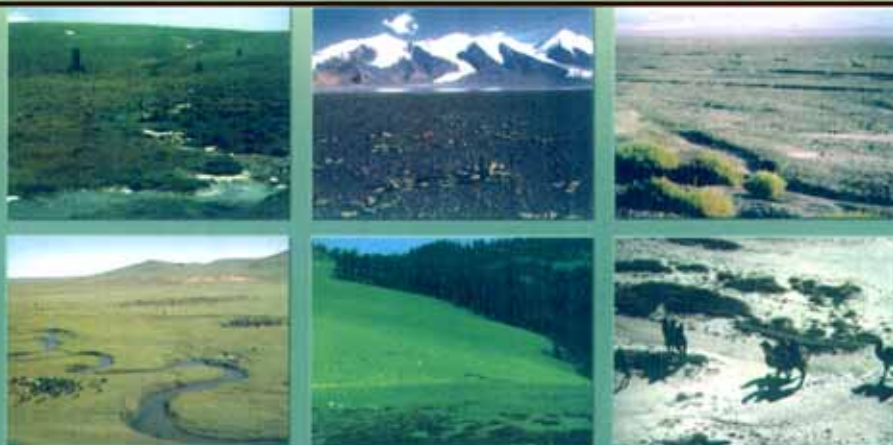
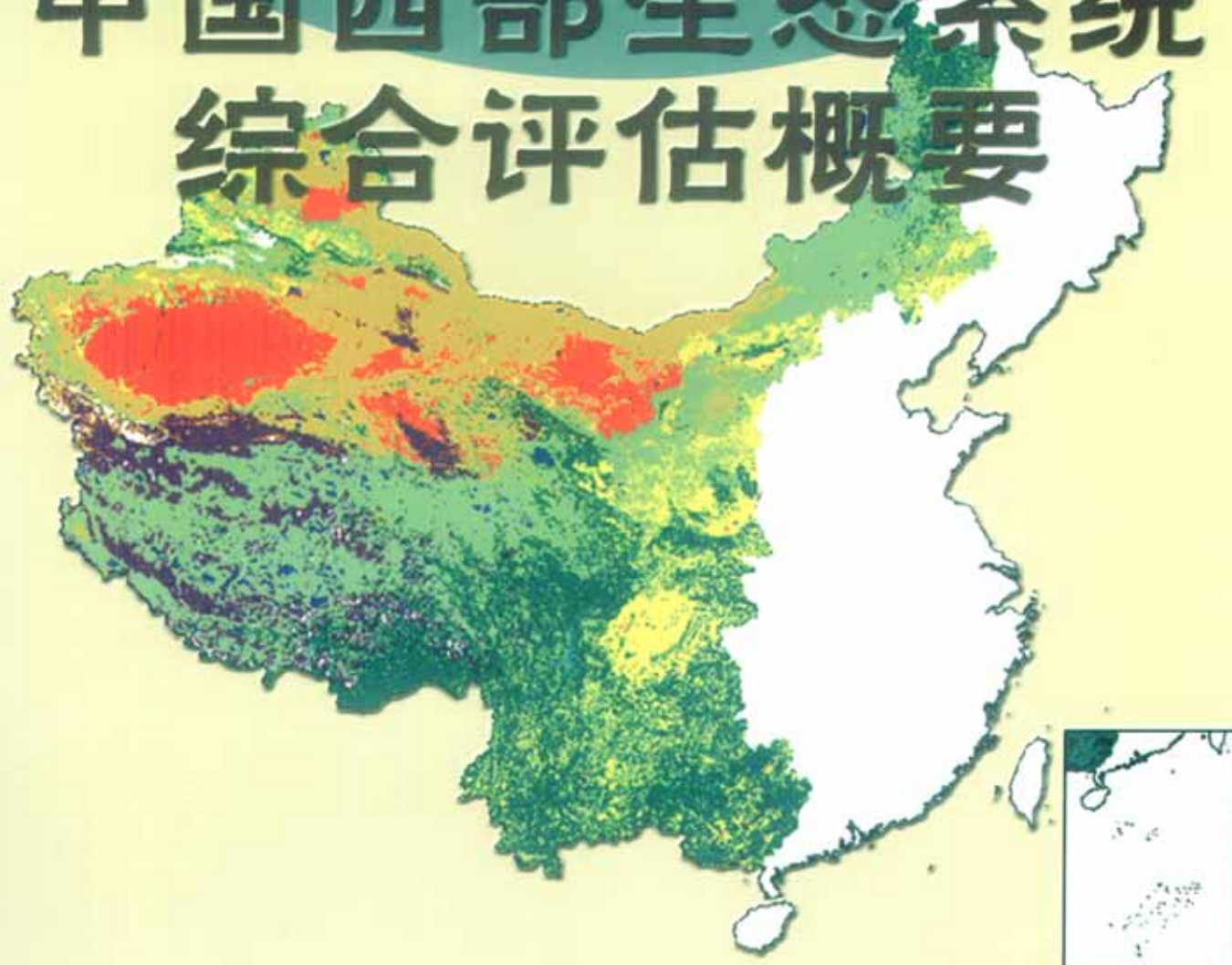


中国科技部国际科技合作重点项目  
国际千年生态系统评估计划亚全球评估项目



# 中国西部生态系统 综合评估概要



中国西部生态系统综合评估项目组

# 中国西部生态系统综合评估项目

**项目首席科学家：**刘纪远

**项目课题组长（按姓氏笔划排序）：**

成员：王桥，刘纪远，庄大方，李秀彬，岳天祥，欧阳华，欧阳志云，  
赵士洞，夏军，董锁成，鞠洪波

**项目国际顾问委员会：**

主席：Jerry M. Melillo

成员：Jerry M. Melillo, Thomas Rosswall, Anthony Janetos,  
Masataka Watanabe, 赵士洞

**项目报告编写组：**

主编：刘纪远，岳天祥，鞠洪波，王桥，李秀彬

成员（按姓氏笔划排序）：王一谋，王传胜，王奉瑜，王英安，马胜男，  
邓祥征，冉圣宏，田永中，吕昌河，庄大方，吴世新，李增元，  
周万村，欧阳华，欧阳志云，范泽孟，战金艳，赵士洞，夏军，  
袁秉正，陶波，曹明奎，曹敏，游有林，董锁成，Masataka Watanabe,  
Qinxue Wang

**资助单位：**

中华人民共和国科学技术部  
联合国千年生态系统评估计划  
中国科学院  
日本国立环境研究所

**执行单位：**

中国科学院地理科学与资源研究所  
中国林业科学院资源信息研究所  
国家环保总局信息中心  
中国科学院生态环境研究中心  
中国科学院西双版纳热带植物园  
中国科学院成都山地研究所  
中国科学院新疆生态与地理研究所  
中国科学院寒区旱区环境与工程研究所  
日本国立环境研究所

# 目录

1. 引言	1
1.1. 千年生态系统综合评估	1
1.1.1. MA 的内涵	1
1.1.2. 概念框架	3
1.1.3. MA 亚全球评估项目的空间分布	4
1.2. 中国西部和西部大开发	5
1.2.1. 西部概况	5
1.2.2. 西部大开发战略	5
1.3. 评估过程	7
2. 评估方法	10
2.1. 中国西部生态系统综合评估系统	10
2.2. 中国西部生态分区	12
2.3. 中国西部生态系统综合评估的数据库集成	15
2.3.1. 数据集成平台建设	15
2.3.2. 支撑数据获取和共享的技术平台	15
2.4. 专业模型构建	16
2.4.1. 高精度曲面建模: 解决多尺度问题的一种新方法	16
2.4.2. 气温变化空间插值模型	16
2.4.3. 陆地生态系统空间分布 HLZ 分析模型	17
2.4.4. 多尺度生态多样性模型	18
2.4.5. 斑块连通性模型	18
2.4.6. CEVSA 模型	19
2.4.7. 陆地生态系统食物供给功能评估方法	19
2.4.8. SMPD 人口分布曲面建模	23
2.4.9. 阈值模型	23
2.5. 模型库系统	24
2.5.1. 模型库系统设计	24
2.5.2. 模型库	25
2.5.3. 模型字典	26
2.5.4. 模型库管理系统	27
2.5.5. 模型库系统与 GIS 集成	27
3. 现状与趋势	28
3.1. 气候变化趋势	28
3.2. 中国西部陆地生态系统空间格局的现状与变化趋势	32
3.2.1. 中国西部陆地生态系统空间分布的现状与变化趋势	32
3.2.2. 中国西部 HLZ 陆地生态系统面积的平均变化趋势	35
3.2.3. 中国西部 HLZ 陆地生态系统多样性和斑块连通性变化趋势	35
3.3. 中国西部主要生态系统的现状与趋势	36
3.3.1. 森林生态系统	36
3.3.2. 草地生态系统	37
3.3.3. 农田生态系统	38
3.3.4. 湿地生态系统	39
3.4. 土地利用现状与变化趋势	41
3.4.1. 中国西部土地利用面积变化的基本特点	42
3.4.2. 中国西部土地利用类型的收缩与扩张	42
3.4.3. 中国西部土地利用类型的变化	43
3.5. 中国西部地区陆地生态系统初级生产力 (NPP) 与碳汇 (NEP) 变化趋势	44

3.6. 淡水.....	45
3.6.1. 西北地区淡水资源.....	45
3.6.2. 西南地区淡水资源.....	46
3.7. 食物.....	46
3.7.1. 西部地区农田生态系统食物供给功能.....	46
3.7.2. 西部地区草地生态系统食物供给功能.....	47
3.7.3. 西部地区林地生态系统食物供给功能.....	48
3.7.4. 西部地区水生生态系统食物供给功能.....	48
3.8. 西部地区生态系统的人口可持续承载力分析.....	51
3.8.1. 人口分布的现状与趋势.....	51
3.8.2. 人口可持续承载力和人口承载现状的区域分析.....	51
3.8.3. 生态系统人口压力.....	53
<b>4. 中国西部生态系统服务功能的主要冲突.....</b>	<b>54</b>
4.1. 中国西部生态建设中资源、环境、生态的主要矛盾.....	54
4.1.1. 初级林业生产及畜牧业的发展与植被破坏加重的矛盾.....	54
4.1.2. 工农业用水和生活用水量增大与水资源日趋紧张的矛盾.....	54
4.1.3. 经济的快速发展与沙漠化继续蔓延的矛盾.....	55
4.1.4. 水土流失加剧.....	55
4.1.5. 湿地围垦与保护湿地的冲突.....	55
4.1.6. 人类的强度开发活动与各种灾害频繁发生的矛盾.....	55
4.1.7. 发展工业与环境污染的矛盾.....	55
4.2. 中国西部典型生态系统（区域）的生态服务功能冲突研究.....	55
4.2.1. 新疆三工河流域生态系统服务功能与人类福利.....	55
4.2.2. 内蒙古中南部生态系统服务功能冲突分析.....	58
4.2.3. 甘肃省庆阳市淤地坝建设的生态效益和经济效益.....	61
4.2.4. 长江上游梭磨河流域生态系统服务冲突分析.....	65
4.2.5. 嘉陵江流域退耕还林环境效益分析.....	67
<b>5. 情景分析.....</b>	<b>68</b>
5.1. 气候变化情景.....	68
5.1.1. 基于 HadCM3 A1FI 的气候情景.....	68
5.1.2. 基于 HadCM3 A2a 的气候情景.....	72
5.1.3. 基于 HadCM3 B2a 的气候情景.....	72
5.2. 陆地生态系统未来情景分析.....	73
5.2.1. 陆地生态系统空间分布.....	73
5.2.2. HLZ 陆地生态系统平均面积未来情景.....	76
5.2.3. HLZ 生态系统平均中心偏移趋势.....	77
5.2.4. HLZ 生态系统多样性.....	78
5.3. 土地覆被未来情景.....	79
5.3.1. 土地覆被类型空间分布.....	79
5.3.2. 土地覆被类型变化.....	81
5.3.3. 土地覆被类型面积变化.....	82
5.3.4. 土地覆被类型的多样性和连通性.....	83
5.3.5. 土地覆被类型平均中心偏移.....	83
5.4. 食物.....	85
5.4.1. 气候变化对西部地区生态系统食物供给功能影响的情景分析.....	85
5.4.2. 中国西部地区人口承载力情景.....	87
5.4.3. 人口空间分布情景.....	87
5.4.4. 中国西部地区可持续人口承载力情景与人口增长情景对比分析.....	89
5.5. 中国西部发展的未来情景.....	90
5.5.1. “区域不均衡发展”情景.....	91

5.5.2. “区域均衡发展”情景 .....	91
5.5.3. “环境保护导向型”情景 .....	91
5.5.4. “经济发展导向型”情景 .....	92
<b>6. 对策与建议 .....</b>	<b>93</b>
6.1. 西部生态建设的目标 .....	93
6.2. 分生态区生态环境治理建议 .....	93
6.2.1. 生态区划分 .....	93
6.2.2. 分生态区生态建设建议 .....	94
6.3. 西部地区退耕还林（草）的区域分析与建议 .....	99
6.3.1. 退耕还林（草）工程的实施背景与调整原因 .....	99
6.3.2. 退耕还林（草）的区域分析 .....	99
6.3.3. 退耕还林（草）工程的风险认知 .....	101
6.3.4. 退耕还林（草）工程建议 .....	102
6.4. 实现中国西部生态系统良性循环的关键措施 .....	102
6.4.1. 生物多样性保护 .....	102
6.4.2. 水资源合理开发利用 .....	103
6.4.3. 防治土地荒漠化，减缓沙尘暴影响 .....	104
6.5. 实现中国西部生态系统良性循环的宏观政策措施 .....	105
6.5.1. 生态政策建议 .....	105
6.5.2. 经济政策建议 .....	106
6.5.3. 管理政策建议 .....	108
<b>参考文献 .....</b>	<b>111</b>

## 表 目 录

表 2.1. 西部生态区 .....	14
表 2.2. 我国各地区气温与海拔高度的相互关系 .....	17
表 3.1. 中国西部 HLZ 陆地生态系统分类标准 .....	34
表 3.2. 1980-2000 年中国西部各省土地利用动态变化特征值 .....	42
表 3.3. 中国西部土地利用类型之间的转变 .....	43
表 3.4. 中国西部陆地生态系统食物供给功能 .....	49
表 3.5. 中国西部地区生态系统人口承载力与人口压力 .....	52
表 5.1. 不同生活标准下西部地区居民的营养物质需求 .....	87
表 5.2. 西部生态区在两种生活型下的可持续人口承载力与人口增长情景对比分析 .....	90
表 5.3. 西部大开发的主要政策要素 .....	90
表 6.1. 中国西部地区分省退耕还林面积与影响程度 .....	100

## 图 目 录

图 1.1.	生态系统服务功能及其与人类福利的联系 .....	2
图 1.2.	千年生态系统评估的概念框架 .....	3
图 1.3.	MA 亚全球评估项目的空间分布示意图 .....	5
图 1.4.	中国西部地貌类型分布图 .....	6
图 1.5.	中国西部生态系统综合评估项目的课题组织结构 .....	8
图 1.6.	MAWEC 项目组及国际顾问委员会与地方政府交流 .....	8
图 1.7.	科技部部长徐冠华院士会见国际顾问委员会成员 .....	9
图 2.1.	生态系统综合评估系统 .....	11
图 2.2.	中国西部生态区 .....	13
图 2.3.	中国西部生态系统综合评估的数据库集成系统平台 .....	15
图 2.4.	CEVSA 模型结构 .....	19
图 2.5.	模型库系统实现流程总体设计 .....	24
图 2.6.	模型库组成及其功能结构 .....	25
图 2.7.	模型库管理系统组成及功能 .....	26
图 2.8.	模型库系统与 GIS 集成 .....	26
图 3.1.	中国西部地区二十世纪 60 年代至 90 年代平均生物温度 .....	28
图 3.2.	中国西部地区二十世纪平均生物温度变化 .....	29
图 3.3.	中国西部地区二十世纪平均降水变化 .....	29
图 3.4.	中国西部地区二十世纪 60 年代、70 年代、80 年代和 90 年代平均降水 .....	30
图 3.5.	中国西部地区二十世纪 60 年代、70 年代、80 年代和 90 年代潜在蒸腾比率 .....	30
图 3.6.	中国西部地区二十世纪潜在蒸腾比率变化 .....	31
图 3.7.	基于陆地卫星 TM 数据的土地利用图 .....	31
图 3.8.	中国西部 HLZ 陆地生态系统空间分布变化趋势 .....	33
图 3.9.	中国西部 HLZ 陆地生态系统平均面积变化趋势 .....	35
图 3.10.	中国西部主要生态系统 .....	41
图 3.11.	中国西部 1981-2000 年 NPP 和 NEP 平均分布图 .....	44
图 3.12.	CEVSA 模拟的中国西部地区 NPP 和 NEP 变化趋势图 .....	45
图 3.13.	中国西部地区生态系统食物供给功能 .....	50
图 3.14.	中国人口分布变化趋势 .....	50
图 3.15.	中国西部地区在富裕生活水平下生态系统人口承载力与人口压力 .....	52
图 4.1.	三工河流域 TM 影像 .....	56
图 4.2.	不同年份三工河流域绿洲生态系统总的服务功能 .....	58
图 4.3.	内蒙古中南部 1985、1990、1995 与 2000 年 NDVI 的空间分布 .....	59
图 4.4.	内蒙古中南部 20 世纪 80 年代、90 年代与 2000 年植被净第一性生产力的变化 .....	59
图 4.5.	沟道治理示意图 .....	61
图 4.6.	淤地坝主体结构图 .....	62
图 4.7.	庆阳市土地利用现状图 .....	63
图 4.8.	坡耕地与坡地对比 .....	64
图 4.9.	梭磨河流域地理位置及形状 .....	66
图 4.10.	嘉陵江流域退耕还林不同坡度年总侵蚀量 .....	67
图 5.1.	基于 HadCM3 A1FI 的平均生物温度 .....	68
图 5.2.	基于 HadCM3 A1FI 的平均生物温度变化 .....	69
图 5.3.	基于 HadCM3 A1FI 的平均降雨量变化 .....	69
图 5.4.	基于 HadCM3 A1FI 的平均降雨量 .....	70
图 5.5.	基于 HadCM3 A1FI 的潜在蒸腾比率 .....	70
图 5.6.	基于 HadCM3 A1FI 的潜在蒸腾比率变化 .....	71
图 5.7.	气候变化对生态系统食物供给功能的影响系数 .....	71
图 5.8.	基于 HadCM2d1 的中国 HLZ 陆地生态系统空间分布 .....	74

图 5.9. 基于 HadCM3A1FI 的中国 HLZ 陆地生态系统空间分布 .....	75
图 5.10. 基于 HadCM2d1 的中国 HLZ 陆地生态系统面积变化.....	77
图 5.11. 基于 HadCM3A1FI 的中国 HLZ 陆地生态系统面积变化 .....	77
图 5.12. 中国 HLZ 生态系统平均中心偏移趋势 .....	78
图 5.13. 中国基于 HadCM3 A1FI 的土地覆被未来情景 .....	80
图 5.14. 中国基于 HadCM3A2a 的土地覆被未来情景.....	81
图 5.15. 中国基于 HadCM3B2a 的土地覆被未来情景.....	82
图 5.16. 未来 100 年土地覆盖类型平均中心偏移趋势 .....	84
图 5.17. 中国西部各生态区温饱型生活的平均人口承载力 .....	88
图 5.18. 中国西部各生态区富裕型生活的平均人口承载力 .....	88
图 5.19. 2020 年中国人口空间分布情景 II .....	89
图 5.20. 中国西部未来情景描述 .....	91
图 6.1. 生态重点区空间分布图 .....	94
图 6.2. 中国西部地区退耕还林的地域分布 .....	100



## 1. 引言

西部大开发是中国政府的一项重要战略决策。由于中国西部地区生态环境十分脆弱，任何不合理的人类活动和资源利用都会导致不可恢复的生态退化，因此，中国西部生态系统综合评估对西部大开发具有重要意义。该项目的开展将为地方政府和中央政府的西部生态保护与生态建设决策提供重要的科学依据，从而保证国家西部大开发战略的顺利实施。与此同时，中国西部生态系统综合评估作为全球亚全球评估项目之一正在为促进生态学的发展、学科之间的交叉和科学研究与实践的结合贡献中方的力量，正在推动相关领域的国际合作。

### 1.1. 千年生态系统综合评估

千年生态系统评估 ( Millennium Ecosystem Assessment, 缩写为 MA ) 是一项为期四年的国际合作项目，其目标是满足决策者对生态系统与人类福利之间相互联系方面科学信息的需求 ( <http://www.millenniumassessment.org> )。MA 是由联合国秘书长安南于 2001 年 6 月宣布启动的，其主要的评估报告在 2003-2005 年期间陆续出版。

MA 对生态系统、生态系统服务功能和人类福利给出了如下定义：生态系统是植物、动物和微生物群落及其无机环境的动态复合体和相互作用功能单元，树洞里一个临时的小水洼，以及辽阔的海洋盆地，都可以被称之为一个生态系统；生态系统服务功能是指人类从生态系统中获得的效益，这些效益包括供给功能（如粮食与水的供给）、调节功能（如调节洪涝、干旱、土地退化，以及疾病等）、支持功能（如土壤形成与养分循环等）和文化功能（如娱乐、精神、宗教以及其它非物质方面的效益）；人类福利具有多重成分，包括维持高质量的生活所需的基本物质条件、自由权与选择权、健康、良好的社会关系，以及安全等。

目前，一方面生态系统退化对人类福利和经济发展造成的冲击正日益加剧，另一方面，为消除贫困和实现可持续发展而必须更合理地管理生态系统也为人类提供了难得的机遇。正是基于对以上形势的充分认识，联合国秘书长安南于 2000 年 4 月在联合国成员国大会上所做的千年报告中讲过下面这一段话 ( Millennium Ecosystem Assessment, 2003 )：如果没有充分的科学信息，就无法拟定一项有效的环境政策。目前，虽然我们已经在许多领域获取了大量的数据和信息，但是我们所具备的知识仍然很不足。特别是到目前为止，我们尚没有实施一项针对全球主要生态系统的综合性评估计划。千年生态系统评估计划就是通过国际间的合作，描绘地球健康状况的一项重要的国际合作计划，这一计划将填补以上空白。

#### 1.1.1. MA 的内涵

生态系统服务功能是指人类从生态系统获得的效益。在千年生态系统评估中，MA 将生态系统服务功能概括为供给功能、调节功能、支持功能和文化功能。其中，供给功能如生态系统供给的产品，包括食物、燃料和纤维等；调节功能如调节气候和控制疾病的功能；非物质效益如精神与美学效益。以上这些效益的变化将以多种方式影响人类的福利状况 ( 图 1.1 )。

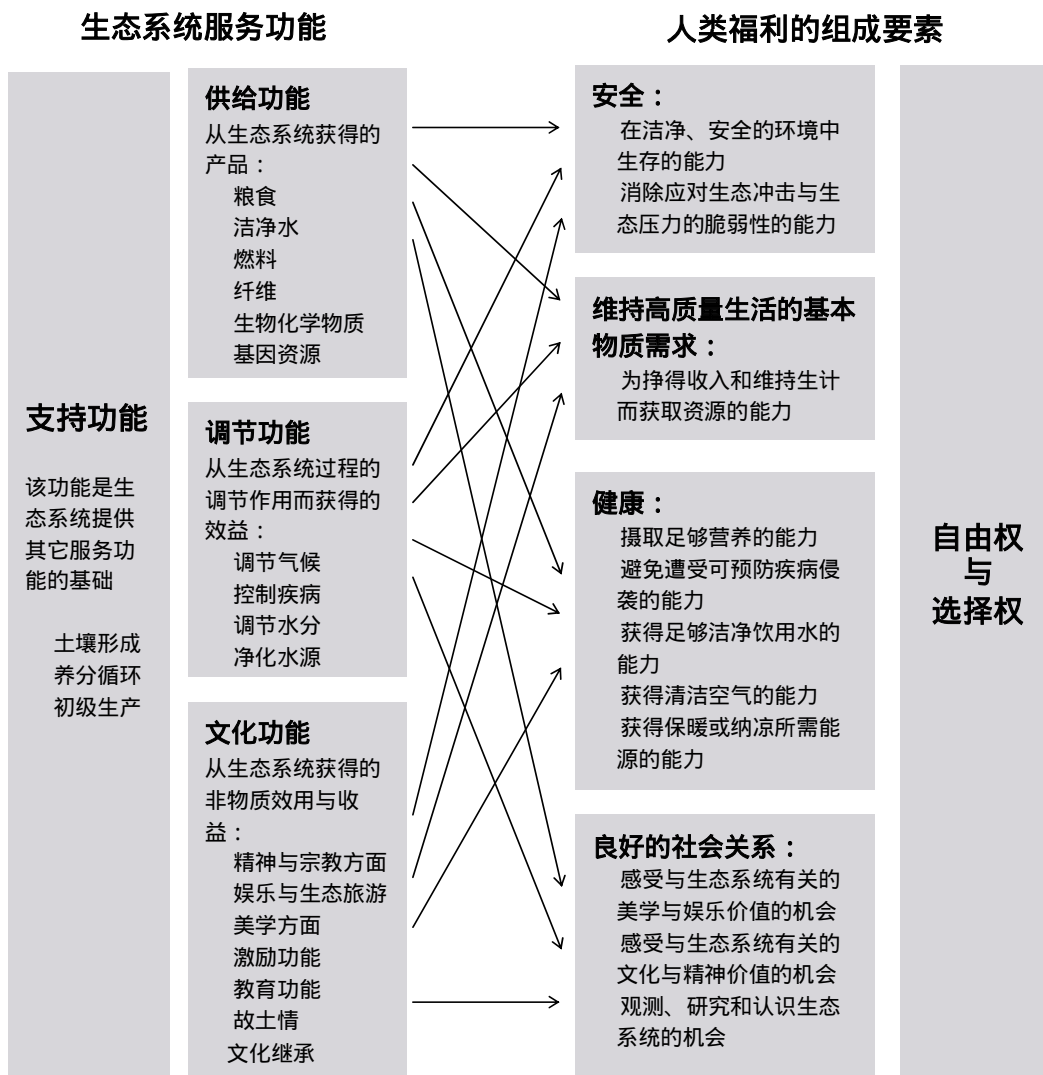


图 1.1. 生态系统服务功能及其与人类福利的联系

当前，由于人类对生态系统服务功能的需求极大，因此考虑生态系统的各项服务功能之间的利害关系，已成为了一项重要的原则。例如，一个国家可以通过砍伐森林扩大农田的方式来增加粮食供给。但是这样做降低了生态系统的其它功能。在未来的几十年里，这些被降低了的生态系统功能与粮食生产相比，或许同等重要，甚至更为重要。根据当前的估计，至 2050 年，世界净增的 30 多亿人口和经济发展翻两番的状况，将意味着对生物资源的需求与消费猛增，同时对生态系统及其服务功能的影响也逐步增强。

面对日益退化的生态系统，人类对其服务功能的各种需求反而持续上升，这使得人类实现可持续发展的前景受到严重的影响。人类福利不仅受生态系统服务功能供需差距的影响，而且还受个体、社区，以及国家层次脆弱性上升的影响。高生产力的生态系统及其服务功能，可以为人类和社区提供应对自然灾害和社会剧变的重要资源和对策，进而成为人类安全的保障。管理水平高的生态系统能够降低风险与脆弱性，而管理欠佳的生态系统却往往可能增加洪涝、干旱、农作物歉收，以及疾病等灾难的发生，从而进一步加剧风险与脆弱性。

近几十年来，不仅世界上的生态系统经历了巨大的变化，而且社会系统也发生了同样复杂的变迁。同时，社会系统的变化不仅给生态系统施加了压力，而且也提供了应对这些压力的机遇。随着一个更加复杂的制度组合（包括区域管理机构、跨国公司、联合国，以及民间社会组织）影响力的上升，单个国家的影响相对已经减小。各利益群体已经更加积极地参与到了制定决策的过程之中。由于生态系统受许多部门决策的影响，所以为决策者提供生态系统信息的挑战就越来越严峻。同时，新的制度可能为生态系统信息的迅速扩展提供一个前所未有的机遇。完善生态系统管理，达到提高人类福利的目的，将需要以新的制度与政策组合，以及资源所有权与使用权的变化作保证。在当今快速发展的社会背景下，以上条件的实现将比以往任何时候更有可能。

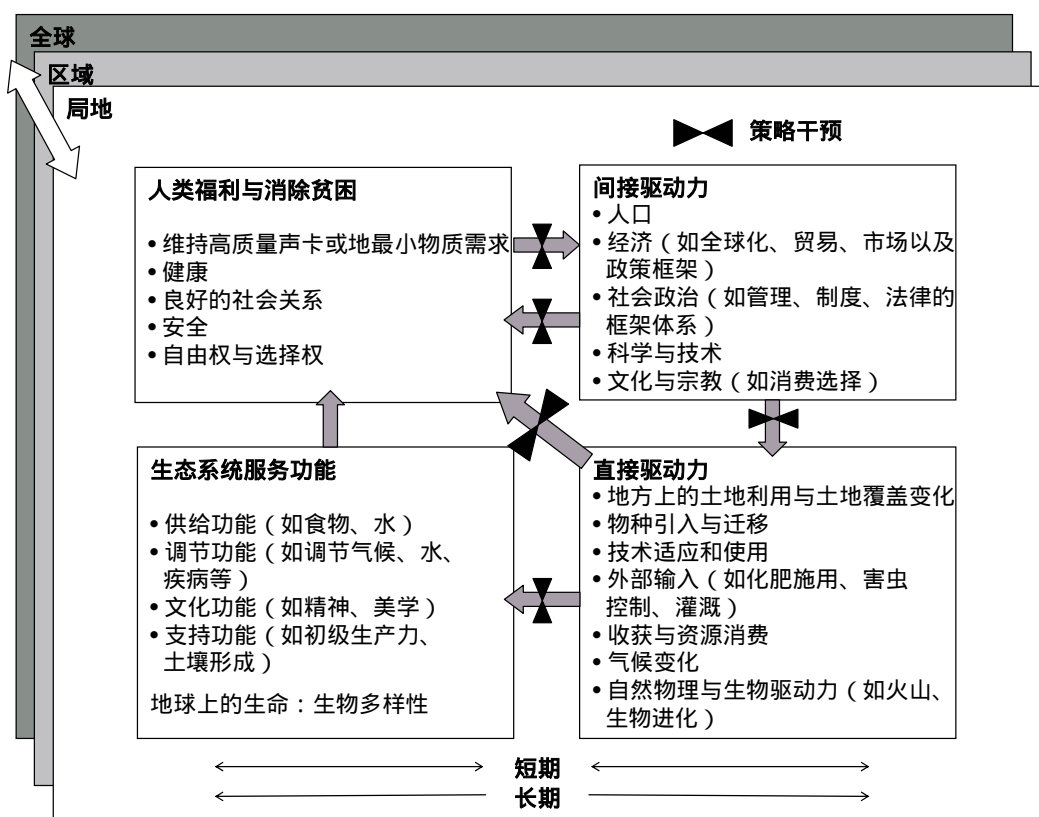


图 1.2. 千年生态系统评估的概念框架

### 1.1.2. 概念框架

在 MA 的概念框架中，人类福利是评估的核心内容。同时，MA 认为生物多样性和生态系统具有内在价值，人类在进行与生态系统有关的决策时，既要考虑人类福利，同时也要考虑生态系统的内在价值（图 1.2）。MA 认为，在人类与生态系统之间存在一种动态的相互作用：一方面，人类的变化状况直接或间接影响着生态系统的变化；另一方面，生态系统的变化又引起人类福利的变化。同时，还有独立于环境之外的许多其它因子在对人类的状况产生着影响，许多自然驱动力也正在影响着生态系统。

MA 特别关注生态系统服务功能与人类福利之间的联系。该评估计划涉及从那些受干扰相对较少（如天然林）到集约经营（如农田和城市）的各种生态系统类型。对人类与生态系统之间的相互作用进行完整的评估需要一种多尺度的方法。因为多尺度方法可

以反映决策的多尺度本质，可以检验某一特定区域的外部驱动力，检验对生态系统影响的途径，以及对不同区域和区域内不同群体的政策响应。

### 1.1.3. MA 亚全球评估项目的空间分布

MA 区别于以往全球评估的开拓性方面包括对生态系统与人类福利的聚焦和评估的多尺度性。换句话说，MA 是在社区、流域、国家、区域和全球等多空间尺度对生态系统与人类福利的综合评估。由于生态系统在空间和时间上的高度变异性，在社区、流域、国家和区域等亚全球评估 (Sub-Global Assessments) 是非常必要的，它有助于各种空间尺度生态系统的有效管理。

已批准的 MA 亚全球评估项目 (图 1.3) 包括巴布亚-新几内亚小群岛 (Small Islands in Papua New Guinea)，菲律宾千年生态系统评估 (the Philippines Millennium Ecosystem Assessment)，越南湄公河下游湿地 (Downstream Mekong River Wetlands Ecosystem Assessment, Vietnam)，中国西部生态系统综合评估 (Integrated Ecosystem Assessment of Western China)，阿尔泰-赛颜生态区 (Altai-Sayan Ecoregion)，印度村庄 (Local Villages in India)，南非亚全球评估 (Southern African Sub-Global Assessment)，挪威千年生态系统评估 (Norwegian Millennium Ecosystem Assessment)，挪威克里斯蒂安桑地区 (Ecosystem Management and Social-Ecological Resilience in Kristianstads Vattenrike and River Helgeå catchment)，斯德哥尔摩城市评估 (Stockholm Urban Assessment)，葡萄牙千年评估 (Portugal Millennium Assessment)，特立尼达岛山脉评估 (Assessment of the Northern Range of Trinidad)，秘鲁亚全球评估 (Vilcanota Sub-Region of Peru)，智利亚全球评估 (Salar de Atacama of Chile)，加勒比海评估 (Assessment of the Caribbean Sea)，加拿大大不列颠哥伦比亚沿海地区 (Coastal British Columbia in Canada) 和泛热带研究区 (The Pan-Tropic Research Sites of the CGIAR “Alternatives to Slash and Burn”)。

待批准的 MA 亚全球评估项目 (图 1.3) 包括阿拉伯地区千年生态系统评估 (Arab Region Millennium Ecosystem Assessment)，西奈亚全球评估 (Sinai Sub-Global Assessment)，阿拉弗拉海-帝汶海亚全球评估 (Arafura and Timor Seas Sub-Global Assessment)，印度尼西亚亚全球评估 (Indonesia Sub-Global Assessment)，圣保罗绿带保护区评估 (São Paulo City Green Belt Biosphere Reserve Assessment)，哥斯达黎加亚全球评估 (Chirripo Basin of Costa Rica)，哥伦比亚亚全球评估 (Ecological Function Assessment of Biodiversity in the Colombian Andean Coffee-Growing Region)，中亚山区生态系统评估 (Assessment of the Central Asian Mountain Ecosystems)，大亚洲山区评估 (The Great Asian Mountains Assessment)，中国大江大河上游地区生态系统评估 (The Upstream Region MA of the Great Rivers, Northwest Yunnan, China)，斐济亚全球评估 (Fiji Sub-Global Assessment)，印度-克什喜马拉雅地区环境服务评价 (Environmental Service Assessment in Hindu-Kush Himalayas Region) 和印度城市评估 (Indian Urban Assessment with Focus on Western Ghats)。



图 1.3. MA 亚全球评估项目的空间分布示意图

( 标示●为已批准资助亚全球评估项目；标示●为待批准资助亚全球评估项目 )

## 1.2. 中国西部和西部大开发

### 1.2.1. 西部概况

中国西部由西南五省区市（四川、云南、贵州、西藏、重庆）、西北五省区（陕西、甘肃、青海、新疆、宁夏）和内蒙古、广西 12 个省级行政区域组成。西部地区面积约 675.46 万  $\text{km}^2$ ，约占全国总面积的 71%。1999 年末，西部地区总人口约 3.65 亿，约占全国总人口的 29%。

西部地区地域辽阔，自然条件复杂，地貌类型多样，难利用土地面积大、分布广。在各种地貌类型中以山地所占比例最高，约为 49.7%，丘陵、台地、平原和高原也有一定分布，分别占土地总面积的 14.9%、1.7%、17.1%和 16.6%（图 1.4）。此外，西部地区难利用土地如沙漠、戈壁、岩石和砾质地等广泛分布。西部地区自然资源和生物多样性异常丰富，是长江、黄河、黑河、澜沧江、珠江等大江大河的发源地和主要集水区。区内气候条件差异显著，西北干旱少雨，西南温湿多雨，青藏高原寒冷少氧。恶劣多变的自然条件导致西部大部分区域生态环境脆弱，生态承载力相对低下。西部地区土地辽阔、人口相对稀少，自然资源丰富。一方面，人民生活水平远远落后于全国平均水平，经济发展相对落后，经济总量小；另一方面，资源开发和经济发展方式粗放落后，工业产值低，以农业和其他资源开发为主的经济结构加剧了对生态环境的压力。

### 1.2.2. 西部大开发战略

西部大开发战略目标是：经过几代人的艰苦奋斗，到 21 世纪中叶全国基本实现现代化时，从根本上改变西部地区相对落后的面貌，显著地缩小地区发展差距，努力建成一个经济繁荣、社会进步、生活安定、民族团结、山川秀美、人民富裕的新的西部地区。五年来，国家在规划指导、重大工程建设、资金投入、政策措施等多方面对西部大开发予以重点支持。中央建设资金累计安排西部地区约 4600 亿元，财政转移支付和专项补助累计安排 5000 多亿元，有力地支持了西部地区经济建设和社会事业发展。各地区、各部门特别是西部地区广大干部群众认真贯彻党中央、国务院关于西部大开发的方针政



策和部署，做了大量工作，付出了艰辛努力。西部大开发各方面工作取得重要进展，西部城乡面貌有了很大变化。

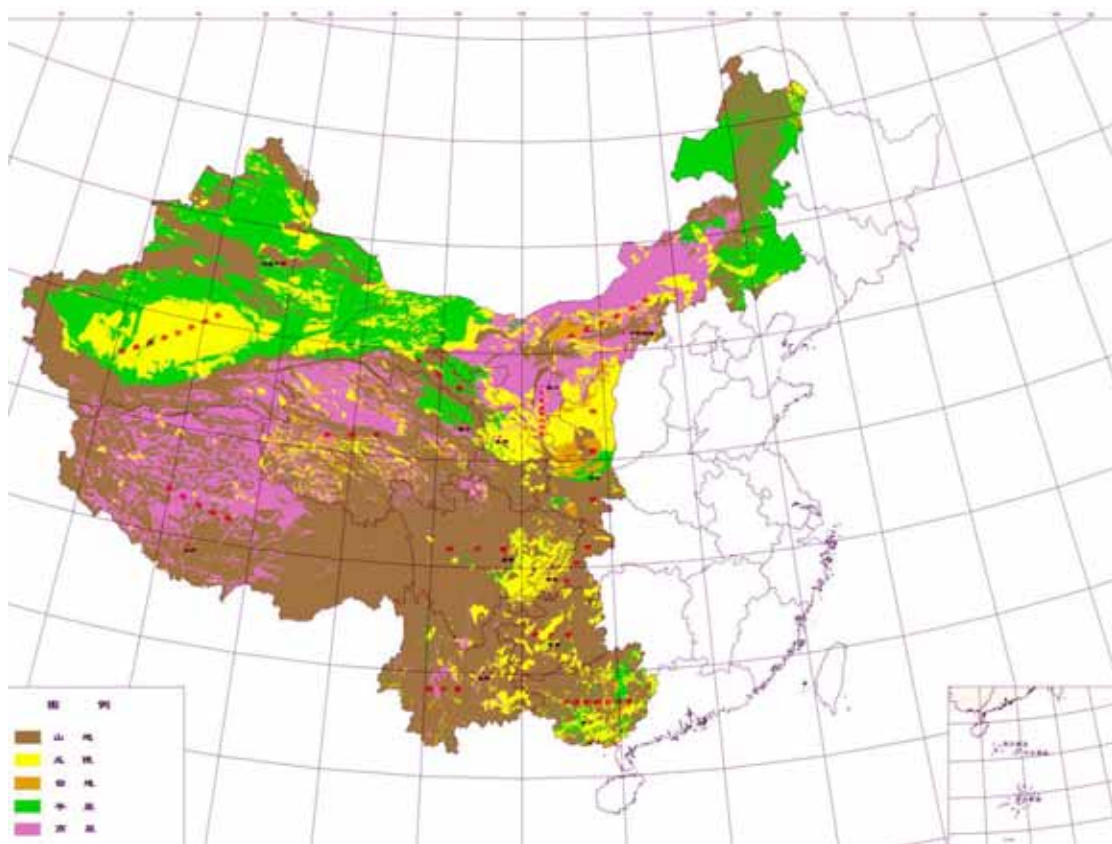


图 1.4. 中国西部地貌类型分布图

经济增长速度加快。2000 年至 2004 年，西部地区生产总值分别增长 8.5%、8.8%、10.0%、11.3%和 12%，高于前些年的增长速度。结构调整步伐加快，特色产业发展开始起步，财政收入逐年增长，经济效益逐步提高，人民生活不断改善。

