

## 不同林龄板栗叶片矿质营养的季节变化及差异分析

李广会, 郭素娟, 谢 鹏

(北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 以河北省迁西县不同林龄(8, 12, 20, 30年生)板栗品种‘燕山早丰’*Castanea mollissima* ‘Zaofeng’为试材, 通过测定不同物候期结果枝叶片主要矿质元素的质量分数并进行差异分析, 研究了不同林龄板栗需肥规律及树体营养差异, 旨在为不同林龄‘燕山早丰’的营养诊断和科学施肥提供参考。结果表明: ①不同林龄板栗对养分的需求规律一致, 其中开花授粉期对氮、磷、钾、钙和硼与果实膨大期对氮、磷、钾、钙需求量较大; 果实发育期间板栗对铁和锰的需求有持续增加的趋势; 不同物候期板栗对铜和锰的需求量变化较小。②与8年生和12年生板栗相比, 20年生、30年生板栗由于长期养分大量输出导致树体营养镁亏损, 对此, 生产上应适当增加镁肥(硫酸镁)施用量, 及时补充板栗养分, 以延长‘燕山早丰’的盛果期。③不同林龄‘燕山早丰’叶片主要矿质元素质量分数在幼果期(7月10日-8月10日)相对稳定, 是采用叶分析法进行营养诊断的最佳采样期。图2表1参28

**关键词:** 经济林学; 板栗; 矿质元素; 叶分析; 营养亏损

**中图分类号:** S664.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2014)01-0037-07

## Seasonal changes of mineral nutrients and difference analysis with chestnut leaves for different-age plantations

LI Guanghui, GUO Sujuan, XIE Peng

(The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of MOD, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** To provide reference for nutritional diagnoses and balanced fertilization, the seasonal changes and difference analysis of mineral nutrient contents in leaves during different phenological periods were analyzed, with *Castanea mollissima* ‘Zaofeng’ plantations at different ages (8 a, 12 a, 20 a, 30 a) planted in Qianxi County of Hebei Province as experimental materials, aim to research the fertilizer demand regularity and nutritional differences of chestnut plantations at different ages. The results showed that (1) *C. mollissima* ‘Zaofeng’ plantations at different ages had the similar nutrition requirement regularity. Elements N, P, K, Ca, and B were in greater demand during pollination; N, P, K, and Ca demands were greater during the fruit expansion period; and Fe and Mn demand increased during fruit growth. However, Cu and Mg demand decreased in different phenological periods. (2) The difference analysis revealed lower Mg in the 20- and 30-year-old chestnut plantations than the 8- and 12-year-old plantations. (3) For 8-, 12-, 20-, and 30-year-old chestnut plantations, content of the main mineral nutrients in leaves changed the least from the middle of July to the middle of August. Since Mg decreased over time, the rate of Mg fertilizer application should be increased with time to keep chestnut trees at full productivity, and for optimal leaf nutrient analysis, sampling should be taken from the middle of July to the middle of August. [Ch, 2 fig. 1 tab. 28 ref.]

**Key words:** cash forestry; *Castanea mollissima*; mineral nutrient; leaf analysis; nutrient losses

收稿日期: 2013-01-15; 修回日期: 2013-02-17

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项重大项目(201204401); “十二五”国家科技支撑计划项目(2013BAD14B0402)

