

李营养累积、分布及叶片养分动态研究<sup>①</sup>李鑫<sup>1</sup>, 张丽娟<sup>1\*</sup>, 刘威生<sup>2</sup>, 杨建民<sup>3</sup>, 马峙英<sup>4</sup>

(1 河北农业大学资源与环境学院, 河北保定 071001; 2 辽宁省果树科学研究所, 辽宁熊岳 115214;

3 河北农业大学园林与旅游学院, 河北保定 071001; 4 河北农业大学农学院, 河北保定 071001)

**摘要:** 基于保障生态和果品安全以及合理实施果园养分管理的前提, 对大石早生李树体各部位营养元素积累、分布以及各营养元素的周年变化规律进行了分析。结果表明: ①营养元素在各个器官的相对含量, 除 K、Zn 在果实中含量最高外, N、P、Ca、Mg 均以叶片中含量为最高, 以叶片做营养诊断是适宜的。②大石早生李树体营养元素 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Zn 的元素比值为 10.00:1.26:6.42:12.57:2.46:1.87:0.14。③100 kg 鲜果的养分吸收量分别为: N 772.47 g, P 74.25 g, K 730.33 g, Ca 874.16 g, Mg 169.82 g, Fe 66.05 g, Zn 7.53 g, N:P:K 的比例为 1.00:0.10:0.95。④N、P、K、Ca、Mg、Fe、Zn、Mn、Cu 的含量随物候期呈规律性变化。生长季初期, N、P、K、Zn、Cu 的含量迅速下降, Fe、Mn、Ca、Mg 呈逐渐上升的趋势; 中期这 9 种元素总体变化幅度较小; 后期 Fe、Cu、N、P、K 的含量呈下降趋势, Mn、Zn、Ca、Mg 依然上升。本结果既丰富了国内李营养理论, 同时又为制定合理的施肥措施及建立绿色优质果品科技示范基地提供了理论依据。

**关键词:** 大石早生李; 营养积累; 分布; 施肥; 养分动态

中图分类号: S662.3

随着我国加入 WTO 和市场经济快速发展的需要, 果品参与国内、国际市场竞争也愈加激烈。基于日益减少的耕地进行有效的养分管理<sup>[1-2]</sup>, 建立清洁良好的环境<sup>[3-4]</sup>, 发展无污染、无公害的绿色果品, 促进果品产业结构升级, 打破农业国际贸易的绿色壁垒, 保障生态和果品安全, 已经成为我国农业可持续发展的重要内容之一<sup>[5]</sup>。

李树是我国北方落叶果树中重要的栽培树种之一, 其适应性广、不择土壤、耐瘠薄、早果丰产、经济效益高<sup>[6-7]</sup>, 随着丰产栽培技术研究的深入及保护地栽培取得成功, 成熟期大大提前, 其发展前景广阔<sup>[8-10]</sup>。据统计, 截至 2003 年底, 河北省李树栽培面积和总产量分别达 4.3 万 hm<sup>2</sup> 和 51 万 t<sup>[11]</sup>。为配合李优良品种

的大面积推广, 建立配套施肥技术, 推进李树生态科技示范园的建设, 我们于 2004 年在河北省太行山区易县中独乐村李栽培示范园, 通过 9 年生大石早生李树体分部位采样和叶片养分动态试验, 进行了李营养积累、分布及叶片养分动态的研究, 该研究既可以丰富李营养理论, 又为制定合理的施肥措施提供理论依据。

## 1 材料与方法

## 1.1 试验地基本情况

试验地设在河北省易县中独乐村, 位于太行山北端东麓, 属于半湿润半干旱季风气候区, 年平均气温 11.9℃, 无霜期 160~180 天, 平均日照率 59%。土壤为褐土, 土壤性状见表 1。

表 1 大石早生李园土壤化学性状

Table 1 Soil chemical properties of the Dashi early ripening plum garden

土层深度 (cm)	有机质 (g/kg)	速效 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	pH	微量元素的有效含量 (mg/kg)			
						Fe	Mn	Cu	Zn
0~20	11.48	61.34	23.37	131.56	7.82	3.08	31.26	1.58	0.96
20~40	7.87	48.74	13.33	94.69	7.90	8.84	38.01	1.44	1.24
40~60	7.44	44.68	8.20	85.31	7.85	8.82	46.53	1.22	0.48

