



鄱阳湖水系四大家鱼资源 及其与环境的关系研究

吴志强 等 著



科学出版社

鄱阳湖水系四大家鱼资源 及其与环境的关系研究

吴志强 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

四大家鱼是我国重要的水产资源,长江和鄱阳湖是我国重要的四大家鱼产区,研究现阶段鄱阳湖水系四大家鱼资源及其与环境的关系具有重要的意义。本书是国家自然科学基金项目“鄱阳湖水系四大家鱼的资源现状及仔稚鱼洄游规律研究”等工作的积累和综合,全书包括6章,分别是:鄱阳湖水系及其渔业资源、鄱阳湖水系四大家鱼资源调查、鄱阳湖水系四大家鱼的形态度量特征、鄱阳湖水系四大家鱼的遗传多样性分析、四大家鱼仔幼鱼耳石特征与生长特性研究、四大家鱼幼鱼洄游及其与环境的关系研究。

本书可供水产养殖和科学研究单位人员以及大中专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

鄱阳湖水系四大家鱼资源及其与环境的关系研究/吴志强等著. —北京: 科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-032947-9

I. ① 鄱… II. ① 吴… III. ① 鄱阳湖—家鱼—鱼类资源—研究
IV. ① S922.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第252438号

责任编辑: 罗 静 / 责任校对: 柏连海

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年1月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2012年1月第一次印刷 印张: 17 1/2

字数: 352 000

定价: 75.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

鄱阳湖水系是一个独特的以五大河流为辐射、以鄱阳湖为中心的向心水系，由于现阶段渔业、污染、水利工程建设等原因，近十年来鄱阳湖及赣江等河流水位和环境发生了较大的变化，鄱阳湖区四大家鱼渔获量日渐减少，同时也给原存在于鄱阳湖水系的赣江等河流的四大家鱼产卵场带来了严重的威胁。产卵场的存在与否，亲鱼的资源量如何，仔稚鱼和幼鱼由长江及赣江等河流洄游进入鄱阳湖的时间和空间格局与水位、流量和流态等环境因素的关系，是值得人们关注和研究的问题。本书可为保护野生四大家鱼种质资源提供重要的参考依据，对鄱阳湖水系的渔业资源保护具有重要的意义。

青鱼、草鱼、鲢、鳙俗称四大家鱼，是我国重要的水产资源。长江和鄱阳湖是我国重要的四大家鱼产区，每年在长江中完成产卵和孵化的四大家鱼幼鱼通过湖口进入鄱阳湖，构成了鄱阳湖渔业资源的重要组成部分。此外，在鄱阳湖水系的赣江等五条河流中，也存在四大家鱼的种群。因此，研究现阶段鄱阳湖水系四大家鱼资源现状，探讨江湖洄游鱼类的洄游规律，研究和分析四大家鱼资源与环境的变化关系同样具有重要的意义。

本书是作者主持的国家自然科学基金项目“鄱阳湖水系四大家鱼的资源现状及仔稚鱼洄游规律研究（30760188）”和江西省自然科学基金项目“鄱阳湖湖口地区渔业资源和四大家鱼洄游规律研究”工作的积累和综合。有3位博士研究生和9位硕士研究生参加了本课题的研究，并完成了他们的博士和硕士学位论文，在学术期刊上发表标注上述项目课题资助的论文有18篇。

本书的编著者名单如下。

第1章鄱阳湖水系及其渔业资源：吴志强、胡茂林、张建铭、朱日财、花麒、陈彦良、刘彬彬、黄亮亮。第2章鄱阳湖水系四大家鱼资源调查：吴志强、张建铭、朱日财、花麒、陈彦良、刘彬彬、邹淑珍。第3章鄱阳湖水系四大家鱼的形态度量特征：吴志强、张希。第4章鄱阳湖水系四大家鱼的遗传多样性分析：吴志强、张建铭、朱日财、花麒、陈彦良、刘彬彬、邓梦颖、王尚洪。第5章四大家鱼仔幼鱼耳石特征与生长特性研究：吴志强、李建军、朱其广。第6章四大家鱼幼鱼洄游及其与环境的关系研究：吴志强、胡茂林、朱其广。

本书由吴志强主编，参与本书编排、制图和校对等工作的还有张建铭、朱其广、邓立华等同志，特此致谢。



本书的出版得到了“桂林理工大学广西环境工程与保护评价重点实验室”、“广西环境工程高校人才小高地创新团队建设项目”和“桂林理工大学博士学位授权立项建设单位建设经费”等的资助。

