

# 苹果砧木根系钙素吸收动力学研究

杨洪强 张连忠 戚金亮 接玉玲

(山东农业大学园艺学院, 泰安 271018)

**摘要:** 以苹果砧木——平邑甜茶 (*Malus hupehensis* Rehder) 实生苗和 3 年生盆栽富士苹果/平邑甜茶幼树为试材, 研究了根系  $\text{Ca}^{2+}$  吸收动力学以及代谢抑制剂和温度对  $\text{Ca}^{2+}$  吸收的影响。结果表明, 在供钙浓度 0.02 ~ 0.5 mmol/L 范围内, 苹果砧木根系钙离子吸收速率与钙浓度的关系符合米氏酶动力学模型, 而在供钙浓度 0.5 ~ 5.0 mmol/L 范围内, 钙吸收速率随供钙浓度的增加呈直线上升, 并且连体根钙吸收速率的上升速度明显高于离体根。不论离体根还是连体根, 钙吸收速率均受到代谢抑制剂 2,4-二硝基酚的抑制, 低供钙浓度 (0.2 mmol/L) 下受抑制的程度更高。低供钙浓度下, 温度对平邑甜茶根系钙素吸收有明显影响, 其中 15 ~ 20℃ 时  $\alpha$  值和钙吸收速率最高。以根系表面积为单位计算的吸收根和延长根的钙吸收能力相近, 而木质根  $\alpha$  值为吸收根和延长根的 54% 左右。

**关键词:** 苹果; 砧木; 根系;  $\text{Ca}^{2+}$  吸收动力学; 温度; 代谢抑制剂

**中图分类号:** S 661.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2003) 03-0253-05

钙与果实品质具有密切关系, 果树缺钙或钙营养失调会引起多种生理病害, 如苹果苦痘病、水心病、木栓斑点病等, 缺钙还会明显降低果实的耐贮性。因此, 钙素营养研究, 尤其是采后钙处理和根外追钙, 始终是人们非常关心的问题<sup>[1,2]</sup>。果实中的钙, 85% 是由土壤经根系吸收而来的, 钙吸收是整个钙素营养过程的第一步, 也是关键的一步<sup>[1]</sup>。通常认为根系对钙的吸收主要局限于未木栓化的幼嫩部分<sup>[3]</sup>, 是一个依赖于蒸腾作用的被动过程, 与植物的代谢强弱无关<sup>[4]</sup>, 温度对钙吸收影响也很小<sup>[5]</sup>。但也有人认为苹果未木栓化的白根与已木栓化的木质根对钙的吸收无显著差异, 而樱桃未木栓化的白根吸钙能力低于已木栓化的木质根<sup>[1]</sup>; 代谢抑制剂显著抑制花生对钙的吸收<sup>[6]</sup>; 在 12 ~ 36℃ 范围内黄瓜钙吸收量随温度升高而增加<sup>[7]</sup>。可见, 人们对钙吸收的认识还存在许多相矛盾和模糊的地方。

根系养分离子吸收动力学研究是植物营养研究的重要手段之一, 可定量地描述植物吸收养分的特征, 探讨环境对养分吸收的影响以及比较不同品种、不同根类的养分吸收差别等, 这种方法对果树营养研究也具有同样意义<sup>[8,9]</sup>。但由于嫁接繁殖的果树根系来自高度杂合的实生种子, 个体间变异很大, 养分离子吸收动力学研究难度很大, 有关报道也很少<sup>[8]</sup>。本试验选择个体间变异很小的湖北海棠类型中的平邑甜茶<sup>[10]</sup>为试材, 探讨根系钙吸收动力学特征, 为进一步阐明果树钙吸收机制打下基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

取平邑甜茶 (*Malus hupehensis* Rehder) 种子, 消毒层积后播于由 2 份沙质壤土和 1 份腐熟有机肥均匀混合而成的培养基中。当幼苗第 6 片真叶刚出现时, 选长势相近的植株移至 Hoagland 完全营养液, 培养 2 ~ 3 周后备用。离体根指从实生苗上截取的完整根系, 连体根指以完整植株为单位的实生苗根系。每 3 株材料为一个重复, 各处理均 3 次重复。