①基金项目: 河北省林业局项目“李树营养诊断与配方施肥技术”(2000186) 和河北农业大学博士基金资助。

\* 通讯作者 (lj\_zh2001@163.com)

作者简介: 李鑫 (1982—), 女, 辽宁锦州人, 硕士研究生, 主要从事果树营养与农田生态系统氮素行为、去向研究。E-mail:1982lixin@sohu.com

## 1.2 供试材料

试验材料为9年生大石早生李, 株行距3 m×4 m, 授粉品种为盖县大李, 主栽品种与授粉品种配置比为5:1。

## 1.3 试验方法与样品采集测定

### 1.3.1 李营养累积、分布研究

2004年在河北省易县中独乐村李栽培示范园选有代表性的9年生大石早生李3株, 每株为1重复, 按果实、叶片、各年生枝、根等分部位对树体进行采样测定。各部位样品首先称取总鲜重; 然后将选取的代表性样品立刻放在0.1%的洗涤剂水中洗涤约30 s, 之后用自来水冲洗, 再用去离子水洗净, 放入鼓风烘箱中105℃杀青20 min, 在70~80℃下烘干<sup>[12]</sup>, 获得干重; 最后将各部位的烘干样品分别粉碎后过0.25 mm筛, 混合均匀, 四分法取样得到分析样品, 测定各部位N、P、K、Ca、Mg、Fe、Zn元素的含量。其中, 叶片采集称取鲜重洗净后立即进行105℃杀青30 min, 65℃烘干; 果实按树体上下、四周不同方位分别采集称重, 然后选取代表性样品烘干; 枝按1~9年生枝分别收集称重, 然后分别选取代表性样品烘干; 树干分段称重, 劈开后选取代表性样品烘干; 根系分多年生根、毛根分别收集称重, 然后分别选取代表性样品烘干。

### 1.3.2 叶片养分动态研究

选有代表性的9年生大石早生李5株, 2株为一重复(其中一重复因异常舍去一株成为单株), 每株从树冠外围选取生长中庸的健壮枝(距地面1.5~1.7 m)5个, 从枝中部各采2片健康无病虫害叶片, 每重复2株合为1个混合样, 自4月15日至10月10日每间隔30天采样1次, 共采叶7次, 测定N、P、K、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu、Mn元素的含量。样品前处理同李营养累积、分布研究样品。

## 1.4 测定方法

土壤pH值、有机质、速效N、速效P、速效K及速效微量元素含量测定均按国家标准局森林土壤分析方法<sup>[8]</sup>。植物样品全N用凯氏蒸馏法、全P用钼钼黄比色法、全K用火焰光度法测定, 全Ca、Mg、Mn、Fe、Zn、Cu用原子吸收分光光度计(Z5300, 日立公司)测定<sup>[13]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 李各部位养分含量及累积量的分布

分析树体各部位养分含量状况可以看出(表2), 9年生大石早生李树干重为63.35 kg。N在叶片中含量最高, 为24.0 g/kg, 叶片累积总N量为92.40 g, 占树体总N量的25.51%, 其次毛根为12.4 g/kg, 果实为10.1 g/kg, 粗根为5.5 g/kg, 枝(包括枝与树干)中含量最少, 仅为3.6 g/kg, 但累积含N量最高。P在叶片中含量最高, 为1.3 g/kg; 果实和粗根中P差别不大, 分别为1.0 g/kg和0.9 g/kg; 毛根其次为0.8 g/kg, 枝中最少, 为0.6 g/kg。K在果实中含量最高, 为22.7 g/kg, 果实累积总K量为100.06 g, 占树体总K量的43.06%; 其次为叶片, 为13.7 g/kg; 再次为毛根, 3.0 g/kg; 枝和粗根中均为1.4 g/kg。Ca、Mg在叶片中含量最高, 分别为24.5 g/kg和4.5 g/kg; 其次为粗根、毛根, 分别为12.5 g/kg、12.7 g/kg和2.8 g/kg、3.6 g/kg。Fe以粗根中含量最高, 为3520.20 mg/kg; 其次为毛根, 为2600.15 mg/kg; 果实中最少, 为350.10 mg/kg。Zn在果实中含量最高, 为120.04 mg/kg; 其次为毛根, 99.11 mg/kg; 粗根中最少, 46.20 mg/kg。各个器官养分的相对含量, 除K、Zn在果实中含量最高外, N、P、Ca、Mg均以叶片中含量为最高。说明叶片是生理活动最活跃的器官, 利用叶片进行树体营养诊断是较为适宜的<sup>[12, 14]</sup>。