书中不足之处，敬请各位读者批评指正。

吴志强

桂林理工大学

2011年8月1日

目 录

第 1 章 鄱阳湖水系及其渔业资源	1
1.1 鄱阳湖水系简介	1
1.1.1 鄱阳湖概况	1
1.1.2 赣江概况	7
1.1.3 抚河概况	9
1.1.4 信江概况	11
1.1.5 修河概况	13
1.1.6 饶河概况	16
1.2 鄱阳湖水系渔业资源	16
1.2.1 鄱阳湖的渔业状况	16
1.2.2 赣江的渔业状况	19
1.2.3 抚河的渔业状况	20
1.2.4 信江的渔业状况	21
1.2.5 修河的渔业状况	21
1.2.6 饶河的渔业状况	22
1.3 四大家鱼概述	23
1.3.1 分类地位及地理分布	23
1.3.2 形态特征	23
附表 江西鱼类名录	25
参考文献	31
第 2 章 鄱阳湖水系四大家鱼资源调查	34
2.1 赣江峡江段四大家鱼资源现状	34
2.1.1 资源调查及其生物学研究	34
2.1.2 赣江中游四大家鱼产卵场现状调查	45
2.2 赣江赣州段四大家鱼资源现状	51
2.2.1 材料与方法	51
2.2.2 结果与分析	51
2.3 抚河四大家鱼资源现状	62
2.3.1 材料与方法	62
2.3.2 结果与分析	63
2.3.3 讨论	70



2.4	信江四大家鱼资源现状	73
2.4.1	材料与方法	73
2.4.2	结果与分析	73
2.4.3	讨论	80
2.5	修河四大家鱼资源现状	82
2.5.1	材料与方法	82
2.5.2	结果与分析	82
2.5.3	讨论	92
	参考文献	96
第3章	鄱阳湖水系四大家鱼的形态度量特征	99
3.1	草鱼幼鱼形态分化与分析	99
3.1.1	材料与方法	99
3.1.2	结果与分析	103
3.1.3	讨论	109
3.2	鲢幼鱼形态分化与分析	110
3.2.1	材料与方法	110
3.2.2	结果与分析	113
3.2.3	讨论	119
3.3	鳙幼鱼形态分化与分析	120
3.3.1	材料与方法	120
3.3.2	结果与分析	123
3.3.3	讨论	129
3.4	青鱼幼鱼形态分化与分析	131
3.4.1	材料与方法	131
3.4.2	结果与分析	133
3.4.3	讨论	138
3.5	小结	139
3.5.1	鄱阳湖水系四大家鱼形态分化与分析	139
3.5.2	鄱阳湖水系四大家鱼形态分化与鱼类洄游的关系	140
	参考文献	141
第4章	鄱阳湖水系四大家鱼的遗传多样性分析	142
4.1	赣江峡江段四大家鱼遗传多样性的 ISSR 分析	142
4.1.1	材料与方法	142
4.1.2	结果与分析	144

4.1.3 讨论	154
4.2 赣江赣州段四大家鱼遗传多样性的 ISSR 分析	155
4.2.1 材料与方法	155
4.2.2 结果与分析	155
4.2.3 讨论	161
4.3 抚河四大家鱼遗传多样性的 ISSR 分析	161
4.3.1 材料与方法	161
4.3.2 结果与分析	162
4.3.3 讨论	168
4.4 信江四大家鱼遗传多样性的 ISSR 分析	169
4.4.1 材料与方法	169
4.4.2 结果与分析	169
4.4.3 讨论	175
4.5 修河四大家鱼遗传多样性的 ISSR 分析	177
4.5.1 材料与方法	177
4.5.2 结果与分析	177
4.5.3 讨论	182
4.6 湖口水域四大家鱼遗传多样性的 ISSR 分析	183
4.6.1 材料与方法	183
4.6.2 结果与分析	184
4.6.3 讨论	189
4.7 鄱阳湖水系不同水域草鱼、鲢、鳙遗传多样性的 ISSR 分析	190
4.7.1 材料与方法	190
4.7.2 结果与分析	191
4.7.3 讨论	198
参考文献	199
第 5 章 四大家鱼仔幼鱼耳石特征与生长特性研究	202
5.1 长江九江段四大家鱼仔幼鱼耳石特征与生长特性研究	202
5.1.1 四大家鱼仔幼鱼耳石形态和微结构	202
5.1.2 四大家鱼仔幼鱼的日龄研究	207
5.1.3 四大家鱼仔幼鱼的生长研究	218
5.1.4 四大家鱼仔幼鱼的耳石生长研究	224
5.2 鄱阳湖通江水道四大家鱼幼鱼的耳石特征与生长特性研究	233
5.2.1 材料与方法	233



