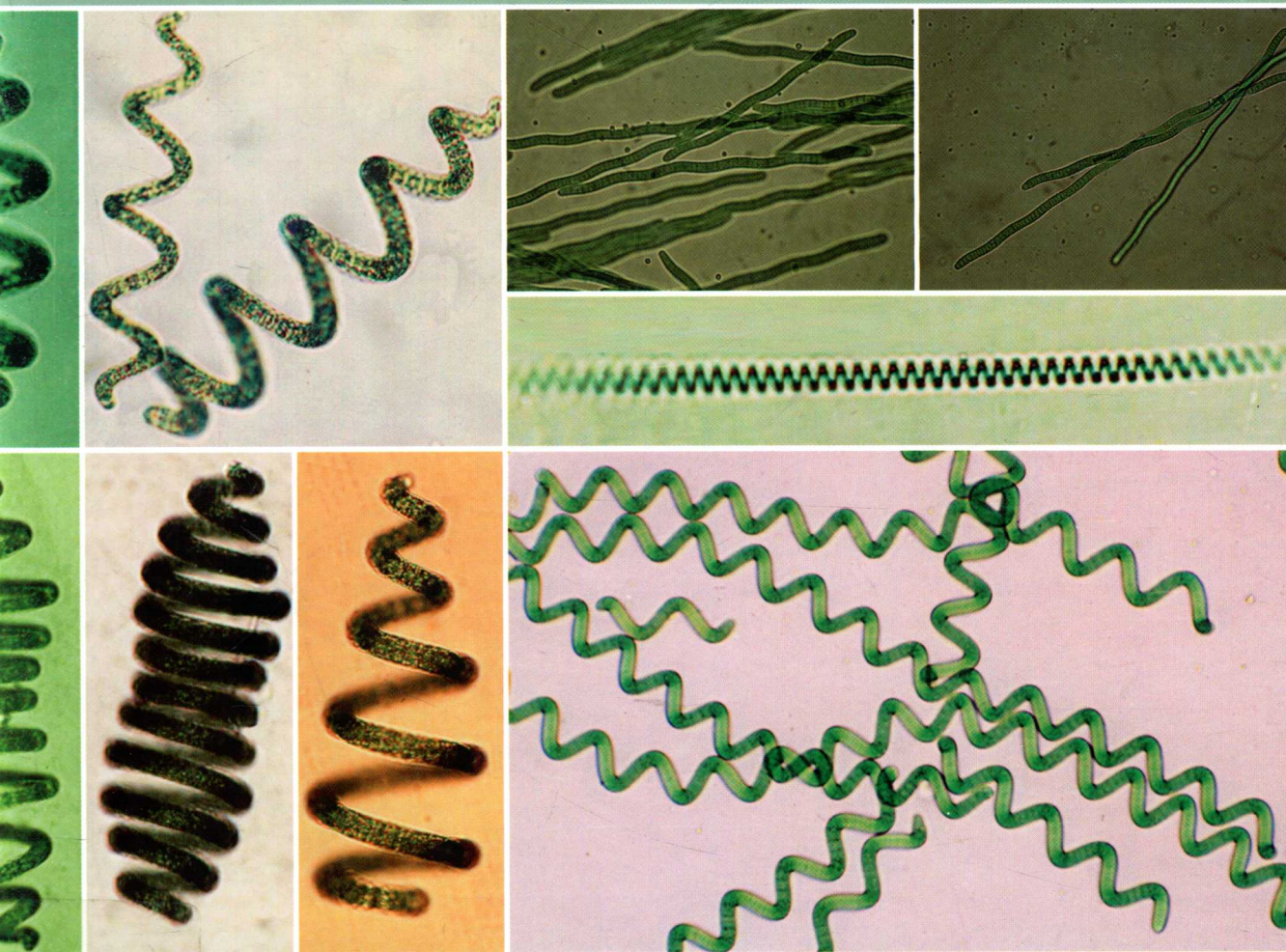


鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻

Spirulina (Arthrospira) in Alkaline Lakes of the Erdos Plateau

喬辰 栗淑媛 著



科学出版社

Q969.22
J0131

阅 览

鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻

Spirulina (Arthrospira) in Alkaline Lakes of the Erdos Plateau

喬 辰 栗 淑 媛 著



科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是内蒙古农业大学螺旋藻课题组和合作单位十多年来研究工作的总结,较全面、系统地介绍了鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻的发现、分类、形态解剖结构、生理生化、分子生物学、生物活性物质以及鄂尔多斯高原螺旋藻产业的发展 and 现状等内容,并附有二百六十多幅插图和照片,是一部较全面介绍我国鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻种质资源开创性研究的专著。