表2 树体各部位养分含量及累积量

Table 2 Contents and accumulation of different nutrients in different parts of the tree

部位	干重 (kg)	N		P		K		Ca		Mg		Fe		Zn	
		含量 (g/kg)	累积量 (g)	含量 (g/kg)	累积量 (g)	含量 (g/kg)	累积量 (g)	含量 (g/kg)	累积量 (g)	含量 (g/kg)	累积量 (g)	含量 (mg/kg)	累积量 (g)	含量 (mg/kg)	累积量 (g)
果	4.40	10.1	44.44 c	1.0	4.22 c	22.7	100.06 a	6.8	29.92 c	1.6	7.04 d	350.10	16.06 b	120.04	0.53 b
叶	3.85	24.0	92.40 b	1.3	3.02 c	13.7	52.73 b	24.5	94.33 b	4.5	17.33 c	620.00	2.39 c	95.13	0.37 c
枝	45.32	3.6	163.15 a	0.6	27.66 a	1.4	63.94 b	4.6	208.47 a	0.8	36.26 a	672.05	30.46 a	77.89	3.53 a
粗根	8.56	5.5	47.08 c	0.9	7.84 b	1.4	12.08 c	12.5	107.00 b	2.8	23.97 b	3520.20	30.13 a	46.20	0.40 bc
毛根	1.22	12.4	15.13 d	0.8	1.01 d	3.0	3.64 d	12.7	15.49 c	3.6	4.39 d	2600.15	3.17 c	99.11	0.12 d
合计	63.35		362.20		43.76		232.46		455.21		67.69		82.21		4.94
元素比值		10.00		1.26		6.42		12.57		2.46		1.87		0.14	

注: 同一列中不同字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

## 2.2 李树体各营养元素的累积分析

李树体营养元素累积数据显示(表 2), 李树 N、Ca 含量最高, 分别为 362.20 g、455.21 g。占全树养分总量的 28.81%、36.21%。其次 K 为 232.46 g, 占 18.49%。Zn 含量最低, 为 4.94 g, 占全树养分总量的 0.39%。李树体的 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Zn 的比例是 10.00:1.26:6.42:12.57:2.46:1.87:0.14, 此结果与陈宝江等<sup>[15]</sup>在辽宁的结果虽有所差异, 但对营养元素的需求趋势相似, 对大量营养元素的需求顺序表现为 N > K > P; 对中量营养元素的需求顺序表现为 Ca > Mg; 对微量营养元素的需求顺序表现为 Fe > Zn。

## 2.3 生产 100 kg 李果实所吸收的 N、P、K 量

通过测定果树不同器官生物量的年增加量及各器官养分的含量, 可以计算出各种养分的年吸收量<sup>[16]</sup>。对李树年养分吸收量的分析可以看出(表 3), 24 kg 鲜果当年 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Zn 的营养吸收量分别为: 185.39、17.82、175.28、209.80、40.76、15.85、1.81 g。折合 100 kg 鲜果的养分吸收量分别为: N 772.47 g, P 74.25 g, K 730.33 g, Ca 874.16 g, Mg 169.82 g, Fe 66.05 g, Zn 7.53 g, 吸收比例为 1.00:0.10:0.95:1.13:0.22:1.00:0.10, 表明鲜果生长对 N、K、Ca 的需要量比例较大。