5.2.2 结果与分析	234
5.2.3 讨论	241
参考文献	243
第6章 四大家鱼幼鱼洄游及其与环境的关系研究	245
6.1 长江湖口段四大家鱼幼鱼资源及其洄游规律	245
6.1.1 材料与方法	246
6.1.2 结果与分析	246
6.1.3 讨论	253
6.2 长江瑞昌段四大家鱼鱼苗资源及捕捞现状分析	255
6.2.1 材料与方法	255
6.2.2 结果与分析	256
6.2.3 讨论	260
6.3 鄱阳湖通江水道四大家鱼幼鱼の入湖格局分析	261
6.3.1 材料与方法	262
6.3.2 结果与分析	263
6.3.3 讨论	264
参考文献	265

第 1 章 鄱阳湖水系及其渔业资源

1.1 鄱阳湖水系简介

1.1.1 鄱阳湖概况

鄱阳湖是我国第一大淡水湖，位于江西省北部，长江中下游交界处南岸，界于东经 $115^{\circ}49' \sim 116^{\circ}46'$ 、北纬 $28^{\circ}24' \sim 29^{\circ}46'$ 。它纳江西境内的赣江、抚河、修河、饶河和信江五河来水，经湖口注入长江（图 1.1）。整个鄱阳湖流域面积约 16.2 万 km^2 ，占江西省国土面积的 96%^[1]。

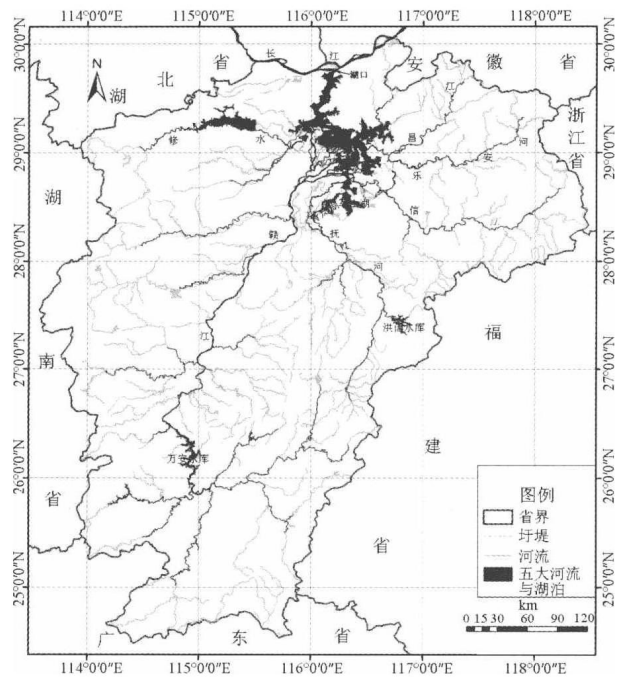


图 1.1 鄱阳湖水系

Fig. 1.1 The river system of Poyang Lake

1.1.1.1 鄱阳湖的自然环境

(1) 地质地貌

鄱阳湖是横截山系而成，处在构造转折地带和差异运动最为显著的地区，它的



产生与断裂和南北向构造线的活动密切相关。南昌—九江、都昌—鄱阳、三阳—砂帽山南麓,这三条继承性新构造断裂线约略控制着近代湖积平原发育的范围,使其与一只斜放的三角瓶近似。鄱阳湖整个湖盆的轮廓则由北东—西南向这组主要基底断裂控制。湖盆中孤山孤岛众多,或由震旦系和变质的板溪系、或由第三纪红层所组成,主要分布于东部^[2]。

