

洱海控藻技术研究

· 卫志宏 编著 ·



云南出版集团公司

 云南人民出版社
YUNNAN PEOPLE'S PUBLISHING HOUSE

洱海清

大理兴

ISBN 978-7-222-10942-1



9 787222 109421 >

定价：120.00元

洱海控藻技术研究

· 卫志宏 编著 ·



云南出版集团公司

 云南人民出版社
YUNNAN PEOPLE'S PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

洱海控藻技术研究 / 卫志宏编著. — 昆明 : 云南人民出版社, 2013. 6

ISBN 978-7-222-10942-1

I. ①洱… II. ①卫… III. ①湖泊—藻类水华—水污染防治—云南省 IV. ①X524

中国版本图书馆CIP数据核字 (2013) 第123495号

责任编辑: 萧功川 计文婷 施建国

装帧设计: 计文婷

责任印制: 马文杰

书 名	洱海控藻技术研究
作 者	卫志宏 编著
出 版	云南出版集团公司 云南人民出版社
社 址	昆明市环城西路609号
邮 编	650034
开 本	787×1092 1/16
印 张	29
字 数	730 千
版 次	2013年6月第1版第1次印刷
印 刷	云南新华印刷二厂
书 号	ISBN 978-7-222-10942-1
定 价	120.00 元

· 序 ·

洱海是大理人民的“母亲湖”，是大理人民赖以生存和发展的基础，是大理的核心竞争力和魅力所在，也是大理人民幸福生活的重要源泉。

大理的美，美在洱海；洱海的美，美在清澈。保护好洱海，事关大理发展全局，事关美丽幸福新大理建设。党的十八大首次以美丽中国作为生态文明建设的宏伟目标，把生态文明建设放在了更加突出的位置，纳入“五位一体”总体布局，为大理开创生态文明建设新阶段指明了方向。长期以来，大理州委、州政府高度重视洱海保护治理工作，紧紧围绕洱海保护治理为重点来推进生态文明建设，不断加强统筹谋划、加大保护力度、强化保护措施，历经了“一湖之治”“流域之治”，进入了现在的“生态之治”，实现了从湖区向流域、点源向面源、专项向系统综合治理的转变，保护治理工作取得了阶段性显著成效，洱海成为了全国城市近郊保护得最好的湖泊之一。洱海保护治理模式作为先进典型在全国推广，得到了中央领导同志和国家环保部及省委、省政府的充分肯定和高度评价。当前，面对生态文明建设的新要求，面对洱海保护的新形势，大理州正以“2333行动计划”为抓手，着力实施两百个村两污治理、三万亩湿地建设、亿方清水入湖三大重点工程，努力实现洱海Ⅱ类水质目标，全面开启了洱海保护治理转向区域生态文明建设的新征程，让洱海这颗璀璨的“高原明珠”水更清、景更美，努力在加强生态文明建设、建设美丽大理上创造新业绩。

洱海曾经在上世纪末和本世纪初两次大规模暴发蓝藻，水质一度恶化。为此，相关环境保护治理机构和科研人员开展了大量卓有成效的研究及治理工作。其中，中国大理洱海湖泊研究中心卫志宏同志历时五年，通过大量研究，取得了内外源控藻、生物控藻、应急控藻等多项科研成果，填补了洱海保护与科研相关重点领域的若干空白。通过在洱海保护治理中运用控藻技术，有效削减了污染负荷，遏制了富营养化进程和藻华发生，改善了水质，促进了生态系统结构和功能恢复。由卫志宏同志所编著的《洱海控藻技术研究》一书，首次系统研究了洱海藻类发生发展的关键环境因子，形成了洱海控藻核心理论、关键技术和现代化管理技术体系，为洱海控藻提供了坚实的理论基础和科技支撑。

《洱海控藻技术研究》具有较高的学术价值和应用价值，将为洱海保护治理工作、大理生态文明建设提供重要的技术支撑，也将对湖泊控藻技术起到很好的学习和借鉴作用。

值此出版之际，谨以此为序！

尹建业
2012年12月

· 自序 ·

洱海是全国城市近郊保护得最好的湖泊之一，但洱海保护治理是一项具有长期性、艰巨性、复杂性的系统工程。1996年、2003年洱海两次区域性爆发蓝藻水华，敲响了洱海保护治理的警钟，2005年大理白族自治州州委、州政府制定了依靠科技、科学治湖的重大战略决策，批准成立了中国大理洱海湖泊研究中心。

