转化期以前 N 元素在叶片中的含量高于枝条和果实当中。叶片和枝条中 N 的含量是逐渐下降的趋势,下降趋势平稳,到果实成熟期枝、叶中 N 元素的含量降到最低。果实中 N 元素含量在前期逐渐升高,脂肪转化期后升高迅速,到成熟期果实中含 N 量为 5.3%,高于枝条和叶片中。

N 在枝条、叶片和果实中总的含量幼果膨大期较高,随着枝条和果实的迅速生长,对 N 元素的消耗加快,到硬核期含量有所下降,脂肪转化期由于果实种仁的发育,蛋白质的合成,含 N 量开始增加,到果实成熟期,含 N 量达到了 8.61%,大多存在于种仁和叶片中。

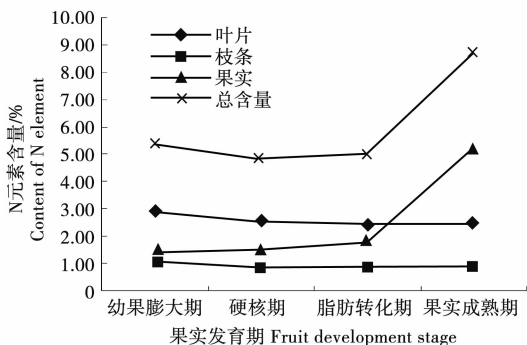


图 1 果实发育关键期 N 元素含量的变化  
Fig. 1 Changes of N element content in critical period of fruit development

### 2.2 果实发育关键期 P 含量的变化

由图 2 可知,果实发育前期叶片、枝条和果实中 P 的含量相差不大,脂肪转化期后果实中的含量迅速升高,成熟期果实中 P 的含量远远高于枝条和叶片,为 0.59%,枝条中为 0.12%,叶片中为 0.2%。果实中的 P 主要存在于种仁中,占果实中含量的 74.6%。P 在当年核桃器官中总的含量远低于 N 和 K,但 P 对植物营养有重要的作用,植物体内几乎许多重要的有机化合物都含有磷。

P 在果实发育各关键期中含量的分布曲线与 N 元素很接近,只是在硬核期的低谷更明显一

些,脂肪转化期后增长速度更快一些。

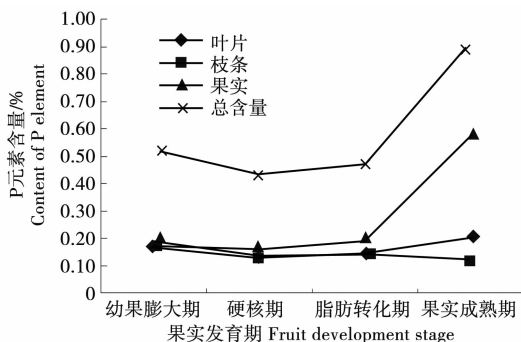


图 2 果实发育关键期 P 元素含量的变化  
Fig. 2 Changes of P element content in critical period of fruit development

### 2.3 果实发育关键期 K 含量的变化

由图 3 可知,K 元素在果实中的含量一直高于叶片和枝条中。脂肪转化期后叶片和果实中 K 元素的含量增加迅速,到果实成熟期远远高于枝条中的含量,K 元素在枝条中含量较少且呈逐渐降低的趋势。成熟期果实中的 K 主要存在于青皮中,达到了 4.33%,而种仁中含量很少,只有 0.43%。

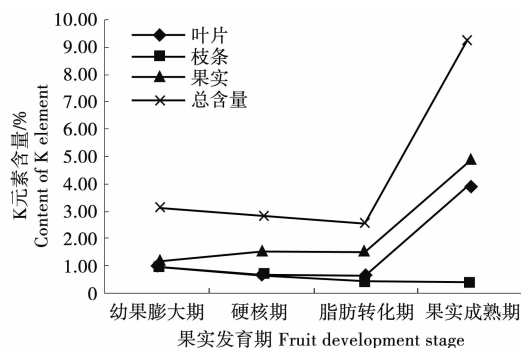


图 3 果实发育关键期 K 元素含量的变化  
Fig. 3 Changes of K element content in critical period of fruit development

