

DONGBEI DIQU DIANXING SHIDI DE SHUIHUANJING JIQI
KECHIXUXING DULIANG YANJIU

东北地区 典型湿地的水环境及其 可持续性度量研究

主 编 王永洁
副主编 罗金明 郑冬梅 王治良

中国环境科学出版社

东北地区典型湿地的水环境及其 可持续性度量研究

主 编 王永洁
副主编 罗金明 郑冬梅 王治良

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

东北地区典型湿地的水环境及其可持续性度量研究/王永洁主编. —北京: 中国环境科学出版社, 2010

ISBN 978-7-5111-0363-5

I. ①东… II. ①王… III. ①沼泽化地—水环境—可持续发展—研究—东北地区 IV. ①P942.307.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 172875 号

责任编辑 葛 莉

责任校对 扣志红

封面设计 玄石至上

出版发行 中国环境科学出版社

(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.com.cn>

联系电话: 010-67112765 (总编室)

发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京市联华印刷厂

经 销 各地新华书店

版 次 2010 年 12 月第 1 版

印 次 2010 年 12 月第 1 次印刷

开 本 787×1092 1/16

印 张 18

字 数 410 千字

定 价 66.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

序

《东北地区典型湿地的水环境及其可持续性度量研究》是作者近 10 年研究工作的总结,同时也是对湿地科学问题的不断思索和探究的具体实践。本着“科学问题来自于实践,最终也为实际服务”的科研态度,作者对扎龙湿地和大兴安岭南瓮河自然保护区进行了多次调查和样品采集,取得了第一手数据,又经过后续研究,如今,多年的科研辛勤努力即将凝成本书出版,是可贺之事。

近几十年人类对湿地的影响越来越强烈,破坏程度也不断加重,导致湿地的功能不断退化和丧失。当前,全球范围日益关注湿地保护和利用的管理问题,以湿地为主题的科学研究也不断增多。东北地区的湿地是在温带季风气候条件及特殊的水文和土壤环境下发育的。因此,对东北典型性湿地的水环境特征及其可持续性度量的研究具有十分重要的科学意义和应用价值。

湿地的可持续性关键在于水环境的可持续性,没有水就没有湿地。因而,湿地水环境的可持续性度量是湿地科学管理的重要基础。作者通过建立湿地水环境的指标体系,并选取有关典型湿地进行研究,通过测量、判断和评价湿地水环境是否是可持续的,识别湿地水环境系统,诊断湿地水环境的结构和功能,评价其可持续状态,是湿地水环境研究的重要进展之一。

作者依据东北典型湿地发育和演化的自然环境,特别是考虑东北湿地的水环境特殊性,包括中高纬森林湿地、松嫩平原的盐化沼泽湿地、三江平原的塔头藁草湿地以及滨海湿地 4 种湿地的水环境,汇集其研究成果,并应用数理方法和数学模型把定性描述和定量分析相结合,有成效地开展了典型湿地水环境可持续性度量的实证研究。本书的出版丰富了东北湿地水环境研究,对同类研究具有科学参考价值,也可为湿地管理提供科学依据。

环境在不断地变化,人类活动也在加剧,湿地的保护与管理任务日益重要,希望作者能够坚持不懈,不断在湿地水环境方面做出新的探索,取得新的研究业绩,为湿地科学的发展作出新贡献。

中科院成都山地所所长、研究员 邓伟

2010 年 11 月

前言

我国东北地区属于典型的温带和寒温带大陆性季风气候。受冷湿气候的影响,东北地区广泛分布有深厚的季节性冻土和多年冻土,阻碍了土壤水分下渗,使表层土壤经常处于过湿状态。夏季降水集中,在地势低洼、排水不良的地方发生大面积积水。冷湿的气候特征和特殊的地形条件,使东北地区发育成大面积的中高纬度湿地,同时也具有特殊的湿地水环境。

苏联、芬兰、丹麦、荷兰、瑞典、挪威、爱尔兰、英国、德国等国都拥有大面积的沼泽湿地,各国尤其重视湿地水文的研究。对于水在湿地中的重要作用,国内外研究已相当广泛。20世纪80年代以来,湿地水环境的研究侧重于湿地富营养化、湿地的污染净化和水文调控研究。在湿地水文的研究过程中,人们逐渐认识到水环境的重要性。

湿地水环境是湿地生态系统中水相互关联、相互作用的各要素综合体。湿地水环境状况将直接影响湿地系统健康,甚至会威胁整个流域、整个区域的生态安全。湿地水环境的可持续性度量是以可持续发展理论、系统科学理论以及景观生态学理论和方法为指导,将环境科学、水文水资源学、地理科学以及湿地科学相结合,测量、判断和评价湿地水环境是否可持续性以及可持续性的程度为核心内容。湿地水环境状况是湿地可持续的关键,水环境的可持续性度量是湿地水环境保护以及实现可持续性发展的基础。

全书共分为3个部分:第1部分介绍了东北典型湿地发育和演化的自然环境,包括东北湿地形成的地质地貌特征、气候条件和水文格局。第2部分详细阐述了东北湿地的水环境特征,包括湿地水环境的系统理论,东北典型湿地:森林湿地、盐化芦苇沼泽湿地、塔头藁草湿地以及滨海湿地4种湿地的水环境特征以及演化趋势。第3部分讨论了湿地可持续性度量的演技现状以及现有的湿地可持续性评价指标,建立了适合东北典型湿地可持续性度量的指标体系。最后以扎龙湿地为例子,对该地区的湿地进行可持续性度量探讨。