随着社会经济的发展，新的洱海入湖污染负荷的产生，洱海富营养化进程的加快，洱海保护治理形势依然严峻，洱海控藻技术研究迫在眉睫。2006年中国大理洱海湖泊研究中心承担了大理州洱海水污染防治“十一五”规划《洱海控藻技术研究》项目，并由我主持完成，该研究围绕洱海控藻主要技术问题，以集成和自主研究方法对洱海控藻理论体系、湖泊流域生态环境、面源污染控制、生物控藻、以水控藻、应急控藻、预警预报、洱海管理、生态文明建设等方面进行了相关研究和探索。研究成果在洱海控藻及生态恢复过程中得到了充分应用，取得了较好的效果，受到了州委政府的高度评价，并得到了同行们的认可。本书是根据以上研究内容撰写的，是中国大理洱海湖泊研究中心集体科研成果的结晶，是总结、学习、研究洱海保护治理经验又一新的重要技术资料。

五年来，《洱海控藻技术研究》得到了中国环境科学研究院金相灿研究员，中国科学院水生生物研究所刘永定、李仁辉、冯伟松研究员和虞功亮、潘晓杰博士，中国科学院南京地理与湖泊研究所李文朝研究员，暨南大学韩博平、林秋齐教授，上海复旦大学郑正教授、聂耳博士，上海交通大学孔海南教授，东南大学吕锡武教授，西南林业大学覃家理、韩联宪教授，云南中加环保科技有限公司杨振祥博士，大理州人大尚榆民副主任，大理州洱海水污染治理办公室熊仲华副主任，大理州环境监测站、大理市洱海管理局等相关专家的支持、合作和帮助，在此向所有参与本研究的专家、同事表示深切的谢意，对支持和关心该书出版的各位领导和出版社相关工作人员表示衷心的感谢。

洱海控藻技术及保护治理研究是无止境的，我们殷切希望一切有识之士，一如既往地呵护洱海，让这颗高原明珠永葆璀璨。由于水平有限，书中难免存在错误和疏漏之处，望各位专家和读者批评斧正。

作 者

2012年12月24日

目 录

1	洱海概况	1
1.1	洱海自然环境概况	1
1.2	洱海流域社会经济状况	5
2	“洱海控藻技术研究”项目背景和依据	8
2.1	项目背景	8
2.2	依据	8
3	研究方法、技术路线、内容	11
3.1	研究方法	11
3.2	研究路线	11
3.3	研究内容	11
4	调查指标、方法、时间及点位	14
4.1	水文、水质、水动力研究指标、方法、时间及点位	14
4.2	浮游植物采样方法、时间、频率和点位	21
4.3	水生植物采样方法、时间、频率和点位	22
4.4	浮游动物采样方法、时间、频率和点位	22
4.5	底栖动物采样方法、时间、频率和点位	23
4.6	鱼类采样方法、时间、频率和点位	23
4.7	水源涵养林调查时间、点位、方法	24
4.8	鸟类调查时间、频率、点位和方法	25
4.9	洱海控藻外源污染负荷调查方法	26
5	洱海气象、水文、水质变化趋势研究	27
5.1	洱海日照、气温、降雨量和水量的变化趋势	27
5.2	洱海水质变化趋势研究	33
5.3	小结	45
6	洱海富营养化、藻类细胞发生发展与相关环境因子的研究	47
6.1	洱海富营养化及藻类发生影响关键因子相关性分析	47
6.2	洱海蓝藻发生典型年环境因子的相关性分析	49
6.3	洱海蓝藻发生典型年富营养化分析	52
6.4	洱海氮磷比变化趋势与藻类细胞生长关系分析	52
6.5	洱海全湖藻类与北部藻类关系研究	53
6.6	小结	53

