

淡水资源的 可持续 利用与管理： 森林的作用

可靠的淡水供应和妥善应对水量太多或太少的极端情况的能力是人类可持续发展所不可缺少的。20世纪末发出的淡水匮乏的警告（如Falkenmark, 1989; Kundzewicz, 1997; Vorosmarty等, 2000），现在证实是准确的，目前缺水问题已经到了威胁粮食安全、人类健康和生计的境地（见联合国, 1992; 国际粮食政策研究所, 2001）。在世界范围内，淡水通过灌溉支持了40%的粮食作物的生产，人类全部食品消费量的12%，并生产了全部电能的20%（Johnson、Revenga和Echeverria, 2001）。除了水资源匮乏的直接影响外，水质被破坏也降低了其可使用性。

世界上超过30亿的人口得不到清洁的用水，这个问题在发展中国家尤其严重，那里90%的废水未经处理就被排入河流（Johnson、Revenga和Echeverria, 2001）。每年，污水和恶劣的卫生条件造成300多万人死亡，其中有200多万是发展中国家的儿童（van Damme, 2001）。此外，每年由于雨水引起的山体滑坡、洪水和洪流造成了巨大的生命和经济生产力的损失，发展中国家和发达国家均如此。因此，水资源及其管理对经济和人们的生活具有战略重要性，水资源管理已成为本世纪主要的挑战之一。由于水资源日益匮乏，争夺用水的冲突将增加，因此各方面应采取迫切

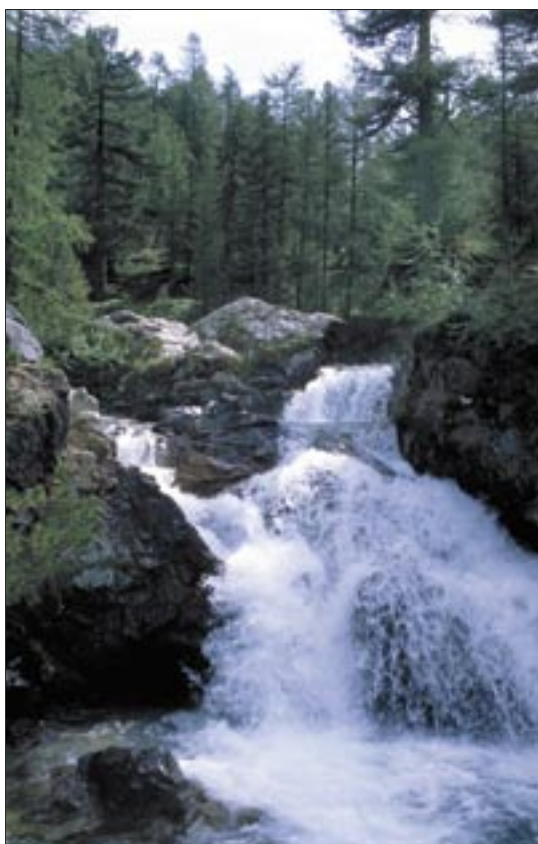
行动。

现有的技术能够应对水匮乏问题，在某种程度上也能应对极端水文气象情况的影响（Brooks等, 1997）。要使技术转化为实际的解决办法，必须克服若干制约因素，包括阻碍采取有效措施的土地匮乏、政策和制度不当等情况（Kundzewicz, 1997; Rosegrant, 1997; Scherr和Yadav, 1996）。虽然土地的使用和淡水是不可分割的和紧密相连的，但却很少对它们进行协调管理。上游土地和水的利用可能会影响下游社区及其用水，反之亦然。这种关系可从流域的整体上观察到，但在地方、国家和国际上采取反应措施时，往往没有给予充分的重视。

2002年“国际山区年”（因特网站：www.mountains2002.org）将世界的注意力集中在山地、流域、土地和水的利用上。世界上所有主要河流的源头中有许多现在或以前曾是森林覆盖的地区，它们是淡水管理的关键。因此，为了更好地管理森林，维持山地的生产率而不影响人类和他们所依赖的土壤和水，就需要了解热带和温带地区森林与淡水之间的关系。增加达到这些目标的机会意味着在计划、监测和实施森林水资源、农业及城市发展计划时应全面考虑流域管理问题。

森林覆被的丧失和土地转为它用会为淡水供应带来负面影响，并可造成极

有森林覆被的流域
是可靠淡水供应的
关键 (瑞士)