延长根、吸收根和木质根取自 3 年生盆栽富士苹果/平邑甜茶嫁接幼树。延长根指长度大于 0.5 cm, 呈“豆芽状”的白根; 吸收根指长度小于 0.5 cm, 群体成网状, 2 ~ 3 周更新 1 次的白根; 木质

收稿日期: 2002-11-04; 修回日期: 2003-02-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30170655)

根直径 1~2 mm, 已发生木栓化的黄褐根。在冰水中将它们分别捞出, 用无离子水洗净备用。

上述材料在处理和测定之前, 均在无离子水中饥饿 24 h。处理液均用无钙 Hoagland 营养液配制, 以  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  设置供钙浓度, 用  $\text{NaNO}_3$  补平氮含量差异, 试验体系均为 20 mL。

### 1.2 根系钙素吸收动力学研究

将离体根和连体根分别浸在钙浓度 ( $C_0$ ) 依次为 0、0.02、0.04、0.06、0.08、0.1、0.15、0.2、0.3、0.4、0.5、1、2、3、4、5  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  的系列处理液中, 25℃ 下吸收 4 h, 取出材料测根表面积; 吸收后的处理液用无离子水补至原体积测  $\text{Ca}^{2+}$  浓度 ( $C_1$ )。根据  $\text{Ca}^{2+}$  浓度变化 ( $C_0 - C_1$ )、处理液体积 ( $V$ )、吸收时间 ( $T$ )、根系表面积 ( $S$ ), 按  $I = V(C_0 - C_1) / TS$  计算  $\text{Ca}^{2+}$  吸收速率 ( $I$ ), 以每小时每平方分米根系吸收钙的微摩尔数表示; 根据拟合曲线求出最大吸收速率 ( $I_{\max}$ ) 和米氏常数 ( $K_m$ ), 并按  $I_{\max}/K_m$  计算  $\alpha$  值。根系表面积用甲烯蓝吸附法<sup>[11]</sup>, 钙浓度用偶氮氯膦 - mA 分光光度法<sup>[12]</sup>测定。

### 1.3 代谢抑制剂对钙吸收影响的试验

分别取离体根和连体根, 放置在 0.2  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{Ca}^{2+}$ 、0.2  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{Ca}^{2+}$  + 1  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  2,4-DNP、2  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{Ca}^{2+}$ 、2  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{Ca}^{2+}$  + 1  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  2,4-DNP, 4 种处理液中, 25℃ 下吸收 4 h, 计算钙吸收速率。

### 1.4 温度处理

以离体根为试材, 用恒温水浴锅设置 10、15、20、25、30、35℃ 5 个温度, 配置 0、0.02、0.04、0.06、0.08、0.1、0.15、0.2、0.3、0.4  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  10 个钙浓度梯度液, 以求出米氏方程的有关参数, 以 0.2 和 2  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  作为高低供钙浓度, 测定钙吸收速率和钙吸收动力学参数。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同供钙浓度下的钙吸收动力学特征

2.1.1 低浓度下的钙吸收特性 由图 1 可见, 在供钙浓度 0.02~0.5  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  范围内, 离体根和连体根钙吸收曲线几乎重叠在一起, 说明低浓度下两者吸钙规律相同。同时, 从图形上看, 钙吸收速率与钙浓度的关系是一条饱和曲线, 用米氏 (Michelis-Menten) 方程拟合, 以  $I$  代表钙离子吸收速率 (单位:  $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ), 以  $C$  代表钙离子浓度 (单位:  $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ), 得方程: 离体根,  $I = 1.18 \times C / (30.6 + C)$ , 相关系数  $r = 0.9897^{**}$ ; 连体根,  $I = 1.20 \times C / (31.5 + C)$ , 相关系数  $r = 0.9870^{**}$ 。两者相关性均达极显著水平, 说明低浓度下的钙吸收速率与钙浓度的关系符合米氏酶动力学模型。

