

# 锥栗种仁发育期叶片与果实矿质元素含量的变化

范晓明<sup>1</sup>, 袁德义<sup>1,\*</sup>, 段经华<sup>2</sup>, 唐 静<sup>1</sup>, 杨斐翔<sup>1</sup>, 张 琳<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中南林业科技大学林学院, 经济林培育与保护省部共建教育部重点实验室, 长沙 410004; <sup>2</sup>中国林业科学研究院经济林研究开发中心, 北京 100091)

**摘 要:** 以‘长芒仔’锥栗为试材, 对其种仁发育期营养枝叶片、结果枝叶片及果实(种仁、刺苞、果皮+种皮)中 N、P、K、Ca、Mg、Mn、Fe、Zn、Cu 矿质元素含量及果实不同组织质量变化进行分析。结果表明: 坚果从幼胚发生期至成熟期为种仁发育的关键时期, 坚果、种仁和淀粉干质量较前期都有显著增长, 分别增加了 6.14 g (92.4%)、4.97 g (99.43%) 及 3.82 g (99.92%)。在种仁发育期, 营养枝及结果枝叶片中 Cu 含量呈显著下降变化, P、Zn 含量波动上升; 果实刺苞中 Ca、Fe、Cu 含量显著下降, Zn 含量上升后下降, 其余元素变化甚微; 果皮+种皮中 N、P、K、Mg、Cu 含量前期变化甚微, 后期显著下降, Ca、Zn 含量先增加后降低; 种仁中 N、P、K、Ca、Mg、Mn、Fe、Zn、Cu 含量均呈降低变化, 种仁中各元素总量均呈显著上升趋势, 在采收前 1 周 Ca、Mg、Mn、Fe、Cu 总量呈明显降低。种仁内淀粉总量与结果枝叶片及营养枝叶片中 Cu 含量, 刺苞中 Cu 含量, 果皮+种皮中 K、Mn 含量呈显著负相关; 与刺苞中 Fe 含量, 果皮+种皮中 P、Mg、Cu 含量呈极显著负相关; 而与种仁中的 N、P、K、Mg、Mn、Fe、Zn、Cu 总量极显著正相关。

**关键词:** 锥栗; 种仁发育期; 坚果; 淀粉; 矿质元素

**中图分类号:** S 664.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2014) 01-0044-09

## Dynamic Changes of Main Mineral Elements Content in Developing Fruits and Leaves of *Castanea henryi*

FAN Xiao-ming<sup>1</sup>, YUAN De-yi<sup>1,\*</sup>, DUAN Jing-hua<sup>2</sup>, TANG Jing<sup>1</sup>, YANG Fei-xiang<sup>1</sup>, and ZHANG Lin<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Key Laboratory of Cultivation and Protection for Non-Wood Forest Trees of Ministry of Education, College of Forestry, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China; <sup>2</sup>Non-timber Forestry Research and Development Center, Chinese Academy of Forestry, Zhengzhou 450003, China)

**Abstract:** In order to realize scientific fertilization and achieve high and stable yield, we investigated changes of main mineral elements (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, and Cu) in developing fruits i.e. kernel, prickly burs, and pericarp & seed coat, and different type of leaves in ‘Changmangzi’. In addition, dynamic changes of the weight of different tissues of the fruit were also measured. Compared to the embryo initiation stage, nut weight, kernel weight, and total starch weight in the kernel increased by 6.14 g (92.4%), 4.97 g (99.43%), 3.82 g (99.92%), respectively, at the stage of nut maturity. Cu contents in the leaves of bearing branch and the leaves of foliage branch showed a significant decrease tendency, while P and Zn showed an increase tendency. In the prickly burs, Ca, Fe, and Cu contents had a decrease

收稿日期: 2013-07-19; 修回日期: 2013-11-29

基金项目: 国家‘十二五’科技支撑计划课题 (2013BAD14B04)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: yuandeyi@126.com)

tendency, while Zn increased at the early stage and then decreased, and other mineral elements did not change significantly. In the pericarp & seed coat, N, P, K, Mg and Cu contents had a slight change at the early stage and then decreased significantly; Ca and Zn increased at the early stage and then decreased. In the kernel, N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, and Cu contents had a decrease tendency, while their gross had an increase tendency. The total starch in the kernel was significantly and negatively correlated with the contents of Cu in the leaves of bearing branch, the leaves of foliage branch, and the prickly burs, and the contents of K, Mn in the pericarp & seed coat, while significantly and positively correlated with the contents of N, P, K, Mg, Mn, Fe, Zn, and Cu in the kernel.

**Key words:** chinkapin; kernel development period; nut; starch; mineral elements

锥栗 (*Castanea henryi* Rehd. et Wils.) 果实锥形, 耐贮藏, 果肉酥脆可口, 糯而香甜, 其营养成分和风味均优于板栗 (宋爱云 等, 2001; 景芸 等, 2004)。锥栗主要自然生长于中国长江以南丘陵与山地, 长期以来处于野生、半野生状态, 栽培管理粗放, 生产上普遍存在低产现象 (廖丽, 2006)。20 世纪 90 年代部分学者开始对锥栗开展研究, 主要集中于种质资源开发利用 (范辉华, 1994; 胡哲森 等, 2002)、果实营养成分分析 (郑诚乐 等, 2002; 马冬雪和刘仁林, 2011) 和遗传多样性 (王峥嵘 等, 2001; 刘国彬 等, 2011) 等方面, 果实发育期矿质营养变化研究滞后。国内外对板栗 (林莉, 2004)、日本栗 (郑瑞杰 等, 2008) 等栗属植物矿质营养变化规律的研究已有较多报道 (Nancy et al., 1982; El Kohen et al., 1992; 李广会 等, 2012), 但在锥栗中还未见相关报道。因此, 本研究中以锥栗 ‘长芒仔’ 为试材, 通过对其种仁发育期叶片与果实矿质营养元素含量的变化进行分析, 揭示其变化规律, 阐明果实品质形成的机理, 为科学施肥, 优质丰产栽培提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试材

