

植物酸致损伤机理与化控减灾研究进展

周 青^{1,2}, 黄晓华^{3,4}, 曾庆玲¹, 梁婵娟¹, 叶亚新⁵

(1. 江南大学工业生物技术教育部重点实验室, 江苏 无锡 214036; 2. 南京师范大学生命科学学院, 江苏 南京 210097; 3. 江南大学化学系, 江苏 无锡 214036; 4. 南京师范大学化学与环境科学学院, 江苏 南京 210097; 5. 苏州科技学院生物学系, 江苏 苏州 215009)

摘 要: 综述了酸雨对植物酸致损伤机理, 在此基础上探讨了钙调控、有机物调控与稀土调控等化学控制植物代谢, 减轻酸雨伤害的研究近况与存在的问题。

关键词: 酸雨; 植物; 伤害机理; 化控减灾

中图分类号: X517 文献标识码: A 文章编号: 1672 – 2043(2003)05 – 0632 – 04

Injury Mechanism of Acid Rain on Vegetation and Its Chemicals Control

ZHOU Qing^{1,2}, HUANG Xiao-hua^{3,4}, ZENG Qing-ling¹, LIANG Chan-juan¹, YE Ya-xin⁵

(1. The Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China; 2. College of Life Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China; 3. Department of Chemistry, Southern Yangtse University, Wuxi 214036; 4. College of Chemistry and Environmental Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China; 5. Department of Biology, Suzhou Science & Technology College, Suzhou 215009, China)

Abstract: Concerning injury mechanisms of acid rain on vegetation has been reviewed in this paper. In the meantime, plant metabolism controlled by chemical substances such as calcium, iron, rare earth element ions and organic substances, have been discussed. The recent situation and some questions, for mitigating injury of acid rain on plant, have been evaluated as well.

Keywords: acid rain; vegetation; injure mechanism; chemicals control and mitigate injury

被生态学家、环境学家称为“空中杀手”的酸雨, 以其对地球生态系统的毁灭性破坏而引起世界各国科学家乃至政府的关注。减轻酸雨伤害植被的一个重要方面是了解酸雨对植被的生态效应, 尤其是澄清植物的酸致损伤机理, 对此国内外已进行了大量研究, 并取得一些成果, 酸雨伤害机理的脉络已渐凸现^[1~2]。以此为鉴, 我国科学家冯宗炜^[2]等人首创酸沉降严重地区生态系统恢复技术与措施, 在西南地区酸毁森林植被的生态修复实践中, 取得了良好效果。为拓展酸雨减灾研究的思路, 应用化学控制手段、调节植物代谢, 继而增强植物抗酸雨胁迫能力的化控减灾研究, 也已开展。本文在简要论述酸雨对植物酸致伤害机理的基础上, 着重探讨了采用钙调节剂、有机调节剂与稀土调节剂等手段调控植物代谢, 减轻酸雨急性伤害植物的研究近况与存在的问题。

收稿日期: 2002 – 11 – 14

基金项目: 国家计委(GJX01100626); 江苏省科技厅(BG2001045); 江苏省教育厅(01KJB150) 3 项基金资助

作者简介: 周 青(1957—), 男, 教授, 研究方向为环境生态学。

E – mail: zqwx@ 263. sina. com

1 酸雨急性伤害机理

大量研究表明, 植物的酸致伤害机理是十分复杂的。从时间尺度和酸沉降强度可将其分为急性伤害与慢性伤害, 从作用方式上又可分为直接伤害与间接伤害。酸雨对植物急性伤害的表观征象为叶片失绿、枯落, 生长减缓, 生物量下降, 其不可见伤害机理如下。

1.1 离子效应

自然降雨过程会将植物叶片和茎内的 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Mg^{2+} 等阳离子洗脱下来, 酸雨更强化了这种淋洗过程。Borman 等人^[2] (1975) 研究了酸雨污染对糖槭树 (*Acer saccharum*) 叶片营养元素的影响, 发现叶片在尚未出现可见伤害时, 其内的 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等阳离子流失量明显高于对照植株。番茄 (*Lycopersion esculentum*)、胡萝卜 (*Daucus carota var. sativ*)、棉花 (*Gossypium hirsutum*) 植株在 pH 4.6 ~ 2.8 模拟酸雨胁迫下, 叶片内 K^+ 的外渗率明显提高^[3]。周青^[4] 等人实验证实, 以 pH 2.5 模拟酸雨喷洒甜瓜幼苗 1 次, 其叶片的 Ca^{2+} 含量比对照植株降低 14.4%。而酸雨胁迫下, 作为强酸缓冲物质 NH_4^+ 的大

