

# 塔里木河下游输水廊道植被恢复的生态学评价

赵振勇<sup>①②</sup> 王让会<sup>①</sup> 孙洪波<sup>①②</sup> 张慧芝<sup>①</sup>

(<sup>①</sup>中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; <sup>②</sup>中国科学院研究生院, 北京 100039. E-mail: zhzyxj@yahoo.com.cn)

**摘要** 通过 2002 年 10 月和 2003 年 10 月, 下游断流河道英苏、阿拉干、罗布庄 3 个植被样带的两次实地监测资料的对比分析, 探讨了河岸林对生态输水的响应。研究表明, 生态输水忽视了是季节性的洪水泛滥支配了胡杨林在河漫滩裸地的侵移过程, 而集中于地下水对植被的影响, 缺乏漫溢的输水方式偏离了河岸林生存和发展的内在规律, 抑制了河岸林的自然更新; 河岸乔灌木植物响应范围十分狭窄, 多数地段河岸林群落结构亦未得以优化; 输水未能结合河岸林植物生理生态学特性, 未见胡杨种子实生苗。生态输水后, 近河道地段河岸林植被变化, 仅仅体现了中生性植物类型对地下水水位变化的响应。目前的生态输水没有创造胡杨的实生苗发生环境, 难以实现种群的天然更新。

**关键词** 塔里木河下游 荒漠河岸林 生态特征 生态输水 效果评价

荒漠河岸林是干旱区内陆河流域河流廊道植被类型的主体, 在生态系统结构、功能及植被景观格局中占主导地位。荒漠河岸林的发生和演替与河流有着不可分割的密切关系, 内陆河水文特征及河曲的演化都深刻地影响着其林分的种类组成及分布格局。长期以来, 众多学者对塔里木河流域荒漠河岸林的分布规律<sup>[1-3]</sup>、生态学性质<sup>[3,4]</sup>、物种组成<sup>[5,6]</sup>及生境<sup>[3,7-9]</sup>做过大量的研究工作, 这为干旱区内陆河下游天然植被特别是河岸林的恢复和重建提供了重要的科学依据和技术支持。

分布于塔里木河下游河道两岸的荒漠河岸林, 其建群树种为胡杨, 形成了阻隔沙漠的天然生态屏障, 维护着绿洲的安全, 被称为“绿色走廊”。近几十年来, 人类对流域水土资源的不合理开发利用, 使下游荒漠河岸林大面积衰退。为保护下游绿色走廊, 自 2000 年 5 月开始实施应急输水。目前, 有关塔里木河下游绿色走廊恢复的报道<sup>[10-13]</sup>, 没有更多地涉及到荒漠河岸林的发生学和生态学性质等科学问题, 对绿色走廊植被恢复的论述多集中在植被对地下水位变化的响应上<sup>[10-12]</sup>, 忽视了季节性洪水泛滥的生态学意义。本文通过对前 5 次塔里木河下游输水河道植被变化和河曲发育的实地调查, 并结合前人研究成果, 依据荒漠河岸林植被的发生学特点和生态学性质, 评价生态输水的时空效果, 以期为后续的输水工作提供理论指导。

## 1 研究区域概况

研究区位于塔里木河下游的大西海子水库至台

特玛湖区段, 西依塔克拉玛干沙漠, 东连库鲁克沙漠, 年降水量不足 50 mm, 蒸发量却高达 2500 mm 以上, 6~7 月绝对最高气温高于 42℃, 地表温度高达 70℃ 以上。水热值的极端现象, 限制了植物种类的多样性, 植物群落和生态系统的结构都十分简单。塔里木河下游最具代表性的植物有胡杨(*Populus euphratica*)、柽柳(*Tamarix* spp.)、芦苇(*Phragmites communis*)、大花罗布麻(*Apocynum venetum*)、疏叶骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)等。其中草本植物主要有芦苇、胀果甘草(*Glycyrrhiza inflata*)、大花罗布麻、疏叶骆驼刺、花花柴(*Karelinia caspica*)、牛皮消(*Cynanchum sibiricum*)、叉枝鸦葱(*Scorzonera divaricata*)、猪毛菜(*Salsola* spp.)等, 前 3 种是建群种<sup>[14]</sup>; 灌木主要为柽柳、盐穗木(*Halostachys caspica*)、黑刺(*Lycium ruthenicum*)、铃铛刺(*Halimodendron halodendron*)等; 乔木主要为胡杨。由这些植物种构成了塔里木河下游荒漠河岸林、灌丛和草甸主要植物群落类型。