试验于 2011—2012 年在湖南汝城县宽量村锥栗实验基地进行。试验地平均日照 1 713 h, 年平均气温 16.6 °C, 月平均最高气温出现在 7 月, 为 25.6 °C, 年平均无霜期 273 d, 年均降水量 1 547.1 mm。

供试材料为 6 年生的锥栗 ‘长芒仔’, 树形为开心形。选择生长发育良好、树势相对一致的锥栗树 9 株, 3 株 1 小区, 3 次重复。取样时间从花后 95 d (幼胚发生期) 至 137 d (坚果成熟期), 每 7 d 采样 1 次。样品取自长势中庸的枝条, 于每株树东、南、西、北 4 个方向分别取样, 每方向取果实、结果枝叶和营养枝叶各 2 片, 所取叶片均为离果实最近。采集的叶片经自来水和去离子水冲洗后, 于沸水中杀青 15 min, 80 °C 烘至恒质量; 果实拆分为刺苞、果皮 + 种皮、种仁后, 在 80 °C 烘箱中烘至恒质量。将烘干备测矿质元素的各样品用不锈钢粉碎机粉碎, 再用 0.5 mm 的筛子过筛, 于密闭容器内保存, 待测。

### 1.2 测定方法

果实中淀粉测定采用碘—碘化钾法, 可溶性总糖采用蒽酮法 (孙红梅 等, 2004; 郝建军 等, 2007)。

叶片与果实样品用硫酸—双氧水消煮后, 用全自动间断化学分析仪 (Smartchem 200, Westco Scientific Instruments, Italy) 测定全 N、全 P 含量; 硝酸—高氯酸消煮后, 用原子吸收分光光度计测定 K、Ca、Mg、Mn、Fe、Zn、Cu 含量 (中华人民共和国林业部科技司, 1998)。

## 2 结果与分析

### 2.1 果实不同部分干样质量及种仁中淀粉和还原性糖的变化

#### 2.1.1 果实不同部分干样质量的变化

如图 1 所示: 锥栗种仁发育期, 锥栗球苞、刺苞、坚果及种仁质量均呈现明显上升趋势, 分别增加了 10.14 g (65.11%), 4 g (44.79%), 6.14 g (92.4%), 4.97 g (99.43%); 果皮 + 种皮无显著变化。该时期是果实干样质量增加的关键时期。

#### 2.1.2 种仁中淀粉、还原性糖总量和含量的变化

如图 2 所示, 种仁发育期, 种仁中淀粉含量先上升后下降, 而可溶性糖含量则呈下降后再上升趋势; 种仁中淀粉及可溶性糖的总量随着种仁干样质量的增加而增加, 种仁中淀粉和可溶性糖的增量分别为 3.82 g (99.92%), 0.46 g (98.32%)。

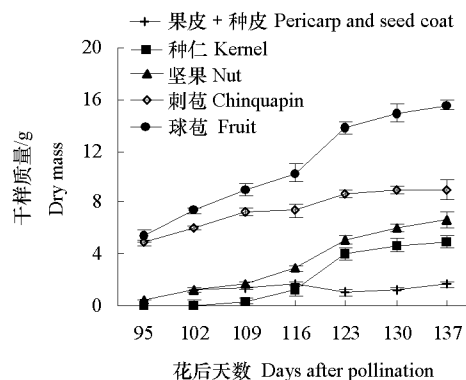


图 1 种仁发育期果实不同组织质量

Fig. 1 Different organization weight in developing fruits

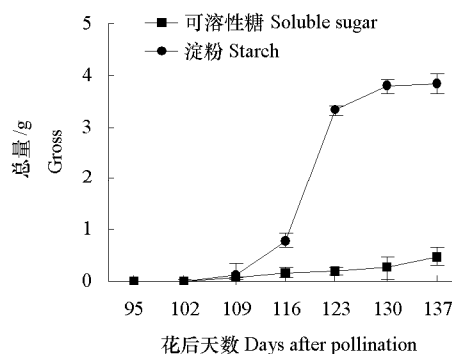
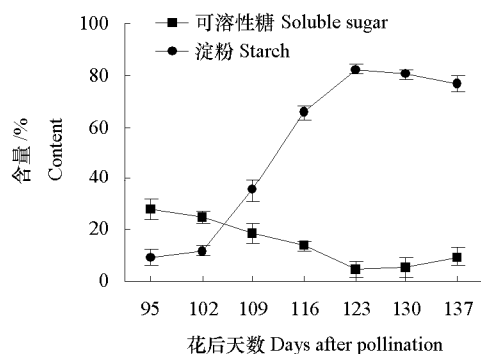


图 2 种仁发育期种仁中淀粉和可溶性糖含量及总量的变化

Fig. 2 Dynamic changes of content and gross of starch and soluble sugar in developing kernel