基础设施建设取得较大进展。五年间，西部地区固定资产投资年均增长 20%以上，明显高于全国平均水平。陆续新开工 60 个重大建设工程，投资总规模约 8 500 亿元。交通干线、水利枢纽、西电东送、西气东输、通信网络等重大基础设施建设进展顺利。油路到县、送电到乡、广播电视到村、人畜饮水、沼气利用、节水灌溉等农村基础设施建设逐步推进，农村生产生活条件得到改善。

生态环境保护和建设显著加强。西部退耕还林 7 350 多万亩，荒山荒地造林 9 570 多万亩，退牧还草 1.9 亿亩。天然林保护、京津风沙源治理、三峡库区国土整治及水污染治理、江河源头生态保护等重点工程全面展开，取得明显成效。

科技教育等社会事业加快发展。科技体制创新不断推进，科技成果转化能力增强。科研基地和高技术产业化示范项目建设取得初步成果。重点高校基础设施建设和学科建设步伐加快。农村义务教育得到加强，7 000 多所中小学危房得到改造。农村医疗卫生条件有所改善，国家支持建设 260 所贫困县医院。疾病预防控制中心建设取得进展。干部交流和人才培训工作逐步展开。

西部大开发促进了其他地区的发展。西部地区重点工程建设所需的设备、技术等，很多来自于东部和中部地区，有效地扩大了这些地区的市场空间，促进了产业结构调整，增加了就业岗位。同时，西部地区还输出大量能源、原材料等资源，保证了其他地区经济发展的需要。这些都有力地支持了东部和中部地区的经济发展，为保持国民经济平稳较快增长发挥了重要作用。

西部大开发五年来取得的成绩，使全国各族人民特别是西部地区人民看到了西部发展的希望和前景，进一步增强了全面建设小康社会的信心和决心。实践充分证明，党中央、国务院关于实施西部大开发的战略决策是完全正确的，确定的重点任务和采取的政策措施是符合实际的。

继续推进西部大开发，是全面建设小康社会的重要任务，是形成国民经济发展新格局的重大举措，是全国实现可持续发展的重要条件，是国家长治久安的重要保证。坚持西部大开发，具有十分重大的经济意义和政治意义。

### 1.3. 评估过程

2000年12月初，应联合国环境规划署邀请，中国科技部组织有关专家组成科技代表团，在内罗毕与联合国环境规划署就双方合作，配合国际千年生态系统评估计划，实施中国西部生态系统综合评估项目进行了研究和讨论。2001年4月，中国西部生态系统综合评估研究项目被正式确定为首批启动的5个亚全球区域评估项目之一。2001年5月，科技部与国家环保总局决定，组织中国科学院、农业部、水利部、国土资源部、国家环保总局和国家林业局的有关科研单位和专家，正式启动中国西部生态系统综合评估项目，并决定以此为切入点，分步骤逐步启动全国范围的生态系统评估研究计划。

中国西部生态系统综合评估的目的包括：为中国西部大开发中的生态系统保护、管理与生态建设提供科学依据；通过综合集成有关数据和研究成果，形成完备的数据基础、分析工具和决策支持能力，增强对生态系统进行连续滚动的评估能力；改善我国的生态系统管理工作，并向广大公众传播生态学知识，为政府的区域可持续发展决策服务。

中国西部生态系统综合评估项目由科学技术部农村与社会发展司和国际合作司共同支持；由中国科学院地理科学与资源研究所、中国林业科学院资源信息研究所、国家环保总局信息中心共同主持；中国科学院生态环境研究中心、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、中国科学院新疆生态与地理研究所、中国科学院成都山地研究所和中国科学院西双版纳热带植物园等科研单位参加（图1.5）。

在此项目的研究过程中，加强与西部各省区地方政府的密切合作，使研究成果真正得到了有效的应用（图1.6）；聘请美国前总统科技顾问 Jerry M. Melillo 教授、国际科学联合会（ICSU）执行主席 Thomas Rosswall 教授、美国 H. John Heinz III 科学、经济与环境中心副主任 Anthony Janetos 教授、日本国立环境研究所理事 Watanabe Masataka 教授和 MA 亚全球评估工作组协调人 Marcus Lee 先生等组成“中国西部生态系统综合评估”项目（MAWEC）国际顾问委员会（图1.7），并多次参加本项目的咨询活动，使此项目研究成果符合国际 MA 的科学要求，达到较高的水准。

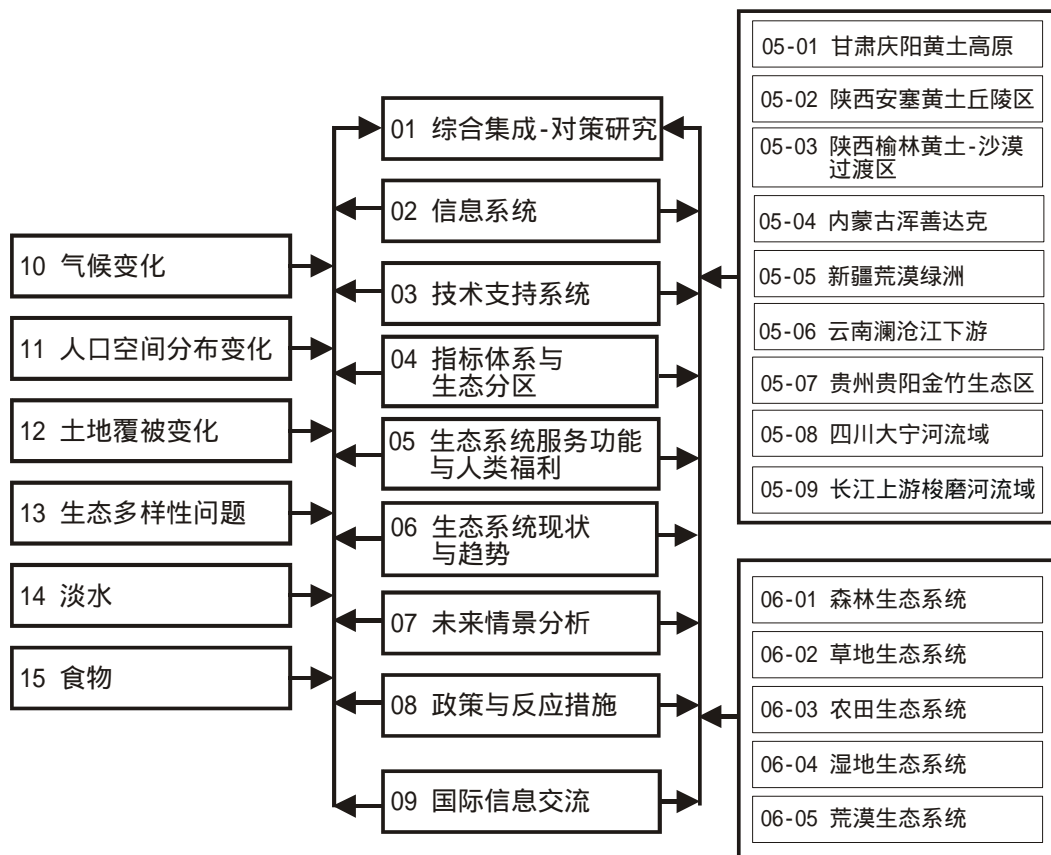


图 1.5. 中国西部生态系统综合评估项目的课题组织结构



图 1.6. MAWEC 项目组及国际顾问委员会与地方政府交流

(左图：新疆维吾尔自治区副主席熊辉银会见 MA 项目专家组成员；

右图：与甘肃省庆阳市有关部门在实地考察)





图 1.7. 中华人民共和国科学技术部部长、MA 理事会理事徐冠华院士会见国际顾问委员会成员

## 2. 评估方法

为了给我国顺利实施西部开发战略提供可靠的科学依据,配合国际千年生态系统评估过程的成功开展,“中国西部生态系统综合评估”将逐步实现中国西部生态系统及其服务功能变化对人类福利产生后果的全面评估。为了完成“中国西部生态系统综合评估”的设计内容,分析中国主要陆地生态系统的变化趋势和未来情景,评价中国西部生态系统的供给功能(如粮食与水的供给以及影响生态系统供给功能的生物多样性等)、调节功能(如气候和水土流失调节等)和支持功能(如初级生产力等),模拟中国西部生态系统及其服务功能变化的直接驱动力(气候变化和土地覆被变化等)和间接驱动力(人口变化和消费模式等),解决国际千年生态系统评估过程和“中国西部生态系统综合评估”亟待解决的尺度转换、跨尺度相互作用、空间尺度与时间尺度相互关联和多空间尺度数据处理问题以及生态系统服务功能与人类生计的阈值问题,我们在生态区划和梳理指标体系的基础上,运用曲面论基本定律、并行算法、多重网格法和区域分界算法建立了高精度曲面建模方法,运用格点生成理论建立了人口空间分布模拟模型,借助多重分形理论建立了生态多样性模型,运用熵产生和超熵产生理论建立了阈值模型。基本形成了以信息源、数据仓库、HPSM 信息融合平台、模型库系统、决策支持知识库和人机交互界面为基本构件的生态系统综合评估系统(Liu et al., 2002)。

### 2.1. 中国西部生态系统综合评估系统

中国西部生态系统综合评估系统以地理信息系统为平台,通过完善高精度曲面建模方法解决多时空尺度问题和当代地理信息系统的误差问题,运用格点生成法、区域分解算法和网格计算技术逐步实现生态系统多源信息的综合集成,在生态系统阈值和驱动力分析的基础上,实现生态系统及其服务功能的空间演化规律模拟和未来情景分析。中国西部生态系统综合评估系统的主要构建包括对各种来源数据进行标准化整理的数据仓库、以数据融合和尺度转换为主要功能的高精度曲面建模模块、包含生态系统阈值和驱动力分析的模型库系统及基于趋势与现状评价和未来情景分析的决策支持知识库(如图 2.1)。

数据仓库的建立过程包括数据净化、数据转换和数据更新(Han & Kamber, 2001)。由于中国西部生态系统综合评估系统涉及各种来源的海量数据,许多数据存在着属性值缺失或元数据缺失等不完整性问题,随机误差或奇异变化等噪音问题,同一属性数据由于其来源不同而具有不同属性名或与已知数据约束相冲突等不相容性问题;这些问题需要通过数据净化过程来处理。为了运行各种来源的数据,往往需要将数据转换为便于使用的形式和类型。由于中国西部生态系统综合评估的最终目标是为我国实施西部开发战略提供科学的决策依据,所以及时的数据更新是数据仓库建设必不可少的内容。

多尺度问题是新千年生态系统评估的理论焦点问题 (MA, 2003)，也是中国西部生态系统综合评估的面临的实际问题。为此建立的高精度曲面建模方法从根本上解决了以地理信息系统为平台研究的误差问题和多尺度问题 (岳天祥等, 2004, 2005)，实现了多源数据和多尺度数据的有效融合。例如，目前，监测生态系统及其服务功能变化过程的主要方式有两种 (岳天祥, 刘纪远, 2001a, 2001b)：一是单点定位观测或空间采样；二是利用遥感数据进行反演。单点定位观测或空间采样能较为准确地获取高时间分辨率的点上观测数据。但定位观测或空间采样只局限于离散、稀疏的有限空间点，不能直接得到区域尺度的有关参数，只能根据点数据进行估计，或以点代面，或利用简单的插值方法估算。而由于生态系统在空间属性上的非均匀性，利用点数据直接描述区域属性不能真实反映空间分布规律。遥感方法能频繁和持久地提供生态过程的面状信息，相对于单纯依靠地面站点定位观测是一个革命性的变化。但遥感描述并不能直接获得过程参数，需要通过遥感信息 (光谱信号和雷达信号) 结合地表特性进行反演。传统的解决方法是利用简单内插把离散数据空间化，但是这样处理的结果精度较差，大大影响了遥感反演的精度。高精度曲面建模能够包容整体规律和采样点或观测点之间的有机联系，实现点面信息的有效融合。

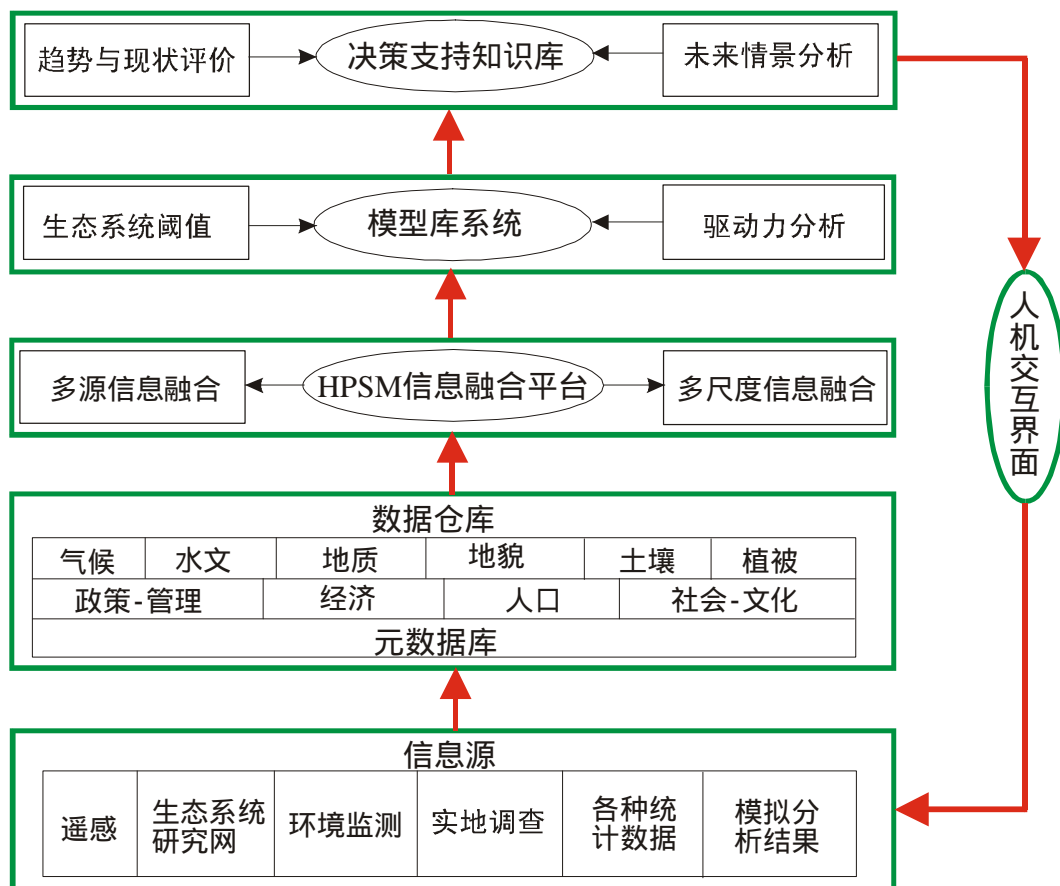


图 2.1. 生态系统综合评估系统

模型库系统两个很重要的作用就是模型的集成和运行。用户通常需要为模型输入数据和提供影响模型行为的参数。模型管理系统需要通过为用户提供使用各种模型的便捷途径、使用户便利地为模型输入参数和数据，满足模型运行和集成过程的需要。一个或多个模型的运行需要用户提供特定的指令来启动这个过程。模型库系统需要产生必要的指令结构，并使模型置于决策支持知识库之中。同时，模型库系统需要通过提供模型之间的必要联结和控制模型的运行顺序，将许多需要的指标模型或模件结合在一起，以形成决策支持知识库所必须的集成模型。模型系统必须把决策者与分析过程紧密的结合在一起，使模型的输出结果不仅是定量的，而且是针对具体决策问题、条件和限制的。模型库管理子系统拟实现如下 6 个功能：允许用户在已有模型的基础上产生新的模型，提供多种模型联接机制，以便序列处理和数据交换，允许用户为其特殊需要修改已有模型，具有存储、管理、使用和操作模型的规则系统，具有存储模型的分类系统和组织方案，具有类似数据库系统的所有功能（例如，运行、存储、检索、删除和联结等）。

在中国西部生态系统综合评估中，直接驱动力包括土地利用土地覆盖变化、气候变化和自然灾害等，间接驱动力包括人口变化、经济增长、消费模式、科技进步、政策、文化和宗教等。驱动力模型、基础模型、专业模型和阈值模型通过模型库系统与 HPSM 信息融合平台的集成，是中国西部生态系统及其服务功能趋势与现状评价和未来情景分析的基本保障。

为了使用户便利地使用决策支持知识库，必须建立一个有效的人机交互界面。人机交互界面的好坏直接影响着用户对系统的使用。一个好的人机交互界面，其输入应当简单、易学、易用。其输出应当做到内容丰富、形式活泼；在输入方法上可以采用先进的手写输入和语音输入，以及广为使用的多窗口图形化界面技术；在输出形式上可以包括文字报告、图表、可视化图形、语音合成，这些方式相互配合，相得益彰，可以取得令人满意的效果。人机交互界面是生态系统综合评估系统中用户和计算机的接口，起着在操作者、决策支持知识库、模型库系统、信息融合平台、数据仓库和信息源之间传送命令和数据的重要作用。对使用人员来说，需要有一个良好的对话接口，对维护人员需要有一个方便的软件工作环境。可以说，人机交互界面是生态系统综合评估系统的一个窗口，它的好坏标志着该系统的水平。

## 2.2. 中国西部生态分区

生态分区是依据区域生态环境敏感性、生态服务功能重要性以及生态环境特征的相似性和差异性而进行的地理空间分区。为了满足宏观指导与分级管理的需要，必须对自然区域开展分级区划（中国科学院自然区划工作委员会，1959；黄秉维，1989；傅伯杰等，2001；欧阳志云等，2002）。首先是从宏观上进行的生态区划，即以自然气候与地理特点划分自然生态区；其次根据生态系统类型划分生态亚区区划，根据生态服务功能、

生态环境敏感性特征划分生态功能区，再在生态功能区的基础上，明确关键及重要生态功能区。

一级区命名要体现出分区的气候和地貌特征，由地名+特征+生态区构成。气候特征包括湿润、半湿润、干旱、半干旱、寒温带、温带、暖温带、亚热带、热带等，地貌特征包括平原、山地、丘陵、河谷等。命名中择其重要或典型者用之。

二级区命名要体现出分区的生态系统与生态服务功能的典型类型，由地名+类型+生态亚区构成。生态系统类型包括森林、草地、湿地、农田等。命名中择其重要或典型者用之。

三级区命名要体现出分区的生态服务功能重要性、生态环境敏感性的特点，由地名+生态服务功能特点(或生态环境敏感性特征)+生态功能区构成。生态功能特点包括荒漠化控制、生物多样性保护、水源涵养、水文调蓄、土壤保持等。生态环境敏感性特征包括土壤侵蚀、沙漠化、石漠化、盐渍化、酸雨敏感性等，命名中择其重要或典型者用之。

依据西部生态环境敏感性、生态服务功能重要性以及生态环境特征的相似性和差异性对西部地区进行生态功能分区。西部共分为 30 个生态区(图 2.2,表 2.1)、104 个生态亚区和 686 个生态功能区。由于此概要篇幅所限，只涉及一级分区内容；也就是说，只涉及生态区问题。

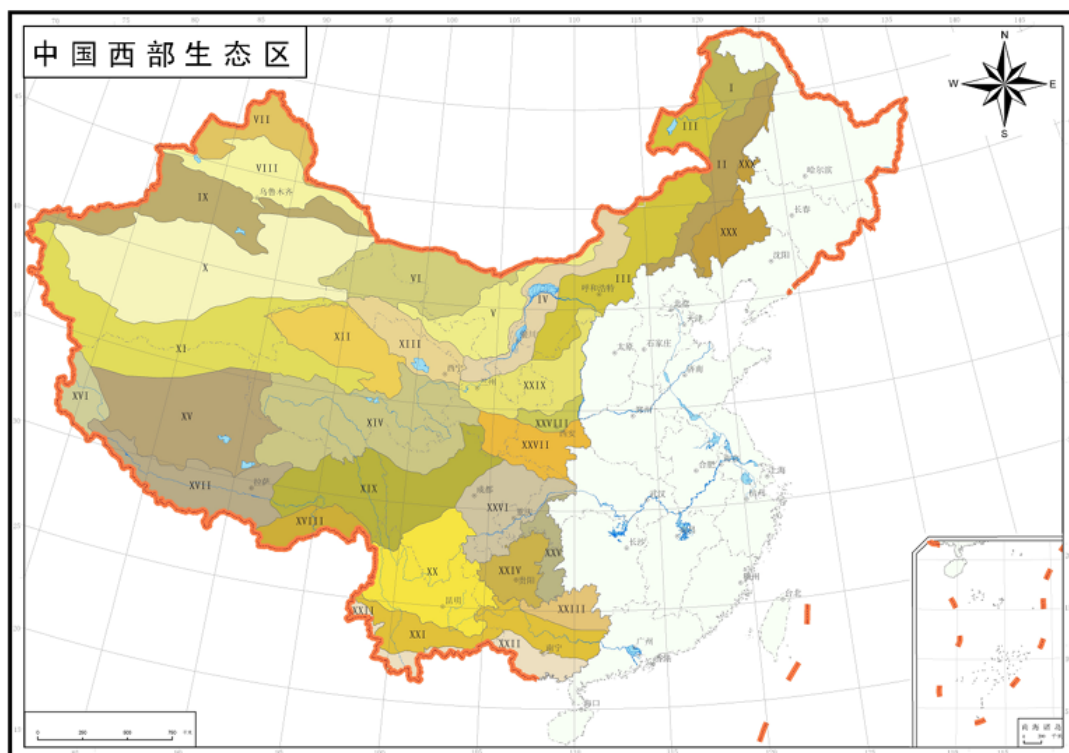


图 2.2. 中国西部生态区

表 2.1. 西部生态区

生态区号		生态区名
I	1	大兴安岭北部寒温带针叶林生态区
II	2	大兴安岭中南部落叶阔叶林-森林草原生态区
III	3	内蒙古高原中东部典型草原生态区
IV	4	内蒙古高原中部 - 陇中荒漠草原生态区
V	5	内蒙古高原中部草原化荒漠生态区
VI	6	内蒙古高原中西部 - 北山山地荒漠生态区
VII	7	阿尔泰山 - 准噶尔西部山地森林、草原生态区
VIII	8	准噶尔盆地荒漠生态区
IX	9	天山山地森林、草原生态区
X	10	塔里木盆地 - 东疆沙漠生态区
XI	11	帕米尔 - 昆仑山 - 阿尔金山高寒荒漠草原生态区
XII	12	柴达木盆地荒漠生态区
XIII	13	祁连山森林、高寒草原生态区
XIV	14	江河源区 - 甘南高寒草甸草原生态区
XV	15	藏北高原高寒荒漠草原生态区
XVI	16	阿里山地温性干旱荒漠生态区
XVII	17	藏南山地高寒草甸草原生态区
XVIII	18	喜马拉雅南坡地区热带雨林季雨林生态区
XIX	19	藏东 - 川西寒温带针叶林生态区
XX	20	川西南 - 滇中北山地常绿阔叶林生态区
XXI	21	滇桂中部亚热带季风常绿阔叶林生态区
XXII	22	滇桂南部热带季雨林、雨林生态区
XXIII	23	南岭中亚热带常绿阔叶林生态区
XXIV	24	黔中部中亚热带喀斯特植被生态区
XXV	25	武陵山地中亚热带常绿阔叶林生态区
XXVI	26	四川盆地农林复合生态区
XXVII	27	秦巴山地北亚热带常绿 - 落叶阔叶林生态区
XXVIII	28	汾渭盆地农业生态区
XXIX	29	陕甘宁黄土高原生态区
XXX	30	东北平原农业生态区

## 2.3. 中国西部生态系统综合评估的数据库集成

### 2.3.1. 数据集成平台建设

在统一的资源环境数据标准规范下，设计了数据采集的技术路线，将专题图件数字化并收集整理了大量的属性数据，进行了属性库与空间库的连结，解决资源环境数据生成与集成技术的关键问题，依靠遥感与地理信息系统一体化为技术支撑，采用区域性的面上分析和多重采样，形成基于遥感 TM 卫星图象解译的明确的标准，进行信息复合识别，建立了中国西部生态系统遥感信息分类量化指标系统和数据质量控制系统。建成了陆地表层系统的主要自然要素和社会经济要素数据库；对地观测数据库；国家自然地图科学数据库；全球变化数据库系列，构建了资源环境数据集成平台（图 2.3），数据资源总量已经超过 1000GB。

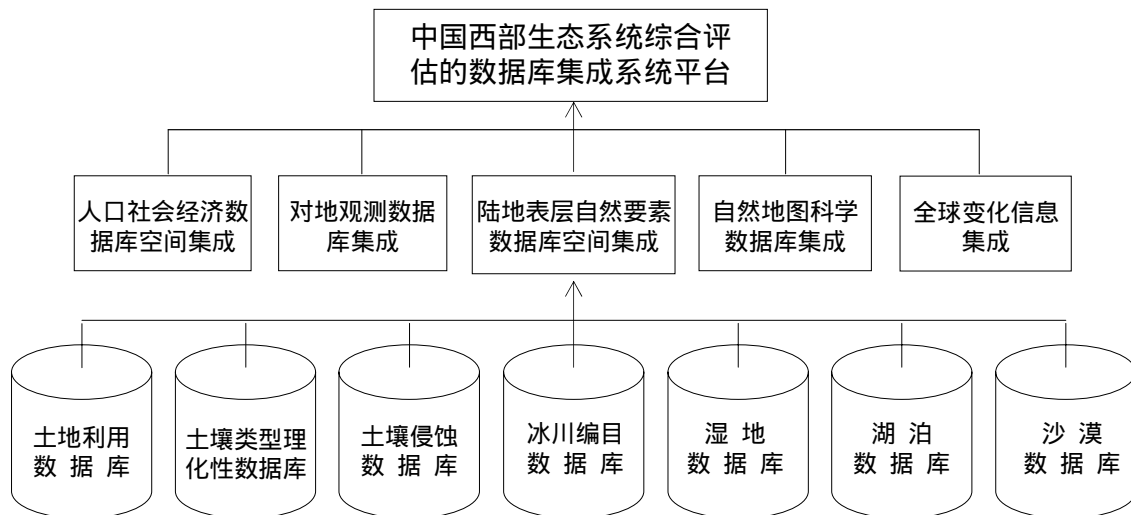


图 2.3. 中国西部生态系统综合评估的数据库集成系统平台

### 2.3.2. 支撑数据获取和共享的技术平台

形成了具有 300TB 容量的在线存储系统，能支持 5 年内的生态系统空间数据的增量存储；系统资源能保证 1000 个用户能同时登陆获取必要的数据库；具有完整的用户分级管理功能和严格的安全措施。

提出了地理信息共享的管理规定；提出了生态系统信息共享的基本政策和立法的建议报告；形成了中国西部生态系统数据库信息分类与代码。

分析了中国西部生态系统数据的历史积累、现状和未来需求以及在中国西部生态系统数据的采集、处理分析和应用中存在的问题；对今后一定时间内，中国西部生态系统数据领域的主要研究工作进行了总体规划。针对基础设施的建设，组织机构、数据库建设与更新、队伍组织与建设等均进行了详细的规划设计。

分别建立了湿地数据库网站、土壤数据库网站、湖泊数据库等网站，可以通过网页直接浏览，实现向全社会的无偿共享。主要解决了海量空间数据的互操作、矢量数据和影像数据的快速压缩和回放技术等生态系统信息共享技术问题。

## 2.4. 专业模型构建

### 2.4.1. 高精度曲面建模: 解决多尺度问题的一种新方法

二十世纪六十年代, 生态学家就注意到了尺度问题的重要性 (Schumm, 1965; Stommel, 1963)。二十世纪九十年代以来, 多尺度问题被称为生态学的新前缘 (the new frontier of ecology and geography), 受到生态学界的高度重视 (Allen, 2001; 吕一河, 傅伯杰, 2001; 岳天祥, 刘纪远, 2003)。为了解决二十世纪六十年代后期以来困扰生态学界的多尺度问题, 岳天祥等 (2004, 2005) 建立了高精度曲面建模方法 (HPSM)。

对模拟曲面  $(x, y, f(x, y))$ , HPSM 可表达为,

$$\begin{cases} f_{xx} = \Gamma_{11}^1 f_x + \Gamma_{11}^2 f_y + \frac{L}{\sqrt{E+G-1}} \\ f_{yy} = \Gamma_{22}^1 f_x + \Gamma_{22}^2 f_y + \frac{N}{\sqrt{E+G-1}} \end{cases} \quad (1)$$

其中  $E$  和  $G$  为曲面的第一类基本量;  $L$  和  $N$  为曲面的第二类基本量;  $\Gamma_{11}^1$ 、 $\Gamma_{11}^2$ 、 $\Gamma_{22}^1$ 、 $\Gamma_{22}^2$  为第一类基本量和第二类基本量的函数。

在数值实验分析结果表明, 数据的空间分辨率和采样间距几乎不影响 HPSM 的模拟精度 (岳天祥, 杜正平, 2005)。这说明 HPSM 在理论上解决了长期以来困扰生态学界的多尺度问题。

### 2.4.2. 气温变化空间插值模型

Nalder 和 Wein (1998) 在对各种插值方法进行对比分析的基础上提出了梯度反比平方法 (Gradient-plus-inverse distance squared, GIDS), 潘耀忠等 (2004) 在考虑海拔高度对预测点的影响和插值过程中邻近观测点与预测点之间的搜索半径的情况下, 将 GIDS 插值方法的计算公式进行修正为:

$$T = \left( \frac{\sum_{i=1}^N T_i + (a(E - E_i) + C_x(X - X_i) + C_y(Y - Y_i) + C_e(E - E_i))/2}{d_i^2} \right) / \sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^2} \quad (2)$$

其中  $a$  为垂直递减率;  $X_i$ 、 $Y_i$ 、 $E_i$  和  $T_i$  分别代表观测点的经度、纬度、高程和温度;  $X$ 、 $Y$ 、 $E$  和  $T$  分别为待插值点的经度、纬度、高程和插值温度;  $N$  为插值过程中使用的样本点数目;  $d_i$  为样本点到待插值点的距离。

有关分析结果表明 (Yue et al., 2005c, 2005d), 气温与经度、纬度和高程之间的互相关系系数为 0.981694, 其多元回归方程可表达为:

$$T = 43.312 - 0.106X - 0.469Y - 0.00361E \quad (3)$$

因此, 改进后的 GIDS 插值方法可表达为,

$$T_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{jk}} 2T_i - [0.0046 \cdot (E_{jk} - E_i) + 0.106 \cdot (X_{jk} - X_i) + 0.469 \cdot (Y_{jk} - Y_i) + 0.0036 \cdot (E_{jk} - E_i)]}{2d_{ijk}^2 \left( \sum_{i=1}^{N_{jk}} d_{ijk}^{-2} \right)} \quad (4)$$



也就是说，我国气温与经度、纬度和高程之间具有极为显著的相关性。但我国复杂的地形体貌特征决定了全国气温在空间分布上存在着巨大的区域差异。同时各个地区自然条件的不同又使得温度垂直递减率也存在显著性差异（如表 2.2）。因此，在对气温进行空间插值时，不仅要考虑到气温与经度、纬度和高程的相互影响，还必须针对我国特殊的自然区域特征，分区考虑气温随海拔高度而降低的垂直递减率，插值公式中的系数  $a$  不能在全国取同一值，而是分区取值。

表 2.2. 我国各地区气温与海拔高度的相互关系

区域	相关系数	垂直递减率( /M)	回归方程
长白山地区	-0.962828	0.0028	$y = -0.0028x + 9.3481$
大兴安岭地区	-0.84284	0.0040	$y = -0.0040x + 8.3638$
青藏高原	-0.953225	0.0029	$y = -0.0029x + 14.442$
横断山脉地区	-0.953959	0.0054	$y = -0.0054x + 24.542$
黄土高原	-0.870578	0.0036	$y = -0.0036x + 14.111$
南岭地区	-0.909555	0.0060	$y = -0.0060x + 18.996$
祁连山地区	-0.993717	0.0037	$y = -0.0037x + 14.787$
秦岭地区	-0.764436	0.0040	$y = -0.0040x + 15.681$
太行山—吕梁山地区	-0.978394	0.0050	$y = -0.0050x + 14.53$
天山地区	-0.850741	0.0038	$y = -0.0038x + 13.858$
武陵山地区	-0.945071	0.0055	$y = -0.0055x + 18.112$
武夷山地区	-0.905499	0.0044	$y = -0.0044x + 18.848$
喜马拉雅山地区	-0.852985	0.0064	$y = -0.0064x + 30.978$
燕山地区	-0.984928	0.0046	$y = -0.0046x + 12.258$
云贵高原	-0.854687	0.0045	$y = -0.0046x + 19.979$

#### 2.4.3. 陆地生态系统空间分布 HLZ 分析模型

HLZ ( Holdridge life zone ) 模型是根据生物温度、降雨量和蒸散率表达气候模式和植被分布的一种系统分系方法，它表达了陆地生态系统（在 HLZ 模型中称之为生命地带）空间分布与生物气候变量之间的相互关系（Yue et al., 2005）。HLZ 模型的理论计算公式为：

$$M(x, y, t) = \ln MAB(x, y, t) = \ln \left[ \frac{1}{365} \sum_{j=1}^{365} TEM_{>0}(j, x, y, t) \right] \quad (5)$$

$$T(x, y, t) = \ln TAP(x, y, t) = \ln \sum_{j=1}^{365} P(j, x, y, t) \quad (6)$$

$$P(x, y, t) = \ln PER(x, y, t) = \ln \frac{58.93MAB(x, y, t)}{TAP(x, y, t)} \quad (7)$$

$$d_i(x, y, t) = \sqrt{(M(x, y, t) - M_{i0})^2 + (T(x, y, t) - T_{i0})^2 + (P(x, y, t) - P_{i0})^2} \quad (8)$$

其中  $(x, y)$  为地理坐标； $t$  为年时间变量； $MAB(x, y, t)$  为第  $t$  年内大于 0 积温得日平均温度； $TEM_{y_0}(j, x, y, t)$  为第  $j$  天 24 小时内大于 0 的积温； $P(j, x, y, t)$  为第  $j$  天的降水量； $TAP(x, y, t)$  为第  $t$  年降水量； $PER(x, y, t)$  为第  $t$  年可能性蒸散率； $(M_{i_0}, T_{i_0}, P_{i_0})$  为 Holdridge 生命带的正六边形坐标体系中第  $i$  种生命带的中心坐标，当  $d_k(x, y, t) = \min\{d_i(x, y, t)\}$  时，点  $(x, y)$  便归类为第  $k$  种生命带类型。

#### 2.4.4. 多尺度生态多样性模型

在分析以往研究成果的基础上，多尺度生态多样性模型被表达为 (Yue et al., 1998, 2001, 2003b, 2005e)：

$$D(\varepsilon, t) = -\frac{\ln\left(\sum_{i=1}^{m(\varepsilon, t)} (p_i(\varepsilon, t))^{\frac{1}{\varepsilon}}\right)^2}{\ln \varepsilon} \quad (9)$$

其中  $t$  为时间变量； $\varepsilon = \left(e + \frac{a}{s}\right)^{-1}$  为观测尺度， $a$  为以公顷为测算单位的研究区域面积或抽样样方面积， $s$  为数据分辨率或抽样物种最小个体的主干直径， $e = 2.71828$  为自然对数常数； $p_i(\varepsilon, t)$  为第  $i$  个研究对象 (物种、景观元或 Holdridge 生态区) 的概率； $m(\varepsilon, t)$  为研究对象总数。

#### 2.4.5. 斑块连通性模型

在总结前人研究成果的基础上，景观连通性模型被区分为线连通性、点连通性、网连通性和斑块连通性模型 (Yue et al., 2004)。点连通性、线连通性和网连通性在数学和人文地理等领域已有很长的研究历史，相应的连通性模型已比较成熟。斑块连通性被定义为斑块中动物迁徙或植物传播运动的平均效率。也就是说，如果动物迁徙或植物传播运动的距离固定，则所达到的斑块数越多，其斑块连通性越佳。斑块连通性模型可表达为：

$$C(t) = \sum_{i=1}^{m(t)} \sum_{j=1}^{n_i(t)} p_{ij}(t) \cdot S_{ij}(t) \quad (10)$$

式中  $t$  为时间变量； $p_{ij}(t)$  为第  $i$  种斑块类型中第  $j$  个斑块的面积在总面积中所占的比例；

$$n_i(t) \text{ 为第 } i \text{ 类斑块的个数； } m(t) \text{ 为斑块类型数； } S_{ij}(t) = \frac{8\sqrt{3} \cdot A_{ij}(t)}{(\text{Pr}_{ij}(t))^2}, \text{ } A_{ij}(t) \text{ 和 } \text{Pr}_{ij}(t) \text{ 分别}$$

为第  $i$  种斑块类型中第  $j$  个斑块的面积和周长。当所有斑块全为正六边形时， $C(t) = 1.0$ 。

如果在斑块中需要考虑运动的难易程度，可将斑块连通性模型表达为：

$$C(t) = \sum_{i=1}^{m(t)} \sum_{j=1}^{n_i(t)} df_{ij}(t) \cdot p_{ij}(t) \cdot S_{ij}(t) \quad (11)$$

式中  $t$  为时间变量； $df_{ij}(t)$  为动物移动或植物传播的难易程度，它是用来量度便利或阻碍动植物达到更多斑块的一个参数。

#### 2.4.6. CEVSA 模型

CEVSA 模型是基于植物光合作用和呼吸作用以及土壤微生物活动等过程对植被，土壤和大气之间碳交换进行模拟的生物地球化学模型。为描述这些过程及其与各种环境变量的相互作用，CEVSA 模型包括三个子模型：估计植物-土壤-大气之间水热交换、土壤含水量和气孔传导等过程的生物物理子模型；计算植物光合作用、呼吸作用、氮吸收速率、叶面积以及碳氮在植物各器官之间分配、积累、周转和凋落物产生的植物生理生长子模型；估计土壤有机质分解与转化和有机氮矿化等过程的土壤碳氮转化子模型（图 2.4）（Cao & Woodward, 1998）。