### 2.4 果实发育关键期 Ca、Mg 含量的变化

由图 4 可知,Ca 元素在叶片和枝条中的含量呈先上升后下降的趋势,叶片中的含量高于枝条,叶片中 Ca 元素含量的最高值出现在脂肪转化期,枝条中的最高值出现在硬核期。果实中的含 Ca 量在前期较低但比较稳定,脂肪转化期后叶片和枝条中含量向果实转移,果实中含量迅速上升,到果实成熟期超过了叶片和枝条中的含量。成熟期果实青皮中 Ca 元素含量比较高。

从枝条、叶片和果实中总的含 Ca 量曲线来看,Ca 与 N、P、K 3 种元素不同,在当年新生器官

中的含量一直处于逐渐上升的状态。

由图 5 可知,Mg 元素在叶片中的含量高于枝条中,在叶片和枝条中的含量变化曲线比较一致,先缓慢升高后逐渐下降;果实中含量前期较低,低于叶片和枝条中的含量,变化曲线平稳,脂肪转化期后增长加快,成熟期果实中的含量超过了叶片和枝条。

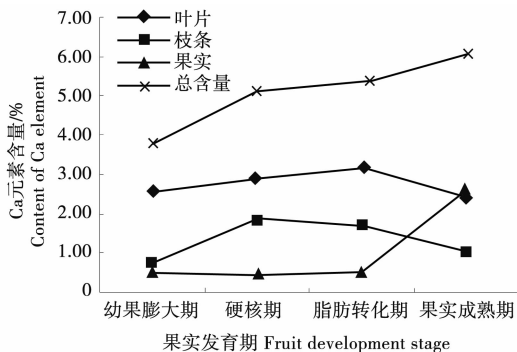


图 4 果实发育关键期 Ca 元素含量的变化

Fig. 4 Changes of Ca element content in critical period of fruit development

总含量的变化曲线同 Ca 相似,是缓慢升高的趋势。

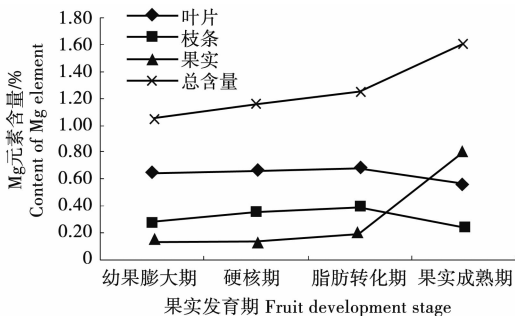


图 5 果实发育关键期 Mg 元素含量的变化

Fig. 5 Changes of Mg element content in critical period of fruit development

## 2.5 果实发育关键期微量元素含量的变化

由图 6 可知,Fe 元素主要存在于叶片中,果实成熟期叶片中达到了  $40.43 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ,而种仁中只  $3.0 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ 。叶片中 Fe 元素的最低值出现在脂肪转化期,为  $17.6 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ,枝条中的含量比较平稳,整个果实发育期变化不大;Fe 在果实中的含量较少,而且多存在于青皮中,青皮中的含量是种仁中的 3 倍。

由图 7 可知,Mn 元素主要存在于在叶片中,在果实发育前期成逐渐下降的趋势,其含量的最低值出现在脂肪转化期,脂肪转化期后叶片中

Mn 元素的含量有所上升;在果实中的含量生长前期略有升高,果实发育后期升高速度有所提升,但成熟期低于叶片中含量。

由图 8 可知,Zn 元素在叶片中的含量比较稳定,一直处于缓慢升高的趋势,变化曲线平稳;枝条中的含量生长前期一直处于较高的水平,果实成熟期降到最低;果实中 Zn 的含量前期低于叶片和枝条中,到成熟期含量最高。