全书由王永洁制订编写提纲,各章专人编写。具体分工如下:

第一章,郑冬梅、罗金明;第二、三章,罗金明;第四章,王永洁;第五章,王永洁、罗金明;第六章,郑冬梅;第七、八章,王永洁、王治良;第九章,罗金明。齐齐哈尔大学地理061班孙玥和马焱同学参与了本书稿收集整理材料的工作。书中插图由罗金明进行编绘。各章完成后由罗金明负责编辑和统稿,王永洁负责最后审稿和定稿。

本书编写过程中,各章节所应用的文献皆列于本章的结束部分。由于湿地水环境本身是十分复杂的,同时包括的内容也极其广泛,加之编者的水平有限,本书错漏和不当之处难免,恳请同行专家和广大读者予以指正。

编者

2010年11月

目 录

第一章 东北地区自然概况	1
第一节 东北地区的地质地貌特征.....	1
第二节 东北地区气候条件	4
第三节 东北地区水系特征及水环境总体概况.....	8
第二章 湿地土壤特征	13
第一节 湿地的定义与分类	13
第二节 湿地的生物地球化学特征.....	16
第三节 湿地土壤中的化学转化	18
第四节 湿地的分类	26
第五节 东北湿地的植被与湿地形成的泥炭记录.....	37
第三章 湿地水环境	41
第一节 湿地水环境研究进展	41
第二节 湿地水环境的涵义	47
第三节 东北沼泽湿地的形成与演化.....	51
第四节 东北湿地水环境面临的主要问题.....	59
第五节 湿地水环境多种尺度结合的研究方法.....	62
第四章 松嫩平原盐沼湿地的水环境特征.....	73
第一节 松嫩平原盐沼湿地的成因.....	73
第二节 盐沼湿地的水盐变化规律.....	90
第三节 季节性冻融对扎龙湿地演化的影响.....	100
第四节 扎龙湿地生态系统面临的主要问题及其原因分析.....	112
第五节 扎龙湿地生态系统的演化对白头鹤栖息生境的影响.....	121
第五章 东北地区典型森林湿地的水环境特征.....	127
第一节 中高纬度森林湿地的性质.....	127
第二节 森林湿地的演变规律	147
第三节 中高纬森林湿地演变机理.....	152

第六章 三江平原苔草湿地的水环境特征	157
第一节 苔草湿地的成因	157
第二节 苔草湿地土壤的理化性质.....	169
第三节 三江平原苔草湿地的时空演变规律.....	174
第七章 滨海湿地的水环境特征	183
第一节 滨海湿地的类型	184
第二节 滨海湿地的自然特征	186
第三节 滨海河口（辽河三角洲）湿地的形成与发育.....	189
第四节 滨海湿地生态过程及动态变化.....	193
第五节 滨海湿地的水文时空变化与景观格局演变规律.....	196
第六节 滨海湿地退化的机理分析与保护对策.....	202
第八章 东北地区典型湿地水环境可持续性度量研究	208
第一节 可持续性概念的理解	208
第二节 东北地区典型湿地水环境可持续性度量指标体系构建.....	220
第三节 东北地区典型湿地水环境可持续性度量的数学模型.....	228
第四节 东北地区典型湿地水环境可持续性度量案例分析.....	234
第九章 东北湿地水环境可持续性调控对策	273
第一节 正确处理资源保护与利用的关系.....	273
第二节 扎龙湿地水环境可持续性调控对策.....	277

第一章 东北地区自然概况

东北地区包括黑龙江、吉林、辽宁和内蒙古东四盟市，西北部与蒙古人民共和国接壤，西南部与河北及内蒙古自治区锡林郭勒盟毗连，北部和东北部以额尔古纳河、黑龙江干流和乌苏里江与俄罗斯分界，东部隔图们江、鸭绿江与朝鲜民主主义人民共和国相望，南部濒临渤海和黄海。

从地貌及水文环境来看，东北地区东有长白山、西有大兴安岭等山地三面环抱，中部为广阔的松辽平原，东北部为三江平原。全区除西部与蒙古高原接壤外，其余都为界江、界河及大海环绕。区内分为两大水系：北部流入黑龙江的松花江水系，南部是流域渤海湾辽河水系。

在气候特征上，东北地区属于温带大陆性季风气候区，冬季严寒，夏季温热，年平均气温为 $-4\sim 10^{\circ}\text{C}$ ，由西北部向东南部递增，大部分地区为 $2\sim 6^{\circ}\text{C}$ 。年最高气温出现在7月份，年最低气温发生在1月份。东北地区气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的天数都在130 d以上。日照时数南北差别不大，但东西两侧有差异，东部阴雨天数多，年日照时数为2 200~2 400 h；而西部晴天日数较多，年日照时数约为2 600~3 300 h。东北地区的年降水量及其季节分配主要受季风环流、水汽来源及地形等因素控制。多年平均降雨量为300~1 000 mm，在地区分布差别较大，东南部较多，西北部稀少，由东南向西北递减。

东北地区植被从东到西为针阔混交林—草甸草原—干草原，从南到北为针叶林—针阔混交林—森林草甸—草甸草原，因此表现出明显的纬度及经度地带性。

东北地区地带性土壤为中高纬度湿、寒条件下形成的高有机质含量土壤，是世界上三大黑土带之一（主要分布在松嫩平原、三江平原和辽河平原）。地带性森林植被（针阔混交林）下的暗棕壤，以及羊草草甸植被下的黑土、黑钙土，羊草草原下的栗钙土等为主。非地带性土壤主要有山区、台地地貌的白桦林下发育的白浆土，以及大面积河湖漫滩地区发育的草甸土，在松嫩平原西部干旱-半干旱气候下嫩江漫滩发育的盐渍土为主。