由上面的方程得: 离体根最大吸收速率  $I_{\max} = 1.18 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ , 米氏常数  $K_m = 30.6 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ,  $\alpha = I_{\max}/K_m = 3.85 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ; 连体根最大吸收速率  $I_{\max} = 1.20 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ , 米氏常数  $K_m = 31.5 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ,  $\alpha = I_{\max}/K_m = 3.81 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。 $\alpha$  表示养分进入根系的速率, 值越大说明养分进入根系的速率越快, 可反映根系离子吸收能力。离体根和连体根  $\alpha$  值相近, 说明低浓度下, 钙吸收能力相同。

2.1.2 高浓度下的钙吸收特性 由图 2 可见, 在供钙浓度 0.5~5  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  范围内, 离体根和连体根

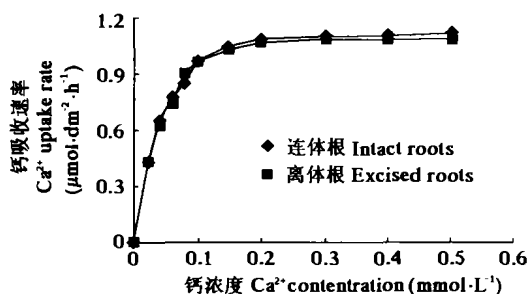


图 1 低钙浓度下根系钙吸收动力学特征

Fig. 1 Kinetics of calcium uptake under lower concentration

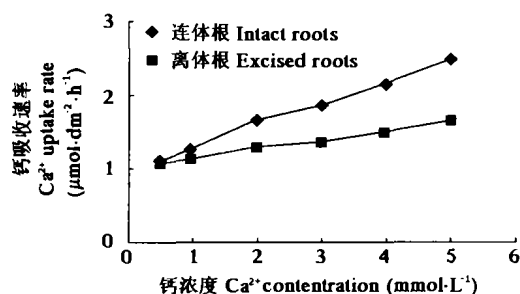


图 2 高钙浓度下根系钙吸收特征

Fig. 2 Character of  $\text{Ca}^{2+}$  absorption under higher concentration

钙吸收速率与图 1 不同, 不再呈现饱和曲线的特征, 无法用米氏方程拟合, 此时钙吸收速率随供钙浓度的增加呈直线上升, 并且连体根的上升速度明显高于离体根。

## 2.2 代谢抑制剂对根系钙素吸收速率的影响

只有受代谢控制的反应才能更好地用米氏方程描述, 由上面的试验结果可知, 在供钙浓度  $0 \sim 0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  范围内, 根系钙素吸收符合米氏酶动力学模型, 说明此时根系钙素吸收受代谢控制; 而在供钙浓度  $0.5 \sim 5.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  范围内, 不论离体根还是连体根钙吸收均不能用米氏方程拟合, 这表明高浓度下钙素吸收更多地受到非代谢因素影响。为进一步验证这一结论, 用代谢抑制剂对根系进行了处理, 结果如表 1。

由表 1 可见, 不论离体根还是连体根, 钙吸收速率均受到代谢抑制剂 2,4-DNP 的抑制, 低供钙浓度 ( $0.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 下受抑制的程度 (抑制率) 更高, 同时在高供钙浓度 ( $2.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 下离体根受抑制的程度高于连体根。

## 2.3 不同温度下离体根钙吸收动力学特征

受代谢控制的反应与温度有更密切的关系, 为进一步探讨根系钙素吸收与代谢的关系, 测定了不同温度下离体根钙吸收动力学参数 (表 2) 以及不同供钙浓度下的钙吸收速率 (图 3)。由表 2 和图 3 可知, 低供钙浓度下, 温度对平邑甜茶根系钙素吸收有明显影响, 其中  $15 \sim 20^\circ\text{C}$  时离体根  $\alpha$  值和钙吸收速率最高, 说明这时根系钙素吸收能力最强。而在高供钙浓度下, 温度 ( $10 \sim 35^\circ\text{C}$ ) 对根系钙吸收速率影响不大。