作者简介: 李广会, 从事经济林(果树)栽培和利用理论与技术研究。E-mail: liguanghui2006033@163.com。

通信作者: 郭素娟, 教授, 博士, 从事经济林(果树)栽培和利用理论与技术研究。E-mail: gwangzs@263.net

板栗 *Castanea mollissima* 是中国具有较高经济价值的名特优农产品之一, 因其栗实涩皮易剥离、含糖量高、糯性强等优点在国内外市场前景广阔。“中国板栗属京东, 京东板栗属迁西”。河北省迁西县位于燕山南麓, 因其独特的自然条件造就了迁西地区板栗绝佳的口感和风味, 产量、品质均居全国首位, 被誉为“中国名特优经济林京东板栗之乡”。通过科学选种和嫁接, 该县培育了许多板栗优良品种, 其中由于‘燕山早丰’*Castanea mollissima* ‘Zaofeng’的丰产性能及结果能力较好, 在迁西板栗生产中占据主导地位。但由于‘燕山早丰’主要栽培在山区, 生产中丰产栽培技术不配套, 导致‘燕山早丰’的实际产量远未达到该品种所具有的理想产量, 其中盲目施肥、树体营养失调是制约该地区板栗产业链发展的重要因素。关于板栗矿质营养的研究多集中在 8~15 年生板栗叶片矿质元素质量分数的年周期变化上<sup>[1-2]</sup>, 也有人对迁西‘燕山早丰’的需肥规律进行了初步研究<sup>[3]</sup>, 但关于不同林龄板栗品种‘燕山早丰’叶片矿质营养动态变化的研究还未见报道。另一方面, 采用叶分析法进行营养诊断是果树养分管理的重要措施, 国内外学者已对苹果 *Malus domestica*<sup>[4-6]</sup>, 柑橘 *Citrus reticulata*<sup>[7-8]</sup>, 芒果 *Mangifera indica*<sup>[9-10]</sup> 等的营养诊断进行了系统研究。本试验拟通过研究不同林龄板栗品种‘燕山早丰’叶片矿质营养含量的动态变化, 探求不同林龄‘燕山早丰’需肥规律的差异, 确定叶分析法的最佳采样期, 旨在迁西不同林龄‘燕山早丰’的营养诊断和科学施肥提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

本试验样地位于河北省迁西县地区, 39°57'~40°27'N, 118°6'~118°37'E, 该地区日照充足, 年平均气温为 10.1 °C, 年平均降水量约为 800.0 mm, 属于东部季风暖温带半湿润气候, 为‘燕山早丰’的栽培和生产提供了优越的生长条件。试验选取迁西县优良品种‘燕山早丰’主产区的 4 个代表性栗园果子(8 年生)、汉儿庄(12 年生)、大东峪(20 年生)、杨家峪(30 年生)为采样区, 土壤类型均为沙质壤土, 栗园管理水平中等, 秋季板栗采收后施加有机肥; 春季树冠外围环状沟施板栗专用肥, 深度为 30~40 cm。

### 1.2 方 法

叶片同化物的分配特点主要有就近运输、优先供应生长中心等。在果实发育期间, 果实作为生长中心, 与距离其最近健康叶片间存在较强的“库—源”关系, 是光合产物与矿质营养的分配中心<sup>[11]</sup>。该部位叶片中矿质元素质量分数的变化特征反映了果实对矿质营养的需求状况, 是板栗养分管理的重要依据。试验选取产量相对稳定、管理一致的‘燕山早丰’为目标采样树, 分别于展叶期(2012-05-29), 开花授粉期(2012-06-15), 坐果期(2012-07-10), 幼果期(2012-08-10), 栗实膨大期(2012-09-05)采集结果枝上着生雌花或栗蓬节位的叶片, 按对角线选取 25 株生长健壮无病虫害的板栗植株, 于 9:00~10:00 采集树冠外围东、南、西、北的栗叶各 1 片, 每次多点混合采叶不少于 100 片<sup>[12]</sup>, 每个时期样品均做 3 次重复, 采后立即置于冰盒中及时送回实验室进行处理。

### 1.3 测定指标与方法

所采‘燕山早丰’叶片在实验室按照自来水、体积分数为 0.1% 洗涤剂、自来水、去离子水(3 遍)顺序冲洗后, 用烘箱在 105 °C 下杀青 20 min, 再置于 80 °C 下烘干至恒量, 粉碎过筛, 混匀后密闭于样品袋中待测<sup>[13]</sup>。‘燕山早丰’叶片氮、磷、钾的联合测定: 称取叶片样品约 0.200 g, 采用硫酸-过氧化氢法消煮, 采用凯氏定氮法测定叶片全氮质量分数, 采用钼锑抗比色法测定叶片全磷质量分数, 采用原子吸收分光光度法(AAS)测定叶片全钾质量分数<sup>[14]</sup>。‘燕山早丰’叶片全钙、镁、铁、铜、锰、硼的联合测定: 称取叶片样品约 0.500 g, 加浓硝酸-氯酸混合酸(8:2)10 mL, 放置过夜, 然后继续加热消煮<sup>[15]</sup>, 采用 AAS 法测定叶片全钙、镁、铁、铜、锰质量分数, 采用甲亚胺法测定叶片全硼质量分数<sup>[14]</sup>。

应用 Excel 2010, SPSS 18.0 对数据进行统计分析, 采用 Origin 9.0 软件绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同林龄板栗品种‘燕山早丰’叶片氮、磷、钾质量分数的动态变化

