

富营养底质对沉水植物的胁迫研究

I. 乙酸对伊乐藻和菹草萌发与幼芽生长的影响

左进城^{1,2}, 贺峰¹, 成水平¹, 吴娟^{1,2}, 吴振斌^{1*}

(1. 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 湖泊底质中有机物的厌氧代谢产生多种有机酸, 其中主要成分是乙酸。研究了暴露于不同浓度的乙酸溶液后伊乐藻(*Elodea nuttallii*)和菹草(*Potamogeton crispus*)无性繁殖体的萌发和幼芽的生长状况。1 mmol/L的乙酸能显著抑制伊乐藻幼芽的生长($p < 0.05$), 但对其繁殖体的萌发无明显影响。在4 mmol/L的乙酸影响下, 菹草幼芽仍有明显的生长; 菹草繁殖体的萌发受到显著抑制($p < 0.05$), 但在随后的培养中可全部萌发。4 mmol/L以上的乙酸暴露3 d或6 d导致伊乐藻全部死亡, 8 mmol/L的乙酸处理6 d或16 mmol/L的乙酸处理3 d或6 d导致菹草全部死亡。研究表明厌氧底质中的乙酸可能是阻碍沉水植物生长的重要因素之一, 菹草比伊乐藻能耐受较高强度的乙酸胁迫, 更适合作为先锋物种用于富营养化湖泊中的沉水植物恢复。

关键词: 伊乐藻; 菹草; 富营养化; 乙酸; 沉水植物

中图分类号: X173

文献标识码: A

文章编号: 1000-470X(2006)05-0424-05

Stresses of Eutrophic Lake Sediment on Submersed Macrophytes

I. Effects of Acetic Acid on Germination and Bud Growth of *Elodea nuttallii* and *Potamogeton crispus*

ZUO Jin-Cheng^{1,2}, HE Feng¹, CHENG Shui-Ping¹, WU Juan^{1,2}, WU Zhen-Bin^{1*}

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Anaerobic digestion of organic matters will produce organic acids, in which acetic acid is dominant. Propagules and buds of *Elodea nuttallii* and *Potamogeton crispus* were exposed to acetic acid concentrations from 1 to 16 mmol/L for 3 or 6 days, and then they were subsequently cultured in absence of acetic acid. Results showed *P. crispus* was more tolerant to acetic acid than *E. nuttallii*. At acetic acid concentration of 1 mmol/L, *E. nuttallii* propagules germinated normally, but the buds was significantly inhibited ($p < 0.05$) in growth and the recovery in the subsequent culture was slow. Exposures to 4 mmol/L or higher caused death of *E. nuttallii*. In contrast, at concentration of 4 mmol/L, all *P. crispus* buds survived with significant growth and had a good recovery in the subsequent culture; *P. crispus* turions were remarkably reduced in germination rate, but all sprouted in the subsequent culture. However, exposures to 8 mmol/L for 6 days or to 16 mmol/L for 3 or 6 days led to death of *P. crispus*. The study showed that presence of acetic acid in sediment might cause great difficulties in reestablishing submerged macrophytes in eutrophic lakes, and that *P. crispus* was more suitable than *E. nuttallii* to be established as pioneer species.

Key words: *Elodea nuttallii*; *Potamogeton crispus*; Eutrophic; Acetic acid; Submersed macrophyte

沉水植物是湖泊生态系统中重要的组成部分, 恢复沉水植物已成为治理富营养化湖泊的关键措施之一^[1, 2]。但在实践中, 沉水植物经常难以大面积成活或难以形成稳定的种群或群落。除风浪、透明

度、鱼的牧食等因素外, 富含有机物的厌氧底质也是主要因素之一^[3, 4]。有机物丰富的底质能妨碍植物吸收营养, 或产生还原性离子直接伤害植物, 但更重要的可能是高有机物含量引起或加重了其它胁迫因

收稿日期: 2006-03-22, 修回日期: 2006-06-30。

基金项目: 国家杰出青年科学基金(39925007); 湖北省科技攻关重大项目(2006AA305A03); 国家“十五”重大科技专项(2002AA601021); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-SW-107-07)。