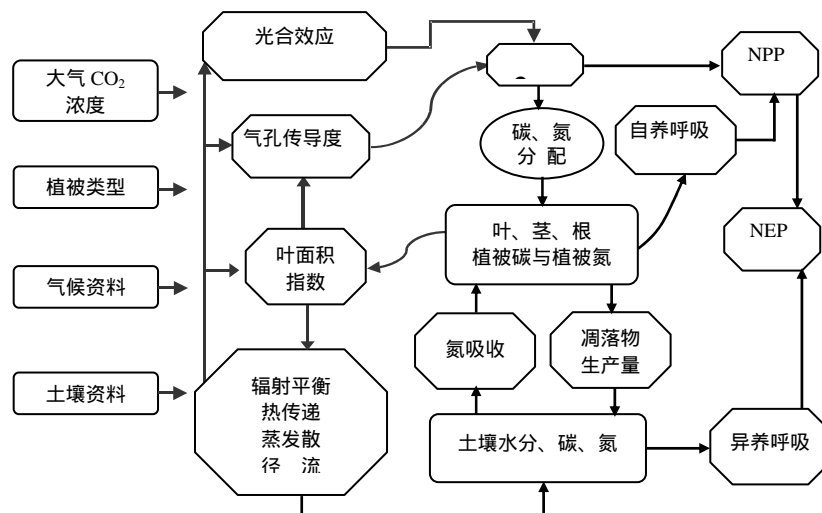


图 2.4. CEVSA 模型结构

#### 2.4.7. 陆地生态系统食物供给功能评估方法

##### 2.4.7.1. 农田生态系统

农田生态系统的食物供给功能由作物单产潜力、经济系数、食用耕地面积三者共同决定，用公式表示为（田永中，2004）：

$$Y_{grain} = Y \cdot HI \cdot A_{food} \quad (12)$$

其中  $Y_{grain}$  为粮食产出； $Y$  为作物的第一性生产潜力； $HI$  为收获指数， $HI = 0.6$ ；食用耕地面积  $A_{food} = A_{gross} \cdot C_{net} \cdot C_{food}$ ， $A_{gross}$  为遥感影像解译出的毛耕地面积， $C_{net}$  为净耕地系数， $C_{food}$  为食用耕地系数。

在农田生态系统中，作物第一性生产力受太最辐射、热量、水分、土壤及农业投入等因子的共同作用。基于对作物产量形成机理的认识，我们假定其它因子都处于最适宜状态、不对作物产量构成制约的条件下，找出某一因子自身的状态对作物产量的有效系

数，通过多个因子的有效系数进行逐步修正或衰减，即可得到食物的产出潜力。整个过程可表达为（党安荣等，1999；赵名茶，1999）：

$$Y = Y(Q, T, W, S, M) = Y(Q) \cdot f(T) \cdot f(W) \cdot f(S) \cdot f(M) \quad (13)$$

其中  $Y(Q)$  为作物的光合生产潜力； $Q$ 、 $T$ 、 $W$ 、 $S$  和  $M$  分别表示太阳辐射、温度、水分、土壤和人类投入因子； $f(T)$ 、 $f(W)$ 、 $f(S)$  和  $f(M)$  为各因子的有效系数； $f(M) = 0.6$ 。

光合潜力采用黄秉维的计算式（黄秉维，1985）：

$$Y(Q) = Q \cdot f(Q) = 0.219 \times Q \quad (14)$$

其中  $Y(Q)$  为光合潜力（千焦/平方公里）； $Q$  为总辐射量（焦耳/平方厘米），辐射有效系数  $f(Q) = 0.219$ 。

温度有效系数可表达为：

$$f(T) = \frac{1}{1 + e^{2.052 - 0.161 \cdot T}} \quad (15)$$

其中  $T$  为年平均温度； $f(T)$  的值域为 0~1，当  $T < -10$  时，取值为 0。

水分有效系数由湿润系数  $K$ 、地面坡度的水分修正系数  $C_{slope}$ 、高程的水分修正系数  $C_{DEM}$ 、过面平均水量修正系数  $C_{slopewater}$  四个因子组成：

$$f(W) = K(0.7C_{slope} C_{DEM} + 0.3C_{slopewater}) \quad (16)$$

土壤有效系数由土壤肥力修正系数  $C_{SFI}$  和土壤侵蚀系数  $C_{erode}$  构成：

$$f(W) = C_{SFI} \cdot C_{erode} \quad (17)$$

除粮食外，农田生态系统作物附属资源（作物秸秆）也具有提供食物的潜力：

$$Y_{mutton} = Y_{straw} \cdot C_{fodder} \cdot C_{strawmutton} \quad (18)$$

其中  $Y_{mutton}$  为秸秆所能供给的食物产量（羊肉）； $Y_{straw}$  为作物秸秆产量； $C_{fodder}$  为秸秆的饲用系数； $C_{strawmutton}$  秸秆的羊肉转换系数。

#### 2.4.7.2. 草地生态系统

草地生态系统的食物供给潜力采用下式计算（田永中，2004；陈百明，2001）：

$$Y_{grassland} = G_{grass} \cdot C_{use} \cdot C_{grassmutton} \quad (19)$$

$$G_{grass} = Y(Q, T, W, S, M) \cdot A_{grass} \quad (20)$$

$$Y(Q, T, W, S, M) = Y(Q) \cdot f(T) \cdot f(W) \cdot f(S) \cdot f(M) \quad (21)$$

$$Y(Q) = PAR \times A \times CL \times G \times CH \times E \times (1 - B) / F / (1 - C) \quad (22)$$

其中  $Y_{grassland}$  为草地的食物供给潜力 (羊肉);  $G_{grass}$  为草地的产草潜力;  $C_{use}$  为牧草的利用率;  $C_{grassmutton}$  为牧草的羊肉转换系数;  $A_{grass}$  为草地面积;  $PAR$  为光合有效辐射 (公斤/每年每公顷);  $A$  为牧草群体对  $PAR$  的最大吸收率;  $CL$  为草地植被覆盖度修正;  $G$  为生长率修正系数;  $CH$  为牧草收获系数;  $E$  为量子转换率;  $B$  为植被呼吸修正系数;  $F$  为植物干物质含热量;  $C$  为牧草灰分率;  $f(T)$  和  $f(W)$  的计算同农田生态系统。

水分有效系数  $f(W)$  采用伊万诺夫湿润度指数 (中国牧区气候区划科研协作组, 1986):

$$f(W) = K = \frac{R}{E_0} = \frac{R}{0.0018(25 + T)^2 (100 - F)} \quad (23)$$

其中  $K$  为某月湿润度指数;  $R$  为该月降水量 (毫米);  $E_0$  为该月的蒸发力 (毫米);  $T$  为月平均气温 ( );  $F$  为月平均相对湿度 (%) (年湿润度=年降水量/年蒸发力)。

$$f(M) = C_{Pop} \cdot C_{Scale} \quad (24)$$

其中  $C_{Pop}$  为人口密度的修正系数;  $C_{Scale}$  为草地规模的修正系数。

#### 2.4.7.3. 林地生态系统

林地生态系统的食物供给功能采用基准样地食物潜力修正系数法。根据中国土地覆被数据、植被数据及森林数据, 确定 27 个普通林地类型及竹林、油料林、粮食林三类共 10 个特殊林地类型; 每个类型设立基准样地, 样地的食物供给潜力根据实地调查及 Delphi 法确定; 然后, 根据影响林地食物的因子建立各类林地食物供给能力的修正体系, 以此计算出全国  $1km \times 1km$  栅格像元内各类食物的供给能力 (田永中, 2004), 其计算式为:

$$P_{ij} = A_i \times N_{ij} \times CT_{ij} \times CP_{ij} \times CS_{ij} \times CR_{ij} \times CV_{ij} \times CO_{ij} \quad (25)$$

其中  $P_{ij}$  为某一像元内第  $i$  类林地的第  $j$  类食物的供给潜力;  $A_i$  为该像元内第  $i$  类林地的面积;  $N_{ij}$  为第  $i$  类林地第  $j$  类食物的基准单产值;  $CT$ 、 $CP$ 、 $CS$ 、 $CR$ 、 $CV$  和  $CO$  分别为气温、降水、土壤、太阳辐射、植被及其它修正因子的修正系数。

#### 2.4.7.4. 水生生态系统

根据鱼产力形成机制,从鱼产力形成的基础环境因素层面建立评估模式及选择评估指标,以幂函数乘积模型为基础,利用收集的全国各地水域鱼产力及相应环境因子数据,分别建立宜渔稻田、河渠、湖泊、水库坑塘的鱼产力与其影响因子的相关模型,并根据全国 1KM 栅格的水域数据及各类自然与人文数据,模拟出全国宜渔稻田、河渠、湖泊、水库坑塘的天然鱼产力,最后以水体邻域内的平均人口密度为依据确定水体的可能投入水平,在确定各投入水平下水体相对于天然鱼产力的增产系数后,计算出人工条件下四种水体的鱼产力。

计算过程与公式为:

$$P_i = \sum_{j=1}^4 PA_{ij} \cdot A_{ij} \cdot C_{ij} \quad (26)$$

其中  $P_i$  为第  $i$  个像元的鱼产潜力 (公斤);  $PA_{ij}$  为第  $i$  个像元第  $j$  类水体的天然鱼产潜力 (公斤/公顷);  $A_{ij}$  为面积;  $C_{ij}$  为人工投入条件下鱼产力的增产潜力系数;  $j = 1,2,3,4$  分别表示宜渔稻田、水库坑塘、湖泊、河渠四类水体。

$$PA_{i1} = 0.042 \cdot (\ln SFI_i)^{2.4} \cdot (\ln P_{mi})^{1.6} \cdot (\ln PD_i)^{0.72} \cdot (1 + t_i / 100)^{3.4} \quad (27)$$

$$PA_{i2} = 0.334 \cdot (\ln SFI_i)^{0.72} \cdot (\ln P_{mi})^{0.83} \cdot (\ln PD_i)^{0.45} \cdot (\ln SR_i)^{1.31} \cdot (1 + t_i / 100)^{2.42} \quad (28)$$

$$PA_{i3} = 3.94 \cdot (\ln SFI_i)^{0.55} \cdot (\ln P_{mi})^{1.21} \cdot (\ln PD_i)^{0.47} \cdot (\ln NDVI_i)^{0.18} \cdot (\ln S_i)^{-0.25} \cdot (1 + t_i / 100)^{3.4} \quad (29)$$

$$PA_{i4} = 0.179 \cdot (\ln SFI_i)^{0.81} \cdot (\ln P_{mi})^{1.87} \cdot (\ln PD_i)^{0.56} \cdot (\ln NDVI_i)^{0.21} \cdot (1 + t_i / 100)^{1.78} \quad (30)$$

其中  $SFI$  为土壤肥力指数 (万分比);  $P_m$  为降水系数 (毫米);  $t$  为气温 ( );  $PD$  为人口密度 (人/平方公里);  $S$  坡度 (度);  $NDVI$  为植被指数。

#### 2.4.7.5 陆地生态系统食物供给功能汇总

根据各类生态系统不同食物的营养物质构成,可汇总得到陆地生态系统总的食物供给潜力:

$$TN_i = \sum_{j=1}^m P_j N_{ij} \quad (31)$$

其中  $TN_i$  为第  $i$  类营养物质总供给潜力 ( $i = 1,2,3$ , 分别表示热量、蛋白质、脂肪);  $P_j$  为第  $j$  类食物的潜在产量;  $m$  为食物类别数;  $N_{ij}$  为第  $j$  类食物第  $i$  类营养物质的单位含量。

#### 2.4.8. SMPD 人口分布曲面建模

SMPD (Surface Modelling of Population Distribution) 是基于格点生成法的具有空间搜索功能的一种新型的人口空间分布曲面建模方法 (Yue et al., 2003, 2005a, 2005b)。SMPD 模型可表达为从计算域  $(i, j)$  到自然域  $(i, j, SMPD_{ij}(t))$  的转换,

$$SMPD_{ij}(t) = G(n, t) \cdot W_{ij}(t) \cdot f_1(Tran_{ij}(t)) \cdot f_2(NPP_{ij}(t)) \cdot f_3(DEM_{ij}(t)) \cdot f_4(u_{ij}(t)) \quad (32)$$

其中  $t$  为时间变量;  $G(n, t)$  为  $t$  时刻格点  $(i, j)$  所在行政区  $n$  的总人口确定的参数;  $W_{ij}(t)$  为水域标示因子;  $f_1(Tran_{ij}(t))$  为格点  $(i, j)$  处的交通基础设施确定的函数;  $f_2(NPP_{ij}(t))$  为格点  $(i, j)$  处的净初级生产力确定的函数;  $f_3(DEM_{ij}(t))$  为格点  $(i, j)$  处的海拔高度确定的函数;  $f_4(u_{ij}(t))$  为市区对格点  $(i, j)$  处人口密度的贡献;  $u_{ij}(t) = \sum_{k=1}^{M(t)} \frac{(S_k(t))^{a_1}}{d_{ijk}(t)}$ ,  $S_k(t)$  为第  $k$  个城市的面积,  $a_1$  为待模拟参数,  $M(t)$  为在搜索半径内搜索到的城市总数,  $d_{ijk}(t)$  为格点  $(i, j)$  到第  $k$  城市人口密度最高格点的距离。

#### 2.4.9. 阈值模型

Odum 在讨论了种群增长的研究成果以后, 得出了三个结论 (Odum, 1983): 在易变的环境中, 种群的最佳密度 (这里种群密度被定义为单位面积上的个体数量) 大约为最大承载能力  $K$  (在可持续发展意义上单位面积可允许承载的最大个体数量) 的 50%;

从持续发展的观点来看, 最大承载能力和最佳密度之间的区域是种群的可持续增长区; 种群可持续增长区常常偏向左边 (以  $n = 0.5K$  为中心轴线)。

上述三个结论的进一步研究结果表明 (Yue, 2000), 在小的扰动之后, 种群的可持续增长区为  $[0.5K, K]$ ; 在大的扰动之后, 种群的可持续增长区以  $n = 0.5K$  为中心轴线向

左偏移, 偏移的最大可能距离为  $\frac{K}{2\sqrt{3}}$ , 大约  $0.289K$ 。也就是说, 对自然生态系统,

近自然生态系统和半自然生态系统, 种群的可持续增长区为  $[0.5K, K]$ ; 对人文生物生态

系统和人文技术生态系统, 种群的可持续增长区为  $(0.5K - \frac{K}{2\sqrt{3}}, 0.5K + \frac{K}{2\sqrt{3}})$  或近

似地为  $[0.211K, 0.788K]$ ; 并且, 人文生物生态系统和人文技术生态系统种群可持续增长区的宽度大于自然生态系统、近自然生态系统和半自然生态系统种群可持续增长区的宽度。

## 2.5. 模型库系统

近几个世纪以来，为了研究和解决世界面临的重大生态问题，已经发展了大量的数学模型。这些模型是科学家们在长期的研究中，在生态系统方面形成的科学知识和经验的结晶。为了减少数学模型在其有效范围以外的滥用现象、充分高效地利用已有的模型知识、减少不必要的模型重复构建所造成的时间和财力浪费、开发必要的新模型，我们对发表在国内外主要期刊上的有关模型进行了精选、查证、汇集，选取了既具较强实用性又具理论价值的 3 068 组模型。按照其应用领域，这些模型划分为 27 个模型群：生态学一般理论模型，个体与生理生态学模型，种群生态学模型，群落与生态系统生态学模型，行为生态学与进化生态学模型，景观生态学模型，全球变化模型，生物多样性模型，毒理生态学模型，生态管理与恢复生态学模型，工业地理模型，农业地理模型，交通地理模型，城市地理模型，旅游地理模型，区域地理模型，气候模型，地貌模型，土壤模型，水文模型，植被模型，遥感成像与信息传输机理模型，地物波谱与频谱特征模型，遥感信息处理与分析模型，地图模型族，地理信息系统模型和综合集成模型（岳天祥，2003）。这些模型群形成了中国西部生态系统综合评估模型库系统的基础模型库。

### 2.5.1. 模型库系统设计

模型库系统由基础模型库、专业模型库、模型库管理系统、模型字典、模型库管理员等 5 个部分组成。中国西部生态系统综合评估模型库系统采用双重自上而下的综合设计思想。第一层主要是运用于模型库系统通用平台总体框架设计当中，而第二层主要运用于模型库系统各个子系统的总体设计，子系统的总体设计包括每个子系统功能与结构的设计和子系统中各个模块功能与任务的设计。最后在各个子系统的详细设计的基础上进而综合为资源环境模型库系统通用平台的总体框架的详细设计方案。

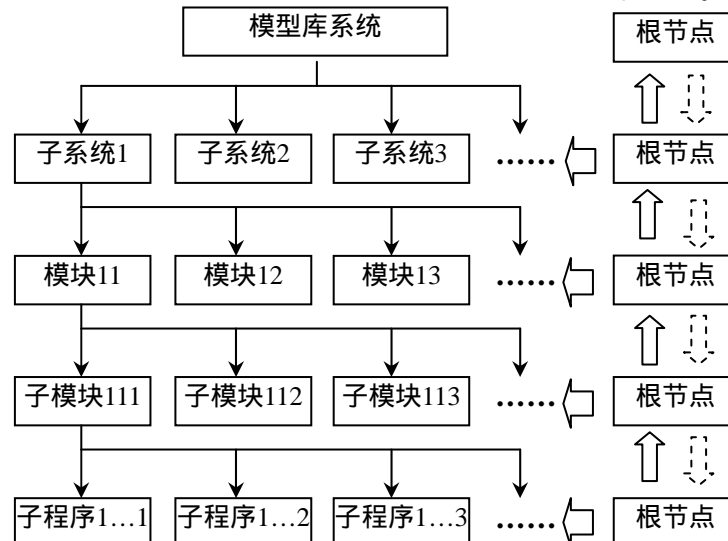


图 2.5. 模型库系统实现流程总体设计

在模型库系统的具体实现过程中，则采用双重自下而上的实现思想（范泽孟，岳天祥，2004）：首先对模型库系统中的各个子系统开发的先后进行排序，选择最应优先开发的子系统进行实施。这种思想的优势是能保证各个子系统开发的有序进行，而且



后面开发的子系统可以借鉴经验甚至是共享利用先开发的子系统的协同部分，同时也可以后面开发的子系统对先开发的子系统进行测试和检验，这是整个模型库系统研发有序性、可操作性、高效性的必要前提和可靠保证。当选择好最先开发的子系统后，再对子系统内各子模块开发的先后进行排序，然后选择应该优先开发的子模块进行具体实施。当选择好应该最先开发的子系统的子模块时，再对子模块中包括的亚子模块进行开发先后排序，直至到达最后相应的根结点为止。完成以上所有的工作之后，按照相应的优先开发原则所选择的路线具体实施。最后，当各个子系统都开发完后，进而有机集成为模型库系统的初步原型（图 2.5）。当然，在软硬件资源、人力、资金都比较充足的情况下，也可以选择对模型库系统各子系统或子库进行并行开发。但在采用并行开发之前，必须对各子系统之间的协同、通讯标准、接口协议以及各子系统之间能够进行共用的开发工作等等进行详细的分析论证、详细设计。总之，开发各子系统的各个小组之间必须保持很好的协同性，能够很好地合作。否则，将会造成子系统之间的不兼容、大量的重复开发工作以及整个模型库系统各子系统（或子库）之间不能进行很好的集成和有效的运转。

2.5.2. 模型库

模型库是模型库系统的核心内容，它包括基础模型库和专业模型库（图 2.6）。基础模型库中的模型将设计成具有标准化输入/输出接口的库函数形式，它包括以下两个方面的内容（范泽孟，岳天祥，2004）：单一通用模型的代码库、源库、属性库和索引库；构建综合模型的模型单元（模型元数据）的代码库、源库、属性库、索引库及通用接口函数。其中，代码库和源库属于子程序级的文本库，前者存储模型的执行代码，后者存储模型的源代码。属性库及索引库均以关系方式来进行组织，进而表示各个基本模型单元（模型元数据）型之间的关系，前者存储模型字典，后者存储索引关键字等信息。

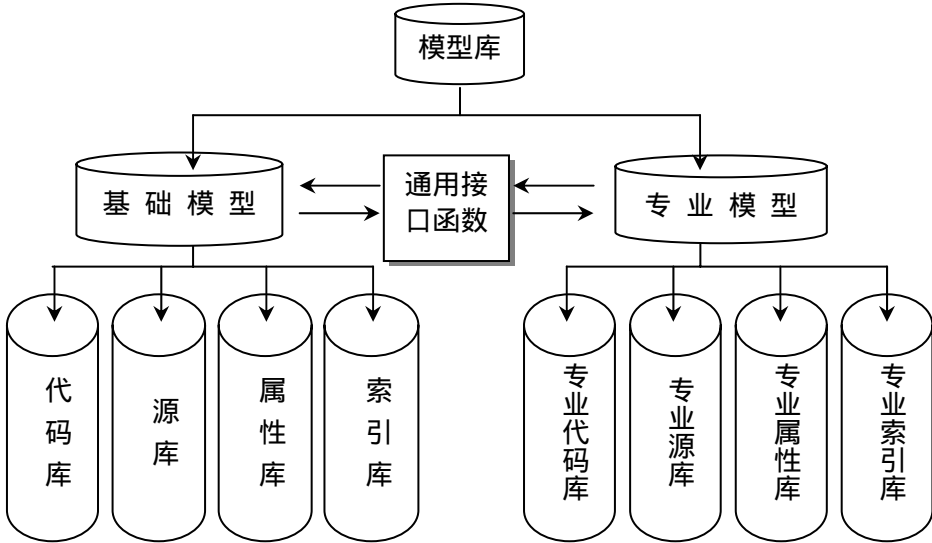


图 2.6. 模型库组成及其功能结构

专业模型库和基础模型库之间具有通用接口，可以对任何一个基础模型库进行访问和操作。专业模型库同样包括代码库、源库、属性库和索引库，只是这里的代码库指包括相应专业部分的模型执行代码，它与其它专业的模型库不具有共用成分，源库存储的也只是相应专业模型的源代码，而属性库除包括专业模型的一切信息或者称之为标准的专业模型文档库外，还包括与基础模型库相关基础模型单元进行组合的一切信息。

### 2.5.3. 模型字典

模型字典模型库系统的重要组成部分，也是模型库管理系统的核心内容。模型字典包含模型库中所有模型的描述和存储信息，是关于模型描述信息的特殊数据库，它是模型库系统设计、实现、运行、维护以及扩充等阶段中控制并管理有关模型的信息工具。模型字典作为模型库管理的重要工具，直接参与对模型库（包括模型库的系统计划、需求定义域分析、设计、实现、操作与维护、及模型库的更新等）的管理。

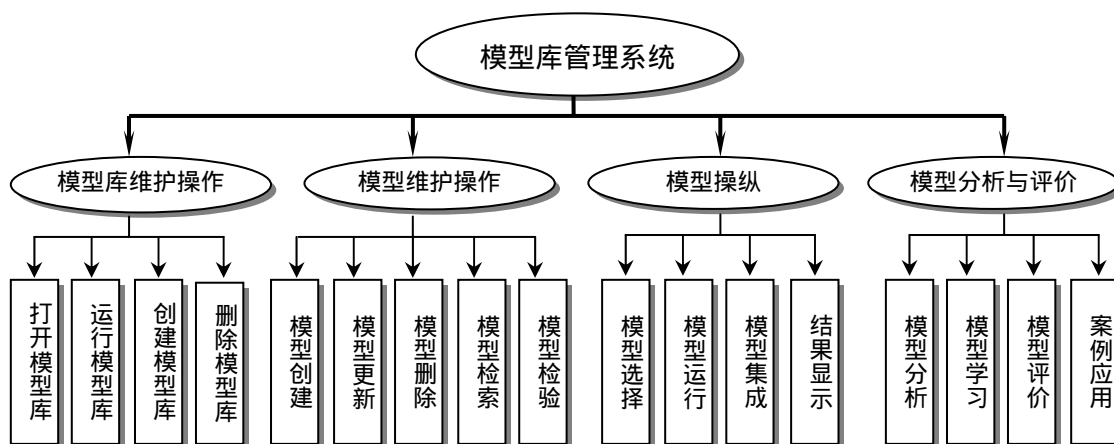


图 2.7. 模型库管理系统组成及功能

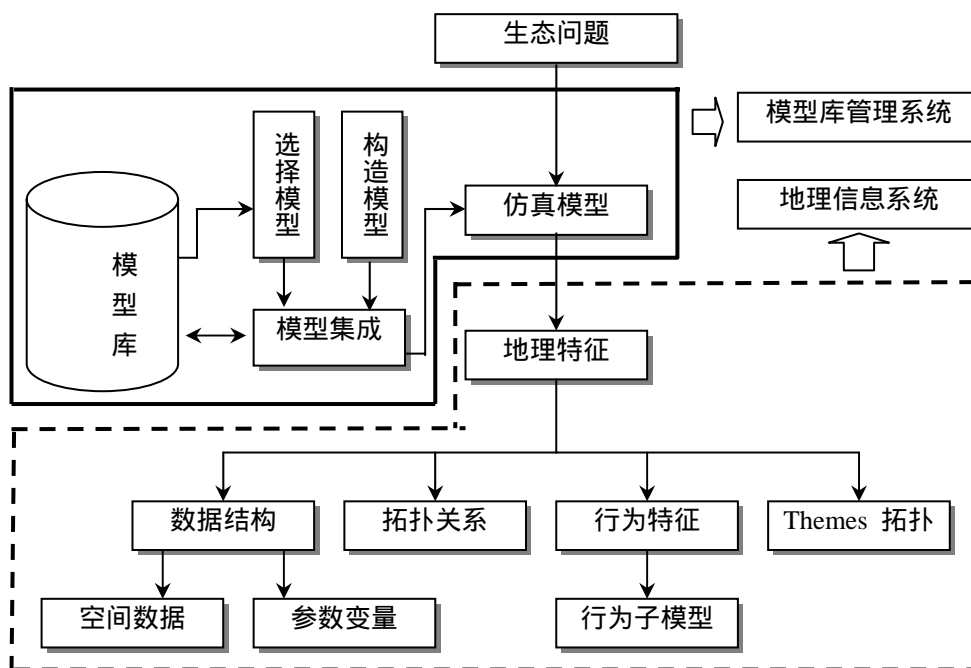


图 2.8. 模型库系统与 GIS 集成

模型库的模型字典（模型库的元数据）除了包括一般模型库所具有的描述信息外，还必须包括有关模型构建时的资源环境背景的条件信息，它为用户提供有关模型有效性、隐含假设查询（范泽孟，岳天祥，2004）。同时，实现模型统一的描述标准是对模型进行有效管理的前提性条件。其具体内容包括以下9个方面：模型整体信息，包括模型名、模型号、建模时间、作者信息、入库时间、参考信息；模型功能；模型使用条件及范围；数学方程；模型参数说明；模型使用方法；模型运行特征，包括执行代码名称、源代码、编译系统、数据格式；模型应用案例；相关模型说明。

#### 2.5.4. 模型库管理系统

模型库系统的应用对象是各种重大生态问题的时空信息分析及其内在机理的仿真模拟。对于复杂的生态问题，往往需要各种互补模型的有效集成，而不是一个单独的模型。因此在模型库系统的研发过程中，必须认真考虑和详细设计模型库管理系统的模型组合功能。模型库系统通用平台的模型库管理系统的组成及其功能将包括以下几个方面的内容（图 2.7）：提供模型库维护操作，包括对模型库进行打开、运行、创建、删除等；提供模型维护的相关操作，包括模型的建立、更新、删除、检索与检验；提供模型操纵的相关功能，包括模型的选择、模型运行与结果显示、模型集成；提供模型的分析与评价功能及管理的操作后台；作为模型库系统分析设计的基础工具；提供模型库管理人员的管理查询基础；提供用户了解模型库系统的基本信息；提供通用模型或模型库接口的设计标准。

#### 2.5.5. 模型库系统与 GIS 集成

模型库系统与 GIS 的无缝集成模式将能满足用户的通用性需求，也就是在有用户不需要知道地理信息系统中特殊数据结构情况下，只需在模型库系统中选择相应的模型，并按照可视化用户界面提供的信息对模型进行相关操作，便可以在地理信息系统可视化平台显示其运行结果（图 2.8）。

### 3. 现状与趋势

#### 3.1. 气候变化趋势

根据 1961-2000 年我国 735 个气象站点的观测资料 and 我国气温地带性变化的模拟规律 (Yue et al., 2005), 对我国西部气候变化趋势的分析结果表明, 平均生物温度从 60 年代的 8.45 上升到 90 年代的 8.75, 平均每 10 年上升近 0.08; 降水量从 60 年代的 531.54 毫米增加到 90 年代的 546.88 毫米, 平均每 10 年增加 3.86 毫米; 潜在性蒸腾比率从 60 年代的 2.70 减少到 90 年代的 2.40, 平均每 10 年减少 0.08。按照中国西部 30 个生态功能区进行分析, 中国西部生态功能区近 40 年主要气候要素的变化趋势可归纳为如下三个方面。

滇桂南部热带季雨林、雨林生态区平均生物温度最高, 60、70、80 和 90 年代的平均生物温度分别为 19.42、19.35、19.52 和 19.81, 其中 70 年代有所降低其余年代均呈上升趋势, 平均每 10 年上升近 0.1, 上升速度高于整个西部; 帕米尔-昆仑山-阿尔金山高寒荒漠草原生态区平均生物温度最低, 60、70、80 和 90 年代的平均生物温度分别为 0.84、0.88、0.87 和 0.99, 其中 80 年代有所降低其余年代均呈上升趋势, 平均每 10 年上升近 0.04 (图 3.1-3.2)。

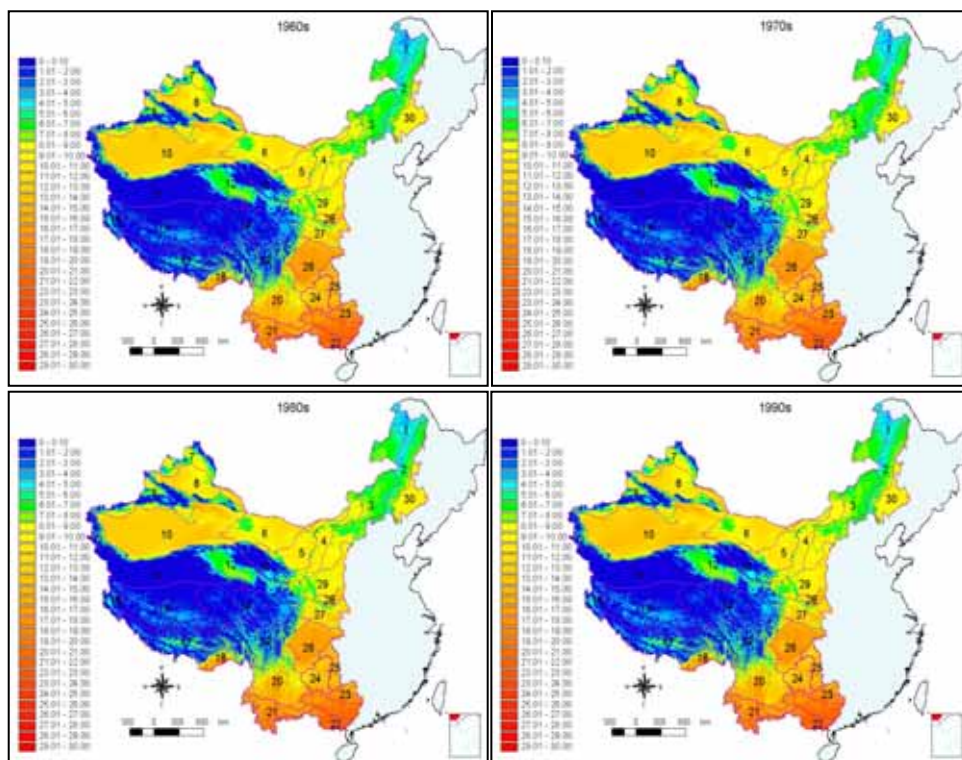


图 3.1. 中国西部地区二十世纪 60 年代至 90 年代平均生物温度

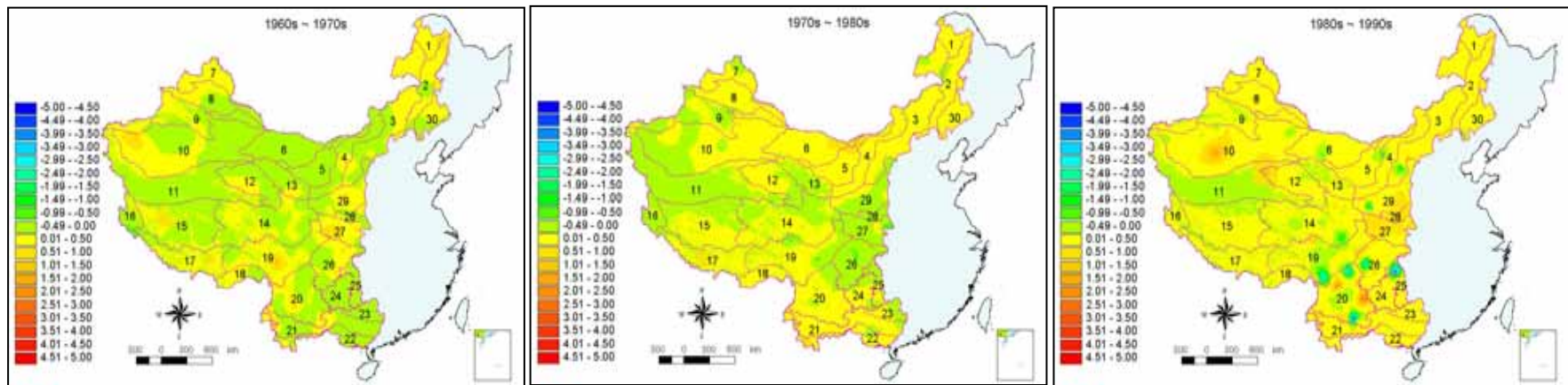


图 3.2. 中国西部地区二十世纪平均生物温度变化

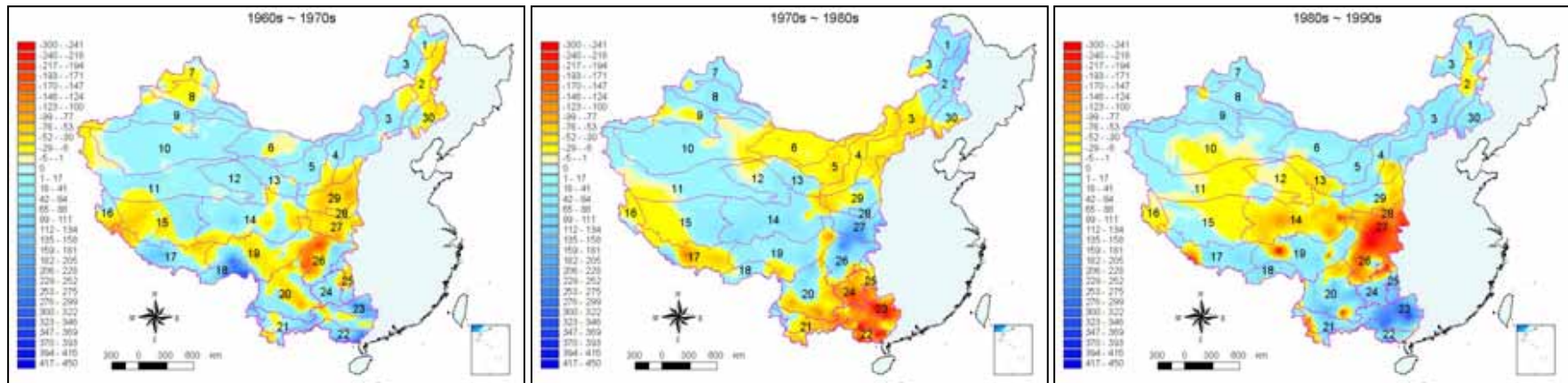


图 3.3. 中国西部地区二十世纪平均降水变化



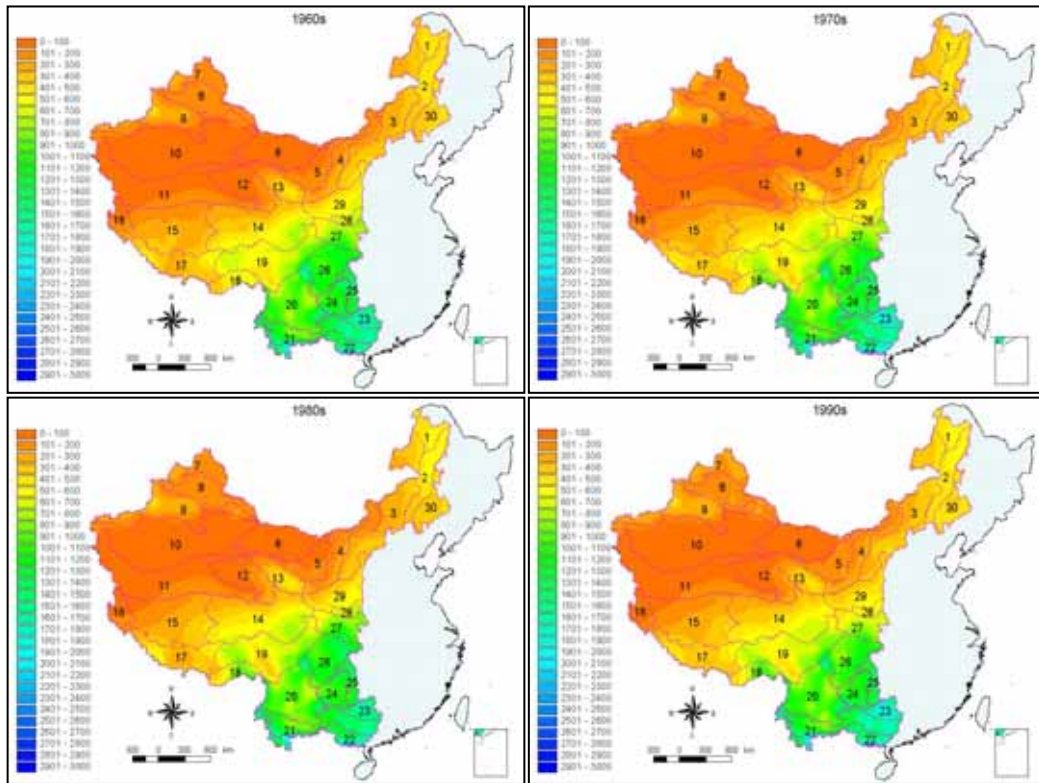


图 3.4. 中国西部地区二十世纪 60 年代、70 年代、80 年代和 90 年代平均降水

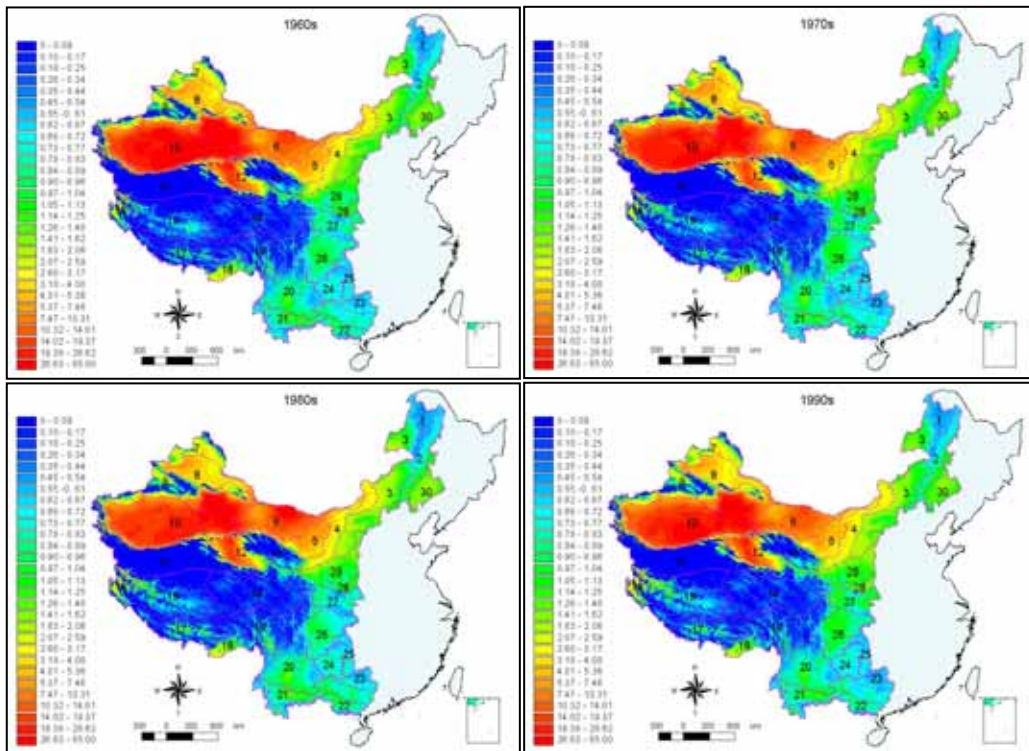


图 3.5. 中国西部地区二十世纪 60 年代、70 年代、80 年代和 90 年代潜在蒸腾比率

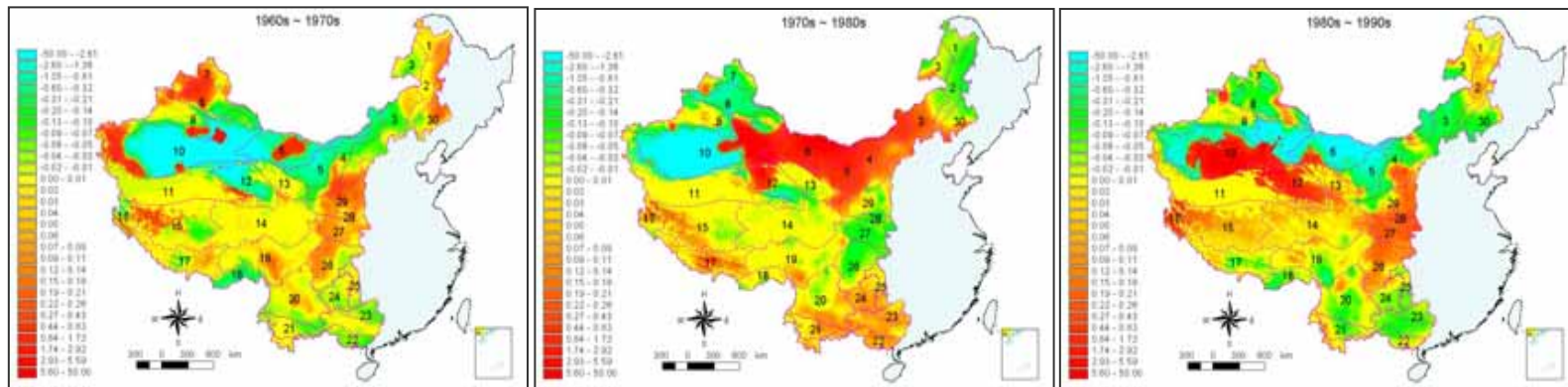


图 3.6. 中国西部地区二十世纪潜在蒸腾比率变化

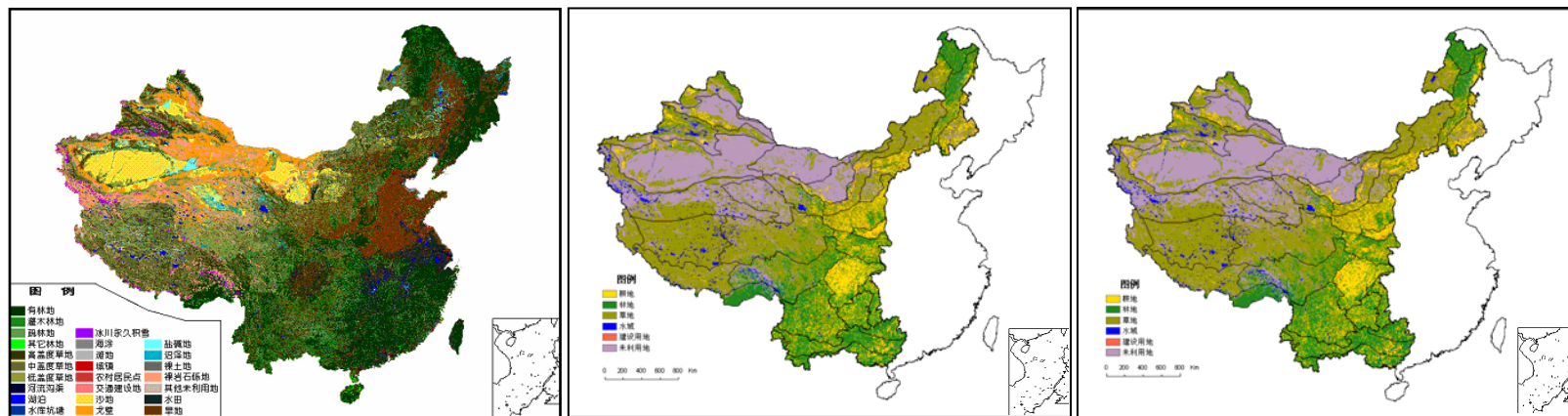


图 3.7. 基于陆地卫星 TM 数据的土地利用图（左图：中国 2000 年土地利用现状图；中图：二十世纪 80 年代末期中国西部土地利用图；右图：二十世纪 90 年代末期中国西部土地利用图）