本书可供生物和水产等专业的高等院校师生、科研单位及从事螺旋藻产业的相关人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻 / 乔辰, 栗淑媛著. —北京: 科学出版社, 2013. 3

ISBN 978-7-03-036976-5

I. ①鄂… II. ①乔…②栗… III. ①鄂尔多斯高原-碱湖-螺旋藻属-研究
IV. ①Q949. 22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 045680 号

责任编辑: 王海光 高璐佳 / 责任校对: 宋玲玲

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 北京美光制版有限公司

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>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2013 年 3 月第一次印刷 印张: 27 1/4 插页: 18

字数: 627 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

作者简介



乔 辰 女,汉族,教授,硕士生导师,内蒙古呼和浩特市清水河县人。1982年毕业于内蒙古师范大学生物系,获理学学士学位。在内蒙古农业大学一直从事植物生理学和生物化学的教学和科研工作。1996年开始对鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻进行研究,是鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻的发现者之一。在有关螺旋藻的研究中,主持2项国家自然科学基金项目,5项内蒙古自治区和市级项目,参加6项内蒙古自治区级项目;发表论文50多篇。获内蒙古自然科学进步二等奖1项(1997);国家林业局科技进步三等奖1项(1998);内蒙古自治区高等教育教学成果二等奖1项(2000)。国家自然科学基金项目(批准号:39960062)于2005年通过了内蒙古科技厅组织的专家鉴定,并进行了科技成果登记(登记号:NK-20050109)。2010年3月开始筹建鄂尔多斯市新宇力藻业集团有限公司的螺旋藻工程技术研究中心,该中心于2011年5月正式被内蒙古科技厅评定为“内蒙古自治区螺旋藻工程技术研究中心”并授匾。



栗淑媛 女,汉族,教授,硕士生导师,山西省原平市人。1982年毕业于内蒙古师范大学生物系,获理学学士学位。曾任内蒙古师范大学生命科学与技术学院生物技术系主任。中国生物化学与分子生物学学会会员,现任内蒙古自治区医学会生物化学与分子生物学分会副主任委员。毕业留校后一直从事生物化学与分子生物学的教学和科研工作,1999年开始对鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻进行研究至今。主持完成了2项国家自然科学基金资助项目和1项内蒙古教育厅项目,参与完成了1项国家重点科研基金项目、5项国家自然科学基金项目和6项内蒙古自然科学基金项目的研究工作,发表论文50多篇,其中有关螺旋藻研究的论文20多篇。曾获内蒙古师范大学科学进步二等奖1项、三等奖4项。

《鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻》著者名单

(按姓氏笔画排序)

于 婷	王志忠	毛永强	乌兰巴特尔
田秀英	巩东辉	乔 辰	刘 华
刘 燕	杜 玲	李 琳	杨 茜
张三润	邵丽华	哈斯塔娜	袁淑珍
栗淑媛	扈瑞平	韩文清	穆文静

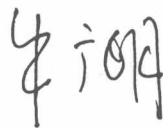
序

在漫长的进化历史长河中,螺旋藻不知何时滞留在鄂尔多斯高原碱湖,在那里世世代代繁衍生息,却无人知晓、无人问津。1996年,内蒙古农业大学螺旋藻课题组在资料极其缺乏、环境十分艰苦的条件下,开始对鄂尔多斯高原碱湖的螺旋藻进行研究。随着合作单位和合作者的不断增加,他们的研究内容不断拓展,工作不断深入。在他们的共同努力下完成了《鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻》专著,此书是他们十多年来潜心研究的全面总结。

我有幸在第一时间拜读了本书的初稿,仿佛看到探索者在大漠深处的碱湖畔留下的深深足迹,以及他们在实验室进行的大量艰苦细致工作,和获得的第一手珍贵数据与翔实资料。该书将鄂尔多斯高原碱湖的螺旋藻首次展现在世人面前,其研究内容具有开创性,体现出研究者对螺旋藻独有的深深情愫!