(2) 气候条件

① 气温:据 1961~2003 年气象部门的实测资料,鄱阳湖流域多年平均气温为 17.53°C 。自 1986 年开始,全流域的气温呈现上升趋势,1990 年进入显著性增温时期。20 世纪 90 年代平均温度比 1961~1990 年高出约 0.27°C ,1991~2003 年的平均温度比 1961~1990 年高出约 0.42°C ,而 1998 年增温幅度达到 40 年来的最大值。整个流域全年有 8 个月的月均温度具有上升趋势,其中 6 月、12 月的上升趋势较为显著,3 月、7 月、8 月、9 月有下降趋势,8 月下降趋势非常显著。就季节变化而言,鄱阳湖流域春夏秋三季平均温度无明显变化趋势^[3,4]。

② 降水:鄱阳湖流域 1961~1989 年平均降水量呈现振荡状态,无明显上升或下降趋势,20 世纪 90 年代呈现明显上升趋势。1991~2003 年平均降水量比 1961~1990 年高出 167.19mm。夏季降水量和夏季暴雨频率均在 1992 年发生突变式的增加,而夏季暴雨强度以及夏季暴雨量占夏季降水量的比率没有显著变化。1991~2003 年的夏季平均暴雨量和平均降水量分别比 1961~1990 年高出约 107.81mm 和 156.48mm^[3,4]。

③ 蒸发:有文献^[5]分析了鄱阳湖 1955~2004 年各月的水面蒸发量和蒸发水量,得出湖区多年平均年蒸发量为 1081.2mm,年蒸发水量为 $27.06 \times 10^8 \text{m}^3$ 。各月蒸发量和年蒸发量均呈逐渐减少趋势,年蒸发量平均每年减少 2.79mm;年蒸发水量平均每年减少 $0.05 \times 10^8 \text{m}^3$ 。1961~2000 年鄱阳湖流域蒸发皿蒸发量和参照蒸散量均呈现下降趋势,夏季尤为显著。1992 年之前的 30 年夏季参照蒸散量相对平稳,无明显变化趋势,1992 年发生突变,蒸散量显著下降。20 世纪 90 年代夏季蒸发皿蒸发量和参照蒸散量分别比 1961~1990 年减少 76mm 和 42mm。而秋季下降趋势明显,于 1981 年发生突变后趋于稳定;春季有较为稳定的下降趋势,并未检测到突变;冬季无显著的变化趋势^[3,4]。

1.1.1.2 鄱阳湖的形态特征

鄱阳湖属构造湖,高水是湖,低水是河,汛期五河洪水入湖,湖水漫滩,湖面扩大,水流平缓;冬春季节,湖水落槽,湖滩显露,湖面变小,比降增大,水流湍急,与河道无异^[6,7]。因此,洪、枯水期时,鄱阳湖湖面积、容积相差极大。按一般习惯,以湖口水文站的水位代表鄱阳湖水位。当湖口水文站水位处于记录到的历

年最高值 21.69m (吴淞高程,下同) 时 (1983 年 7 月 13 日), 直通长江的鄱阳湖湖水面积为 3210.22km², 对应的湖水容积为 252 亿 m³, 居全国五大淡水湖之首。如加上已被人工围堵的湖汊在内, 湖水总面积为 4646.64km², 对应的湖水总容积为 333 亿 m³。当湖口水文站水位处于历年最低值 5.90m 时 (1963 年 2 月 6 日), 鄱阳湖湖水面积只有 146km², 是最高水位时的 1/22, 这时对应的湖水容积为 4.5 亿 m³, 是最高水位时的 1/56。洪、枯水期所出现的这种湖水面积的大变幅, 形成了鄱阳湖“高水湖相, 低水河相”的湖盆特征, 从而出现“洪水一片, 枯水一线”的独特景观^[8]。

鄱阳湖形似葫芦, 以松门山为界, 分为东 (南)、西 (北) 两部分。东部宽阔, 较浅, 为主湖区; 西部狭窄, 较深, 为入江水道区。鄱阳湖平均宽 16.9km, 最宽处 70km, 最窄处仅 3.0km; 最大长度 173km。湖盆自东、西向中, 由南向北倾斜, 湖底高程一般由 12m 降至湖口约 1m。褚溪口、鞋山湖底高程为 -3~-1m, 在蛤蟆石附近为最深, 高程为 -7.5m。滩地面积约 938km², 有沙滩、泥滩、草洲三种类型, 高程都在 12~18m。沙滩高程较低, 草洲最高, 主要分布在东、南、西部各河入湖三角洲扩散区。湖中岛屿有 25 处共 41 个, 多数在中低水位时表现为滩丘, 有石岛、土岛、土石岛和沙岛四种类型。面积共 103km², 最大的 41.6km², 最小的不足 0.01km², 岛屿率 3.5%。由于大量围垦, 湖面积、容积急剧减小, 致使湖区形态参数发生很大变化, 高程 22m 的湖面积比 1954 年 (以下湖泊形态参数的比较都以 1954 年为准) 少了 1185km², 岛屿率因此增加了 1.0%, 容积少了 74 亿 m³。岸线缩短、变直, 现长度 1200km, 比原来减少了 849km; 形态变得较为规则, 发展系数由 9.0 变为 6.3; 湖盆形态系数由 85 变为 97; 湖盆特征指数为 0.88。湖面缩小, 流域面积未变, 补给系数由 39 增至 55。多年平均入湖流量变化不大, 而湖容积变小, 调节系数由 14.0% 变为 10.9%。湖容积主要在高程 16m 以上时开始减少。因湖面平均水位在 16m 以下, 所以换水周期减少不多, 由 9.9d 减为 9.7d^[6,7]。