南岭中亚热带常绿阔叶林生态区降水量最高，60、70、80 和 90 年代的平均降水量分别为 1 552.51 毫米、1 681.29 毫米、1 525.00 毫米和 1 720.66 毫米，其中 80 年代有所减少外其余年代均呈增加趋势，平均每 10 年增加 42.04 毫米，增加速度相当于整个西部平均速度的近 11 倍之多；塔里木盆地-东疆沙漠生态区平均降水量最低，60、70、80 和 90 年代的平均降水量仅为 31.74 毫米、38.11 毫米、43.29 毫米和 44.49 毫米，呈持续增加趋势，平均每 10 年增加近 3.19 毫米，略低于整个西部的增加水平（图 3.3-3.4）。

塔里木盆地-东疆沙漠生态区潜在性蒸腾比率最高，60、70、80 和 90 年代的潜在性蒸腾比率分别为 29.72、23.28、21.55 和 22.58，整体上呈降低趋势，平均每 10 年降低 0.51；江河源区-甘南高寒草甸草原生态区平均潜在性蒸腾比率最低，60、70、80 和 90 年代的平均生物温度分别为 0.19、0.19、0.18 和 0.22，其中 60-70 年代基本上未发生变化，80 年代降低 0.01，90 年代上升近 0.03，整体呈上升趋势，平均每 10 年上升近 0.01（图 3.5-3.6）。

### 3.2. 中国西部陆地生态系统空间格局的现状与变化趋势

#### 3.2.1. 中国西部陆地生态系统空间分布的现状与变化趋势

在 38 种 HLZ 陆地生态系统（按照 HLZ 模型的定义，后文简称其为生命地带）中，全中国共出现了 28 类，而西部就有 27 类，仅缺少在海南南部低纬度地区出现的热带湿润森林地带，它表征了中国西部 HLZ 陆地生态系统类型的复杂性；其中，自 70 年代后在云南南部出现了热带干旱森林地带，它表征了降水量的增加与温度的上升。中国西部其他 HLZ 类型在研究的时段序列上随着生物温度、降水量、可能性蒸散率等气候条件的变化也在发生着一系列空间变化（图 3.8，表 3.1）。

热带荒漠地带主要分布在塔里木盆地和吐鲁番盆地的中心部位，也就是相应的塔克拉玛干沙漠地区；暖温带荒漠地带主要分布热带荒漠地带外部的塔里木盆地、吐鲁番盆地的大部分地区、柴达木盆地中心及阿拉善高原的巴丹吉林沙漠地区，整体上处于热带荒漠地带与冷温带荒漠地带之间；冷温带荒漠地带主要分布在暖温带荒漠地带外围的阿拉善高原西部与东部、塔里木盆地和吐鲁番盆地的边缘地区、柴达木盆地的外围地区；北方荒漠则重要分布在准格尔盆地的中部和西部一带，及阿拉善高原西北部的少部分地区；北方荒漠灌丛地带、冷温带灌丛地带、暖温带荒漠灌丛地带主要分布在阿拉善高原地区及准格尔盆地的大部分地区、黄土高原西北部和内蒙古高原的西南部地区。冷温带和暖温带荒漠灌丛地带均呈现出向外围扩展趋势，尤其是黄土高原和内蒙古高原上的荒漠灌丛地带向东、及东南方向的扩展趋势极为明显；北方干旱灌丛地带主要分布天山低山地区、青藏高原西南部、及祁连山北部低山地区。

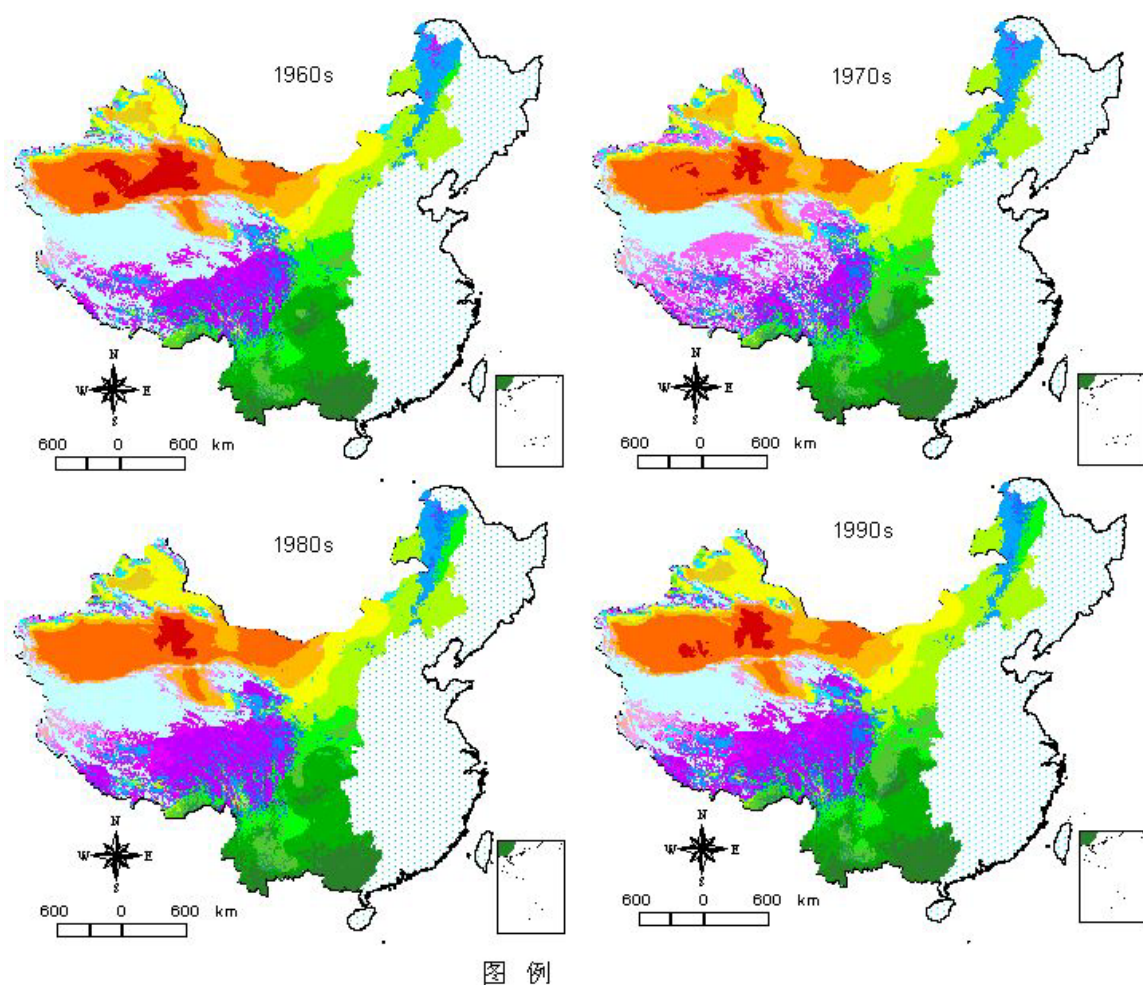
冰雪地带主要分布在青藏高原西北部的大部分地区、祁连山西北部的大部分高山地区、天山的哈尔克山和博格达山的高山地区、阿尔泰山的高山地区；高山干苔原地带、高山湿润苔原地带、高山潮湿苔原地带、高山雨苔原地带主要分布在冰雪地带外围的高山地区、青藏高原的东南部的大部分高山地区、阿尔泰山、祁连山及天山地区的冰雪地带外围、及大兴安岭北部的高山地区。随着气温的升高和降水量的增加，1961-2000 年间，中国西部的冰雪地带在持续减少，高山干苔原地带和高山潮湿地带在逐渐增加；青



藏高原上的冰雪地带明显向西北方向退缩，而其它高山地区的冰雪地带则逐渐向高海拔的山顶退缩。冰雪地带退缩所留下空间则逐渐被各种高山苔原地带所代替。

冷温带草原主要分布在蒙古高原、黄土高原及大兴安岭西部（如贝尔湖、呼伦湖一带）。暖温带有刺草原地带主要分布在喜马拉雅山东南部低山地区、天山西部伊犁河和北部艾比湖一带。

北方潮湿森林地带、北方湿润森林地带、北方雨林地带主要分布在青藏高原东部及大兴安岭一带；冷温带湿润森林地带、冷温带潮湿森林地带主要分布在青藏高原东部高山地区、秦岭的大部分高山地区及大兴安岭东北部；暖温带干旱森林地带主要分布在秦岭北部的低山地区及东南部地区、四川盆地中心地区，云贵高原的高山地区。



- |        |         |         |         |
|--------|---------|---------|---------|
| 冰雪     | 北方湿润森林  | 冷温带潮湿森林 | 亚热带有刺疏林 |
| 高山干苔原  | 北方潮湿森林  | 暖温带荒漠   | 亚热带干旱森林 |
| 高山湿润苔原 | 北方雨林    | 暖温带荒漠灌丛 | 亚热带湿润森林 |
| 高山潮湿苔原 | 冷温带荒漠   | 暖温带刺草原  | 亚热带潮湿森林 |
| 高山雨苔原  | 冷温带灌丛   | 暖温带干旱森林 | 热带荒漠    |
| 北方荒漠   | 冷温带草原   | 暖温带湿润森林 | 热带干旱森林  |
| 北方干旱灌丛 | 冷温带湿润森林 | 暖温带潮湿森林 | 热带湿润森林  |

图 3.8. 中国西部 HLZ 陆地生态系统空间分布变化趋势

表 3.1. 中国西部 HLZ 陆地生态系统分类标准

类型编码	生命地带名称	年平均 生物温度 ( )	年降水量 (毫米)	潜在性 蒸腾比率
1	冰雪	1.06	353.55	0.18
2	高山干苔原	2.12	88.38	1.41
3	高山湿润苔原	2.12	177.77	0.71
4	高山潮湿苔原	2.12	353.55	0.35
5	高山雨苔原	2.12	707.11	0.18
6	北方荒漠	4.24	88.39	2.83
7	北方干旱灌丛	4.24	177.78	1.41
8	北方湿润森林	4.24	353.55	0.71
9	北方潮湿森林	4.24	707.18	0.35
10	北方雨林	4.24	1 414.21	0.18
11	冷温带荒漠	8.48	88.39	5.68
12	冷温带干旱灌丛	8.48	177.78	2.83
13	冷温带草原	8.48	353.55	1.41
14	冷温带湿润森林	8.48	707.11	0.71
15	冷温带潮湿森林	8.48	1 414.21	0.35
16	冷温带雨林	8.48	2 828.43	0.18
17	暖温带荒漠	14.27	88.39	11.31
18	暖温带荒漠灌丛	14.27	177.78	5.68
19	暖温带有刺草原	14.27	353.55	2.83
20	暖温带干旱森林	14.27	707.11	1.41
21	暖温带湿润森林	14.27	1 414.21	0.71
22	暖温带潮湿森林	14.27	2 828.43	0.35
23	暖温带雨林	14.27	5 656.85	0.18
24	亚热带荒漠	20.18	88.39	11.31
25	亚热带荒漠灌丛	20.18	177.78	5.68
26	亚热带有刺疏林	20.18	353.55	2.83
27	亚热带干旱森林	20.18	707.11	1.41
28	亚热带湿润森林	20.18	1 414.21	0.71
29	亚热带潮湿森林	20.18	2 828.43	0.35
30	亚热带雨林	20.18	5 656.85	0.18
31	热带荒漠	33.94	88.39	22.6
32	热带荒漠灌丛	33.94	177.78	11.31
33	热带有刺疏林	33.94	353.55	5.68
34	热带很干森林	33.94	707.11	2.83
35	热带干旱森林	33.94	1 414.21	1.41
36	热带湿润森林	33.94	2 828.43	0.71
37	热带潮湿森林	33.94	5 656.85	0.35
38	热带雨林	33.94	11 313.71	0.18

暖温带湿润森林地带主要分布在四川东部、重庆、贵州的大部分地区及青藏高原南部、云南东部地区；暖温带潮湿森林地带主要分布云南西部及青藏高原南部低山地区。从整个西部来看，暖温带湿润森林地带和暖温带潮湿森林地带主要分布在长江上游的大部分地区。随着青藏高原气温与降水量的震荡性增加，生命地带类型也呈现出相应的震荡性变化趋势。由于青藏高原的气候条件和地形地貌特征极为复杂（尤其是青藏高原的东部），这些气候条件和地形地貌条件共同作用形成的土地覆被类型的演替相对频繁，因此青藏高原生态系统存在较大的不稳定性和脆弱性，尤其是青藏高原东北部、东南部及东部更为明显；亚热带干旱森林地带、亚热带湿润森林地带、亚热带潮湿森林地带主要分布在四川盆地东南部低山地区、广西的绝大部分地区及云南的西南地区。70年代后在广西最南端出现了热带干旱森林地带。

### 3.2.2. 中国西部 HLZ 陆地生态系统面积的平均变化趋势

中国西部 HLZ 陆地生态系统面积平均变化趋势分析结果表明（图 3.9）：冰雪地带面积呈持续减少趋势，平均每 10 年减少 8.92%，其中 70 年代比 60 年代减少了 23.27 百万公顷（减少 19.23%）。高山干苔原地带与冷温带灌丛地带呈持续增加趋势，平均每 10 年分别增加 15.45% 和 4.45%。其它生命地带类型呈波动变化趋势。总体上增加最快的为亚热带潮湿森林地带，平均每 10 年增加 238.62%，但其 70 年代到 80 年代呈减少趋势（减少 0.37 百万公顷）；总体上减少最快的为亚热带有刺疏林地带，平均每 10 年减少 15.18%，但其 70 年代到 80 年代成增加趋势（减少 0.01 百万公顷）。另外，值得注意的是暖温带荒漠灌丛地带。其中，暖温带荒漠灌丛地带除 70 年代比 60 年代减少 1.81 百万公顷外，70 年代到 80 年代（增加 50.71%）、80 年代到 90 年代（增加 38.02%）均呈快速增加趋势。它反映了我国 70 年代以后荒漠化面积不断扩大的现实情况。

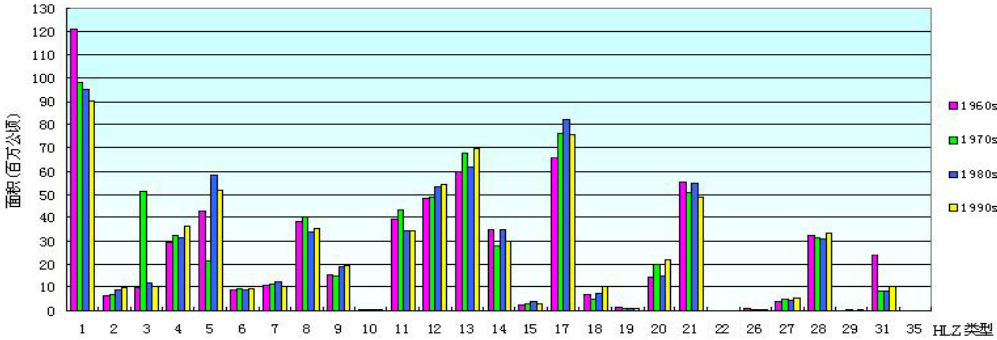


图 3.9. 中国西部 HLZ 陆地生态系统平均面积变化趋势（横坐标代码参照表 3.1）

### 3.2.3. 中国西部 HLZ 陆地生态系统多样性和斑块连通性变化趋势

中国西部 HLZ 生态系统多样性和斑块连通性均呈增加趋势，平均每 10 年分别增加 0.27% 和 2.79%。由于近半个世纪以来气温的不断上升，自 70 年代起在广西南部一带出现了热带湿润森林地带类型，因此生命地带类型由 60 年代的 26 种增加到 27 种。以上分析结果表明，随着气温的不断上升和降水逐渐的增加，中国西部生态系统正在向着有利于人类生存的方向发展。

### 3.3. 中国西部主要生态系统的现状与趋势

近年来，西部地区耕地、林地、草地变化很大。根据西部八省（区）统计数据（不包括云南、贵州、四川和重庆），1999年西部地区耕地面积较1986年增加了 $197.2 \times 10^4$ 公顷，增幅为7.7%，但耕地垦荒和弃耕的现象并存。1999年西部地区林地总面积和经济林面积有了一定幅度的增长，但同时生态功能较强的天然林和防护林的面积却有所减少。1999年西部地区草地面积显著减少，比1986年减少了 $1\ 111.3 \times 10^4$ 公顷，降幅达4.5%，但同时退化草地和遭受鼠害的草场面积却不断增加；园地面积增幅较大，但因其绝对面积变化并不大。

从1986到1999年，西部耕地总面积、水浇地面积、旱作农田面积等均有了明显增加。西部地区耕地增加的来源主要有两个方面；一是来自草地开垦，二是来自林地开垦或林地土地利用类型的改变。因草地开垦而增加的耕地面积占到了69.5%，因开垦林地或果园而增加的耕地占到了22.4%。与此同时，每年各地又有大量的耕地因产量低等原因而弃耕，弃耕后的土地水蚀、风蚀严重。耕地弃耕，陡坡地、旱地开垦，粗放型的耕作方式以及因耕地面积的增加导致的水资源时空分配的人为改变，使西部地区的生态环境急剧恶化。

#### 3.3.1. 森林生态系统

中国森林植被由于受水分和热量条件及其分布状况的影响，从北到南，随着纬度的降低，形成了有规律的变化（图3.10）。中国西部的各类地带性植被包括寒温带针叶林带、温带针阔叶混交林带、暖温带落叶阔叶林带、亚热带常绿阔叶林带、热带季雨林和雨林林带（沈国舫，2000）。

中国森林类型的分布除地带性分布外，还有一些非地带性分布类型。这些森林植被在地球表面并非单独形成一个“带”，而是分散地分布在各个植被带中，而且决定这些森林植被分布的主导因素是地形和地质条件影响下的局部特殊生境，并非当地的气候条件。因此，这些森林的分布是非地带性的。中国森林的非地带性类型可大致分为青藏高原区的森林、温带草原区的森林和温带荒漠区的山地森林三大类，大部分分布在西部。

西部林业用地面积14 324.83万公顷，占全国林业用地面积的54.4%；有林地面积7038.39万公顷，占全国有林地面积的44.3%；森林覆盖率10.29%；活立木蓄积756 918.22万立方米，有林地蓄积697 236.66万立方米。针叶林面积3 292.84万公顷，蓄积439 592.48万立方米；阔叶林面积3 035.26万公顷，蓄积257 644.18万立方米（国家林业局，2002）。

##### 3.3.1.1. 木材供给

全国第五次森林资源清查结果表明，我国森林资源变化的总趋势是：森林资源数量增长，但质量下降；林木生长量大于消耗量，但成过熟林资源持续下降；人工林数量增长，但天然林数量减少。森林资源消耗量已超过了目前森林资源结构所决定的合理消耗量。因此，未来一段时间解决木材供需平衡问题的着眼点不宜放在扩大林木资源采伐量上，而应放在提高林木资源利用效率上，通过推动人造板工业的发展和木材产品质量的提高及木材节约代用的推广来相对减少木材需求。另外，随着天然林保护工作的实施，

木材供给将相对减少。基于此，近几年林木资源消耗量大体维持在 1994-1998 年年均资源消耗量 3.71 亿 m<sup>3</sup> 的水平上（姚昌恬，2002）。

#### 3.3.1.2. 竹产品

1990-2001 年，西部地区竹产量由 1 943.64 万根增加到 7 363.01 万根，年均递增 12.87%；人均竹产量由 0.06 根/人增至 0.20 根/人，年均递增 11.57%。竹笋产量由 1980 年的 3 200 万吨增加到 1998 的 31 053 万吨，年均递增 13.46%，人均竹笋产量由 0.12 吨/人增至 0.88 吨/人，年均递增 11.98%。西部地区退耕还林工程的实施，使培育优质竹林的面积大幅度增加，这必将促进竹材和竹笋产量大幅度的提高来满足社会的需要。

#### 3.3.1.3. 经济林产品

1980-1999 年，西部林产品（板栗、松脂、棕片、乌桕、油茶、桐油）由 535 150 万吨增加到 950 317 万吨，年均递增 3.07%。人均林产品由 19.01 吨/人增加到 26.51 吨/人。因此，随着农村社会经济发展，人们生活水平的提高，对经济林产品的需求呈快速增长，同时由于产业结构的调整，科学技术的投入和优良品种的选育，市场发育的完善和管理水平的提高必将引导经济林产品供给能力的大幅度的提高。

#### 3.3.1.4. 薪材

在薪材供给方面，薪材仍然是中国农村的主要能源，特别是在边远山区。1981-1993 年，薪材产量呈增长趋势，由 3 354.1 万吨增加到 6 607.4 万吨，年均递增 5.81%。1993 年西部地区的需求承载度为 135%，西部地区现有森林薪材存在着严重的超负荷承载，这对未来的森林资源产生巨大的压力，必须给以高度的重视，并采取有效措施加以解决，逐步实现薪材的可持续发展。

#### 3.3.1.5. 基因资源

西部生物多样性比较丰富。物种多样性表现为哺乳动物约占全国的 52%，爬行动物占 1/3 弱，两栖动物占 50%，动物特有种约占全国特有种数的 50%-80%；植物种类更为多样，仅苔藓植物就占全国的近 1/2，特有种占全国的 1/4，蕨类植物仅云南就在 1 500 种以上。四川、贵州两省药用植物分别达 4 600 种和 3 700 种，广西、云南、重庆、新疆也在 2 000 种以上，陕西、青海、西藏各有 700-800 余种，均在全国占有重要地位。生态系统多样性表现为既有北方针叶林和亚高山针叶林，又有暖性、暖温性针叶林，亚热带常绿阔叶林，硬叶常绿阔叶林，以铁杉为主的针阔混交林，热带森林，草原，荒漠以及湿地等多种类型。西部地区共建立自然保护区 400 余处，保护区总面积达到 6 300 万公顷多，占西部地区国土面积的 9.2%。保护区的建设，使西部地区特有的生物生存环境得到了有效保护，青海湖自然保护区建立至今，候鸟种群数量已达到了 4.7 万只，超过了历史最高水平。在称为“动植物王国”的云南和“基因宝库”的青藏高原境内受到威胁的生物物种约占总类数的 15-20%，高于世界 10-15% 的平均水平。

#### 3.3.2. 草地生态系统

中国西部天然草地生态系统可分为四大区：温带草地生态系统区、高寒草地生态系统区、荒漠草地生态系统区和西南草地生态系统区。温带草地生态系统区主要包括内蒙古高原东部、黄土高原和新疆局部的半干旱区草地；高寒草地生态系统主要分布在青藏

高原；荒漠草地生态系统主要分布于新疆、柴达木和内蒙古西部；南方草地生态系统以草山草坡为主，多为森林破坏后次生的草地及海拔较高的中高山草地。

### 3.3.2.1. 中国西部各覆盖度等级草地空间分布

目前，中国西部天然草地总面积为  $3.31 \times 10^8$  公顷，占西部地区国土总面积的 48.2%。其中，草地覆盖度高于 50% 的草地面积有  $1.30 \times 10^8$  公顷，占西部总草地面积的 39.28%；草地覆盖度在 20-50% 的草地面积有  $1.21 \times 10^8$  公顷，占西部总草地面积的 36.68%；草地覆盖度在 5-20% 的草地面积有  $7.97 \times 10^7$  公顷，占西部草地总面积的 24.04%（图 3.10）。覆盖度高于 50% 的草地主要分布于青藏高原和内蒙古东部水分条件相对较好的地区；覆盖度在 20-50% 的草地主要分布于青藏高原西部、内蒙古中部、黄土高原中部、西南草地区 and 新疆局部地区；覆盖度在 5-20% 的草地主要分布于新疆、柴达木、内蒙古西部和青藏高原局部地区。

### 3.3.2.2. 中国西部草地生产力

西部虽然面积广阔，占国土面积的 68.83%，但人口仅占全国总人口的 27.41%。自然环境的恶劣使草地生态系统生产力很低，在中国西部草地生态系统各个生态区中，单位面积生产力以西南草地区最高，其次为温带草地区和荒漠草地区，以高寒草地区最低。人均草地面积以高寒草地区最高，其次为荒漠草地区和温带草地区，以西南草地区人均面积最小。人均产值以荒漠草地区最高，其次为温带草地区和西南草地区，以高寒草地区最低。

中国西部天然草地资源面积较大，约为  $3.31 \times 10^8$  公顷，但是大部分草地单位面积产量很低。据统计，在中国西部天然草地资源中，单产在 120 000kg/公顷以上的草地面积只有  $1.1 \times 10^7$  公顷，仅占西部天然草地资源总面积的 3.32%；单产超过 3 000kg/公顷的草地面积约为  $1.0 \times 10^8$  公顷，占西部天然草地资源总面积的 31.42%。而产量低于 3000kg/公顷的草地面积约为  $2.24 \times 10^8$  公顷，占西部草地资源总面积的 67.67%；其中，产量低于 750kg/公顷的草地面积占到西部草地资源总面积的 25% 以上。

### 3.3.3. 农田生态系统

据国土资源部《2001 年中国国土资源报告》，西部地区 12 省（区、市）土地总面积为 67 546.39 万公顷，占全国陆地总面积的 71.05%；其中农田面积 4 795.82 万公顷，占西部地区土地总面积的 7.1%（图 3.10）。以第五次全国人口普查数据为基础，西部地区人均占有土地 28.52 亩，为全国人均土地的 2.6 倍。其中，人均占有农田 2.02 亩，为全国平均水平的 1.4 倍。在空间分布上，人均占有土地最多的是西藏自治区，为 688.21 亩，是西部平均水平的 24.1 倍；人均占有农田最多的是内蒙古自治区，为 4.7 亩，是西部地区平均水平的 2.3 倍；人均占有农田最少的是四川省，为 1.15 亩，是西部地区平均水平的 56.9%。

西部农田生态系统与全国平均水平相比，表现为量大、质次、经营粗放、服务人口少的特征。

#### 3.3.3.1. 粮食生产

2002 年西部地区农田生态系统供应粮食总量为 12 682 万吨，占全国农田生态系统供应粮食总量的 27.74%。2002 年西部地区 12 个省市农田生态系统供应粮食总量中，其



中四川最多,为3 132.4万吨,占整个西部地区粮食总量的24.70%,其次是广西,为1486.8万吨,占整个西部地区粮食总量的11.72%;最少的是青海省,为91.3万吨。西部地区农田生态系统供应粮食总量1957年到2002年整体上呈增长的态势,从1957年的4556.98万吨增加到2002年的12 682万吨,年平均增长率为3.96%。

#### 3.3.3.2. 纤维供应

2002年西部地区农田生态系统供应棉花总量为161.9万吨,占全国农田生态系统供应棉花总量的32.9%。2002年西部地区农田生态系统供应棉花总量中,其中新疆维吾尔自治区棉花总产量最多,为147.7万吨,占整个西部地区棉花总量的91.2%;其次是甘肃省,其棉花总产量为7万吨,占整个西部地区棉花总量的4.3%;第三位的是陕西省,其棉花总产量为4.3万吨,占整个西部地区棉花总量的2.7%;最少的是广西壮族自治区和贵州省,均为0.1万吨;没有种植棉花的省市有重庆市、云南省、西藏自治区、青海省、宁夏回族自治区。

#### 3.3.3.3. 退耕还林还草

近年来,西部地区已经逐步加大了退耕还林还草的力度,特别是1999年下半年及2000年国家出台有关退耕还林(草)政策以来,有关省(自治区、直辖市)大力开展退耕还林还草工作。据2000年调查初步统计,近几年,西部地区15度以上坡耕地已退耕100多万公顷,其中25度以上坡耕地50多万公顷,仅2000年度西部地区退耕面积达42万公顷,其中25度以上坡耕地23多万公顷。

据2000年调查,长江流域25度以上坡耕地中,有224万公顷坡地应逐步退耕,约有67 000多公顷梯田也不宜继续耕种;在15度-25度坡耕地中,有68万公顷不宜耕种。因此,长江流域有293万公顷以上坡耕地应逐步退耕。

黄河流域25度以上坡耕地中有64万公顷坡地应逐步退耕,约有39 300多公顷梯田不宜继续耕种;在15度-25度坡耕地中,有90多万公顷不宜耕种。因此,黄河流域有158万公顷坡耕地需退耕。

除长江、黄河流域外,西部地区25度以上坡耕地中尚有80万公顷坡耕地不宜耕种,有1.6万公顷梯田不宜继续耕种;15度-25度坡耕地中还有31万公顷不宜耕种。

整个西部地区约有380万公顷25度以上坡地和梯田,190万公顷15度-25度坡耕地不宜耕种,共计570万公顷15度以上坡耕地应当逐步退耕。这部分耕地约占西部地区耕地总量的15度以上坡耕地的40%,但这些耕地生产能力较低,粮食年产量不足100亿公斤,只占整个西部地区粮食总产量的8%,占全国粮食总产量的2%左右,因此这部分耕地退下来对全国粮食的供应影响并不太大。在目前我国粮食相对过剩的情况下,通过退耕还林还草,既保护和改善了生态环境,同时也有利于提高这些土地及其他平川耕地的肥力,保护和提高粮食生产能力。预计近期每年坡耕地退耕40万公顷-50万公顷是可行的,如果国家下大决心,进一步加大力度,加强各项措施,短期内实现这部分耕地全部退耕也是可能的。

#### 3.3.4. 湿地生态系统

湿地包括沼泽、泥炭地、湿草甸、湖泊、河流及泛滥平原、河口三角洲、滩涂、珊瑚礁、红树林、水库、池塘、水稻田以及低潮时水深浅于6米的海岸带等。换句话说,

湿地可被视为一个内部过程长期为水所控制的生态系统（殷康前，倪晋仁，1998）。按照这种定义进行统计，我国天然湿地面积大约在 2 300 万公顷-2 500 万公顷之间（陆健健，1990；余国强，陈扬乐，1997）。

据遥感数据统计结果，在上世纪 80 年代末期，中国西部湿地面积为 1629.30 万公顷，占西部土地总面积的 2.43%；到上世纪 90 年代末期，湿地面积为 1657.00 万公顷，占西部土地总面积的 2.47%。在 10 年间湿地总面积增加了 27.68 万公顷。

#### 3.3.4.1. 湿地生态系统地表覆被

中国西部分布最广的湿地类型是沼泽湿地，因此沼泽植被在中国西部的植被中占有重要地位。沼泽植被类型多样，草本沼泽主要有各类苔草沼泽、蒹草沼泽、杜香及泥炭藓沼泽、嵩草草甸、苔草草甸等；在平原地区主要为：芦苇沼泽、茭笋沼泽、香蒲沼泽、酸模叶蓼沼泽以及星星草草甸、狼尾草草甸和拂子茅草甸。而在湖泊区域内则主要为金鱼藻、黑藻、狐尾藻群落；浮萍、品藻群落；苦菜、水鳖群落；眼子菜、浮叶眼子菜群落以及满江红、槐叶萍群落等。

森林沼泽分布在内蒙古的大兴安岭地区和西南地区，大兴安岭地区的主要类型为兴安落叶松沼泽、太白落叶松沼泽、冷杉沼泽、赤杨沼泽；在西南地区分布有水松沼泽和水杉沼泽。灌丛沼泽也是中国西部地区湿地的一个重要类型，主要包括桦灌丛沼泽、柳灌丛沼泽、绣线菊灌丛沼泽、锦鸡儿灌丛沼泽、箭竹灌丛沼泽、岗松灌丛沼泽、野牡丹灌丛沼泽、杜香灌丛沼泽、杜鹃灌丛沼泽等（中国湿地植被编辑委员会，1999）。

此外，在沿海地区还分布有红树沼泽、海草群落等；在西北内陆分布有盐湖等各类盐碱沼泽。

#### 3.3.4.2. 湿地类空间分布及其生态功能

中国西部湿地在空间上可划分为内蒙古东北部湿地、西北部干旱地区湿地、云贵高原湿地、青藏高原湿地和沿海湿地（图 3.10）。属于中国西部范围的内蒙古东北部湿地主要指大兴安岭湿地，连同区域外的三江平原湿地、松嫩平原的沼泽、湖泊、湿草甸及遍布小兴安岭、长白山湿地，以其繁茂的草丛和丰富的有机质基地，为迁徙鸟类提供了理想的食物和隐蔽条件。这一地区水禽种类丰富，非常适合丹顶鹤、白头鹤、白鹤、白鹳、黑鹳、中华秋沙鸭以及鹈类、鸥类、雁鸭类等水禽的栖息繁殖，是亚洲东北部水禽繁殖中心和亚洲北部水禽南迁的必经之地（赵魁义，1999）。

西北部干旱地区湿地多属于内陆、高原湿地类型，既有海拔 2 500-5 000 米的高山草甸沼泽和芦苇沼泽，也有博斯腾湖、赛里木湖等湖泊。巴音布鲁克自然保护区即分布于此，为大天鹅的重要繁殖地。该地区因其自然隐蔽条件以及部分短途和横向迁徙的水禽自然习惯性因素的作用，每年 4-5 月有众多的水禽在此栖息繁殖，如黑颈鹤、大天鹅、斑头雁、赤麻鸭、黑鹳、棕头鸥、红嘴鸥、红脚鹬等。另外，塔里木河流域是我国黑鹳的重要繁殖地。内蒙古毛乌素沙漠中的湖泊群承载了遗鸥在自然界总数中近 40% 的个体，即遗鸥鄂尔多斯种群。河套地区的乌梁素海是这一地区内另一潜在的国际重要湿地，由于稳定性能较差，仅在迁徙季节成为过往水禽的重要驿站（陈克林，1998）。



云贵高原的湿地生境颇具特色，既有高原湖泊，又有湿草甸，在冬季承载着相当数量的内陆迁徙鸟类越冬。滇西北庆州的纳帕海、滇东北的曲靖、昭通地区及贵州西部的草海，是黑颈鹤的重要越冬地。近年来，昆明的滇池成为我国红嘴鸥的主要越冬地。

青藏高原湿地包括西藏、青海及四川西部。该区域气温低，干燥少雨，但日照充足，分布有众多湖泊、沼泽、湿草甸，成为水禽的栖息地。青海湖鸟岛是我国高原上的一处国际重要湿地。此外，扎陵湖、鄂陵湖、纳木错等湖泊亦具有相当的重要性。青藏高原东北部是黑颈鹤的繁殖地，由四川西北部的若尔盖向西延伸至青海玉树的隆宝滩，北至青海湖附近。青藏高原上鸟类甚多但种类单调，主要有普通鸬鹚、斑头雁、鱼鸥、棕头鸥等。

沿海湿地在中国西部地区仅分布于广西北部湾一带海域。红树林是该类型湿地的特征，由河流入海口、曲折的港湾和许多小的近岸岛屿组成。与大陆迥异的气候条件，宽阔的潮间带滩涂，丰产的甲壳类动物和水生植物吸引了大量的海鸥、鹈类、鹭类鸭类等水禽在这里栖息、繁殖和越冬，候鸟迁徙的重要驿站和越冬地。