作者简介: 左进城(1978-), 男, 博士研究生, 主要从事环境生物学、恢复生态学的研究。

* 通讯作者(E-mail: wuzb@ihb.ac.cn)。

子的作用^[4]。本实验室将在富营养底质对沉水植物的胁迫方式和机理方面开展系列研究,为富营养化湖泊的修复提供理论支持和实践依据。

底质中有机物的厌氧代谢过程产生多种有机酸,其中主要成分是乙酸^[5,6]。而一般水体底质中乙酸浓度通常在1 mmol/L以下,间隙水中浓度有时可达到2.5~8.6 mmol/L,而当水位迅速增长时,底质中有机酸浓度可剧增至10~40 mmol/L,持续时间可达到几周^[7]。植物残体的厌氧代谢能产生大量乙酸,抑制植物的生长^[8,9]。研究表明底质中的乙酸也能影响到轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*)、菹齿眼子菜(*Potamogeton pectinatus*)和禾叶眼子菜(*P. gramineus*)等沉水植物的萌发与生长^[7,10,11]。

伊乐藻(*Elodea nuttallii*)与菹草(*Potamogeton crispus*)冬季生长良好,具有强大的繁殖能力和去污能力,是沉水植物恢复中的重要备选物种^[12,13]。伊乐藻的枝条与菹草植芽分别是两种最重要的无性繁殖体,在这两种植物的繁殖与扩展或受干扰后的恢复过程中起着重要的作用^[14~16],但目前尚未查到有关乙酸对它们影响的报道。本实验的目的是研究受乙酸短期影响后伊乐藻和菹草繁殖体的萌发与幼芽的生长状况,为实际操作提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 植物材料

植物材料取自中国科学院水生生物研究所沉水植物实验基地培养的伊乐藻(*Elodea nuttallii*)和菹草(*Potamogeton crispus*)。在乙酸影响繁殖体萌发的实验中,以伊乐藻枝条和菹草的植芽作为研究对象,其中伊乐藻枝条长5 cm,无分枝与明显萌芽;菹草的植芽在4℃下低温催化1周,取得较一致的萌发时间^[17],每个植芽上只保留1个健壮的休眠芽,其它的用镊子小心除去。在乙酸影响幼芽生长的实验中,以伊乐藻和菹草刚萌发的幼芽为研究对象,每个菹草植芽上仅保留1个幼芽;伊乐藻枝条具有3个节,每个枝条仅在中间的节上保留1个幼芽;每种植物的幼芽初始长度相似,均无根生成。

1.2 实验方法

取适量东湖(水果湖湖区)的底泥,覆水放置10 d后用于实验。以分析纯的乙酸与武汉东湖湖水配制成1、4、8和16 mmol/L等4个浓度梯度,并以不加乙酸的东湖湖水作为对照。在容积为1 L的塑料盒中铺1.0 cm厚的底泥,缓慢加入各浓度的乙酸至离顶部0.5 cm处,避免扰动底泥。植物材料放入

塑料盒后用透明保鲜膜封口,分别处理3 d和6 d。每种植物材料、乙酸浓度和处理时间的组合设3个重复,每个重复为1个塑料盒,每盒放有10个受试植物材料。到达处理时间后,小心取出植物材料,在自来水中轻轻漂洗。在乙酸影响繁殖体萌发的实验中统计各组的萌发率,在乙酸影响幼芽生长的实验中测量各植物的芽长。之后将植物材料放入同样的、但无乙酸的塑料盒中继续培养,对处理3 d的植物培养13 d,对处理6 d的植物培养10 d。在乙酸影响繁殖体萌发的实验中统计植物的存活率,在乙酸影响幼芽生长的实验中统计存活率并测量每株植物的枝条长度、根总长与干重(因伊乐藻的幼芽太小,没测其干重)。

实验于2004年12月在室内进行,平均温度为(15.6 ± 2.4)℃(mean ± S. D.)。实验过程中,各处理组中pH值变化不大。实验用湖水的化学耗氧量(COD_{Cr})、总氮、氨氮和总磷分别为(29.67 ± 8.29) mg/L (mean ± S. D., n = 3)、(2.09 ± 0.61) mg/L、(0.64 ± 0.06) mg/L和(0.18 ± 0.06) mg/L。实验用底泥的总磷、总氮和总有机碳分别为(0.76 ± 0.08) mg/g DW(干重)、(3.68 ± 0.33) mg/g DW、(9.55 ± 0.96) mg/g DW。

实验数据通过SPSS13.0 for Windows统计分析。以t检验分析初始芽长与处理3 d或6 d时的芽长间的差异,以ANOVA分析各处理间的差异,并以LSD进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 乙酸对繁殖体萌发的影响