该书比较全面、系统地介绍了鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻的研究内容。这在理论上丰富了螺旋藻的基础研究,在实践上为优良藻种的产业化提供科学依据,具有十分重要的学术意义和应用价值。

内蒙古农业大学乔辰教授和内蒙古师范大学栗淑媛教授主笔,多位专业人员通力合作共同完成的《鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻》一书,是作者集体智慧和辛勤劳动的结晶。该书的出版可为后人留下大量可供参考的螺旋藻基础资料,为鄂尔多斯高原植物百花园增添了一朵绚丽的“藻花”,必将对鄂尔多斯高原、乃至内蒙古自治区碱湖螺旋藻种质资源的深入研究及其产业的发展起到积极的推动作用。



内蒙古自治区政协副主席

内蒙古自治区科协主席

2012年9月18日

前 言

鄂尔多斯高原位于世界的盐湖带上,是我国著名的盐碱湖密集区之一。这里碱湖星罗棋布,其主要特征是面积小、水浅、间歇性干涸,甚至有的已成为干湖。1996年,内蒙古农业大学(原内蒙古林学院)螺旋藻课题组在鄂尔多斯高原毛乌素沙地巴彦淖尔碱湖首次发现了我国的钝顶螺旋藻及其水华。这是目前除了非洲 Chad 湖及其邻近湖泊外,钝顶螺旋藻在世界上的第二个分布区,且是我国螺旋藻水华的第一次被发现。在此之前,螺旋藻被认为主要分布在热带和亚热带地区,但在近北纬 40° 的温带碱湖这个极端环境(高碱、高盐、低温)中生存着中国的钝顶螺旋藻,这不仅是螺旋藻研究上的重大发现,而且填补了我国螺旋藻产业所需藻种的空白,结束了完全使用外来藻种的历史。经研究,该藻具有耐低温且适应温度范围较宽、抗高光强、呼吸速率较低和抗某些重金属积累等特性。此外,课题组在鄂尔多斯高原碱湖中还陆续发现其他 4 种螺旋藻(节旋藻)。在这块古老而神奇的鄂尔多斯土地上,孕育着螺旋藻种质资源,且如此集中分布,真不愧为中国螺旋藻的故乡!特别是近十年来,利用这里得天独厚的碱湖和光、水、气、热等资源优势,新生成的螺旋藻产业得到了迅猛、长足的发展,被人比作沙窝子里飞出的“金凤凰”。勤劳、睿智的鄂尔多斯人已将故乡注册为“藻都”。展望未来,随着螺旋藻研究的不断深入,以当地钝顶螺旋藻和碱湖等为依托的资源开发和利用必将为鄂尔多斯的经济做出更大贡献。

鄂尔多斯高原碱湖的螺旋藻,多少年来在这里繁衍生息,无人问津,是一块未开垦的处女地。在未涉足螺旋藻之前,课题组早期成员基本是原内蒙古林学院沙漠治理系的教师,从事沙生植物生理生化的教学和科研,对藻类的认识还是个盲区,更何况螺旋藻;再加上在早期的研究中可供参考的资料屈指可数,起步研究经历了筚路蓝缕的艰辛开创期,至今,回想起来仍历历在目、记忆犹新。经过这些年来的辛勤耕耘,在“春种一粒粟,秋收万颗籽”的今天,可以欣慰地讲,35 亿年前出现在地球上的螺旋藻在鄂尔多斯高原碱湖沉睡了若干年后,其神秘的面纱已被掀开了冰山一角。

有关鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻的研究,课题组负责人于 1995 年秋就开始酝酿并着手申请课题,1996 年正式立项以来,研究工作一直持续至今。这 17 年来,首先是获得内蒙古自治区“九五”攻关项目“内蒙古沙区螺旋藻综合利用与产业化的研究”(计划编号:960125)的资助,从此拉开了研究工作的序幕;特别是在国家自然科学基金项目“鄂尔多斯沙区碱湖螺旋藻种质资源及适应性研究”(批准号:39960062)和“鄂尔多斯高原碱湖钝顶

螺旋藻对低温的反应及抗寒机理研究”(批准号:30460104)的连续资助下,研究工作不断深入;此外还先后得到内蒙古科技厅和内蒙古教育厅等多项课题的支持。到目前为止,已结题的国家级和自治区级研究项目 9 项,在研项目 4 项。先后参与研究的合作单位 5 个(南京大学、内蒙古师范大学、内蒙古医科大学、内蒙古科技大学和鄂尔多斯市新宇力藻业集团有限公司),参加研究的教师 22 人、博士 5 人、硕士 18 人和本科生 50 多人等。

《鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻》全书共分八章三十节,由乔辰和栗淑媛统稿。本书较全面、系统地介绍了鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻的发现、分布、分类、形态解剖结构、生理生化、分子生物学特征和生物活性物质以及螺旋藻产业在当地的发展。旨在为鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻的后续研究和应用起到铺垫作用,为后人进一步揭示螺旋藻的生物学特性,研究其起源和进化、探讨其何时滞留在此以及与鄂尔多斯古大陆之间的关系等提供一些可参考的资料。