## 2.4 不同根类钙素吸收动力学参数

由表 3 可知, 以根系表面积为单位计算的吸收根和延长根的钙吸收能力相近, 而木质根  $\alpha$  值为吸收根和延长根的 54% 左右, 主动吸收钙的能力较低。

表 1 2,4-二硝基酚对根系钙素吸收速率的影响

$\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	2,4-DNP ( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	连体根 Intact roots		离体根 Excised roots	
		吸钙速率 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )	抑制率 Inhibition rate (%)	吸钙速率 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )	抑制率 Inhibition rate (%)
0.2	0	1.010		0.990	
0.2	1	0.038	96.2	0.026	97.4
2.0	0	1.670		1.310	
2.0	1	0.290	82.6	0.150	88.5

表 2 温度对低供钙浓度 ( $0.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 下离体根钙素吸收动力学的影响

温度 Temperature ( $^\circ\text{C}$ )	米氏常数 $K_m$ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ )	最大吸收速率 $I_{\max}$ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )	$\alpha^*$ ( $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ )
10	33.8	1.15	3.40
15	30.8	1.36	4.41
20	30.5	1.37	4.49
25	31.8	1.20	3.77
30	34.6	1.12	3.23
35	35.9	1.01	2.81

$$* \alpha = I_{\max}/K_m$$

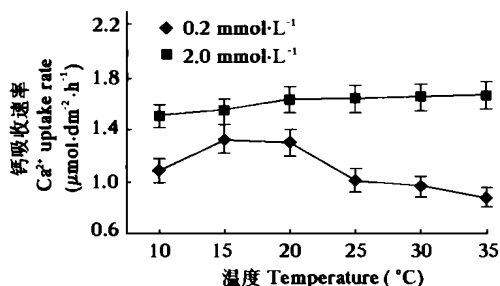


图 3 温度对不同供钙浓度下离体根钙吸收速率的影响

Fig. 3 Effect of temperature on  $\text{Ca}^{2+}$  uptake rate in excised roots under different  $\text{Ca}^{2+}$  concentration

表 3 不同根类钙素吸收动力学参数

根类型 Root type	米氏常数 $K_m$ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ )	最大吸收速率 $I_{\max}$ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )	$\alpha^*$ ( $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ )
吸收根 Absorbing roots	33.1	1.35	4.08
延长根 Extensive roots	33.6	1.38	4.11
木质根 Ligniferous root	38.8	0.86	2.22

$$* \alpha = I_{\max}/K_m$$

### 3 讨论

通常认为钙吸收主要受蒸腾作用控制,是一个被动过程<sup>[1,3]</sup>。但从本试验结果看,不论离体根还是连体根,在低供钙浓度下钙吸收规律均符合米氏(Michelis-Menten)酶动力学模型;同时代谢抑制剂不论供钙浓度高低,也不论离体根还是连体根,均大幅度到抑制了根系的钙吸收,尤其是在低供钙浓度下抑制率更高(96%以上),这说明平邑甜茶根系对钙的吸收也受代谢控制,特别是在外界钙浓度较低的情况下,根系对钙的吸收几乎完全由代谢决定。根系代谢强度与根系活力有密切关系,通过提高根系活力应当能够促进钙素吸收。事实上,盆栽试验中已经发现,IBA在提高根系活力的同时也增加了苹果根系中的钙含量<sup>[13]</sup>。植物的代谢活动受温度影响,在一定范围内温度越高代谢越旺盛。本试验结果表明,在高供钙浓度( $0.5 \sim 5.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )、 $10 \sim 35^\circ\text{C}$ 范围内,温度对根系钙吸收影响不大,同时代谢抑制剂对高供钙浓度时的钙吸收的抑制率低于低供钙浓度时,并且高供钙浓度下钙吸收速率与钙浓度的关系无法用米氏方程拟合,这说明在外界钙浓度较高时,根系钙吸收速率除受代谢因素控制外,也明显受到非代谢因素的影响。