7	洱海水文水质水动力模型研究	55
7.1	研究途径和内容	55
7.2	洱海流域水环境数据收集	56
7.3	洱海流域数字高程 (DEM) 及其划分水系图构建	56
7.4	洱海流域径流模型的构建	59
7.5	洱海三维环境数学模型构建	70
7.6	洱海三维环境数学模型验证	81
7.7	洱海湖泊水动力特征分析	86
7.8	洱海湖泊水质水生态特征分析	99
7.9	洱海动态水环境容量模拟研究	104
7.10	污染物允许排放总量控制分配研究	112
7.11	结论	115
8	洱海流域控藻外源污染负荷调查研究	118
8.1	农村农业面源污染调查研究	118
8.2	洱海流域旅游污染调查研究及预测	135
8.3	洱海流域城镇生活污染调查分析	138
8.4	洱海流域面源污染负荷贡献率分析	139
8.5	问题与建议	140
9	洱海内源污染因子—底泥内负荷调查与评价	143
9.1	概况	143
9.2	底泥的沉积特征分析	143
9.3	底泥营养状况分析	144
9.4	污染物垂直变化分析	145
9.5	结论与建议	147
10	洱海生态系统发展变化规律研究及退化原因诊断	149
10.1	湖泊生态系统发展变化规律研究及退化原因诊断	149
10.2	陆域生态系统调查研究	248
11	控藻技术的研究	318
11.1	蓝藻水华应急预案的研究与制订	318
11.2	以水控藻技术研究与评价	354
11.3	生物控藻技术研究	355
11.4	湖内应急控藻技术研究及示范	360
11.5	洱海控藻外源污染负荷削减技术研究	369
11.6	洱海控藻管理技术总结与评价	426
	参考文献	450

1 洱海概况

1.1 洱海自然环境概况

洱海地处我国西南边陲滇中高原西部与横断山脉南端相互交汇的云南省大理白族自治州境内，位于澜沧江、金沙江和元江三大水系分水岭地带，属澜沧江-湄公河水系，流域面积2565km²，地理坐标在东经99°32′~100°27′、北纬25°25′~26°16′之间，地跨大理市和洱源县。洱海风光明媚，素有“高原明珠”之称，孕育了大理地区近四千年的历史，为国家级重点风景名胜区（图1-1）。

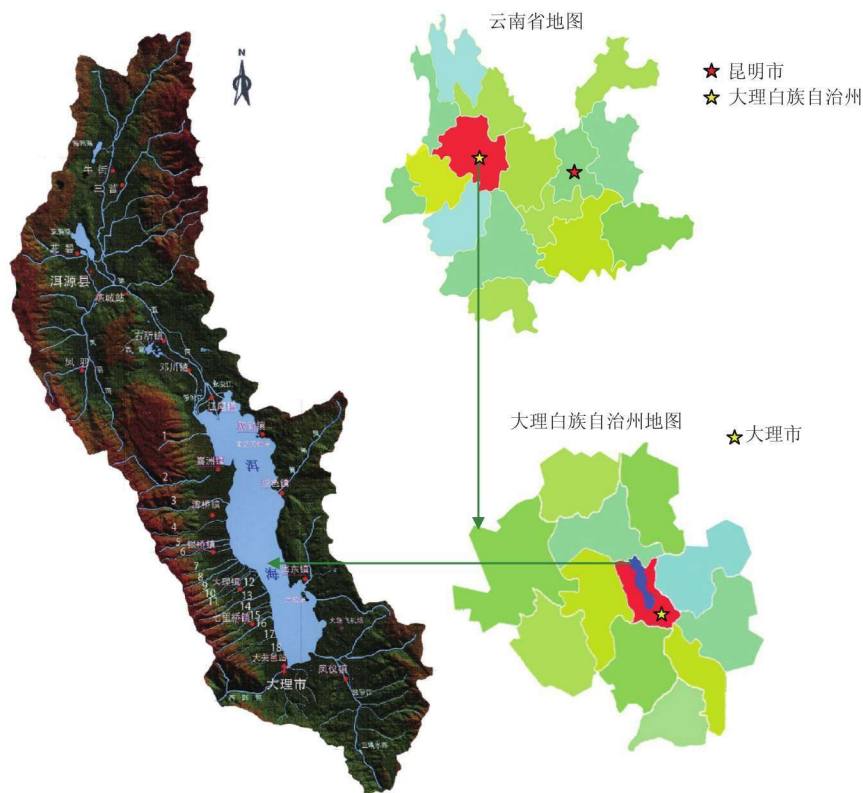
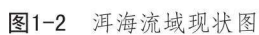