在暴露于4 mmol/L以上的乙酸过程中及在随后的培养中,伊乐藻一直没有萌发,而且这些枝条已发黑、变软,说明它们已全部死亡(图1:A)。0与1 mmol/L的乙酸处理3 d后,伊乐藻没有萌发,但在随后的培养中达到了较高的萌发率;处理6 d后,萌发率都达到了80%以上,但在随后的培养中无更多幼芽萌发(图1:A)。而且在随后的培养中,1 mmol/L处理3 d组或6 d组的萌发率与各自对照组间差异不显著($p > 0.05$)(图1:A)。

1 mmol/L的乙酸对菹草的萌发没有影响,而暴露于4 mmol/L的乙酸时,菹草的萌发率显著降低($p < 0.05$),但在随后的无乙酸培养中均能达到100%(图1:B)。8 mmol/L的乙酸处理3 d后,菹草的萌发率可超过60%,但有少量幼芽在随后的培养中死亡(图1:B)。8 mmol/L的乙酸处理6 d后或16 mmol/L的乙酸处理3 d或6 d后,虽有部分菹草

萌发,但芽体呈黑色,在随后的培养中全部死亡(图1:B)。

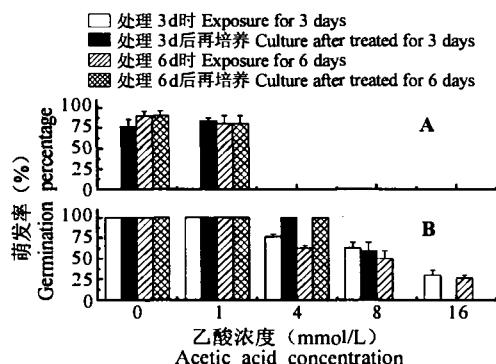


图1 乙酸处理后与再培养后的伊乐藻(A)与菹草(B)的萌发率

Fig. 1 Germination percentages of *E. nuttallii* (A) and *P. crispus* (B) after exposures and those after the subsequent cultures

结果说明伊乐藻能在低于1 mmol/L的乙酸中正常萌发,而菹草可在较高强度的乙酸暴露中萌发并存活。

2.2 受乙酸处理3 d 和 6 d 时幼芽的生长

浓度为1、4、8和16 mmol/L的乙酸处理3 d或6 d后,伊乐藻的平均芽长与初始值差异不显著($p > 0.05$),但均显著($p < 0.05$)小于各自对照组的(图2:A)。浓度为0、1和4 mmol/L的乙酸处理3 d或6 d后,菹草幼芽均有显著的生长($p < 0.05$),且各浓度处理6 d组的芽长显著地大于相应浓度处理3 d组的值($p < 0.05$);但8或16 mmol/L的乙酸处理3 d或6 d后,菹草的平均芽长与初始值差异不大($p > 0.05$)(图2:B)。处理时间为3 d时,1或4 mmol/L组与对照组间的菹草幼芽的芽长差异不显著($p > 0.05$);处理时间为6 d时,1 mmol/L组与对照组的平均芽长差异不显著($p > 0.05$),但均显著大于4 mmol/L组的($p < 0.05$)(图2:B)。

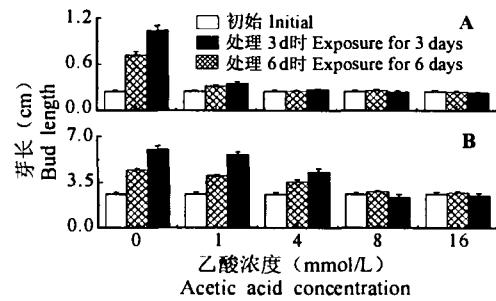


图2 伊乐藻(A)和菹草(B)幼芽受乙酸处理后的平均芽长

Fig. 2 Average bud length of *E. nuttallii* (A) and *P. crispus* (B) after exposures

结果表明,浓度为1 mmol/L的乙酸能明显抑制伊乐藻幼芽的生长;而菹草幼芽能在4 mmol/L乙酸的短期暴露(6 d之内)中生长,但较高浓度的暴露能加重对其生长的抑制。