粮农组织林业部/FO-0339/T. HOER

端的水文气象情况，造成人类的灾难。若在进行森林管理时考虑水文目标，那么流域的情况可以得到改善，水资源的整体管理就能够促进。尽管这并不是解决水资源问题的灵丹妙药，但森林能够提供实实在在的经济和环境的益处。流域框架可以帮助认识上下游地区在这方面的益处。

有大量水的地方才会有森林，一般来讲，那里的降雨量丰富或沿岸林区土壤湿度高。由于认识到森林对水的影响，因此美国建立了国家森林系统，因为人们认为森林覆被对维持河水径流来说是不可或缺的 (Lee, 1980)。与起初的认识相反，后来发现森林也消耗大量水。本章概述了森林对淡水的影响，并就如何使森林和森林管理帮助达到水资源管理的目标提出了建议。

有森林覆被的流域具有特别稳定的水文系统。与其他的土地的利用形式相反，良好的森林可以：

- 大大影响流域出水量；
- 最大限度地提高水释放出优质水；
- 降低洪峰流量和一定的降雨流量；
- 调节年度间丰水与枯水期之间的流量变化；
- 保持最大限度的土壤稳定和最少量的土体移动、溪谷侵蚀及地表侵蚀；

- 最低限度地向下游排放沉积物。

森林、大气水和出水量

森林、大气水分和出水量是长期以来争论的话题。Lee (1980) 指出，森林覆被和降雨丰沛的自然巧合是造成森林引发或增加降雨这一普遍观念的部分原由；根据这一观念推断，清除森林将大大减少降雨。在全球来讲，事实并非如此；清除全部的森林覆被最多只减少全球降雨量1%至2% (Lee, 1980)。Calder (1999a) 进一步提出森林采伐对区域降雨量几乎不造成影响，但在降雨量很大程度上依赖其内部驱动的循环方式的流域可能出现例外，如亚马逊流域。即使如此，据估计森林被完全采伐并代之以非森林植被，也将仅减少该流域降雨量的不足20% (Brooks等, 1997)。

然而也存在这样的情况，森林能截留

雾和低云（云雾林），将本来大气中的水分添加给该地。森林与淡水产出量之间的关系在云雾林和非云雾林之间是不同的。

云雾林与淡水产出量

云雾林出现在温带气候的沿海地区以及雾和低云条件常见的热带山区。森林截留了大气中的水分（水平降水），冷凝后从树叶上滴下，增加了土壤的湿度。虽然没有增加降雨，但森林增加了水分，而低生长的植物做不到这一点。以下是云雾林增加淡水的例子：

- 美国俄勒冈州西部雾带的沿海森林增加了出水量（Harr, 1982; Ingwersen, 1985）。采伐俄勒冈波特兰德地方流域的老龄针叶林，减少了夏季的径流量，但恢复植被后在五至六年的时间内径流量恢复到正常水平。
- 热带山地云雾林造成的水量增加随着海拔、位置和季节的变化而改变（Bruijnzeel和Proctor, 1993）。水平降水和年降雨的比率在4%和85%之间变化，旱季数值高，每天水平降水平均在0.2和4毫米之间。在一定降雨量的情况下，热带山地云雾林的年径流量比热带森林的径流量大。关于将热带山地云雾林变为其他用途后径流量的变化情况还没有广泛的记载，但中美洲正在进行有关研究（Calder, 1999b, 据Kaimowitz记载, 2000）。

非云雾林与淡水出水量

在雾和热带山地云雾林区之外的地区，森林一般会耗费大量的水。在世界上对流域做的100多个试验表明，砍伐

森林引起径流量增加，具体情况随气候和森林类型的不同而变化，并且在重新造林后，径流量减少（如Bari等, 1996; Bosch和Hewlett, 1982; Lesch和Scott, 1997; Verry, Hornbeck和Todd, 2000; Whitehead和Robinson, 1993）。当森林被其他土地用途替代后，径流保持增长。除少数例外之外，结果如下：

- 清除森林覆被后年出水量增加60至650毫米。增长的大小一般与植被清除的生物量成正比，而且在湿润地区增幅更大。在年降雨量低于400毫米的干旱地区，据报告几乎没有影响。
- 在森林被间伐和皆伐后，旱季径流量一般出现增长。
- 高截留率（如针叶林）或高蒸腾率（如桉树）的森林比低截留率和低蒸腾率的森林出水量少。当针叶林被阔叶林取代后，出水量一般将增加，当针叶林取代阔叶林、灌木和草地后，出水量减少（见对面的插文）。