图1-1 洱海及流域地理位置图

洱海湖面高程1974m时，湖泊南北长度为42.5km，东西最大宽处约8.4km，平均宽度为6.3km；洱海最大水深21.3m，平均水深10.6m；湖面面积252.91km²，岛屿度0.31%，蓄水量达27.94×10⁸m³。湖盆形态特征为0.10，湖泊岸线发展系数为2.07，湖岸线长127.85km，湖泊补给系数为10.43，是云南省高原湖泊中面积仅次于滇池的第二大湖泊，中国第七大淡水湖。



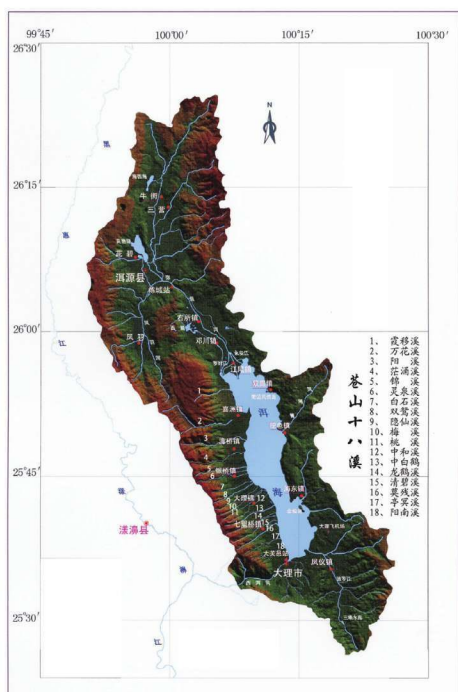


图1-3 洱海流域水系图

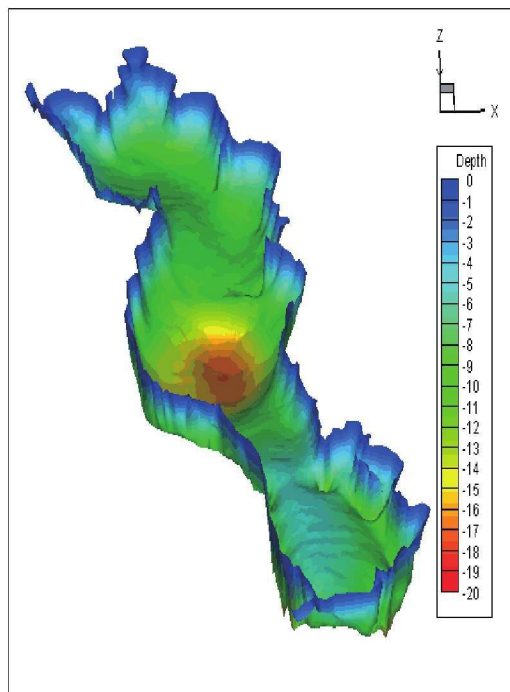


图1-4 洱海三维水下地形图

大理气候属低纬高原亚热带季风气候，干湿分明，气候温和，日照充足。全年有干湿季之别而无四季之分，每年11月至翌年4~5月为干季，5月下旬至10月为雨季。洱海流域的降雨集中在雨季，占全年降雨量85%以上，多年平均降水量1048mm。湖面蒸发量多年平均1208.6mm，最大1520mm（1968年），最小932mm（1952年）。湖区常年主导风向西南风，年平均风速4.1m/s，最大风速40m/s。流域境内有弥苴河、永安江、罗时江、波罗江及苍山十八溪等大小河溪117条，其中洱海北部弥苴河、永安江、罗时江，多年平均来水量为 $5.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，约占洱海入湖总地表径流量的56.6%。西部有苍山十八溪水汇入，约占总径流量的23.8%，南纳波罗江，约占总径流量的11%，东有海潮河、凤尾阱、玉龙河等小溪水汇入约占总径流量7.9%。天然出湖河流仅有西洱河，该河全长23km，总落差610m，至漾濞县平坡乡汇入黑惠江，流向澜沧江，注入湄公河，人工引水水渠（引洱入宾）年引水量为 $0.5 \times 10^8 \sim 1.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

由于复杂多样的地形和典型的山地立体气候，流域内植物垂直分布带谱十分明显，形成了区域内丰富多样的生态系统类型，包括森林生态系统、草甸生态系统、湿地生态系统和高原湖泊生态系统（见图1-2~1-8）。