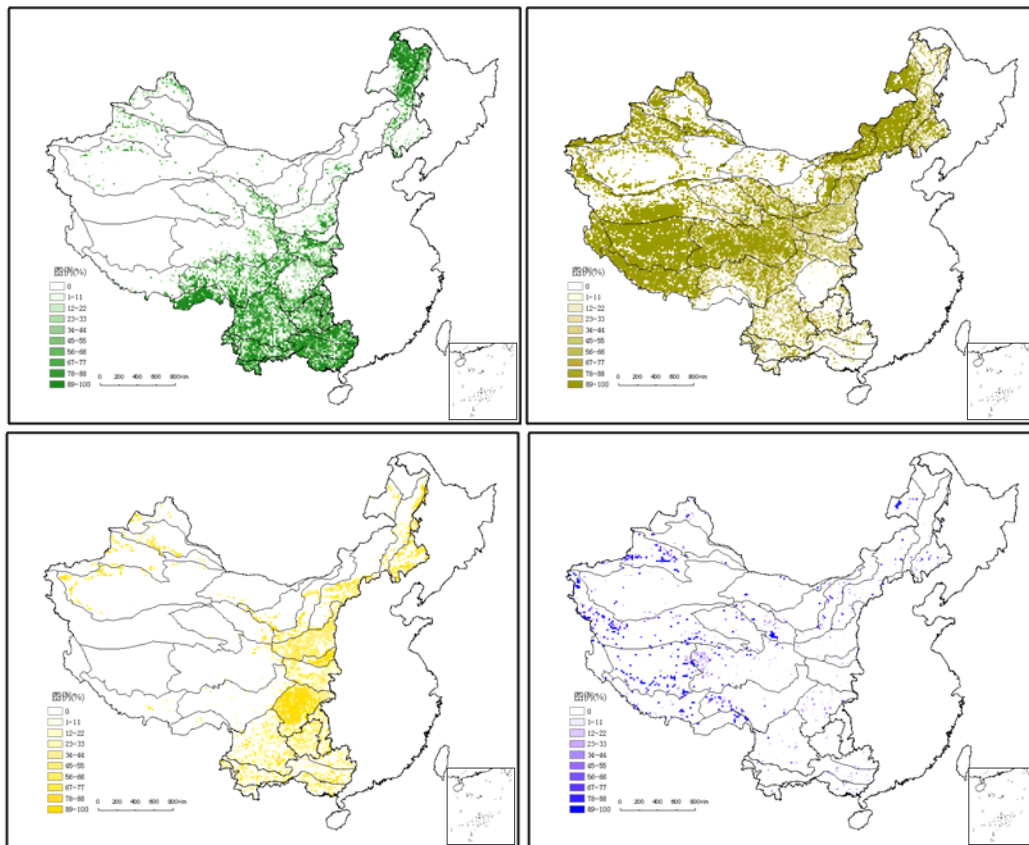


图 3.10. 中国西部主要生态系统（上左图：森林覆盖度及空间分布；上右图：草地覆盖度及空间分布；下左图：农田生态系统空间分布；下右图：湿地空间分布图）

### 3.4. 土地利用现状与变化趋势

20 世纪 90 年代，我国利用遥感监测数据，对土地利用现状与变化趋势进行了比较分析（刘纪远等，2000；刘纪远，1997）。遥感调查的土地总面积中（Liu et al., 2003a），耕地（包括水田、旱地）占 18.94%，林地（包括有林地、灌木林地、疏林地和其它林

地)占23.61%，草地(包括高、中、低3种覆盖度)占31.69%，水域占2.87%，城乡、工矿、居民用地占1.82%，未利用土地占21.06% (图3.7)。

### 3.4.1. 中国西部土地利用面积变化的基本特点

在土地利用变化面积中，内蒙古自治区变化面积最大，土地利变化面积达到523.03万公顷，占全国土地类型变化总面积的25.53%；其次是新疆维吾尔自治区，占全国动态变化总面积的6.77%。其他各省、市、自治区发生的土地利用变化面积占全国土地总变化面积的比例均在2.77%以下(表3.2)。

中国西部土地利用变化类型的主要空间格局特点可概括为：四川盆地城乡建设用地显著扩张，而占用的主要为优质耕地；内蒙古东部地区以林地和草地的开垦为显著特点；黄土高原区及秦岭山区草地开垦、退耕还林还草及撂荒并存；四川盆地周边山地、贵州及云南西部山区林地减少，云南中部地区以退耕还林还草和草地向林地的转换为主要特点；西北干旱与绿洲农业区传统绿洲边缘部分土地被开垦为耕地，同时部分绿洲内原有耕地撂荒；青藏高原区在此期间变化较小，主要表现为水域的微弱变化。

表 3.2. 1980-2000 年中国西部各省土地利用动态变化特征值 (面积单位：公顷)

省、市、自治区	占全国变化总面积比例	占省区土地总面积比例	动态图斑平均大小	省、市、自治区	占全国变化总面积比例	占省区土地总面积比例	动态图斑平均大小
内蒙古	25.53%	4.57%	146.58	广西	1.52%	1.32%	92.99
甘肃	1.18%	0.60%	30.76	四川	1.42%	0.60%	23.37
青海	1.74%	0.50%	32.59	重庆	0.39%	0.96%	43.92
宁夏	1.97%	7.81%	61.78	贵州	0.59%	0.69%	40.22
新疆	6.77%	0.85%	42.48	云南	2.77%	1.48%	85.36
陕西	1.88%	1.87%	42.26	西藏	0.09%	0.01%	47.68

### 3.4.2. 中国西部土地利用类型的收缩与扩张

土地类型收缩是指原有利用方式下的土地面积，因为向其它类型的转变而导致的分布区域减小和面积减少，扩张与其相反。由于一定区域内的土地总面积保持不变，一种土地利用类型面积的收缩意味着其它土地利用类型相等面积的扩大，因而采用不同土地利用类型变化面积在全国总变化面积中的比例可以反映出主要的土地利用变化类型，而且有助于发现土地利用变化过程的主要趋势 (Liu et al., 1999)。

贵州省和云南省以灌木林地收缩为主要趋势，占省收缩类型总面积的21.45-43.68%；内蒙古自治区和广西壮族自治区以高覆盖度草地收缩为主要趋势，相应比例在23.90-34.38%之间；重庆市和甘肃省以中覆盖度草地收缩为主要趋势，占省收缩类型总面积的21.76-25.55%；宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区和青海省以低覆盖度草地收缩为主要趋势，低覆盖度草地收缩占省收缩类型总面积的40.20-47.72%；以沙地收缩为主要趋势的地区只有陕西省，占收缩类型总面积的36.33%。

土地类型扩张区域，旱地的增加是主要趋势。以旱地扩大为主的省、自治区包括甘肃省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区和内蒙古自治区，旱地扩张占各省、自治区扩张类型总面积的21.67-50.68%；以有林地扩大为主要趋势的省是广西壮族自治区；以

灌木林地扩大为主要趋势的地区为重庆市，面积比例为 26.62%；以高覆盖度草地扩大为主要趋势的地区只有云南省，高覆盖度草地扩大面积占全省扩张类型总面积的 26.08%；以中覆盖度草地为主要趋势的地区为贵州省、四川省，占 21.44-34.68%；以低覆盖度草地扩大为主要趋势的省为陕西省，占 38.30%。

3.4.3. 中国西部土地利用类型的变化

从 20 世纪 80 年代末期到 90 年代末期（图 3.7，表 3.3），中国西部地区草地面积的减少幅度很大，净减草地达  $4.57 \times 10^4$  平方公里。从土地利用的二级分类上看，高覆盖草地、中覆盖草地和低覆盖草地都呈减少态势。林地也有一定幅度的减少，净减少  $3.45 \times 10^3$  平方公里，林地面积的减少是有林地减少与灌木林地、疏林地和其他林地面积增加总量平衡的结果。耕地、水域、城乡工矿和居民用地、未利用土地面积从总量上呈增加态势。整个研究时段，耕地的变化主要以旱地的增加为主，净增面积达  $7.82 \times 10^3$  平方公里，占耕地总增加面积的 94.97%，水田增加  $4.10 \times 10^2$  平方公里，占耕地总增加面积的 5.03%。水域面积也有小幅增加，增加面积达  $2.10 \times 10^3$  平方公里。城乡工矿和居民用地面积增加  $3.23 \times 10^3$  平方公里，其中，城镇用地面积的增加尤以显著，城镇用地增加  $1.63 \times 10^3$  平方公里，占城乡工矿和居民用地总增加面积的 50.50%，农村居民点用地增加  $1.37 \times 10^3$  平方公里，占城乡工矿和居民用地总增加面积的 42.59%，公交建设用地增加  $2.23 \times 10^2$  平方公里，占城乡工矿和居民用地总增加面积的 6.91%。未利用土地大幅增加，未利用土地的增加是沙地、戈壁、沼泽地、裸土地与裸岩石砾地增加与盐碱地和其它未利用土地减少总量平衡的结果（刘纪远等，2002；Liu et al., 1999）。

20 世纪 80 年代中期至 20 世纪末期，中国西部地区土地利用的变化主要体现为草地与林地的减少与耕地、水域、城乡工矿和居民用地与未利用土地的相应增加。其中林、草地的减少与耕地和城乡工矿和居民用地的扩展形成一对矛盾，驱动了中国西部地区 20 世纪 80 年代末期土地利用变化格局的形态。同时，各种用地类型之间也存在着较大幅度的转移，其中以草地与林地向其它用地类型的转移为主，从转移的幅度看，排名前十位的转移方向依次是：草地转为耕地、草地内部转移、草地转为未利用土地、未利用土地转为草地、草地转为林地、林地转为草地、耕地转为草地、林地内部转移、林地转为耕地与草地转为城乡工矿和居民用地（Liu et al., 2002b; Liu et al, 2005）。

表 3.3. 中国西部土地利用类型之间的转变（单位：公顷）

类型	耕地	林地	草地	水域	城乡工矿和居民用地	未利用土地
耕地	53692.19	130598.40	452656.36	37875.15	211733.34	61194.61
林地	378933.03	432253.13	481251.58	22314.58	67990.18	14147.77
草地	1833896.18	527432.29	1711569.28	149337.46	337523.93	832812.45
水域	50081.07	15203.98	51579.29	133814.58	17334.57	80383.85
城乡工矿和居民用地	1033.36	22758.93	88253.24	9316.27	51193.55	12870.25
未利用土地	127159.47	17978.89	558369.30	129765.69	36349.02	149444.29

### 3.5. 中国西部地区陆地生态系统初级生产力 (NPP) 与碳汇 (NEP) 变化趋势

CEVSA 模型模拟结果表明,1981-2000 年期间,除西藏东南部以及四川和云贵地区 NPP 较高外,其他地区 NPP 都在  $200 \text{ g C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  以下(图 3.11)。整个西部地区 20 年 NPP 总量平均约为  $1.63 \text{ Pg C}\cdot\text{a}^{-1}$  相应的单位 NPP 平均约为  $255 \text{ g C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。约为 CEVSA 模型模拟的全国 NPP 水平的 70%左右 ( $363 \text{ g C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )。从 NEP 情况来看,1981-2000 年西部地区整体是一个碳汇,吸收的总碳量约为  $0.83 \text{ Pg C}\cdot\text{a}^{-1}$ ,约占同一时段内整个中国陆地生态系统总吸收碳量的 66%。

从 20 年平均情况看,碳吸收 (NEP 大于零) 主要发生在西南地区西部、藏东南地区、东北平原、华北中西部地区以及华南地区。碳释放 (NEP<0) 主要发生在四川盆地南缘、秦巴山区 ( $-45 \sim -90 \text{ g C/m}^2/\text{a}$ )、浙闽丘陵地区 ( $-30 \sim -45 \text{ g C/m}^2/\text{a}$ )、内蒙西北部和新疆部分地区 (小于  $-60 \text{ g C/m}^2/\text{a}$ )。NEP 的这一空间格局与气候及其所导致的 NPP 和 HR (土壤异养呼吸) 的分布密切相关。在北方,NEP 较高的地区往往同 NPP 高值地区相一致,与 HR 变化相关性不显著,如在内蒙地区,其年平均 NEP 同 NPP 的相关系数达 0.94 ( $R<0.01$ )。我国气候近 50 年来存在明显的变暖趋势,尤其是近 20 多年来,华北、东北地区以及西北中部地区增温每 10 年达 0.5 以上,高于全球平均的每 10 年达 0.2,而且,1990 年代增温幅度和增温范围又明显大于 1980 年代;1970 年代以后西北部分地区降水明显减少。

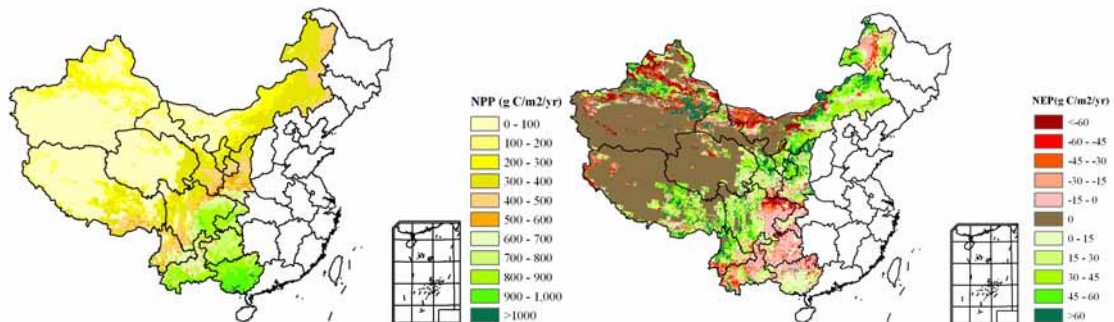


图 3.11. 中国西部 1981-2000 年 NPP (左) 和 NEP (右) 平均分布图

从整体上看,中国近 20 年可以说是处于一个相对暖干的时期,因而此间陆地碳吸收强度比较低,西部地区则比全国碳吸收水平更低一些。黄土高原大部地区和四川盆地东北部地区基本上是 NPP 下降趋势较为明显 (多在  $10 \text{ g C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{yr}^{-2}$  左右),此外,内蒙东北部地区 NPP 也呈下降趋势 ( $2-6 \text{ g C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-2}$ );藏东南和云贵地区 NPP 增长趋势显著。从 NEP 的情况看,黄土高原地区是碳汇区,但由于研究时段内降水量呈明显下降趋势,所以上述地区也是 20 年来 NEP 下降趋势最为强烈的地区(图 3.12)。

从过去西部地区 NPP 和 NEP 每 10 天距平序列和年代际变化来看,1981-2000 年 NPP 有较缓慢的增长趋势(陶波等,2005;刘纪远等,2003b),NEP 则呈缓慢的下降趋势,即碳吸收能力呈减弱趋势。1998 年是 1981-2000 年间 NPP 最高的年份,同时 NEP 也仅次与 1993 年是 20 年间最大的一年,该年西部地区降水量比研究时段内平均量多了 41 毫米,同时年均温也是最高的一年,西部地区 NEP 和 NPP 对降水量变化的敏感和温度升高对水分利用效率的作用是造成这一结果的主要原因。

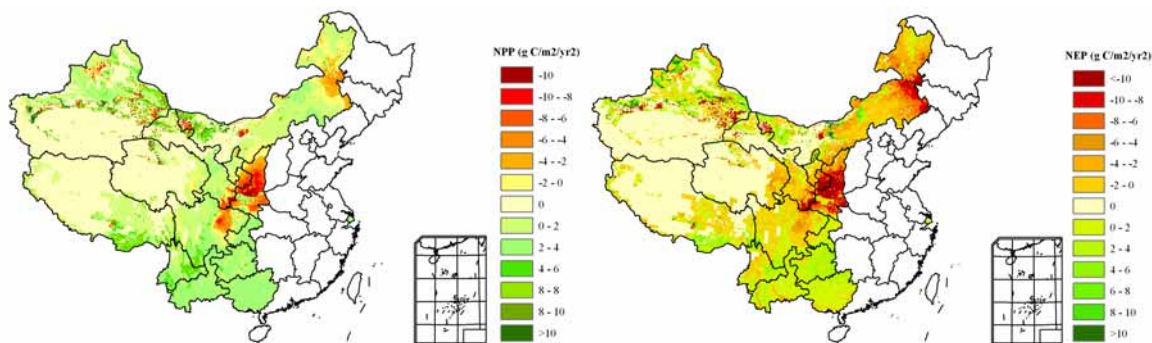


图 3.12. CEVSA 模拟的中国西部地区 NPP (左) 和 NEP (右) 变化趋势图

### 3.6. 淡水

西部地区地域辽阔，区域差异明显。西南地区气候温和、多雨，河川面积丰富，虽然面积只占全国的 26.48%，但水资源却占全国水资源总量的 46.4%。西北地区深居大陆腹地，气候干旱、少雨，有 75% 的面积属于干旱、半干旱地区，河川径流贫乏，水资源严重短缺，面积虽占全国的 42.35%，但水资源只占全国的 10%（秦大河，2002）

#### 3.6.1. 西北地区淡水资源

##### 3.6.1.1. 降水资源

西北地区多年平均降水深 201 毫米，降水总量 6 934 亿立方米。其中西北黄河区多年平均降水深 422 毫米，降水量 2 559 亿立方米；西北内陆区多年平均降水深 145 毫米，降水总量 3 661 亿立方米，内蒙古高原内陆片多年平均降水深 250 毫米，降水总量 714 亿立方米。

季节性积雪是西北干旱地区重要的淡水资源，新疆是我国积雪水资源最为丰富的地区。冬季积雪鼎盛时期平均积雪贮量（水当量）达 361 亿立方米。其中北疆 211.6 亿立方米，南疆 130.5 亿立方米，祁连山区 18.9 亿立方米（钱正英，2004）。

##### 3.6.1.2. 河川径流量

西北地区的河川径流量由山区的冰雪融水、地表径流和以地下水补给为主的基流量组成。根据国家“九五”科技攻关及《西北地区水资源开发利用规划报告》成果，西北地区年径流总量（按 1956-1995 年系列）为 1 441 亿立方米，相应径流深 41.8 毫米。其中西北黄河区年径流量 475.4 亿立方米，相应径流深 75.5 毫米，占西北地区的 33%；西北内陆河区年径流量 958.4 亿立方米，相应径流深 38 毫米；内蒙古高原内陆片年径流量 7.3 亿立方米，相应径流深 3 毫米，内陆河流域合计占西北地区的 67%。

西北地区年径流深的地区分布与降水基本一致。山区年降水量达，并有冰川积雪融水补给，为主要产流区。年径流深在 200 毫米以上的地区有阿尔泰山、天山、陕西秦岭以南、祁连山区。准噶尔盆地、塔里木盆地、柴达木盆地为年径流深低值区，其边缘的年径流深小于 20 毫米，位于盆地中心的荒漠区为径流消失区。



### 3.6.1.3. 地下水资源量

地下水资源山区按排泄量计算,平原区按补给量计算。由于山区地下水补给地表水,出山口以后地表水又补给地下水,因此需要计算地表水和地下水相互转化造成的重复水量。按上述方法计算,西北地区地下水资源量为 1 067.06 亿立方米,其中重复量 873.80 亿立方米。

西北黄河区地下水资源量为 325.69 亿立方米,其中重复量为 267.78 亿立方米;西北内陆区为 694.60 亿立方米,其中重复量为 601.80 亿立方米;内蒙古高原内陆片为 46.77 亿立方米,其中重复量为 4.22 亿立方米,该区绝大部分的地下水资源是由降水渗漏直接补给。

### 3.6.1.4. 水资源总量和水量平衡

全区降水资源量共 6 934 亿立方米,折合降水深 201.1 毫米,形成河川径流量 1 441 亿立方米,折合径流深 41.8 毫米,占降水总量 21%,陆地蒸发量为 5493 亿立方米,折合陆地蒸发深 159.3 毫米,占降水总量 79%。全区地下水资源量为 1 067.1 亿立方米,占水资源总量 1 634.35 亿立方米的 65%,其中可以陆面蒸发和潜水蒸发形式被当地植被所夺取的不重复地下水资源量为 193.26 亿立方米。其地区分布为:西北黄河区为 57.9 亿立方米,西北内陆河区为 92.8 亿立方米,内蒙古内陆区为 42.6 亿立方米,分别占西北地区不重复地下水量的 30%、48%和 22%。

### 3.6.2. 西南地区淡水资源

西南地区地表水资源十分丰富,有 12 749 亿立方米之多,占西部地表水资源的 83.7%。西南地表水丰富得益于大气降水多,境内年平均降水量为 838.8 毫米,比全国平均降水深高 30%,降水分布不均,山区高值区可达 3 000-5 137 毫米,云南高原东部、四川盆地少雨区不足 900 毫米。

西南各省(区、市)的水资源量都名列全国前茅,其中西藏以 4482 亿立方米居全国之首。按平均年产水模数,广西最高达 81.74 万立方米/平方千米,最低西藏也有 37.35 万立方米/平方千米,都高于全国平均值 28.6 万立方米/平方千米。仅西南诸河流域片(不包括长江与黄河上游部分)的水资源量就达 5 853.1 亿立方米,平均年产水模数 68.75 万立方米/平方千米,其中滇西及藏南诸河流域,分别达到 148.31 万立方米/平方千米和 125.31 万立方米/平方千米,是我国产水量最多的湿润地区之一。

西南地区雨量相对充沛,水资源相对丰富,主要水系属于长江流域、珠江流域和四条国际河流及藏北羌塘内陆河流域。多年平均(1956-1979年)年水量为 10 951 亿立方米,扣除青海每年流入金沙江的来水量 114.63 亿立方米,当地年产水量的多年平均值为 10 836 亿立方米(张宗祜、卢耀如,2002)。

## 3.7. 食物

### 3.7.1. 西部地区农田生态系统食物供给功能

西部地区尽管幅员辽阔,但其耕地面积很少,其幅员占全国的 71%,而耕地毛面积 667 891 平方公里,仅占全国的 37%。水田主要分布于西南各省,特别是四川盆地;旱地主要分布于西部地区的东部,如内蒙、四川、陕西等地。

评估结果表明,中国西部地区粮食供给潜力为 32 261 万吨。此外,西部地区作物秸秆资源中用于饲料的部分可为人类提供肉食 443.83 万吨(羊肉)。两者合计算可折合营养物质为热量 1 136.61 万亿卡,蛋白质 3 191.80 万吨,脂肪 996.95 万吨。

西部地区食物供给潜力的地区差异巨大(图 3.13)。从分省的总产潜力来看,粮食潜力最高的地区为四川、广西、云南、贵州、陕西、内蒙、重庆七个省市自治区,其潜力都在 2 000 万吨以上,最高的四川省达到了 7 883 万吨,占西部地区的四分之一,七个地区合计达 29 296 万吨,占整个西部地区的 95.27%。西藏、青海、甘肃、宁夏、新疆五个地区的粮食潜力总量还不到整个西部的 5%。可见,西部地区的粮食供给潜力主要来自于西南地区,这一方面是由于耕地主要位于西南地区,另一方面,西南地区由于水热条件较好,粮食单产潜力远比西北地区高。广西、重庆、四川、贵州、云南五地平均每公顷粮食潜力都在 10 吨以上,广西最高,达到了 17.89 吨,而西部其它地区的单产潜力均不足 5 吨/公顷(除陕西外)。从潜力系数来看,最高的广西为 3.9,云南 3.3,重庆、四川、贵州三地由于常年云雾较多,太阳辐射不足,潜力系数不如云南及广西,其它地区除陕西、甘肃略高外,其余省区的系数都小于 2。

与全国及东、中部地区相比,西部地区无论在总产或单产上都比较低。其粮食总产潜力占全国的比例仅 27.33%,平均单产潜力 7 752 公斤/公顷,而中部、东部及全国平均分别达到了 9 985 公斤/公顷、11 988 公斤/公顷、9 757 公斤/公顷。造成这一局面的主要原因在于西部地区,特别是西北地区的自然条件总体不如中部和东部地区。

### 3.7.2. 西部地区草地生态系统食物供给功能

西部地区有草地面积 278.25 万平方公里,占全国的 92.67%,其中高覆盖度草地 87.36 万平方公里,中覆盖度草地 101.10 万平方公里,低覆盖度草地 89.80 万平方公里,主要分布于内蒙东部、青藏高原及新疆地区。

评估结果表明(图 3.13),西部地区不同覆盖度草地每平方公里的生产潜力差异较大,从气候生产潜力来看,高、中、低覆盖度草地的潜力值分别为 9 823、4 163、936 公斤羊肉,从土地生产潜力来看,三类草地的值分别为 4 566、1 964、421 公斤羊肉,可见高覆盖度草地的潜力值是低覆盖度草地的潜力 10 倍以上。西部地区三类草地的综合生产潜力值为 2 047 公斤羊肉,其中广西、云南的单产潜力远远高于其它地区,广西为 9 946 公斤羊肉,云南为 8 620 公斤羊肉,第三、四位的贵州和重庆,单产潜力为 4 600 公斤羊肉,不及广西的一半。单产潜力最低的为新疆,每公顷年产干草仅 769 公斤羊肉。

评估结果表明,西部地区草地可年产干草 56 957 万吨,理论载畜量 44 872 万个标准羊单位,可提供肉食 1 529 万吨,折合营养物质为热量 36.84 万亿卡,蛋白质 181.91 万吨,脂肪 322.54 万吨,与中部及东部地区相比,西部地区草地生产潜力虽然很低,但由于草地面积很大,因此总的食物供给功能仍很大,占全国的 85.05%。从分省情情况来看,内蒙古、西藏、云南、四川四地潜力最大,可分别供给肉食 367.73 万吨、305.57 万吨、198.46 万吨、176.40 万吨,四地合计 1 048.15 万吨,占全国的 68.57%。从地区分布来看,西部草地的食物潜力主要分布于内蒙古东部、青藏高原东部(包括四川北部及西部、西藏东南部)及云南东部及西部地区;青藏高原北部、新疆及内蒙东西部虽然草地面积较大,但生产潜力很低,因而总体食物供给功能并不大。

### 3.7.3. 西部地区林地生态系统食物供给功能

西部地区林地面积 110.58 万平方公里，占全国林地面积的 49.60%。其中有林地面积 53.91 万平方公里，灌木林地面积 34.89 万平方公里，疏林地面积 20.11 万平方公里，其它林在面积 16.85 万平方公里，分别占西部地区该类林地面积的 48.75%、31.55%、18.18%、1.52%。这些林地主要分布在内蒙东北部、西藏东南部、四川西部、广西北部以及云南、贵州等地。

采用基准林地食物潜力修正系数法，对西部林地食物供给潜力进行评估。结果表明，西部地区林地肉食潜力 86.98 万吨、林地饲料 8 681.67 万吨、林地蔬菜 941.81 万吨、林地油料 358.74 万吨、林地粮食 11 955.43 万吨，分别占全国该类林地食物潜力的 46.97%、50.74%、37.60%、17.60%、25.15%。这些食物合计可提供热量 65.29 万亿卡、蛋白质 145.25 万吨、脂肪 221.44 万吨，分别占全国的 28.25%、33.72%、27.03%。

从地区分布来看，林地肉食主要分布在云南、广西、四川、内蒙古、西藏五个地区，其潜力都大于 10 万吨，最高的云南省达到 19.72 万吨；林地饲料主要分布在云南、广西、四川三省，其潜力分别为 2 113.54 万吨、1 514.81 万吨、1 245.26 万吨；林地蔬菜主要分布于云南、广西、四川、西藏四省区，潜力分别为 227.73 万吨、173.91 万吨、130.69 万吨、106.17 万吨，都超过 100 万吨；林地油料主要分布于广西，其潜力为 250.21 万吨，占西部地区的 69.75%，其次，内蒙古、贵州、四川、云南也有少量分布；林地粮食供给潜力主要来源于广西、四川、云南、贵州、陕西五省区，其潜力分别为 3 341.03 万吨、3 023.17 万吨、1 565.78 万吨、1 559.02 万吨、1 082.66 万吨。

### 3.7.4. 西部地区水生生态系统食物供给功能

西部地区有 600 多种淡水鱼类，而且本地区光热资源丰富，有利于鱼类和水生生物生长。2000 年，全地区有水域面积 16.7 万平方公里（不包括可养殖稻田），占全国水域面积的 62%，但多数水域并未得到充分利用。由于西部地区位于多数河流的上游，水质较小受到污染，有利于发展优质鱼类。

#### 3.7.4.1. 稻田鱼产力

西部地区有宜渔稻田面积 23 443 平方公里，其中 93% 位于西南各省，特别是四川盆地及广西的大小盆地区。西北地区的可养殖稻田多位于河流附近，如宁夏的河套平原。根据评估，西部地区稻田可产鱼 407.87 万吨，占全国稻田鱼产力的 25.05%，主要自于西南地区，以四川、广西、重庆三地最多，分别为 209.94 万吨、99.50 万吨、44.31 万吨，三地合计 353.74 万吨，占西部地区的 86.73%，仅四川一省就占整个西部地区稻田鱼产力的 51.47%。

#### 3.7.4.2. 坑塘水库鱼产力

西部地区有坑塘水库 6 376 平方公里，多数分布在广西、四川等地。评估结果表明，其鱼产潜力为可达 191.22 万吨，占全国坑塘水库鱼产力的 12.54%。潜力最大的五个地区依次为广西、四川、云南、新疆、重庆，其潜力分别为 70.09 万吨、38.42 万吨、21.56 万吨、14.61 万吨、11.96 万吨，分别占西部地区的 36.65%、20.09%、11.28%、7.64%、6.26%，五地合计 156.64 万吨，占西部地区的 81.91%。



### 3.7.4.3. 湖泊鱼产力

西部地区湖泊众多，但其鱼产力都相当低。尽管其面积达 52 826 平方公里，占全国的 70%，但鱼产潜力只有 81.86 万吨，不足全国的 17%。主要原因在于这些湖泊多位于青藏高原，水体温度太低、营养元素不足所致。从地区分布来看，潜力大于 10 万吨的有云南、西藏、内蒙古、青海四地，分别为 25.91 万吨、16.64 万吨、12.06 万吨、10.61 万吨，合计 65.21 万吨，占西部地区的 79.66%。

### 3.7.4.4. 河渠的鱼产力

西部地区有河流面积 14 774 平方公里，鱼类供给潜力 32.92 万吨，占全国河渠鱼产力的 15.72%，主要来源于广西、四川两地，合计潜力为 185.92 万吨，占西部地区的 56.47%。

### 3.7.4.5. 西部水体鱼产力

西部地区以上四类水体的鱼产力合计 713.88 万吨，折合热量 9.42 万亿卡、蛋白质 134.21 万吨、脂肪 40.69 万吨，占全国水体鱼产力的 18.49%。鱼产潜力大于 50 万吨的省份为四川、广西、云南、重庆四地，其鱼产力分别为 261.82 万吨、179.14 万吨、71.53 万吨、58.78 万吨，分别占西部地区的 36.68%、25.09%、10.02%、8.23%，四地合计 571.29 万吨，占西部的 80.02%。从地理分布来看（图 3.13），仍以四川盆地及广西盆地为主，主要原因在于两地的稻田鱼产力的占比重较大。

将中国西部陆地生态系统中各类食物的供给潜力按其营养物质含量进行汇总。结果表明（表 3.4），西部地区食物热量潜力 1 248.4 万亿卡，来源于农田、林地、草地、水生生态系统的分别占 91.06%、5.23%、2.96%、0.76%；蛋白质 3 652.8 万吨，源于四类生态系统的分别占 87.38%、3.96%、4.98%、3.68%；脂肪 1 581.9 万吨，源于四类生态系统的分别占 63.03%、14.02%、20.40%、2.57%。总体上，西部地区的食物供给功能占全国的比例都不高，热量为 27.87%，蛋白质为 28.03%，脂肪为 31.36%。

表 3.4. 中国西部陆地生态系统食物供给功能

地区	热量（万亿卡路里）					蛋白质（万吨）					脂肪（万吨）				
	小计	农田	林地	草地	水生	小计	农田	林地	草地	水生	小计	农田	林地	草地	水生
内蒙古	98.4	86.4	2.9	8.9	0.3	301.3	243.2	10.0	43.8	4.3	176.7	78.5	19.3	77.6	1.3
广西	230.8	209.9	17.1	1.4	2.4	665.7	588.6	36.5	6.9	33.7	290.0	181.2	86.3	12.3	10.2
重庆	86.0	81.3	3.6	0.3	0.8	248.8	228.2	7.9	1.6	11.1	82.4	70.9	5.3	2.9	3.4
四川	298.3	277.5	13.0	4.3	3.5	877.5	778.9	28.4	21.0	49.2	322.2	241.8	28.2	37.2	14.9
贵州	115.5	107.1	7.1	0.9	0.3	325.8	300.5	16.0	4.6	4.7	123.0	93.3	20.2	8.1	1.4
云南	188.1	170.5	11.9	4.8	0.9	540.6	478.3	25.3	23.6	13.5	227.0	148.0	33.1	41.9	4.1
西藏	13.2	3.7	1.9	7.4	0.2	58.3	10.3	8.3	36.4	3.3	80.9	3.3	12.2	64.5	1.0
陕西	107.1	99.1	5.8	1.9	0.4	299.5	278.4	6.8	9.1	5.2	113.7	87.4	8.6	16.2	1.6
甘肃	53.2	50.4	0.7	2.0	0.1	155.4	142.0	2.6	9.8	1.1	67.9	45.5	4.7	17.4	0.3
青海	7.3	4.3	0.2	2.7	0.2	28.5	12.2	0.8	13.1	2.3	29.2	4.0	1.2	23.3	0.7
宁夏	15.7	15.4	0.0	0.2	0.1	45.5	43.3	0.1	0.9	1.2	16.1	13.9	0.2	1.7	0.4
新疆	34.8	31.2	1.1	2.2	0.3	105.9	88.0	2.1	11.1	4.7	52.8	29.3	2.5	19.6	1.4
西部	1248.4	1136.8	65.3	37.0	9.5	3652.8	3191.9	144.8	181.9	134.3	1581.9	997.1	221.8	322.7	40.7

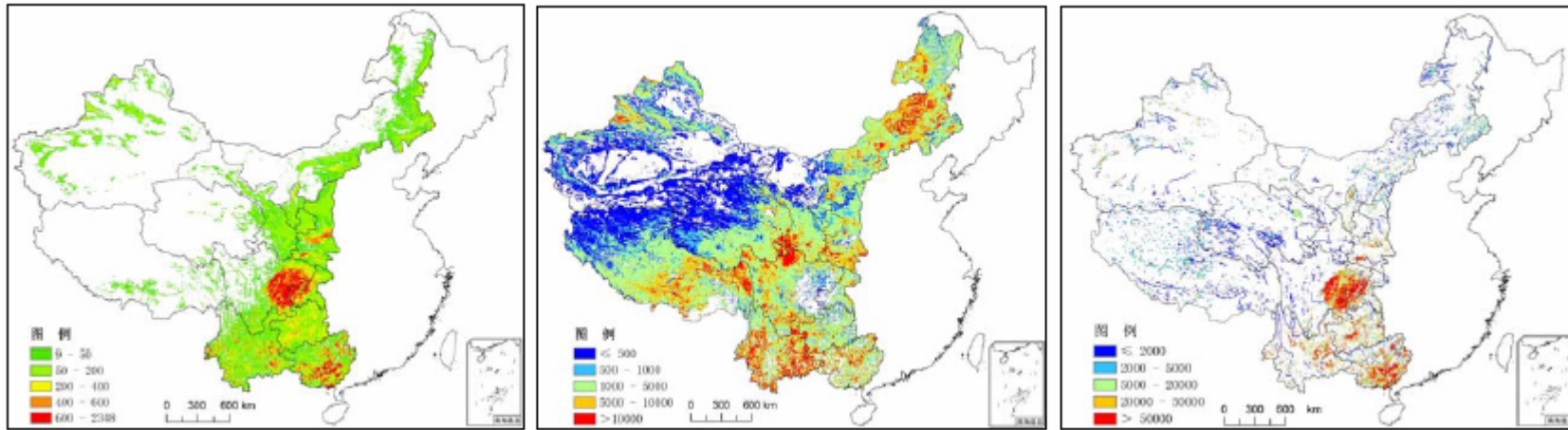


图 3.13. 中国西部地区生态系统食物供给功能 (左图：农田 (吨/平方公里)；中图：草地 (公斤羊肉/平方公里)；右图：水生生态系统 (公斤鱼/平方公里))

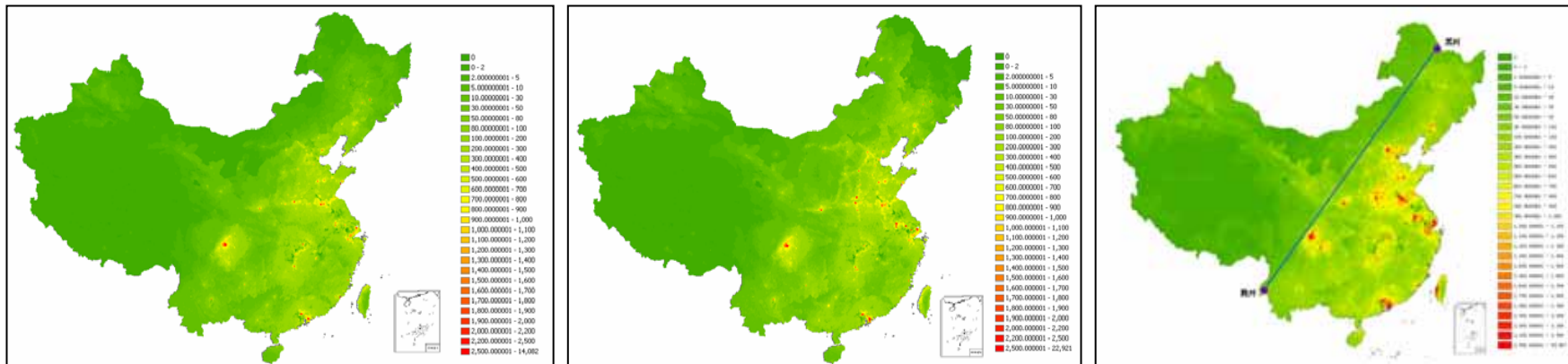


图 3.14. 中国人口分布变化趋势 (左图：1930 年；中图：1949 年；右图：2000 年)(单位:人/平方公里)

在地区分布方面，热量主要来源于四川、广西、云南、贵州、陕西等省区，其热量潜力分别为 298.3 万亿卡、230.8 万亿卡、188.1 万亿卡、115.5 万亿卡、107.1 万亿卡，最低的为青海、西藏两地，分别为 13.2 万亿卡、7.3 万亿卡，远小于四川、广西等省区。蛋白质方面，主要来源于四川、广西、云南、贵州、内蒙古等省区，潜力分别为 877.5 万吨、665.7 万吨、540.6 万吨、325.8 万吨、301.3 万吨，最低的为宁夏和青海，分别为 45.5、28.5 万吨。脂肪方面，主要来源于四川、广西、云南、内蒙古、贵州、陕西等省区，潜力分别为 322.2 万吨、290 万吨、227 万吨、176.7 万吨、123 万吨、113.7 万吨，最低的为青海、宁夏，分别为 29.2 万吨、16.1 万吨。