如图 1 所示: 不同林龄板栗品种‘燕山早丰’结果枝叶片氮、磷、钾质量分数随物候期总体上均呈降低趋势。其中: 氮和磷质量分数的变化趋势相似(图 1a 和 b)。在展叶末期, 不同林龄‘燕山早丰’树

体的叶幕处于基本建成状态，叶片营养状况较好，3 种矿质元素质量分数出现最大值。在开花授粉期，雄、雌花发育成为生长中心，尤其是雄花序的大量分化消耗了大量树体营养，导致叶片氮、磷、钾质量分数迅速下降，其中降幅最大的为钾质量分数(图 1c)。进入坐果期，‘燕山早丰’叶片氮和磷质量分数继续下降，钾质量分数有升高趋势。幼果期栗实干物质积累少，生殖生长和营养生长的矛盾得到缓和，‘燕山早丰’树体营养状况得到一定程度的恢复。该时期不同林龄板栗树体对氮、磷、钾元素的需求与坐果期相反，具体表现为叶片氮和磷质量分数升高，但钾质量分数轻微下降。进入栗实膨大期，‘燕山早丰’干物质积累主要集中在成熟前 1 个月，光合产物大量由栗叶转运到栗实<sup>[16]</sup>，导致不同林龄‘燕山早丰’结果枝叶片氮、磷和钾质量分数迅速下降，尤其是氮和钾的降幅很大。试验表明：在‘燕山早丰’开花授粉期和栗实膨大期，不同林龄板栗对氮、磷和钾营养的需求较高；坐果期仍需大量氮和磷元素，但对钾的需求较少，但幼果期对氮、磷和钾养分的需求状况与坐果期相反。在本次试验中，由于不同林龄板栗林立地条件的差异，导致 8 年生板栗林叶片钾质量分数略低，但叶片钾质量分数的变化趋势与 12 年生、20 年生、30 年生板栗林相似。

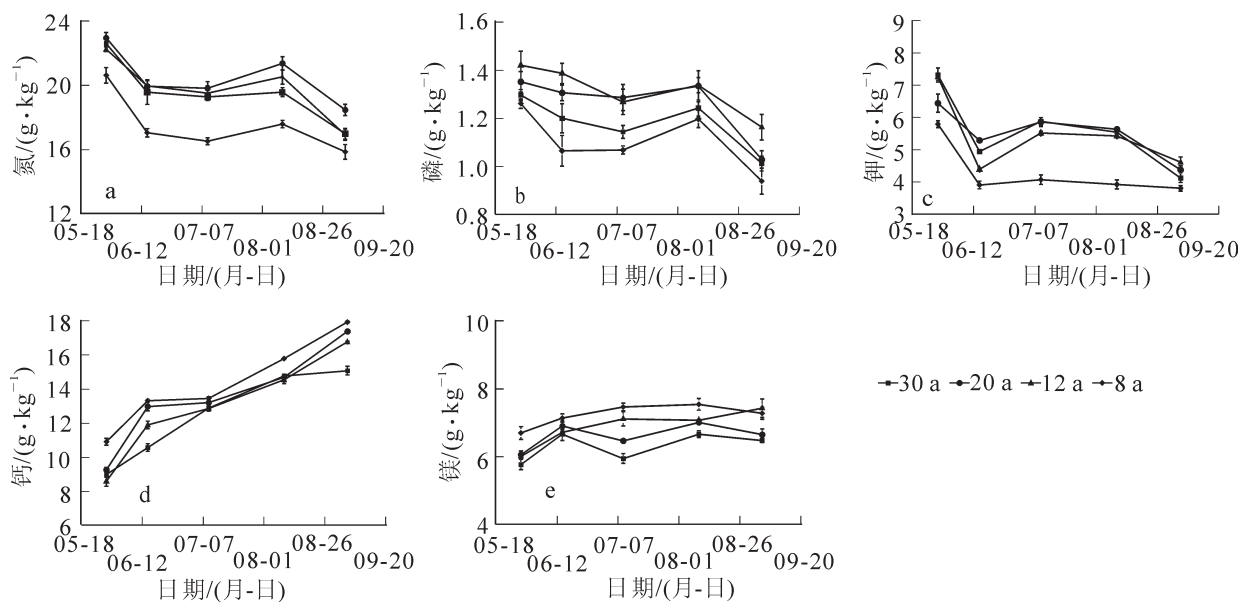


图 1 不同林龄板栗品种‘燕山早丰’叶片氮(a)，磷(b)，钾(c)，钙(d)和镁(e)质量分数的动态变化

Figure 1 Dynamic changes of N(a), P(b), K(c), Ca(d), Mg(e) contents in leaves of chestnut plantations at different ages