塔里木河源流区及干流上中游地区大规模地开垦及水资源的大量消耗, 引起下游来水量锐减, 以致河道断流, 地下水位持续下降, 导致荒漠化产生及发展<sup>[15]</sup>, 生态环境恶化。结合塔里木河下游断流河道生态输水(图 1), 于 2002 年 10 月和 2003 年 10 月两次对塔里木河下游植被覆被状况进行了实地调查。根据植被情况选择英苏、阿拉干和罗布庄为代表, 建立植物样带 3 个。在各样带, 垂直于河道方向, 自河岸每间隔 100 m 建立 4 个永久性植物调查样方, 乔木样方大小为 30 m × 30 m, 灌木及草本植物样方 5 m × 5 m, 记录每种乔木(或灌木)的个体数、盖度、胸径、基

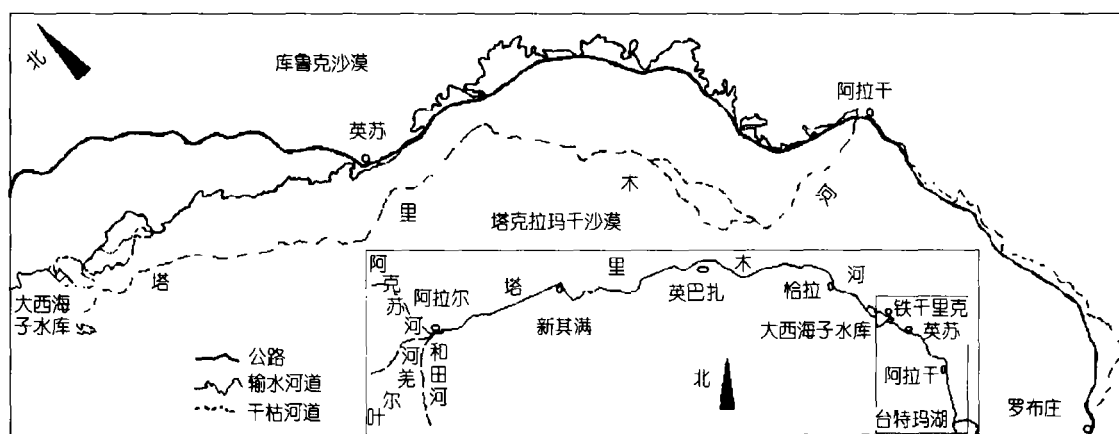


图1 塔里木河下游生态输水线路示意图

径、高度和冠幅，并以 GPS 进行定位，记录每个样地的海拔高度、经纬度。

## 2 荒漠河岸林发生学特点

塔里木河下游荒漠河岸林的衰退与主要建群种发生环境缺失关系密切。胡杨等大多数荒漠河岸林植物为仅在裸地上建植的喜光阳性植物种类<sup>[3]</sup>，其种子的萌发和幼苗的定居总与一定的地表径流相联系。在长期的生存过程中，胡杨的个体发育与荒漠区河流水文特征相适应，其种子成熟期也正是夏季洪水泛滥期<sup>[3,4]</sup>。洪水不仅降低了漫溢区的土壤盐度，带来了肥沃的淤泥，改善了土壤构成，更重要的是其提供了宝贵的水分条件。下游荒漠区干旱少雨，即使偶遇大的降雨，也不能对植物种子萌发和幼苗生长构成意义。只有洪水因素，在时间和水量上都有效地满足了胡杨等植物种子萌发和幼株生长的水分需求，一旦光热条件适宜，种子便开始萌发。