离体根与连体根相比,可以较好地排除蒸腾作用的影响。本试验表明在 $0.5 \sim 5.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内,随着钙浓度的升高连体根钙吸收速率增大幅度高于离体根,并且在这一条件下,代谢抑制剂对离体根吸钙速率的抑制程度高于连体根。这说明外界钙浓度较高时,控制钙吸收的非代谢因素主要是蒸腾作用,这与传统的认识<sup>[1,4]</sup>相吻合。但是,由于离体根吸收的钙不能及时运出,会限制钙的进一步吸收,因此,钙库的存在也是一个不容忽视的非代谢因素,这有待进一步研究明辨。

花后4~5周是苹果果实吸收钙的高峰<sup>[1]</sup>,这时正值初春,地温较低;而本试验结果表明,根系在 $15 \sim 20^\circ\text{C}$ 吸收钙素的能力最强,这个温度接近初春较低地温,两者结果较吻合。晚秋地温下降,根据根系吸钙对温度的要求,可知这时也会出现钙吸收高峰;夏季地温偏高,根系钙吸收能力下降,因此,生产上为促进钙素吸收,夏季应采取措施降低地温,早春和晚秋则应着力提高整个根系活力,增大根系表面积。此外,尽管钙吸收一般仅局限于根的幼嫩部分<sup>[3]</sup>,但木质根也有一定的吸钙能力,而且它在整个根系中占很大比例,所以木质根对钙吸收的贡献不容忽视。虽然吸收根与延长根以表面积计算的钙吸收能力相差不大,但由于吸收根细小,同样重量吸收根的根表面积远大于延长根,它在钙吸收中应起主要作用,生产上为促进钙素吸收还应着力增加吸收根的比例。

### 参考文献:

- 1 束怀瑞主编. 苹果学. 北京: 中国农业出版社, 1999. 343~385
- 2 Dris R, Niskanen R, Fallahi E. Nitrogen and calcium nutrition and fruit quality of commercial apple cultivars grown in Finland. *J. of Plant Nutrition*, 1998, 21 (11): 2389~2402
- 3 Ferguson I B. Ion transport and endodermal suberization in the roots of *Zea mays*. *New Phytol.*, 1975, 75: 69~79
- 4 Drew M C. Effect of metabolic inhibitors and temperature on uptake and translocation of  $^{45}\text{Ca}$  and  $^{42}\text{K}$  by intact bean plants. *Plant Physiol.*, 1971, 48: 426~432
- 5 Kuhn A J, Schroder W H, Bauch J. The kinetics of calcium and magnesium entry into mycorrhizal spruce roots. *Planta*, 2000, 210 (3): 488~496
- 6 周卫, 林葆. 花生根系钙素吸收特性研究. *植物营养与肥料学报*, 1996, 2 (3): 226~231
- 7 Daskalaki A, Barrage S W, Munoz C R. Solution temperature and the uptake of water and nutrients by cucumber (*Cucumis sativus* L.) in hydroponics. *Acta Hort.*, 1998, 458: 317~322
- 8 韩振海, 王永章, 王倩. 植物离子动力学研究的现状与前景. *北京农业大学学报*, 1994, 20 (4): 381~387
- 9 蒋廷惠, 郑绍建, 石锦芹, 等. 植物吸收养分动力学研究中的几个问题. *植物营养与肥料学报*, 1996, 2 (3): 11~16
- 10 杨洪强, 接玉玲. 苹果砧木实生苗个体差异研究. *山东农业大学学报*, 1997, 28 (4): 487~491
- 11 束怀瑞主编. 果树栽培生理学. 北京: 农业出版社, 1993. 292~294
- 12 张文德. 一种选择性测定微量钙的光度分析法. *理化检验—化学分册*, 1999, 35 (5): 221~223
- 13 杨洪强, 接玉玲, 张连忠, 等. IBA对苹果幼树  $\text{Ca}^{2+}$  吸收及根系活力的影响. 见: 奥岩松, 秦智伟主编. 园艺学进展 (第四辑). 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2000. 57~59

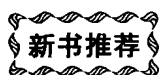
## The Kinetics of Calcium Uptake in Apple Rootstock Roots

Yang Hongqiang, Zhang Lianzhong, Qi Jinliang, and Jie Yuling

(College of Horticulture, Shandong Agriculture University, Tai'an 271018, China)