## 2.2 不同林龄板栗品种‘燕山早丰’叶片钙和镁质量分数的动态变化

由图 1d 可以看出，不同林龄板栗品种‘燕山早丰’结果枝叶片钙质量分数总体呈升高趋势。在开花授粉期，‘燕山早丰’结果枝叶片钙质量分数迅速升高，表明这段时期树体对钙的需求较多。在栗实发育初期，叶片钙质量分数基本不变，栗蓬对钙的需求与板栗对钙的吸收量处于平衡状态。进入栗实发育中后期，特别是膨大期，叶片钙急剧升高，而且升幅较大。有研究<sup>[17]</sup>表明，钙与叶片的光合密切相关，钙质量分数升高可增强叶片光合作用以满足栗实干物质积累的需求。从展叶期到膨大期，不同林龄板栗结果枝叶片镁质量分数变化较为平缓，几乎不随物候期变化而改变，始终保持在  $6.0\sim 7.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  左右(图 1e)。镁主要参与叶绿素合成，综合不同物候期叶片镁质量分数变化，表明在展叶后期该节位栗叶已发育成为成熟功能叶，而且此时树体新梢停止生长，随物候期变化树体对镁营养的需求处于稳定状态。

## 2.3 不同林龄板栗品种‘燕山早丰’叶片铁、锰、铜、硼质量分数的动态变化

由图 2 可以看出：不同林龄板栗品种‘燕山早丰’结果枝叶片铁和锰质量分数的变化趋势相似。在开花授粉期，铁和锰质量分数缓慢升高，进入果实发育期，迅速升高(图 2a 和图 2b)。在栗实发育期间，不同林龄‘燕山早丰’结果枝需要完成许多生理过程，如栗实发育、花芽生理分化等，需要结果枝叶片提

供营养, 导致该时期栗叶负荷加重, 微量元素铁和锰均直接参与栗叶的光合作用过程, 结果枝叶片保持较高的铁和锰质量分数, 对于提高栗叶光合作用进而保证树体生长发育正常进行有重要作用。

在开花授粉期, 不同林龄板栗品种‘燕山早丰’结果枝叶片硼质量分数均急剧降低(图 2c), 这与硼对板栗的生理作用密切相关, 硼参与花粉萌发和花粉管生长, 导致树体硼营养大量消耗; 在栗实发育初期, 树体对硼需求减少, 栗叶硼质量分数得以恢复。在栗实膨大期, 叶片硼质量分数迅速升高, 膨大期栗叶负荷加重促进了树体对硼的吸收。不同林龄‘燕山早丰’结果枝叶片铜质量分数较低且变幅较小, 在开花授粉期, 栗叶铜质量分数呈升高趋势; 在栗实发育期, 铜质量分数略微降低(图 2d)。