1.1.1.3 鄱阳湖的水文特性

(1) 水位

鄱阳湖属季节性、吞吐型湖泊, 水位季节、年变化显著。尹宗贤等^[6]指出鄱阳湖水位有以下特点。a. 受五河、长江洪水双重影响, 高水位时间长。每年 4~6 月水位随五河洪水入湖而上涨, 7~9 月因长江洪水顶托或倒灌而维持高水位, 10 月后期才能稳定退水。b. 水位年过程线有单峰和双峰两种类型。单峰型水位过程是在五河洪水和长江洪水相遇, 或五河洪水较长江洪水大时出现的, 洪峰水位即是年最高水位; 双峰型水位过程是在五河洪水与长江洪水不相遇的情况下出现的, 第一



个峰是五河洪水造成的,第二个峰是长江洪水倒灌入湖造成的。c. 年变幅大,历年最高、最低水位差 9.70~15.79m。d. 当长江中下游洪水位逐渐提高时,鄱阳湖高水位出现频率增大趋势明显。e. 湖口洪水位主要受长江控制,当五河洪水大,长江洪水小,湖口水位相对较低,反之亦然。f. 鄱阳湖涨水面水位主要受五河洪水控制,退水面水位主要受长江洪水控制。湖水涨水早迟和水位变化大小取决于五河洪水,退水早迟和快慢取决于长江洪水。g. 鄱阳湖低水位为河相,各处在同一时段水位相差很大,上游高于下游;高水位为湖相,水面常不平,一般可差 0.2m 左右,差值随水位降低而增加。

闵騫^[9]根据都昌水文站 1953~1992 年水位资料,分析了鄱阳湖水位季节、年际和沿程变化特征,指出鄱阳湖多年平均水位为 12.62~16.55m。月平均水位 7 月最高,1 月最低,1~7 月逐渐上升,7 月至翌年 1 月逐渐下降。年最高水位一般出现在 5~9 月,大多数年出现在 7~8 月;年最低水位一般出现在 12 月至翌年 3 月,大多数年出现在 12 月至翌年 1 月。月平均水位年变化幅度 8 月最大,其次是 9 月、10 月;2 月最小,其次是 1 月、12 月。在水位相同的情况下,涨水段水位的年变化小于退水段。鄱阳湖水位的沿程变化与都昌水位变化刚好相反。当都昌水位在 18m 以上时,鄱阳湖水位落差很小(0.10m 以下);当都昌水位在 12m 以下时,鄱阳湖水位落差较大(2.00m 以上)。特别是水位退至 9m 以下时,落差在 4m 以上。

(2) 风浪

鄱阳湖是江西省大风集中区域。每年 6~8 月为南风或偏南风,大风多发生在小暑前后。其他月份均为北风或偏北风。冬、春季寒潮入侵,必有偏北大风。最多的年份,星子湖区六级以上大风可达 86d,平均每年 45d。大风浪区主要有鞋山、老爷庙和瓢山三个湖区。老爷庙湖区处于沿湖山势、湖底转向和五河来水混合处,风大、浪高、流急,变化剧烈复杂,是最危险的大风浪区^[10]。同时,尹宗贤等^[10]还给出了鄱阳湖浪高与持续时间内风速、平均水深和吹程之间的关系方程以及鄱阳湖风浪爬高与坡面糙率、坡度和浪高之间的关系方程。此外,鄱阳湖大风还引起风壅水(增减水)现象,使湖面倾斜。北风引起北岸水位降低、南岸水位升高;南风则相反。增减水的变幅受水位高低、风速大小及持续时间长短控制^[10]。