森林、洪水和泥石流

与任何其他类型的植被相比，森林造成的洪流少且能够提高土壤的稳定性，因为森林具有极高的渗透率，保护性的地表覆被，大量吸收土壤中的水分，而且树根具有很高的抗张强度。这特别有益于易受暴雨影响的山区地形。砍伐森林和修建道路给这样的地区造成问题，因此不断地增加了山体滑坡和泥石流发生的频率和规模（Sidle, 2000）。然而，正如在中国台湾省发现的情况（见下页的插文），森林覆被可以提供的保护不是没有限度的。为了稳固坡体和控制洪水，台湾省几乎所有的山区流域都有森林覆被（Lu、Cheng和Brooks, 2001）。

斐济的经验教训

人工造林减少了供水水库的出水量（Drysdale, 1981）。

在斐济两个最大岛屿的下风处，为发展以木材为基础的工业，种植了6万公顷的加勒比松，以取代灌木植被。六年之后，流向下游供水水库的旱季流量减少了50%至60%。该造林地区不属于云雾林环境。如果在造林时考虑到了淡水水源

问题，就会选植截留和蒸腾率低的树种，而不是针叶林。

斐济的经验使北京市水利局改变了计划在密云水库集水区，即北京市区主要的水源地，栽种松树替代中国槐树和灌木的作法。计划者曾错误地认为该类松树将增加水库出水量，而结果却正好相反。

砍伐树木（上）和修建道路（下）可造成严重的土壤侵蚀和山体滑坡（尼泊尔）

当降雨出现极端情况时，森林能够提供的阻止山体滑坡、泥石流和洪水的保护程度就有所下降。

经常提出的问题是森林覆被影响洪水的程度到底有多大。在美国明尼苏达北部，当一个小流域70%的森林被皆伐后，由降雨造成的重现间歇（RI）25至30年的峰值流量增加了（Lu, 1994; Verry, 2000）。特大洪水（重现间歇大于100年）并没有因清除森林覆被而受影响，这支持了Hewlett's (1982)的论断，森林覆被的变化对主要径流的大洪水影响很小。但重要的是如果森林覆被被清除，重现间歇为1年半至2年的洪水将有成倍增加。



提供组织林业部/0-0286/T. HOFER

提供组织林业部/0-0285/T. HOFER

中国台湾省的 台风、山体滑坡和泥石流

平均每年三至四次的台风引发的洪水、山体滑坡和泥石流，造成中国台湾省这个多山岛屿的巨大生命和财产损失。该岛约53%的地区坡度超过21°，海拔3000米以上的山峰有100多座（Lee, 1981）。由于土层浅薄疏松、地质结构断裂和风化，山体滑入陡峭的河道，成为泥石流的主要成因。

在1996年发生具有极大破坏力的“Herb”台风期间，高海拔地区42小时的降雨量超过1985毫米（Lu, Cheng和Brooks, 2001）。全岛都爆发了山体滑坡和泥石流，其中许多发生在天然林转变为种植茶树、蔬菜及槟榔的道路和泻洪河道周边，但林区也发生了多处山体滑坡和泥石流。在一定的降雨量和强度下，无论何种土地利用方式，泥石流和山洪均可能发生。

极端的水文现象是侵蚀和沉积运动的自然过程与人类活动相互作用的结果（Davies, 1997）。人们聚集在土地稀少，居住条件危险的地区，不论高地是否完全有森林覆被，各种灾害都将发生。中国台湾省的情况就是这样，那里人口密度接近每平方公里600人。人们生活在陡峭的坡地、小盆地的河口及洪泛区，易受伤害。为了应对这种对上下游各界造成的威胁，提出了政府各机构间流域合作管理计划的建议（Lu、Cheng和Brooks, 2001）。

必须确定危险的区域，并制定鼓励人们避开这些区域的政策和制度。根据地理信息系统（GIS）的地形分析，提供了标出山地流域的危险区域的手段（Gupta和Joshi, 1990; Sidle, 2000），以及根据众所

周知的危险类型和程度，描绘出洪泛区和界定危险地带的方法（Bedient和Huber, 1988）。美国的《联邦水灾保险计划》就是鼓励人们改变行为方式的一个例子。根据这一计划，邻近河流地区的保险费率与危险的程度有关。

森林与沉积

由于具有良好森林的流域所产生沉积物是所有各类覆被中最低的（Brooks等, 1997），所以森林通常被看作是减少下游沉积物的手段，这就不足为奇了。

在砍伐了流域18.2%的森林之后，巴拿马Alhajuela水库的沉积作用提高了三倍；Larson 和 Albertin（1984）建议重新造林以扭转这一情况。由于现有的研究不足，所以一些人提出，森林覆被对水库保护的益处被高估了（Kaimowitz, 2000）。这类怀疑的理由包括：