第一节 东北地区的地质地貌特征

一、东北地区古地质运动特征

地质构造和地史发育是决定地形特点、影响土壤发育的基础，地质基础的复杂性，决定了土壤母质的多样性。本区地质构造相当复杂，大致分为三个区域，中部地区为比

较稳定的地台,约以北纬 43° 一线为界,以北属于东北台块,以南属于华北台块;东西两侧为地槽褶皱带,西侧为大兴安岭和内蒙古褶皱带,东侧为太平岭和乌苏里褶皱带,此外在地台与地槽之间,还有一个过渡性的吉林准褶皱带。东北台块在下古生代原是一个具有背斜性质的隆起区,加里东运动使它从华北台块分裂出来,其西部和南部在上古生代时强烈下陷,形成与西部地槽区相通的吉林准地槽。海西运动使全区断裂活化,松辽地区强烈沉陷,沿着断裂带有大量中性、酸性火山岩的喷发和花岗岩的侵入。新生代仍有断裂活动和基性熔岩喷发。由此可见,东北台块的显著特征是断裂运动十分强烈,且主要是沿着北东和北北东方向进行的。其内部又可以续分为老爷岭台背斜和松辽台向斜两部分。南部属于华北台块,其北界约在和龙—辉南—开原一线。其中辽东地区和吉林南部为辽东台背斜,辽西地区则大部分属于燕山沉陷带。前者除长白山附近有中生代的火山岩和新生代的玄武岩喷发外,其余均比较稳定;后者在中生代时发生内陆断陷,岩浆活动比较活跃。本区的几个主要褶皱带都属于古生代地槽区,即海西褶皱带。其中大兴安岭褶皱带属于海西早期,内蒙古褶皱带属于海西晚期,二者以归流河—乌兰浩特一线为界。大兴安岭褶皱带包括大兴安岭北段、小兴安岭西段和呼伦贝尔高原,其岩性组成在北脊附近主要为火山岩系,东南坡则以海相碳酸盐岩系为主,伴随着中生代的断裂活动并有极广泛的火山岩喷出和酸性岩侵入体分布。火山岩流的喷溢顺序为玄武岩—安山岩—流纹岩。太平岭褶皱带包括太平岭东坡,吉林东部山地和兴凯湖地区,主要分布有上古生代地层和古生代花岗岩类,西坡则有大面积的玄武岩覆盖。其北面的乌苏里褶皱带属于中生代地槽区,其主体位于俄罗斯境内,本区内只有那丹哈达岭槽向斜和同江内陆断陷两部分,后者从侏罗纪起发生断裂下陷,而在第三纪时又继续下沉,为新生代的松散沉积物所填充,形成今日三江平原的基础。最后,吉林准褶皱带主要包括吉林哈达岭、张广才岭和小兴安岭的东端部分,东北台块上呈狭长形,有着厚达数千千米的中、下古生代沉积和广泛发育的花岗岩类,区内东北向断裂特别发育。从整个地史发育过程看,在下古生代加里东运动时期,本区的地槽褶皱区,仅发生中酸性及超基性岩的入侵,而地台区处于相对稳定。到中上古生代的海西运动时开始褶皱和隆升,而地台区相对下陷,其边缘有大量火山岩喷出和花岗岩侵入,直至中生代燕山运动时期,同时在平原区逐渐沉积了巨厚的白垩系陆相岩层。

二、东北地区第四纪地质构造运动特征

东北地区的地貌景观和自然地理格局是自中生代开始营造,经过长期地质演化,到第四纪基本定型的。从大地构造的角度看,东北地区地处欧亚大陆边缘,属于东亚大陆裂谷系的一部分。在太平洋板块向亚洲大陆板块的俯冲作用下,该地区形成了以松辽盆地为主轴的裂谷带(钱正英,2007)。第四纪早期大、小兴安岭和张广才岭抬升,松嫩平原和松辽平原下沉,松嫩平原西部边缘发育冰水、洪积沉积,东部边缘为洪积沙砾黏土沉积,中部乾安—长岭发育淡水湖泊—古松辽大湖,嫩江、松花江和西辽河均注入其内。海拉尔盆地边缘为冰水、洪积泥沙砾组合,中部为河湖沉积,呼伦湖面积比现在大,海拉尔河汇入其中。三江平原为河湖相沙砾泥组合,分布受北北东向断裂控制。辽河平原仍为陆相堆积(王鸿祯等,1985)。

三、东北地区的地貌特征

本区东、北、西三面为低山和中山所包围，中部则发育大面积的大平原（松辽大平原），东北的地形略呈三面环山，平原中开的盆地轮廓。东北角则是松花江和黑龙江以及牡丹江汇集冲积平原（三江平原）。全区山脉走向大部分为北北东向，海拔高一般在 1 000~2 000 m，西有大兴安岭和辽西山地，东有以长白山为主干的多数平行山岭；北面有小兴安岭。三面群山大体呈马蹄形环抱着东北大平原，自北向南可分为三江平原、松嫩平原和辽河平原三部分，是我国最大的平原之一。在大兴安岭以西，地势升高至 600 m 以上，属内蒙古高平原的一部分。最南部是辽东半岛，总计全区平原面积占 29%，高平原占 8.3%，丘陵占 26.9%，低山占 21.4%，而中山占 14.4%。全区按地貌特征可分为下列五区：兴安岭山地、大兴安岭低山、中山、小兴安岭低山和丘陵、长白山系。