### 2.2 种仁发育期叶片与果实主要矿质元素的变化

#### 2.2.1 N

花后 95 ~ 123 d, 营养枝叶、结果枝叶中 N 含量总体呈下降的趋势; 刺苞 N 素含量先下降后缓慢回升; 果皮 + 种皮 N 素含量前期几乎无变化, 自花后 123 d 显著下降; 种仁 N 素含量下降明显, 花后 123 d 较 95 d 下降了 40.46%, 而此时期 N 总量增加了 82.89% (图 3)。花后 95 ~ 123 d 结果枝叶、营养叶及刺苞中 N 含量下降明显可能是由于这 3 个部位中的 N 素集中向种仁中转移; 果皮 + 种皮 N 含量不变的原因可能是其吸入量与转移至种仁的量持平, 花后 123 d, 果皮 + 种皮 N 含量显著下降的原因是 N 素向种仁中转移。这说明种仁发育前期营养叶、结果枝叶及刺苞中含有充足的 N 可影响种仁中的含 N 量, 因此种仁发育之前应该追施 N 肥。

#### 2.2.2 P

如图 4 所示, 营养枝及结果枝叶 P 含量前期变化甚微, 自花后 116 ~ 130 d 显著上升, 之后营

养叶无显著变化, 结果枝叶显著下降; 种仁含 P 量呈下降趋势, 花后 102~109 d 下降最快, 最低点出现在花后 123 d, 之后缓慢上升。果皮 + 种皮中前期下降缓慢, 自花后 123 d 至采收期显著下降; 刺苞 P 含量变化不明显, 为小幅度的双峰曲线; 种仁中总 P 量显著上升, 花后 109 d 至采收期为种仁总 P 量的主要积累时期。P 对碳水化合物的形成、转运、并进一步合成蔗糖、淀粉以及纤维素等起着重要作用, 而锥栗种仁发育期淀粉含量迅速增加, 所以种仁中 P 含量始终保持较高水平, 且显著高于叶片、刺苞、果皮 + 种皮的含 P 量。因此果皮 + 种皮中 P 含量下降, 可能是由于其 P 元素向种仁中转移, 且花后 123~137 d 较为明显。结果枝及营养枝叶片 P 量没有下降, 反而上升可能是由于其吸收量大于转移量, 这可能与花后 109 d 开始, 锥栗树体树冠下层少量叶片凋零, P 元素从即将凋零的叶片转移至结果枝叶片及与结果枝相临近的营养枝的叶片中有关。可见, 该时期是供给 P 的关键时期。

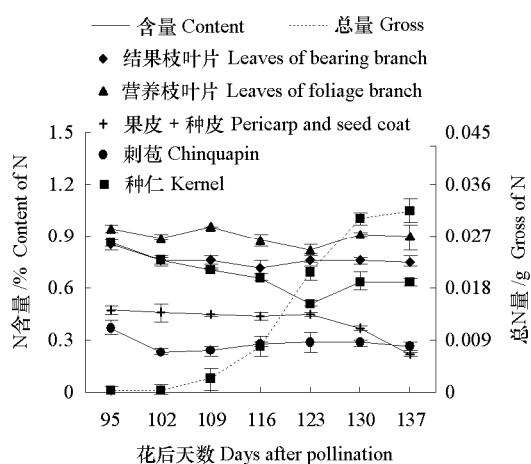


图3 种仁发育期叶片及果实各部分 N 含量

Fig. 3 The content of N in developing leaves and fruits (kernel, chinquapin, pericarp & seed coat)

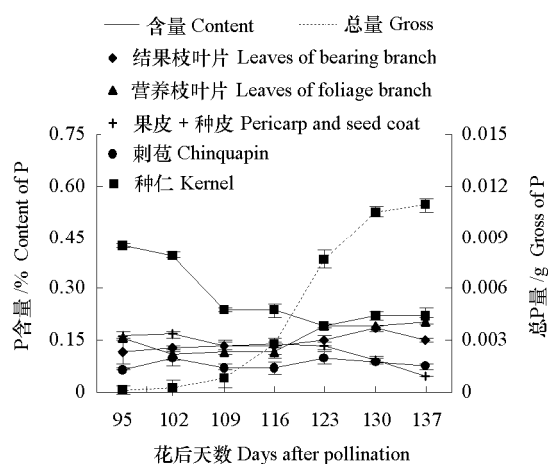


图4 种仁发育期叶片及果实各部分 P 含量

Fig. 4 The content of P in developing leaves and fruits (kernel, chinquapin, pericarp & seed coat)

### 2.2.3 K

如图 5 所示, 结果枝叶 K 含量几乎无变化, 营养枝叶呈下降趋势, 花后 109~116 d 下降较快, 之后变化甚微; 种仁 K 含量在花后 95~109 d 下降较快, 之后含量不变; 果皮 + 种皮前期变化甚微, 自花后 116 d 显著下降; 刺苞 K 含量几乎无变化; 种仁总 K 量显著上升。K 在树体中主要以无机盐的形式存在, 所以具有很强的移动性。由此可以推断: 在花后 116 d 果皮 + 种皮中的 K 可能迅速向种仁中转移。结果枝叶片 K 含量变化不显著可能是由于其吸收量大于转移量, 这可能与花后 109 d 树冠下层少量叶片凋零, 将 K 进行转移有关。营养枝叶片 109~116 d K 含量显著下降, 可能是这段时间内 K 素向树体其它部分转移, 自花后 116 d 开始得到了充足供给, 因此保持不变。