图1-5 海西海卫星影像图



图1-6 茈碧湖卫星影像图

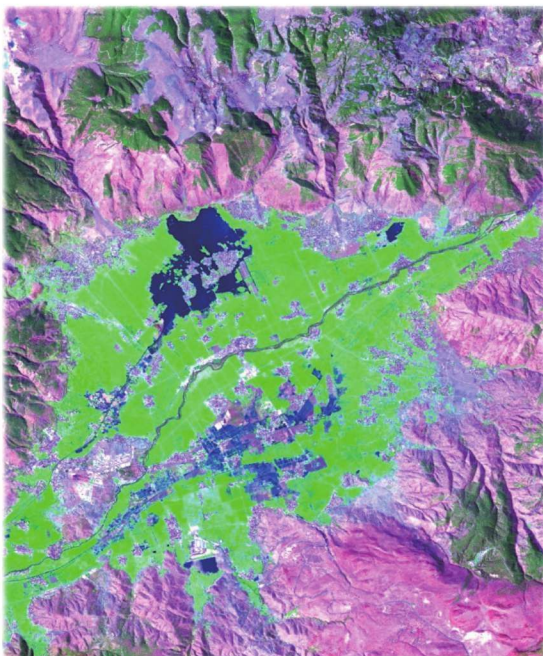


图1-7 西湖卫星影像图



图1-8 洱海卫星影像图

1.2 洱海流域社会经济状况

1.2.1 行政区域

洱海流域地跨大理市和洱源县两个市县，共有16个乡镇及大理省级经济技术开发区、大理旅游渡假区共170个行政村。其中大理市10个乡镇，包括下关镇、大理镇、凤仪镇、喜洲镇、海东镇、挖色镇、湾桥镇、银桥镇、双廊镇、上关镇；洱源县辖6个乡镇，包括茈碧湖镇、邓川镇、右所镇、三营镇、凤羽镇、牛街乡。

1.2.2 人口分布

洱海流域总人口约83万人，年均增长3%以上，有白、汉、彝、回等25个民族。其中农村人口约56.01万人，占总人口的67%。

1.2.3 社会经济

大理市是大理白族自治州的政治、经济、教育、文化和商贸中心，全市经济增长速度高于全省、全州的平均水平。2009年全市GDP完成159.64亿元，2000~2009年10年间，年均增长14.8%。其中：第一产业增加值为12.62亿元，年均增长13.4%；第二产业增加值为76.73亿元，年均增长14.9%；第三产业增加值为70.29亿元，年均增长15.2%（住宿餐饮业增长4%以上），GDP中一、二、三产业的比重分别为8%、48%、44%（见图1-9）。

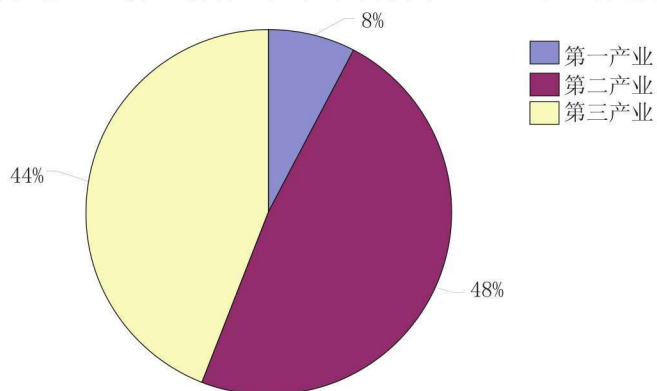


图1-9 大理市GDP 一、二、三产业比重

洱源县2009年全县GDP完成约21.7亿元，10年年均增长7.2%。其中：第一产业增加值7.9亿元，年均增长4.5%；第二产业增加值为6.17亿元，年均增长16.5%；第三产业增加值为7.6亿元，年均增长5.8%（住宿餐饮业增长70.9%），GDP中一、二、三产业的比重分别为36%、28%、36%（见图1-10）。