## 3 荒漠河岸林生态学性质

在塔里木河下游干旱缺水的环境条件下，天然植被主要依靠浅层地下水维系生存。以胡杨、柽柳为建群种的荒漠河岸林植物大多是一些中生、盐生和耐盐的种类，典型的沙生和旱生植物不多，由它们所形成的大多数植物群落也是中生性的<sup>[4]</sup>，其分布格局明显受荒漠中水分状况的支配，表现为隐域分布的性质。在干旱区，地下水的动态变化，不仅影响着，而且控制着植被群落种类、长势和演替方向<sup>[8,16]</sup>，尤其在内陆河流域下游冲积平原，地下水对植被的控制作用表现的更为明显。塔里木河下游河岸林的衰退主要是因为地下水的下降超越了植物的适应范围所

致。

## 4 荒漠河岸林植被衰退原因分析

塔里木河下游荒漠河岸林植被的衰退与人类的活动干扰密切相关。按干扰作用方式的不同，可将其分为直接干扰和间接干扰。直接干扰主要为樵采、放牧等人类活动对植被的破坏。间接干扰是指流域水资源分配格局的变化，引起下游来水锐减和长期断流而导致河岸林植被的退化。就影响程度和后果来说，下游天然植被的退化主要是由间接干扰所造成的。近 50 年来，源流区<sup>[17]</sup>及干流区<sup>[18]</sup>人口的迅速增加和耕地面积的不断扩大，导致用水逐年增加，使下游河道来水量剧减。自 1973 年下游河道被大西海子水库拦截后，英苏以下河道便长期断流。河道断流，使胡杨为主的河岸林实生苗发生所需的洪水和湿润河漫滩消失，种子实生苗更新受到抑制。同时，地下水位下降，不能为林木所利用，浅根性草本植物消失，年青林木多数死亡，剩下根深的老胡杨树也处于垂死状态，萌蘖更新亦受到限制。

## 5 下游输水对绿色走廊植被恢复的生态学评价

在实施生态输水前，塔里木河下游英苏以下多数地下水位已下降到 8~12 m<sup>[13]</sup>，超过了绝大多数植物的生长临界水位，植被严重衰败。生态输水抬升了河流沿岸的地下水位，一定程度上满足了胡杨等中生性植物对地下水的需求，长势得到一定程度的改善，对下游河岸林的退化起到了遏制作用。仅以地下水的抬升和植被长势的变化来分析生态输水的生态效应，难以对下游荒漠河岸林的恢复效果进行合理

解释. 在这部分, 结合前人研究和本课题成员的实地调查, 从景观、群落及生理生态不同层次对生态输水后沿岸河岸林的恢复进行系统评价.

### 5.1 景观

塔里木河下游天然绿洲的隐域性植被是河流廊道生态流直接作用的产物, 主要分布于河流两岸阶地与河漫滩及受河水影响的低湿地段. 遥感影像和实地观测均清晰地反映了河岸林的分布范围, 在很大程度上标出了河水动力所波及的程度<sup>[2]</sup>, 从景观层次上揭示了河岸林群落发生发展的内在规律性. 现代河岸上的胡杨林多集中分布在河曲的凸岸上<sup>[2]</sup>, 下游河曲发育强烈, 胡杨林群落的发生发展与河水曲流运动蚀、积作用下的地貌形成过程同步演进. 垂向河岸, 幼龄林、中龄林、成熟林、过熟林依次分布(图 2).