量淋失,势必造成植物氮素营养障碍。上述营养元素或为植物细胞内的功能物质、结构物质和信使物质,可在生化(酶活性,光合作用光电转化效应,叶绿素组成成分等)、生理(光合作用,气孔行为,能量代谢,抗逆性等)、信息传递(钙信使)、生长发育等不同层次上对植物生命活动产生影响。

1.2 质子效应

邓仕坚^[5]课题组研究了模拟酸雨对抗性树种火力楠 (*Michelia macclurei*),中等敏感树种马尾松 (*Pinus massoniana*)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 及敏感树种檫木 (*Sassafras tsumu*)、水杉 (*Metasequoia glyptostroboides*) 叶片汁液 pH 值的影响,结果发现,以 pH2.0、3.0、4.5 的模拟酸雨连喷 6 d,结果使火力楠 pH 下降 0.05、0.05、0.03,马尾松、杉木 pH 分别下降 0.15、0.12、0.09 和 0.1、0.09、0.02,檫木、水杉 pH 下降 0.17、0.11、0.07 和 0.2、0.15、0.1。高健等人^[6]在铜陵市酸雨区实地测定发现,马尾松叶片汁液 pH 值下降达 0.42,远高于前者的模拟实验。在经济作物实验中同样证实,在酸雨胁迫下,在可见伤害出现前,菜豆 (*Phaseolus vulgaris*) 叶片汁液 pH 值下降 0.28^[7],甜瓜 (*Cucumis melo*) 叶片汁液 pH 值下降 0.29^[8]。由于 H⁺ 大量输入细胞,液泡缓冲能力降低,植物细胞内环境在酸度方面发生明显改变,细胞汁 pH 值下降。由此引起酶活性降低或酶钝化(功能性),乃至酶构象变化(二硫键断裂,三维结构消失)。

1.3 光合抑制效应

大量研究显示^[3,7~12],酸雨胁迫下、可见伤害发生前,植物光合作用已明显受抑,叶绿素含量下降。究其原因,前者在于酸雨破坏了叶绿体的片层结构,使类囊体膜损伤,降低光反应过程中的光电转换效能,钝化暗反应酶系(RuBPCase 等);后者是因 H⁺ 取代叶啉环中的 Mg²⁺,破坏叶绿素合成与分解过程的平衡所致。进一步研究发现^[10~12],酸雨胁迫下,植物光合作用下降往往先于叶绿素含量下降,光合作用对酸雨敏感性高于叶绿素降解对酸雨敏感性的事实,暗示酸雨胁迫下植物光合作用降低,不能简单理解为叶绿素下降所致,即两过程间不存在严格的偶联效应。此外,单云峰^[13]研究还表明,酸雨除影响植物光合作用外,还促进植物呼吸作用、蒸腾作用(通过影响气孔行为),造成有机营养物质积累减少,能量代谢失衡,细胞生长分裂的物质基础破坏,植物饥饿而亡。

1.4 自由基效应

超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)是植物体内重要的活性氧清除系统,其中 SOD 是系统的首道防线,将超氧阴离子自由基(O₂⁻)歧化为 O₂ 与 H₂O₂,从而防止 O₂⁻ 在植物体内聚集,并遏止其通过 Haber-Weiss(O₂⁻ + H₂O₂ → ·OH + OH⁻ + O₂) 反应产生毒性更强的羟自由基(·OH)。CAT 与 POD 则催化 H₂O₂ 形成 H₂O,进而阻止 H₂O₂ 在体内的积累或通过 Fenton(H₂O₂ + Fe²⁺ → ·OH + OH⁻ + Fe³⁺) 反应形成 ·OH,从而减少 ·OH 在形成部位直接攻击细胞内核酸、蛋白质生物大分子与质膜饱和脂肪酸的可能性,确保膜结构完整性。最近的大量研究表明^[14~21],酸雨能够动摇植物体内活性氧代谢系统的平衡,破坏和降低活性氧清除酶系(SOD、