表 3 单株 9 年生李树年吸收养分量

Table 3 Annual nutrient absorption in 9-year plum tree

树体部位	元素吸收量 (g)							备注
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	
果	44.44	4.22	100.06	29.92	7.04	1.54	0.53	当年吸收量
叶	92.40	5.04	52.73	94.33	17.33	2.39	0.37	当年吸收量
一年生枝	10.07	2.08	6.84	23.42	3.29	0.33	0.16	当年吸收量
多年生枝	18.13	4.61	10.66	34.75	6.04	5.08	0.59	年均吸收量
粗根	5.23	0.87	1.34	11.89	2.66	3.35	0.04	年均吸收量
毛根	15.13	1.01	3.64	15.49	4.39	3.17	0.12	当年吸收量
合计	185.39	17.82	175.28	209.80	40.76	15.85	1.81	24 kg 鲜果吸收量
100 kg 鲜果养分吸收量	772.47	74.25	730.33	874.16	169.82	66.05	7.53	
当年吸收养分元素比例	1.00	0.10	0.95	1.13	0.22	1.00	0.10	

## 2.4 李树叶片营养元素的年周期变化

### 2.4.1 N、P、K 的年周期变化

李树叶片 N、P、K 的变化动态呈明显的规律性。P 在 4 月份含量较高, 以后随着花芽分化, P 含量逐渐降低, 伴随着 7 月份二次生长含量又逐渐升高, 直至与四月份持平(图 1)。6 月果实采收, 新梢停止生长, 营养积累呈上升趋势, 7 月份达到高峰。8 月中旬至 9 月上旬为吸收根速长期, 根系吸收能力加强<sup>①</sup>, 因此在 9 月份叶片 P 素较丰富。到 10 月份李树落叶, 含量又逐渐降低。由上述分析可知, 李树在 7 月份和 9 月份应开始施部分速效 P 和缓效 P, 以利增加储藏 P 的含量。N、K 在 4 月份含量较高, 以后随着果实的发育和花芽的分化, 含量又逐渐下降。7 月份伴随着二次生长及抽生副梢, 含量逐渐升高, 到 8 月中旬根系活动高峰期又达一峰, 此时 K 含量达最高。此后由于根系活动的减弱而导致养分回流, K 含量又呈现下降趋势。

### 2.4.2 Ca、Mg、Mn 的年周期变化

Ca、Mg、Mn 的变化趋势与 N、P、K 的相反, 呈逐渐上升的趋势(图 1、图 2)。Ca、Mn 含量的变化趋势大体是逐步升高, 但 Ca 在 9 月份果实采收后有一个降低, 后又升高。主要是 Ca、Mn 的移动性小, 叶片吸收的 Ca 和 Mn 逐渐积累, 落叶前达到最高值, 以后随落叶归还土壤。因前期 Ca 量较低, 为了促进果实发育, 确保品质, 本研究认为, 喷 Ca 时期应掌握在 6 月份之前。Mg 的含量整体走势逐渐升高, 但变化不是很明显。

### 2.4.3 Fe、Zn、Cu 的年周期变化

Fe 的含量整体变幅较大(图 2)。从 4 月中旬上升, 6 月上旬果实采收后达高峰, 8 月份出现一低谷。8 月份根系活动高峰过后, 9 月份又有一回升, 达到高峰, 随后又下降。Cu 的含量在 8 月份果实成熟之前始终呈缓慢下降趋势, 即从新梢生长到果实采收一直需 Cu。直到 8 月份根系活动高峰期, 才开始有所回升, 开始积累营养, 此

①杨建明. 大石早生李引种及早期丰产栽培技术. 技术报告, 1998 (内部资料)

