

薄壳山核桃‘马汉’叶片主要矿质 营养元素生育期动态变化特征

袁紫倩^{1,2,3}, 杨先裕^{1,3}, 凌 骅¹, 沈 辰^{1,3}, 赵伟明², 黄坚钦¹, 王正加^{1*}

(1 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江临安 311300; 2 杭州市林业科学研究院, 杭州 310016; 3 亚热带森林培育国家重点实验室培育基地, 浙江临安 311300)

摘 要:以 12 年生薄壳山核桃‘马汉’为试验材料, 采用凯氏定氮法、钼锑抗比色法和 AAS 法, 测定不同生育期的结果枝成熟叶片中 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Cu、Zn、Mn 等元素含量, 分析叶片主要营养元素周年动态变化规律, 为树体的营养诊断和合理施肥提供科学依据。结果显示: (1) 叶中大量元素含量高低表现为 $N > K > Ca > Mg > P$, 微量元素含量高低表现为 $Mn > Zn > Fe > Cu$ 。(2) 叶片对矿质营养元素的吸收具有明显季节性, 其中开花授粉期对 N、P、K、Cu 的需求量较大, 坐果期和果实膨大期对 N、P、K 的需求量较大, 果实发育期对 K、Zn、Mn 的吸收有持续增加的趋势。(3) 随时间推移叶片中各营养元素周年动态变化出现规律性波动, 且大量元素波动较小, 微量元素波动较大。研究表明, 薄壳山核桃叶营养元素相对稳定时期(7 月 27 日~8 月 13 日)拟应推荐作为薄壳山核桃叶营养诊断的适宜时期, 同时应以施用 N、P、K 肥为主, Ca、Mg 为辅助肥料, 在开花授粉期和坐果期适量追肥, 并在采收秋果前深施有机肥作基肥。

关键词:薄壳山核桃; 叶片; 矿质营养元素; 动态变化

中图分类号: Q945.12; Q945.6

文献标志码: A

Dynamic Changes of Leaves' Main Mineral Elements in Pecan ‘Mahan’s Growth Period

YUAN Ziqian^{1,2,3}, YANG Xianyu^{1,3}, LING Hua¹, SHEN Chen^{1,3},
ZHAO Weiming², HUANG Jianqin¹, WANG Zhengjia^{1*}

(1 School of Forestry and Biological Technology, Zhejiang A&F University, Lin'an, Zhejiang 311300, China; 2 Hangzhou Academy of Forestry, Hangzhou 310016, China; 3 The Nurturing Station for the State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Lin'an, Zhejiang 311300, China)

Abstract: In order to elucidate the dynamic changes of the mineral elements in leaves of 12-year old mature pecan trees' bearing branches and provide a scientific basis for tree nutrition diagnosis and reasonable fertilization in future, we tested nine elements (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn) by the Kjeldahl method, Mo-Sb colorimetry and atomic absorption. The results showed that: (1) The contents of different macro-element in mature leaves of pecan ‘Mahan’ were put in the following order: $N > K > Ca > Mg > P$, while the contents of different micro-element were put in the following order: $Mn > Zn > Fe > Cu$. (2) The mature leaves' absorption of mineral elements had obvious seasonal features; N, P, K and Cu were needed greater during the pol-

收稿日期: 2014-02-24; 修改稿收到日期: 2014-05-17

基金项目: 浙江省科技厅重大国际合作项目(2011C14010); 杭州市科技发展计划(20130432B85); 浙江农林大学研究生科研创新基金(3122013240216)

作者简介: 袁紫倩(1988—), 女, 在读硕士研究生, 助理工程师, 主要从事经济林栽培与利用研究。E-mail: yuanzq32@sina.com

* 通信作者: 王正加, 博士, 教授, 主要从事林木遗传育种研究。E-mail: wzj@zafu.edu.cn

lination flowering period, as well as N, P, K were needed more during the flushing period and fruit expanding period; the absorption of K, Zn, Mn had a tendency to continue to increase during the fruit growth period. (3) The contents of mineral elements in leaves were fluctuated according to time lapse. For macro-element, the fluctuation was small, but for micro-element, the fluctuation was noticeable large. The conclusion is that the appropriate period for analyzing the standards of nutrition diagnosis in pecan leaves is from July 27th to August 13th. It is recommended that N, P, K and Ca, Mg, respectively as primary and secondary base fertilizer should be added in the pollination flowering period and the flushing period, while organic fertilizer should be deep fertilized before the harvest of autumn fruit.