（一）兴安岭山地

兴安岭山地包括大、小兴安岭。大、小兴安岭不仅在地形上是相连接的，成因也相同，都是具有准平原面的新生代隆起的山地。本区又可分为两个亚区：大兴安岭低山、中山及小兴安岭低山和丘陵。分述如下：

1. 大兴安岭低山、中山

北起黑龙江沿岸的漠河，南至西拉木伦河，全长 1 100 km。西南在林西县河克什克腾旗的西界一线与锡林郭勒高平原分界；西侧大致由吉林拉林至阿尔山一线与呼伦贝尔高平原相邻；东侧一般由嫩江河谷与小兴安岭低山丘陵分界，总面积约 $2.55 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。全区地貌又以伊勒呼里山和洮儿河为界分为三段：北段成中等切割、具有岛状永冻层的山地，面积为 $4.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，平均高度不到 900 m，河流呈放射状分布，沼泽极为发达，山顶部保持着宽广而平坦的准平原面；中段山脉平均宽 200~300 km，高 1 200~1 500 m，最高峰大黑沟摩天岭可到 1 725 m，但主要分水岭破碎而不连贯；南段山脉分为罕山与黄岗梁两支，宽度更窄，平均高 1 500 m 以上，最高峰达 2 000 m，山顶部多为平坦的熔岩台地。全区有两极明显的剥蚀面，分别为海拔 1 000 m 和 500~600 m，较低一级保存已不完整，整个山地横截面的结构比较完整，东坡从松辽平原而上，有次序地分为丘陵、低山与中山，西坡则迅速至内蒙古高平原。全区中山占 44%，低山占 27%，丘陵占 29%。

2. 小兴安岭低山和丘陵

小兴安岭低山与丘陵区东西长约 360 km，南北宽 100~300 km，是黑龙江与松花江的分水岭，面积约 $1.3 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。山势较低，一般海拔在 1 000 m 以下，伊春以北的最高峰大黑山也只有 1 221 m，整个山地外貌较和缓，分水岭呈波状起伏，河谷宽大，有岛状永冻层和较大面积的沼泽分布。全区大致低山占 37%，丘陵占 53%，浅丘台地占 10%。小兴安岭横亘本区中北部，平均海拔 800 m，母质为花岗岩和喷出岩等。东坡岩石坚硬，地势陡峭，西坡山顶浑圆，河谷宽坦，丘陵平缓，发育黑土及各种草甸沼泽土。

（二）长白山

长白山系的张广才岭，老爷岭及完达山，位于本区东部，海拔 600~1 000 m，呈平

顶方山,山体由花岗岩、安山岩等构成,河谷两岸为草甸土和沼泽土分布区。

第二节 东北地区气候条件

东北地区特色的地理位置与地貌条件组成了特有的自然环境。由于受季风控制,东北地区干旱、洪涝发生频率高,季风气候的热动性质,决定了该地区是全球响应的敏感区。东北地区南部温暖,北部寒冷,东部降雨丰沛、西部降雨稀少,山区湿润、平原较干。

总体来说,东北地区主要属于温带大陆性季风气候,大部分地区的年降水量为 400~800 mm,长白山地东南侧,如集安附近,可以达到 1 000 mm 以上,西部通榆附近,少到 400 mm 以下。东部降水集中在 5—9 月,西部则集中在 6—8 月。东北地区年降水变率不大,约在 20%,和长江流域相似。降水可满足一年一熟作物生长的需要。东北地区,冬季寒冷,夏温不高,但与同纬地区比较,冬季气温很低,夏季气温较高,因此东北气温年较差很大,居世界同纬地区之冠(周琳,1991)。

在中国自然地理区划中,东北地区包括寒温带、温带和暖温带,在中国农业气候区划中以 10℃ 积温 1 700℃ 为我国寒温带和温带的界限,3 200℃ 为温带与暖温带的界限,1 700℃ 等积温线南起阿尔山沿大兴安岭山前向北包括了大兴安岭山地的北段,3 200℃ 等积温线大致从彰武经康平、昌图、铁岭、抚顺,直抵宽甸鸭绿江畔。界线以南的辽河中游平原和辽东半岛属暖温带(赵济,1995)。

一、辐射特征

东北地区日光充足,光能资源丰富,热量资源偏少,时空变化大,降水资源比较丰富,主要集中在夏季。本区因所处纬度较高,是我国气候最寒冷的地区,与同纬度地区相比,冬季气温较低,夏季温度高于同纬度地区,气温年较差很大,大陆性特点比较明显。全年平均气温稳定在 10℃ 以上的时期,始于 4 月下旬至 5 月上旬,终于 9 月下旬至 10 月上旬,持续期为 120~170 d。无霜期较短,为 100~150 d,绝大部分地区可以满足一年一熟作物的需要。

二、降雨

根据东北地区 24 个典型测站 1951—2000 年降水量资料,在 1965 年之前,东北地区降水全区都是偏湿的,之后,特别是 20 世纪 60 年代后期到 20 世纪 80 年代初,该地区基本上一直处于干旱状态(详见图 1-1,图 1-2)。夏季是本区主要的降水季节,由于我国大陆内部从冬季的高压形式转为低压,为夏季风盛行时期,成为南北气流交会地区,产生大量降水,大部分地区降水量为 400~700 mm,占全年降水量的 50%~70%,其集中程度从东南向西北逐渐增大。秋季由于被西来行动缓慢的高压脊所控制,多晴朗天气,盛行西南风,降水比春季稍多。