2.3 乙酸对幼芽存活率的影响

暴露于4 mmol/L以上的乙酸3 d或6 d时,伊乐藻幼芽全部死亡;而1 mmol/L的乙酸对伊乐藻幼芽的存活率没有显著影响($p > 0.05$)(图3:A)。8 mmol/L的乙酸处理3 d后,菹草幼芽存活率仅为23.3%,显著地小于对照组的($p < 0.05$)(图3:B)。8 mmol/L处理6 d或16 mmol/L处理3 d或6 d后,菹草幼芽全部死亡,而0、1和4 mmol/L组的全部存活(图3:B)。

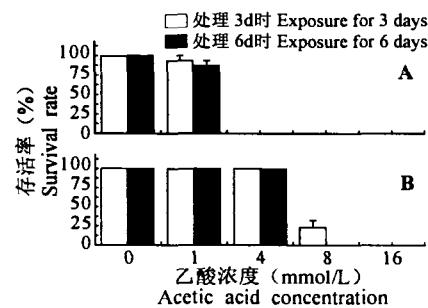


图3 伊乐藻(A)和菹草(B)幼芽的存活率

Fig. 3 Survival rates of *E. nuttallii* (A) and *P. crispus* (B) after exposures to acetic acid

2.4 受乙酸影响后幼芽在随后培养中的恢复

在随后的无乙酸培养中,受过1 mmol/L乙酸处理6 d的伊乐藻的生长有一定程度的恢复,但其芽长与根总长均显著小于受1 mmol/L处理3 d的($p < 0.05$),而且这两组的生长都显著地弱于各自对照组($p < 0.05$)(图4)。

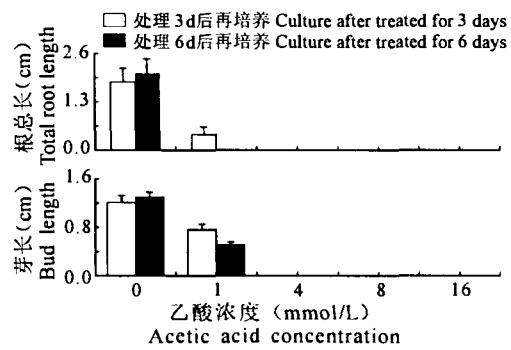


图4 伊乐藻幼芽在继续培养中的生长

Fig. 4 Growth of *E. nuttallii* in the subsequent cultures

在解除乙酸的胁迫之后,受8 mmol/L处理3 d后的菹草幼芽的恢复较差,其生长显著地弱于0、1和4 mmol/L组($p < 0.05$)(图5)。对照组与1 mmol/L组的菹草生长差异不显著($p > 0.05$),但

均显著地好于4 mmol/L组($p < 0.05$)(图5)。在无乙酸的正常培养后,0、1和4 mmol/L组中受过3 d处理的菹草幼芽的生长与相应浓度组中受过6 d处理的差异不显著($p > 0.05$)(图5)。

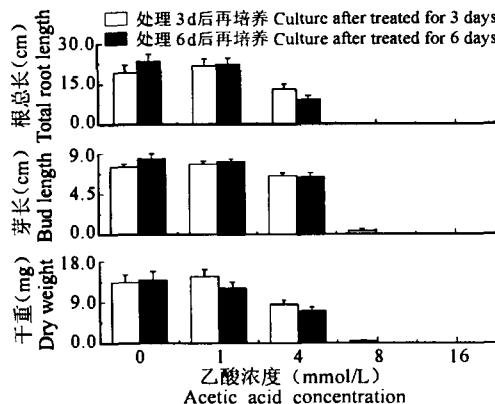


图5 菹草幼芽在继续培养中的生长

Fig. 5 Growth of *P. crispus* in the subsequent cultures

结果说明,解除乙酸的胁迫后,受1 mmol/L处理3 d或6 d后的伊乐藻恢复较慢,而受4 mmol/L处理6 d后的菹草仍能保持较好的生长状态,但受8 mmol/L处理3 d的菹草的生长较差。

3 讨论

急性酸中毒对菹草光合作用的影响不大^[18],但pH低于6时伊乐藻的光合作用受到显著抑制^[19]。本研究也发现,菹草的幼芽和无性繁殖体分别比伊乐藻的幼芽和无性繁殖体能耐受较高强度的乙酸胁迫,而且在解除乙酸胁迫后,能较好地恢复。菹草的这种能力有助于它正常地生长于富营养化水体中。植物的根际输氧可以改善水体底质的厌氧与低氧化还原电位等状态^[20, 21]。菹草和伊乐藻是目前富营养化湖泊水生植被恢复重建过程中应用较多的两种先锋植物。因此,从这一点来说,菹草比伊乐藻更适合作为先锋物种用于富营养化湖泊的沉水植物恢复。