Key words: pecan; leaves; mineral elements; dynamic change

薄壳山核桃 [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch], 别名美国山核桃、长山核桃, 原产美国和墨西哥, 是高效生态经济型干果树种, 极具市场竞争力, 树体持续结实期长达 80~120 年, 根系发达, 生长季节枝叶繁茂, 具有良好的水土保持功能^[1-5]。中国自 19 世纪末 20 世纪初引种薄壳山核桃, 虽然已有百余年的历史, 引种范围也较广, 但是由于品种选择和嫁接技术等方面的原因, 薄壳山核桃应有的生产潜力没有得到充分发挥。近年来, 中国林业科学院、中国科学院植物研究所、云南省林业科学研究院以及浙江建德、新昌、河南洛宁、江西峡江等单位 and 地区^[2,4-6] 积极开展薄壳山核桃引种、育种与推广栽培^[7-13] 工作, 在一定程度上推动了薄壳山核桃产业在中国的发展。

树体营养是果树产量提高和品质改善的重要影响因素之一, 其中矿质营养状况是果树生长发育、产量形成和品质提高的关键, 叶片矿质元素含量既能反映果树树体的营养状况, 又能体现果树林地土壤的供肥能力, 是果树养分管理的重要依据^[14-16]。目前, 薄壳山核桃在国外从园地选择、幼树的修剪栽培、成林的抚育管理、施肥浇水、病虫害控制到机械化采收都有详细的研究, 包括在矿质营养方面, 研究也十分详尽, 从大量元素到微量元素, 每种元素的作用都有十分细致的研究^[17]。例如过多(或过少)的氮营养都会影响树体的正常发育, 一味增加施用氮肥而不补充水分也是会影响树体的结果产量^[18]; 在 7 月份, 结果丰硕的树体比幼树或是结果量少的树体更需要积累磷与钾营养, 磷与钾元素含量从花芽期至 7 月份都呈上升趋势, 之后开始下降直至次年花芽期^[19]; Dr. J Benton Storey 以及他的学生和同事们经过多年对薄壳山核桃中锌元素的研究, 明确了当薄壳山核桃生长在较高 pH 值的土壤中, 树体本身积累和转运锌的能力就会下降^[20]; Michael 等研究表明, 当薄壳山核桃树体缺乏锰元素时, 进行 2.15 kg/hm² 的锰酸钾叶面喷施最为合适等^[21]。

但迄今国内对引种的薄壳山核桃营养方面的研究却鲜有报道, 因此本试验以薄壳山核桃‘马汉’为研究对象, 定期采集叶片并分析其矿质营养元素含量, 探讨其对矿质营养元素需求的周年动态变化规律, 以为薄壳山核桃树体的营养诊断和合理施肥提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况及材料

试验地位于浙江省建德市莲花镇齐平村薄壳山核桃早实丰产试验基地(119°18'21"E, 29°34'42"N), 海拔 110 m, 年平均温 16 °C, 年降雨量 1 818.8 mm。土壤类型为石灰岩发育形成的土壤, 土壤 pH 6.0~6.5, 土壤全量 N、全量 P、全量 K 分别为 1.02、0.36、12.16 g/kg, 碱解 N、速效 P、速效 K、交换性 Ca、交换性 Mg、有效 Cu、有效 Zn、有效 Mn 分别为 101.43、5.92、102.08、362.07、63.09、0.85、2.91、153.07 mg/kg。试验期间, 该样地无施肥。

以 12 年生薄壳山核桃‘马汉’(‘Mahan’)为试材, 该品种在国外丰产性能及结果能力较好, 是建德市新造林广泛栽培的品种, 园内管理水平较高。根据资料查询和实地物候期观察, 薄壳山核桃‘马汉’物候期^[22-23]的时间划分为完全展叶期(4 月 5 日~4 月 20 日)、开花授粉期(4 月 20 日~5 月 15 日)、坐果期(5 月 20 日~6 月 30 日)、果实膨大期(7 月 5 日~8 月 30 日)和果实成熟期(9 月 15 日~10 月 30 日)。试验于完全展叶期到果实成熟期采集结果枝顶端的叶片(叶片生长初期, 即叶面积迅速扩大期: 4 月 21 日~5 月 19 日, 每隔 7 d 采样 1 次; 叶片成熟期, 即叶面积不再扩张: 5 月 19 日~10 月 28 日, 每隔 15 d 采样 1 次, 共采 15 次), 选取 6 株生长健壮、无病虫害且已进入营养生长结果期的健康薄壳山核桃植株, 在树冠中部叶片外围东、西、南、北 4 个方向, 以代表整个树冠层的叶片, 混合采集完整复叶, 并选取复叶中的第 6~8 对小叶^[24-25]约 100 片, 共重