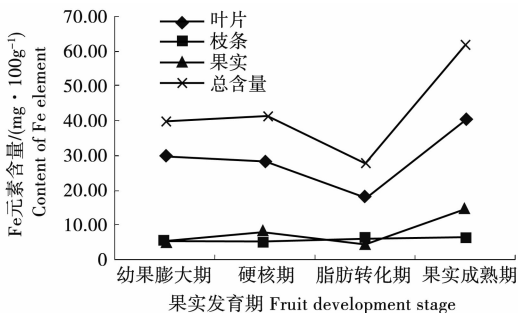


图 6 果实发育关键期 Fe 元素含量的变化

Fig. 6 Changes of Fe element content in critical period of fruit development

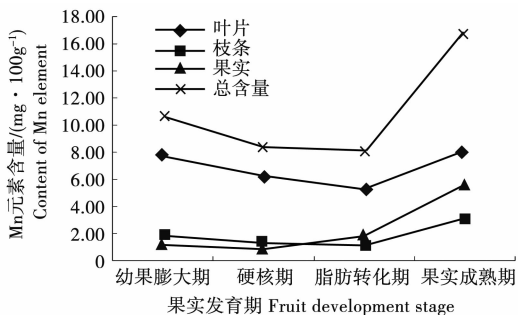


图 7 果实发育关键期 Mn 元素含量的变化

Fig. 7 Changes of Mn element content in critical period of fruit development

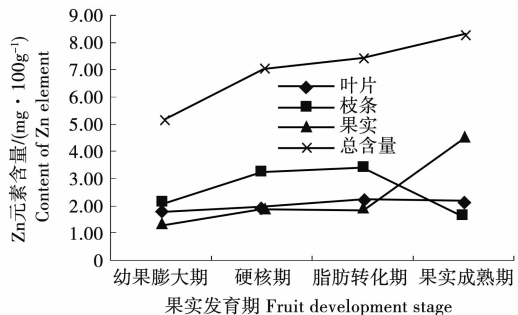


图 8 果实发育关键期 Zn 元素含量的变化

Fig. 8 Changes of Zn element content in critical period of fruit development

由图 9 可知,生长前期 Cu 元素在叶片、枝条和果实中的含量差别不大,脂肪转化期后,果实中

的含量升高加快,远远高于叶片和枝条中的含量。在果实中的分布以种仁含量最高,是青皮中含量的 2 倍,种皮含量的 5 倍。

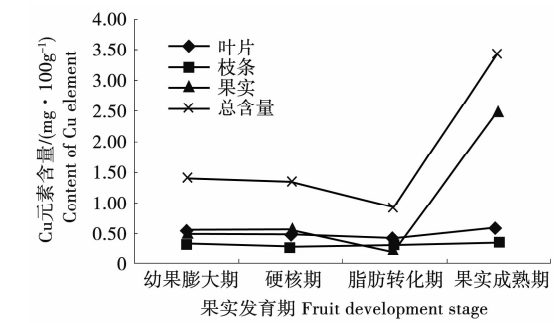


图 9 果实发育关键期 Cu 元素含量的变化  
Fig. 9 Changes of Cu element content in critical period of fruit development

2. 6 果实不同发育关键期矿质元素需求比例

核桃对矿质元素的需求贯穿整个发育过程,在果实发育的不同阶段对矿质元素的需求量不同,以矿质元素含量最低的数值作为分母,其他数

值与其相比可以计算出不同发育期的需求比例(表2)。

由表 2 可以看出,N、P、K 三大主要元素的需求量均以幼果膨大期最高,N 和 P 硬核期需求量最低,K 在脂肪转化期需求量最低。大量元素中 Ca 和 Mg 的需求量是脂肪转化期最高,幼果膨大期最低。4 种微量元素中的 Cu、Mn 在果实发育前期需求量大,发育后期需求量降低,Zn 在果实发育前期需求量低,后期需求量大。