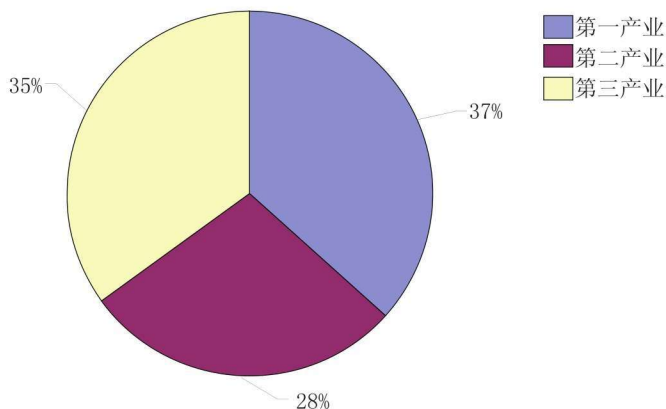


图1-10 洱源县GDP 一、二、三产业比重

近几年来,随着流域产业结构的调整,第一产业中粮作种植面积大幅减少,但蔬菜类种植及畜牧业稳步增长;二、三产业逐渐迅猛发展,尤其是旅游业。改革开放30年来,特别是21世纪以来,由于洱海流域有着丰富的旅游资源和极高的旅游知名度,洱海流域的旅游业有了长足的进步,年接待海内外游客数量从1982年的1万人发展到2009年的609万人,20多年内增加了近600倍,旅游年收入从1983年的0.15亿元增加到2009年的42亿元以上,20多年内增加了270多倍,旅游业已成为大理州的支柱产业,并将随着洱海环海路的建成而发展壮大(见图1-11、1-12、1-13)*。