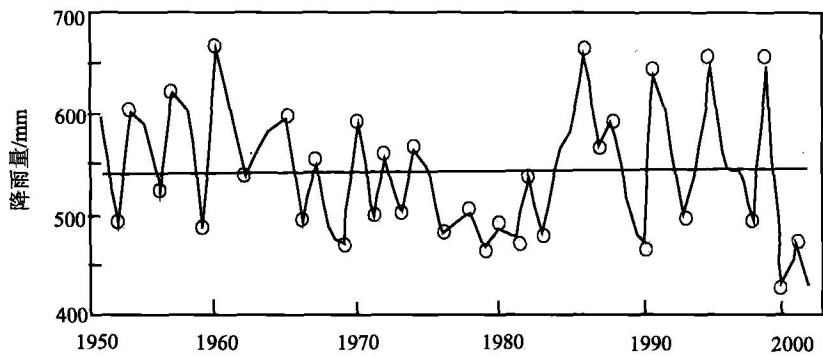


图 1-1 东北地区近 50 年的降雨量变化

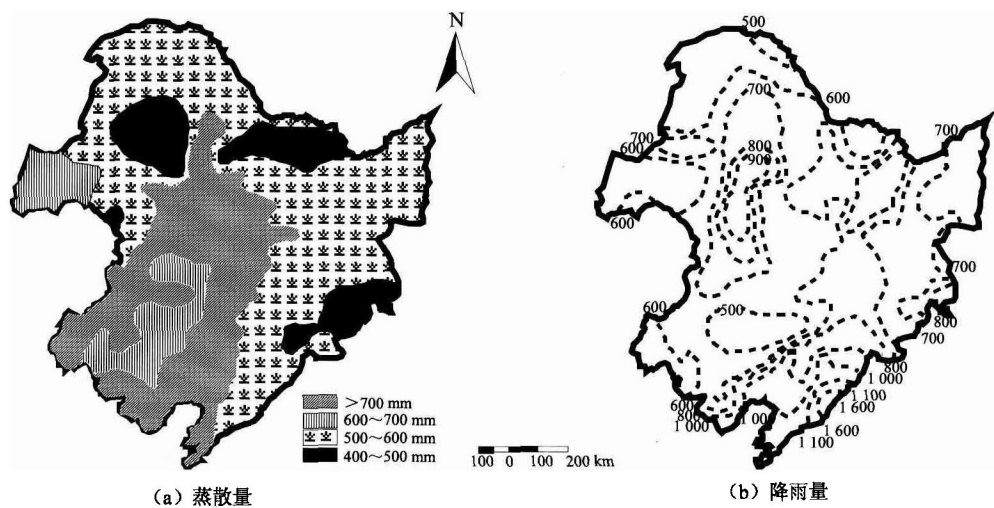


图 1-2 东北地区多年蒸散量和降雨量平均值分布图

三、蒸发

东北地区年蒸发量大多在 1 000~1 600 mm 范围内，黑龙江北部、内蒙古呼伦贝尔市北部年蒸发量小于 1 000 mm，吉林西部、辽宁西部及内蒙古兴安盟、通辽、赤峰、锡林郭勒盟、呼伦贝尔市西部年蒸发量较大，达到 1 600~2 000 mm（钱正英，2007）。春、夏两季东北大部分地区蒸发量相当，夏季略大，一般在 400~800 mm 范围内，秋季蒸发量一般在 150~400 mm 范围内，冬季蒸发量最小，大多在 20~100 mm。

四、气候演变

（一）全球大环境

到目前为止已经威胁人类生存并已被人类认识到的环境问题主要有：全球变暖、臭

氧层破坏、酸雨、淡水资源危机、能源短缺、森林资源锐减、土地荒漠化、物种加速灭绝、垃圾成灾、有毒化学品污染等众多方面。

1. 全球变暖

全球变暖是指全球气温升高。近 100 多年,全球平均气温经历了冷—暖—冷—暖两次波动,总地看为上升趋势。进入 20 世纪 80 年代后,全球气温明显上升。1981—1990 年全球平均气温比 100 年前上升了 0.48°C 。导致全球变暖的主要原因是人类在近一个世纪以来大量使用矿物燃料(如煤、石油等),排放出大量的 CO_2 等多种温室气体。由于这些温室气体对来自太阳辐射的短波具有高度的透过性,而对地球反射出来的长波辐射具有高度的吸收性,也就是常说的温室效应,导致全球气候变暖。全球变暖的后果,会使全球降水量重新分配,冰川和冻土消融,海平面上升等,既危害自然生态系统的平衡,更威胁人类的食物供应和居住环境。

2. 臭氧层破坏

在地球大气层近地面 20~30 km 的平流层里存在着一个臭氧层,其中臭氧含量占这一高度气体总量的十万分之一。臭氧含量虽然极微,却具有强烈的吸收紫外线的功能,因此,它能挡住太阳紫外辐射对地球生物的伤害,保护地球上的一切生命。然而人类生产和生活所排放出的一些污染物,如冰箱、空调等设备制冷剂的氟氯烃类化合物以及其他用途的氟溴烃类等化合物,它们受到紫外线的照射后可被激化,形成活性很强的原子与臭氧层的臭氧(O_3)作用,使其变成氧分子(O^{2+}),这种作用连锁般地发生,臭氧迅速耗减,使臭氧层遭到破坏。南极的臭氧层空洞,就是臭氧层破坏的一个最显著的标志。到 1994 年,南极上空的臭氧层破坏面积已达 $2.4 \times 10^7 \text{ km}^2$ 。南极上空的臭氧层是在 20 亿年里形成的,可是在一个世纪里就被破坏了 60%。北半球上空的臭氧层也比以往任何时候都薄,欧洲和北美上空的臭氧层平均减少了 10%~15%,西伯利亚上空甚至减少了 35%。因此科学家警告说,地球上空臭氧层破坏的程度远比一般人想象的要严重得多。