复采集 6 个混合样后及时送回实验室进行处理。

1.2 测定及处理方法

叶片在实验室按照自来水、RO 纯水、去离子水(3 遍)顺序清洗后,用烘箱于 105 ℃下杀青 30 min,65 ℃下烘干至恒质量,粉碎过筛,混匀后密闭于样品袋中,用于分析测定其中氮、磷、钾、钙、镁、铁、铜、锌、锰共 9 种营养元素的含量。按照行业标准^[26]测定植物叶片营养元素含量:采用 H₂SO₄-H₂O₂ 法消煮,称取样品 0.2 g(准确至 0.000 1 g)+浓 H₂SO₄ 5 mL,放置过夜,次日继续加热消煮,全 N 采用凯氏定氮法,全 P 采用钼锑抗比色法,全 K、Ca、Mg、Fe、Cu、Zn、Mn 采用 AAS 法^[27]。每个采样时期样品均做 6 次重复,测定结果取平均值。

数据采用 PASW Statistics 18、Excel 2003 进行作图和统计分析。

2 结果与分析

2.1 叶片营养元素周年动态变化特征

图 1,A 显示,在整个生长发育过程中,薄壳山核桃叶片大、中量元素中 N 和 P 的含量呈下降趋势,其在 4 月 21 日(开花授粉期)叶片中 N 和 P 含量分别为 3.08%和 0.39%,于 10 月 28 日(果实成熟期)达到最低值(分别为 1.34%和 0.10%),说明薄壳山核桃整个生长发育期 N、P 的消耗量都相当大;叶片 K 含量呈先下降后上升趋势,并于 4 月 21 日最高(1.52%),7 月 6 日(果实膨大期)最低(1.03%),在 10 月 28 日(果实成熟期)出现小高峰,说明薄壳山核桃在开花授粉期、坐果期和果实膨大期对 K 需求较大,但在果实成熟期对 K 需求相对较少;叶片 Ca 含量呈较平稳上升趋势,从 4 月 21 日的

0.66%上升至最高值 1.29%,增幅达 95.5%,即 Ca 元素含量随叶龄的增长逐渐递增;叶片 Mg 的含量呈先平稳上升后波动式下降趋势,最高值(0.43%)出现在 6 月 20 日(坐果期)。

而在薄壳山核桃叶片微量元素中(图 1,B),Fe 含量随生育期的动态变化特征与 K 元素相似,都有先下降后上升的趋势,但 Fe 元素波动幅度更大,其含量在 4 月 21 日达到最高值(83.14 mg/kg),于 7 月中上旬至 8 月下旬(果实膨大期)开始下降,在 9 月 16 日(果实成熟期)降至最低值(25.13 mg/kg),而后又上升并于 10 月 28 日达到次高值(66.47 mg/kg);叶片 Cu 的含量从 4 月 21 日的最高值(20.88 mg/kg),在之后的 1 个月内迅速大幅下降至 5 月 19 日(花期与坐果期交接时期)的最低值(6.29 mg/kg),后又在 5 月 29 日(坐果期)立即上升至含量次高值(12.89 mg/kg),而后又缓慢下降至 5.89 mg/kg,说明在开花授粉期对 Cu 的消耗量也较大;叶片 Zn 的含量随时间推移上下波动规律总体与 Cu 元素的波动较为相似,但波幅更大,先从 4 月 21 日的含量最高值(129.98 mg/kg)下降至 5 月 4 日的 91.74 mg/kg,随后升至 5 月 12 日的含量次高值(128.75 mg/kg),之后上下波动直至 90 mg/kg 附近;叶片 Mn 的含量在 4 月~10 月间整体呈先缓慢下降而后逐渐上升至最高值,即先从 4 月 21 日的含量次高值(650.86 mg/kg)下降至 5 月 12 日的最低值(500.07 mg/kg),而后上升至 10 月 28 日的最高值(1 016.48 mg/kg)。以上结果说明各营养元素变化拐点基本处在 6 月底 7 月初,即果实生长缓慢期转向果实迅速膨大期间,该时间段是各元素吸收、转运及分配的关键时期。但是不同营养元素的