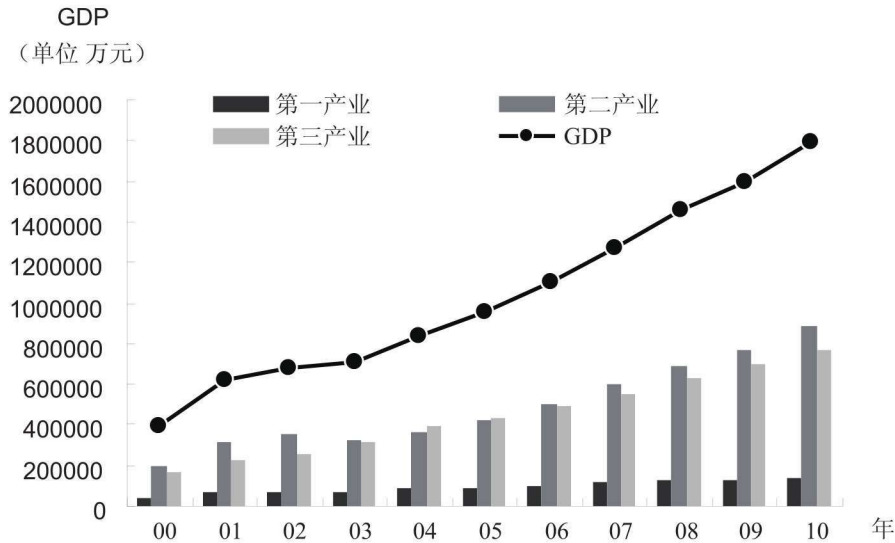


图1-11 2000~2010年大理市GDP统计

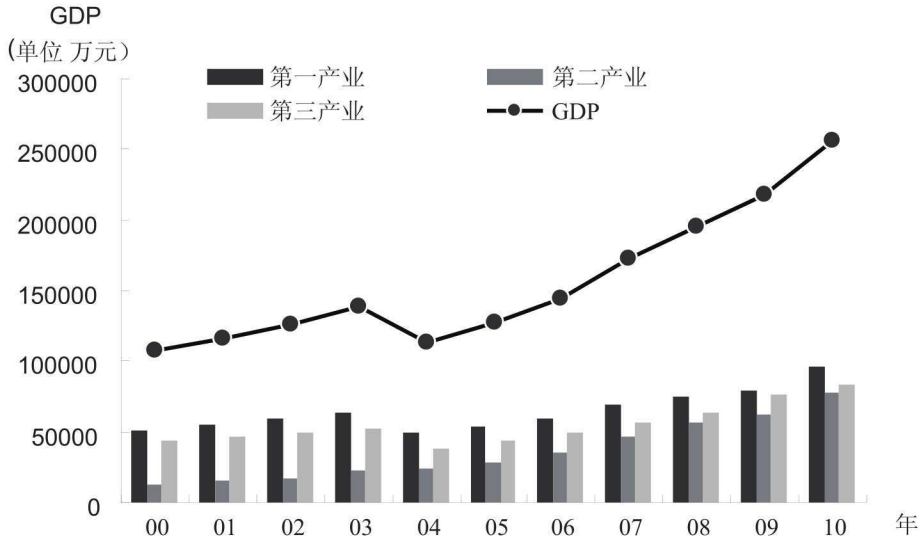


图1-12 2000~2010年洱源县GDP统计

* 为便于排版,本书图中标示年份时一律略去公元纪年的首2位数,如1990略为90,2000、2001略为00,01。

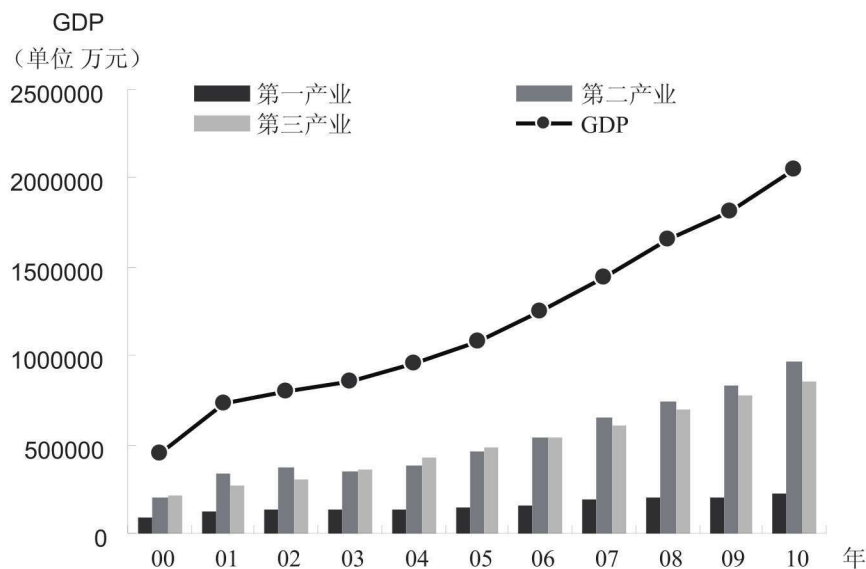


图1-13 2000~2010年大理、洱源两市县GDP统计

1.2.4 文化、教育

洱海流域内共有大专院校1所，中等专业学校7所，基本形成了幼儿教育、基础教育、高等教育、职业教育、成人教育等相配套的教育体系。

1.2.5 交通运输

大理市逐渐成为全州乃至滇西地区的交通枢纽和物资集散地。214国道和320国道贯穿境内，乡县公路纵横交错，再加上飞机场的运营与实施的“村村通公路”及环湖公路建设工程，使流域内道路交通条件得显著改善。

1.2.6 城市建设

根据2010年11月通过的2010~2025《大理市城市发展规划修编》内容，大理市围绕“一线、两轴、四区发展”，到2025年城市总人口发展到100万。根据州委州政府“两保护、两开发”文件精神，即保护洱海，保护海西田园风光，开发海东，开发凤仪，大理市将建设成为滇西中心城市。

2 “洱海控藻技术研究”项目背景和依据

2.1 项目背景

洱海是大理市的主要水源地，具有调节气候、生态、防洪、渔业、灌溉、发电等多种功能，是大理人民赖以生存和社会经济可持续发展的基础，是大理的核心竞争力和魅力之所在，“洱海清，大理兴”，保护好洱海就是保护大理可持续发展的根基。洱海是全国近郊城市水质保护得最好的湖泊之一，但近年来，随着洱海流域社会经济、流域旅游业的快速发展，城乡一体化建设步伐的加快，环洱海交通状况的改善，农村农业面源尤其是以奶牛、猪、家禽为主的畜禽养殖业的大发展，蔬菜种植面积的不断扩大，以及气候变化和人类对水资源的不合理开发利用，洱海流域及环湖面源污染负荷增大，入湖河流水量锐减，洱海水环境质量虽有明显改善但仍存在隐患，生态环境质量虽有显著提高，但自净能力仍然很弱，湖泊仍处于富营养化初期阶段，近年来洱海局部水域蓝藻水华频发，且有向湖心蔓延发展的趋势，说明洱海保护治理的力度仍然赶不上环境污染变化的速度，保护治理工作稍有懈怠和疏忽，洱海水质恶化将再次重演，洱海将面临丧失饮用水水源地的潜在危险，将给洱海流域的工业、农业、旅游业等造成重大损失，严重影响和制约着洱海流域生态文明建设和流域社会经济的可持续发展。因此，洱海保护治理工作仍然任重道远，开展洱海控藻、控制水体富营养化和藻华发生发展技术研究工作迫在眉睫。