3. 酸雨

酸雨是由于空气中二氧化硫(SO_2)和氮氧化物(NO_x)等酸性污染物引起的 pH 值小于 5.6 的酸性降水。受酸雨危害的地区,出现了土壤和湖泊酸化,植被和生态系统遭受破坏,建筑材料、金属结构和文物被腐蚀等一系列严重的环境问题。酸雨在 20 世纪五六十年代最早出现于北欧及中欧,当时北欧的酸雨是欧洲中部工业酸性废气迁移所致,70 年代以来,许多工业化国家采取各种措施防治城市和工业的大气污染,其中一个重要的措施是增加烟囱的高度,这一措施虽然有效地改变了排放地区的大气环境质量,但大气污染物远距离迁移的问题却更加严重,污染物越过国界进入邻国,甚至飘浮很远的距离,形成了更广泛的跨国酸雨。此外,全世界使用矿物燃料的量有增无减,也使得受酸雨危害的地区进一步扩大。全球受酸雨危害严重的有欧洲、北美及东亚地区。我国在 20 世纪 80 年代,酸雨主要发生在西南地区,到 90 年代中期,已发展到长江以南、青藏高原以东及四川盆地的广大地区。

4. 淡水资源危机

地球表面虽然 $2/3$ 被水覆盖,但是 97% 为无法饮用的海水,只有不到 3% 是淡水,其中又有 2% 封存于极地冰川之中。在仅有的 1% 淡水中,25% 为工业用水,70% 为农业用水,只有很少的一部分可供饮用和其他生活用途。然而,在这样一个缺水的世界里,水却被

大量滥用、浪费和污染。加之，区域分布不均匀，致使世界上缺水现象十分普遍，全球淡水危机日趋严重。目前世界上 100 多个国家和地区缺水，其中 28 个国家被列为严重缺水的国家和地区。预测再过 20~30 年，严重缺水的国家和地区将达 46~52 个，缺水人口将达 28 亿~33 亿人。我国广大的北方和沿海地区水资源严重不足，据统计我国北方缺水地区总面积达 $5.8 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。全国 500 多座城市中，有 300 多座城市缺水，每年缺水量达 $5.8 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，这些缺水城市主要集中在华北、沿海和省会城市、工业型城市。世界上任何一种生物都离不开水，人们贴切地把水比喻为生命的源泉。然而，随着地球上人口的激增，生产迅速发展，水已经变得比以往任何时候都要珍贵。一些河流和湖泊的枯竭，地下水的耗尽和湿地的消失，不仅给人类生存带来严重威胁，而且许多生物也正随着人类生产和生活造成的河流改道、湿地干化和生态环境恶化而灭绝。不少大河如美国的科罗拉多河、中国的黄河都已雄风不再，昔日“奔流到海不复回”的壮丽景象已成为历史的记忆了。

5. 资源、能源短缺

当前，世界上资源和能源短缺问题已经在大多数国家甚至全球范围内出现。这种现象的出现，主要是人类无计划、不合理地大规模开采所致。20 世纪 90 年代初全世界消耗能源总数约 $1 \times 10^{10} \text{ t}$ 标准煤，预测到 2000 年能源消耗量将翻一番。从目前石油、煤、水利和核能发展的情况来看，要满足这种需求量是十分困难的。因此，在新能源（如太阳能、快中子反应堆电站、核聚变电站等）开发利用尚未取得较大突破之前，世界能源供应将日趋紧张。此外，其他不可再生性矿产资源的储量也在日益减少，这些资源终究会被消耗殆尽。

6. 森林锐减

森林是人类赖以生存的生态系统中的一个重要的组成部分。地球上曾经有 $7.6 \times 10^9 \text{ hm}^2$ 的森林，到 20 世纪时下降为 $5.5 \times 10^9 \text{ hm}^2$ ，到 1976 年已经减少到 $2.8 \times 10^9 \text{ hm}^2$ 。由于世界人口的增长，对耕地、牧场、木材的需求量日益增加，导致对森林的过度采伐和开垦，使森林受到前所未有的破坏。据统计，全世界每年约有 $1.2 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 的森林消失，其中绝大多数是对全球生态平衡至关重要的热带雨林。对热带雨林的破坏主要发生在热带地区的发展中国家，尤以巴西的亚马孙情况最为严重。亚马孙森林居世界热带雨林之首，但是，到 20 世纪 90 年代初期这一地区的森林覆盖率比原来减少了 11%，相当于 $7 \times 10^9 \text{ hm}^2$ ，平均每 5 s 就有差不多有一个足球场大小的森林消失。此外，在亚太地区、非洲的热带雨林也在遭到破坏。