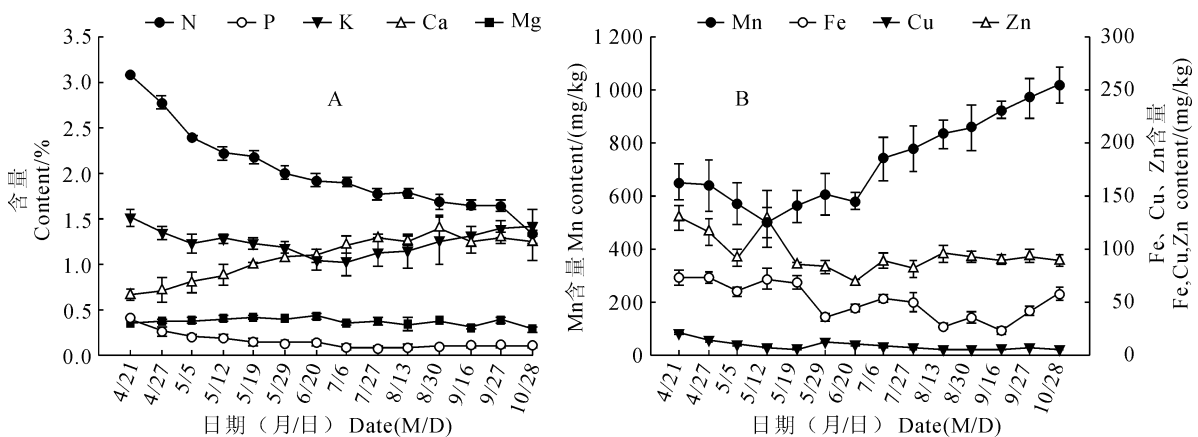


图 1 薄壳山核桃‘马汉’叶片中大量(A)及微量元素(B)含量的动态变化

Fig. 1 The dynamic changes of macro-element(A) and micro-element(B) contents in pecan ‘Mahan’s’ leaves

含量随季节变化的变化幅度不同,以 N、Fe、Zn 的波幅最显著。

2.2 薄壳山核桃叶养分元素含量在关键物候期的差异

薄壳山核桃生长的 4 个关键物候期叶中各营养元素含量平均值及年平均值如表 1 所示,从中可比较同一营养元素在不同关键物候期含量高低,以及不同营养元素在同个关键物候期含量高低。其中,不论是从 6 株树全年的平均值来看,还是分别从开花授粉期、坐果期、果实膨大期和果实成熟期 4 个关键物候期来看,薄壳山核桃叶中大、中量营养元素含量的顺序均为 $N>K>Ca>Mg>P$,微量元素含量的顺序均为 $Mn>Zn>Fe>Cu$ 。同时,叶片各元素的含量高低及其差异显著性在不同物候期亦不同。在整个生长发育过程中,叶片大、中量营养元素 N 元素含量随生育期逐渐降低,且在 4 个关键物候期间均有显著性差异,并以开花授粉期的含量最高(2.61%),而果实成熟期最低(1.54%);P 元素含量也随生育期逐渐降低,在前 3 个关键物候期间有显著性差异,而果实膨大期与果实成熟期间无显著性差异;K 元素含量表现为开花授粉期和果实成熟期间高,而中间的坐果期和果实膨大期显著较低,但后两者间无显著性差异;Ca 元素含量在前 3 个关键物候期间均有显著性差异,并呈现逐渐升高趋势,而果实膨大期和果实成熟期间无显著性差异;Mg 元素含量随生育期呈逐渐降低趋势,但在开花授粉期和果实膨大期间无显著性差异。就叶片微量元素含量而言,Fe 和 Zn 的含量最高值都出现在开花授粉期,并显著高于其余生育期,且在其余生育期(坐果期、

果实膨大期和果实成熟期)间含量无显著性差异;Cu 元素含量有逐渐降低趋势,且在前 3 个生育期均存在显著性差异,而在果实膨大期和果实成熟期间无显著性差异;Mn 元素含量基本为逐渐升高趋势,且在开花授粉期和坐果期间无显著性差异,而后 3 个生育期间差异显著。