总体上讲,鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻种质资源研究的深度和广度以及开发利用的水平还很有限,彻底揭示其生物学特性及其与环境之间的关系,仍是一个长期、艰巨的任务。本书仅仅是课题组对鄂尔多斯高原碱湖螺旋藻十多年研究工作的总结,力求将研究内容全面、客观、准确无误地展现在读者面前。在本书的撰写过程中,所有的笔者都尽了最大的努力,但由于水平有限,难免有不足之处,敬请专家学者和广大读者不吝赐教。

乔 辰

2012 年 8 月于呼和浩特

目 录

序

前言

第一章 中国螺旋藻的故乡——鄂尔多斯高原碱湖	1
第一节 鄂尔多斯高原及其碱湖	1
一、鄂尔多斯高原概况	1
二、鄂尔多斯高原湖泊及其碱湖	6
第二节 螺旋藻的发现和分布	26
一、螺旋藻的发现及其意义	26
二、螺旋藻的分布	28
主要参考文献	41
第二章 螺旋藻(节旋藻)的分类和形态解剖结构	43
第一节 螺旋藻(节旋藻)的分离和纯化	43
一、螺旋藻的采集	43
二、螺旋藻的分离和纯化	43
第二节 螺旋藻(节旋藻)的分类	44
一、新种	45
二、新记录种	46
三、钝顶节旋藻	46
第三节 螺旋藻(节旋藻)的形态解剖结构	46
一、鄂尔多斯节旋藻(<i>A. erdosensis</i>)	47
二、钝顶节旋藻(<i>A. platensis</i>)	54
三、方胞节旋藻(<i>A. jenneri</i>)	67
四、巴彦淖尔螺旋藻(<i>S. bayannurensis</i>)	70
第四节 4种螺旋藻(节旋藻)形态解剖结构的比较	74
第五节 待定螺旋藻	76
主要参考文献	77
第三章 螺旋藻体内的酶	80
第一节 酶促反应动力学	81
一、淀粉酶(AMY)	81
二、乙醇酸氧化酶(GO)	84
三、过氧化氢酶(CAT)	86
四、过氧化物酶(POD)	88
五、乳酸脱氢酶(LDH)	90

六、苯丙氨酸解氨酶(PAL)	96
七、硝酸还原酶(NR)	102
八、酶活性的“生态幅”	105
九、酶活性与生存环境的关系	106
第二节 超氧化物歧化酶(SOD)的纯化及性质	108
一、SOD 的分离与纯化	109
二、SOD 酶类型的鉴别	112
三、SOD 所含金属的种类	113
四、SOD 吸收光谱	113
五、SOD 的分子质量	114
六、SOD 的多谱带现象	117
七、pH 和温度对 SOD 活性的影响	118
八、SOD 稳定性	119
第三节 同工酶研究	120
一、乙酸纤维薄膜电泳	121
二、聚丙烯酰胺凝胶电泳(PAGE)	123
三、同工酶和可溶性蛋白的谱带分析	132
主要参考文献	136
第四章 螺旋藻的光合作用和呼吸作用	140
第一节 光合色素	141
一、光合色素的组成和含量	141
二、光合色素的室温吸收光谱	143
三、光合色素的室温荧光光谱	147
四、吸收光谱和荧光光谱的分析	151
第二节 温度对光合速率和呼吸速率的影响	156
一、温度对光合速率的影响	156
二、温度对呼吸速率的影响	163
三、温度与光合作用和呼吸作用	165
第三节 光强对光合速率的影响	166
一、不同温度下光强对光合速率的影响	167
二、不同温度和照光时间下光强对光合速率的影响	173
三、高光强下照光时间对光合放氧的影响	177
四、不同光强预培养后对 S_1 光合放氧的影响	178
五、光强-光合速率曲线及光合指标	179
第四节 光合速率和呼吸速率的动态	183
一、春季光合速率和呼吸速率的日动态	183
二、夏季光合速率和呼吸速率的日动态	187
三、秋季光合速率和呼吸速率的日动态	193