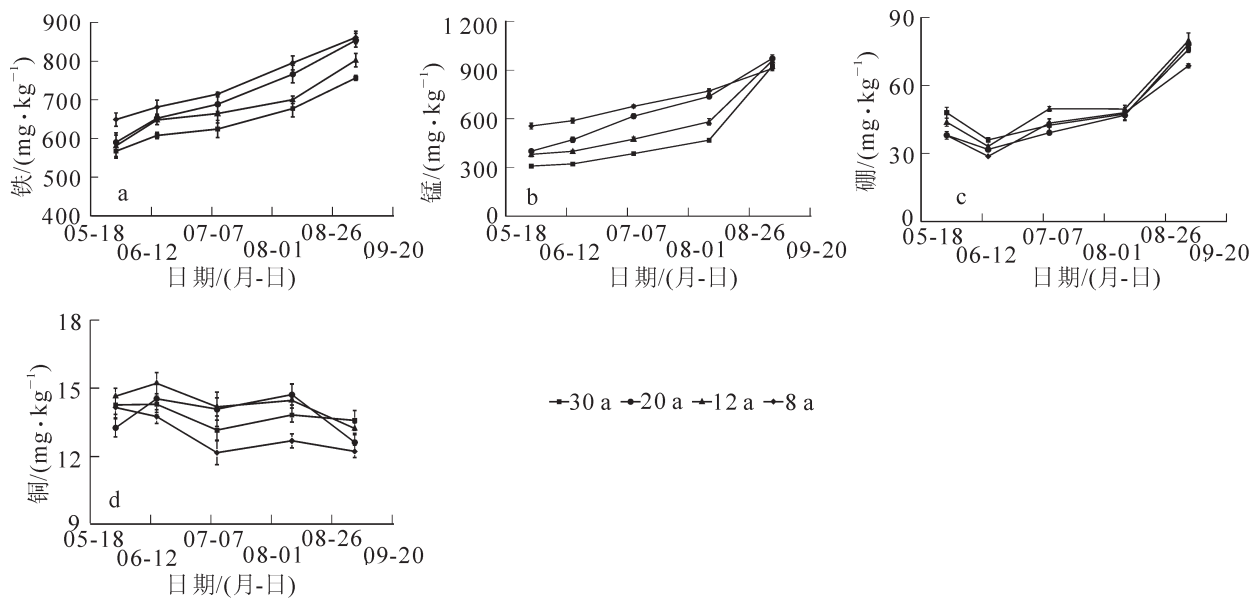


图 2 不同林龄板栗品种‘燕山早丰’叶片铁(a), 锰(b), 硼(c), 铜(d)质量分数的动态变化

Figure 2 Dynamic changes of Fe (a), Mn (b), B (c) and Cu (d) contents in leaves of chestnut plantations at different ages

## 2.4 不同林龄板栗品种‘燕山早丰’叶片主要矿质元素质量分数差异性分析

计算不同林龄板栗结果枝叶片各时期矿质元素质量分数的算术平均值, 采用 Duncan 新复极差法进行差异显著性分析。结果表明(表 1), 12 年生、20 年生、30 年生板栗结果枝叶片主要矿质元素质量分数的均值差异均不显著( $P>0.05$ ), 但与 12 年生、20 年生、30 年生板栗相比, 8 年生板栗叶片氮、磷、镁、铜质量分数的均值表现出不同程度的差异, 尤其是镁, 8 年生板栗结果枝叶片镁质量分数显著( $P<0.05$ )高于 20 年生、30 年生板栗。造成这种差异的原因可是因为 8 年生板栗还处于盛果初期, 而 20 年生、30 年生板栗已长期处于盛果期, 长期大量的养分输出降低了 20 年生、30 年生板栗镁营养。

表 1 不同林龄板栗品种‘燕山早丰’叶片主要矿质元素质量分数比较

Table 1 Comparison of the mineral element contents in leaves of chestnut plantations at different ages

| 林龄    | 氮/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 磷/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 钾/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 钙/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 镁/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 铁/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 锰/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 铜/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 硼/(mg·kg <sup>-1</sup> ) |
|-------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 30 年生 | 19.608 ab               | 1.178 ab                | 5.559 a                 | 12.456 a                | 6.308 b                 | 646.457 a                | 481.748 a                | 13.853 ab                | 49.983 a                 |
| 20 年生 | 20.513 a                | 1.260 ab                | 5.520 a                 | 13.500 a                | 6.621 b                 | 710.126 a                | 639.631 a                | 13.874 ab                | 46.803 a                 |
| 12 年生 | 19.839 ab               | 1.314 a                 | 5.440 a                 | 12.932 a                | 6.868 ab                | 679.082 a                | 558.982 a                | 14.379 a                 | 51.234 a                 |
| 8 年生  | 17.531 b                | 1.105 b                 | 4.299 a                 | 14.278 a                | 7.226 a                 | 740.037 a                | 700.451 a                | 13.025 b                 | 45.385 a                 |
| P 值   | 0.110                   | 0.060                   | 0.179                   | 0.767                   | 0.023                   | 0.386                    | 0.445                    | 0.085                    | 0.938                    |