2. 6 果实发育关键期不同矿质元素需求比例

表 3 表明,核桃幼果膨大期对大量元素需求的排序均为 N>Ca>K>Mg>P,对氮的需求量最大,对磷的需求量最低,硬核期和脂肪转化期大量元素含量的排序为 Ca>N>K>Mg>P,对钙的需求量上升到首位。表 4 表明,核桃果实发育 3 个关键期微量元素的需求排序均为 Fe>Mn>Zn>Cu,对铁的需求量远远大于其他元素。

表 2 不同果实发育关键期矿质元素需求比例

Table 2 Demand proportion of mineral elements in different critical period of fruit development						
矿质元素	幼果膨大期	硬核期	脂肪转化	幼果膨大期	硬核期	脂肪转化期
Mineral	需求量	需求量	期需求量	需求比例	需求比例	需求比例
elements	Demand in	Demand in	Demand in fat	Demand ratio in	Demand ratio in	Demand ratio in
	fruit expanding	shell-hardening	transformation	fruit expanding	shell-hardening	fat transformation
	stage	stage	stage	stage	stage	stage
N/(g•100 g <sup>-1</sup> )	5. 37	4. 91	5. 06	1. 09	1. 00	1. 03
P/(g•100 g <sup>-1</sup> )	0. 52	0. 43	0. 47	1. 21	1. 00	1. 09
K/(g100 g <sup>-1</sup> )	3. 13	2. 91	2. 59	1. 21	1. 12	1. 00
Ca/(g•100 g <sup>-1</sup> )	3. 83	5. 14	5. 33	1. 00	1. 34	1. 39
Mg/(g•100 g <sup>-1</sup> )	1. 06	1. 16	1. 26	1. 00	1. 09	1. 19
Cu/(mg•100 g <sup>-1</sup> )	1. 39	1. 33	0. 94	1. 48	1. 41	1. 00
Fe/(mg•100 g <sup>-1</sup> )	39. 94	41. 48	27. 56	1. 40	1. 51	1. 00
Mn/(mg•100 g <sup>-1</sup> )	10. 63	8. 36	8. 16	1. 30	1. 02	1. 00
Zn/(mg•100 g <sup>-1</sup> )	5. 13	7. 05	7. 49	1. 00	1. 37	1. 46

表 3 果实发育关键期 5 种大量元素需求比例

Table 3 Demand proportion of 5 major elements in critical period of fruit development					
发育时期	氮	磷	钾	钙	镁
Period	Nitrogen	Phosphorus	Potassium	Calcium	Magnesium
幼果膨大期 Fruit expanding stage	10. 33	1. 00	6. 02	7. 37	2. 04
硬核期 Shell-hardening stage	11. 42	1. 00	6. 77	11. 95	2. 70
脂肪转化期 Fat transformation stage	10. 77	1. 00	5. 51	11. 34	2. 68

表 4 果实发育关键期 4 种微量元素需求比例

Table 4 Demand proportion of 4 trace elements in critical period of fruit development

发育时间 Period	铜 Copper	铁 Iron	锰 Manganese	锌 Zinc
幼果膨大期 Fruit expanding stage	1.00	28.73	7.65	3.69
硬核期 Shell-hardening stage	1.00	31.19	6.29	5.30
脂肪转化期 Fat transformation stage	1.00	29.32	8.68	7.97

3 结论与讨论

3.1 矿质元素在核桃果实发育关键期中的含量不同

5 种大量矿质元素在幼果膨大期的含量排序为  $N > Ca > K > Mg > P$ , 这与浙江农林大学夏国华<sup>[4]</sup>对山核桃不同器官矿质元素含量的动态变化中的结果相一致。硬核期和脂肪转化期 5 种大量元素的排序为  $Ca > N > K > Mg > P$ , 这与山西农业大学园艺学院冀爱青<sup>[1]</sup>测得的核桃早实品种叶片大量矿质元素含 Ca 量最高相一致。Ca 主要分布在叶片和成熟果实的青皮中, 果壳和种仁中含量并不高。