四、冬季光合速率和呼吸速率的日动态	197
五、光合速率动态规律的分析	199
六、呼吸速率动态规律的分析	210
第五节 螺旋藻光合作用和呼吸作用与产量	213
一、螺旋藻的光合作用与产量	214
二、螺旋藻的呼吸作用与产量	216
主要参考文献	218
第五章 螺旋藻的低温逆境生理	223
第一节 低温与细胞质膜	224
一、低温胁迫下质膜脂肪酸的变化	224
二、低温胁迫下质膜蛋白的变化	230
三、低温对质膜 H^+ -ATPase 活性的影响	234
四、低温对质膜透性的影响	240
五、低温下质膜的过氧化作用	248
第二节 低温与细胞的代谢功能	250
一、低温下细胞内可溶性糖含量的变化	251
二、低温下细胞内可溶性蛋白含量的变化	254
三、低温下细胞内游离脯氨酸含量的变化	257
第三节 低温与氧化还原酶	260
一、低温胁迫下几种氧化还原酶活性的变化	261
二、低温对 4 种氧化还原酶同工酶的影响	275
三、螺旋藻细胞的抗氧化系统与抗寒性	284
主要参考文献	285
第六章 节旋藻的分子生物学基础	290
第一节 核酸含量	291
一、DNA 含量	292
二、RNA 含量	293
第二节 基因组 DNA 的提取	294
一、基因组 DNA 的提取方法	295
二、基因组 DNA 提取方法的比较	296
第三节 随机扩增多态性 DNA 分析	299
一、基因组 DNA 的 PCR 扩增	299
二、钝顶节旋藻 2 个生态种的 RAPD 分析	301
三、5 个节旋藻样品的 RAPD 分析	303
第四节 扩增片段长度多态性(AFLP)的研究	312
一、DNA 的酶切和连接	312
二、预扩增反应	313
三、选择性扩增	313

四、AFLP 结果分析	315
第五节 多态性和亲缘关系的分析	320
一、节旋藻的多态性	320
二、5 个样品的亲缘关系	321
主要参考文献	322
第七章 螺旋藻的生物活性	324
第一节 螺旋藻粉的免疫活性	324
一、淋巴细胞转化	324
二、腹腔巨噬细胞吞噬	326
第二节 藻胆蛋白的抗癌活性	327
一、对人肝癌细胞系(HepG-2)的抑制作用	328
二、对人胃癌细胞系(MGC-803)的抑制作用	329
主要参考文献	331
第八章 鄂尔多斯高原的螺旋藻产业	332
第一节 螺旋藻产业中试研究	332
一、“卤水”养殖	333
二、“天然碱”养殖	335
三、“母液碱”养殖	336
四、简易配方养殖	336
五、利用生物质发电产生的烟气养殖	337
第二节 螺旋藻产业发展概况	337
一、螺旋藻产业的发展和现状	337
二、螺旋藻产品的质量	347
三、领导和相关部门对发展螺旋藻产业的重视	362
第三节 螺旋藻产业在发展中的可喜变化	364
一、养殖原料及其检测的变化	364
二、养殖和加工环节的改进	365
第四节 螺旋藻害虫及其防治	370
一、轮虫	370
二、水蝇	371
第五节 鄂尔多斯高原螺旋藻产业发展优势和存在问题	371
一、发展优势	371
二、存在问题及解决办法	378
三、鄂尔多斯螺旋藻产业的展望	386
主要参考文献	387
附录一 螺旋藻(节旋藻)某些酶的部分动力学指标	389
附录二 课题组承担的科研项目及发表论文	391
附录三 鄂尔多斯高原螺旋藻研究及产业大事记	397

附录四 常见螺旋藻培养液配方.....	401
附录五 卤虫简介.....	404
附录六 轮虫简介.....	406
中文索引.....	408
英文索引.....	415
后记.....	422
图版	

第一章 中国螺旋藻的故乡——鄂尔多斯高原碱湖

第一节 鄂尔多斯高原及其碱湖

一、鄂尔多斯高原概况

(一) 地理概况和两大沙区

1. 地理概况

鄂尔多斯高原(Erdos plateau)是我国第二大高原——内蒙古高原的一部分,南部与黄土高原毗邻,西、北和东部被黄河所环绕,地理坐标为 $37^{\circ}38'N \sim 40^{\circ}52'N$, $106^{\circ}27'E \sim 111^{\circ}28'E$,总面积约 13 万 km^2 (史培军 1992)。其在行政区划上基本属于鄂尔多斯市,后者位于内蒙古自治区西南隅(《今日内蒙古》丛书编委会 1997,《可爱的鄂尔多斯》编写组 1985)。下面仅从鄂尔多斯市的角度来介绍鄂尔多斯高原(图 1-1)。