- 监测不足，因此限制了森林变化与水库沉积水平之间的经验证据；
- 森林覆被变化的发生在如此小面积的流域区，因此其影响难以观测；
- 上游流域项目与下游水库之间的距离掩盖了影响；
- 认识到了其他的因素，如非森林土地使用形式，可增加径流峰值而影响沉积。

下游沉积物的输送既受高地流域径流量变化的影响，也受沿岸区域变化的影响（Rosgen, 1994; Tabacchi等, 2000）。河流沉积物的水平由沉积物数量和径流量所决定。在各时段中，携带沉积物的最有效流量为河道充满水时的流量水平（河道满水但不外溢），通常大概与年均峰值流量相对应。当土地使用方式使流量增加时，无论侵蚀率是否降低，但河道会变得不稳固，沉积水平增加。江河两岸森林丰富也可以通过滤除土壤侵蚀物对河道的影

响和保护径流两岸稳定而减少沉积水平。因此，高地和沿岸森林的退化两者结合将会增加水库沉积量。

森林与水质

水污染对下游使用者对水的利用产生减损并严重地影响人类健康。林区流域释放出的优质水源是将保护森林作为首选的城市集水区的主要原因。森林能有效地对营养物和化学物进行循环，减少沉积物的输出，这样就减少了如磷和某些重金属污染物。雨水径流率低也可减少大量的营养物及污染物进入水体中。

在许多发展中国家，乡村穷人的粮食与资源的短缺，加上土地缺乏和制度的限制，妨碍了保护城市水源地的森林集水区。然而，污染的饮用水和与之相关的疾病严重地危害了乡村人口和城市社区的福利。许多地区急需水的储存和运输设施，并需要改善卫生条件 and 水的处理。水库上游管理良好的森林集水区对水处理的要求较低。Echavarria和Lochman（1999）的报告指出，用十年时间花费10亿美元改善纽约市区集水区的管理，可以节约40至60亿美元建设新的水处理设施的支出。

沿岸森林

沿水系的森林缓冲带和农林复合经营系统能进一步改善水的质量。尽管受到长期的忽视且往往已被利用，沿岸森林仍有助于稳固河流堤岸，减少污水和化学物从高地排入水系之中，并维持了较低的水温，因此改善水中溶解氧的水平（Brooks等，1997）。这样可以提高水质供人类使用，从而造就更为健全和具有生产力以及更加多样化的水生生态系统，包括红树林。健全的沿岸森林也能因此增加鱼品生产。

由于沿岸森林接近水体，具有很高的放牧和农作生产价值，所以沿岸森林系统被大量利用，而保护其不进行任何利用是不现实的。然而，若管理得当，沿岸森林和沿水系的农林复合经营系统可以减轻营养物、化学品和人类废物的排放。同时，这些系统可以为乡村穷人提供粮食、饲料和其他产品。

流域：对上下游关系的认识 规模及累积影响

淡水对下游地区的益处与高地及沿岸森林的良好管理有着自然的联系，但也可以对专门的淡水目标进行管理。在这两者中，空间方面的原因可能会掩盖这些益处，例如土地利用方式的地方性和分散性特征及其影响；活动相对于流域面积的规模；以及获得收益所需的时间等。土地变化能够造成累积影响，个别来讲也许不明显，但从整个流域和时间上来看就相当客观。这种复杂的情况遮掩了世界上许多地方决策者的视线，削弱他们对流域管理的承诺。但是，在环境和经济评估中必须认识到这些累积影响。

在岛屿上能够最明显地观察到土地的使用对下游河流的累积影响，沉积物的淤积和污染物只需几公里而不必数百公里就可以观测。例如，在加勒比海和太平洋地区的岛屿上，森林采伐和耕作行为与河口、珊瑚礁的退化和靠此生存的鱼类减少有关。在牙买加东部，由于高地森林改种咖啡，加剧了土壤的侵蚀和化学物的排放，加重了珊瑚礁的破坏（K. Eckman，私人通信，2002）。在河流盆地这种联系十分明显，但在一个庞大的体系下，这种影响可能要经过数十年或更长的时间才能显露出来，也可能被其他土地利用的行为所掩盖。这种影响的一个例证是墨西哥

湾氧耗竭的情况，这可以追溯到部分的由于农业非点源污染美国密西西比河流域的结果。根据联邦立法机构改善受破坏水系的呼吁，中西部各洲正在集中力量恢复沿岸的森林和湿地，改善农业的土地利用情况，减少对密西西比河的最大日排放量。目前，正在开发和促进城市和市郊的森林及树木的计划，以解决贫困和粮食不安全，以及支持对土地资源的保护及可持续利用。