7. 土地荒漠化

简单地说，土地荒漠化就是指土地退化。1992 年联合国环境与发展大会对荒漠化的概念作了这样的定义：“荒漠化是由于气候变化和人类不合理的经济活动等因素，使干旱、半干旱和具有干旱灾害的半湿润地区的土地发生了退化”。1996 年 6 月 17 日第二个世界防治荒漠化和干旱日，联合国防治荒漠化公约秘书处发表公报指出：当前世界荒漠化现象仍在加剧。全球现有超过 1.2×10^9 人受到荒漠化的直接威胁，其中有 1.35×10^8 人在短期内有失去土地的危险。荒漠化已经不再是一个单纯的生态环境问题，而且演变为经济问题和社会问题，它给人类带来贫困和社会不稳定。到 1996 年为止，全球荒漠化的土地已达到 $3.6 \times 10^9 \text{ hm}^2$ ，占到整个地球陆地面积的 1/4，相当于俄罗斯、加拿大、中国和美

国国土面积的总和。全世界受荒漠化影响的国家有 100 多个, 尽管各国人民都在进行着同荒漠化的抗争, 但荒漠化却以每年 $5 \times 10^6 \sim 7 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 的速度扩大, 相当于爱尔兰的面积。在人类当今诸多的环境问题中, 荒漠化是最为严重的灾难之一。对于受荒漠化威胁的人们来说, 荒漠化意味着他们将失去最基本的生存基础——有生产能力的土地的消失。

8. 物种加速灭绝

现今地球上生存着 500 万~1 000 万种生物。一般来说物种灭绝速度与物种生成的速度应是平衡的。但是, 由于人类活动破坏了这种平衡, 使物种灭绝速度加快, 据《世界自然资源保护大纲》估计, 每年有数千种动植物灭绝, 到 2000 年地球上 10%~20% 的动植物, 即 50 万~100 万种动植物将消失, 而且, 灭绝速度越来越快。物种灭绝将对整个地球的食物供给带来威胁, 对人类社会带来的损失和影响是难以预料和挽回的。

(二) 区域气候的变化

1. 近百年温度异常增暖

东北地区近百年平均温度表现为明显的增暖趋势(龚高法等, 1979; 孙风华等, 2004), 冬季增温非常强烈, 夏季在 1995 年以前不仅没有升温, 反而有明显降温趋势; 1995 年以后夏季气温明显升高。春秋季节的升温趋势与冬季类似, 但幅度小得多。东北地区百年气温增暖幅度达 1.3°C , 明显高于全国平均, 近 20 年增温尤其明显(钱正英, 2007)。东北与全国平均的升温期、偏冷期和偏暖期大体相同, 但温度的年代到多年代变化特征更接近全球或北半球平均状况, 而与全国平均温度变化存在一定的差异, 主要表现在 20 世纪 30—40 年代的温暖程度没有全国平均来得大, 因而 20 世纪的增温趋势更加明显。同时东北地区增温速率没有表现出随纬度升高而增强的趋势(孙风华等, 2004)。

2. 近百年来降水量趋于减少

近百年来东北地区的年降水量总体上呈轻微减少趋势。自 20 世纪初到目前约减少 20~30 mm。20 世纪初期和 50—60 年代降水比较丰沛, 60—80 年代降水量相对减少, 最少雨阶段发生在 70 年代末 80 年代初, 当时的年降水量比 50 年代降低 100 mm 左右, 引起严重的干旱。降水的突变发生在 20 年代末和 30 年代初, 主要表现为降水量增加, 同时降水年际变率减小(钱正英, 2007)。

第三节 东北地区水系特征及水环境总体概况

东北地区主要有六大河流: 黑龙江、鸭绿江、图们江、松花江、辽河及绥芬河。

黑龙江是我国四大河流之一, 全长 4 350 km, 自额尔古纳河到乌苏里江口一段长 3 774 km, 为中苏两国的界河。在我国一侧汇纳了松花江、乌苏里江等大河。

松花江是黑龙江的最大支流, 全长 1 927 km, 流域面积 $5.4 \times 10^5 \text{ km}^2$, 约占东北区总面积的 67%。第二松花江发源于长白山天池, 流向西北, 至三岔河与嫩江汇合后, 称松花江干流。向东又汇纳了拉林河、呼兰河及牡丹江等, 到同江汇入黑龙江。嫩江发源于伊勒呼里山南麓, 自北向南两岸支流很多。嫩江在嫩江县以上属于山区, 山高林密, 植被好, 森林多, 是我国著名的大兴安岭林区; 从嫩江县向下到内蒙古的莫力达瓦达斡尔

族自治旗，地形逐渐由山区过渡到丘陵地带，嫩江右岸的各支流发源地，大部分为山区林区。暴雨集中，雨量较丰沛；齐齐哈尔以下，嫩江逐渐进入平原区，向南直至松花江干流，形成广阔的松嫩平原。牡丹江发源于长白山的牡丹岭以北，向北流经镜泊湖，至依兰注入松花江。

辽河发源于河北省承德市七老图山脉的光头山，流经河北、内蒙古、吉林和辽宁四省（自治区），在辽宁省盘锦市注入渤海，全长 1 345 km，流域面积为 $2.21 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。辽河流域由两个独立的水系组成：其一为东、西辽河于福德店汇合后成为辽河干流，经盘锦市由双台子河入海。其二为浑河太子河水系，两河在三岔河附近合流后，经大辽河于营口入海。辽河流域地处我国东北地区的西南部，整个流域东西宽、南北狭。流域东以长白山脉与松花江、鸭绿江两流域分界，西和大兴安岭南端内蒙古高原的大小鸡林河和公吉尔河流域相邻，南与滦河、大小凌河毗邻，北以松辽分水岭为界与松花江流域接壤。