### 2.2.4 Ca

营养枝叶片 Ca 含量前期下降, 自花后 102 d 上升至最大值  $42.25 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , 之后又逐渐下降, 结果枝叶片呈双峰曲线, 最大值出现在花后 123 d; 刺苞与果皮 + 种皮 Ca 含量的变化规律一致, 花后 102 d 以及 116 d 分别为双峰曲线的峰值, 花后 123 d 至采收期无显著变化; 种仁 Ca 含量呈下降趋势, 但是变化不显著; 种仁总 Ca 量呈先上升后波动下降趋势, 花后 116 d 出现了最高值 4.03 mg (图 6)。种仁发育期, 种仁中的 Ca 含量显著低于叶片、刺苞、果皮 + 种皮等器官, 其主要原因可能是 Ca 在植物体内主要以化合物形式存在, 不易运输从而导致此时植物的生长点种仁 Ca 含量相对其他器官偏低。

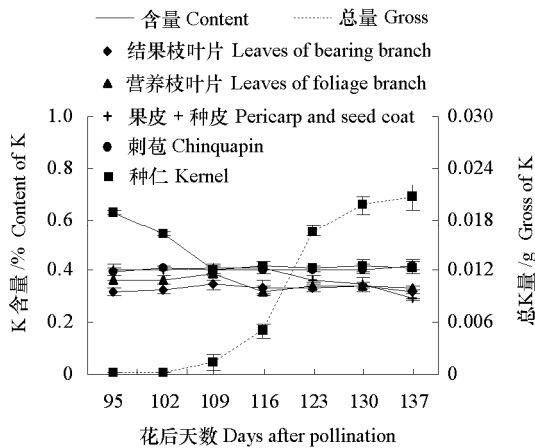


图5 种仁发育期叶片及果实各部分 K 含量

Fig. 5 The content of K in developing leaves and fruits (kernel, chinquapin, pericarp & seed coat)

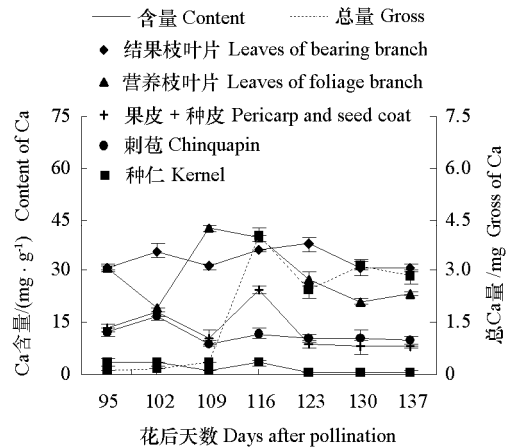


图6 种仁发育期叶片及果实各部分 Ca 含量

Fig. 6 The content of Ca in developing leaves and fruits (kernel, chinquapin, pericarp & seed coat)

### 2.2.5 Mg

如图 7 所示, 花后 95 ~ 109 d, 营养枝叶片 Mg 含量出现一个最低值 ( $1.45 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ), 回升后变化不显著, 花后 95 ~ 102 d 结果枝叶 Mg 含量上升, 后无显著变化; 刺苞 Mg 含量变化不大; 果皮 + 种皮 Mg 含量前期略有上升, 自花后 116 d 下降至最低点; 种仁 Mg 含量总体呈波动下降趋势; 种仁总 Mg 量持续上升, 花后 130 d 达到最大值  $6.51 \text{ mg}$ , 采摘前 1 周内显著下降, 而此时期营养枝叶片、结果枝叶片、刺苞 Mg 含量变化不大, 因此, 种仁在花后 130 ~ 137 d 出现的负增长可能是由于种仁中 Mg 向树体的这几个器官发生了转移。

### 2.2.6 Mn

如图 8 所示, 营养枝叶片和结果枝叶片 Mn 含量均呈先上升后下降的趋势; 刺苞及果皮 + 种皮 Mn 含量的变化趋势相近, 均在花后 123 d 达到最低值, 之后缓慢回升; 种仁 Mn 含量总体变化不大; 种仁总 Mn 量持续上升, 花后 123 ~ 130 d 增量最大, 采摘前 1 周内显著下降。果实不同部位 Mn 含量大小顺序为营养枝叶 > 结果枝叶 > 刺苞 > 果皮 + 种皮 > 种仁。Mn 不仅是酶的组成成分参与蛋白质、碳水化合物等多种代谢过程, 同时也是叶绿体的组成成分, 参与光合电子传递系统中的氧化还原过程, 因此, 植物体中能进行光合作用的叶片及刺苞 Mn 含量远大于种仁。

### 2.2.7 Fe

如图 9 所示, 营养枝叶片和结果枝叶片 Fe 含量均呈现波动上升的趋势; 刺苞 Fe 含量前期变化甚微, 自花后 109 d 显著下降; 果皮 + 种皮含 Fe 量呈波动下降趋势; 花后 95 ~ 109 d, 种仁 Fe 含量显著下降, 之后变化甚微; 种仁总 Fe 量与种仁总 Mg 量变化趋势一致, 花后 130 d 达到最大值  $0.62$

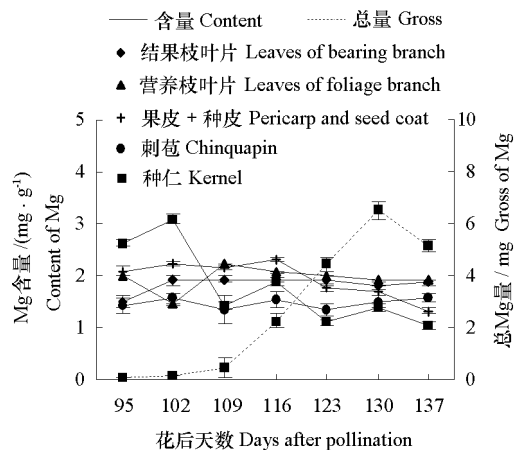


图7 种仁发育期叶片及果实各部分 Mg 含量

Fig. 7 The content of Mg in developing leaves and fruits (kernel, chinquapin, pericarp & seed coat)

mg, 采摘前 1 周内显著下降。Fe 是植物体内多种氧化酶、固氮酶的组成部分, 直接影响蛋白质和氮素的合成与代谢。由此可以推断, 花后 109 ~ 130 d, 种仁中的 Fe 主要来源于刺苞。种仁中含 Fe 量与营养枝叶片及结果枝叶片无显著相关性。