CAT、POD)与淬灭剂(AsA、VE、Pro、GSH)的活性及含量,导致活性氧生成量增加,加速了超氧阴离子自由基(O₂⁻)、H₂O₂ 向 ·OH 的转化,过量的自由基攻击细胞质膜中的不饱和脂肪酸,继而触发质膜中不饱和脂肪酸的自由基链式自降解反应,最终造成细胞质膜透性增大,电解质渗漏增强,细胞电化平衡破坏,代谢紊乱,细胞死亡。

2 化控减灾途径

化控抗酸途径是指通过浸种、拌种和叶面喷施化学试剂的手段,调控植物代谢,增强植物抗酸雨污染胁迫能力,按所用调节因子的化学性质,归为以下 3 种。

2.1 钙调节剂

周青^[4]等人研究了叶面喷施 CaCl₂ 对酸雨胁迫下甜瓜幼苗的生态生理效应。实验结果显示,Ca²⁺能够缓解酸雨对甜瓜幼苗的酸致损伤,其因在于,Ca²⁺能维持酸雨胁迫下甜瓜幼苗光合速率,提高叶片中叶绿素和 Ca²⁺含量,增加 CAT 活性,减少膜质过氧化产物丙二醛(MDA)生成,降低质膜透性,维持细胞汁液 pH 值稳定相关。束良佐^[22]等人随后报道了 CaCl₂ 浸种减轻酸雨伤害玉米 (*Zea mays*) 幼苗防护效应,在 pH2.5 酸雨胁迫下,经 CaCl₂ 浸种处理的玉米幼苗,叶片细胞汁液 pH 值较对照植株上升 0.21,叶绿素、蛋白质含量及净光合速率增加,CAT、SOD 活性水平较高,POD 活性水平较低,脂质过氧化作用减弱,表明 Ca²⁺对酸雨伤害玉米幼苗有良好的减灾效果。酸雨对果树受粉受精生育过程的破坏是其产量下降的致因^[23、24],邱栋梁^[25]等人研究了模拟酸雨对龙眼 (*Dimocarpus longana* Lour. c. v. wulongling) 花粉发育及坐果率的影响并同时考察了外施 Ca(NO₃)₂ 的减灾防护效果。电镜观测显示,酸雨(pH1.5、2.5、3.5)造成龙眼花粉壁文饰的腐蚀、溶解、败育,但经 0.02~0.04 mmol·L⁻¹ 的 Ca(NO₃)₂ 处理花粉样本,萌发率较对照提高 20.83%; pH2.5 的酸雨处理后 30 min,喷洒 2 次 2 mmol·L⁻¹ Ca(NO₃)₂,坐果率比对照植株提高 8.2%。其结论是,Ca²⁺不失为一种减轻酸雨伤害的有效手段。

2.2 有机调节剂

Mefluidide(N-[2, 4-dimethyl-5-[(trifluoromethyl)sulfonyl]amino]phenylacetamide) (N-[2,4-二甲基-5-[(三氟甲基)磺酰]氨基]苯乙酰胺)是一种人工合成的植物生长调节剂,对植物生长发育及物质代谢均有影响,尤其是能降低低温胁迫下细胞膜透性,从而有效保护低温敏感作物免于冷害。受此启发,毕玉蓉^[7]等人研究了 Mefluidide 对 pH2.0 高强度酸雨胁迫下菜豆幼苗的防护效应,结果表明,未经 Mefluidide 预处理的菜豆植株,叶片表观光合速率为零,叶绿素含量为对照植株的 64.1%,质膜透性增加 41.29%,细胞汁 pH 下降 0.28,经 Mefluidide 预处理两次的幼苗,上述四项指标分别是对照的 60.21%、101.5%、18.15% 和 16%,说明 Mefluidide 能明显增强植物抗御酸雨污染伤害的能力。脯氨酸(Pro)在植物抗逆胁迫交叉反应中所扮演的角色,已引起人们的普遍关注^[26、27]。韩素梅^[28]等人以实验证实,刺槐 (*Robinia acacia*)、加拿大杨 (*Populus canadensis*)、京桃 (*Prunus davidiaha*)、鸡树条荚蒾