(3) 湖流

鄱阳湖湖流特点是枯水流速大,洪水流速小^[10]。在湖面上分布总特征是湖的北部流速最大,南部次之,中部最小^[11]。从表现形式上主要有吞吐流和风生流,因江湖关系导致吞吐流可分为重力型、倒灌型和顶托型三种基本形态。a. 重力型湖流为鄱阳湖湖流的主要形式,时间最长。湖流较规则地自上而下沿主槽方向流动,有时在主槽两侧产生旋流。主槽流速大,离主槽越远,流速越小。枯水期呈河

相景观,比降增大,流速变快;汛期湖水漫滩,呈湖相景观,比降减小,流速变慢。b.倒灌型湖流主要是受长江洪水影响所形成,多出现于五河洪水基本结束、长江水位上涨高于同时期湖水位时。一般发生在7~10月,少数年份的6月、11月也会发生。倒灌程度主要由长江流量和湖水位高低而定,倒灌范围取决于倒灌流量大小,同时也与倒灌期长短、湖水位高低、内河水情有关。c.顶托型湖流是由长江、五河同时涨水产生或者五大河流大汛基本结束,长江涨水所形成。是介于重力型与倒灌型湖流之间的过渡流态。顶托型湖流每年均有,出现时间之长仅次于重力型湖流,是鄱阳湖第二大湖流形态。出现顶托型湖流时,全湖流速变小,甚至大部分湖区流速为零。入江水道流速较其他湖区稍大,分布情况与重力型相似。

风生流是由于外力沿湖面作用时产生的摩擦力所引起的流动,这种外力主要是风。风生流大小取决于风力条件(风力、持续时间、吹程等)和湖域水深等因素。风不仅影响湖水面的平面运动,而且会造成湖水的垂直运动,产生上下环流。无论鄱阳湖属于哪种湖流类型,只要有风影响,都会同时存在风生流。风生流的影响程度,除与风生流自身强度有关外,还随各类湖流的大小而有所不同^[12]。

(4) 泥沙

鄱阳湖泥沙主要来自五河。尹宗贤等^[10]分析了1956~1983年资料,指出五河平均每年进湖泥沙量(悬移质,下同)1838.5万t,占全流域的87.2%。五河中赣江最多(占61.7%),信江13.1%,修河11.6%,抚河、饶河都小于10%。湖区面积年平均来沙量为270万t,占全流域的12.8%。流域多年平均年进湖泥沙量2108.5万t,最多年3402.5万t,最少年509.2万t。湖口多年平均年出湖泥沙量为1040.6万t,最多年2170万t,最少年—372万t。进湖泥沙集中在五河大汛期(4~6月),占年进湖泥沙的68.8%。出湖泥沙集中在长江大汛前的2~6月,占年总量的91.3%。7~9月长江大汛期,江沙倒灌入湖,年平均倒灌120.4万t,最多年接近700万t,江沙倒灌主要发生在鄱阳湖流态为顶托型和倒灌型湖流期间。

湖区含沙量随水位高低变化。水位在12m(星子水位,下同)时含沙量最大,平均为100~180g/m³;12m以下随水位升高而减小,至20m时接近于零;12m以下随水位升高而增大。在湖面上,湖口水道区最大,依次向主湖、南部湖区、东北湖湾等湖区逐渐减少。倒灌期受长江较高含沙量影响,湖口水道区含沙量猛增,其他湖区递减现象特别明显。水位在14~16m时,褚溪口、南部湖区受赣江影响,含沙量大于其他湖区。在同一湖区,主航道含沙量大,离主航道越远,含沙量相对越小。在垂线各深度上,湖口水道具有河道的水流特性,含沙量从水面到湖底逐渐增大,都昌以上湖区含沙量在垂线上分布均匀,褚溪口湖区介于两者之间,仍属均匀型。在时程上,一个水文年度中有3或4个明显过程。约3月上旬,五河第一次洪水,湖区含沙量形成第一个大沙峰;4月较大洪水夹带的泥沙也较多,湖区含沙