经济因素

森林管理和其他改善流域以保护和管理淡水的措施需要经济上的理由。着眼流域整体的方法能清楚地确定森林相对于这些目的的经济价值。Johnson、White和Perrot-Maître (2001) 强调了森林提供的与水有关的生态系统在经济方面的重要性。然而，由于一系列的困难，到目前为止仍无一个考虑各方面益处的综合经济分析。这些原因包括森林项目对流域作用的监测和评价不足，难以确定众多服务作用的准确价值，特别是那些不在市场上进行交易的服务项目。在世界上许多地方，水受到高额补贴，被认为是免费物品。现在，水的匮乏使得人们更加现实地确定水的价值。与此相反，人们没有完全考虑到受到妥善管理或保护的森林在避免土壤侵蚀造成的损失、泥石流、沉积物的淤积及水灾等方面的经济效益。

由于水的匮乏，因此对流域经济的改进呼之欲出。有人称之为新的全球水经济的趋势正初露端倪，淡水被看作是一种经济商品而不是公共管理资源 (Anderson, 2002)。例如，在美国加利福尼亚南部，每1000立方米的水农民需付8.11美元，而在圣塔芭芭拉市，则要付1622美元。那里的水比被灌溉的作物要昂贵，结果有的农民把水卖给市政当局。在

这种情况下，对水源集水区的林区进行管理是有充分经济理由的。

在发展中国家，新的水经济面临各种障碍，由于长期作法和宗教信仰，水通常被当作一种免费物品 (Rosegrant和Cline, 2002)。对水的更为有效的分配和新的价格政策可以为以供水为目的的森林管理提供支持的动力。继续将水作为免费物品或给予高额补贴，都将在发展和发达国家加剧水的浪费。Johnson、White和Perrot-Maître (2001) 曾建议建立能够加强森林流域与水有关的服务的恢复、维持和改善的财政机制。

在大多数情况下，实施所需的财政和经济分析的方法是具备的。上游和下游的数据有时极端缺乏，它们被换算成可以在“具备”和“不具备”的条件下进行比较的效益和成本 (粮农组织, 1987)。在墨西哥和中国的流域项目中已经采用此种方法进行评估，其中便包括、但不限于森林覆被和管理的变化 (Brooks等, 1981; Shuhuai等, 2001)。在这两个事例中，当把生产与水资源的效益相结合时，流域改造工作，包括森林和农林复合经营，都被证明是经济可行的 (10%至16%的经济回报率)。

可以使用水文计算机模型来研究由人类造成的对流域的影响。例如，可以模拟出水量、洪涝和沉积物输移并与具有经济效益和成本意义的具体地点建立起联系。通过使用水文计算机模拟程序-语言 (HSPF) 模型 (Miller, 1999)，对美国明尼苏达河流域中的一个集水区的农业发展、洪泛区和湿地排水系统的沿岸森林丧失后的累积影响进行了模拟。这些土地利用形式的变化增加了年径流量和峰值流量，这与流域“储藏能力下降”有关。Hey (2001) 相信，近期大洪

水给下游造成的损失可以通过在流域内恢复足够面积的沿岸森林覆被、洪泛区和流域湿地的方式而使之大大减少。他认为,农民为了减轻今后的水灾损失而转变土地用途完全有理由得到补偿。这种创新方法应在热带流域和发展中国家予以推广和考虑,重点是开发计算机模拟模型。

制度及政策因素

为提高人类生活而对森林和水资源的更妥善管理需要的不仅是技术知识。尽管技术信息为评估上下游的关系和进行经济分析奠定了基础,但把这种信息转变为管理行为需要各种利益相关者的参与,才能达成共识并为实施工作提供动力(Eckman、Gregersen和Lundgren, 2000)。必须要创造一个支持而不是妨碍土地与水统一管理政策环境。

由于流域范围和政治疆域往往不一致,对土地和水资源管理的协调工作就有赖于解决跨界问题和用水争端的有关组织。在20世纪九十年代,由于美国缺少有效的流域或盆地一级的组织,于是形成了1500多个流域管区处理上下游之间的问题(Lant, 1999)。尼罗河流域的国家建立了由九个沿岸国家组成的伙伴关系,以解决跨界问题并促进更具可持续性的发展(Baecher等, 2000)。这一区域河水分配的不平等问题正在加剧,因为源自埃塞俄比亚山区的80%的河水流向了苏丹和埃及赖以利用的尼罗河下游。如果缺乏合作与协调,水的使用与开发争端就可能会发生。