### 3.8. 西部地区生态系统的人口可持续承载力分析

#### 3.8.1. 人口分布的现状与趋势

1935 年，胡焕庸公布了他的关于中国人口分布研究结果，引入了一条临界线，线的一端是黑龙江省的黑河市，另一端是云南省的腾冲市（胡焕庸，1935）。这条线位于东南季风和西风带交汇处的生态脆弱区（陈述彭，2002），其东南部地区平均海拔高度为 378 米。胡焕庸发现，在这条线的东南部，居住着中国 96% 的人口，然而面积却只有 411.7 万平方公里，仅占全国国土面积的 42.9%。1990 年进行的我国第四次人口普查表明，这一地区人口占全国总人口的 94.3%，人口密度是该线西北地区的 22 倍（张善余，1997）。中国人口空间分布模拟结果显示，2000 年，黑河—腾冲线的东南地区人口占全国总人口的 90.8%（图 3.14）。也就是说，黑河—腾冲线的西北地区人口在全国总人口中所占的比例从 1935 年以来一直在增加。1935 年到 1990 年西北地区人口在全国总人口中所占比例的年均增长率为 0.8%，1990 到 2000 年比例的年均增长率是 6.1%。

中国人口空间分布模拟结果在省级行政单位的平均值分析结果表明，2000 年上海、天津和北京的人口密度最大，分别为每平方公里 2 089 人、861 人和 843 人。江苏、山东、河南人口密度次之，分别为每平方公里 719 人、578 人和 559 人。湖南、湖北、河北、重庆、安徽、浙江和广东省的人口密度平均值在每平方公里 304 人和 481 人之间。西藏、青海、新疆和内蒙古的人口密度最低（图 3.14）。大体上，2000 年中国东部和中部的模拟人口密度平均值分别为西部地区的 7.4 倍和 5.7 倍（Yue et al., 2003, 2005a）。

模拟结果经过对比可以看到（图 3.14），1930 年、1949 年和 2000 年西部地区人口占全国总人口比例分别为 24%、32% 和 29%；中部地区分别为 33%、30%、34%；东部地区分别为 41%、38%、37%。从 1930 年到 2000 年期间，中国人口有由东部地区向中西部地区迁移的趋势。从 1930 年到 1949 年期间，西、中、东部地区人口平均年增长率分别为 3%、0.4% 和 0.5%；1949 年到 2000 年，人口年平均增长率分别为 2%、3.1%、和 2.5%。

#### 3.8.2. 人口可持续承载力和人口承载现状的区域分析

根据营养均衡方式下的人口承载力模型，在富裕型生活水平下，西部地区生态系统可承载人口 6.52 亿。承载力最高的地区分别为四川、广西、云南、内蒙、贵州、陕西、重庆等地，其人口承载力分别为 1.49 亿、1.19 亿、0.96 亿、0.59 亿、0.56 亿、0.52 亿、

0.41 亿，这七个地区可承载人口占西部地区人口承载力的 87.94%。承载力最低的是宁夏和青海，分别的 754 万和 701 万。

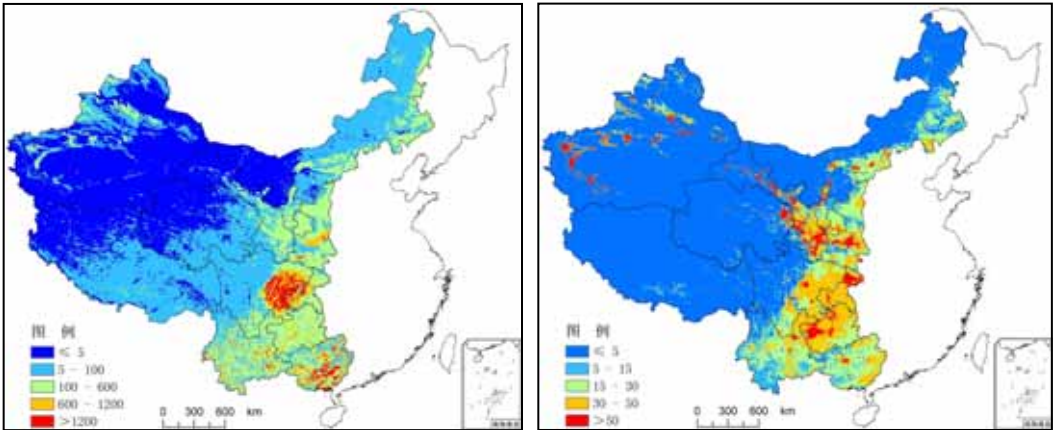


图 3.15. 左图：中国西部地区在富裕型生活水平下生态系统人口承载力（人/平方公里）；

右图：中国西部地区生态系统人口压力

从平均人口承载力来看（图 3.15），四川盆地和广西中南部地区的盆地每平方公里可承载人口 1 200 人以上；四川盆地周围山地、云南、贵州、广西北部、陕西、甘肃东部、宁夏、新疆及内蒙古东部地区，平均人口承载力在 100-1 200 人/平方公里之间，青藏高原东南部及内蒙古东部大部分地区人口承载力在 5-100 人/平方公里之间，青藏高原西北部、新疆南部、甘肃西北部、内蒙西部地区人口承载力一般低于 5 人/平方公里。从省级行政单位的平均人口承载力来看，重庆和广西都在 500 人/平方公里以上，四川及贵州在 300-500 人/平方公里之间，云南、陕西、宁夏三地在 150-300 人/平方公里之间，内蒙与甘肃两地在 50-150 人/平方公里之间，新疆、青海与西藏三地都低于 50 人/平方公里。

表 3.5. 中国西部地区生态系统人口承载力与人口压力（富裕型生活水平）

区域	实际人口 (2003)	可持续人口承载力范围 (万人)	平均人口压力指数 (%)
内蒙古	2380	[1239, 4633]	4.35
广西	4857	[2518, 9417]	17.18
重庆	3130	[872, 3261]	27.80
四川	8700	[3152, 11787]	10.57
贵州	3870	[1190, 4449]	25.15
云南	4376	[2032, 7597]	13.46
西藏	270	[359, 1344]	0.26
陕西	3690	[1099, 4109]	19.31
甘肃	2603	[579, 2166]	12.90
青海	534	[148, 553]	1.94
宁夏	580	[159, 595]	17.82
新疆	1934	[414, 1547]	3.42
西部	36924	[13762, 51459]	8.93

根据生态阈值模型，西部地区生态系统可持续承载人口力范围为 13 762 万人到 51459 万人（表 3.5）。根据 2003 年人口统计数据（国家统计局，2004），中国西部人口总数为 36 924 万人，人口数量位于西部地区的可持续人口承载力范围。也就是说，虽然西部地区有个别地方有超载现象，但整个西部地区整体上还有少量承载潜力。

### 3.8.3. 生态系统人口压力

根据多尺度人口压力模型，可以计算出西部地区的人口压力指数（人口对各类营养物质需求与生态系统供应潜力百分比的几何平均）。结果表明（图 3.15）：西部地区的平均人口压力指数为 8.93，远小于中部地区的 21.43 和东部地区的 35.61，也小于全国平均值 14.09。从省级尺度来看，人口压力最大的地区为重庆和贵州，平均压力指数分别为 27.80、25.15；其次为陕西、宁夏、广西、云南、甘肃、四川，压力指数在 10-20 之间，内蒙古、新疆、青海、西藏的压力指数最低，都小于 10。从地理分布来看，新疆大部分耕地区、青海东部、河西走廊地区、甘肃南部、陕西中部、重庆东部的三峡库区以及贵州西部地区的人口压力最大，压力指数大于 50；除这些地区以外的青藏高原以东的地区、陕西、宁夏、甘肃南部地区、内蒙中南部区人口压力指数一般都大于 15；而西部其它地区的人口压力指数一般都小于 5（表 3.5）。

我国西部地区面积辽阔，内部地理类型和地理结构十分复杂（奚国金，张家桢，2001）。西北地区自然生态环境特点可归纳为光热资源丰富、日照时间长，降水稀少、气候干旱，水资源短缺、时空分布不均匀，植被稀少、荒漠广布，土壤发育不良、盐分含量高；由于坡地的过度开发，导致植被破坏、表土流失、耕地质量下降、荒漠化土地面积以每年 2 640 平方公里的速度增加（国家发展和改革委员会国土开发与地区经济研究所，2003）。西南地区尤其是少数民族聚集区和贫困山区的恶劣生存环境是长期困扰广大人民群众生存与发展的主要因素，长江上游天然林资源过度开发和陡坡地开垦使长江流域频繁发生特大水患，导致干旱、暴雨、洪涝、滑坡、泥石流和岩崩等多种自然灾害频繁发生，许多生物种类濒临绝境甚至灭绝。与此同时，人口研究结果表明（Yue et al, 2003a, 2005a, 2005b），1930 年西部地区总人口为 1.11 亿；1950 年为 1.75 亿，较 1930 年增加了 6 394 万；2000 年为 3.55 亿，较 1950 年增加了 1.8 亿。我国西部地区人口的快速增长，进一步加重了水资源、食物、生物多样性等生态系统服务功能的压力，使原来比较脆弱的生态系统遭到了破坏，土地承载能力急剧退化下降。

## 4. 中国西部生态系统服务功能的主要冲突

中国西部地区生态系统几乎包括了所有的陆地生态系统类型，即森林生态系统、草原生态系统、湿地生态系统、湖泊（河流）生态系统、沙漠生态系统、冻土生态系统、冰/岩石生态系统、耕地生态系统和城市生态系统，其中在中国西部地区占地面积较大的典型生态系统包括森林生态系统、草原生态系统和受人类活动影响严重的耕地生态系统。

为了对中国西部典型区域的生态系统服务冲突进行分析，首先要确定研究区域的典型生态系统，对其结构、功能进行系统分析，并确定各类型生态系统的生态质量；其次要确定典型生态系统的服务功能类型，分析不同生态服务之间的联系与冲突，并计算生态系统服务价值；最终提出最佳生态系统服务模式（即生态服务价值最大化）。这里选取了新疆三工河流域、内蒙古中南部浑善达克沙地、甘肃省庆阳市黄土高原淤地坝和长江上游梭磨河流域作为案例区，分析不同类型的生态系统的现状和趋势，以及在西部大开发战略下可能出现的情景，为当地政府的决策提供科学合理的意见和建议。

### 4.1. 中国西部生态建设中资源、环境、生态的主要矛盾

#### 4.1.1. 初级林业生产及畜牧业的发展与植被破坏加重的矛盾

森林作为一种资源不仅为人类的生产生活提供了重要原料，而且森林的生态功能如制造氧气，防风固沙，蓄水保田，改善生态环境等对人类的生存与发展发挥着极其重要的作用。我国西部地区森林覆盖率为 9.88%，低于全国森林覆盖率的 6.67 个百分点，其中青海森林覆盖率为 0.30%，新疆为 0.79%，宁夏为 1.45%，甘肃为 4.33%。直接提供林木产品的初级林业生产使得新疆 1949-1984 年间森林面积减少 0.55 万公顷，四川岷江上游森林覆盖率由 50 年代的 30% 下降到现在 18%，

西部地区是我国的主要草原分布区，西部草场面积占全国草场面积 84.4%。然而，由于过分追求短期经济利益，西部各省过度放牧、草地超载现象非常严重，致使草地退化不断加剧，草地质量不断下降，益草种类减少，而毒草种类增加。到目前为止，退化草场面积约 331 万平方公里，退化草地面积已占到了西部地区可利用草地总面积的 23%。

#### 4.1.2. 工农业用水和生活用水量增大与水资源日趋紧张的矛盾

西部水资源总量 15 000 亿立方米，占全国总量的 55.66%，但分布不均，南多北少，其中西北地区气候干燥少雨，多年平均降雨量为 235 毫米，而地面蒸发量高达 1 000-2 600 毫米，是世界上干旱缺水最为严重的地区之一。西南占西部总水量的 82%，但该地区人口从 1949 年 9 360 万增加到 2.4 亿，增加了 1.6 倍，人均耕地由 1 441 平方米降至 560 平方米，人与生态环境争水严重，且由于山高坡陡，水低地高，使得水资源开发利用程度低，目前人均灌溉面积只有 240 平方米，尚有 56% 耕地缺水灌溉，是典型的工程性缺水地区。

#### 4.1.3. 经济的快速发展与沙漠化继续蔓延的矛盾

经济的快速发展和各种不合理的人为活动,使得我国西部地区的植被遭到了大面积的破坏,从而导致土地荒漠化面积不断扩大,程度不断加重,危害日益加剧。西部地区土地荒漠化现象以盐渍化、沙漠化和石漠化为主。土壤盐渍化和沙化主要发生在西北部地区,石漠化现象主要发生在西南部地区,目前土壤盐渍化、沙化和石漠化仍呈加速扩展态势。西部 1949-1998 年累计开荒面积 2 429.4 万公顷,沙化耕地面积达 61.3 万公顷,退化最为严重的区域处于受农业影响活动较大的北部农牧区。

#### 4.1.4. 水土流失加剧

西部水土流失面积 104.7 万平方公里,水土流失率为 15.15%,占全国水土流失总面积的 58.01%,每年因上游水土流失进入黄河、长江的泥沙多达 30 亿吨,其中 70%来自西部地区。长江上游每年土壤侵蚀量高达 15 亿吨,其中 1/3 的泥沙进入干流,2/3 的粗沙、石砾淤积在支流河道和水库中,降低了河道行洪能力。

#### 4.1.5. 湿地围垦与保护湿地的冲突

湿地特别是天然湿地具有蓄水调洪、调节气候、保持水土、净化水质、保护生物多样性等多种生态功能。西部地区拥有较大面积天然湿地,然而由于长期人类活动,湿地被不断围垦,淤积面积日益减少。

#### 4.1.6. 人类的开发活动加强与各种灾害频繁发生的矛盾

由于植被遭到严重的破坏,导致水资源损失严重。西部地区 20 世纪 90 年代旱灾发生频率比 20 世纪 80 年代增长了 7.5%;森林稀少、泥沙淤积是洪水泛滥的根本原因,洪灾发生频率 20 世纪 90 年代比 20 世纪 80 年代增长了 49%。

西部地区主要地质灾害有崩滑流,煤层自燃、地表塌陷等。地质灾害产生的危害在西部地区不但普遍,而且危害严重。矿产资源开发、地下水位下降、陡坡耕作、大型工程缺乏水土流失控制措施等人为活动是造成西部地质灾害频繁发生的重要原因。

#### 4.1.7. 发展工业与环境污染的矛盾

西部处于我国大江大河的源头,该地区特别是西北地区的河流流量相对较小,自净能力低,而工矿企业污染严重,因此导致西部地区河流污染不断加重,湖泊富营养化加剧。20 世纪 90 年代进入黄河的废水、污水排放量已高达 42 亿吨,比 20 世纪 80 年代增加了一倍,水质呈急剧恶化的趋势。据 1998 年水质监测的结果,黄河干流及主要支流重点河段的 7 247 公里中,V 类及劣于 V 类水质的河流长占到了 33.8%;与此同时,西部地区的湖泊、水库富营养化现象也呈不断加剧趋势。

### 4.2. 中国西部典型生态系统(区域)的生态服务功能冲突研究

#### 4.2.1. 新疆三工河流域生态系统服务功能与人类福利

西北地区包括新疆、青海、甘肃、宁夏全境和陕西秦岭以北的关中、陕北地区,以及内蒙古西部的阿拉善盟、伊克昭盟、乌海和河套平原等地区,面积 348.6 万平方公里,占全国土地面积的 35%左右,但干旱少雨,年均水资源量 2 344 亿立方米,仅占全国水资源总量的 8%,可利用量不足 1 200 亿立方米。在西部开发的战略中,加快基础设施



建设，加强生态环境保护和建设，积极调整产业结构，都与水资源问题密切相关。由于西北和西南地区水资源与生态环境问题的差异，西北地区面临的水问题更加严峻，因此这里以新疆阜康地区西部的三工河流域为案例区域，着重讨论西北干旱地区的水资源问题。

在西北地区，有水一片绿，无水一片沙。水资源与社会经济的发展和人民生活水平的提高息息相关。由于西北地区的社会经济结构和发展阶段的限制，农业用水占西北地区有限的供水量近 90%。西北地区的农田灌溉由于客观（处于干旱和半干旱区）和主观的因素的限制，其灌溉用水定额比全国平均大，工业用水效率与全国平均水平接近；在国民生产总值中，由于农业比重过大，内陆河流域的单方水 GDP 产出量远低于全国平均水平。另外由于经济发展和人口分布相对集中，人均水资源量的地区分布极不平衡，宁夏自治区黄河流域、陕西省黄河支流渭河流域等区域严重缺水。降水少，加之人类活动不合理的干预和利用水资源，西北地区缺水问题近年来日趋严重，整体生态环境愈加脆弱，荒漠化面积呈扩大趋势，黄土高原水土流失严重，水蚀荒漠化面积亦呈扩大趋势，河道断流、湖泊萎缩或消亡、地下水位下降，灌溉方式不合理，导致人工绿洲土地盐渍化，水质恶化。

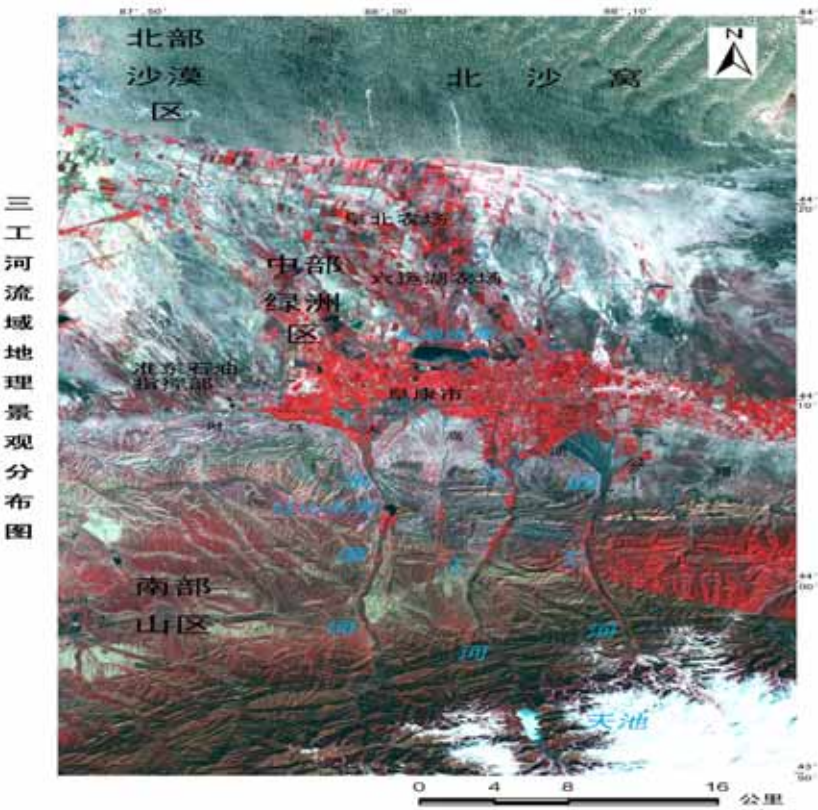


图 4.1. 三工河流域 TM 影像（罗格平，2002）

三工河流域位于中国西部中纬度内陆干旱区（图 4.1），东经  $87^{\circ} 47' - 88^{\circ} 17'$ ，北纬  $43^{\circ} 09' - 45^{\circ} 29'$ 。辖于阜康市，位于阜康地区的西部。南北长 30 公里，东西宽 29 公里，总面积 1670 平方公里，流域总面积约 1670 平方公里（罗格平，2002）。整个流域地势是南高北低，由东南向西北倾斜，呈现出典型的干旱区地貌景观，可划分为南部山区、中部绿洲区及北部沙漠区三个大地貌单元。流域的基本特点是气候干旱、水资



源短缺、植被稀少、荒漠分布、生态系统脆弱，但光热资源丰富，灌溉农业又具有很大生产潜力。流域年平均径流量为  $9\,920 \times 10^4$  立方米，主要河流有三工河、四工河和水磨河（张落成，1994）。

三工河绿洲 1998 与 1990 年产业结构相比，农业比重略有下降，二、三产业的比重缓慢增加，但产业结构水平不高，农业仍是主导产业。低水平的产业结构决定了盐渍化和荒漠化是三工河流域内的主要生态环境问题。随着对干旱区水土资源开发的逐步加强，地下水溢出带下部发育的冲积平原荒漠景观逐步变为人工绿洲景观。致使土地发生普遍的次生盐渍化现象。这一地区另一突出的生态环境问题是土地沙化，流动沙丘广泛蔓延。另外冲积平原型绿洲离水源较远，在平水年或枯水年，河流径流量低于多年平均值，水资源保证程度较低，致使绿洲边缘的土地出现沙化或荒漠化的现象。加之新的绿洲的不断开垦和弃耕地的不断增加，不仅对土地资源是一种极大的破坏，而且对平原绿洲的稳定构成较大的威胁。

流域内主要的水生生态系统类型包括水库坑塘、沼泽地和河流河滩。总的来说，1978 至 1998 年，河流河滩和沼泽地大面积减少，退化为石砾地和荒草地，使得水生生态系统的整体服务功能大为降低。通过估算该地区水生生态系统在 1978、1987、1998 年的服务价值（水生生态系统分为天然湿地和水库坑塘），湿地的服务功能在 1987 年达到最大值，1998 年的总的服务功能大于 1978 年的水平，说明水生生态系统在朝着好的方向发展。1998 年与 1978 年相比，人类活动对水资源的影响明显增强，但由于降水增加，使沼泽湿地的面积增大，湿地生态系统的服务功能增加。水库的服务功能主要体现在供水功能上。1998 年，水库的各种服务功能都最大，其中供水功能和调节功能最大。

通过分析阜康站 1961-2001 年降水、年均气温和径流量资料数据可以看出，虽然融雪量增加、降水增加，但三工河流域的年径流总量呈减少的趋势（刘昌明等，2004）。在各种影响因素中，气候变化、土地利用变化、水利工程的作用是直接的，而人口变化、水资源开发利用等因素的作用是间接的，其中土地利用变化是最大的驱动因子。目前三工河流域水资源利用存在的问题主要有：机井建设标准低、布局不合理；春季严重缺水，不利于农田用水；缺少统一的水利工程规划和控制性的水库工程；地下水超采严重，地下水位大范围下降。因此今后应该节制该地区土地的开发利用，尤其是耕地的开发，根据水资源量的多少来确定农业发展的目标，并合理地调整农业内部结构的比例，使畜牧业的发展比例有所增加，从而降低对水资源的开发利用程度，保护水生生态系统不遭到破坏，以便持续不断地为当地居民提供服务功能。

计算三工河流域内各类生态系统服务功能的价值发现，1978、1987、1998 年三个时间断面上草地和荒漠生态系统的生态服务价值基本没有发生变化。森林生态系统的服务功能 1987 年达到最大值，但由于灌木林地大面积减少，导致森林服务功能降低。1978 年至 1998 年，由于农田的面积持续扩大，使得这一区域内农田的供给服务功能增加。湿地生态系统（主要是沼泽）的服务功能 1987 年达到最大值，到 1998 年服务功能下降；水体服务功能 1978 年最大，随着工农业用水的大幅度增加，从河流、湖泊等水体的取水急剧增加，到 1987 年水体的综合服务功能下降。随着用水的进一步增加，为了满足

工农业的发展的需要，开始修建大量的水库，从而使水体的服务功能有增加的趋势。但人类干扰的结果，使得原有的自然生态系统的服务功能降低。

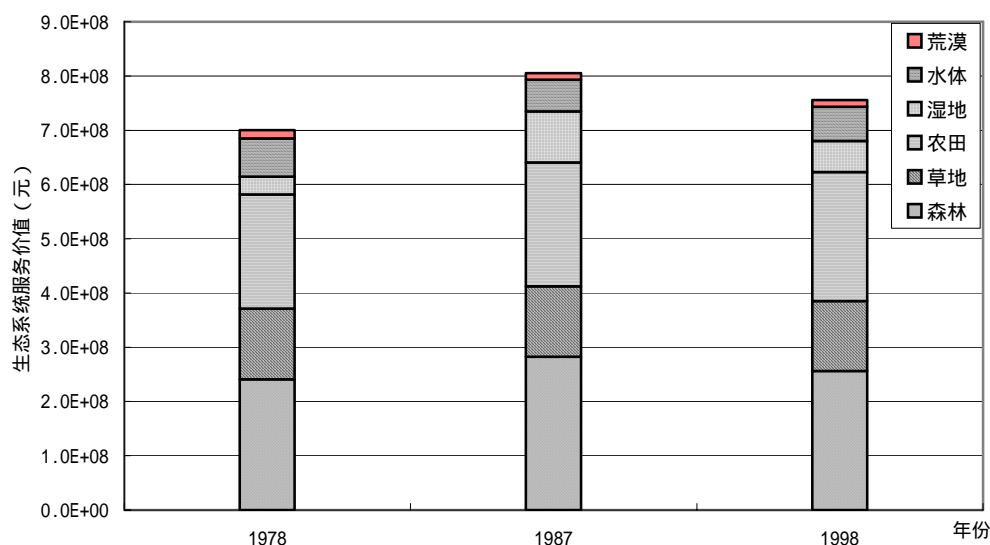


图 4.2. 不同年份三工河流域绿洲生态系统总的服务功能

分析各类生态系统总的服务价值发现，1987 年各类生态系统的服务总价值最大，说明三工河平原绿洲区总的生态系统服务功能达到最佳状态（图 4.2）。1998 年总的生态系统服务功能有所下降，但仍然高于 1978 年的水平。在 1987 年以前，人工生态系统（包括森林（防护林等）、农田、水库）的服务价值一直在增加，表明了当地居民的活动使其服务功能呈增加的趋势。天然生态系统（天然草场、湿地、河流河滩、荒漠）的服务功能 1978 至 1987 年间呈增长的趋势，1987 年达到最大值，之后呈缓慢下降趋势，表现出天然生态系统服务功能和人工生态系统服务功能之间的消长关系。从整个生态系统提供给人类利益的长远角度出发，应对人工生态系统和自然生态系统进行平衡管理，以实现整个区域生态系统服务功能的最大化。

西部大开发战略下三工河流域内社会经济发展需水和生态需水的情景分析，需要在河流生态系统和河道外的天然和人工生态系统平衡，工业、农业、生活之间的用水平衡，社会经济用水和生态系统间的用水平衡等三个层面上讨论水资源的合理配置。分析结果表明，针对三工河流域水资源现有的和将来可能出现的问题，新建必要的出山口骨干拦蓄工程，增强对径流的调控能力；发展免灌植被，因地制宜地进行生态环境建设配置；合理开发利用地下水资源；加强水资源的统一管理是该地区未来发展过程中需要重点考虑的几个问题。

#### 4.2.2. 内蒙古中南部生态系统服务功能冲突分析

内蒙古中南部地处浑善达克沙地腹地（赵松乔，1991），北纬  $41^{\circ}37' - 43^{\circ}10'$ ，东经  $113^{\circ}22' - 116^{\circ}43'$ ，总面积 2.90 万平方公里。属中温带半干旱、干旱大陆性季风气候，冬季漫长寒冷、夏季短暂温热；降水不均、干旱少雨；风大沙多，全年多偏西风，上世纪 70 年代以来，由于营造防护林工程与防风固沙等措施的实施，年均风速有

逐年递减的趋势（许林书，1996）。土壤类型以栗钙土为主，土壤侵蚀主要表现为风蚀（赵哈林等，1996）。植被类型以禾本科和菊科为主，群落结构简单、种类少，以耐旱的草本和沙生灌木为主（王伟等，1996）。该地区地表径流很不发育，但地下水丰富，分布广泛、埋藏浅、水量大，可开发利用的水资源丰富（张继贤，1985）。该地区民族组成复杂，居住着蒙、汉、回、满等十几个民族，20 世纪 80-90 年代人口增长迅速，1990 年以后人口增长趋缓。GDP 各项指标 1985 年以来明显增长，乡镇企业产值增幅显著。近年来，由于人口增加与环境条件的不断恶化，人均水土资源日趋紧张，超载放牧与滥垦滥伐使当地的生态系统的服务功能不断受损，土地利用的结构与方式不断发生改变。

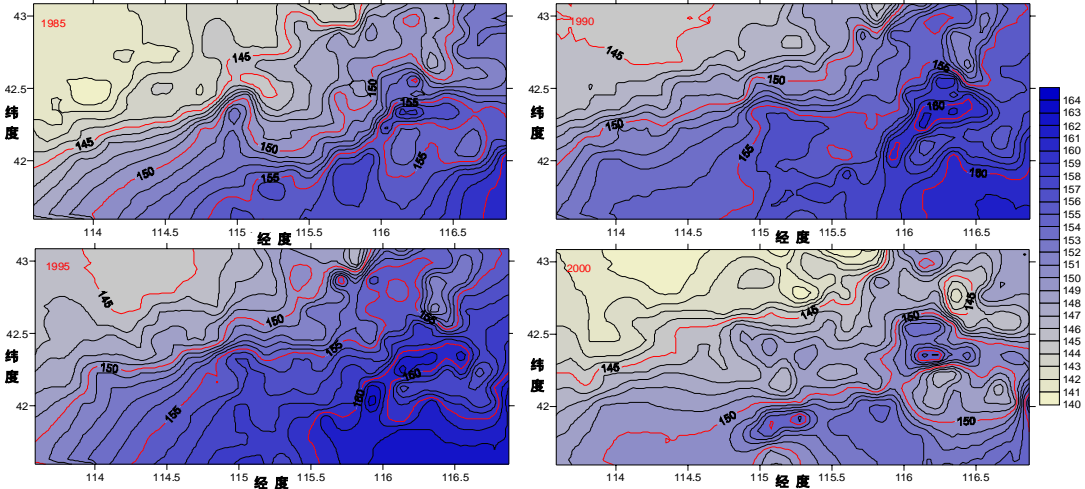


图 4.3. 内蒙古中南部 1985、1990、1995 与 2000 年 NDVI 的空间分布

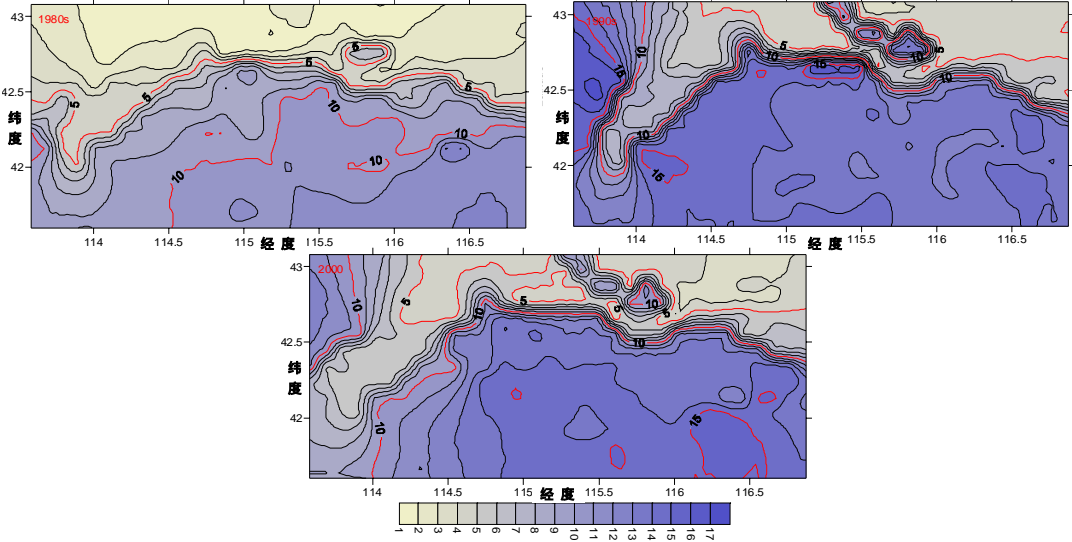


图 4.4. 内蒙古中南部 20 世纪 80 年代、90 年代与 2000 年植被净第一性生产力的变化

利用遥感反演对该区过去 20 年来生态系统的服务功能变化，可以看出，从一个更为综合的尺度上看，该区过去 20 年由归一化植被指数（NDVI）（图 4.3）与植被第一性生产力（NPP）（图 4.4）体现的生态系统支持与供给功能的变化有着大致一致的变

化规律与趋势，在 80 年代中后期到 90 年代中期，这两个指标体现的功能有一定程度的提高，这主要得益于其间该区实施的一些生态工程已经发挥了一定的功效 (Liu et al., 2003; Deng et al., 2002; 邓祥征等, 2004; 战金艳等, 2004)。不过，其后，由于人口增加及由此导致的人类扰动强度的不断加剧，该区生态系统的支撑功能与供给功能又出现了大幅度的下降，实地调研结果也在一定程度上证明了这一结论 (刘良梧等, 1988)。不过，过去 20 年的监测也表明，该区生态系统的调节功能得到了一定程度的提高。从森林覆盖率的升高与降水变率的下降可以得到佐证。

20 世纪 80 年代以来，当地居民的生产经济活动对生态系统服务功能的变化影响较大。人类土地利用的强度不断加大，直接导致了该区生境的破碎化，使生态系统中生物生境的规模和质量不断下降，并影响了该区生态系统的物种组成和功能。另外，在一些地方，发展工农业生产以及化石燃料的燃烧产生的大量污染在一定程度上导致了该区生态环境质量的下降，损害了生态系统维持生物多样性和提供服务的能力。更值得注意的是，在该区的一些地方，人类活动的不断加剧甚至直接导致了生态系统一级结构的缺损 (Cairns, J., 1980; Cairns, J., 1997)，并降低了生态系统控制水土流失，调节气候的功能。由此可见，该区人类活动对自然生态系统冲击的规模和强度以非线性的方式增长，并对生态系统的支撑和供给等功能造成了危害，这是值得我们关注的并需要采取积极措施予以解决的问题。

由于受到水分条件的限制，内蒙古中南部地区属生态平衡非常脆弱的边际土地，农牧争地的矛盾十分突出，主要表现为：农牧争地，毁草种田屡禁不止 (孟慧君, 郭长春, 1997)；种植业以单一粮食农业为主，属于农牧脱节型种植结构；耗粮低效型饲料工业，限制集约化草原畜牧业的发展；单一放牧经营、靠天养畜，牧民观念落后；长期以来以农挤牧、农牧脱节、人畜争粮，已经成为内蒙中南部草原畜牧业生态经济问题的根本症结。草原牧区农牧矛盾尖锐化是其草原畜牧业可持续发展的根本掣肘因素。通过分析覆盖内蒙古中南部的 20 世纪 80 年代中期与 90 年代末期美国陆地卫星数字影像的解译结果，可以发现过去 20 年来该区草地资源的质量整体上呈现下降趋势。草地退化的原因可以概括为草地开垦、超载过牧、草地人为破坏以及鼠害虫害等几个方面，其中草地开垦是草地资源流失与草地质量退化的重要原因，而超载过牧则是草地退化与草地生产力下降的直接原因 (张为政, 1994; 李守德, 1997; 刘瑛心, 2000; 于秀波, 2002)。另外内蒙古中南部的荒漠化面积扩展迅速，主要体现为沙质荒漠化过程 (吴正, 1992)。研究发现，在过去 20 年时间里，内蒙古中南部的沙漠化面积扩展了 9.60%，沙质荒漠化面积扩展了 2.24 万公顷，扩展速度十分迅速。实地调查还发现，不仅荒漠化土地面积逐年增加，而且荒漠化程度也在逐年加剧。

应用系统动力学的原理与方法，以太仆寺旗建国以来 50 年的统计资料与实地调研资料为数据支持，通过建立了太仆寺旗土地利用变化系统动力学模型，实现了其 2000-2020 年土地利用变化的结构分析。之后借鉴 CLUE-S 的模型框架，在较高空间分辨率数据的支持下，利用系统动力学模拟结果，实现了土地利用变化情景分析，得到参考模式、生态模式和经济模式三种情景下太仆寺旗各类生态系统面积变化的时空格局 (邓祥征, 2003)。在参考模式下，各种生态系统类型随时间的推移大多在原有的位置

附近发生了一定程度的扩张与收缩。到 2020 年，未利用地被大量垦殖，收缩趋势明显，只有重度侵蚀且难于开垦的未利用土地得以存留；林地扩张明显；草地总量基本维持平衡，其空间分布基本未发生明显改变；城乡工矿居住用地沿原有城镇或居住用地的中心向四周有一定规模的扩展，但仍未出现大规模集中连片分布现象，反映其扩展幅度的有限性。水域面积未发生大幅度的变化。相对于参考模式而言，生态模式下的生态系统面积变化突出地体现为林地面积的大幅增加，预测时段内在县城的西北部和东北部地区出现了相当面积的林地分布。此外，此种情景之下，生态系统面积的减少被控制在一个合理的水平上，并没有出现大面积的减少。在经济模式下，生态系统面积变化突出表现为未利用土地的大量减少，几乎全部转化为耕地、草地与林地。林地增加幅度十分有限。

太仆寺旗参考模式、生态模式与经济模式下生态系统面积变化时空格局的模拟与情景分析为其制定土地利用规划乃至可持续发展战略的制订提供了重要的决策依据。首先，以三种模式下的生态系统面积变化的预测结果为参照，针对太仆寺旗草地退化与土地沙化的不争事实，建议当地政府应该参考生态模式的参数与方案，制订合理的土地资源开发、产业结构调整、人口增长控制以及经济发展总体规划，走可持续发展的道路。其次，三种模式下的预测结果反映出太仆寺旗县城的东北部和西北部的未利用土地的集中分布区成为未来近 20 年的时间内生态环境退化的敏感地带。在不同的模式下，各种生态系统类型之间的竞争造成该地区生态系统演替差异较大，这将警示我们应加强对该地区生态系统服务功能变化的关注，严格控制其生态系统的不合理转移，使该地区的生态环境朝着向良性化发展的方向发展。

4.2.3. 甘肃省庆阳市淤地坝建设的生态效益和经济效益

中国是世界上水土流失最严重的国家之一，水土流失地区又以黄土高原最为典型，在该地区进行的各种水土保持项目中淤地坝建设收效最为显著，是一项值得推荐和学习的生态恢复与保护的工程措施。淤地坝是指在水土流失地区各级沟道中，以拦泥淤地为目的而修建的坝工建筑物，其拦泥淤成的地叫坝地（图 4.5，图 4.6）。史料记载的所谓“天然聚淤”即为最早的淤地坝，始于距今 400 多年的明朝。在黄土高原丘陵沟壑区各级沟道中兴建缓洪拦泥淤地工程，对拦蓄径流泥沙、控制沟蚀，充分利用水沙资源，改变农业生产基本条件，改善当地生态环境，促进区域经济发展，效果十分明显。

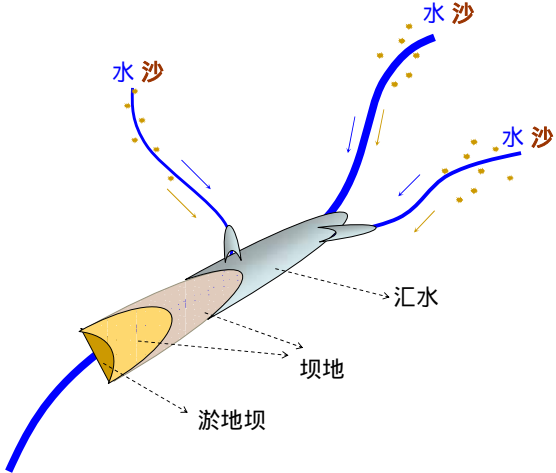


图 4.5. 沟道治理示意图





图 4.6. 淤地坝主体结构图

新中国成立后，经过水利水保部门总结、示范和推广，淤地坝建设得到了快速发展。大体经历了 20 世纪 50 年代的试验示范，60 年代的推广普及，70 年代的发展建设和 80 年代以来以治沟骨干工程为骨架、完善提高的坝系建设阶段等四个阶段。截至 2002 年年底，黄土高原区坝地占总耕地的 9%，而粮食产量占总产量的 20.5%。坝地已经成为黄土高原区基本农田的重要组成部分和主要的产粮基地。当地居民的温饱问题逐步得到了解决，大量陡坡地得以退耕还林还牧。