另外,薄壳山核桃样树叶片营养元素含量不同生长物候期间的变异系数(表 2)显示,在同一关键物候期,叶片中不同元素含量的变异系数差别较大,且微量元素含量的变异明显大于大、中量元素的变异,并以 Fe 元素含量的变异最大,这可能与土壤 pH 有关,尚有待进一步研究。同时,针对同一元素在不同生育期的变异系数而言,叶片中 N、P、Ca、Zn、Mn 含量在开花授粉期的变异系数较大,说明在该时期这些元素的流动性较大导致其含量波动幅度较大,而叶中 P、K、Ca、Mg、Fe 含量在坐果期的变异系数较小,说明在该时期这些元素的流动性较小导致其含量波动幅度较小。

2.3 薄壳山核桃叶营养元素含量间的相关分析

对薄壳山核桃样树叶的营养元素含量间的相关系数如表 3 所示。其中,在大、中量元素间,叶片中 N 与 P 含量间呈极显著正相关($P<0.01$),N 与 Ca、P 与 Ca 含量间呈极显著负相关($P<0.01$),P 与 K 呈显著正相关($P<0.05$),而其余元素间相关性均未达到显著水平,说明薄壳山核桃叶片中 P 与 N、K 元素的吸收过程相互间具有促进作用,而 Ca 与 N、P 吸收间存在拮抗关系;微量元素 Fe、Cu、Zn、Mn 相互之间而言,仅 Fe 与 Cu 含量达到显著负相关性,Fe 与 Mn 呈显著正相关性,其余元素间相关

表 1 薄壳山核桃 4 个物候期叶片中 9 种营养元素含量的多重比较

Table 1 Multiple comparisons of 9 mineral elements content in pecan leaves during growth period

元素 Element	物候期 Period				
	开花授粉期 Pollination period	坐果期 Flushing period	果实膨大期 Fruit enlargement period	果实成熟期 Fruit maturation period	平均 Average
氮 N/%	2.61±0.13a	2.04±0.06b	1.78±0.05c	1.54±0.09d	2.02
磷 P/%	0.26±0.09a	0.14±0.02b	0.09±0.02c	0.1±0.06c	0.15
钾 K/%	1.35±0.07a	1.15±0.07b	1.14±0.10b	1.37±0.08a	1.25
钙 Ca/%	0.77±0.08c	1.06±0.04b	1.29±0.06a	1.26±0.08a	1.08
镁 Mg/%	0.38±0.03b	0.42±0.03a	0.36±0.04b	0.33±0.08c	0.37
铁 Fe/(mg/kg)	74.28±3.50a	47.45±4.08b	41.76±3.41b	46.22±4.33b	51.32
铜 Cu/(mg/kg)	13.32±1.06a	9.4±1.12b	6.88±0.32c	6.44±0.24c	95.45
锌 Zn/(mg/kg)	116.69±8.29a	79.25±2.71b	89.81±3.49b	90.85±3.00b	9.25
锰 Mn/(mg/kg)	590.41±37.53c	582.02±32.26c	801.74±37.99b	968.86±35.25a	730.09

注:同行不同字母表示该元素在不同生育期间差异达 0.05 显著性水平。
Note: The different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at 0.05 level.

表 2 薄壳山核桃 4 个物候期叶片中 9 种营养元素含量的变异系数

Table 2 Variable coefficient of 9 mineral elements contents in pecan leaves during growth period/%

元素 Element	时期 Period				
	开花授粉期 Pollination period	坐果期 Flushing period	果实膨大期 Fruit enlargement period	果实成熟期 Fruit maturation period	平均 Average
氮 N	13.37	6.31	5.81	10.11	8.90
磷 P	30.05	7.51	12.80	29.41	19.94
钾 K	9.98	9.31	16.09	9.87	11.31
钙 Ca	15.08	5.58	8.38	9.98	9.76
镁 Mg	7.70	6.31	12.48	22.33	12.21
铁 Fe	25.83	34.83	40.28	44.57	36.37
铜 Cu	22.96	44.68	17.96	15.01	25.15
锌 Zn	37.49	14.51	19.71	14.01	21.43
锰 Mn	32.03	23.52	22.39	15.43	23.34

表 3 薄壳山核桃叶片中 9 种矿质营养元素相互间的相关性

Table 3 The correlation coefficient between nine elements in pecan leaves

元素 Element	氮 N	磷 P	钾 K	钙 Ca	镁 Mg	铁 Fe	铜 Cu	锌 Zn	锰 Mn
氮 N	1								
磷 P	0.945**	1							
钾 K	0.318	0.545*	1						
钙 Ca	-0.927**	-0.914**	-0.369	1					
镁 Mg	0.342	0.165	-0.379	-0.281	1				
铁 Fe	0.679**	0.688**	0.351	-0.754**	0.259	1			
铜 Cu	-0.682**	-0.52	0.272	0.710**	-0.734**	-0.537*	1		
锌 Zn	0.849**	0.896**	0.368	-0.772**	0.18	0.464	-0.455	1	
锰 Mn	0.663**	0.724**	0.636*	-0.635*	-0.111	0.576*	-0.232	0.51	1

