

温度对高效液相色谱分离性能的影响

成洪达^{1,2} 李彤^{2,3} 张维冰^{1,3*}

(¹齐齐哈尔大学 化工学院 齐齐哈尔 161006 ²大连依利特分析仪器有限公司 大连 116011)

(³中国科学院大连化学物理研究所 国家色谱研究分析中心 大连 116011)

摘要 对于高效液相色谱而言,温度是一个一直被忽视而又非常重要的因素。升高色谱分析的柱温,不仅可以加快分析速度,而且还可以提高分离效率、改善峰形、调节选择性、减少有机溶剂的使用,是一个非常有效而又十分经济适用的方法,与其它调节分离效果的方法相比,具有其独特的优势。文中综述了温度对高效液相色谱分离特征的影响,介绍了温度作为一个便捷的调节参数在高效液相色谱中的应用前景。

关键词 温度;高效液相色谱;综述

中图分类号 0657.3

Influence of Temperature on Separation Behaves of HPLC

Cheng Hongda^{1,2}, Li Tong^{2,3}, Zhang Weibing^{1,3}

(¹Qiqihar University, qiqihaer, 116011 ²dalian institute of physical chemistry, dalian 161006, China)

(³Dalian Elite Analytical Instruments Co. Ltd., Dalian 116011, China)

Abstract Temperature is an important factor of HPLC performance. Because of the elevated temperature, viscosity of the mobile phase decreased, backpressure over the column reduced, the speed of mobile phase can be improved, and shorten the analytical time and adjust the selectivity. At the same time, under the higher temperature, the use of organic solvent can be decreased. Elevated the analytical temperature is an efficient and economic method for high performance chromatography. The influence of temperature on Separation Behaves of HPLC is reviewed in this paper.

Key words Temperature; high performance liquid chromatography; review

1 引言

对样品进行高效、高灵敏度的分离分析,是每个色谱工作者所追求的目标。对于高效液相色谱分离条件的选择,人们一般将注意力投向调节溶剂的组成、溶剂的 pH 值、固定相的种类及填充颗粒的尺寸和柱子的尺寸等,而温度作为影响色谱分离的重要因素却一直被人们所忽视。提高色谱分离温度可以提高分离效率的原理在高效液相色谱的发展初期就已经提出^[1-2],但是,由于升温带来的柱子稳定性差、寿命低等难题,使得对通过调节温度来优化色谱分离的研究一直没有取得很大进展。直到 80 年代后期,高温液相色谱技术才逐渐得到许多研究者的重视^[3]。1987 年,Warren^[2]研究了温度对柱效的影响;之后,Horvath^[4]等通过对 HPLC 分离过程中溶质输运特征的理论分析,证实升高柱温是改善分离性能的有效途径。使用反相色谱,Alain^[5]等考察了温度对同系物分离的影响。Lacasse^[6]等在 125 采用反相柱分离了脂肪酸苯甲酰甲酯,并在 145 用硅胶柱分离了非离子表面活性剂。

近年来,随着新型热稳定性强的固定相的出现^[7-9],高温液相色谱技术得到了快速的发展,氧化锆基质固定相的应用使得将高温液相色谱变成一种高速、高效的分析方法成为可能^[7]。由于水在高温下的极性、粘度等物理性质产生较大的变化,以亚临界水为流动相的高效液相色谱法越来越受到关注^[10-11],张维冰^[12]等讨论了以亚临界水为流动相的高效液相色谱方法的进展,并对其仪器系统进行了总结。李玲^[13]等对 SubWC (亚临界水高效液相色谱)在填充柱和毛细管柱上分离中高极性化合物的色谱规律进行了研究。为克服影响柱效的冷点效应,Liu^[14]等设计了专门的适合高温的色谱仪和检测器。Thompson^[15]等就分析样品的热稳定性问题进行了讨论,并且提出了一个分析物热稳定性的标准。本文通过对温度与高效液相色谱分离特性关系的讨论,综述升高柱温在 HPLC 方法发展方面的应用。

2 温度对柱效的影响

分离效率低、分析时间长是限制液相色谱发展的

收稿日期:2006-05-20

作者简介:成洪达(1981-),在读硕士研究生。

* 联系人:张维冰(1964-),教授,主要研究方向:包括色谱、毛细管电泳、毛细管电色谱等分离科学的理论与实践。

一个重要因素，气相色谱可以达到 500-1000 理论塔板 / s 的分析速度，而液相色谱的有效分离能力只有 20-40 理论塔板 / s，完成一次分析往往需要几十分钟的时间。增加流动相的速度可以加快分析，但是也可能导致柱效的降低。