(*Viburnum sargentii*)、东北接骨木 (*Sambucus manshurica*)、树锦鸡儿 (*Caragana arborescens*)、银杏 (*Ginkgo biloba*) 对酸沉降的抗性, 同其叶片内源 Pro 生成量相关。在同一实验中, 以 50、100、150 mg · L⁻¹ 外源 Pro 喷施小麦 (*Trificum aestivum*) 幼苗全株、同时给予酸沉降伤害处理, 小麦酸致伤害程度减轻, 在不同浓度处理中, 尤以 150 mg · L⁻¹ Pro 防御效果最佳。

2.3 稀土调节剂

严重玲^[17~20]、周青^[8~10]等人的酶学实验证实, 稀土预处理菠菜 (*Spinacia oleracea*)、小麦、大麦 (*Hordeum vulgare*)、大豆 (*Glycine max*)、蜡梅 (*Chimonanthus parecox*)、鸡爪槭 (*Acer palmatum*), 削弱了因酸雨胁迫造成的细胞内 SOD、CAT 活性下降与 POD 活性上升, 进而增强了细胞清除活性氧之能力, 减轻了因酸雨胁迫对植物活性氧清除系统造成的损伤, 提高了植物抵御酸雨伤害的耐受幅度, 近似的结果也出现在木本植物上^[9,10]。

生态生理学研究显示, 大麦种子在 pH3.0 酸雨胁迫下, 发芽势与发芽率分别为 54.7% 和 94.0%, 而经 CeCl₃ 处理过的种子, 二项指标为 90.0% 和 96.3%, 发芽势的显著提高对苗期素质改善非常有益^[29]。同样, 经稀土处理的小麦植株, 虽遇 pH2.5 酸雨冲击, 但其穗重仍是对照植株的 151.2%, 减灾效果显著^[18]。究其原委在于 RE 缓解酸雨对植物光合碳代谢、氮代谢和细胞液 pH 干扰及由此引发的细胞离子与电化学势平衡的破坏。植物地上、地下器官生长相关性原理指出, 植物根系生长好坏、功能强弱直接影响到地上部长势。酸雨胁迫下, 大豆植株根长、根体积、侧根数、活跃吸收面积、根系活力、CAT、POD 活性及根细胞质膜相对透性分别为对照植株的 40.1%、32.2%、14.8%、51.7%、45.9%、47.7%、139.8% 和 21.45%, La-Gly 预处理的大豆植株, 上述相应的 8 项指标是 60.1%、71.0%、24.5%、73.3%、69.5%、94.7%、129.9% 和 14.13%, 显然根系的酸致伤害已经减轻^[30]。可见, 适宜种类、适当计量的稀土能够提高植物抗逆性, 促进其生长, 降低酸雨胁迫损伤。

3 评价与展望

3.1 酸雨伤害机理

由于酸雨问题最早隶属于环境学范畴, 其后才有生态学研究跟进, 而生理学介入相对较晚。尽管人们对酸雨的植物生态作用已有较深入了解, 但因植物酸致损伤的生理、生化研究不够深入和系统, 在一定程度上限制了研究者对酸雨伤害生态学机制的深入探讨, 如酸雨触发的植物体内自由基伤害问题, 目前尚不清楚酸雨诱发细胞产生活性氧的部位与机制; 酸雨 (H⁺) 酶学效应 (如 SOD、CAT、POD、NR 等) 的分子基础; 酸雨同细胞能量代谢 (如 ATPcase, RuBPcase 等) 关系及分子机制; 酸雨对光合作用光、暗反应伤害作用位点, 影响叶绿素合成或分解的具体生化过程; 酸雨导致器官脱落的激素 (脱落酸、伤害乙烯) 效应等, 上述问题的澄清对揭示酸雨危害的生态学机制、认识酸雨伤害的生理学基础, 拓展防治酸雨伤害的技术途径, 乃至衍生出酸雨防治的分子生物学技术均是致关重要的。

3.2 抗酸减灾研究

化控抗酸技术目前尚不成熟, 存在的主要问题是: (1) 工作多限于对酸雨最敏感的苗期, 缺乏对植物生命周期的全程调控研究; (2) 调控位点单一, 只限于生理生化代谢网络的局部 (如保护酶系统, 光合作用系统), 而植物的生命过程 (包括抗逆和避逆反应) 是建立在完整的、互为制约的生理生化代谢基础上的; (3) 调控因子, 尤其是高效、低毒、专一的调控因子有待开发。可以预见, 该技术模式一旦形成, 便将以反应快捷, 技术简单, 提高植物对逆境交叉反应 (cross-adaptation) 的特点, 在农业生态系统 (如作物群落) 或草坪、行道树构成的城市景观系统的酸害防治 (尤其是急性伤害, 景观外貌保持) 上发挥作用, 当然也可作为生态系统修复技术的补充, 为群落急性损伤的修复提供帮助。

参考文献:

[1] 国家环保局. 酸沉降及其影响控制技术[M]. 南京: 河海大学出版社, 1996. 1-9.