鄂尔多斯市地形复杂,主体是略有起伏的内陆高平原。地势由南北向中间缓缓隆起,东胜区的西部与杭锦旗的东部之间为最高处,平均海拔 1400~1700 m;以隆起地带向四周波状起伏逐渐缓慢沉降,周围低,多数海拔为 1100~1500 m;而西部地势又呈崛起形,最西部有桌子山,海拔最高为 2149 m,地势总体是西北高东南低,总面积为 86 752 km^2 。按地形地貌,其土地可以分成 5 个类型区:①黄河沿岸平原区,主要由山洪冲积以及黄河泥沙等物质沉积而成,为一个狭长地带,东西长约 400 km,南北最宽处达 20 km 有余,最窄处逼近黄河,海拔一般为 1000~1100 m,面积 3784 km^2 ,约占总土地面积的 4.36%;②西部波状高原区,也称西部高原风蚀区,地处干燥剥蚀地带,地表多堆有风积沙,部分地区有大小不等的砂砾,海拔为 1300~1550 m,面积 24 513 km^2 ,约占 28.26%;③东部丘陵沟壑区,地势自高地向四周逐渐倾斜,呈现坡陡谷深、沟壑纵横的地形地貌,海拔为 1300~1500 m,面积 16 534 km^2 ,约占 19.06%;④库布其沙漠(Kubuqi desert)^①区,面积 16 757 km^2 ,约占 19.32%;⑤毛乌素沙地(Mu Us sandy land)^②区,面积 25 164 km^2 ,约占 29.01%,以上两大沙区土地面积约 4.19 万 km^2 ,占总面积的 48.32%。鄂市土壤类型分成 9 类:①风沙土,主要分布在两大沙区,面积为 41 742 km^2 ^③,占土壤总面积的 48.58%;②棕钙土,主要分布在西部,面积为 16 041 km^2 ,占 18.67%;③栗钙土,主要分布在锡尼镇、乌兰镇和北大池一线以东,面积为 10 067 km^2 ,占 11.72%;④潮土,分布于沿河平原,面积为 7554 km^2 ,占 8.79%;⑤粗骨土,主要分布在丘陵顶部或迎风坡上部,面积为 5352 km^2 ,