由 van Deemter 方程描述板高与流动相线速度的关系

$$H = A + B/u + Cu \quad (1)$$

其中 u 为流动相线速度； A 为径向扩散系数； B 为纵向扩散系数； C 为传质阻力系数。

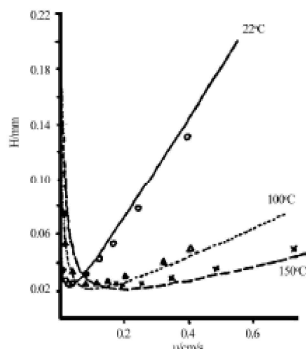
A 与色谱柱的填充质量有关，其受温度的影响不很明确，但至少有一点可以肯定，温度升高使流动相扩散增强，加快了流动相的层流和分析物分子的混合^[16]。 $B = 2 D_m$ ，是常数，决定于色谱柱填充质量， D_m 是溶质在流动相中的扩散系数，由于溶质的扩散能力随温度的升高而增大，因此 B 与温度成正比。 C 包含溶质在两相之间的传质阻力和在固定相中的传质阻力，二者均与溶质的扩散能力有关，由于溶质扩散速率的加快， C 与温度成反比^[17]。

根据式 (1)，Yang^[18] 探讨了温度对板高的影响，并且建立了一个温度与板高的数学关系式

$$H = a + b(T^2 - 273T) + c/T \quad (2)$$

式中 T 为温度； a 、 b 、 c 在一定线速度下为常数。 a 为涡流扩散系数； $b(T^2 - 273T)$ 为径向扩散系数； c/T 为传质系数。当线速度一定时，在低温状态下， $b(T^2 - 273T) \gg c/T$ ，升温导致板高增加；在高温状态下， $b(T^2 - 273T) \ll c/T$ ，升温使板高降低，显然，在升温过程中可以得到板高的一个最小值，可取得最高的柱效。

刘光会^[3] 等通过理论计算得出不同温度下 $H-u$ 关系曲线，结果如图 1 所示。由图 1 可以看出，温度对 $H-u$ 关系的影响包括使曲线的最低点右移及右侧的曲线斜率降低^[2]，其结果为温度升高后流速对柱效的影响大大降低，流速可以达到很高而柱效不会降低太多。因此，高温条件下有利于建立快速分析的方法。



色谱柱: 0.85m × 0.075mm I.D. 空石英管; 流动相: 甲醇; 样品: 苯乙酮

图 1 H-u 关系曲线

Li^[19] 等在聚丁二烯修饰的氧化锆 (PBD-Zriconia) 色谱柱上快速分离多环芳烃，UV 检测，洗脱剂为 50% 现代科学仪器 2006 5

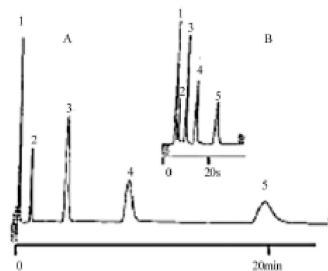
乙腈，色谱柱尺寸为 100mm × 4.6mm i.d. 在 30 时，流速为 1mL/min，100 时流速为 5 mL/min。随着温度的升高和流速的增大，柱效增加，分析时间由 30 时的 70 min 减少为 100 时的 4 min。虽然分析时间大大减少，分离效果却非常好，峰形更窄且对称，充分说明了温度对柱效调节的有效性。

3 温度对保留时间的影响

温度对保留的影响可用范特霍夫方程来表示

$$\ln k = -H/RT + S/R + \ln \phi \quad (3)$$

H 为溶质在两相之间传递的焓变， S 为相应的熵， R 是摩尔气体常数， T 是溶质温度， ϕ 是相率。由于 H 一般为负值，因此 $\ln k$ 与 T 成反比，随着温度升高，溶质的容量因子减小，减小的程度与溶质的焓变有关，焓变越大，温度对保留的影响越大。Greibrokk^[20] 在 20-70 范围内分离了三种维生素，考察了温度与容量因子的关系。Jones^[21] 等研究了极性和非极性溶质在以亚临界水为流动相的反相色谱中的保留行为，发现随着柱温的升高，极性和非极性溶质的容量因子都减小，4-氯酚的保留时间在 100 时为 19 min，150 时减少为 6.4 min，甲苯的容量因子在 100 时为 27，而当温度升高到 200 后减小到 4.84。Yan^[22] 等以乙腈-水为流动相，考察了温度由 25 升高到 150 时五种酮类保留时间的变化，结果在图 2 中给出。在 25 时，最后洗脱出来的苯十四酮的洗脱时间为 20min，而当温度升高到 150 后，苯十四酮的洗脱时间变为 20s，保留时间大大缩短。



