

# 银杏吸收根营养元素吸收及分配规律的能谱分析

凌裕平 周卫东 陈 鹏 陈琦森 熊作明

(扬州大学农学院园艺系, 扬州 225009)

**摘 要:** 能谱分析银杏吸收根组织对营养元素的吸收规律, 结果表明: 1. 根对营养元素的吸收有两次高峰, 第一次出现在营养液培养处理后的 4 ~ 6 h 左右, 第二次出现在 10 ~ 24 h 左右; 2. 营养元素的吸收规律和在银杏根不同组织分布与培养液中元素种类、离子的类型和银杏根系对营养元素需求特性有关; 3. 银杏根系中 K、Na 元素积累量较高, 显示银杏是一种代谢强度大、耐盐的植物。

**关键词:** 银杏; X-能谱分析; 动力转换期; 根; 营养元素

**中图分类号:** S 664.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2004) 03-0363-04

## Studies of Energy Spectrum Analysis on the Absorption and Distributive Laws of Nutrient Elements in Sucking Roots of *Ginkgo biloba* L.

Ling Yuping, Zhou Weidong, Chen Peng, Chen Qimiao, and Xiong Zuoming

(Department of Horticulture, Agricultural College of Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** Based on energy spectrum analysis on absorbing laws to nutrient elements for tissue of sucking roots, the results were as follows: 1. It showed two peaks which appeared at the 4 - 6 hour and the 10 - 24 hour after treatment by nutrient liquid respectively for root to absorb nutrient elements; 2. The absorption laws and distribution of nutrient elements in different root tissues of *Ginkgo* were relative to the types of element and ion in culture liquid, and to characters of requirement of root system to nutrient element; 3. There were more accumulate of potassium and sodium in root system of *Ginkgo*, which showed that *Ginkgo biloba* was a plant of strong metabolism and salt endurance.

**Key words:** *Ginkgo biloba* L.; Analysis of X-ray energy spectrum; Stage of dynamic transition; Root; Nutrient elements

### 1 目的、材料与方法

有关银杏 (*Ginkgo biloba* L.) 营养器官中营养元素含量季节变化和种子生长发育过程中营养元素含量相关性进行研究很多<sup>[1-3]</sup>, 但对银杏根系的组织结构、生长发育特性、营养元素吸收等生理方面的研究很少见, 尤其对一些微量元素吸收研究很难做到在组织微区上定性和定量分析<sup>[4]</sup>。利用 ESCA (化学分析电子能谱) 技术可分析元素 (H 和 He 除外) 含量, 能精确得到各种元素的能谱。本试验运用环境扫描电子显微镜、X-能谱仪分析银杏吸收根对 11 种元素吸收规律, 试图摸清银杏根系对这些元素的吸收特点及其分配规律, 为银杏合理施肥提供依据。

试验银杏材料 ‘马铃’ 采自江苏省姜堰市果树实验场健康成年大树, 果实于正常成熟期采收, 除去外种皮, 常温保湿遮光下贮藏。选取发育良好、饱满的种子用珍珠岩层积, 按种子与珍珠岩约为 1:3 置于大玻璃皿内, 在阴凉室内自然层积。水分含量为相对饱和含水量的 60%, 以防种子湿度过大而发生霉烂<sup>[4]</sup>。开始培养时, 玻璃皿置于 25℃ 的恒温箱保存培养。20 d 左右取出种子, 洗净, 挑选根长为 2 ~ 3 cm 左右的放入配好的营养液中 [KCl 30 mg、CaCO<sub>3</sub> 566 mg、MgSO<sub>4</sub> 500 mg、尿素 500

mg、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  500 mg、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  5 mg、 $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  51 mg、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  7 mg、 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  4 mg、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  2 mg 溶解于 1000 mL 无离子水中<sup>[5]</sup>。分别处理 0.5、1、2、4、6、8、10、12、24、48 h。取样时截取根尖 1 cm，每次取 10 个，液态氮速冻，低温冰箱保存<sup>[6]</sup>。样品在  $\text{CO}_2$  临界点干燥仪中导入液体  $\text{CO}_2$  干燥 180 min，用玻璃刀切成薄片固定于样品台，在 IB-3 离子溅射仪进行真空喷金 20 min 处理，PHILIPS 产 XL-30ESCA 环境扫描电子显微镜观察银杏吸收根表皮及中部并摄影，对 11 种元素（表 1，表 2）进行能谱分析，测定元素重量比。每个处理测定 3 次，计算平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 银杏吸收根对营养元素的吸收规律