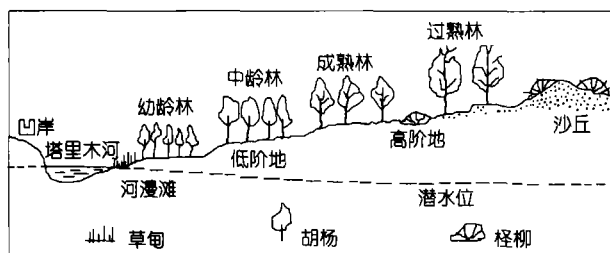


图 2 塔里木河中下游河流凸岸胡杨林分布规律

生态输水忽视了是季节性的洪水泛滥支配了胡杨林在河漫滩裸地的侵移过程, 而集中于地下水对植被的影响. 输水路线承袭老河道, 并采取了一系列工程措施以保障河道通畅. 这种线状的输水方式尽量地避免了漫溢的发生, 偏离了河岸林生存和发展的内在规律, 抑制了河岸林的自然更新. 生态输水实施后, 植被的覆盖变化较为明显. 近泄水源的英苏段, 一些河道转弯处被河水漫溢的裸地上, 出现了盐生

草与猪毛菜等草本植物群落; 阿拉干段, 近河岸样地内根萌蘖生的胡杨幼林明显发生, 胡杨群落盖度亦有明显增加; 2002 年 10 月的罗布庄段, 在调查区风蚀沙地上仅有稀疏灌木残茬, 难辨其是否存活, 至 2003 年 10 月, 已有大量的灌木复苏, 萌出新的枝叶. 实地调查中发现, 在水量较丰沛的英苏段出现了河水漫溢现象, 但随水量的迅速下降(主要为渗漏和蒸发损失), 在远离泄水源的阿拉干和罗布庄段, 已很难见到河水漫溢现象了; 在英苏、阿拉干和罗布庄 3 个生态样带上, 均未发现胡杨、柽柳等乔灌木植物的种子实生苗. 表 1 宏观地反映了生态输水实施后, 沿岸植被变化状况. 可以推论, 对研究区大部分地段来说, 当前的线状输水方式对下游天然绿洲景观的分布格局影响微弱. 生态输水实施后, 塔里木河下游天然绿洲景观组分基本未发生变化, 只是由于沿岸植被长势的改善导致了景观内各组间面积比例发生了变化.

### 5.2 群落

水文条件是决定河岸林群落状态的主要生态因素. 生态输水后, 近河道地段地下水位变化明显, 地下水位在河道纵向上的响应程度以与泄水源距离的增加而逐渐减弱<sup>[13]</sup>, 受地下水响应程度以及输水河道流体力学影响, 植被响应也存在一定的差异. 近泄水源段河漫滩锥形的出现是造成该地段植被物种多样性增加<sup>[10]</sup>的主要原因. 英苏以下段, 很难见到河水漫溢和植物实生苗发生, 植被响应主要以长势变化体现.

缺乏漫溢的输水方式抑制了胡杨、柽柳等河岸林植物种子实生苗的发生, 多数地段河岸林群落的物种组成基本维持原样. 近泄水源段产生的草本植物实生苗, 也并未对河岸林群落的发展构成实际意义. 在英苏漫溢区出现的草本植物群落, 主要是由藜科

表 1 输水过程中植被覆盖状况

样地	地理位置	生态输水过程中样地植被变化	
		2002 年 10 月	2003 年 10 月
1 英苏, 河水漫溢地. 样方 5 m×5 m	40°23'36"N 88°08'29"E 海拔: 819 m	地表光裸, 无草本植物分布	盐生草群落, 平均高 0.8 m, 群落总盖度为 70%~80%
2 阿拉干, 距河岸 50 m. 样方 30 m×30 m	40°08'47"N 88°21'40"E 海拔: 813 m	胡杨群落, 成熟林. 18 株老胡杨树, 其中全枯死的 5 株, 盖度约 5%, 无草本或灌木	盖度约 12%. 萌生苗 18 丛, 最大丛 2.3 m×2.6 m, 高 2 m; 最小丛 0.9×1 m, 高 1 m. 无草本或灌木
3 罗布庄, 风蚀沙地. 样方 5 m×5 m	39°36'30"N 88°25'25"E 海拔: 803 m	地面仅有稀疏灌木残茬	柽柳 4 丛, 最大丛 3.4 m×2 m, 最小丛 0.1 m×0.2 m, 平均高 0.5 m; 盐节木多株, 平均高 0.25 m, 盖度小于 5%