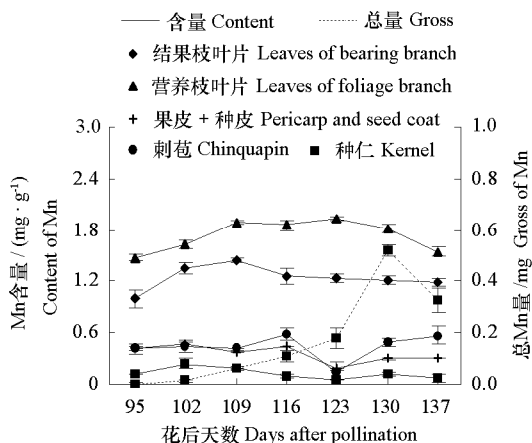


图 8 种仁发育期叶片及果实各部分 Mn 含量

Fig. 8 The content of Mn in developing leaves and fruits (kernel, chinquapin, pericarp & seed coat)

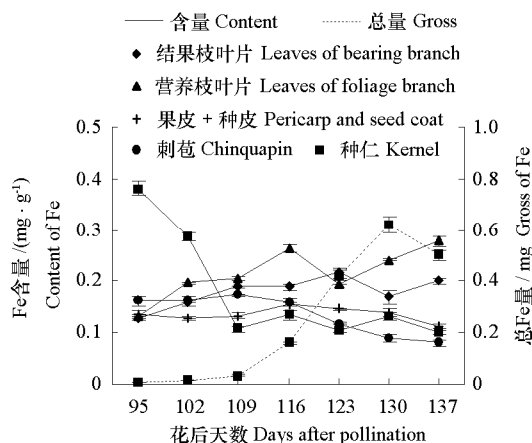


图 9 种仁发育期叶片及果实各部分 Fe 含量

Fig. 9 The content of Fe in developing leaves and fruits (kernel, chinquapin, pericarp & seed coat)

## 2.2.8 Zn

如图 10 所示, 营养枝叶片中 Zn 含量呈波动上升趋势, 结果枝叶片中 Zn 含量逐渐上升至最大值; 刺苞中 Zn 含量与果皮 + 种皮中 Zn 含量变化一致, 自花后 109 ~ 116 d 迅速上升均达到最大值, 分别为  $87.64 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  及  $100.27 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ , 之后下降趋势明显, 尤以花后 116 ~ 123 d 最为显著; 种仁 Zn 含量自花后 95 ~ 109 d 显著下降, 之后变化甚微; 种仁总 Zn 量呈上升趋势, 花后 116 ~ 123 d, 增量最为显著, 之后缓慢增长, 这与刺苞及果皮 + 种皮变化趋势恰好相反。因此, 自花后 116 d 起, 种仁中 Zn 的主要来源可能是刺苞及果皮 + 种皮。

## 2.2.9 Cu

如图 11 所示, 营养枝叶片、结果枝叶片及果实各组分的 Cu 含量显著低于其它矿质元素, 且均波动下降。花后 95 d 至采收前, 结果枝叶片、营养枝叶片、刺苞、果皮 + 种皮及种仁分别下降了

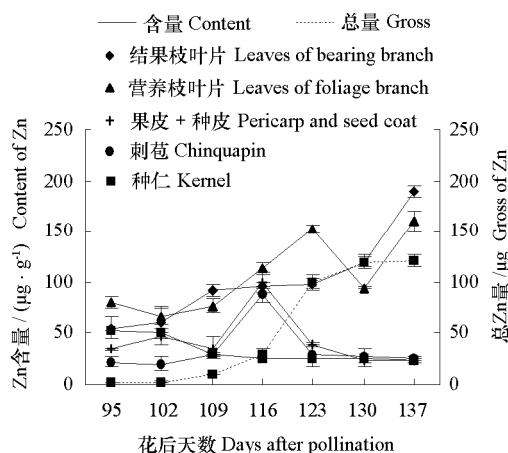


图 10 种仁发育期叶片及果实各部分 Zn 含量

Fig. 10 The content of Zn in developing leaves and fruits (kernel, chinquapin, pericarp & seed coat)

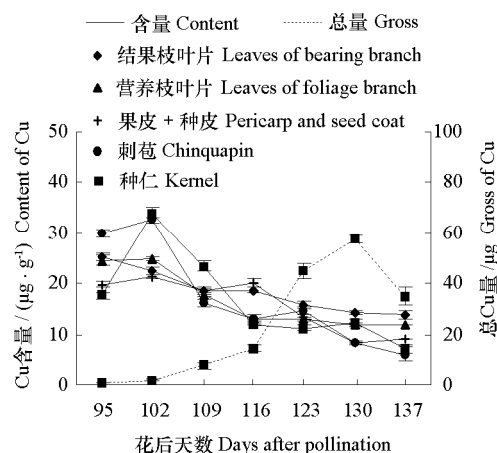


图 11 种仁发育期叶片及果实各部分 Cu 含量

Fig. 11 The content of Cu in developing leaves and fruits (kernel, chinquapin, pericarp & seed coat)