[2] 王 纬. 模拟酸雨处理对青菜显微结构和亚显微结构观察及部分生理指标测定[J]. 环境科学, 1988, 9(3): 12-16.

[3] 冯宗炜, 等. 酸沉降对生态环境的影响及其恢复技术[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999. 11, 179-222, 300-335.

[4] 周 青, 黄晓华, 王东燕, 等. 钙对酸雨胁迫下甜瓜幼苗质膜透性影响[J]. 环境科学, 1997, 18(3): 60-61.

[5] 邓仕坚, 陈楚莹, 张家武, 等. 树冠叶凋落物对模拟酸雨缓冲能力的初探[J]. 环境科学, 1992, 13(2): 10-17.

[6] 高 健, 陈放鸣, 陈耀华, 等. 铜陵市酸沉降对马尾松林的影响[J]. 生态学杂志, 1996, 15(4): 24-28.

[7] 毕玉蓉, 张承烈. 模拟酸雨对菜豆叶片伤害和 Mefluidide 保护效应[J]. 环境科学学报, 1993, 13(3): 380-384.

[8] 周 青, 黄晓华, 王东燕, 等. 钙对酸雨伤害甜瓜幼苗的影响[J]. 植物生态学报, 1999, 23(2): 186-191.

[9] 周 青, 黄晓华, 王东燕, 等. La 对腊梅酸致损伤的影响[J]. 生态学杂志, 1997, 16(6): 59-61.

[10] 周 青, 黄晓华, 王 丹, 等. La-Gly 对酸雨伤害植物的影响[J]. 应用与环境生物学报, 1999, 5(6): 570-573.

[11] Gary D H. Physiological effect of direct impact of acidic deposition on foliage[J]. Agric Eco Environ, 1992, 42: 307-319.

[12] 郭得惠, 张延毅. 模拟酸雨对蔬菜作物细胞透性和叶绿素含量的影响[J]. 植物生理学通讯, 1985, (5): 24-26.

[13] 单运峰, 冯宗炜. 模拟酸雨对马尾松和杉树幼树之影响[J]. 环境科学学报, 1988, 8(3): 307-315.

[14] 王建华, 徐 同. 模拟酸雨对棉花子叶圆片膜保护酶活性和膜脂过氧化作用的影响[J]. 生态学报, 1993, 13(3): 228-234.

[15] 刘燕云, 曹洪法. 酸雨和 SO₂ 作用下 SOD 活性与菠菜叶片损伤相关性研究[J]. 应用生态学报, 1993, 4(2): 223-225.

[16] 刘连贵, 曹洪法, 熊严军. 酸雨和二氧化硫复合污染对几种农作物的影响[J]. 环境科学, 1996, 17(2): 16-19.

[17] 严重玲, 洪业汤, 杨先科, 等. 稀土元素对酸雨胁迫下小麦抗氧化酶的生物作用[J]. 科学通报, 1998, 43(20): 2206-2208.