本项目通过对洱海以往保护治理、管理的经验和措施归纳、总结、评价，找出存在的不足；同时，围绕洱海藻华发生机理、削减湖内外污染负荷、改善生态系统结构与功能、提高水体自净能力、控制富营养化进程和藻华发生、预警预报和数字化管理等方面，应用现代先进科学技术和手段，研究、创建集成洱海控藻理论体系、技术体系及管理体系，对于进一步促进洱海乃至国内同类湖泊富营养化藻华控制的科技进步、控藻技术水平的提高；进一步促进洱海流域社会经济建设、生态文明建设、洱海藻华控制，确保洱海饮用水源地安全具有十分重要的现实意义。

2.2 依据

本文依据的法律法规、环境标准和相关文件主要有：

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》（1989.12）
- (2) 《中华人民共和国水法》（2002.10）
- (3) 《中华人民共和国水污染防治法》（1996.05）
- (4) 《中华人民共和国水污染防治法实施细则》（2000.03）
- (5) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2005.03）
- (6) 《中华人民共和国清洁生产促进法》（2002.05）

- (7) 《中华人民共和国防洪法》(1997.08)
- (8) 《中华人民共和国水土保持法》(1991.06)
- (9) 《中华人民共和国城乡规划法》(2008.01)
- (10) 《饮用水水源保护区污染防治管理规定》(1989.07)
- (11) 《饮用水水源地保护区划分技术规范》(HJ-T 338-2007)
- (12) 《环境保护违法违纪行为处分暂行规定》(2006.02.20)
- (13) 《环保总局突发环境事件应急工作暂行办法》(环发[2006]205号)
- (14) 《最高人民法院关于审理环境污染刑事案件具体应用法律若干问题的解释》(法释[2006]4号)
- (15) 《危险化学品安全管理条例》(2002.01.26)
- (16) 《环境保护行政主管部门突发环境事件信息报告办法》(试行)
- (17) 《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)
- (18) 《生活饮用水水源水质标准》(CJ3020-93)
- (19) 《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)
- (20) 《城市供水水质标准》(CJ/T206-2005)
- (21) 《渔业水质标准》(GB11607-89)
- (22) 《农田灌溉水质标准》(GB5084-92)
- (23) 《污水综合排放标准》(GB8978-1996)
- (24) 《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB19818-2002)
- (25) 《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB 18596-2001)
- (26) 《湖泊富营养化防治技术政策》(2004.04)
- (27) 《城市污水处理及污染防治技术政策》(2000.05)
- (28) 《畜禽养殖业污染防治技术政策》(环发[2010]151号)
- (29) 《国家突发环境事件应急预案》(2006.01.24)
- (30) 《人工湿地污水处理导则》(RIS-TG006-2009)
- (31) 《畜禽养殖业污染治理工程技术规范》(HJ 497-2009)
- (32) 《农村生活污染控制技术规范》(HJ 574-2010)
- (33) 《国家环境保护“十一五”规划》(国发〔2007〕37号)
- (34) 《云南洱海绿色流域建设与水污染防治规划》(2010.07)
- (35) 《大理风景名胜区总体规划修编(2007-2025)》(2007年)
- (36) 《云南省大理白族自治州洱海管理条例(修订)》(2004.01.15)
- (37) 《大理白族自治州洱海水污染防治实施办法》大政发〔1999〕51号
- (38) 《大理州地表水环境功能区划》，大理白族自治州环境保护局(2000年)
- (39) 《洱海流域保护治理规划》(2003-2020)
- (40) 《洱海流域环境规划》(2000-2010)
- (41) 《洱海流域水污染综合防治“十一五”规划》(2006-2010)
- (42) 《大理苍山洱海国家级自然保护区总体规划(1996-2010)》
- (43) 《洱海流域生态文明建设实施意见》(征求意见稿)(2009年)
- (44) 《洱海流域生态文明建设实施意见》(征求意见稿)(2010年)