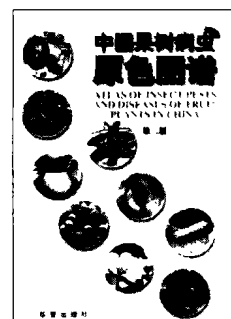
**Abstract:** The experiment were carried using apple seedlings (*Malus hupehensis* Rehder) and pot-cultured three-year old apple tree (Fuji/*Malus hupehensis* Rehder). It was studied that the kinetics of  $\text{Ca}^{2+}$  uptake and the effect of temperature and metabolic inhibitor 2,4-Dinitrophenol (2,4-DNP) on  $\text{Ca}^{2+}$  uptake rate. The result show that the relation of  $\text{Ca}^{2+}$  uptake rate and  $\text{Ca}^{2+}$  concentration fits into Michaelis-Menten model under low concentration of  $\text{Ca}^{2+}$  ( $0.02 - 0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ). The  $\text{Ca}^{2+}$  uptake rate rise linearly with the increase of  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in both intact roots and excised roots and the rate of  $\text{Ca}^{2+}$  uptake in intact roots exceeds in excised roots under high concentration of  $\text{Ca}^{2+}$  ( $0.5 - 5.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ). The rates of  $\text{Ca}^{2+}$  uptake were inhibited by 2,4-DNP both in intact roots and excised roots. The inhibition rate was bigger under low concentration than high concentration and in excised roots than in intact roots. Under low concentration, the rate of  $\text{Ca}^{2+}$  uptake was influenced markedly by temperature. The  $\alpha$  value and  $\text{Ca}^{2+}$  uptake rate in excised roots were the highest under  $15 - 20^\circ\text{C}$ . Under high concentration, the rate of  $\text{Ca}^{2+}$  uptake did not affected markedly by temperature. The  $\text{Ca}^{2+}$  uptake rate in absorbing roots was similar to extensive roots according to roots surface area. The  $\alpha$  value in ligneous roots was 54% to absorbing roots and extensive roots.

**Key words:** Apple; Rootstock; Roots; Kinetics of  $\text{Ca}^{2+}$  uptake; Temperature; Metabolic inhibitor



### 新书推荐 《中国果树病虫原色图谱》(第二版) 吕佩珂主编

为了适应我国调整产业结构和发展名特优水果及生产绿色果品的需要,对原图谱进行了大刀阔斧的修订。修订第二版含彩版 144 页,彩色生态照片 1152 幅,文字 120 万,包括落叶果树病害 305 种,害虫 338 种;常绿及热带亚热带果树病害 195 种,害虫 160 种,全书介绍果树病虫害近千种,较原图谱图片和病虫数量增加了 50%,成为中国果树病虫识别与防治大全。该书图文并茂、内容新颖、信息量大,既突出了无公害和生物防治,也介绍了综合防治方法,以适应入关后南北方生产无公害果品防治病虫的需要。可供全国果树站、植保站、果树科技人员、广大果农、农资系统、农林院校师生参考。定价:101 元(含邮资)。



### 《中国蔬菜病虫原色图谱》(第三版·无公害)

《中国蔬菜病虫原色图谱》第三版包括南北方瓜类、茄果类、豆类、葱蒜类、绿叶蔬菜类、多年生及水生蔬菜等病虫害 521 种,其中蔬菜病害 389 种,虫害 134 种,彩图 680 幅、文字 55 万,该书图文并茂,内容新颖。第三版防治方法定位在无公害蔬菜生产上,除充实大量生物防治法外,还介绍了综合防治技术和方法,药剂防治中删去了蔬菜上不得使用 and 限制使用的农药,重点选择使用全国农业技术推广服务中心推荐的无公害农药及高效、低毒、低残留的新品种,以适应加入世贸组织后,全国实施新阶段“菜篮子”工程生产无公害蔬菜的防治病虫害的需要。可供蔬菜站、植保站、农技站、农资系统、庄稼医院、农业院校师生、有关农业企业和科技人员参考。定价:69 元(含邮资)。

购书者请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。