量出现第二个峰；10月淤泥入槽，造成第三个峰；江水倒灌期间，产生第四个峰^[10]。

(5) 水温

鄱阳湖年平均水温 18℃左右，历年最高水温由北向南为 34.0~38.2℃，平均为 32.6~35.0℃；历年最低水温 0℃，平均 0.4~2.0℃。平均年变幅 32.9℃。1年内有升温和降温两个阶段，由 2~3月增温至 7~8月达最高点，以后逐渐降温，至翌年 1~2月达最低点。个别年在局部湖区（如 1977年 1月在都昌、矶山一带）可产生薄冰封。日最高水温出现在 15~17时，日最低水温出现在 6~8时。湖中深水区表层水温平均日温差 1.7℃，底层 1.4℃；秋季高于其他季节，近岸区高于深水区。中高水位的水温分布，一般是南部高于北部，东部湖湾高于西部，沿岸高于湖心，冬季北部最低水温高于南部。由于鄱阳湖较浅，湖流、风的作用对水温影响大。水温在不同深度上的差异不大，一般在 1℃以内，晴天无风时可达 2℃左右。正温成层是主要分布形式，浅水区风浪较大时，同温成层分布形式也较多，冬季则有逆温成层现象^[10]。

1.1.1.4 鄱阳湖的水质状况

(1) 化学性质

鄱阳湖水的化学类型主要为重碳酸钾钠型和重碳酸钙盐型两种^[13]。其污染物主要来自五河^[13]。目前水质状况如下^[13-18]：a. 河口各垂线全年 pH 为 6.5~8.0，年均值为 7.0~7.2；湖区各垂线 pH 为 6.4~8.2，年均值为 7.0~7.2。全湖除湖口附近出现过轻污染（Ⅱ类水）外，均为Ⅰ类水。b. 河口各垂线悬浮物（SS）含量为 0~398.6 mg/L；湖区各垂线 SS 含量为 0~993.6 mg/L。一年中 3~5月、11月至翌年 2月的含量较大，6~9月较小。c. 一年中 1~3月总硬度较大，4~7月较小。河口各垂线总硬度为 7.17~51.8 mg/L，湖区各垂线总硬度为 11.3~57.2 mg/L。除蛤蟆石湖区出现过短时间Ⅱ类水外，其他湖区为Ⅰ类水。d. 溶解氧（dissolved oxygen, DO）年均值为 7.74 mg/L，接近我国湖泊一级清洁水的标准。e. 湖中各垂线化学需氧量（chemical oxygen demand, COD）年均值为 0.9~4.9 mg/L，达Ⅱ类水标准。f. 河口各垂线生化需氧量（biochemical oxygen demand, BOD）含量为 0~7.3 mg/L。g. 无论是河口还是湖区，三氮（氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮）含量的变化均无明显规律。从年均值来看，各垂线均达Ⅰ类水标准。h. 一年中总磷（TP）含量以 6月、10月较大，4月和 7~8月较小。而总氮（TN）含量 8~9月较大，1~4月较小，均达良好水质。

(2) 重金属污染

据文献记载^[19-21], 20 世纪 90 年代, 鄱阳湖水体和底泥已存在重金属污染, 但仅限于局部范围。吕兰军^[20,21]指出, 虽然信江东支河口、乐安河口、鄱阳河口以及湖区的龙口、常荫、湖口等区域铜、锌含量超过渔业用水标准, 但鄱阳湖水体受到重金属污染尚较轻微; 而河口、湖区沉积物中的铜、锌、铅等重金属含量均较高, 是鄱阳湖相应背景值的几倍甚至几十倍。

1.1.2 赣江概况

赣江位于长江中下游南岸, 是江西省内第一大河流, 长江的第七大支流。赣江发源于江西省石城县洋地乡石寨崇(赣源崇), 位于东经 116°22', 北纬 25°77'。赣江是注入鄱阳湖的主支, 其河口位置为江西省永修县吴城镇望江亭, 位于东经 116°01', 北纬 29°11'。赣江主河道全长 823km, 以赣州、新干为界, 赣江分为上游、中游和下游三段, 其中上游长 312km, 中游长 303km, 下游 208km。流域面积 82 809km², 约占全省总面积的 50%^[22,23]。