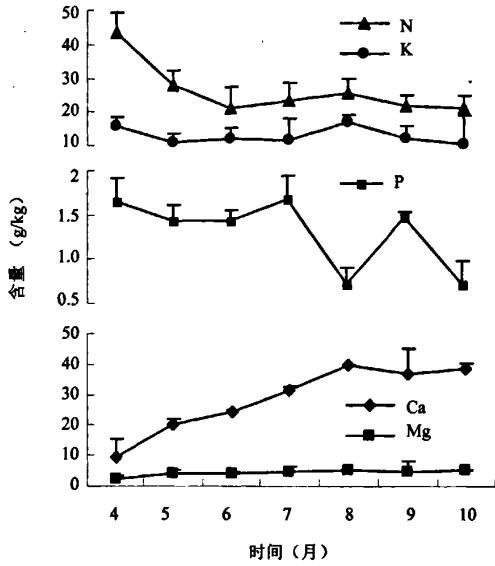


图 1 N、P、K、Ca、Mg 的年周期变化曲线

Fig. 1 Annual changes of N、P、K、Ca、Mg contents

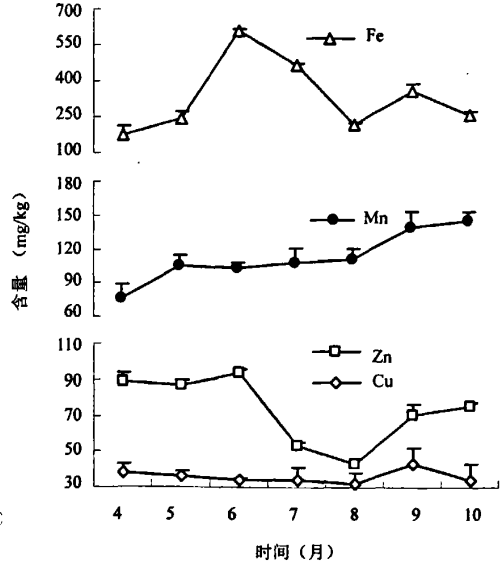


图 2 Fe、Mn、Cu、Zn 的年周期变化曲线

Fig. 2 Annual changes of Fe、Mn、Cu、Zn contents

时补充 Cu 较适宜。以后又逐渐下降。Zn 的含量从 4 月中旬上升，6 月中旬有一个高峰，8 月份根系活动高峰过后，9 月份又有一回升，达到高峰，随后又下降。Zn 前期的高峰主要来自储存营养。6 月中旬果实采收后是营养生长的高峰，新梢大量生长，Zn 向新的生长点转移，呈下降趋势，8 月份为一低谷。8 月中旬，新梢旺长期已过，成熟叶片中 Zn 的含量又有所回升。因此在生长期应注意补 Zn，尤其在花芽分化期重点补充。

### 3 小结

(1) 就李树的各个器官营养相对含量而言，除 K、Zn 在果实中含量最高外，N、P、Ca、Mg 均以叶片中含量为最高，以叶片做营养诊断是适宜的。

(2) 李树累积 N、Ca 营养最多，分别为 362.20 g 和 455.21 g，占全树养分总量的 28.81% 和 36.21%；其次 K 为 232.46 g，占 18.49%；Zn 含量最低，为 4.94 g，占全树养分总量的 0.39%。树体的 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Zn 的比例是 10.00:1.26:6.42:12.57:2.46:1.87:0.14，对大量营养元素的需求顺序表现为 N>K>P。

(3) 生产 100 kg 李鲜果当年养分吸收量分别为：N 772.47 g，P 74.25 g，K 730.33 g，Ca 874.16 g，Mg 169.82 g，Fe 66.05 g，Zn 7.53 g，吸收比例为 1.00:0.10:0.95:1.13:0.22:1.00:0.10，鲜果生长对 N、K、Ca 的需要量比例较大，在果实膨大期应注意 K 肥的投入，同时注意果实喷 Ca。

(4) 大石早生李叶片中矿质元素的含量在年周期内呈规律性变化，在不同的物候期内有不同的变化趋势。生长季初期，N、P、K、Zn、Cu 的含量迅速下降，Fe、Mn、Ca、Mg 呈逐渐上升的趋势；中期这 9 种元素总体变化幅度较小；后期 Fe、Cu、N、P、K 的含量呈下降趋势，Mn、Zn、Ca、Mg 依然上升。