绥芬河由大、小绥芬河汇合而成，大绥芬河发源于吉林省境内的长白山脉老爷岭的秃头山，自南向北再折向东流，长 96 km。小绥芬河发源于黑龙江省东宁县境内的太平岭，自北向南再折向东流，长 137 km。大、小绥芬河流经黑龙江省的绥芬河市和东宁县，在东宁县道河镇汇合，流至俄罗斯境内的乌苏里斯克后曲折南下，在符拉迪沃斯克（海参崴）附近入日本海。

图们江为中朝两国的界河，发源于白头山主峰之东麓，流向东北至密江折向东南，经琿春市防川以下土字牌出境，以下为朝俄界河，延流 15 km 后注入日本海。河流全长 513 km（我国境内 490 km），集水面积 33 168 km^2 。

鸭绿江在吉林省东南部和辽宁省东部，是中朝两国界河，发源于白头山主峰之南麓，自北向南流经长白镇后折转向西流，抵临江镇后转向西南，过云峰、渭源、水丰水电站后流经丹东市，最后注入黄海。总河长 800 km，集水面积 64 471 km^2 （含朝鲜侧跨流域引水面积 5 326 km^2 ），其中我国则占 32 000 km^2 。

东北地区无论是平原还是山区，均有湖泊分布。湖泊面积 2 377 km^2 ，占全国湖泊总面积的 3.3%。除分布于松嫩平原的湖泊有部分为含有盐碱成分的内陆湖外，多为外流的淡水湖。平原地区湖泊的形成原因为地壳下沉、地势低洼和排水不畅，并有不透水层，使地表水积水而成。山地湖泊一般与地质构造和火山活动有关，其中多为火山堰塞湖，如镜泊湖是由牡丹江河谷被玄武岩流堰塞而成，黑龙江省德都县的五大连池是 1720 年火山喷发时，熔岩壅塞了白河河道所形成的相互连贯的 5 个小湖。位于长白山主峰的天池则是一个火口湖，它海拔 2 155 m，最大水深 373 m，是目前我国所知的最深的湖泊。兴凯湖则属于构造湖，面积 4 380 km^2 ，为中、俄两国的界湖。

据最新评价结果，东北地区多年平均降水量为 $6 431.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，折合降水深 514.9 mm，多年平均水资源总量为 $1 989.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中地表水 $1 703.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，地下水 $681 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，地下水可开采量 $365.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

水资源分布总体上是东多西少，并由东南向西北递减。流域东、北部地区除三江平原外大多为山区，水资源比较丰富，水资源总量 $9.48 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，占流域水资源总量的 47.6%；流域中部地区为重要工业和粮食主产区，是流域经济社会发展的核心地区，水资源总量 $7.77 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，仅占流域水资源总量的 39%；流域西部地区干旱少雨，经济发展相对落后，水资源总量 $2.65 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，占流域水资源总量的 13.4%。由此可见，松辽流域水资源分布

与流域经济社会发展布局不协调，水资源供需矛盾制约了流域经济社会的发展。

一、水资源区域分布特征

各省区水资源分布情况见表 1-1，从数值上看，黑龙江省水资源量最大，达 $8.103 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。人均水资源量最大的是内蒙古自治区，为 $3\,604 \text{ m}^3$ ，其次为黑龙江省，人均 $2\,173 \text{ m}^3$ ，最少为辽宁省，人均仅为 819 m^3 。平均耕地水资源量最大的是内蒙古自治区， $47.7 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，其次为辽宁省，为 $36.3 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ，黑龙江和吉林省最少，仅为 $30.7 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。水资源区域分布不均匀。

表 1-1 东北地区区域水资源分布表

省 区	水资源总量/ 10^8 m^3	人均水资源/ m^3	耕地平均水资源/ (m^3/hm^2)
辽宁省	339.6	819	36.3
吉林省	389.9	1 414	30.7
黑龙江省	810.3	2 173	30.7
内蒙古自治区	436.5	3 604	47.7

二、水资源时间分布特征

东北地区降水主要集中在汛期，一般年降水量小于 600 mm ，5—9 月降水量占全年降水量的 80% 以上。地表水资源主要以洪水形式出现，6—9 月径流量占全年径流量的 50%~75%，并且越是干旱地区水资源在全年的分布越不均匀，如嫩江大赉站和西辽河郑家屯站 6—9 月径流量占全年径流量的 66% 和 75%。在年际间变化也比较大，各地最多年降水量可为最少年的 2~3 倍，松嫩平原西部少雨干旱地区可相差 4.0~4.5 倍。

三、水体污染严重

随着工农业生产的发展，东北地区各主要水域都不同程度地受到污染，详见表 1-2 和表 1-3。松花江流域全年期综合评价河长 $38\,330 \text{ km}$ ，可用于集中供水水源的Ⅲ类以上水质河长占 37.23%；已经丧失直接使用功能的劣Ⅴ类水质占 18.12%。其中，吉林省评价河长 $13\,239 \text{ km}$ ，总体水质较好，Ⅲ类以上水质河长占 65.17%；黑龙江省评价河长 $17\,020 \text{ km}$ ，Ⅲ类以上水质河长占 34.86%；内蒙古自治区评价河长 $9\,306.4 \text{ km}$ ，Ⅲ类以上水质河长占 17.78%。

表 1-2 松花江流域河流水质状况表

单位：%

流域或省区	各水质类别河长占监测总长比例					
	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类	劣 V 类
松花江流域	1.93	7.59	27.71	28.29	16.36	18.12
吉林省	1.39	16.16	47.62	16.53	5.1	13.23
黑龙江省	0.78	12.36	21.72	31.86	17.11	16.16
内蒙古自治区	5.1	4.99	7.69	35.41	25.04	21.77