能谱测定表明（表 1，表 2），银杏吸收根对营养元素 Na 的吸收具有两次高峰，表皮两次吸收高峰分别在营养液处理后 4 h 和 12 h；根中部在 6 h 和 12 h。

对 Mg 元素的两次吸收高峰，表皮约在 4 h 和 12 h，中部约在 6 h 和 12 h，中部的 Mg 元素含量从开始就达到了一个很高的水平，并且一直有增加吸收的趋势。

根表皮对 Al 的吸收有 3 次高峰，约在 4 h、8 h、12 h 左右，中部有 2 次高峰，分别出现在 6 h 和 12 h。

对 P 吸收，根表皮有两次高峰，分别在 6 h 和 10 h 左右，6 h 处的高峰十分平缓；中部的一次明显的高峰出现在 6 h 左右，8 h 出现缓慢升高的趋势。

表 1 营养元素在银杏吸收根表皮中的分布规律  
Table 1 Distribution of nutrient elements in epidermis (%)

处理时间 Treatment time (h)	Na	Mg	Al	P	S	Cl	K	Ca	Fe	Cu	Au
0.5	1.44	1.19	2.72	1.45	1.81	1.45	8.42	1.78	0.32	0.84	78.58
1	1.88	1.76	3.60	1.21	1.94	1.78	8.09	1.72	0.31	1.05	76.65
2	2.76	3.05	3.68	2.48	2.97	1.80	10.09	2.38	0.43	1.00	69.36
4	5.28	4.13	4.19	3.63	4.00	2.57	23.01	4.87	1.03	1.13	45.87
6	2.32	1.53	2.42	4.01	2.49	0.66	19.64	4.97	0.26	0.70	61.00
8	2.57	2.48	5.75	3.71	2.20	1.71	20.55	5.09	0.59	1.02	54.33
10	4.47	3.86	3.68	5.45	8.07	4.99	12.62	1.57	1.29	0.57	53.43
12	5.80	4.82	6.77	4.13	8.04	3.08	15.35	3.34	1.39	0.63	46.65
24	3.51	3.19	4.42	4.06	7.80	2.73	22.86	5.81	2.39	0.85	42.37
48	2.56	3.47	2.77	2.99	2.14	1.51	14.23	1.16	0.24	0.38	68.55

注：表中的元素单位是元素重量百分比，下表同。

Note: Element unit in the table is the percentage of element weight. The same for other tables.

表 2 营养元素在银杏吸收根中部的分布规律  
Table 2 Distribution of nutrient elements in stele (%)

处理时间 Treatment time (h)	Na	Mg	Al	P	S	Cl	K	Ca	Fe	Cu	Au
0.5	1.57	3.19	2.76	3.17	2.39	1.88	15.60	0.40	0.44	0.97	67.63
1	1.88	3.32	3.31	3.19	3.22	2.18	16.01	0.90	0.45	0.99	64.55
2	3.49	3.56	3.20	3.47	3.86	2.20	17.01	0.96	0.53	1.83	59.89
4	4.80	3.52	3.45	4.49	4.94	2.49	18.06	0.99	0.57	0.77	55.91
6	6.44	4.22	3.47	6.45	5.15	2.19	22.52	1.52	0.14	0.56	47.32
8	3.51	3.12	2.61	3.64	3.35	2.00	19.96	1.83	0.27	0.59	59.12
10	3.46	3.70	3.39	4.01	3.76	2.16	18.98	2.08	0.29	0.52	57.75
12	4.99	4.81	5.60	4.79	4.13	2.60	20.01	1.38	0.33	0.34	51.02
24	3.93	3.51	3.57	4.82	4.56	2.56	19.80	0.86	0.43	0.84	55.12
48	3.59	4.14	3.24	4.86	3.04	2.01	19.85	0.92	0.76	0.55	57.04

对 S 元素的两次吸收高峰, 根表皮在 4 h 和 10 h (10~24 h 之间变化不明显, 之后急剧下降); 中部在 6 h 和 24 h 左右。

对 Cl 元素的两次吸收高峰, 表皮在 4 h 和 10 h 左右; 中部在 4 h 和 12 h 左右。

K 元素在吸收根中始终是最高的。在表皮处出现了两次高峰, 分别在 4 h 和 24 h 左右, 中部只出现了一次高峰, 在 6 h 左右, 其余时间稍呈上升趋势, 变化不大。