### 参考文献：

- [1] 赵其国, 周生路, 吴绍华, 任奎. 中国耕地资源变化及其可持续利用与保护对策. 土壤学报, 2006, 43(4): 662-672
- [2] Gao C, Sun B, Zhang TL. Sustainable nutrient management in Chinese agriculture: Challenges and perspective. *Pedosphere*, 2006, 16 (2): 253-263
- [3] 赵其国. 重视农业“安全质量”，加强农业“清洁生产”. 土壤, 2001, 33(5): 225-226
- [4] Wei YP, Chen DL, Davidson B, Whittle RE. Bio-economic strategy to combat non-point pollution in China. *Pedosphere*, 2005, 15(2): 156-163
- [5] 李意坚. 健全无公害农产品生产保障体系. 土壤, 2003, 35(1): 34-35, 40
- [6] 孙升. 大石早生李栽培技术要点. 北方果树, 1995(2): 39
- [7] Calisir S, Hacisferogullari H, Özcan M, Arslan D. Some nutritional and technological properties of wild plum (*Prunus* spp.) fruits in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 2005, 66(2): 233-237

- [8] Ertekin C, Gozlekci S, Kabas O. Some physical, pomological and nutritional properties of two plum cultivars. *Journal of Food Engineering*, 2005, 66: 233-237
- [9] 任淑艳. 大石早生李优质丰产栽培技术. *河北果树*, 2005(1): 32
- [10] 李淑珍, 郁香荷, 孙凌俊, 赵岩. 环渤海地区设施果树考察报告. *北方果树*, 2004(5): 23-25
- [11] 任士福, 唐秀光, 杨建民. 李优良品种高效配套技术体系研究与示范推广. *中国农业科技导报*, 2005(1): 37-40
- [12] 全月澳. 果树营养诊断法. 北京: 农业出版社, 1982: 66-90
- [13] 中华人民共和国国家标准局. 森林土壤分析方法. 北京: 国家标准局, 1988
- [14] 耿增超, 张立新, 赵二龙, 张朝阳, 陈永欣. 陕西红富士苹果矿质营养 DRIS 标准研究. *西北植物学报*, 2003, 23(8): 1422-1428
- [15] 陈宝江, 刘威生, 王宝申, 杨成恒, 高树青, 霍庆贞. 大石早生李树营养积累与分布研究. *北方果树*, 2003(1): 12-14
- [16] 彭福田, 姜远茂, 顾曼茹, 束怀瑞. 落叶果树氮素营养研究进展. *果树学报*, 2003, 20 (1): 54-58

## On Nutrient Accumulation and Distribution in Plum Tree as well as Nutrient Dynamic Changes in Plum leaves

LI Xin<sup>1</sup>, ZHANG Li-juan<sup>1</sup>, LIU Wei-sheng<sup>2</sup>, YANG Jian-min<sup>3</sup>, MA Zhi-ying<sup>4</sup>

(1 *College of Resources and Environmental Sciences, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China*; 2 *Liaoning Fruit Tree Science Institution, Xiongyue, Liaoning 115214, China*; 3 *College of Landscape Architecture and Tourism, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China*; 4 *College of Agronomy, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China*)

**Abstract:** Based on ecological and fruit safety as well as the garden reasonable fertilization, the nutrient accumulation and distribution in Dashi early ripening plum tree as well as the nutrient annual dynamic changes in the leaves were studied. The results showed that: 1) the relative contents of K and Zn in fruit were the highest, but N, P, Ca and Mg in lamina were the highest, so lamina is suitable for nutrient diagnosis. 2) The element ratio of N, P, K, Ca, Mg, Fe and Zn in Dashi early ripening plum tree was 10.00 : 1.26 : 6.42 : 12.57 : 2.46 : 1.87 : 0.14. 3) The nutrient absorption per 100 kg fresh fruit was: N 772.47 g, P 74.25 g, K 730.33 g, Ca 874.16 g, Mg 169.82 g, Fe 66.05 g, Zn 7.53 g, respectively. N : P : K was 1.00 : 0.10 : 0.95. 4) The content of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn and Cu showed regular changes with the growth period. At initial growth period, the content of N, P, K, Zn and Cu decreased quickly, but Fe, Mn, Ca and Mg tended to increase gradually; at the middle period, the fluctuation of the nine elements was little; at the later period, the content of Fe, Cu, N, P and K reduced, but Mn, Zn, Ca and Mg still increased. These results not only enriched the domestic theory of plum nutrition, but also provided the theoretical information for the reasonable fertilization and the construction of the science and technology demonstration base of green and high quality fruits.

**Key words:** Dashi early ripening plum, Nutrient accumulation, Distribution, Fertilization, Nutrient dynamic change