1.1.2.1 自然环境

(1) 地质地貌

赣江流域呈现山地丘陵为主体的地貌格局, 山地丘陵占流域面积的 64.7% (其中山地占 43.9%, 丘陵占 20.8%), 低丘(海拔 200m 以下)岗地占 31.5%, 平原、水域等仅占 3.9%。赣江流域西部为罗霄山脉, 构成赣江水系与湘江水系的分水岭, 由一系列北东向山脉构成, 自北向南依次有九岭山、武功山、万洋山、诸广山等, 海拔多在 1000m 以上; 南端地处南岭东段, 主要山地有大庾岭和九连山, 大致走向东西, 构成赣江水系与珠江水系的分水岭; 东端主要由若干东北方向山地构成, 其南端为武夷山, 系赣江水系与闽江水系的分水岭; 北端为雩山, 系赣江水系与抚河水系的分水岭; 流域南部为花岗岩低山丘陵区, 并在其间夹有若干规模较小的红岩丘陵盆地, 中部为吉泰红岩丘陵盆地区, 北部则为赣江下游, 是一个以山地、丘陵为主体兼有低丘岗地和少量平原的地貌组合类型^[24]。

(2) 流域形态特征

赣州以上为赣江上游, 贡水为主河道, 习惯上称为东源, 流域面积 27 095km², 河长 312km。上游河段, 河道多弯曲, 水浅流急, 流经变质岩区, 山岭峻峭。属山区性河流, 多深涧溪流, 落差较大, 水力资源丰富。沿途注入主要支流有湘水、濂江、梅江、平江、桃江、章水等。



赣江自赣州市至新干县为中游,河段长 303km,东岸有孤江、乌江,西岸有遂川江、蜀水及禾水。干流水流一般较为平缓,河床中多为粗、细沙及红砾石岩,部分穿切山丘间的河段则多急流险滩。赣州至万安的 90km,因流经变质岩山区,河床深邃,水急滩险,以“十八险滩”著称,素为舟师所忌。自 1993 年万安县县城以南 2km 处建有万安大型水电站以来,险滩均被淹没,现已不复存在。出吉安后赣江穿流于低谷之间,江中偶有浅滩,其中有段河谷格外束狭,遂称“狭江”。

赣江自新干以下称为下游。新干至吴城干流长 208km,东岸无较大支流汇入,西岸有袁河、锦江汇入。江水流经辽阔的冲积平原,地势平坦,河面宽阔,两岸傍河筑有堤防^[22]。

(3) 气候状况

赣江流域地处南岭以北,长江以南,属亚热带湿润季风气候区,气候温和,雨量丰沛,四季分明,光照充足,春雨、梅雨明显,夏秋间晴热干燥,冬季阴冷,但霜冻期较短。赣江流域南北地跨 4 个纬度,干流天然落差达 937m,导致南北气候出现差异,这些差异主要表现在以下几个方面:

① 气温:根据 1959~2004 年气象部门的统计,南北年平均气温相差 3℃左右,流域平均气温 16.3~19.5℃,以于都县的 19.7℃最高,南高北低;流域内相应 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温,上游区 $>6000^{\circ}\text{C}$,中游区 $>5500^{\circ}\text{C}$,下游区 $<5500^{\circ}\text{C}$,同样无霜期南部比北部长。但由于南北地势不同,南部山地多,北部低丘岗地多,南北年平均最低气温和最高气温均差别不大^[24,25]。

② 降水:受地理位置、地形和气候条件的影响,流域内降水分布很不均匀,多少相差悬殊,其分布特点是:山区多于河谷盆地,形成以罗霄山脉南端为中心及以九岭山脉为中心的两个高值区;以吉泰盆地和赣州为中心的两个低值区。全流域 1956~2000 年平均降水量为 1400~2000mm。西部山区年降水量普遍在 1700mm 以上,河谷盆地均小于 1500mm。年平均降水量最大的站为处于九岭山脉的院前站,降水量达 2077mm,最小为处于赣州的长村站,降水量仅 1372mm。流域内年平均最大降水量与最小降水量比值为 1.54^[26]。

③ 蒸发:受气候变化影响,赣江流域水面蒸发量的地域分布总的趋势是山区小于丘陵,丘陵小于盆地、平原。蒸发量以南昌为最大,其次为赣州,均大于 1200mm。以罗霄山脉井冈山为中心低值区,蒸发量普遍小于 800mm。流域最大站年蒸发量 1307mm,最小站年蒸发量 707mm,其比值为 1.85。蒸发量年内变化较大,夏季气温高,蒸发量大;冬季气温低,蒸发量小。全流域月最大蒸发量绝大多数出现在 7 月,其蒸发量占年蒸发量的 22%左右;月最小蒸发量出现在 1 月,其蒸发量占年蒸发量的 5.5%左右^[26]。