对 Ca 的吸收, 表皮在 4~8 h 之间出现了一个较高较平缓的趋势, 在 8 h 和 24 h 呈高峰; 中部仅在 10 h 左右出现了一次高峰。

对 Fe 的吸收, 根表皮的第一次高峰是 4 h 左右, 第二次在 24 h 左右; 中部只有一次高峰, 在 4 h 左右, 至 6 h 降至低谷, 之后再缓慢上升。

吸收根表皮细胞经过营养液处理后, 对大部分营养元素有两次吸收高峰, 4 h 后进入第一个吸收高峰的元素有 Na、Mg、Al、K、S、Cl、Fe, 吸收高峰出现在处理后 6 h 的有 P 和 Ca。第一次吸收高峰的出现, 可能以被动吸收的作用占主导, 前 7 种元素均以一价或二价离子的形态存在于溶液中, 而 P 元素在溶液中以  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 、 $\text{HPO}_4^{2-}$  形态存在, 与根系的交换比较困难。Ca 则主要依赖于主动吸收, 被动吸收很少, 所以吸收慢于前 7 种元素; 第二次高峰出现在营养液处理后 10 h (S、Cl、P)、12 h (Na、Mg、Al) 和 24 h (Ca、K、Fe), 可能是主动吸收的结果。

$\text{Ca}^{2+}$  是一种以木质部运输为主的营养元素, Al 的含量初始表皮与中部相差无几。再从中部对元素的吸收看, 各种元素也有差异, 除 Ca 元素只有一次高峰外, 其它元素均有两次高峰, 第一次峰值最早出现的是 Cl 元素, 说明  $\text{Cl}^-$  在根系细胞中的运转速度很快, 可能是一种以质外体运转为主的运输, 大部分元素 (Na、Mg、P、Al、S、K、Fe 等元素) 的分布峰值出现在营养液处理后的 6 h 左右, 这与根系表皮细胞峰值的 4 h 有 2 h 的时差 (Fe 元素的高峰不很明显), 这很可能是离子在根系中由根表皮细胞吸收运输到中柱输导组织的时间。本试验所测定的根系半径约 300~600  $\mu\text{m}$ , 因此我们可以看出, 这些离子通过共质体和质外体运输从表皮细胞到中柱输导组织用了约 120 min, 平均离子在组织中运输速率约为 2.5~5.0  $\mu\text{m}/\text{min}$ 。在中柱部分, Ca 吸收的高峰期出现在 10h 左右的时候, 比表皮细胞的高峰期晚 6 h, 证明  $\text{Ca}^{2+}$  在细胞中转移的速度比其他元素慢得多。根据试验所用的银杏吸收根直径大小 (300~600  $\mu\text{m}$ ) 推算,  $\text{Ca}^{2+}$  在根系细胞中从表皮细胞转移的速度约为 0.833~0.1.667  $\mu\text{m}/\text{min}$ 。Na、Ma、Al、K、P、Cl 等元素的第二次高峰出现在处理后的 12 h 左右, 与表皮细胞的第二次高峰出现时间相比, 也有 2 h 的时差。而 S 的第二次高峰出现在处理后的 24 h。

我们可以清楚地看出: 根系表皮细胞对营养元素的吸收依赖于被动吸收 (扩散和交换) 及主动吸收两种动力, 两种进程是同步的, 但吸收的速率则明显不同, 根系接触土壤溶液中的营养离子时, 当溶液中离子浓度明显高于根系表皮细胞时, 离子的扩散和交换非常迅速, 根系则主要依赖被动吸收的作用吸收营养元素, 大约 4~6 h 便进入高峰时期 (依根系内外离子种类、浓度不同而有差异), 此时, 根系内外的离子浓度达到平衡状态, 吸收离子的速度迅速下降, 随后, 根系的吸收的动力开始转换, 这个时期, 我们称之为“动力转换期”。根系对营养离子的吸收转为主动吸收为主, 这是一种需要能量提供的离子吸收, 所具有的最高离子浓度是根系主动吸收的极限速率之积。大部分营养离子高峰时期出现在“动力转换期”后的 8~20 h 之间 (离子的种类和浓度及其根系对某些离子的嗜好影响进展)。