需要对大河流域所要求的进程和步骤予以更多了解,而2003年的“国际淡水年”为各利益相关者分享经验、从而为今后寻找解决途径提供了机会。

结论和建议

淡水匮乏是一个全球性问题,需要从局部流域到主要江河流域对水资源进行更为有效的管理。2003年的“国际淡水年”有助于将全球的注意力集中在以综合的方法解决水资源一方面匮乏而另一方面又无节制的问题。森林可以为提供淡水发挥重要的作用,但其管理必须对水资源管理形成补充。在大部分领域技术已经具备,但是实施工作需要相关的政策和机构来促进行业间的对话与合作。以下是可以使森林与水管理相互支持的一些潜在的途径。

首先,需要特别重视覆盖有森林的山区流域,因为它是世界上淡水出水量最高的地区,但也是山体滑坡、洪流和火灾的发源地。居住在源头和生活在下游低地的人们都依靠来自高地的淡水,并且都受到极端水文气象情况的影响。在山岭地区防止或减轻灾害的行动应包括:

- 维护易受暴雨侵袭的山区流域的健全森林覆被;
- 制定森林保护与区划、洪泛区管理以及工程结构相结合的计划,保护人们免遭山体滑坡、泥石流和洪水的危害。

其次,对森林进行管理能够增加淡水供应,但要将其作为综合性的多方面计划的一部分。必须认识到水和水源区的经济价值。通过减少水补贴,把水作为一种商品而不是免费物品,经济鼓励措施可以在下列方面对改善管理予以支持。

- 在非云雾林的条件下,如果用低耗水的树种替换耗水量高的树种,或定期间伐和采伐森林,城市集水区的出水量是可以增加的。
- 在云雾林的条件下,要保护和管理好成熟老龄林以保持旱季径流量。
- 应管理好沿岸森林,以保护水质,

这样反过来又可以提高水生生态系统的生产能力，改善当地居民的健康和福利。另外，应充分利用能够实现以上目标并能提供粮食、饲料和木材产品的农林复合经营缓冲带系统。

- 为获得森林的水文效益并为农村贫困人口增加粮食和自然资源生产，需要开发高地流域的农林复合经营系统。

第三，通过高地、沿岸区域和洪泛区的森林管理，减轻由水灾和沉积物淤积所造成的损害的潜力是存在的。虽然主要河流的最大和最具有破坏力的洪水并不受森林覆被程度的影响，但是当森林被清除掉之后，中等程度和地方性的水灾将增加。森林的退化给水流和水质带来了许多不利影响。健全高地及沿岸森林可以保持最低限度地向河流、湖泊和水库输移沉积物。

第四，在对森林、水、城市及农业用地进行规划和管理时应结合整体流域的视角。地方和最高一级的政府都要具有这种视角，才能促进可持续的解决办法。

第五，必须通过森林及其他土地利用管理的政策和机构向局部流域以及整个江河流域提供实现淡水目标的鼓励措施和手段。为了达到管理目标及解决不均等、即在上下游资源利用的变化中谁支付和谁受益的问题，需要进行行业间的对话与合作。需加强经济分析，以更好地理解这些不均等问题并予以解决。新兴的水经济将为合理地转换土地用途、促进水的供给提供依据。应当考虑对那些为减少下游损失而改善森林和其它土地使用方式的居民进行补偿。应通过以下方式改进环境政策和机构支持：

- 在改善水资源管理和可持续发展的前提下，提高对上下游管理系统的

程序和所需方法的理解；

- 扩大面向局部流域的居民直至最高层政策的制定者的教育和培训计划；
- 提高对森林在淡水管理中作用的理解和协调，重点在于针对当地土地及水资源用户的示范和推广计划；
- 由于20世纪七十年代和八十年代提出的许多有关热带森林水文作用的问题至今大部分仍没有答案，或至少没有得到妥善记载，因此应扩大项目的监测和评价，并提高发展中国家有关热带森林流域的研究工作。