峰: 1 苯乙酮; 2 苯辛酮; 3 苯十酮; 4 苯十二酮; 5 苯十四酮

A: 25 流动相 30%ACN 流速 4 mL/min

B: 150 流动相 30%ACN 流速 15 mL/min

图 2 五种酮保留时间的变化

4 温度对分离选择性的影响及对峰形的调节作用

相比温度对柱效与保留时间的影响，温度对分离选择性的影响要复杂的多。当溶质的 H 与 k 成非线性关系时，改变温度可以有效改善分离的选择性。对

于含有两个或两个以上独立保留机理的样品如胺在硅胶柱上的分离,升高温度将会使分离得到改善。而对于分子量小、保留机理单一的溶质,其选择性将会随温度的升高而降低^[23]。Li^[24]考察了温度对只靠疏水作用进行保留的样品分离的影响。分离氨基酸时发现,当缓冲试剂的 pK_a 小于溶剂的 pK_a 时,升高温度分离较理想,当缓冲试剂的 pK_a 大于溶剂时,分离度就会降低。Hancock^[25]等通过改变温度和溶剂组成,在C8和C18柱上研究了缩胺酸和蛋白质的选择性,他们发现增加柱温可以很好地提高分离的选择性。Peter^[26]采用聚丁二烯涂敷的二氧化锆研究了高温对反相液相色谱选择性的影响。他们认为,分离选择性很大程度上依赖于溶质的类型,对于具有相似结构的溶质,温度对选择性几乎没有影响,而对于具有不同功能基团的温度对选择性的影响将十分明显。

Greibrokk^[20]认为温度是反相色谱中一个控制选择性的主要变量,即使选择性随着温度升高会有所下降,也并不意味着分离效果不好,因为在高温下,色谱峰的拖尾现象将会有所改善,峰形也会变得更加对称。Kondo^[27]等在C18柱和聚合物柱上对儿茶酚、苯胺和嘧啶进行分析,无论是以纯水作为流动相,还是以水和有机溶剂共同作为流动相,色谱峰的对称性都随温度的升高而提高。

5 高温下流动相的洗脱特征

在色谱分析中,流动相的选择至关重要,它直接关系到能否将溶质分离或分离的效果。HPLC分析中常采用水与甲醇、乙腈等有机溶液作为流动相,以一定的配比或者以逐步改变比例的梯度洗脱方式进行色谱分离。在高温色谱中,由于温度的升高,流动相有了更大的选择。Peter^[26]等以乙腈与水为流动相,在温度梯度下分离烷基苯混合物。随着温度的不断升高,分析时间由35min降低到13min,并且峰变高,信噪比得到改善。Snyder^[28]等考察了温度梯度与洗脱梯度对离子化合物选择性的影响,表明二者均对选择性有很大影响,并且它们所起的作用相对独立,因此可以把温度调节和洗脱比例调节相结合来进行分析。Marsin^[29]在高温状态下分离了四种三唑杀真菌剂,色谱柱:3 μ mPBD-Zirconia,100 m \times 2.1mm i.d.,洗脱剂为乙腈-水。结果显示,温度从100 升高到150 ,四种三唑杀真菌剂的容量因子减小,温度升高4 与乙腈浓度升高1% 效果相当;此外,高温下检测器的检测限也有所降低,在140 以纯水作为洗脱剂时,最低检测限达到50pg,远远低于传统的高效液相色谱,与容量因子的减小相比,柱效却有所降低,Carr^[30]将这一结果归因于加热管的内径太大及纵向的分子扩散。Greibrokk^[20]等

也得出了类似的结论,温度每升高4 - 5 、3 与乙腈、甲醇的浓度增加1%有相同的效果,调节温度在10 - 90 范围内变化相当于调节pH值从2到7。

一般来讲,水的极性较大,对弱极性和非极性溶质的洗脱效果相对较差,需和甲醇或乙腈等有机溶剂配合使用,但是随着温度升高,水的粘度、介电常数会减小,极性也会降低,调节温度可以改变水的极性,使其与甲醇和乙腈极性相当,可以通过升温来使水达到与有机溶剂配比的洗脱效果。近年来,出现了许多对以亚临界水为流动相的高温液相色谱的研究^[10,11,31-33]。高温液相色谱中,也可以单独用水作为洗脱剂,这样不仅可以避免有毒溶剂对人体的危害,还可以节省大量的有机溶剂,更为重要的是,由于水在火焰离子化检测器上没有吸收,可以将FID这种高灵敏性检测器用于高效液相色谱^[34-36],大大拓宽了液相色谱的使用范围。