庆阳市位于甘肃省东部，东经  $106^{\circ}45' - 108^{\circ}45'$ ，北纬  $35^{\circ}10' - 37^{\circ}20'$ ，俗称“陇东”。辖区内总人口约为 251.46 万，其中农业人口 223.75 万，占 88.98%。全区地貌分为中南部黄土高原沟壑，北部黄土丘陵沟壑、东部黄土丘陵区。属内陆性季风气候冬寒较短，夏少酷暑，秋季多雨。庆阳市是黄河上中游地区主要的多沙粗沙区之一，境内沟壑纵横，地形破碎，植被稀疏，土壤疏松，降水集中，水土流失十分严重，其水土流失面积占总面积的 87.2%，严重的水土流失已成为当地经济发展最主要的制约因素。

庆阳市属于西北地区经济欠发达地区，资源贫乏，交通不便。农业为全市经济发展的支柱产业，工业基础薄弱，资金缺乏，技术落后，多为亏损企业。根据各县、乡自然经济条件、耕作栽培水平和生产基础，按各种不同种植作物的生态适应区域，庆阳地区可分为北部丘陵杂粮胡麻区，中部残原沟壑小麦、胡麻区，南部高原沟壑小麦经作区，东部中山丘陵粮果药杂区等 4 个农作区域（图 4.7）。

黄土高原地区降水量稀少，年均降水 400 毫米，而且年内将水的季节分配不均匀，主要集中在 7、8、9 月份。降水的年际变化差异较大，加上当地破碎的地表条件，土壤侵蚀十分严重。严重的土壤侵蚀使原本瘠薄的土壤肥力不断下降，单位面积上的产出能

力不断下降，人口承载能力也相应下降。另外，黄土高原地区也是中国少数民族聚居区之一，历史时期形成的传统习惯与民族心理使中央政府推行的人口计划生育政策在当地推行的阻力很大，致使当地人口数量增长迅速，人口的食物需求直接导致了人类对黄土高原生态资源的过量攫取，大量不合理地开垦陡坡地虽然短期内不可持续地提高了当地的粮食产量，但却造成了更为严重的水土流失，对生态环境造成了极其恶劣的影响。

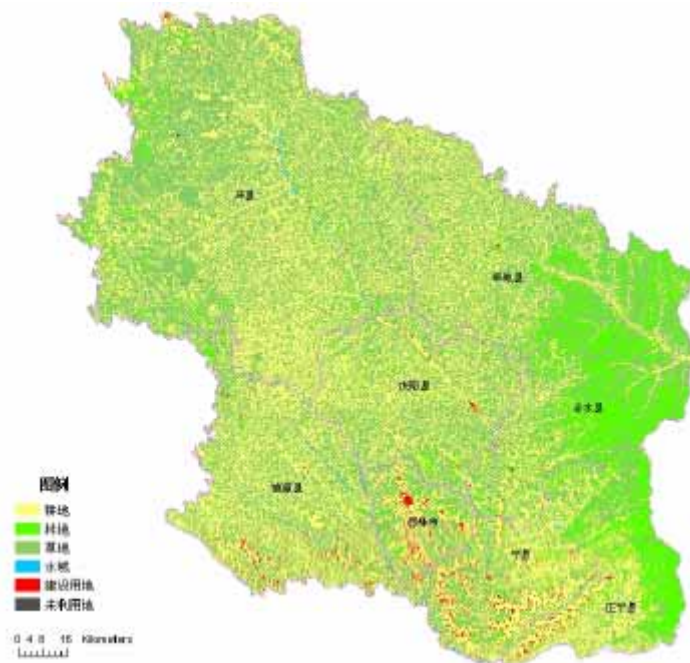


图 4.7. 庆阳市土地利用现状图（资料来源：中国科学院资源环境数据中心）

淤地坝改变了建坝区生态系统的自然演替格局，增强了生态系统的服务功能，主要表现为培肥地力，增加土壤有机质含量、土壤酶活性、土壤微团聚体、土壤水分养分、土壤有机质含量，提高光能利用率；提高供给能力，增加粮食产量、提高蓄水能力；改善调节功能，调节气温、提高湿度。作为一种行之有效的生态恢复模式，淤地坝建设在拦截泥沙、改善生态环境方面发挥了重要的作用。建于沟道中的淤地坝，能够抬高侵蚀基准面，制止沟岸扩张、沟底下切和沟头前进，减轻沟道侵蚀。同时，淤地坝的拦泥效益非常显著，可以从源头上封堵泥沙的输送通道，拦蓄坡面汇入沟道的泥沙，其减沙量占水土保持各项措施总减沙量的 67%，黄土高原大型淤地坝每拦蓄 8 000 吨左右泥沙就可淤出一亩坝地，中型坝淤出一亩坝地需拦蓄 6 000 吨左右的泥沙，小型坝仅需要 3 000 吨左右的泥沙，而一亩坝地的粮食产量是梯田的 3-5 倍，是坡耕地的 5-10 倍，由此可见，淤地坝建设在实现生态恢复目标的同时，经济效益也非常显著（图 4.8）。

因为淤地坝建设对当地生态系统服务功能的良性影响，当地各项人类福利指标都有长足进步，提高了经济增长水平；增强了社会发展潜力，主要表现在农业生产条件改善、土地利用结构合理调整、交通条件改善、劳动就业增加、农民生活水平提高、生活条件改善、医疗卫生条件改善、科技教育水平提高、人畜饮水困难基本解决等几个方面；同时，改善了当地的生态环境质量。





图 4.8. 坡耕地与坝地对比

通过水利水保部门的总结、示范和推广,黄土高原地区淤地坝建设得到了快速发展。由点到面,由无序到有序、由分散到系统,由群众自发到政府组织,由仅重视建设到建设与管护并重,淤地坝建设成就斐然。至 2002 年底,黄土高原地区已建成淤地坝 1 135 万座,其中骨干坝 1 500 多座,中小型淤地坝 11.2 万座,淤地 32 万公顷,保护川台地 1.87 万公顷。

尽管几十年的黄土高原淤地坝建设取得了举世瞩目的成绩,在一定程度上改变和遏制了其生态恶化状况。但是生态建设长期性、复杂性要求生态建设要有步骤、按计划的顺利进行,并取得预期的良好效果,就必须尽早解决生态建设中面临的一系列问题,确保以水土保持治理为重点、以生态恢复为核心的黄土高原生态建设的顺利进行。

首先是规划问题,在建设淤地坝过程中需要兼顾规模与效益,更要兼顾长期效益与短期效益。淤地坝建设规模,在经济方面直接影响到投资,在技术方面直接影响到效果,要从实际情况出发,充分考虑项目区范围广、经济落后、治理难度大的特点,把减沙和淤地作为确定建设规模的重要指标,协调好规模与效益的关系。另外,黄土高原地区属于经济社会欠发达地区,“三农”问题突出,其生态建设是一项长期艰巨的历史任务,不可能一蹴而就。要实现黄土高原地区大规模的淤地坝建设目标,必须在我国经济社会发展总体战略指导下,实事求是地做出需求分析,制定科学的规划,兼顾规模与效益的问题,采取远近结合、分期实施的办法。

其次是小流域坝系整体规划问题,以小流域为单元集中打坝,形成相对稳定坝系,是今后淤地坝建设的一个主要方向。在选定的小流域内通过全面规划,分期兴建,加快相对稳定坝系的形成,对解决水土流失地区“三农”的问题,促进退耕还林还草和经济社会可持续发展具有重要作用。

另外流域管理中的收益权问题也是淤地坝建设中的重要环节。为了改造(改善)生态环境和生产条件,当地政府自 20 世纪 90 年代开始利用世行贷款开始进行水土保持综合治理,新建治沟骨干坝 32 座,淤地坝 60 座,新修基本农田 31 000 公顷,人工造林 69 850 公顷,人工种草 40 000 公顷,新建果园 10 000 公顷,取得了良好的生态效益,植被覆盖率由 15.8% 提高到 40.8%,年减少入黄泥沙 869.9 万吨,拦蓄径流 3 349.2 万立方米。然而,庆阳地区在生态环境优化的同时,并没有获得与其投资相当的经济效益。庆阳地区的贷款总额为 4 000 万美元,需还贷 4.78 亿元,而项目完成后,当地农民能够

从中获得经济效益的仅仅有梯田、果园和部分人工草场，大部分用于改善生态环境的项目措施（人工林、坝、库等），在短期内无法产生经济效益。庆阳地区生态恢复建设取得了显著的生态效益，并惠及下游发达地区，不能独享改善环境所带来的利益却要独自承担全部成本，显然有失公平。

生态环境补偿机制的最终确立需要从以下几个方面切入：第一，创建机制，法律先行；要将生态环境补偿机制中的生态保护工程建设列为国家财政转移支付的重要支持对象；大力发展新能源，搞好生态移民，将项目支持列为建立生态环境补偿机制的重中之重；国家应抓紧建立统一的生态环境补偿税，消除部门交叉、重叠收费的现象；

健全“绿色 GDP”制度，揭示生态环境补偿机制的经济意义，描绘经济建设与生态保护双赢的理想与远景。实行参与式小流域治理和管理的基本政策及方法：在治理投入上，坚持群众自力更生为主，国家扶持为辅的方针；在治理形式上，实行户、专、群组结合的多种治理责任制；各级政府制订一系列优惠政策，吸引广大农民参与小流域治理和管理。在建立了科学合理的生态补偿机制，并且完善了治理与管理的基本政策措施方法的基础上，有计划、有步骤地继续完善黄土高原地区的淤地坝系统，对整个区域的生态环境恢复与建设、当地人类福利的提高、区域社会经济的发展都具有十分重要的作用。

#### 4.2.4. 长江上游梭磨河流域生态系统服务冲突分析

梭磨河属于长江流域大渡河青衣江水系，发源于四川省红原县壤口乡文部沟，全长 182.5 公里，流域面积 3 015.6 平方公里，地跨马尔康和红原两县（图 4.9）。河口多年平均年径流量 17.99 亿立方米，多年平均输沙量 31.78 立方米，平均含沙量 267.7 克/立方米，年平均输沙率 13.10 千克/秒。该流域内气候属于高原大陆季风气候。流域内植被以草甸、森林和灌丛为主。梭磨河流域上游所在的草场牧区属于全国五大牧区之一的川西北牧区范围，红原县草地面积占全县总土地面积的 91.8%，马尔康县草地面积也占到全县总土地面积的 40% 多。

近 20 年来，梭磨河流域生态系统的变化主要表现为上游草地的退化和中下游森林系统的变化。草地退化的原因主要是超载过牧、鼠害和中草药的过量采掘，表现为产草量低下，鼠虫害泛滥，草地板结化、盐碱化和沙化。最近政府实施部分围栏圈养政策后，草场退化的趋势得到了一定程度的遏止。森林系统的变化也与相关政策密切相关，由于市场经济的冲击，该流域的林业曾经较为发达，1980 年代其森林系统遭受一定程度的破坏，进入二十世纪九十年代，特别是国家实施天然林保护工程后，该流域全面禁伐，森林系统得到很好的保护，在宜林地区都进行了人工造林，生态环境得到明显改善。

梭磨河流域（森林系统）的主要生态服务功能包括：调节服务功能，主要有水调节（径流量的变化）、大气调节（大气环境质量的变化）、气候调节（调节区域温度、降雨量等）、水处理（水环境质量的变化）、土壤流失控制和沉积物保持；供应服务功能，包括提供食物、提供原材料（林产品）、提供水资源（径流量与水质）等。由于生态系统的多功能性、有限性和多尺度特征，生态系统服务功能间不可避免的要产生各种矛盾。梭磨河流域内生态系统服务功能的冲突主要存在于调节功能和供应功能的权衡上，流域内森林生态系统主要的服务功能是调节功能，但由于当地经济发展水平较低，当地居民

的收入仍然主要依靠农业，他们希望在有限的耕地和林地面积内、在短期内获得直接的经济收入（粮食、木材），因此往往出现砍伐森林、坡地开垦等人类活动，导致流域生态环境恶化。而梭磨河流域森林生态系统服务功能的区际冲突主要是不同空间尺度生态系统服务功能之间的冲突，仍然表现在供应服务功能与调节服务功能的矛盾上：区域内的人更希望生态系统直接提供产品，例如粮食、木材等，而区域外的人则更希望该流域的森林系统提供调节功能，例如减缓长江下游地区的洪水灾害、保护河流水质、调节区域气候等。

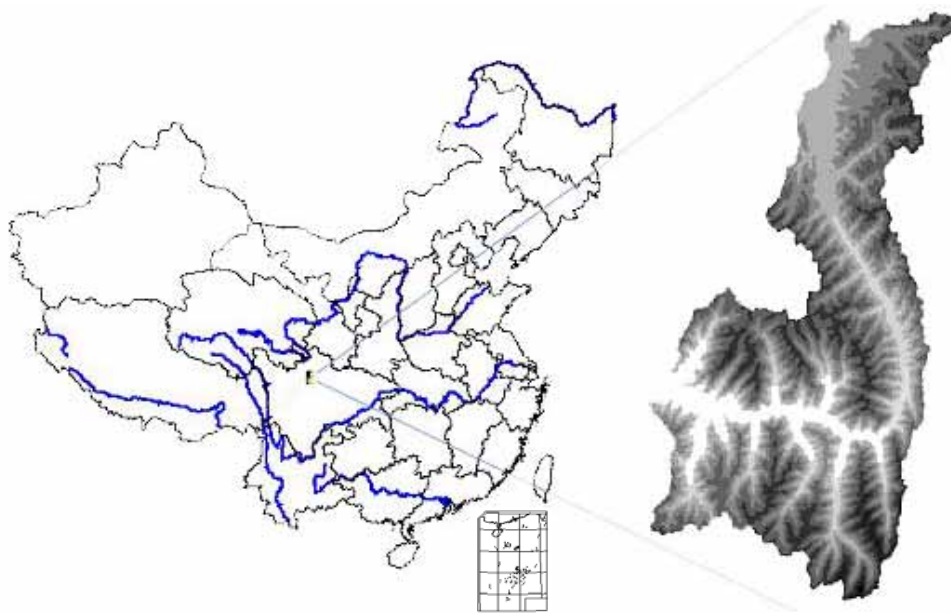


图 4.9. 梭磨河流域地理位置及形状

梭磨河流域地处中国四川西部地区，经济发展比较落后，近年来由于第三产业的发展经济发展水平有所提高，但当地居民仍然在很大程度上依赖于生态系统来维持他们的生活。梭磨河流域与人类福利直接相关的因子主要包括：在洁净、安全的环境中生存的能力，为挣得收入和维持生计而获取资源的能力，获得足够洁净饮用水的能力，获得清洁空气的能力，另外，感受与生态系统有关的美学与娱乐价值的机会、感受与生态系统有关的文化与精神价值的机会、观测、研究和认识生态系统的机会等也是该区域中的重要的人类福利的组成要素。

梭磨河流域的主要生态问题就是水资源的问题，而影响该区域水资源的最主要的人类活动就是土地利用与土地覆被的影响。本报告假设了现状发展型、生态保护型和协调发展型三个情景，并采用地 SWAT 模型分别对这三种情景下的水资源量变化、洪水频率的变化进行了模拟分析。结果表明，不同情景下的土地覆被不仅影响梭磨河的水资源总量（年均径流深），而且对梭磨河流域的洪水频率也有着非常明显的影响，后者直接关系到流域居民的诸多福利。与现状发展型情景比较，生态保护型情景和协调发展型情景下的洪水频率都明显降低。对于相同的重现期，现状发展型情景、协调发展型情景、生态保护型情景的洪峰流量显著减少。对相同的洪峰流量，重现期也各不相同，以 250 立方米/s 的洪峰流量为例，在现状发展型情景下，重现期为 3 年；在生态保护型情景下，

重现期为 5 年；在协调发展的情景下，重现期为 4 年。上述情景分析的结果说明，生态保护性情景从生态安全和人类生活安全的角度而言是三种情景中最为合理的。

#### 4.2.5. 嘉陵江流域退耕还林环境效益分析

据调查资料分析，嘉陵江流域现存有大量 25 度以上的陡坡耕地，在建国初期大多数还是郁郁葱葱的林地或草山草坡，水土流失并不严重，当时的河流泥沙含量也很小。随着人口的不断增长，人地矛盾逐渐尖锐化，为满足人口增长的生存需要，嘉陵江流域普遍出现向山地要粮，毁林毁草，陡坡垦殖现象，有的山区从山脚一直种到山顶。陡坡垦殖的不断扩大，使坡耕地比重逐渐加大。坡耕地上裸露的土地，不可避免地要出现程度不同的水土流失。据有关专家研究，坡度为 25 度-30 度的陡耕地的土壤平均侵蚀为 7481-9854 吨/平方公里，而且水土流失量将随坡耕地坡度的增长而增加（图 4.10）。

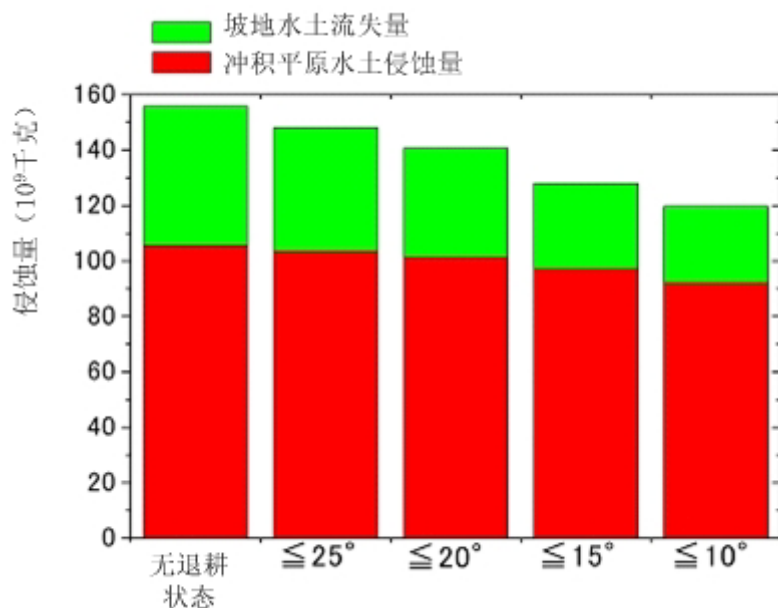


图 4.10. 嘉陵江流域退耕还林不同坡度年总侵蚀量(包括坡地水土流失，冲积平原水土侵蚀量)



## 5. 情景分析

### 5.1. 气候变化情景

在我国气温地带性变化的模拟规律的基础上 (Yue et al., 2005), 根据 HadCM3 模型未来气候变化情景数据 (Johns et al., 2003), 模拟分析我国西部生态区气候变化的未来情景。

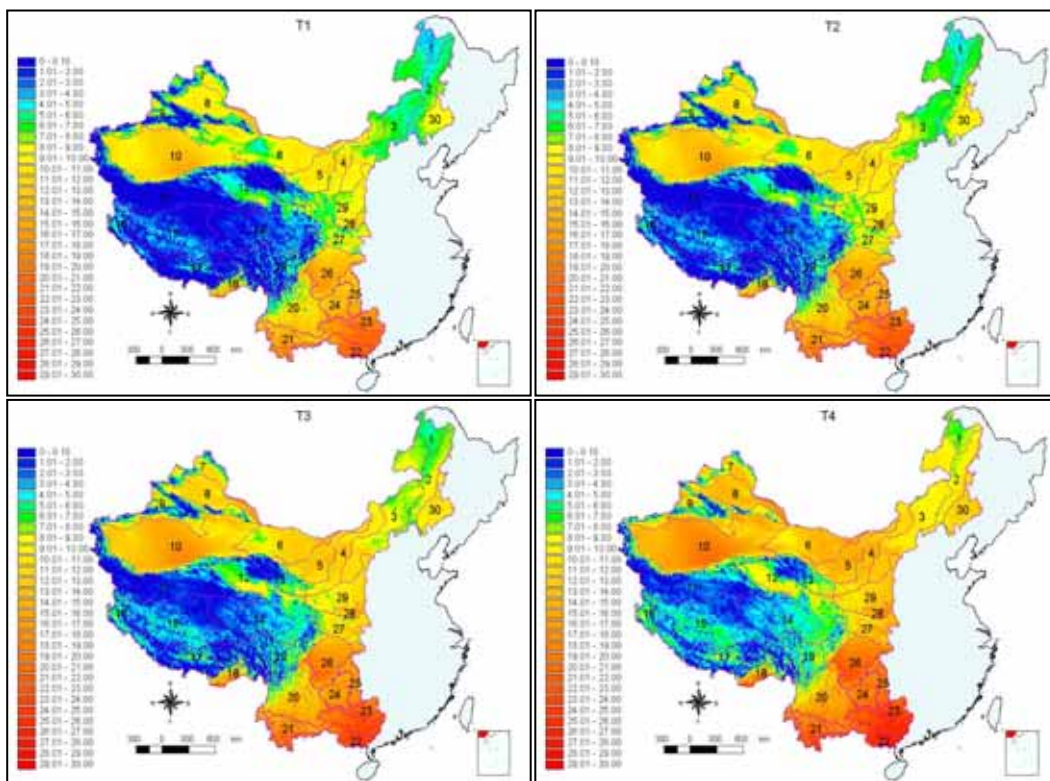


图 5.1. 基于 HadCM3 A1FI 的平均生物温度 (T1、T2、T3 和 T4 分别代表 1961-1990 年、2010-2039 年、2040-2069 年和 2070-2099 年; 图中数字位生态区代码, 参见表 2.1)

#### 5.1.1. 基于 HadCM3 A1FI 的气候情景

基于 HadCM3 A1FI 情景数据的模拟结果表明, 在未来 100 年中国西部生物温度呈持续上升趋势。平均生物温度从 T1 时段的 7.99 上升到 T4 时段的 11.97, 平均每 10 年上升近 0.28; 平均降水量从 T1 时段的 844.73 毫米增加到 T4 时段的 1 044.17 毫米, 平均每 10 年增加近 14.25 毫米; 潜在性蒸腾比率从 T1 时段的 1.12 增加到 T4 时段的 1.34, 平均每 10 年升高 0.02。

在 30 个生态区中, T1 和 T2 时段滇桂南部热带季雨林、雨林生态区平均生物温度最高, 分别为 18.62、19.73; T3 和 T4 时段南岭中亚热带常绿阔叶林生态区的平均生物温度最高, 分别为 21.31 和 23.76, 两类生态区均呈持续上升趋势, 生物温度平均每 10 年分别上升 0.36 和 0.37, 均高于整个西部未来 100 年上升的平均速度; 帕米尔-昆仑山-阿尔金山高寒荒漠草原生态区平均生物温度最低, T1、T2、T3 和 T4 时段的平均生物温度分别为 1.16、1.42、2.17 和 3.23, 呈持续上升趋势, 平均每 10 年上升近 0.15 (图 5.1-5.2)。

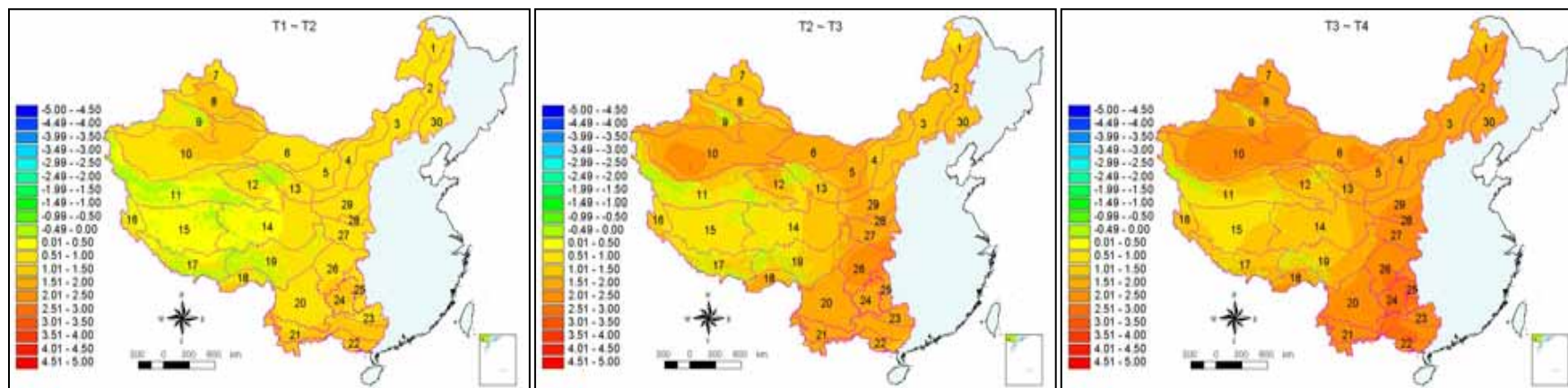


图 5.2. 基于 HadCM3 A1FI 的平均生物温度变化

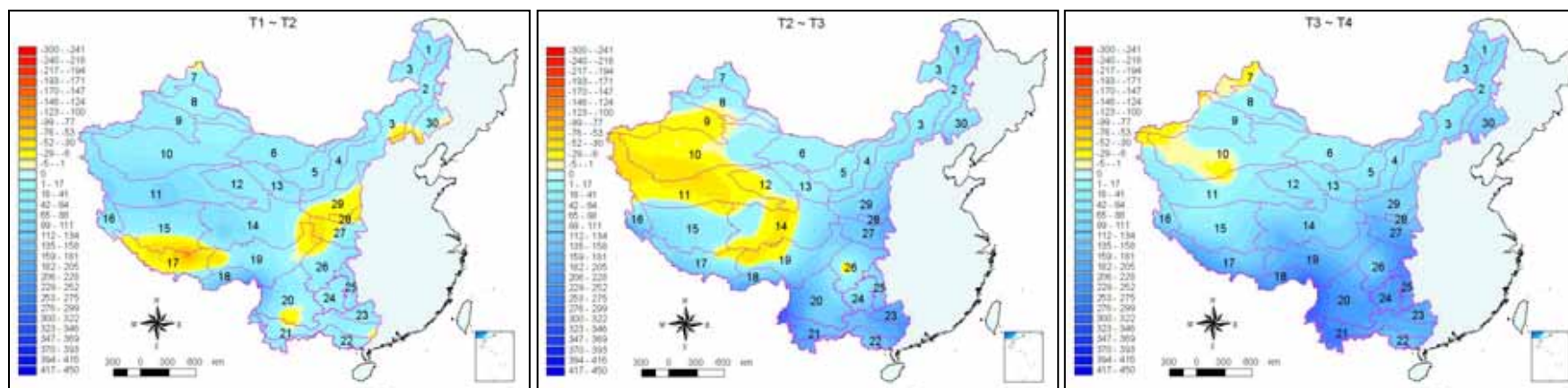


图 5.3. 基于 HadCM3 A1FI 的平均降雨量变化

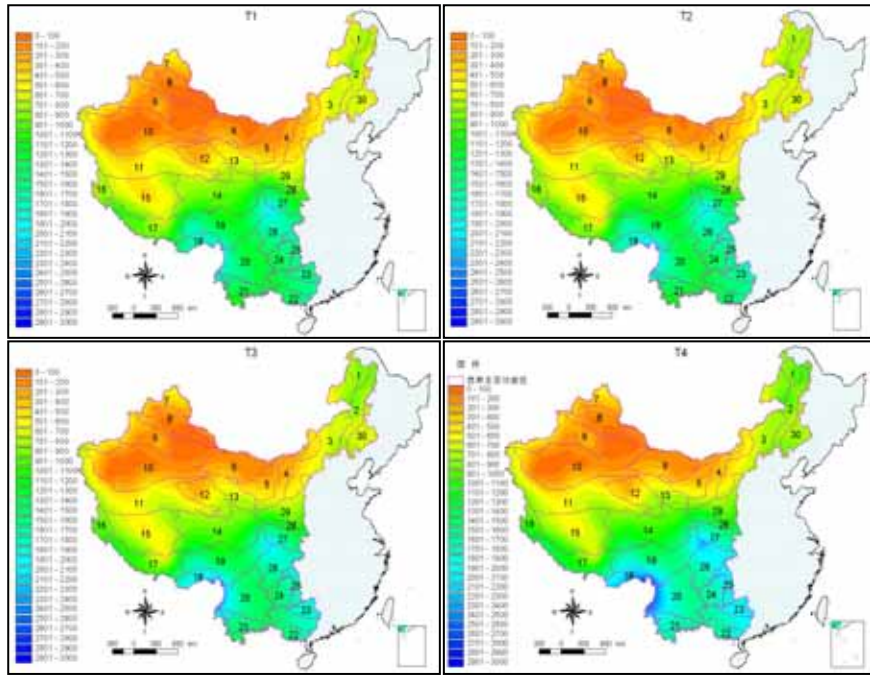


图 5.4. 基于 HadCM3 A1FI 的平均降雨量

(T1、T2、T3 和 T4 分别代表 1961-1990 年、2010-2039 年、2040-2069 年和 2070-2099 年；图中数字位生态区代码，参见表 2.1)

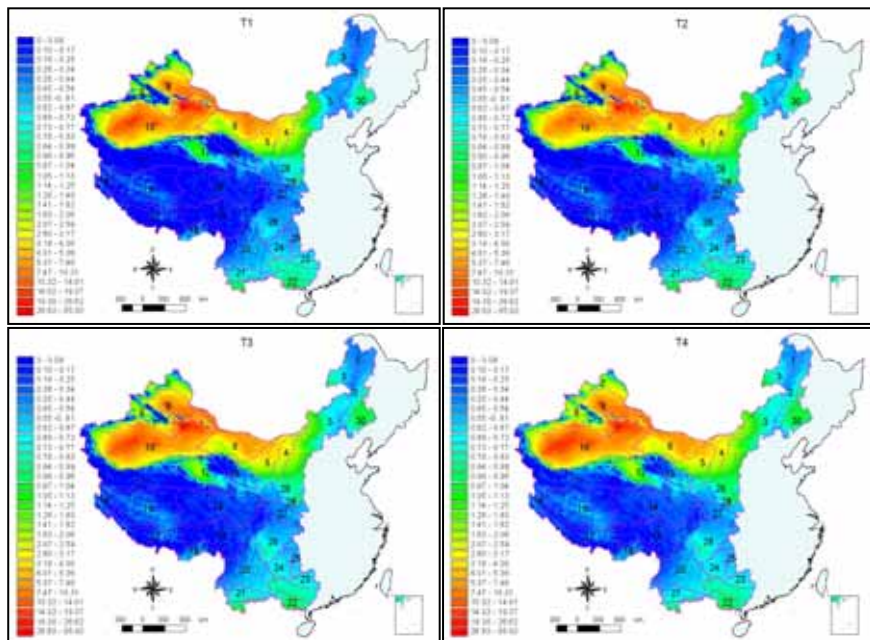


图 5.5. 基于 HadCM3 A1FI 的潜在蒸腾比率

(T1、T2、T3 和 T4 分别代表 1961-1990 年、2010-2039 年、2040-2069 年和 2070-2099 年；图中数字位生态区代码，参见表 2.1)



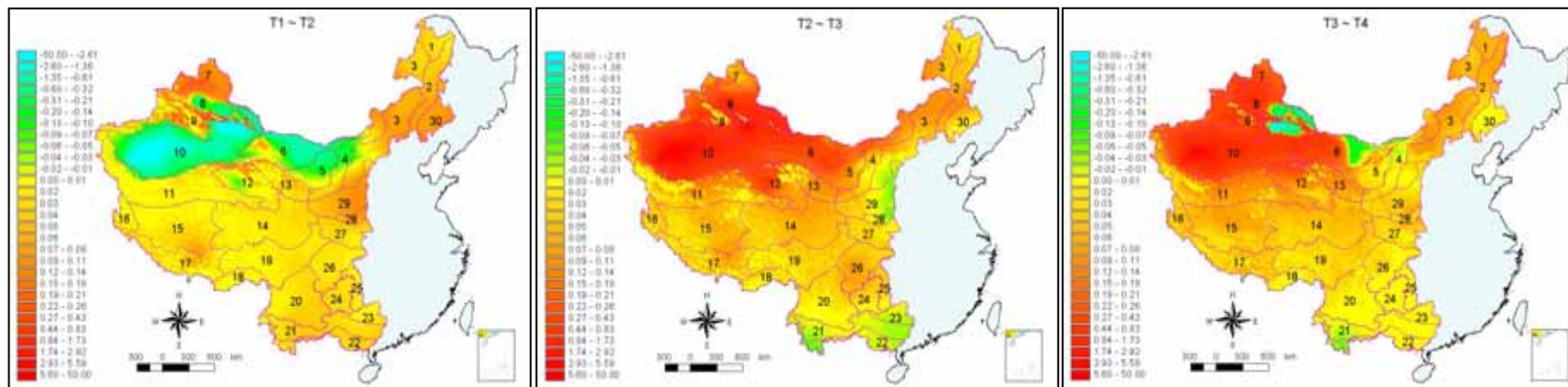


图 5.6. 基于 HadCM3 A1FI 的潜在蒸腾比率变化

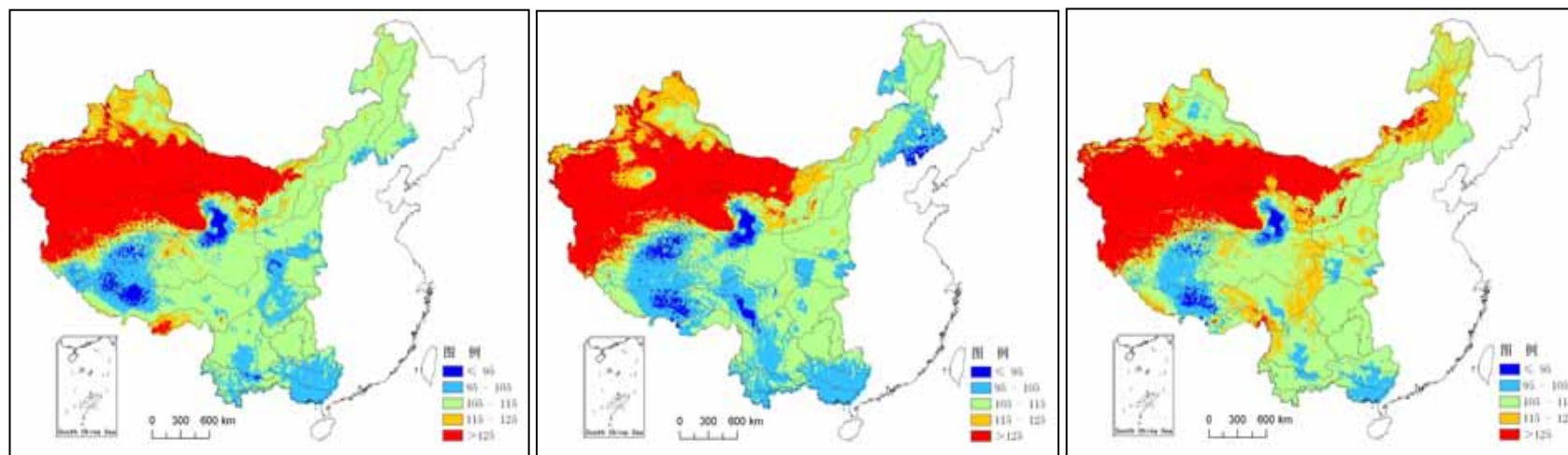


图 5.7. 气候变化对生态系统食物供给功能的影响系数 (%) (左图：基于 HadCM3 A1FI 情景；中图：基于 HadCM3A2a 情景；右图：基于 HadCM3B2a 情景)

喜马拉雅南坡地区热带雨林季雨林生态区降水量最高，T1、T2、T3 和 T4 时段的平均降水量分别为 1 678.89 毫米、1 790.05 毫米、1 915.58 毫米和 2 144.34 毫米，呈持续增加趋势，平均每 10 年增加 33.25 毫米，增加速度相当于整个西部平均速度的 2.33 倍；准噶尔盆地荒漠生态区平均降水量最低，T1、T2、T3 和 T4 时段的平均降水量分别为 133.97 毫米、146.99 毫米、152.02 毫米和 160.10 毫米，呈持续增加趋势，平均每 10 年增加 1.87 毫米，远低于整个西部的增加水平（图 5.3-5.4）。

塔里木盆地-东疆沙漠生态区潜在性蒸腾比率最高，T1、T2、T3 和 T4 时段的潜在性蒸腾比率分别为 6.67、5.50、6.95 和 7.69，呈持续上升趋势，平均每 10 年上升近 0.07，上升速度远高于整个西部；江河源区-甘南高寒草甸草原生态区平均潜在性蒸腾比率最低，T1、T2、T3 和 T4 时段的潜在性蒸腾比率分别为 0.12、0.14、0.20 和 0.25，呈持续上升趋势，平均每 10 年上升近 0.01，只相当于整个西部上升速度的二分之一（图 5.5-5.6）。

### 5.1.2. 基于 HadCM3 A2a 的气候情景

基于 HadCM3 A2a 情景数据的模拟结果表明，在未来 100 年，中国西部生物温度呈持续上升趋势。平均生物温度从 T1 时段的 7.94 上升到 T4 时段的 11.08，平均每 10 年上升近 0.22；平均降水量从 T1 时段的 849.08 毫米增加到 T4 时段的 1 002.20 毫米，平均每 10 年增加近 10.94 毫米；潜在性蒸腾比率从 T1 时段的 1.12 增加到 T4 时段的 1.27，平均每 10 年升高 0.01（图从略）。

滇桂南部热带季雨林、雨林生态区平均生物温度最高，T1、T2、T3 和 T4 时段分别为 18.52、19.46、20.84 和 22.53，呈持续上升趋势，生物温度平均每 10 年分别上升 0.29，高于整个西部未来 100 年上升的平均速度；帕米尔-昆仑山-阿尔金山高寒荒漠草原生态区平均生物温度最低，T1、T2、T3 和 T4 时段的平均生物温度分别为 1.16、1.45、1.86 和 2.69，呈持续上升趋势，平均每 10 年上升近 0.11。

喜马拉雅南坡地区热带雨林季雨林生态区降水量最高，T1、T2、T3 和 T4 时段的平均降水量分别为 1 752.28 毫米、1 709.41 毫米、1 932.77 毫米和 2 094.55 毫米，呈持续增加趋势，平均每 10 年增加 24.45 毫米，增加速度相当于整个西部平均速度的 2.23 倍；准噶尔盆地荒漠生态区平均降水量最低，T1、T2、T3 和 T4 时段的平均降水量分别为 131.71 毫米、146.84 毫米、159.52 毫米和 157.55 毫米，平均每 10 年增加 1.85 毫米，仅相当于整个西部的平均增加速度的万分之一。

塔里木盆地-东疆沙漠生态区潜在性蒸腾比率最高，T1、T2、T3 和 T4 时段的潜在性蒸腾比率分别为 6.32、6.14、6.20 和 6.93，T1 到 T3 时段呈减少趋势，T4 时段呈快速增加趋势；藏南山地高寒草甸草原生态区平均潜在性蒸腾比率最低，T1、T2、T3 和 T4 时段的潜在性蒸腾比率分别为 0.07、0.09、0.12 和 0.17，呈持续上升趋势，平均每 10 年上升近 0.01，和整个西部的潜在性蒸腾比率上升速度相当。

### 5.1.3. 基于 HadCM3 B2a 的气候情景

基于 HadCM3 B2a 情景数据的模拟结果表明，在未来 100 年中国西部生物温度呈持续上升趋势。平均生物温度从 T1 时段的 7.95 上升到 T4 时段的 10.29，平均每 10

年上升近 0.17<sup>°C</sup>；平均降水量从 T1 时段的 849.03 毫米增加到 T4 时段的 948.31 毫米，平均每 10 年增加近 7.09 毫米。潜在性蒸腾比率从 T1 时段的 1.12 增加到 T4 时段的 1.16，平均每 10 年升高约 0.01（图从略）。