① 沙漠(desert)是指分布于干旱地区,地表被大片沙丘所覆盖的沙质荒漠。

② 沙地(sandy land)是指分布于干草原和草原地带,以固定和半固定沙丘为主的地区。

③ 原作者面积单位采用的是公顷,作者换算为 km^2 。

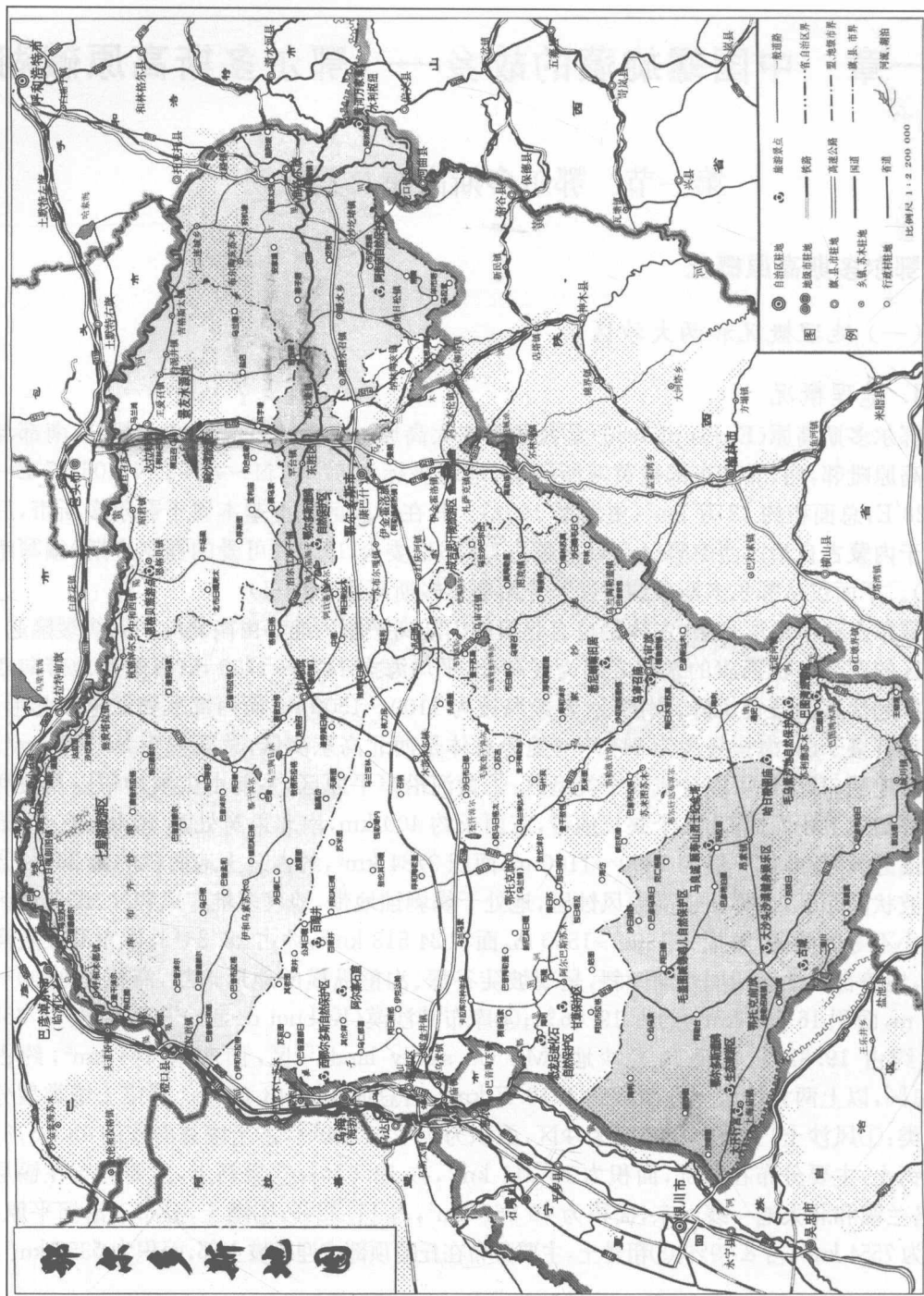


图 1-1 鄂尔多斯市地图(引自内蒙古北方测绘科技服务中心《鄂尔多斯旅游图》2009)

占 6.23%；⑥灰钙土，分布在西南角，面积为 2259 km²，占 2.63%；⑦灰漠土，主要分布在西北角，面积为 1891 km²，占 2.20%；⑧盐土，主要分布于沿河地区、丘间洼地及湖淖周围，面积为 948 km²，占 1.10%；⑨沼泽土，零星分布在积水洼地、封闭洼地及湖周围，面积为 68 km²，占 0.08%（单雄 1998，《今日内蒙古》丛书编委会 1997，伊克昭盟计划委员会 1988）。

鄂尔多斯高原由于水热等自然条件较好，在公元 5 世纪还是一片茂密的森林和肥美的草原。后来，由于干旱少雨、历代战争和掠夺式生产方式的破坏，形成了南北两大沙漠（desert）（内蒙伊克昭盟农林科学研究所 1976）。近几年来，随着退耕还林还草和禁牧、休牧、轮牧、舍饲制度的落实，这里的生态环境发生了根本性的变化，库布其沙漠周边区域沙漠扩展现象得到有效的遏制，毛乌素沙地呈现出区域性逆转，林草覆被率由过去的 17% 提高到 80%（高平和王燕琦 2007），就连当地人都感觉到这里一年一个新面貌。

2. 两大沙区

库布其沙漠：“库布其”蒙古语意为弓上的弦，其弓指弯曲的黄河。库布其沙漠位于鄂尔多斯高原的北部、黄河的南岸，在行政区划上属于杭锦旗、达拉特旗和准格尔旗。其地理坐标在 39°30'N~40°30'N, 106°56'E~111°20'E 范围，呈带状，东西长 400 km，南北宽 15~50 km（其中东部宽 15~20 km，西部宽 50 km）（图 1-2）（王蕴忠等 1998，单雄 1998，《可爱的鄂尔多斯》编写组 1985）。



图 1-2 库布其沙漠图（朱震达等 1980）

库布其沙漠位于温带干旱、半干旱气候区。其海拔 1100~1300 m，地势南部高，北部低，南部为构造台地，中部为风成沙丘，北部为河滩地。其流动沙丘占 80%，以新月形沙丘链和格状沙丘为主，一般高度 10~15 m，个别也有高达 50~60 m。固定、半固定沙丘的分布仅限于沙漠边缘，且以南部为主，沙丘高度在 5 m 以下。沙漠西部和北部因其靠近黄河，地下水位较高，水质较好（《可爱的鄂尔多斯》编写组 1985，朱震达等 1980）。