6 程序升温

将程序升温运用到高效液相色谱中在20年前便已出现,只是由于缺乏合适的仪器和稳定的色谱柱,这一技术没有得到很好发展。与溶剂梯度相比较,程序升温具有许多优点。Andersen^[37]认为,相比溶剂梯度,程序升温对同系物以及分子量大的溶质的分析具有更大的优势。在与检测器的连接上,程序升温与溶剂梯度相比也有很大优势^[38-39]。阻碍程序升温技术发展的首要问题是峰展宽,色谱柱的温度随时间变化,其对温度的反应快慢即其温度平衡时间的长短将直接影响分析结果,柱温如果不能及时达到所设定的温度便会产生峰形展宽。如图3所示,色谱柱与进入柱子的流动相存在温差,如果进入色谱柱的流动相温度低于色谱柱,当流动相进入色谱柱后,便会产生一个温度梯度,即柱壁附近流动相的流速大于柱中央流动相的流速,表现为色谱带展宽。对流动相进行预热是克服由温差带来谱带展宽的有效方法。色谱柱直径越小,其对温度的反应越快,达到设定温度的时间就越短,就越不容易产生峰展宽。因此,小内径的柱子更适合于在程序升温中应用。Carr^[40]推荐在程序升温中使用2mm内径的柱子,以取得好的分析结果。

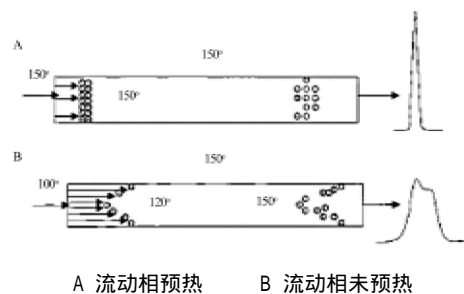


图3 温差对峰形的影响^[41]

7 展望

随着生产的发展和科学技术的进步,人们对分析测试技术提出了更高的要求,对于液相色谱分析,不仅需要有良好的准确性,也要求有更高的分析效率,特别是当测试对象数目巨大时,分析效率便显得尤为重要。高温液相色谱是色谱分析的一个新的发展领域,它既具有液相色谱的高选择性,又具有气相色谱的高分离效率。通过升高温度,分析时间成倍缩短,与此同时仍然保持了非常好的分析效果。高温液相色谱目前正处于快速发展的阶段,尽管还存在一些问题有待解决,但可以相信,随着仪器和分析方法的不断完善,其必将在环境科学、医药学及生命科学等领域发挥重要的作用。

参考文献

- [1] Herbut G, Kowalszyk J. S. The effect of temperature on the efficiency parameters in adsorptive LC [J]. HRC&CC, 1981, 4:27
- [2] Vincent Warren. F. Influence of Temperature on Column Efficiency in Reversed-Phase Liquid Chromatography [J]. Anal Chem, 1988, 60:2821
- [3] 刘光会. 色谱分析的新领域-高温液相色谱[J]. 天然气化工, 2000, 25: 46
- [4] Anita F.D, Horvath C, HPLC at elevated temperature [J]. Chromatogr, 1988, 435(1):1
- [5] Alain Tehapla, Sylvie Heron. Role of Temperature in the Behavior of Homologous Series in Reversed-Phase Liquid Chromatography [J]. Anal Chem, 1988, 60:1443-1448
- [6] Lacasse K, Engelhardt H, High temperature LC, Abstracts of Papers, the 15th International Symposium on LC, Basel, June 1991, P173/2
- [7] Zhao Jianhong, Peter W. Carr, Synthesis and Evaluation of an Aromatic Polymer-Coated Zirconia for Reversed-Phase Liquid Chromatography [J]. Anal Chem, 1999, 71:5217
- [8] Sun Lifang, Peter W. Carr, Mixed-Mode Retention of Peptides on Phosphate-Modified Poly-butadiene-Coated Zirconia [J]. Anal Chem, 1995, 67: 2517
- [9] Clayton Mcneff, Peter W. Carr, Synthesis and Use of Quaternized Polyethylenimine-Coated Zirconia for High-Performance Anion-Exchange Chromatography [J]. Anal Chem, 1995, 67:3886
- [10] Roger M, Robert J, Superheated water as an eluent for reversed-phase high-performance liquid chromatography [J]. Journal of Chromatography A, 1997, 785:49
- [11] Trna MP, Colin FP, Salvation characteristics of pressurized hot water and its use in chromatography [J]. Anal Commun, 1999, 38:71
- [12] 张维冰, 郑政峰. 以亚临界水为流动相的高效液相色谱方法的进展 [J]. 色谱, 2005, 23 (3): 238
- [13] 李玲, 陆峰. 亚临界水色谱的初步研究 [J]. 药学报, 2000, 35(11): 832
- [14] Guanglun Liu, Svenson L, Extra-column band broadening in high-temperature open tubular liquid chromatography [J]. Chromatography, 1993, 633:25