说明: 同列数据后不同小写字母表示不同林龄间差异达 5% 显著水平。

## 3 讨论

### 3.1 板栗品种‘燕山早丰’对矿质营养的需求特征

本次试验主要是从定性的角度研究了板栗品种‘燕山早丰’结果枝上着生雌花或果实节位的叶片主要



矿质元素质量分数变化，揭示了树体对主要矿质营养的需求特征。由于4类林龄板栗样地的土壤肥力基本一致，在板栗品种相同的前提下，随着物候期的变化，不同林龄结果枝叶片主要矿质元素质量分数的变化规律基本一致；但由于‘燕山早丰’树龄的不同，板栗叶片主要矿质元素质量分数表现出一定的差异。不同林龄‘燕山早丰’结果枝叶片氮、磷、钾质量分数随物候期均呈降低趋势，尤其在开花授粉期和栗实膨大期。在开花授粉期，雌花氮、磷、钾质量分数升高<sup>[18]</sup>，膨大期栗实总糖、淀粉大量积累<sup>[16]</sup>，导致结果枝叶片氮、磷、钾质量分数急剧降低。此外，试验发现在坐果期不同林龄‘燕山早丰’树体对氮和磷的需求量仍较大，坐果期应追施氮和磷矿质元素，因此在开花授粉期适当加大追肥量，以满足授粉期和坐果期板栗树体对氮和磷养分的需求。

钙离子( $\text{Ca}^{2+}$ )不仅是植物正常生长发育必需的大量矿质营养，也是偶联胞外信号与胞内生理变化的第2信使<sup>[19-21]</sup>。‘燕山早丰’的开花具有明显的季节性，由于栗叶是感应外界环境刺激最重要的器官，开花授粉期叶片钙质量分数升高有利于树体感应环境刺激进行信号传导，保证雄、雌花发育的正常进行。钙离子是花柱基质中引导花粉管生长的重要矿质元素，有调控花粉管定向生长的作用<sup>[22]</sup>，与板栗的授精过程密切相关。另一方面，钙离子能增强栗叶的光合作用，提高叶片气孔导度，削弱气孔性因素对栗叶光合作用的限制<sup>[17]</sup>，在栗实膨大期，干物质迅速积累，但此时期正处于高温少雨季节，保证树体钙营养供应可增加光合产物对栗实的供应。因此，在‘燕山早丰’开花授粉期和栗实膨大期，应预防板栗树体缺钙，以保证授粉受精和干物质积累的正常进行。此外，适量增施钙肥可有效减少果实采后病害，提高栗实耐储性<sup>[23]</sup>。

硼对果树花粉萌发和花粉管生长有促进作用，而板栗花粉萌发需硼浓度比其他果树更高，若土壤或板栗树体缺硼，板栗将授粉受精不良，导致出现空苞<sup>[24]</sup>。铜元素对花器官分化有促进作用<sup>[25]</sup>，在栗实发育期间板栗结果枝叶片铜质量分数表现为下降趋势，但铜与板栗雄花分化之间的关系还需进一步研究证实。从‘燕山早丰’展叶期到栗实膨大期，栗叶锰和铁质量分数均升高，表明整个生长季‘燕山早丰’树体都需要充足的铁和锰营养，尤其在栗实发育后期要适当补充锰和铁营养，最大限度延长栗叶的光合时间，为‘燕山早丰’花芽分化和栗实膨大提供充足营养<sup>[26]</sup>。

### 3.2 不同林龄板栗品种‘燕山早丰’需肥量的差异

在板栗生产中，普遍通过嫁接的方式促进板栗提前结实。根据板栗丰产林国家标准，8年生板栗嫁接林还处于盛果初期，10年生以上嫁接板栗林已处于盛果期，这2类板栗林地的产量有较大差距。12年生、20年生、30年生板栗结果枝叶片主要矿质元素质量分数差异均不显著，但8年生板栗叶片镁质量分数显著高于20年生、30年生板栗。由于镁是板栗叶绿素的组成元素，若板栗树体缺镁，则板栗不能正常进行光合作用，导致板栗产量降低；此外，以离子状态存在的镁也是许多代谢酶的活化剂，因此镁与板栗产量直接相关。根据这一现象，推测由于20年生、30年生板栗养分输出长期高于8年生板栗，但生产上不同林龄栗园的施肥量通常只采用1个标准，这可能是导致板栗树体衰老的原因之一。镁在树体内是一种可移动的矿质元素，缺镁时，板栗叶片常表现出老叶先失绿的症状。因此，对于20年生、30年生板栗，生产上应适当增加镁肥(常用硫酸镁)施用量，及时补充板栗养分亏损，以延长盛果期。

### 3.3 ‘燕山早丰’的营养诊断

叶分析法是果树营养诊断的重要手段。研究表明叶片养分变化平缓期是最佳采样期<sup>[27-28]</sup>。由于板栗在营养诊断方面的研究还属于空白领域，而营养诊断研究中采样时期的确定是基础。根据不同林龄板栗叶片各矿质元素质量分数在不同时期的变化趋势，试验发现：在幼果期(7月10日-8月10日)栗叶主要矿质元素质量分数的变化相对平缓，可初步确定为不同林龄板栗‘燕山早丰’林的营养诊断期，这与盖素芬等<sup>[27]</sup>对其他板栗品种的研究结果大致相同。