注: * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。
Note: * and ** represent significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

性均未达到显著水平;大量元素与微量元素含量间也存在较强的相关性,尤其是 N 和 Ca 含量与所有 4 种微量元素含量间均存在显著或极显著相关性,P 也与 Fe、Zn、Mn 含量间均存在极显著的正相关关系,但 Mg 仅与 Cu 之间有极显著负相关,K 仅与 Mn 之间存在显著显著正相关性,大量元素 N、P、Ca 与微量元素吸收有密切的关系。以上结果说明薄壳山核桃树体内各种营养元素间会存在不同程度的协同或拮抗关系,某种元素过多可能会促进或限制其他元素的有效吸收与积累,尤其是大量元素 N、P、Ca 的作用更为突出。

3 讨 论

由叶片同化物的分配特点可知,果实与距离其最近健康叶片间存在较强的库—源关系^[28],这个部位叶片矿质元素含量的变化在一定程度上表征了果实对矿质营养的需求特征。本试验发现,薄壳山核桃生育期内叶中大量营养元素含量的顺序表现为 N>K>Ca>Mg>P,N、P、K 营养元素含量的最大值

均出现在展叶期,此时树体叶幕已基本建成,结果枝中下部叶片发育成熟,叶片营养状况良好^[29],而后的“稀释”作用,即叶片干物质增加的速度远远大于这些元素进入叶片的速度,使 N、P、K 的含量迅速下降。进入开花授粉期后含量的下降可能是因为雌、雄花发育成为该时期的营养供应中心,成熟叶片所积累的养分有一部分是否会转运到雌、雄花中被消耗,这仍有待进一步研究;薄壳山核桃坐果期对 N、P、K 需求量仍较大^[30],而当果实发育进入膨大期,干物质大量积累,且主要集中在果实成熟前 1 个月,因此光合产物大量由叶片转运到果实^[31],导致叶片中 N、P 含量急剧下降,尤其是 N 元素。Ca 元素是不可移动元素,其含量随叶龄的增长逐渐递增,由于根系吸收 Ca 后运输到叶片沉积导致含量的增加,变得十分稳定^[32]。Mg 元素主要参与叶绿素合成,综合薄壳山核桃不同物候期叶片 Mg 含量变化,发现在 5 月 19 日之前 Mg 含量一直升高,可能与叶面积扩张,叶绿素含量升高有关;之后夏梢等新叶大量抽生,致使易转移元素 Mg 从老叶往新叶转移而

含量下降;7月6日至8月30日波动上升可能是高温干旱胁迫所致,与刘国琴等^[33]发现刺梨叶中Mg元素的含量随干旱胁迫程度的增加而显著地增加相一致。

薄壳山核桃生育期内叶中微量元素含量的顺序表现为Mn>Zn>Fe>Cu。叶片中Cu含量较低,在开花授粉期Cu含量呈下降趋势,而Cu元素有促进花器官分化的作用^[34],该时期叶片Cu含量的降低,可能与Cu元素大量转运到花上有关。果实膨大期是叶绿体迅速形成的时期,而Fe又是叶绿素前体形成的重要元素,叶片向果实提供Fe元素而导致其含量下降。叶片中Mn与Ca一样,是不易移动元素,因此在薄壳山核桃叶中均表现逐渐积累的上升趋势,与王同坤等^[35]对山楂的研究结果一致。而Fe、Zn、Cu的移动性介于上述二者之间,缺乏时不易移动,供应充足时可以转移^[36]。果实发育期是整个薄壳山核桃生长发育过程的关键物候期,薄壳山核桃结果枝需要完成许多生理过程,如果实发育、花芽生理分化等,需要结果枝叶片提供营养,因此该时期结果枝叶片负荷相对加重。微量元素Fe、Mn均直接参与叶片的光合作用,结果枝叶片保持较高