- [15] Thompson D, Peter W. Carr. A Study of the Critical Criteria for Analyte Stability in High-Temperature Liquid Chromatography [J]. Anal Chem, 2002, 74:1017-1023
- [16] Kephart T, Scott, Purnendu K. Dasgupta. Superheated water eluent capillary liquid chromatography [J]. Talanta, 2002, 56:977-987
- [17] Karger B.L, Snyder L.R. An Introduction to Separation Science, John Wiley and Sons, New York, 1973
- [18] Yu Yang, A model for temperature effect on column efficiency in high-temperature liquid chromatography [J]. Analytica Chimica Acta, 2005, 11:4
- [19] Jianwei Li, Yue Hu, Fast Separations at Elevated Temperatures on Polybutadiene-Coated Zirconia Reversed-Phase Material [J]. Anal Chem, 1997, 69:3884-3888
- [20] Greibrokk T, Andersen T, High-temperature liquid chromatography [J]. Chromatography A, 2003, 1000(12):743
- [21] Yu Yang, Aaryn D. Jones, Re-entrance Behavior of Phenols, Anilines, and Alkylbenzenes in Liquid Chromatographic Separations Using Subcritical Water as the Mobile Phase [J]. Anal Chem, 1999, 71:3808
- [22] Bingwen Yan, Jianhong Zhao. High-Temperature Ultrafast Liquid Chromatography [J]. Anal Chem, 2000, 72:1253-1262
- [23] Zhu Cuiru, David M, Elevated Temperature HPLC: Principles and Applications to Small Molecules and Biomolecules [J]. LC-GC North America, 1995, 23:54
- [24] Li Jianwei, Effect of temperature on selectivity in reversed-phase liquid chromatography, a thermodynamic analysis [J]. Analytica Chimica Acta, 1998, 369:21
- [25] Hancock W.S, Chloupek R.C. Temperature as a variable in reversed-phase high-performance liquid chromatographic separation of peptide and protein samples: II. Selectivity effects observed in the separation of several peptide and protein mixtures [J]. Chromatography A, 1994, 686:45-59
- [26] Peter W, Li Jianwei, Effect of Temperature on the Thermodynamic Properties, Kinetic Performance and Stability of Polybutadiene-Coated Zirconia [J]. Anal Chem, 1997, 69:837
- [27] Kondo T, Yang Y. Comparison of elution strength, column efficiency, and peak symmetry in subcritical water chromatography and traditional reversed-phase liquid chromatography [J]. Analytica Chimica Acta, 2003, 494:157-166
- [28] Snyder L.R, Zhu P.L. Combined use of temperature and solvent strength in reversed phase gradient elution. Comparing selectivity for different samples and systems [J]. Chromatography A, 1996, 756:41-50
- [29] Marsin Sanagi M, See H.H. High temperature liquid chromatography of triazole fungicides on polybutadiene-coated zirconia stationary phase [J]. Chromatography A, 2004, 1059:95-101
- [30] Carr P.W, Li J. Evaluation of Temperature Effects on Selectivity in RPLC Separations Using Polybutadiene-Coated Zirconia [J]. Anal Chem, 1997, 69:2202
- [31] Mare D, Foster, Robert E. Synovec. Reversed Phase Liquid Chromatography of Organic Hydrocarbons with Water as the Mobile Phase [J]. Anal Chem, 1996, 68:2838-2844
- [32] 韩海, 于荣敏, 王欢, 孙平华. 亚临界水作为高效液相色谱流动相及萃取剂的研究概况 [J]. 儿科药理学杂志, 2003, 9, 4: 11-12
- [33] Thorsten Teutenberg, Oliver Lerch. Separation of Selected Anticancer Drugs Using Superheated Water as the Mobile Phase [J]. Anal Chem, 2001, 73: 3896-3899