#### 参考文献：

- [1] 郑瑞杰, 王德永, 雷鸣. 日本栗叶片矿质营养元素含量年动态变化的研究[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(4): 14-17.  
ZHENG Ruijie, WANG Deyong, LEI Ming. Annual dynamic changes of the mineral nutrition content s in leaves of

- Castanea crenata* Sieb. et Zucc.[J]. *J Northwest For Univ*, 2008, **23**(4): 14 – 17.
- [2] 曹均, 吴姬, 赵小蓉, 等. 京东板栗叶片主要矿质营养元素含量及其变化特征[J]. 华北农学报, 2009, **24**(增刊1): 205 – 207.  
CAO Jun, WU Ji, ZHAO Xiaorong, *et al.* The concentrations and changes of major mineral nutrition elements in the leaves of Jingdong chestnut [J]. *Acta Agric Boreali-Sin*, 2009, **24**(S1): 205 – 207.
- [3] 李广会, 郭素娟, 邹锋, 等. 板栗叶片营养与土壤养分的动态变化与回归分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, **32**(9): 41 – 46.  
LI Guanghui, GUO Sujuan, ZOU Feng, *et al.* Dynamic changes and regression analysis of leaf and soil nutrients of *Castanea mollissima*[J]. *J Central South Univ For & Technol*, 2012, **32**(9): 41 – 46.
- [4] 刘红霞, 张会民, 郭大勇, 等. 豫西地区红富士苹果叶片营养诊断[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, **15**(2): 457 – 462.  
LIU Hongxia, ZHANG Huimin, GUO Dayong, *et al.* Foliar nutrition diagnosis of red Fuji apple in western Henan Province [J]. *Plant Nutr Fert Sci*, 2009, **15**(2): 457 – 462.
- [5] NACHTIGALL G R, DECHEN A R. DRIS norms for evaluating the nutritional state of apple tree [J]. *Sci Agric*, 2007, **64**(3): 282 – 287.
- [6] NACHTIGALL G R, DECHEN A R. DRIS Use on Apple orchard nutritionalevaluation in response to potassium fertilization [J]. *Commun Soil Sci Plan*, 2007, **38**(17–18): 2557 – 2566.
- [7] SRIVASTAVA A K, SINGH S. DRIS norms and their field validation in Nagpur Mandarin [J]. *J Plant Nutr*, 2008, **31**(6): 1091 – 1107.
- [8] TORRES P L, AULAR J, RENGEL M. Nutritional diagnosis of orange orchards in Yaracuy state by using the modified DRIS (DRIS-M) [J]. *Bioagro*, 2010, **22**(2): 127 – 134.
- [9] RAGHUPATHI H B, REDDY Y T N, KURIAN REJU M, *et al.* Diagnosis of nutrient imbalance in mango by DRIS and PCA approaches [J]. *J Plant Nutr*, 2004, **27**(7): 1131 – 1148.
- [10] WADT P G S, SILVA D J, MAIA C E, *et al.* Modelling of functions in calculating DRIS indices [J]. *Pesqui Agropecu Bras*, 2007, **42**(1): 57 – 64.
- [11] 李合生. 现代植物生理学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 171 – 188.
- [12] BOULD C. Leaf analysis as a guide to the nutrition of fruit crops (VIII) sand culture N, P, K, Mg experiments with black currant (*Ribes nigrum* L.)[J]. *J Sci Food Agric*, 1969, **20**(3): 172 – 181.
- [13] 童根平, 王卫国, 张圆圆, 等. 大田条件下山核桃林地土壤和叶片养分变化规律[J]. 浙江林学院学报, 2009, **26**(4): 516 – 521.  
TONG Genping, WANG Weiguo, ZHANG Yuanyuan, *et al.* Seasonal changes of soil and leaf nutrient levels in a *Carya cathayensis* orchard [J]. *J Zhejiang Coll For*, 2009, **26**(4): 516 – 521.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 268 – 280.
- [15] 张福锁. 测土配方施肥技术要览[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2006: 82 – 83.
- [16] 陈在新, 潘娟, 江道菊. 不同成熟期板栗品种(系)种子发育期主要营养物质与内源激素含量的动态变化[J]. 林业科学, 2011, **47**(1): 73 – 78.  
CHEN Zaixin, PAN Juan, JIANG Daoju. Dynamic changes of main nutrients and endogenous hormones in seed of different mature period Chinese chestnuts during their seed development [J]. *Sci Silv Sin*, 2011, **47**(1): 73 – 78.
- [17] 王雪, 尹增芳, 马清滢, 等. 外源 Ca<sup>2+</sup>对南林 895 杨扦插苗光合作用及生长的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, **34**(6): 23 – 27.  
WANG Xue, YIN Zengfang, MA Qingying, *et al.* Effects of exogenous Ca<sup>2+</sup> on the photosynthesis and the changes of growth in *Populus × euramericana* Nanlin 895 cuttings[J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2010, **34**(6): 23 – 27.
- [18] 刘广平. 栗树果实发育过程中 N, P, K 含量变化的研究[J]. 经济林研究, 2003, **23**(1): 50 – 51.  
LIU Guangping. The change of nitrogen phosphorus potassium content in the various fruit development phases in Chinese chestnut [J]. *Nonwood For Res*, 2003, **23**(1): 50 – 51.
- [19] SUN Daye, TANG Wenqiang, MA Ligeng. Extracellular calmodulin: a polypeptide signal in plants [J]. *Sci China Ser C*, 2001, **44**(5): 449 – 460.
- [20] HIRSCHI K D. The calcium conundrum. Both versatile nutrient and specific signal [J]. *Plant Physiol*, 2004, **136**