的Fe、Mn含量,能最大限度延长叶片的光合时间,对于提高叶片光合作用进而保证花芽分化和果实膨大的正常进行有重要作用^[29]。

另外,进一步分析发现薄壳山核桃叶营养元素含量中,大量元素中的Ca与微量元素中的Zn呈显著负相关(相关系数为-0.772),与马建军等^[37]对毛樱桃叶片营养分析的研究结果一致,而张彤彤等^[38]对梨枣叶片营养分析认为,Ca与Zn呈显著正相关,情况与薄壳山核桃、毛樱桃相反,其原因可能是不同树种对养分的需求不同而导致营养元素间相互作用的差异。试验表明,不同物候期薄壳山核桃结果枝叶片主要矿质元素处于拮抗和协同的动态平衡。

综上所述,在果实膨大期以前(7月27日~8月13日)薄壳山核桃叶片中矿质营养元素均存在一个相对稳定、变化最小的时期,以此可作为薄壳山核桃叶片分析营养诊断的适宜时期。在薄壳山核桃的生产栽培上,建议施用以N、P、K肥为主,Ca、Mg为辅作肥料,在开花授粉期和坐果期适当加大追肥量,在9~10月份采收秋果前深施有机肥作基肥,为树体来生长发育提供更丰富的营养基础。

参考文献:

- [1] ZHANG R Q(张日清),LI J(李江),LÜ F D(吕芳德),*et al.* Historical survey of the introduced pecan tree in China:distribution and resource estimate[J]. *Economic Forest Researches*(经济林研究),2003,**21**(4):107-109(in Chinese).
- [2] ZHANG R Q(张日清),LÜ F D(吕芳德),ZHANG X(张勳),*et al.* Feasibility study for extension of pecan cultivars introduced from America[J]. *Economic Forest Researches*(经济林研究),2005,**23**(4):1-10(in Chinese).
- [3] WANG ZH J(王正加),ZHANG B(张斌),XIA G H(夏国华),*et al.* Analysis of the progeny of *Carya cathayensis* × *C. illinoensis* and the xenia effect[J]. *Journal of Fruit Science*(果树学报),2010,**27**(6):908-913(in Chinese).
- [4] ZOU W L(邹伟烈),XI X L(习学良),FAN ZH Y(范志远),*et al.* The pecan introduction and cultivation technique in Yunnan[J]. *South China Fruit*(中国南方果树),2010,**39**(3):61-64(in Chinese).
- [5] DONG R Q(董润泉),XI X L(习学良),ZHANG Y(张雨),*et al.* Report on adaptability of introduced *Carya illinoensis* in Midu, Yunnan[J]. *Journal of West China Forestry Science*(西部林业科学),2004,**33**(1):49-54(in Chinese).
- [6] WU W L(吴文龙),LÜ L F(闰连飞). Cultivation of *Carya illinoensis* (Wangenn.) K. Koch as an exotic species[J]. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*(江苏林业科技),2003,**30**(1):11-13(in Chinese).
- [7] HERRERA E. The pecan hand book[M]. Les Cruces:Cooperative extension service new Mexico State University,1986.
- [8] REID W T. Growing pecans in Kansas[M]. Chetopa:Pecan experiment field,Kansas University,1992.
- [9] Pecan Research-Extension Station. Research Report [M]. Shreveport:Louisiana State University Agricultural Center,1987.
- [10] HUBBARD E E. Commercial pecan tree inventory and prospectus,Georgia,1987[M]. The University of Georgia,1988.
- [11] HAN N L(韩宁林). *Carya illinoensis* in China[J]. *Zhejiang Forestry Science and Technology*(浙江林业科技),1995,**15**(3):47-49(in Chinese).
- [12] 柳 蓠,孙醉君. 中国重要经济树种[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1986.
- [13] 董凤祥,王贵禧. 美国薄壳山核桃引种及栽培技术[M]. 北京:金盾出版社,2003.
- [14] HAN ZH H(韩振海),WANG Q(王倩). Current situation and prospects of research on fruit mineral nutrition in China[J]. *Acta Hor-*