- [34]David J.Miller, Steven B.Hawthorne.Subcritical Water Chromatography with Flame Ionization Detection [J].Anal Chem, 1997, 69:623-627
- [35]Guillarme.D, Heinisch.S.Optimization of the coupling of high-temperature liquid chromatography and flame ionization detection Application to the separations of alcohols [J].Chromatography A, 2005, 1078:22-27
- [36] Takashi Yarita,Ryoji Nakajima,Satoko Otsuka.Determination of ethanol in alcoholic beverages by high-performance liquid chromatography-flame ionization detection using pure water as mobile phase[J].Chromatography A,2002,976:387-391
- [37]Trones.R, Andersen.T, Greibrokk.T.Hindered amine stabilizers investigated by the use of packed capillary temperature-programmed liquid chromatography: I. Poly((6-((1,1,3,3-tetramethylbutyl)-amino)-1,3,5-triazine-2,4-diyl)(2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidyl)imino)-1,6-hexanediy((2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidyl)imino))[J]Chromatogr.A,2000,874:65
- [38]Openhain.G, Grushka.E.Temperature-dependent refractive index issue using a UV-visible detector in high-performance liquid chromatography [J]. Chromatogr.A, 2001, 942:63
- [39]Yang.Y, Belghazi.M.Elution of organic solutes from different polarity sorbents using sub critical water [J].Chromatogr.A, 1998, 810:149
- [40]Thompson .J.D, Carr.P.W. High-Speed Liquid Chromatography by Simultaneous Optimization of Temperature and Eluent Composition [J]. Anal Chem, 2002, 74:4150
- [41]Thompson.D Jonathan,James S.Brown.Dependence of Thermal Mismatch Broadening on Column Diameter in High-Speed Liquid Chromatography at Elevated Temperatures[J].Anal Chem,2001,73:3340-3347

欢迎订阅《中国科技期刊研究》

《中国科技期刊研究》创刊于1990年，双月刊，国内外公开发行

国内统一刊号：CN11-2684/C3 国内邮发代号：82-398

科技期刊工作是系统工程，涉及部门多，范围广。从科技信息系统过程看，它涉及科研、生产、教育、编辑、印刷、出版、发行、图书、情报等部门，从科技期刊作都、编者、读者分布看，范围则更广泛。对科技期刊工作，既有必要从信息系统各个环节进行研究，更有必要从信息系统总体上加以综合研究。诸如我国科技期刊的现状，面临的问题与对策的改革与各环节的协商，新技术的应用与现代化，信息的正确采集、快速传递与情报源，社会效益的发挥，人员的配置与培养，经费来源与经营管理，以及质量管理与评价等等，都是值得开展研究的课题。

《中国科技期刊研究》是由中国科学院主管，中国科学院自然科学期刊编辑研究会主办的、面向全国的中国第一个综合研究科技期刊的刊物，为《中文核心期刊要目总览》“信息与知识传播”类核心期刊，国家科技部“中国科技论文统计源期刊”(中国科技核心期刊)。2005年获第三届国家期刊奖提名奖。

本刊坚持“一个中心，两个基本点”的办刊宗旨，依靠和团结广大科技工作者和科技期刊编辑出版工作者，开展科技期刊研究，促进期刊事业繁荣，推动科技

进步，为社会主义现代化建设服务。

本刊特点为创新性、综合性、实用性、普及与提高相结合，既宣传贯彻国家有关期刊工作的方针政策、法令、法规，又反映广大科技期刊编辑、出版、发行和管理工作者以及作者和读者的心声，以起到沟通、交流、促进和引导的作用。设有栏目：院士论坛、专论与综述、管理与改革、研究与报道、分析与评论、论坛与笔会、新技术应用与现代化、标准化规范化、知识产权、装帧与版式设计、出版与发行、办刊之道、刊史与人物、海外信息、动态与简讯等。

欢迎订阅本刊：2006年全年6期120元。

联系电话：(010)62572403

E-mail: journals@china.com

本刊国内邮发代号：82-398。

读者可在当地邮局也可直接向本刊编辑部索取订单订阅。

邮局汇款：100080

北京中关村中国科学院微生物研究所内《中国科技期刊研究》编辑部收。