- (1): 2438 – 2442.
- [21] HEPLER P K. Calcium: a central regulator of plant growth and development [J]. *The Plant Cell*, 2005, **17**(8): 2142 – 2155.
- [22] LENARTOWSKA M, BEDNARSKA E, BUTOWT R. Ca<sup>2+</sup> in the pistil of *Petunia hybrida* Hort during growth of the pollen tube-cytochemical and radiographic studies [J]. *Acta Biol Cracov*, 1997, **39**: 79 – 89.
- [23] 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 Yuming, YI Ganjun, ZHANG Qiuming. Effects of calcium in physiology and metabolism of fruit crops [J]. *J Fruit Sci*, 2003, **20**(5): 369 – 373.
- [24] 周志祥. 中国板栗空苞形成机理研究进展[J]. 中南林学院学报, 1999, **19**(3): 73 – 77.  
ZHOU Zhixiang. Advances in the study of empty-shell formation mechanism of Chinese chestnut [J]. *J Cental South For Univ*, 1999, **19**(3): 73 – 77.
- [25] 赵鹏, 谢海松, 陈春. Cu<sup>2+</sup>对离体培养下黄瓜子叶花芽分化的影响[J]. 浙江师范大学学报, 2000, **23**(3): 300 – 303.  
ZHAO Li, XIE Haisong, CHEN Chun. Effect of copper on floral bud differentiation from cucumber cotyledons in vitro [J]. *J Zhejiang Normal Univ*, 2000, **23**(3): 300 – 303.
- [26] 宋艳波, 杨佩芳, 李六林, 等. 枣树年周期中叶片矿质元素含量动态变化及其相关性研究[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2006, **26**(4): 340 – 341.  
SONG Yanbo, YANG Peifang, LI Liulin, *et al.* Study on the mineral nutrition content dynamic and correlation in leaves of jujube trees during a year [J]. *J Shanxi Agric Univ Nat Sci Ed*, 2006, **26**(4): 340 – 341.
- [27] 盖素芬, 白云松, 陈喜忠, 等. 辽东地区栗树叶片营养诊断技术研究[J]. 土壤通报, 1997, **28**(2): 91 – 93.  
GAI Sufen, BAI Yunsong, CHEN Xizhong, *et al.* Research of leaf nutrient diagnosis technology of chestnut in Liaodong Region [J]. *Chin J Soil Sci*, 1997, **28**(2): 91 – 93.
- [28] 段云峰, 冷平生, 苏淑钗, 等. 阿月浑子叶片矿质营养质量分数的季节变化[J]. 果树学报, 2009, **26**(4): 502 – 506.  
DUAN Yunfeng, LENG Pingsheng, SU Shuchai, *et al.* Seasonal changes of mineral nutrient element content in vegetative period of pistachio leaves [J]. *J Fruit Sci*, 2009, **26**(4): 502 – 506.