库布其沙漠为地带性植被,东部为干草原类型,西部为荒漠草原类型,西北部为草原化荒漠类型。干草原植被类型以多年生禾本科植物占优势,此外还有小半灌木百里香(*Thymus serpyllum*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza dahurica*)、阿尔泰紫菀(*Heteropappus altaicus*)等。西部和西北部建群种为狭叶锦鸡儿(*Caragana stenophylla*)、藏锦鸡儿(*C. tibetica*)以及沙生针茅(*Stipa glareosa*)、多根葱(*Allium polyrhizum*)等。流动沙丘上很少有植物,仅有沙拐枣(*Calligonum mongolicum*),在沙丘下部和丘间生长有籽蒿(*Artemisia sphaerocephala*)、沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)、沙鞭(*Psammochloa villosa*)等。半固定沙丘,东部以油蒿(*Artemisia ordosica*)、柠条锦鸡儿(*C. korshinskii*)、沙蓬、沙鞭等为主;西部以油蒿、柠条、霸王(*Zygophyllum xanthoxylum*)、沙冬青(*Ammodendron mongolicum*)等为主。固定沙丘,东西部都以油蒿为建群种(徐恒刚 2005)。

毛乌素沙地:“毛乌素”蒙古语意为“不好的水”,该词最早来源于陕西省靖边县毛乌素村。毛乌素沙地也称乌审沙地,是内蒙古自治区八大沙区之一,居第四位。其位于鄂尔多斯高原中南部和黄土高原的北部,地理坐标位于 $37^{\circ}27'N \sim 39^{\circ}22'N$, $107^{\circ}20'E \sim 111^{\circ}30'E$,包括内蒙古自治区鄂尔多斯市的中南部、陕西榆林地区的北部和宁夏回族自治区的东北部,总面积约 4 万 km^2 (图 1-3),其中在鄂尔多斯市的属于乌审旗、鄂托克前旗、鄂托克旗和伊金霍洛旗(杨永梅等 2007,徐恒刚 2005,吴薇 2001,昭 and 斯图 1998)。

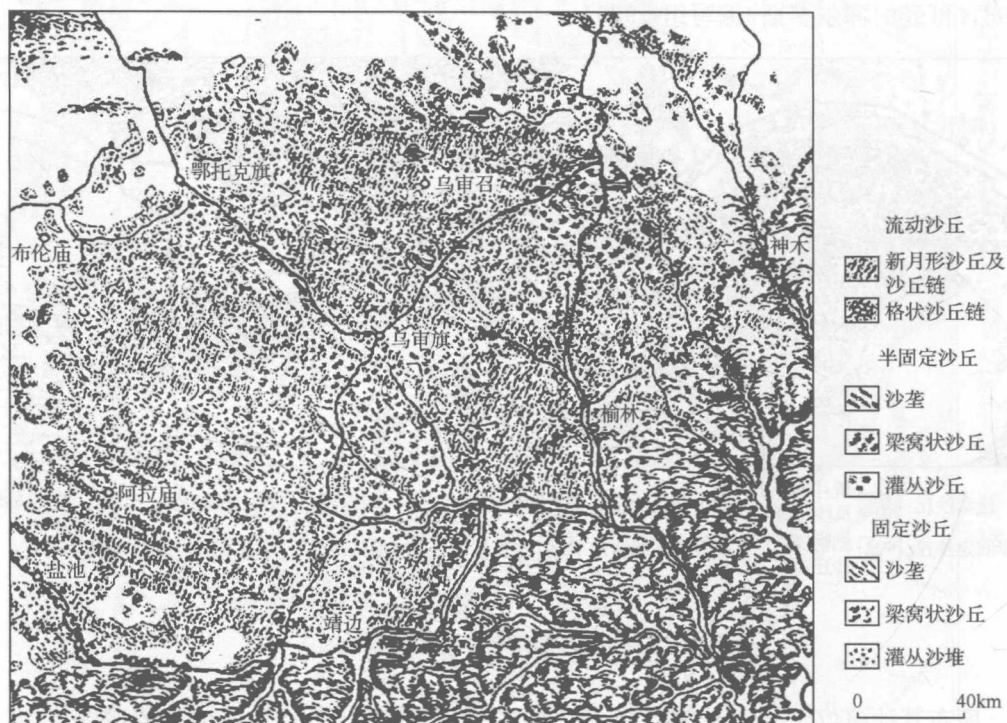


图 1-3 毛乌素沙地图 (朱震达等 1980)

毛乌素沙地自西北向东南倾斜,海拔 1200~1600 m。沙地类型主要为新月形沙丘及沙丘链,沙丘高度多为 5~10 m,也有高至 10~20 m,沙丘一般从西北向东南移动。20 世