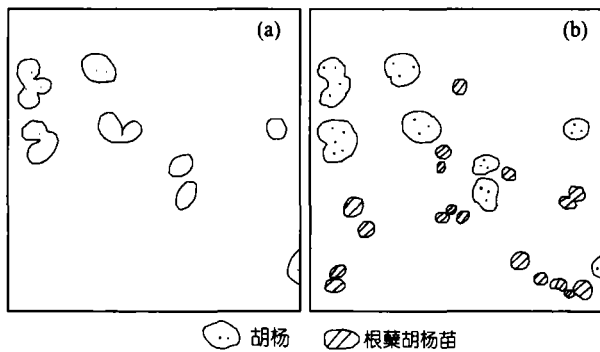


图3 输水过程中阿拉干近河岸植被变化

(a) 2002年10月调查时胡杨群落情形; (b) 2003年10月胡杨群落的情形. (a)和(b)是阿拉干30 m×30 m样方水平投影图, 该样方距离输水道50 m

的盐生草(*Halogeton glomeratus*)、猪毛菜、地肤(*Kochia schrenkiana*)等一年生植物所形成, 为一类组成种类贫乏、群落成员型和层次结构分化水平较低的不稳定植被. 随河道疏浚, 河水漫溢的消失, 这些草本植物群落也多数消失了. 生态输水后, 河道两岸地下水的响应范围及程度都有限<sup>[13]</sup>, 近河道乔灌木植物的响应范围也十分狭窄. 在阿拉干水文站桥头处, 距河道50 m的低洼处, 地下水位已上升到地面以下1.7 m处, 胡杨萌蘖较好(图3), 胡杨密度增加, 根萌蘖生的胡杨幼林出现; 距河道150 m处, 地下水位则迅速降至5.5 m, 已基本见不到根萌蘖生的胡杨幼株了(2003年10月观测). 总体来说, 目前的线状输水方式很难使河岸林物种组成及群落结构得到优化.

### 5.3 生理生态特性

胡杨、柽柳等荒漠河岸林植物, 往往在地表水极为异质的生境中完成其生活周期, 它们依赖地表径流或以地表水萌发定居, 而以地下水维持长期生存. 胡杨是喜光阳生树种. 种子生命期短<sup>[19]</sup>, 只有及时落于湿润低盐的光裸土壤环境下才能有望成苗. 在长期的生态适应过程中, 胡杨的种子成熟期与内陆河的夏季洪水期一致. 当前的生态输水避开农业用水高峰期, 而集中于秋季和来年春季进行. 输水后, 在近泄水源的漫溢地面上很难发现胡杨和柽柳的实生苗. 究其原因, 主要为输水时段与胡杨、柽柳种子成熟期不一致所致. 盐生草、猪毛菜等一类多出现于夏秋季的旱中生植物<sup>[4]</sup>, 生长发育节律短而迅速, 故而在秋季生态输水后能最先侵入到漫溢裸地上. 英苏河水漫溢地段胡杨、柽柳等中生性河岸林植物实生苗的缺失表明, 河岸林的恢复不仅仅在于向下游

输送水资源, 更重要的是必须使输水能够拟合胡杨种子成熟期与河流水文特征的适应性.

目前的生态输水仅仅满足了近河岸带河岸林植被对地下水的需求, 植被长势发生了变化, 就其生态学意义来说, 生态输水延缓了下游荒漠河岸林的衰退, 保护了现有河岸林资源, 尚谈不上植被的恢复与重建. 塔里木河下游生态恢复, 必须密切结合荒漠河岸林的发生学特点、生态学性质, 掌握其退化原因, 遵循自然规律, 通过人类的作用, 修复其结构, 达到恢复生态系统的必要功能, 以实现其自我维持.