$10.6 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  (60.23%),  $24 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  (80%),  $11.4 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  (45.24%),  $12.8 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  (52.03%),  $10.6 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  (53.54%), 种仁中总 Cu 量则显著上升, 至采收前 1 周出现负增长。

刺苞中 Cu 含量显著下降的原因可能是前期参与了叶绿素的构成, 后期作为多种氧化酶的成分, 随坚果发育而转移到种仁中。

### 2.3 种仁内淀粉总量与营养枝叶片、结果枝叶片、刺苞、果皮 + 种皮中矿质元素含量及种仁矿质元素总量的相关性分析

从表 1 可知, 种仁内淀粉总量与种仁中 N、P、K、Mg、Mn、Fe、Zn、Cu 总量均呈极显著正相关; 与结果枝及营养枝叶片中 P、Zn 含量呈显著正相关, Cu 含量显著负相关; 与刺苞 Fe 含量呈极显著负相关, Cu 含量显著负相关; 与果皮 + 种皮中 P、Mg、Cu 含量呈极显著负相关, K, Mn 含量显著负相关。由此可推断: 随着种仁中淀粉总量的增加, 结果枝及营养枝叶片中 Cu, 刺苞中的 Fe、Cu, 果皮 + 种皮中 P、K、Mg、Mn、Cu 均不断向种仁中转移。

表 1 种仁内淀粉总量与结果枝叶片、营养枝叶片、刺苞、果皮 + 种皮矿质元素含量及种仁矿质元素总量的相关系数

Table 1 The correlation coefficient of mineral elements contents in the leaves of bearing branch, the leaves of foliage branch, bur, pericarp & seed coat as well as the gross of mineral elements in the kernel and the gross of starch in the kernel

部位 Part	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu
种仁中总量 Kernel	0.986**	0.992**	0.999**	0.622	0.975**	0.878**	0.984**	0.999**	0.950**
结果枝叶片中含量 Leaves of bearing branch	-0.279	0.851*	-0.127	-0.085	0.170	-0.194	0.559	0.780*	-0.878*
营养枝叶片含量 Leaves of foliage branch	-0.499	0.894*	-0.567	-0.488	0.065	0.171	0.535	0.765*	-0.797*
刺苞中含量 Chinquapin	-0.051	0.346	0.545	-0.504	0.139	-0.074	-0.971**	-0.142	-0.799*
果皮 + 种皮中含量 Pericarp & seed coat	-0.702	-0.800**	-0.855*	-0.634	-0.893**	-0.795**	-0.186	-0.412	-0.961**

\*  $\alpha = 0.05$ , \*\*  $\alpha = 0.01$ 。

## 3 讨论

锥栗坚果从幼胚发生期至坚果成熟期为种仁发育的关键时期, 在此过程中果实不同组织质量及叶片、果实中矿质元素含量呈现不同变化规律。‘长芒仔’锥栗种仁在发育过程中种仁的质量、淀粉总量增长速度呈先上升后下降的趋势, 这与王凤才等 (1991) 对板栗的研究结果一致。种仁中 N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn 含量均呈下降变化, 而总量均显著上升, 这与胡志伟等 (2011) 对核桃种仁发育过程中矿质营养变化研究基本一致; 叶片中 N、P、K 含量在种仁发育期变化较小, 这与曹均等 (2009) 对板栗叶片 P、K 含量变化相一致; 刺苞中 Ca、Fe、Cu 在种仁发育期呈总体下降变化, 而 P、K、Mg 变化不显著, Zn 含量呈上升后再下降, 这与郑诚乐 (2008) 对锥栗果实发育中刺苞 “K 先下降后上升, Ca 呈总体上升趋势” 不同, 可能与实验采样时间不一致有关。

K 对锥栗种仁发育及淀粉合成非常重要。本研究结果显示, 种仁发育期营养枝叶片、结果枝叶片及果实各组中 K 含量仅次于 N, 始终保持较高水平。K 是淀粉合成酶的活化剂, 直接参与淀粉的生物合成 (Tsai Mei et al., 1985; 崔丽娜 等, 2011), 在碳水化合物代谢、呼吸作用及蛋白质代谢中起重要作用 (Thomas et al., 1983; 王旭东 等, 2003); Ferenc 等 (2000) 研究冬小麦发现当 K 肥供应不足时, 叶片中 K 离子浓度下降, 淀粉合成量显著降低; 梁晓芳 (2004) 研究发现施加 K 肥后, 冬小麦花后旗叶的光合速率显著提高, 淀粉的积累也显著增加。本试验结果与以上研究相一致, 说明在锥栗种仁发育期, 生产上始终保持较高 K 供应对提高锥栗产量较为重要。

在种仁发育过程中, 锥栗坚果不同组织质量及叶片、果实中矿质元素含量变化在不同时期变化程度不同。从文中图示各成分的变化情况可以看出, 种仁发育在花后 95 d (幼胚发生期) 至花后 137 d (坚果成熟期) 各成分的变化大致分为两个阶段, 在花后 109 d 以前各成分变化较慢, 109 d 后种仁质量、淀粉总量及各营养元素总量均呈显著增加。由此可以推断, 花后 109 d 是种仁发育期矿质元素在叶片与果实中变化的活跃时期。在该时期, 叶片中 (结果枝叶及营养枝叶) Ca、Cu 含量显著下降, P、Fe、Zn 含量显著上升; 刺苞中 Fe 含量、果皮+种皮中 N、P、K、Mg、Fe、Cu 含量显著下降; 种仁内淀粉总量与刺苞中 Fe 含量呈极显著负相关; 与果皮+种皮中 K、Mn 含量显著负相关, P、Mg 含量呈极显著负相关。通过分析, 刺苞中 Fe, 果皮 + 种皮中 P、Mg、K 有明显向种仁中转移的迹象, 而且此时期树冠下层有少量老叶提前衰老, 所以这段时间最容易出现矿质元素缺乏的现象, 因此在栽培过程中, 为促进种仁良好发育, 应选在花后 109 d 左右进行追肥, 尤其是 P、K 肥。