要使所得到的信息为新技术和政策的开发制定提供依据，从而通过改善森林和淡水管理的方式提高人民福利，社会经济因素和技术因素都需要得到重视。◆

参考文献

- Anderson, T.L.** 2002. Water: from a public resource to a market commodity. *Water Resources Impact*, 4(1): 4–5.
- Baecher, G.B., Anderson, R., Britton, B., Brooks, K. & Gaudet, J.** 2000. *The Nile Basin: environmental transboundary opportunities and constraints analysis*. Draft. Washington, DC, International Resources Group, for the United States Agency for International Development (USAID).
- Bari, M.A., Smith, N., Ruprecht, J.K. & Boyd, B.W.** 1996. Changes in stream flow components following logging and regeneration in the southern forest of western Australia. *Hydrological Processes*, 10: 447–461.
- Bedient, P.B. & Huber, W.C.** 1988. *Hydrology and flood plain analysis*. Reading, Massachusetts, USA, Addison-Wesley.
- Bosch, J.M. & Hewlett, J.D.** 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55: 3–23.
- Brooks, K.N., Ffolliott, P.F., Gregersen, H.M. & DeBano, L.F.** 1997. *Hydrology and the management of watersheds*. 2nd edition. Ames, Iowa, USA, Iowa State University Press.
- Brooks, K.N., Gregersen, H.M., Berglund, E.R. & Tayaa, M.** 1981. Economic evaluation of watershed projects: an overview of methodology and application. *Water Resources Bulletin*, 18: 245–250.
- Bruijnzeel, L.A. & Proctor, J.** 1993. Hydrology and biogeochemistry of tropical montane cloud forests: what do we really know? In L.S. Hamilton, J.O. Juvik & F.N. Scatena, eds. *Tropical montane cloud forests*, pp. 38–78. New York, Springer-Verlag.
- Calder, I.R.** 1999a. *The blue revolution, land use and integrated water resource management*. London, Earthscan.
- Calder, I. R.** 1999b. *Panama Canal watershed: hydrological study preparation*. (Mimeo)
- Davies, T.R.H.** 1997. Using hydrosience and hydrotechnical engineering to reduce debris flow hazards. In C. Chen, ed. *Debris-flow hazards mitigation: mechanics, prediction, and assessment*, pp. 787–810. Proceedings of the 1st International Conference of the American Society of Civil Engineers. New York, American Society of Civil Engineers.
- Drysdale, P.J.** 1981. Status of general and forest hydrology research in Fiji. Working paper. In *Country papers on the status of watershed forest influence research in Southeast Asia and the Pacific*. Honolulu, Hawaii, USA, East-West Center.
- Echavarría, M. & Lochman, L.** 1999. *Policy mechanisms for watershed conservation: case studies*. Arlington, Virginia, USA, Nature Conservancy.
- Eckman, K., Gregersen, H.M. & Lundgren, A.L.** 2000. Watershed management and sustainable development: lessons learned and future directions. In *Land stewardship in the 21st century: the contributions of watershed management*, pp. 37–43. Proceedings, Rocky Mountain Research Station, RMRS-P-13. Fort Collins, Colorado, USA, United States Department of Agriculture (USDA) Forest Service.
- Falkenmark, M.** 1989. The massive water scarcity now threatening Africa – why isn't it being addressed? *Ambio*, 18(2): 112–118.
- FAO.** 1987. *Guidelines for economic appraisal of watershed management projects*, by H.M. Gregersen, K.N. Brooks, J.A. Dixon & L.S. Hamilton. FAO Conservation Guide No. 16. Rome.
- Gupta, R.P. & Joshi, B.C.** 1990. Landslide hazard zoning using the GIS approach – a case study from the Ramganga Catchment, Himalayas. *Engineering Geology*, 28: 119–131.
- Harr, R.D.** 1982. Fog drip in the Bull Run municipal watershed, Oregon. *Water Resources Bulletin*, 18(5): 785–789.
- Hewlett, J.D.** 1982. Forests and floods in the light of recent investigations. In *Proceedings of the Canadian Hydrology Symposium '82 on hydrological processes of forested areas*, pp. 543–559. Ottawa, Canada, National Research Council of Canada.
- Hey, D.L.** 2001. Modern drainage design: the pros, the cons, and the future. Presentation at Annual Meeting of the American Institute of Hydrology. Bloomington, Minnesota, USA, 14–17 October 2001.
- IFPRI.** 2001. *Overcoming water scarcity and quality constraints. 2020 Focus*, Vol. 9 (available at www.ifpri.org/2020/focus/focus09.htm).
- Ingwersen, J.B.** 1985. Fog drip, water yield, and timber harvesting in the Bull Run municipal watershed, Oregon. *Water Resources Bulletin*, 21(3): 469–473.
- Johnson, N., Revenga, C. & Echeverria, J.** 2001.