厌氧条件下,微生物的生长和植物的分解非常快,短链的有机酸(C₂-C₅)在71 d后能达到原先植物干重的30%^[22]。有机酸能直接破坏植物的组织或器官,甚至导致其死亡。一般来说,环境温度越高、暴露时间越长、浓度越高,植物受到的伤害就越大^[7]。此外,厌氧分解中的某些微生物也可能会直接危害植物^[23]。更严重的是,底质间隙水pH下降可能使重金属溶出或活化^[24],使水环境质量更加恶化。因此,底质中的因厌氧代谢而产生的乙酸可能

是富营养化湖泊中沉水植物难以恢复的重要原因之一。而湖泊底质中的有机物主要来源为外源输入、藻类与其它水生植物的死亡碎屑沉积^[6]。因此,水生植物的科学管理与严格控制未达标污水的排放对减少湖泊底泥中乙酸的释放、治理富营养化湖泊是非常重要的。

致谢:感谢刘保元副教授、梁威博士的宝贵建议,感谢净化组内其他人员的帮助。

参考文献:

- 吴洁,虞左明.西湖浮游植物的演替及富营养化治理措施的生态效应[J].中国环境科学,2001,21:540-544.
- 吴振斌,邱东茹,贺锋,付贵萍,成水平,马剑敏.沉水植物重建对富营养水体氮磷营养水平的影响[J].应用生态学报,2003,14:1351-1353.
- Jeffries M, Mills D. Freshwater Ecology Principles and Applications[M]. England: John Wiley & Sons, 1995. 139.
- 倪乐意.富营养水体中肥沃底质对沉水植物生长的胁迫[J].水生生物学报,2001,21:399-405.
- King G M, Klug M J. Glucose metabolism in sediments of a eutrophic lake: tracer analysis of uptake and product formation [J]. *Appl Environ Microbiol*, 1982, 44:1308-1317.
- Graf G, Schulz R, Peinert R, Meyer-Reil L A. Benthic response to sedimentation events during autumn to spring at a shallow-water station in the Western Kiel Bight I: Analysis of processes on a community level[J]. *Mar Biol*, 1983, 77:235-246.
- Spencer D F, Ksander G G. Differential effects of the microbial metabolite, acetic acid, on sprouting of aquatic plant propagules [J]. *Aquat Bot*, 1995, 52:107-119.
- Tang C S, Waiss Jr A C. Short-chain fatty acids as growth inhibitors in decomposing wheat straw[J]. *J Chem Ecol*, 1978, 4:225-232.
- Staman K, Blum U, Louws F, Robertson D. Can simultaneous inhibition of seedling growth and stimulation of rhizosphere bacterial populations provide evidence for phytotoxin transfer from plant residues in the bulk soil to the rhizosphere of sensitive species? [J]. *J Chem Ecol*, 2001, 27:807-829.
- Spencer D F, Elmore C L, Ksander G G, Roncoroni J A. Influence of dilute acetic acid treatments on American pondweed winter buds in the Nevada irrigation district, California[J]. *J Aquat Plant Manage*, 2003, 41:65-68.
- Spencer D F, Ksander G G. Influence of dilute acetic acid treatments on survival of monoecious *Hydrilla* tubers in the Oregon House Canal, California[J]. *J Aquat Plant Manage*, 1999, 37:67-71.
- 陈洪达.菹草的生活史、生物量和断枝的无性繁殖[J].水生生物学报,1985,9:32-39.
- 黄蕾,翟建平,王传瑜,聂荣,袁东海.4种水生植物在冬季脱氮除磷效果的试验研究[J].农业环境科学学报,2005,24:366-370.
- Rogers K H, Breen C M. Growth and reproduction of *Potamogeton*