通过对银杏根系营养物质的吸收和体内分布特性、积累进行研究, 我们能很清楚地看到, 就主动吸收而言, 银杏根系对组成蛋白质的 P、S 等元素的吸收最为迅速, 能在很短的时间内就进入吸收的高峰, 而对 K 元素的吸收速度比较慢, 但在根中的积累却是其他植物所不可比的。银杏有高量 K 的积累, 这种高积累不光在根系的表皮细胞, 更为突出的是在筛管和管胞部分, 在表皮细胞的积累应该主要存在于膜系统, 这对银杏根系吸收其它营养元素是一个重要前提, 而在筛管和管胞部分的大量积累显然是在有机物质的转移和提高根系代谢活性方面起到相关的作用。在银杏根系积累的营养元素

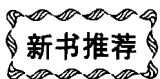
中,还有一个元素也很显著,即 Na。和其它植物相同器官相比,银杏根系中 Na 元素的积累量很高,这可能意味着银杏是一种喜 Na 植物,而喜 Na 植物往往是耐盐的,能够适应含盐量较高的土壤。生产上我们也看到,银杏能够适应大部分土壤条件比较差的环境,特别是土壤的含盐量。根据试验结果,我们推测银杏应该是一种耐盐植物,对银杏根系营养元素的比例分析,我们也能合理配制银杏专用肥料提供必要的依据。

## 2.2 银杏吸收根营养元素分布规律

银杏种子通过无离子水培养为对照,进行能谱分析,结果表明,几乎所有的元素分布趋势是相同的,中部的含量高于表皮细胞(除 Ca、Al 外),而进入培养液后,随着对营养元素的吸收,中柱部分的营养元素水平迅速提高,48 h 后的含量均大于表皮细胞(表皮细胞中 K、Ca、Na、Mg、Al、Fe、Cu、P、S、Cl 的含量分别为 5.14%、2.24%、2.87%、2.44%、4.93%、2.5%、0.68%、1.17%、3.98%、3.27%;中柱部分的含量分别为 22.7%、1.76%、3.48%、3.86%、3.44%、0.66%、0.81%、3.91%、5.4%、2.27%)。

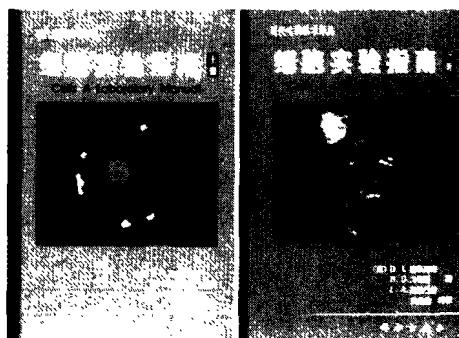
## 参考文献:

- 1 魏 刚,王 建,周金池,等.银杏不同营养器官中营养元素含量季节动态的研究.北京林业大学学报,1999,21(1):96~99
- 2 王 建,贾玉彬,张刚民,等.银杏种子生长发育过程中营养元素含量相关性分析.河北林果研究,1998,13(1):49~53
- 3 李庆康,李 群,袁子祥,等.银杏生长的土壤肥力变化研究.土壤学报,2000,4:73~75
- 4 葛晓光.蔬菜育苗大全.北京:中国农业出版社,1995.139
- 5 Xia Xinli, Zhou Xiaoyang, Yin Weilun. Ion compartmentation of leaf cells *Ginkgo biloba* and *Ailanthus altissima* under salt stress. Forestry Studies in China, 1999, 2: 1~9



## 《细胞实验指南》

由美国冷泉港实验室邀请 125 位专家共同研讨和撰稿,本书汇总了被细胞生物学家们证明行之有效的众多的技术和方法,它们由三大主体组成:细胞的培养及其生物化学分析、光学显微镜及细胞结构和基因及其产物的亚细胞定位。本书与备受称赞的冷泉港实验室出版社的《分子克隆实验指南》和《抗体》两本实验指南具有同样的特点,对即使具有多年工作经验的研究者也极其有用。定价:244 元(上、下册,含邮资)。



## 《基因工程原理》(第二版) 上、下册 吴乃虎著译

本书由科学出版社出版。全书共十二章,分上下两册,书末附有基因工程名词术语解释及索引。

上册:一至六章(基因与基因工程、基因操作的主要技术原理、基因克隆的酶学基础、基因克隆的质粒载体、噬菌体载体和柯斯载体、基因的分离与鉴定)。定价 58 元(含邮费)。

下册:七至十二章(基因的表达与调节、真核基因在大肠杆菌中的表达、植物基因工程、哺乳动物基因工程、重组 DNA 与现代生物技术、重组 DNA 与医学研究)。定价 78 元(含邮费)。

购书者请通过邮局汇款至北京中关村南大街 12 号中国农科院蔬菜花卉所《园艺学报》编辑部,邮编 100081。