## References

- Cao Jun, Wu Ji, Zhao Xiao-rong, Li Gui-tong, Sun Ming-de, Cao Qing-chang, Lin Qi-mei. 2009. The concentrations and changes of major mineral nutrition elements in the leaves of Jingdong chestnut. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 24 (Supplement): 205 – 207. (in Chinese)
- 曹 均, 吴 姬, 赵小蓉, 李贵桐, 孙明德, 曹庆昌, 林启美. 2009. 京东板栗叶片主要矿质营养元素含量及其变化特征. *华北农学报*, 24 (增刊): 205 – 207.
- Cui Li-na, Xu Zhen, Dong Shu-ting. 2011. Effects of potassium fertilization on enzyme activities associated with sucrose metabolism in the grain development of maize. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 17 (4): 869 – 880. (in Chinese)
- 崔丽娜, 许 珍, 董树亭. 2011. 施钾对夏玉米籽粒发育过程中糖代谢相关酶活性的影响. *植物营养与肥料学报*, 17 (4): 869 – 880.
- Fan Hui-hua. 1994. An investigation on cultivated varieties of *Castanea henryi* in Jianou County, Fujian, China. *Journal of Fujian College of Forestry*, 14 (3): 277 – 281. (in Chinese)
- 范辉华. 1994. 建瓯龙村乡锥栗农家品种的调查. *福建林学院学报*, 14 (3): 277 – 281.
- Ferenc Zsoldos, Agnes Vashegyi, Lajos Bona, Attila Pecsvaradi, Zsolt Szegletes. 2000. Growth of and potassium transport in winter wheat and durum wheat as affected by various Aluminum exposure times. *Journal of Plant Nutrition*, 23 (7): 913 – 926.
- Hao Jian-jun, Kang Zong-li, Yu Yang. 2007. The experimental technology of plant physiology. Beijing: Chemical Industry Press. (in Chinese)
- 郝建军, 康宗利, 于 洋. 2007. 植物生理学实验技术. 北京: 化学工业出版社.
- Hu Zhe-sen, Shi Zhong-jie, Li Rong-sheng, Chen Nian-dong. 2002. The development and utilization of *Castanea henryi* seeding resource in the north of Fujian Province. *Territory & Natural Resources Study*, 2: 73 – 74. (in Chinese)
- 胡哲森, 时忠杰, 李荣生, 陈念东. 2002. 闽北锥栗种质资源的开发利用. *国土与自然资源研究*, 2: 73 – 74.
- Hu Zhi-wei, Li Bao-guo, Qi Guo-hui, Guo Su-ping, Zhang Xue-mei. 2011. Dong Li-xin, Li jie. Changes of main mineral elements contents in leaves and fruits during the kernel-filling period of “luling” walnut. *Scientia Silvae Sinicae*, 47 (8): 82 – 87. (in Chinese)
- 胡志伟, 李保国, 齐国辉, 郭素萍, 张雪梅, 董丽欣, 李 杰. 2011. “绿岭”核桃种仁充实期叶片与果实矿质元素含量变化规律. *林业科学*, 47 (8): 82 – 87.
- Jing Yun, Liang Yi-chi, Yang Hua. 2004. Comparison of fruit nutrition components of *Castanea henryi* clones. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 21 (2): 176 – 179. (in Chinese)
- 景 芸, 梁一池, 杨 华. 2004. 不同锥栗无性系果实营养成分的比较分析. *浙江林学院学报*, 21 (2): 176 – 179.
- Kohen A E I, Rouhier H, Mousseau M. 1992. Changes in dry weight and nitrogen partitioning induced by elevated CO<sub>2</sub> depend on soil nutrient availability in sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill). *Annals Forest Science*, 49 (2): 83 – 90.
- Li Guang-hui, Guo Su-juan, Xiong Huan, Lu Wen-jun. 2012. Study on the characteristic of mineral elements in leaves on fruiting branches of *Castanea mollissima* BL. *Northern Horticulture*, (20): 8 – 12. (in Chinese)
- 李广会, 郭素娟, 熊 欢, 吕文君. 2012. 板栗结果枝叶片矿质营养特征研究. *北方园艺*, (20): 8 – 12.
- Liang Xiao-fang. 2004. Studies on potassium cycling in plant-soil system and its relation to kernel yield and quality in winter wheat [Ph D.