[18] 严重玲, 李瑞智, 钟章成. 酸雨胁迫下稀土元素对小麦的生物学

- 效应[J]. 中国农业科学,1998,31(3):89-91.
- [19] 严重玲,洪业汤,王世杰,等. 稀土元素对酸雨胁迫小麦活性氧清除系统响应的作用[J]. 作物学报,1999,25(4):504-507.
- [20] 严重玲,洪业汤,王世杰,等. 酸雨胁迫下稀土元素对菠菜膜保护系统作用[J]. 生态学报,1999,19(4):543-545.
- [21] Misako K, Shimizu S. Chlorophyll metabolism in higher plants. VI. Involvement of peroxidase in chlorophyll degradation[J]. *Plant Cell Physiol*, 1985, 26:1291-1301.
- [22] 束良佐,孙五三. 钙浸种对酸雨伤害玉米幼苗的影响[J]. 中国环境科学,2001,21(2):185-188.
- [23] Rinallo C, Mori B. Damage in apple (*Malus domestica* Borkh) fruit exposed to different levels of acid rain[J]. *J Hortl Sci*, 1996, 71(1): 17-23.
- [24] Bellani L M, et al. Effect of simulated acid rain on pollen physiology and ultrastructure in the apple[J]. *Environ Pollut*, 1997, 95(3):357-362.
- [25] 邱栋梁,刘星辉,郭素枝. 模拟酸雨对龙眼坐果的影响及钙调节[J]. 应用与环境生物学报,2002,8(1):20-25.
- [26] 汤章诚. 逆境条件下植物脯氨酸累积及其可能的意义[J]. 植物生理学通讯,1984,(1):15-21.
- [27] Dashek W V, Erichson S S. Isolation, assay, biosynthesis, metabolism, uptake, and translocation, and function of proline in plant cells and tissues[J]. *Bot Rev*, 1981, 47:349-358.
- [28] 韩素梅,张晓何,刘荣坤. 植物叶片脯氨酸的变化及其对亚硫酸伤害的防护作用[J]. 植物生态学报,1996,20(4):379-384.
- [29] ZHOU Qing, HUANG Xiaohua, et al. Effect of Cerium on seed germination under acid rain stress[J]. *J Rare Earth*, 2000, 18(4): 298-301.
- [30] 黄晓华,周青. La-Gly 对酸雨胁迫下植物根系生长的影响[J]. 农业环境保护,2001,20(1):45-47.

欢迎订阅 2004 年《生态环境》

《生态环境》是经国家科技部批准的正式学术期刊,向国内外公开发刊。刊号:ISSN1672-2175;CN44-1565/X。1992 年创刊。入选中国核心期刊(遴选)数据库、中国科学引文数据库;被评为广东省优秀期刊、广东省优秀科技期刊、全国优秀农业期刊(一等奖)、中国学术期刊(光盘版)规范优秀期刊。主要刊登国内外生态学、环境科学及其相关的许多领域具有创新性的重要研究论文,以及对热点问题和前沿问题富有启发性的高水平的综述。刊登内容广泛,是一种多学科互相渗透和互相综合的刊物。适合从事生态学、环境学、资源保护、土壤学、大气科学、水科学、地理学、地质学、地球科学、农业科学、林学、医学、社会科学、经济科学等广大领域的科技人员、学者、教师、学生、各级管理者和环境爱好者阅读。

全铜版精美印刷,季刊,大容量,大 16 开,正文 150 页/册,定价 12.5 元/册,全年定价 50 元(含邮资)。邮发代号 46-272,欢迎订阅。如错过邮局订阅期限,可直接向编辑部订阅。

邮局汇款:广州市天河区天源路 808 号广东省生态环境与土壤研究所《生态环境》编辑部,邮编 510650。

银行汇款:开户银行:中国工商银行广州市沙河办事处,帐号:3602002709002419786,收款单位:广东省生态环境与土壤研究所。

本刊网址: <http://www.eco-environment.com>

电子信箱: editor@eco-environment.com

电话:(020)87024961

欢迎订阅 2004 年《中国沼气》

《中国沼气》由农业部主管,中国沼气学会和农业部沼气科学研究所主办。主要报道我国沼气、环保及生态科研新技术、新成果,推广沼气、环保、生态建设实用新技术,介绍沼气、沼液、沼渣利用的新方法,探讨沼气、环保及生态建设中的新问题。辟有实验与研究、沼气工程、生活污水净化池、户用沼气池、综合利用、管理经验、问题探讨、知识讲座、其他可再生能源等 10 多个栏目。读者主要为从事沼气建设、环保工程、农村能源、卫生土肥等领域的科研、教学人员、管理干部和技术人员等。本刊还承办广告业务,为客户提供商品信息。

本刊为国际大 16 开,季刊,国内外公开发刊。订户可到当地邮局办理订阅手续,邮发代号:62-164,每期 5.00 元,全年订价 20 元;也可以直接向编辑部邮购。

编辑部地址:四川省成都市人民南路四段 13 号(邮编:610041)

电话(传真):(028)85230681 联系人:李曦萍