- Managing water for people and nature. *Science*, 292: 1071–1072.
- Johnson, N., White, A. & Perrot-Maître, D.** 2001. *Developing markets for water services from forests – issues and lessons for innovators*. Washington, DC, Forest Trends/World Resources Institute (WRI)/Katoomba Group.
- Kaimowitz, D.** 2000. *Useful myths and intractable truths: the politics of the link between forests and water in Central America*. San Jose, Costa Rica, Center for International Forestry Research (CIFOR).
- Kundzewicz, Z.W.** 1997. Water resources for sustainable development. *Hydrological Sciences – Journal des Sciences Hydrologiques*, 42(4): 467–480.
- Lant, C.L.** 1999. Introduction, human dimensions of watershed management. *Journal of American Water Resources Association*, 35: 483–486.
- Larson, C.L. & Albertin, W.** 1984. Controlling erosion and sedimentation in the Panama Canal watershed. *Water International*, 9: 161–164.
- Lee, R.** 1980. *Forest hydrology*. New York, Columbia University Press.
- Lee, S.W.** 1981. Landslides in Taiwan. In *Problems of soil erosion and sedimentation*, pp. 195–206. Proceedings of the South-East Asian Regional Symposium. Bangkok, 27–29 January 1981. Bangkok, Asian Institute of Technology.
- Lesch, W. & Scott, D.F.** 1997. The response in water yield to the thinning of *Pinus radiata*, *Pinus patula* and *Eucalyptus grandis* plantations. *Forest Ecology and Management*, 99: 295–307.
- Lu, S.** 1994. *Forest harvesting effects on streamflow and flood frequency in the northern lake states*. St Paul, Minnesota, USA, University of Minnesota. (Ph.D. thesis)
- Lu, S.Y., Cheng, J.D. & Brooks, K.N.** 2001. Managing forests for watershed protection in Taiwan. *Forest Ecology and Management*, 143: 77–85.
- Miller, R.C.** 1999. *Hydrologic effects of wetland drainage and land use change in a tributary watershed of the Minnesota River basin: a modeling approach*. St Paul, Minnesota, USA, University of Minnesota. (M.S. thesis)
- Rosegrant, M.W.** 1997. *Water resources in the twenty-first century: challenges and implications for action*. Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper No. 20. Washington, DC, International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Rosegrant, M.W. & Cline, S.** 2002. The politics and economics of water pricing in developing countries. *Water Resources Impact*, 4(1): 6–8.
- Rosgen, D.L.** 1994. A classification of natural rivers. *Catena*, 22: 169–199.
- Scherr, S.J. & Yadav, S.** 1996. *Land degradation in the developing world: implications for food, agriculture, and the environment in 2020*. Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper No. 14. Washington, DC, International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Shuhuai, D., Zhihui, G., Gregersen, H.M., Brooks, K.N. & Ffolliott, P.F.** 2001. Protecting Beijing's municipal water supply through watershed management: an economic assessment. *Journal of American Water Resources Association*, 37(3): 585–594.
- Sidle, R.C.** 2000. Watershed challenges for the 21st century: a global perspective for mountainous terrain. In *Land stewardship in the 21st century: the contributions of watershed management*, pp. 45–56. Proceedings, Rocky Mountain Research Station, RMRS-P-13. Fort Collins, Colorado, USA, United States Department of Agriculture (USDA) Forest Service.
- Tabacchi, E., Lambs, L., Guilloy, H., Planty-Tabacchi, A.M., Muller, E. & Decamps, H.** 2000. Impacts of riparian vegetation on hydrologic processes. *Hydrological Processes*, 14: 2959–2976.
- UN.** 1992. Protection of the quality and supply of freshwater resources: application of integrated approaches to the development, management and use of water resources. *Agenda 21*, Chapter 18 (available at www.un.org/esa/sustdev/agenda21chapter18.htm).
- van Damme, H.** 2001. Domestic water supply, hygiene, and sanitation. *2020 Focus*, Vol. 9, Brief 3 (available at www.ifpri.cgiar.org/2020/focus/focus09/focus09_03.htm).
- Verry, E.S.** 2000. Water flow in soils and streams: sustaining hydrologic function. In E.S. Verry, J.W. Hornbeck & C.A. Dolloff, eds. *Riparian management in forests*, pp. 99–124. Boca Raton, Florida, USA, Lewis.
- Verry, E.S., Hornbeck, J.W. & Todd, A.H.** 2000. *Watershed research and management in the Lake States and northeastern United States*, pp. 81–92. Proceedings, Rocky Mountain Research Station, RMRS-P-13. Fort Collins, Colorado, USA, United

States Department of Agriculture (USDA) Forest Service.

Vorosmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J. & Lammers, R.B. 2000. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth.

Science, 238: 284–288.

Whitehead, P.G. & Robinson, M. 1993. Experimental basin studies – an international and historical perspective of forest impacts. *Journal of Hydrology*, 145: 217–230. ◆