## 6 对下游河道输水恢复荒漠河岸植被的建议

恢复河岸林, 首先需要更好地认识其生态学和生理学特性. 从近期植被恢复成果来看, 塔里木河下游植被恢复已涉及到输水管理的调整, 及在输水方案的设计上应更能满足河岸林种子实生苗发生的需求. 河道径流驱动河岸林生态过程, 尤其是夏季洪水的生态学意义必须被更好的认识. 为实现下游天然植被的恢复与重建, 建议模拟季节性洪水发生规律, 在输水河道上建设生态闸, 分段拦蓄河水, 形成一定的“洪水漫溢”面积, 为河岸林植物种子实生苗的发生创造良好的湿润河漫滩环境; 在泄水口播撒河岸植被籽种, 以提高植物种子实生苗的数量; 在地下水埋深较浅地段, 可采取断根的方法实现残败胡杨林的复壮<sup>[20]</sup>, 或通过移栽、扦插等形式建立人工植被.

为保障生态输水的长期进行及足够的水量下泄, 流域源区及干流区的河道水利工程建设、生态农业建设也势在必行.

**致谢** 张立运研究员对本研究工作给予的亲切指导, 作者表示感谢. 本工作为国家重点基础研究发展规划项目(G1999043509)和中国科学院知识创新项目(KZCX-XJ02-02, KZCX3-SW-327-04)资助.

## 参 考 文 献

- 秦仁昌. 关于胡杨林和灰杨林的一些问题. 见: E. M. Murzayet, 周立三主编. 新疆维吾尔自治区的自然条件. 北京: 科学出版社, 1959. 173—198
- 田裕钊. 塔克拉玛干沙漠地区天然胡杨林发生分布和生长特点的初步研究. 见: 中国科学院治沙队编. 治沙研究, 第七号. 北京: 科学出版社. 1965. 35—43
- 王世绩, 陈炳浩, 李护群. 胡杨林. 北京: 中国环境科学出版社, 1995. 29—36
- 张立运, 夏阳. 塔克拉玛干沙漠南缘绿洲外围的天然植被. 干旱区研究, 1997, 14(3): 16—22

- 5 王让会, 王晓伟, 游先祥, 等. 荒漠河岸林生态系统的结构分析. 干旱区研究, 2002, 19(2): 7—11
- 6 中国科学院新疆综合考察队. 新疆植被及其利用. 北京: 科学出版社, 1978. 178—183
- 7 Zhang Y M, Chen Y N, Pan B R. Distribution and floristics of desert plant communities in the lower reaches of Tarim River, southern Xinjiang, People's Republic of China. Journal of Arid Environments, 2005, 63: 772—784
- 8 马金珠, 朱中华, 李吉均. 塔克拉玛干沙漠南缘地下水在脆弱生态环境中的作用. 兰州大学学报(自然科学版), 2000, 36(4): 88—95
- 9 季方, 马英杰, 樊自立. 塔里木河冲积平原胡杨林的土壤水分状况研究. 植物生态学报, 2001, 25(1): 17—21
- 10 陈亚宁, 张小雷, 祝向民, 等. 新疆塔里木河下游断流河道输水的生态效应分析. 中国科学, D 辑, 2004, 34(5): 475—482
- 11 徐海量, 陈亚宁, 杨戈. 塔里木河下游生态输水对植被和地下水的影响. 环境科学, 2003, 24(4): 18—22
- 12 李卫红, 陈亚鹏, 张宏峰, 等. 塔里木河下游断流河道应急输水与地表植被响应. 中国沙漠, 2004, 24(3): 301—305
- 13 徐海量, 陈亚宁, 李卫红. 塔里木河下游生态输水后地下水的响应研究. 环境科学研究, 2003, 16(2): 19—38
- 14 宋郁东, 樊自立, 雷志栋, 等. 中国塔里木河水资源与生态问题研究. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2000. 201—249, 395—410
- 15 王让会, 樊自立. 塔里木河下游近 50 a 来沙质荒漠化演变规律. 中国沙漠, 2000, 20(1): 45—50
- 16 赵文智, 程国栋. 生态水文学——揭示生态格局和生态过程水文学机制的科学. 冰川冻土, 2001, 23(4): 450—457
- 17 陈亚宁, 崔旺诚, 李卫红, 等. 塔里木河的水资源利用与生态保护. 地理学报, 2003, 58(2): 215—222
- 18 海米提·依米提, 潘晓玲, 塔西甫拉提·特依拜, 等. 塔里木盆地水土资源开发及其生态环境效应. 资源科学, 2002, 24(6): 48—54
- 19 黄培佑. 干旱区免灌植被及其恢复. 北京: 科学出版社, 2002. 86—93
- 20 黄培佑. 塔里木盆地胡杨分布区的消退和林地更新复壮的初步研究. 植物生态学与地植物学学报, 1986, 10(4): 302—309