4 种微量元素含量的排序为  $Fe > Mn > Zn > Cu$ , 这与冀爱青<sup>[1]</sup>测定的早实核桃叶片中微量元素含量结果一致。

核桃营养器官中含 Ca 和 Fe 量较高, 由此可以推断核桃是喜钙、喜铁树种。

3.2 不同矿质元素在果实发育 3 个关键期含量变化规律不同

Ca、Mg、Zn 在辽宁 1 号核桃果实发育过程中的含量变化呈递增趋势, 这跟河北农业大学郭向华<sup>[3]</sup>测定的绿岭核桃的结果相同; K、Cu、Fe、Mn 呈递减趋势; N 和 P 在幼果膨大期含量较高, 硬核期较低, 脂肪转化期有所升高, 但低于膨大期, 这也与郭向华<sup>[3]</sup>的测定结果一致。

3.3 核桃果实发育关键期对 N、P、K 三大元素的需求比例与常规施肥量不同

膨大期需求比例为 10.33:1.00:6.02, 硬核期为 11.42:1.00:6.77, 脂肪转化期为 10.77:1.00:5.51, 这与常规施用比例 1.00:0.60:0.90 相比较, P 和 K 的常规施用量明显偏高, 常规施 P、K 量是否偏高, 有待于进一步的研究。

3.4 辽宁 1 号核桃青皮中 K 的含量非常高, 明显高于其它矿质元素

辽宁 1 号核桃青皮中 K 的含量很高, 占到果实中含量的 88%, 这与本研究辽它 1 号青皮全成分测定结果相一致, 也与河北农业大学史永江对辽宁 1 号和清香核桃的测定结果一致, 史永江等<sup>[2]</sup>研究发现核桃果实成熟期间种仁中脂肪的积累与青皮中钾的变化极显著正相关。

参考文献:

[1] 冀爱青, 朱超, 彭功波, 等. 不同早实核桃品种叶片矿质元素含量变化及其与产量的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(5): 1234-1240.

[2] 史永江, 杨少辉, 张志华, 等. 核桃果实发育过程中青皮和果仁中矿质元素含量的变化[J]. 河北林果研究, 2007, 22(2): 177-179.

[3] 郭向华, 李保国, 张雪梅. 早实薄皮核桃叶片矿质元素年变化规律研究[J]. 河北林果研究, 2011, 26(2): 153-156.

[4] 夏国华, 黄坚钦, 解红恩, 等. 山核桃不同器官矿质元素含量的动态变化[J]. 果树学报, 2014, 31(5): 854-862.

[5] 赵明范. 核桃树体 N、P、K 营养元素诊断中采叶时间的确定[J]. 林业科学研究, 1991, 4(5): 578-581.

[6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 213-226.

Research on the Law of Mineral Elements Requirement Law in Critical Period of Walnut Fruit Development

ZHANG Jian-ying, MAO Xiang-hong, ZHANG Ying-ying

(Hebei Academy of Forestry Science/ Hebei Engineering and Technology Research Center of Improved Forest Variety, Shijiazhuang 050061, China)

**Abstract:** In order to master the law of mineral elements requirement in critical period of walnut fruit development and provide theory evidence to the technology of integral control of water and fertilization, the content of mineral element in samples from 5 year-old ‘Liaoning No. 1’ walnut was determined, which contains leaves, branches and fruits in different developmental stages (fruit expanding stage, shell-hardening stage, fat transformation stage and fruit ripening stage). The results showed that the content of mineral elements in different fruit development was different. Plants need more nitrogen element than others in the stage of fruit expanding, and more calcium element in the stage of shell-hardening and fat transformation. The alter trend of calcium, magnesium and zinc was increased and potassium, copper, iron and manganese was decreased during fruit development. The content of N and phosphorus was higher in the stage of fruit expanding, lowest in the stage of shell-hardening and increased slightly in the stage of fat transformation. The demand proportion of N, P and K in the critical period of walnut fruit development was different from that of conventional fertilization.

**Keywords:** walnut; critical period of fruit development; mineral element content; law of demand