- ticultrae Sinica*(园艺学报),1995,**22**(2):138—146(in Chinese).
- [15] ZHUANG Y M(庄伊美),LI L R(李来荣),JIANG Y(江 由),*et al.* Seasonal variation of the amounts of the major nutrition elements in the Longan foliage and in the orchard soil[J]. *Acta Horticulturae Sinica*(园艺学报),1984,**11**(3):165—170(in Chinese).
- [16] LI G L(李港丽),SU R Y(苏润宇),SHEN J(沈 隽). Studies on the nutritional ranges in some deciduous fruit trees[J]. *Acta Horticulturae Sinica*(园艺学报),1987,**14**(2):81—89(in Chinese).
- [17] LENNY W,KERRY A H. Cultural Management of Commercial Pecan Orchards[M]. Georgia;Cooperative Extension,2003.
- [18] Texas Pecan Handbook[M]. Texas Agricultural Extension Service,Extension horticulture,Texas A&M University,1993.
- [19] SMITH M W. Partitioning phosphorus and potassium in pecan trees during high-and low-crop seasons[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*,2009,**134**(4):399—404.
- [20] ROSENGARTEN J F. The Book of Edible Nuts[M]. New York;Courier Dover Publications,2004.
- [21] SMITH M W,CHEARY B S,LANDGRAF B S. Manganese deficiency in pecan[J]. *Hort. Science*,2001,**36**(6):1 075—1 076.
- [22] 郝荣庭,张毅萍. 中国核桃[M]. 北京:中国林业出版社,1991:164—204.
- [23] YAO X H(姚小华),WANG K L(王开良),REN H D(任华东),*et al.* A study on flowering phenology of *Carya illinoensis* new varieties and clones in Eastern China[J]. *Acta Agricultural University Jiangxiensis*(江西农业大学学报),2004,**26**(5):675—680(in Chinese).
- [24] J. BENTON STOREY. Pecan leaf sampling[M]//GEORGE R,STEIN L A, Mceachern. Texas Pecan Handbook. (vol: I). Texas:Texas Agricultural Extension Service,1993:109.
- [25] J. B. AITKEN *et.* Pecan Production in the Southeast[M]. Alabama Cooperative Extension Service,1989:70—71.
- [26] 中华人民共和国林业行业标准. 森林土壤分析方法(LY/T1210-1275 1999)[S]. 北京:中国标准出版社,2000.
- [27] 刘晓松,陈少华. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [28] 李合生. 现代植物生理学(第2版)[M]. 北京:高等教育出版社,2006:171—188.
- [29] LI G H(李广会),GUO S J(郭素娟),ZOU F(邹 锋),*et al.* Dynamic changes and regression analysis of leaf and soil nutrients of *Castanea mollissima*[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*(中南林业科技大学学报),2012,**32**(9):41—46(in Chinese).
- [30] 郝荣庭. 果树栽培学总论(第3版)[M]. 北京:中国农业出版社,2000:216—217.
- [31] CHEN Z X(陈在新),PAN J(潘 娟),JIANG D J(江道菊). Dynamic changes of main nutrients and endogenous hormones in seed of different mature period Chinese chestnuts during their seed development[J]. *Scientia Silvae Sinicae*(林业科学),2011,**47**(1):73—78(in Chinese).
- [32] XIE Y M(谢玉明),YI G J(易干军),ZHANG Q M(张秋明). Effects of calcium in physiology and metabolism of fruit crops[J]. *Journal of Fruit Science*(果树学报),2003,**20**(5):369—373(in Chinese).
- [33] LIU G Q(刘国琴),HE S T(何嵩涛),FAN W G(樊卫国),*et al.* Effect of soil drought stress on mineral nutrient contents in *Rosa roxburghii*[J]. *Journal of Fruit Science*(果树学报),2003,**20**(2):96—98(in Chinese).
- [34] 郑鹤龄. 微量元素营养诊断 [M]. 天津:天津科技翻译出版公司,2010:11—12.
- [35] WANG T K(王同坤),MA J J(马建军),ZHU J T(朱京涛). Seasonal variation of the amounts of several mineral elements in the Hawthorn fruit[J]. *Acta Horticulturae Sinica*(园艺学报),1994,**21**(2):201—202(in Chinese).
- [36] 全月澳,周厚基. 果树营养诊断法[M]. 北京:农业出版社,1982:9.
- [37] MA J J(马建军),ZOU D W(邹德文),WU H P(吴贺平),*et al.* Annual development and the relativity of the content of mineral nutritious elements in denspubescent cherry leaves[J]. *Journal of Hebei Vocation-Technical Teachers College*(河北职业技术师范学院学报),2003,**17**(2):6—9(in Chinese).
- [38] ZHANG T T(张彤彤),XU F L(徐福利),WANG Y K(汪有科),*et al.* Effects of fertilization on growth and seasonal dynamic of leaf nutrients of close planting pear-jujube trees[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*(植物营养与肥料学报),2012,**18**(1):241—248(in Chinese).