(2005-07-20 收稿, 2006-01-16 收修改稿)

## 《科学通报》(Chinese Science Bulletin) 征稿简则

《科学通报》(Chinese Science Bulletin)是中国科学院和国家自然科学基金委员会共同主办、中国科学杂志社出版的自然科学综合性学术刊物。《科学通报》力求及时报道自然科学各学科基础理论和应用研究方面具有创新性、高水平 and 重要意义的最新研究成果, 要求文章的可读性强, 能在比较宽泛的学术领域产生深刻的影响。《科学通报》为半月刊, 每月中旬和下旬出版。

1. 《科学通报》设有以下 10 个栏目:

**点评:** 评介在《科学通报》或其他国际刊物上发表的重要研究成果, 以及国家级各重要科技奖项的研究成果等(1800 字)。

**进展:** 评介当前迅速发展的某个研究领域或方向的突出进展及其重要性(3600 字)。

**评述:** 综述重要研究领域的代表性成果, 评论研究现状, 提出今后研究方向的建议(10000 字, 附 600 字左右的摘要)。

**前沿:** 评述当前活跃的、迅速发展的学科领域的研究现状、进展和存在问题, 对未来研究提出有洞察力的设想。本栏目以约稿为主。

**论文:** 报道自然科学领域具创新性、高水平 and 重要科学意义的最新科研成果(9000 字左右, 附 300 字左右的摘要)。

**快讯:** 简要报道自然科学领域具创新性和新颖性的科研成果(1800 字, 附 300 字左右的摘要)。

**论坛:** 发表对重要科学问题、科研管理政策或国家重大科技规划的评论, 对科学发展与社会进步的关系等理论问题提出看法(6000 字, 附 200 字左右的摘要)。

**争鸣:** 就《科学通报》发表的文章进行讨论和答辩, 或就当前科学研究中的某个有争议的热点问题介绍并予以评论(4000 字)。

**动态:** 报道重大科技新闻、科研信息、我国科学界重要的学术活动以及在我国举办的重要国际学术会议(800 字)。

**书讯:** 评介高水平、高质量的自然科学学术论著(800 字)。

2. 请使用中华人民共和国法定计量单位。引用他人研究成果时, 务请按《著作权法》有关规定指明其出处, 由此引发的一切著作权的责任由作者自负。

3. 投稿: 请访问中国科学杂志社网站 [www.scichina.com](http://www.scichina.com), 点击“投稿”, 登录到“学术期刊管理系统”, 首次投稿时注册一个“作者账户”。注册完成之后, 按照提示与引导进行投稿。

4. 稿件的取舍将由本刊编委会决定, 这个过程需要一定的时间。如 2 个月后收不到任何通知, 请及时与编辑部联系。

5. 论文发表后, 编辑部将赠送 1 本样刊和 30 份抽印本。

6. 详细的投稿指南见中国科学杂志社网站《科学通报》主页。

编辑部地址: (100717)北京市东黄城根北街 16 号, 中国科学杂志社《科学通报》编辑部。

电话: (010)64036120; 传真: (010) 64016350; 电子信箱: [csb@scichina.org](mailto:csb@scichina.org); 网址: [www.scichina.com](http://www.scichina.com)