- Dissertation]. Tai'an: Shangdong Agricultural University. (in Chinese)
- 梁晓芳. 2006. 冬小麦植株—土壤钾素循环及其与产量和品质关系的研究[博士论文]. 泰安: 山东农业大学.
- Liao Li. 2006. The physiological and biochemic difference of *Castanea henryi* varieties and its effect on yield and quality characteristics[M. D. Dissertation]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. (in Chinese)
- 廖 丽. 2006. 锥栗主栽品种主要生理生化差异及其对品质、产量的影响[硕士论文]. 福州: 福建农林大学.
- Lin Li. 2004. Studies on mineral nutrients and fertilizer application of *Castanea mollissima* BL[M. D. Dissertation]. Beijing: Beijing Forestry University. (in Chinese)
- 林 莉. 2004. 板栗矿质营养与施肥研究[硕士论文]. 北京: 北京林业大学.
- Liu Guo-bin, Gong Bang-chu, Lai Jun-sheng, Gu Jia-long, Xie Zheng-cheng. 2011. Analysis of genetic diversity and genetic relationships of *Castanea henryi* varieties. Forest Research, 24 (6): 707 - 712. (in Chinese)
- 刘国彬, 龚榜初, 赖俊声, 鼓佳龙, 谢正成. 2011. 锥栗农家品种的遗传多样性及亲缘关系分析. 林业科学研究, 24 (6): 707 - 712.
- Ma Dong-xue, Liu Ren-lin. 2011. Analysis of 3 mineral elements and Vc contents in nuts of 9 fagaceae species. Forest Research, 24 (2): 253 - 255. (in Chinese)
- 马冬雪, 刘仁林. 2011. 9 种壳斗科树种坚果 3 种矿质元素及 Vc 含量分析. 林业科学研究, 24 (2): 253 - 255.
- Nancy L Ostman, George T. 1982. Weaver. Autumnal nutrient transfers by retranslocation, leaching, and litter fall in a chestnut oak forest in southern Illinois. Canadian Journal of Forest Research, 12 (1): 40 - 51.
- Song Ai-yun, Chen Qin, Lei Ri-ping, Chen Hui. 2001. Analysis of content of nut nutrient elements in different cultivars of henry chestnut henry chestnut *Castanea henryi*. Nonwood Forest Researches, 19 (4): 5 - 7. (in chinese)
- 宋爱云, 陈 钦, 雷日平, 陈 辉. 2001. 锥栗栽培品种果实营养成分差异的分析. 经济林研究, 19 (4): 5 - 7.
- Sun Hong-mei, Li Tian-lai, Li Yun-fei. 2004. Starch metabolism and sprouting of bulb in *Lilium davidii* var. *unicolor* stored at different cold temperatures. Acta Horticulturae Sinica, 31 (3): 337 - 342. (in Chinese)
- 孙红梅, 李天来, 李云飞. 2004. 不同贮藏温度下兰州百合种球淀粉代谢与萌发关系初探. 园艺学报, 31 (3): 337 - 342.
- Ou-Lee T M, Setter T L. 1985. Enzyme activities of starch and sucrose pathways and growth of apical and based maize kernels. Plant Physiology, 79 (3): 848 - 851.
- Rufty T W, Kerr P S, Huber S C. 1983. Characterization of diurnal changes in activities of enzymes involved in sucrose biosynthesis. Plant Physiology, 73 (2): 428 - 433.
- Wang Xu-dong, Yu Zhen-wei, Wang Dong. 2003. Effect of potassium on sucrose content of flag leaves and starch accumulation of kernels in wheat. Acta Phytocologica Sinica, 27 (2): 196 - 201. (in Chinese)
- 王旭东, 于振文, 王 东. 2003. 钾对小麦旗叶蔗糖和籽粒淀粉积累的影响. 植物生态学报, 27(2): 196 - 201.
- 王凤才, 金锡凤, 杨兴华, 张 毅. 1991. 板栗苞、果成熟过程中淀粉、糖及氮、磷、钾含量的变化. 落叶果树, (3): 24 - 26.
- Wang Zheng-feng, Wang Bo-sun, Li Ming-guang, Zhang Jun-li. 2001. Genetic differentiation of *Castanopsis chinensis* population in three communities in Dinghu Mountain. Acta Ecologica Sinica, 21 (8): 1308 - 1313. (in Chinese)
- 王峥嵘, 王伯荪, 李鸣光, 张军丽. 2001. 锥栗种群在鼎湖山三个群落中的遗传分化研究. 生态学报, 21 (8): 1308 - 1313.
- Zheng Cheng-le, Zhang Xiao-hong, Huang Ning, Jiang You. 2002. Primary study on analysis of nutrient ingredients in nuts of different chinquapin (*Castanea henryi*) cultivars. Subtropical Plant Science, 32 (4): 5 - 8. (in Chinese)
- 郑诚乐, 张晓红, 黄 宁, 江 由. 2002. 锥栗不同品种果实营养成分分析初报. 亚热带植物科学, 32 (4): 5 - 8.
- Zheng Cheng-le. 2008. Studies on several aspects on chinquapin (*Castanea henryi* Rehd. & Wils.)'s biology[Ph D. Dissertation]. Fujian: Fujian Agriculture and Forestry University. (in Chinese)
- 郑诚乐. 2008. 锥栗生物学若干问题研究[博士论文]. 福建: 福建农林大学.
- Zheng Rui-jie, Wang De-yong, Lei Ming. 2008. Annual dynamic changes of the mineral nutrition contents in leaves of *Castanea crenata* Sieb. Et Zucc. Journal of Northwest Forestry University, 23 (4): 14 - 17. (in Chinese)
- 郑瑞杰, 王德永, 雷 鸣. 2008. 日本栗叶片矿质元素含量年动态变化的研究. 西北林学院学报, 23 (4): 14 - 17.
- 中华人民共和国林业部科技司. 1998. 中国林业标准汇编: 营造林卷, BB7887-87, 森林植物与森林枯枝落叶层全硅全铁全铝全钙全镁全磷全硫全铜全锌的测定(硝酸-高氯酸消煮法). 北京: 中国标准出版社.