- crispus in a South African lake [J]. *J Ecol*, 1980, **68**: 561–571.
- [15] Kunii H. Seasonal growth and profile structure development of *Elodea nuttallii* (Planch.) St. John in pond Ojaga-Ike, Japan [J]. *Aquat Bot*, 1984, **18**: 239–247.
- [16] 李伟, 刘贵华, 熊秉红, 浦云海. 1998年特大洪水后鄱阳湖自然保护区主要湖泊水生植被的恢复 [J]. 武汉植物学研究, 2004, **22**: 301–306.
- [17] Sastroutomo S S. Turion formation, dormancy and germination of curly pondweed, *Potamogeton crispus* L [J]. *Aquat Bot*, 1981, **10**: 161–173.
- [18] 陈洪达. 茵草生产力的研究 [J]. 水生生物学报, 1989, **13**: 152–159.
- [19] Jones J I, Eaton J W, Hardwick K. The effect of changing environmental variables in the surrounding water on the physiology of *Elodea nuttallii* [J]. *Aquat Bot*, 2000, **66**: 115–129.
- [20] Flessa H. Plant-induced changes in the redox potential of the rhizospheres of the submerged vascular macrophytes *Myriophyllum verticillatum* L. and *Ranunculus circinatus* L. [J]. *Aquat Bot*, 1994, **47**: 119–129.
- [21] Wigand C, Stevenson J C, Cornwell J C. Effects of different submerged macrophytes on sediment biogeochemistry [J]. *Aquat Bot*, 1997, **56**: 233–244.
- [22] Patience R L, Sterry P R, Thomas J D. Changes in chemical composition of a decomposing aquatic macrophyte, *Lemna paucicostata* [J]. *J Chem Ecol*, 1983, **9**: 889–911.
- [23] Chapman S J, Lynch J M. The relative roles of micro-organisms and their metabolites in the phytotoxicity of decomposing plant residues [J]. *Plant Soil*, 1983, **74**: 457–459.
- [24] 况琪军, 夏宜珍, 惠阳. 重金属对藻类的致毒效应 [J]. 水生生物学报, 1996, **20**: 277–283.

2007年《中国药学文摘》征订启事

《中国药学文摘》(ISSN 1003-3521/CN 11-2529/R)是由国家食品药品监督管理局主管,国家食品药品监督管理局信息中心主办,国内外公开发行的医药科技性专业期刊。月刊,16开本,每期280页左右,每期约80万字。是国内药学期刊中唯一的综合性文摘类刊物。收载国内外公开发行的700余种药学相关学科期刊中的精粹文献。全年定价:476元

《中国药学主题词表》(2007年)征订启事

《中国药学术语词库与主题词表》是科技部的重点科技基础性项目,由国家食品药品监督管理局信息中心组织完成。是我国第一部涵盖药学及其相关学科主题词的主题词表,填补了多年来国内药学术词表领域的空白。该书的问世,使药学名词的统一和标准化得以实现,对于药学科学技术知识的传播,图书文献的编辑、出版、标引、编目、建库、查新、文献数据库建设、数据库检索、咨询服务、信息交换和国内外学术交流等起着重要的作用。共收录正式主题词34000多条,非正式主题词近20000条。包括字顺表(主表)、树型结构表以及以下五个辅表:英汉主题词对照表、拉汉中草药及药用植物主题词对照索引表、主题词汉语拼音索引表、副主题词表和文献出版物类型表。

读者对象为医药文献工作者,医药期刊编辑,科研、临床、教学、情报人员及广大用户群。适合于各大中型图书馆、各大中专院校、医药科研事业单位、医药专业媒体、医院图书馆、医药研发及制药企业图书馆和资料室、医药情报信息机构、医药网站等单位收藏和使用。

《中国药学主题词表》(精装本)(上、中、下三册)总计:570元

《中国药学大辞典》(2007年)征订启事

《中国药学大辞典》是我国第一部收录词量最大的药学辞典,收集词汇近30000条,涉及药用动物植物矿物、中药和方剂、药用化学物质、化学药物、药剂学、药剂学、药物化学、中医学和生药学、微生物药学、生物药学、药物分析、药理学和毒理学、医院药学、临床药学、药学史、药事管理、信息科学、药学相关学科和专业、技术和设备、教育学名词等方面内容。堪称我国药学期刊的百科全书。该书是中西医药科研、临床、教学、制药、药剂、药政管理等人员必备的工具书和参考书。零售价:352元

单位名称:国家食品药品监督管理局信息中心 通讯地址:北京市西城区北礼士路甲38号(邮编:100810)

开户名称:国家食品药品监督管理局信息中心 开户银行:建设银行北京展览路支行

账号:6510003042610002517 电话:010-62214715, 62214665 传真:010-62214866