滇桂南部热带季雨林、雨林生态区平均生物温度最高，T1、T2、T3 和 T4 时段分别为 18.51<sup>°C</sup>、20.04<sup>°C</sup>、20.86<sup>°C</sup> 和 21.95<sup>°C</sup>，呈持续上升趋势，生物温度平均每 10 年上升 0.25<sup>°C</sup>，高于整个西部未来 100 年上升的平均速度；帕米尔-昆仑山-阿尔金山高寒荒漠草原生态区平均生物温度最低，T1、T2、T3 和 T4 时段的平均生物温度分别为 1.17<sup>°C</sup>、1.51<sup>°C</sup>、1.81<sup>°C</sup> 和 2.12<sup>°C</sup>，呈持续上升趋势，平均每 10 年上升近 0.7<sup>°C</sup>。

喜马拉雅南坡地区热带雨林季雨林生态区降水量最高，T1、T2、T3 和 T4 时段的平均降水量分别为 1755.68 毫米、1722.63 毫米、1808.26 毫米和 1967.41 毫米，呈持续增加趋势，平均每 10 年增加 15.12 毫米，增加速度相当于整个西部平均速度的 2.13 倍；准噶尔盆地荒漠生态区平均降水量最低，T1、T2、T3 和 T4 时段的平均降水量分别为 131.34 毫米、143.98 毫米、154.25 毫米和 158.26 毫米，呈持续增加趋势，平均每 10 年增加 1.92 毫米，远低于整个西部的增加水平。

塔里木盆地-东疆沙漠生态区潜在性蒸腾比率最高，T1、T2、T3 和 T4 时段的潜在性蒸腾比率分别为 6.38、5.56、5.95 和 5.95，T1 到 T2 时段呈减少趋势，T2 到 T4 时段呈平稳上升趋势；藏南山地高寒草甸草原生态区平均潜在性蒸腾比率最低，T1、T2、T3 和 T4 时段的潜在性蒸腾比率分别为 0.07、0.11、0.13 和 0.15，呈持续上升趋势，平均每 10 年上升约 0.01，高于整个西部上升速度。

## 5.2. 陆地生态系统未来情景分析

以 HadCM2d1（代表未来气候变化的平均水平）和 HadCM3A1FI（代表未来气候的最大变化水平）的模拟结果为基础，结合我国长白山地区、大兴安岭地区、青藏高原、横断山脉地区、黄土高原、南岭地区、祁连山地区、秦岭地区、太行山-吕梁山地区、天山地区、武陵山地区、武夷山地区、喜马拉雅山地区、燕山地区和云贵高原各局地气候的模拟规律，分析了我国 HLZ 陆地生态系统在 T2（2010-2039 年）、T3（2040-2069 年）和 T4（2070-2099 年）三个时段的未来情景。

### 5.2.1. 陆地生态系统空间分布

#### 5.2.1.1. HadCM2d1 模拟结果

在 HLZ 模型 38 种生命地带类型中，基于 HadCM2d1 数据模拟的中国 HLZ 陆地生态系统，在 T1-T4 时段内出现了 33 类。T2 时段在阿尔金山北部低山地带开始出现亚热带有刺灌丛地带；T3 时段在吐鲁番盆地南部的罗布泊开始出现亚热带荒漠地带；从 T4 时段在中国南海南部的群岛上开始出现热带潮湿森林地带；其它 HLZ 类型在 T1、T2、T3 和 T4 时段均有分布（图 5.8）。

#### 5.2.1.2. HadCM3A1FI 数据的模拟结果

在 HLZ 模型 38 种生命地带类型中，基于 HadCM3A1FI 数据的中国 HLZ 陆地生态系统在 T1-T4 时段内出现了 32 类。T2 时段在海南岛西南部开始出现亚热带有刺灌丛地带；T3 时段在吐鲁番盆地南部的罗布泊一带出现了亚热带荒漠地带（并呈快速拓展

趋势)，在阿尔金山北部低山地带出现了亚热带有刺灌丛地带；其它 HLZ 类型在 T1、T2、T3 和 T4 时段均有分布（图 5.9）。

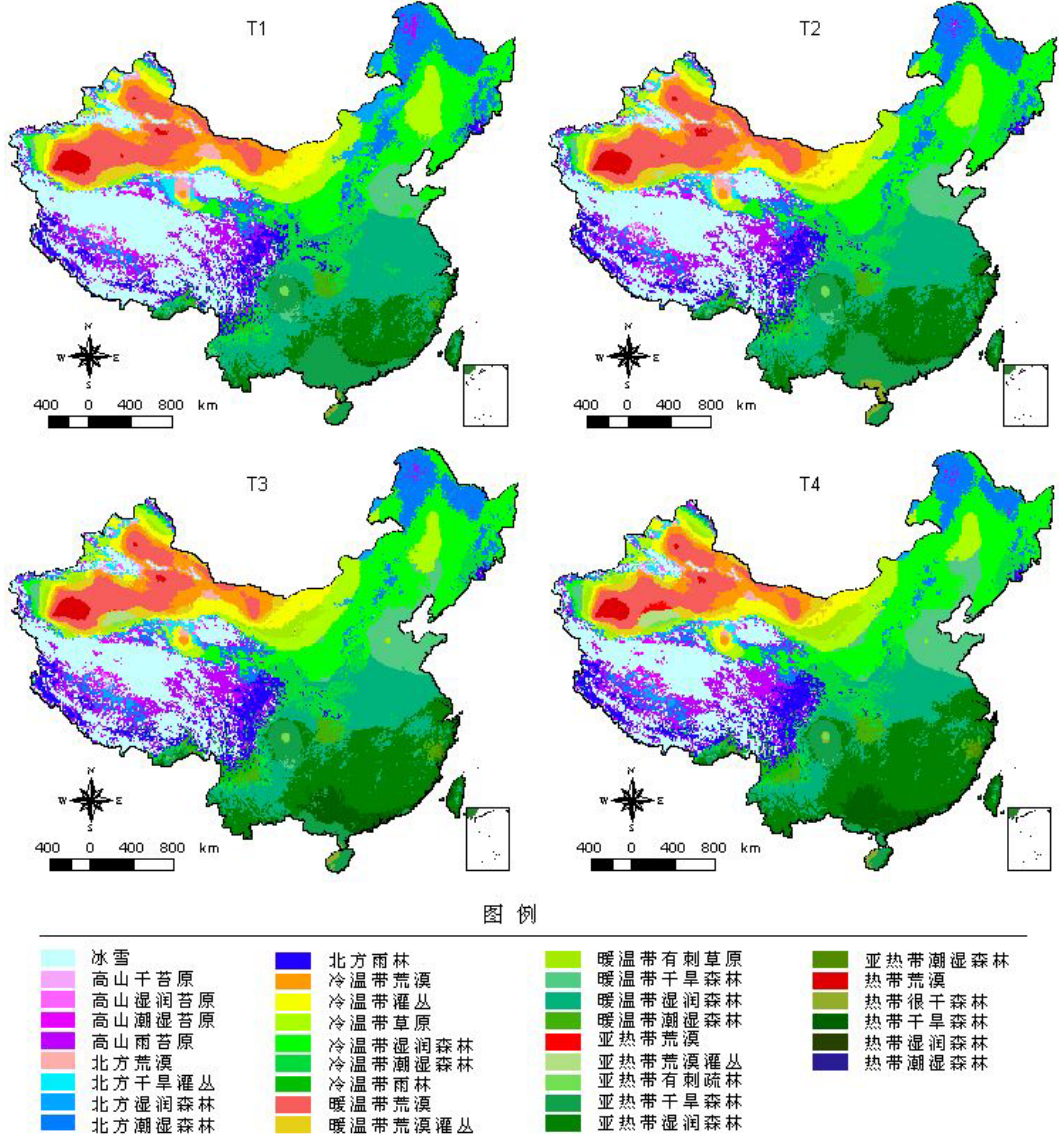


图 5.8. 基于 HadCM2d1 的中国 HLZ 陆地生态系统空间分布(T1、T2、T3 和 T4 分别代表 1961-1990 年、2010-2039 年、2040-2069 年和 2070-2099 年)

5.2.1.3. HadCM2d1 与 HadCM3A1FI 数据模拟结果对比分析

根据以上 HadCM2d1 及 HadCM3A1FI 数据对未来 100 年中国 HLZ 陆地生态系统未来情景时空变化的模拟分析，HadCM2d1 和 HadCM3A1FI 数据模拟结果所反映的中国 HLZ 陆地生态系统空间变化具有相同的趋势和规律。

冰雪地带、高山干苔原地带、高山湿润苔原地带主要分布在青藏高原的大部分地区、天山和祁连山山顶一带；高山潮湿苔原地带、高山雨苔原地带则主要分布在冰雪地带、高山干苔原地带、高山湿润苔原地带等的外围地区和大兴安岭的北部山顶地区；北方干旱灌丛地带主要分布青藏高原、天山、祁连山的低山地区；北方荒漠地带主要分布在青藏高原北部北山地区、塔里木盆地大部分地区 and 吐鲁番盆地北部的博格达山地区；热带荒漠地带主要分布在塔里木盆地、吐鲁番盆地和准格尔盆地的中心部位，也就是相



应的塔克拉玛干沙漠和古尔班通古特沙漠地区；而暖温带荒漠地带主要分布热带荒漠地带的外部与冷温带荒漠地带内部，冷温带荒漠地带则主要分布在暖温带荒漠地带的外围、阿拉善高原及准格尔盆地的中部一带。

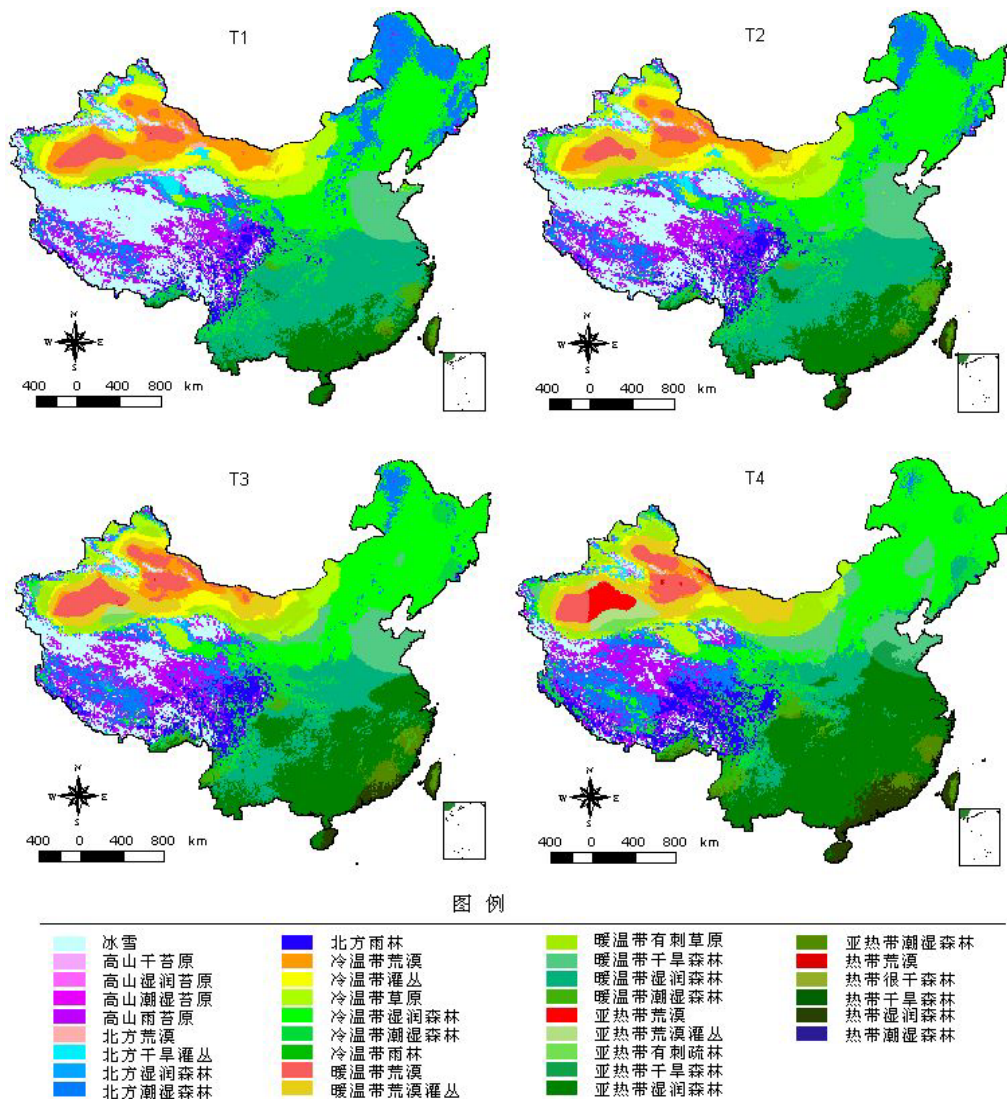


图 5.9. 基于 HadCM3A1FI 的中国 HLZ 陆地生态系统空间分布( T1、T2、T3 和 T4 分别代表 1961-1990 年、2010-2039 年、2040-2069 年和 2070-2099 年 )

冷温带灌丛地带、暖温带荒漠灌丛地带、亚热带荒漠灌丛地带主要分布在青藏高原北部边缘一带、塔里木盆地西部边缘地区、准格尔盆地的西部和东北部边缘地区、阿拉善高原东南部、内蒙古高原西南部的大部分地区；冷温带草原主要分布在蒙古高原、黄土高原及东北平原西南部；暖温带刺草原地带主要分布在喜马拉雅山东南部和天山西北部低山、阿尔金山北部的车尔臣河及塔里木盆地西部的叶尔羌河地区。

北方湿润森林地带、北方潮湿森林地带、北方雨林地带、冷温带湿润森林地带、冷温带潮湿森林地带主要分布在青藏高原东部及南部、大小兴安岭、太行山等地区；暖温带干旱森林地带主要分布在华北平原的大部分地区。

暖温带湿润森林、暖温带潮湿森林主要分布在云贵高原北部及长江下游的大部分区域；亚热带干旱森林地带（少数分布在长江中上游地区）、亚热带湿润森林地带、亚热带潮湿森林地带主要分布在云贵高原南部、南岭、江南丘陵及其以南的大部分地区和台湾高山地区；热带干旱森林地带主要分布在海南西部，热带湿润森林主要分布在海南东部、香港及东南沿海及周围岛屿地区、台湾西部低山地区。热带潮湿森林地带则主要在中沙群岛及南沙群岛以南岛屿地区。

在未来的 100 年内，随着气温的升高和降水量的增加，中国的冰雪地带将持续减少，高山干苔原地带和高山潮湿苔原地带将逐渐增加，而冰雪地带退缩所留下空间则逐渐被各种高山苔原地带所代替。其中，在青藏高原上的大部分冰雪地带均呈西北快速退缩趋势，而分布在天山和祁连山地区的冰雪地带则向相应的山顶退缩；HadCM3A1FI 情景数据模拟的冰雪地带缩减速度快于 HadCM2d1 模式数据的模拟结果；由于青藏高原的气候条件和地形地貌特征极为复杂，气候条件和地形地貌条件共同作用形成的土地覆被（即表征为相应复杂的 HLZ）类型的演替相对频繁，因此未来青藏高原区的生态系统将存在较大的不稳定性和脆弱性，尤其是青藏高原东北部、东南部及东部更为明显；

北方半湿润及湿润地带类型主要分布于 600-1 200 毫米的区域，是干旱半干旱气候带向湿润半湿润气候带转变的过度地带。暖温带湿润森林、暖温带潮湿森林主要分布在降水线为 1 200-1 400 毫米的区域，是中国典型的江南湿润 HLZ 生态系统类型；目前暖温带生态系统类型和亚热带生态系统类型基本上以长江为界（荒漠地带和荒漠灌丛地带除外），但随着气温和降水的不断增加，亚热带相应的 HLZ 生态系统将越过长江，逐渐向北偏移；热带干旱森林地带、热带湿润森林地带也随着未来气温和降水的不断增加在东南沿海逐渐向北拓展，其中 HadCM3A1FI 的拓展速度明显高于 HadCM2d1 速度。

### 5.2.2. HLZ 陆地生态系统平均面积未来情景

基于 HadCM2d1 和 HadCM3A1FI 数据的模拟结果表明（图 5.10-5.11），在未来 100 年内，随着气温的不断升高和降水量的逐渐增加，中国 HLZ 生态系统面积将发生一系列相应变化：青藏高原、天山山脉及大兴安岭的寒冷型 HLZ 生态系统面积将呈逐渐减少趋势（譬如，冰雪地带、高山干苔原地带和高山湿润苔原地带等）；暖温带的各种干旱 HLZ 生态系统将呈持续增加趋势（譬如，暖温带荒漠灌丛地带、暖温带刺草原地带、暖温带干旱森林地带等）；对于中国来说，暖温带 HLZ 生态系统是人类活动强度相对较大、生态环境相对脆弱的地带类型，所以在以后的生态环境保护与管理中，应加强这些 HLZ 空间分布区域的保护；同时，它也从侧面反映了中国暖温带的荒漠化问题将呈继续加重趋势；在中国的西北部随着气温的升高和降水的增加，相应的冷旱 HLZ 生态系统面积将逐渐减少，近而有可能演替为暖一级的相应的 HLZ 生态系统；在青藏高原东部、南部及中国西南部的山区 HLZ 生态系统的面积将呈波动型变化；HadCM2d1 和 HadCM3A1FI 情景数据的模拟结果表明，冰雪地带、冷温带湿润森林地带和暖温带湿润森林的面积占整个中国陆地总面积的三分之一还多，是中国的主要 HLZ 生态系统类型，因此它们的时空变化将会直接引起整个中国其他 HLZ 类型波动变化。

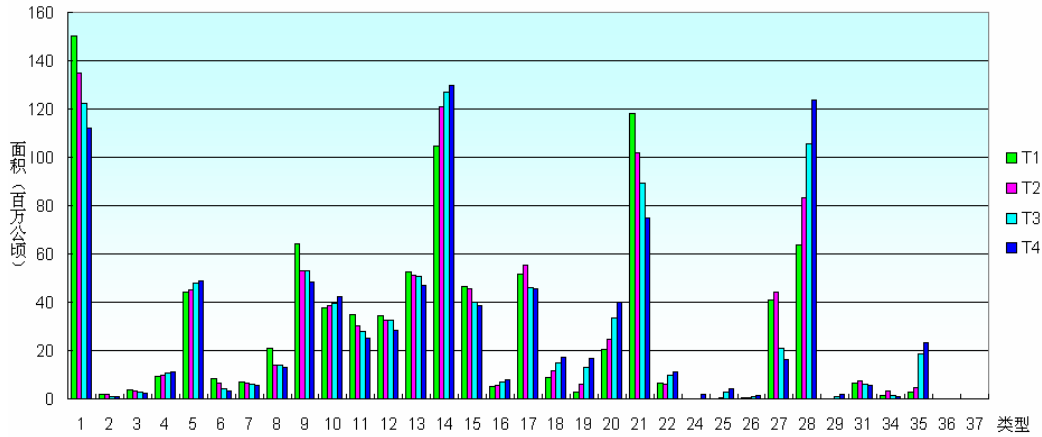


图 5.10. 基于 HadCM2d1 的中国 HLZ 陆地生态系统面积变化( T1、T2、T3 和 T4 分别代表 1961-1990 年、2010-2039 年、2040-2069 年和 2070-2099 年 )

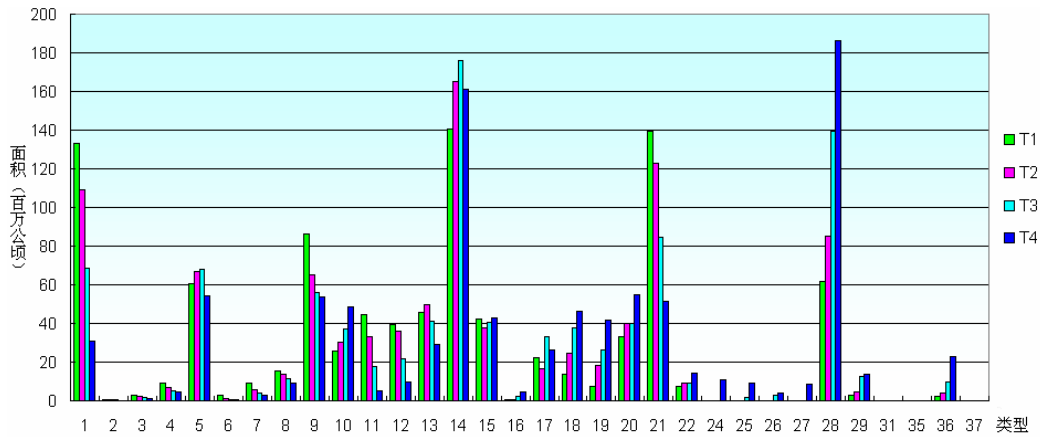


图 5.11. 基于 HadCM3A1FI 的中国 HLZ 陆地生态系统面积变化( T1、T2、T3 和 T4 分别代表 1961-1990 年、2010-2039 年、2040-2069 年和 2070-2099 年 )

### 5.2.3. HLZ 生态系统平均中心偏移趋势

HadCM2 和 HadCM3 情景数据对中国 HLZ 生态系统未来 100 年平均中心偏移的模拟结果显示(图 5.12)，HadCM2d1 情景数据模拟的 HLZ 生态系统平均中心的偏移幅度明显小于 HadCM3A1FI 情景数据模拟的偏移幅度。然而，两种情景数据模拟的结果都表明，高山湿润苔原地带、北方湿润森林地带、北方潮湿森林地带、冷温带湿润森林地带、暖温带荒漠灌丛地带、暖温带刺草原地带、暖温带干旱森林地带和亚热带刺疏林地等 HLZ 生态系统类型的偏移幅度大于其它 HLZ 生态系统类型的偏移幅度。这表明在同样的气候变化条件下，它们对气候相关因子的灵敏性较高。

另外，北方干旱灌丛地带和冷温带灌丛地带等冷干 HLZ 生态系统类型呈西北偏移趋势，其分布区域则逐渐演替为其它的生命地带类型，这种趋势是中国西北地区温度不断升高和降水不断增加的结果；高山潮湿苔原地带和冷温带湿润森林地带整体呈向北偏移趋势，表明了由于北方降水的不断增加，致使高山地带的高山潮湿苔原地带和冷温带湿润森林地带类型的面积逐渐增加，从而拉动其平均中心向北偏移；北方潮湿森林地带整体上呈西南偏移趋势，这表明了在未来 100 年内，青藏高原上由于温度的不断



升高和降水量的逐渐增加，以前的高山湿润苔原等冷寒 HLZ 生态系统类型逐渐被相应的暖一级北方潮湿森林等 HLZ 生态系统类型所代替，使大小兴安岭及长白山一带北方潮湿森林地带所占比例减小，从而拉动平均中心向西南移动。总之，各种情景数据模拟的生命地带平均中心的未来偏移趋势揭示了未来气候条件变化所导致的生命地带变化将发生的一系列相应的偏移趋势，同时也在一定程度上揭示了人类影响所导致的草原生态退化的方向与趋势。

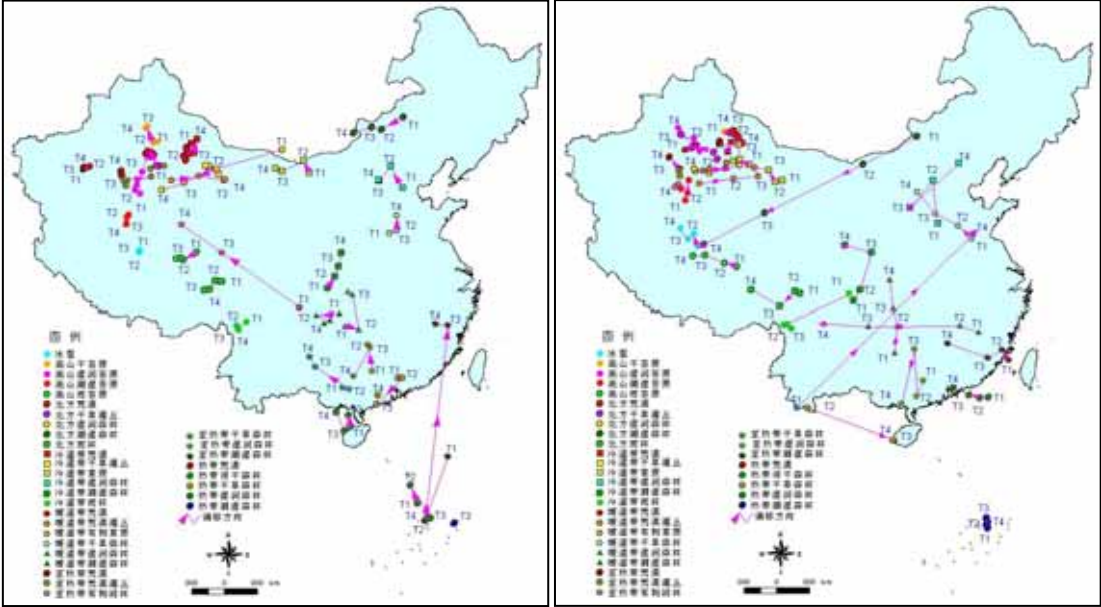


图 5.12. 中国 HLZ 生态系统平均中心偏移趋势 (左图：基于 HadCM3A1FI；右图：HadCM2d1)

5.2.4. HLZ 生态系统多样性

中国未来情景的 HLZ 多样性都将呈现出不同程度的增加趋势，而且 HadCM2 模式模拟的 HLZ 的各种指数的增加速度要慢于 HadCM3 模式模拟的各种指数的增加速度。其中， HadCM2 模式模拟的 HLZ 多样性平均每 10 年增加 0.22%，HadCM3 情景模拟的 HLZ 多样性平均每 10 年增加 0.38%； HadCM2 模式模拟的 HLZ 斑块连通性指数平均每 10 年增加 0.14%；HadCM3 情景模拟的 HLZ 斑块连通性指数平均每 10 年增加 0.42%； HadCM2 模式模拟的 HLZ 斑块的形状指数平均每 10 年增加 0.06%，HadCM3 情景模拟的 HLZ 斑块的形状指数平均每 10 年增加 0.06%； HadCM2 模式模拟的 HLZ 种类平均每 10 年增加 0.71%，HadCM3 情景模拟的 HLZ 种类平均每 10 年增加 1.11%。

以上数据分析表明：随着气温的不断上升、降水逐渐的增加和人文活动强度的日益增大，未来 100 年中国 HLZ 的多样性、连通性都将呈现出不同程度增加趋势。但并不说明未来中国生态系统的稳定性越来越好，恰好相反的是 HLZ 景观指数的变化反映了：随着科学技术的进步、社会生产力的提高，降水量不断增加的中国的人类活动强度逐渐增大，许多相对脆弱的生态系统遭到破坏，从而出现了原来没有的 HLZ 类型（譬如，A 地在目前只有冷温带草原一种类型，但由于人类的过度放牧或开垦，草原地带类型遭到一定程度上的破坏，并局部荒漠化。那么在 A 地将会出现冷温带草原、冷温带干旱灌丛、冷温带荒漠地带，甚至随着气温的不断上升而出现暖温带荒漠灌丛地带。从而使得 A 地的 HLZ 类型不只一种，甚至是多种类型）。因此，HLZ 相关景观指数的增加，不一定

说明生态环境趋于良好，要视具体情况做具体分析。以上的研究分析表明人类影响越来越成为驱动中国 HLZ 变化的一个重要因子。

### 5.3. 土地覆被未来情景

中国幅员辽阔、地形复杂、气候多样、气温与降水的区域性差异显著。由于中国水热空间分布的区域差异和大陆性季风气候的影响，致使中国土地覆被变化各种类型在空间分布上存在显著性区域差异。另外，显著性气温与降水的南北差异和东西差异，导致中国农业用地、林地、草地及其他用地均存在显著的地带性空间分布规律。在未来的 100 年内，随着气温、降水与蒸腾比率等气候因子的不断变化，及人类活动强度的不断增加，中国土地覆被变化将会随着时间的推移，在空间上发生一系列变化。由于基于 HadCM3 A1FI、HadCM3 A2a 和 HadCM3 B2a 3 种模拟情景的土地覆被格局大体类似（图 3.13-3.15），所以此概要只叙述它们平均的共同规律。

#### 5.3.1. 土地覆被类型空间分布

##### 5.3.1.1. 耕地空间分布

在未来 100 年内，中国耕地总体上大致以大兴安岭-榆林-兰州-青藏高原东及其东南边缘为界，形成我国的农、牧两大生产区域；中国耕地主要集中连片地分布在东北平原、华北平原、长江中下游平原、四川盆地、关中盆地等区域，中国西部的河西走廊及天山南北的河流冲积扇区也有相对集中的耕地分布。另外，在中国南方的低山丘陵地区也广泛而不连续地分布着大量耕地，多半与林地和草地等其他土地覆被类型穿插分布。

##### 5.3.1.2. 林地空间分布

中国复杂的地形特征与多样化的气候条件，各地生态环境的显著性区域差异，导致虽然林地在空间分布上呈现出范围广、差异大的不均衡分布特征。在未来 100 年内，林地整体的空间分布态势表现为：东北主要集中分布在大小兴安岭、长白山及辽东盆地；西南主要集中分布在西藏雅鲁藏布江以东及以南的喜马拉雅山和横断山地区、四川盆地周围山地、云贵高原、及广西的绝大部分丘陵山区；东南主要分布在武夷山脉、南岭、东南丘陵及台湾山脉等低山丘陵地区；大兴安岭-吕梁山-青藏高原东缘一线以西的地区，因降水稀少，气候多为半干旱和干旱气候，宜林范围相对较小，林地分布相对分散，此范围的林地主要分布在天山、阿尔泰山、祁连山、子午岭、贺兰山、六盘山、阴山等山区地区。总之中国林地主要分布在各大山脉地区及中国南方的低山丘陵地区。

##### 5.3.1.3. 草地空间分布

在未来 100 年内，草地基本以西部分布为主，东部分布较少。主要集中分布在大兴安岭-阴山-吕梁山-横断山一线以西地区；从地貌类型来看，中国草地主要分布在青藏高原、内蒙古高原、黄土高原、天山山脉、阿尔泰山及塔里木盆地周围；同时，在湖南、湖北、安徽、福建、云南、贵州、四川、广东、广西及台湾等省区的低山丘陵地区也有草地分布，但空间分布上不连续，与相应区域范围内的林地交错分布。

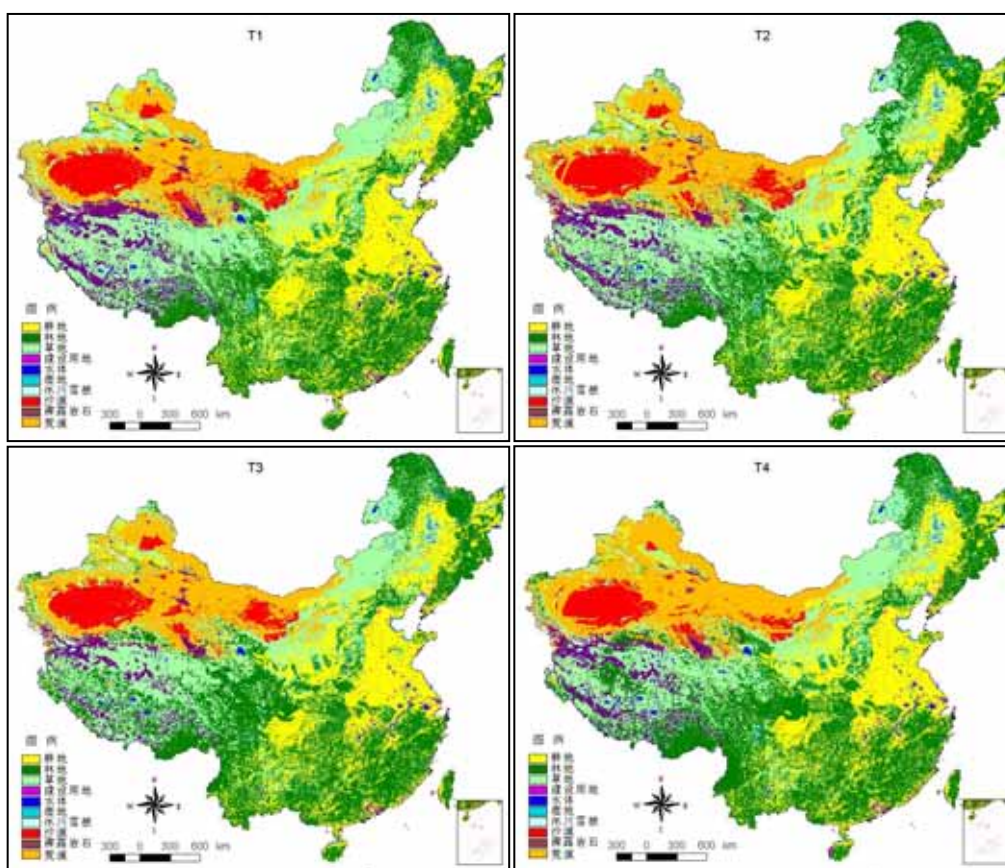


图 5.13. 中国基于 HadCM3 A1FI 的土地覆被未来情景 ( T1、 T2、 T3 和 T4 分别代表 1961-1990 年、2010-2039 年、2040-2069 年和 2070-2099 年 )

#### 5.3.1.4. 水域空间分布

水域是指天然陆地水域和水利设施用地，主要包括河流、湖泊、水库、坑塘、滩涂等。在未来 100 年内，水域在整体表现出东多西少、南多北少的空间分布特征。其中，河流基本上在中国各个省区都有分布，但青藏高原东部的祁连山与横段山区、四川盆地周围山区、东北的长白山与大小兴安岭、南方丘陵地区的河流水系比较密集，其余地方相对较少；滩涂则主要分布在各大河流的沿岸，尤其是河流发育发达地段；水库与坑塘的空间分布更为分散，主要有长江中下游湖区、华北平原湖区、东北湖区、云贵高原湖区、内蒙新疆湖区及青藏高原湖区等 6 大湖区是中国水域面积分布相对集中的区域；湿地主要分布在各大湖泊区域、流域等水域周围的低洼湿润地区和青藏高原冰雪融水区。总之，中国水域分布较其他土地覆被类型分布分散。

#### 5.3.1.5. 建设用地空间分布

由于城市地域形成及其发展因素及建设用地的土地利用特征决定了其主要分布在靠近河川、水源充足、交通便利、土地肥沃、物产丰饶的区域范围内。中国特定自然地理条件、社会经济条件等各种因子的共同作用，致使中国建设用地在未来 100 年内的总体空间分布格局表现为：东部主要集中分布在沿海的东北平原、华北平原、长江中下游平原、长江三角洲、珠江三角洲等区域范围内；中国西部建设用地则主要分布在四川盆地、关中盆地、河套平原、河西走廊及新疆绿洲区等自然气候条件、社会经济条件及交



通条件相对较好的区域；其他丘陵及山地高原区主要在省会城市及其周围较小范围内有相对集中的建设用地外，其他的建设用地则极为分散。

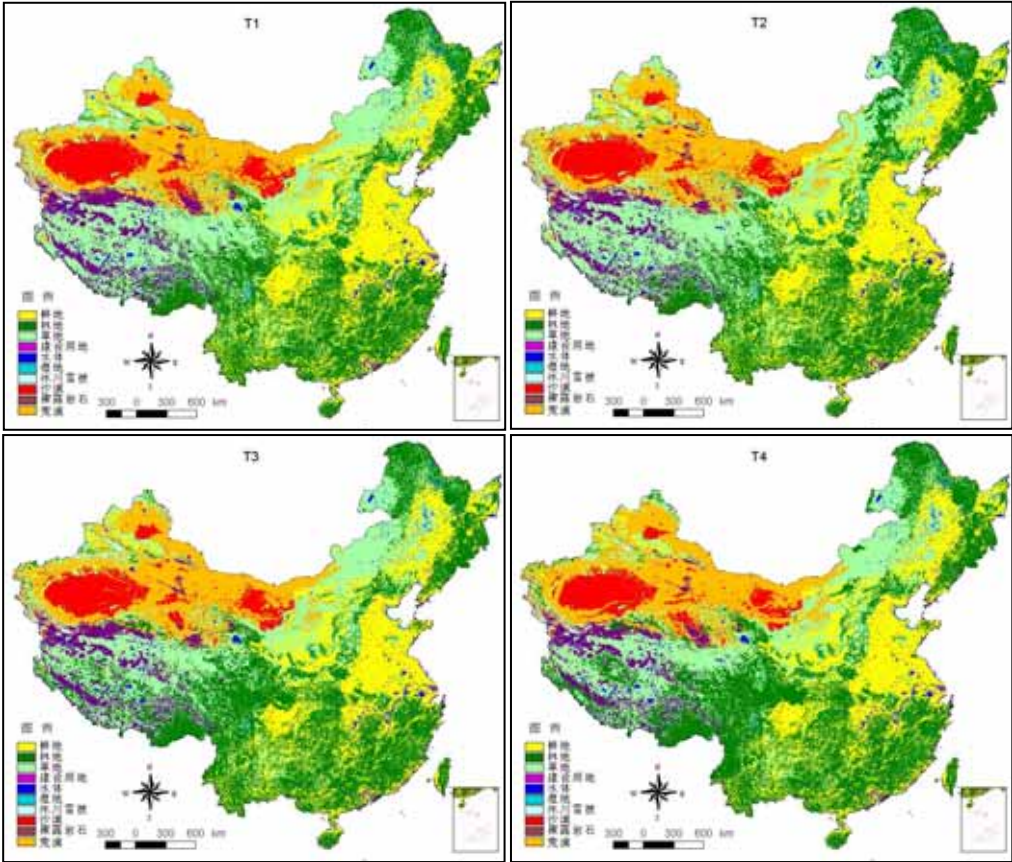


图 5.14. 中国基于 HadCM3A2a 的土地覆被未来情景 ( T1、T2、T3 和 T4 分别代表 1961-1990 年、2010-2039 年、2040-2069 年和 2070-2099 年 )

5.3.1.6. 其它覆被类型空间分布

在未来 100 年内，冰川雪被主要分布在新疆、西藏、青海、甘肃、四川及云南六省区高大山系的的山脊地区，即天山、祁连山、昆仑山、喜马拉雅山、横断山脉的山脊地区。沙漠主要分布在西北干旱荒漠区，即准格尔盆地的古尔班通古特沙漠、塔里木盆地的塔克拉玛干沙漠、柴达木盆地的中心、腾格里沙漠等地。裸露岩石主要分布在青藏高原上的寒区旱区地区、吐鲁番盆地东部地区，及中国西南喀斯特地貌类型地区，其它地区分布很少且相对分散。荒漠主要分布中国西北的沙漠外部与草地内部的大范围区域，即新疆除天山山脉外的大部分地区、青海的东北部的柴达木盆地地区、内蒙西部的阿拉善高原、内蒙古高原西部的大部分地区、甘肃的西北部大部分地区。

5.3.2. 土地覆被类型变化

在未来 100 年内，随着气温的不断升高、降水的不断增加及人类活动强度的不断加强，土地覆被的空间分布格局将呈现出如下变化趋势：天山南北两端、河西走廊、内蒙古高原南部分布的耕地由于荒漠的不断拓展和延伸将逐渐退缩减少，黄土高原的耕地面积也将不断减少；青藏高原上的草地、湿地、水域、冰川雪被等土地覆被分布将呈减少趋势，而相应的林地呈增加趋势。此外，在未来降水量不断增加和温度不断升高的

情景下，将会使得青藏高原上的裸露岩石类型有所减少，而转换为相应的草地类型；中国荒漠的空间分布范围将逐渐向现有的荒漠边缘逐渐拓展和延伸，其中塔里木盆地、准格尔盆地边缘的荒漠化以不规则的圆环形向外围拓展，内蒙古高原的荒漠化则表现为向东及东南方向延伸和拓展，黄土高原上的荒漠化问题也将呈现出严重趋势；随着气温的逐渐升高和降水的不断增加，中国北方各大山脉的林地分布密度不断增大且在范围上呈逐渐扩展趋势；中国南方低山丘陵地区林地面积随着降水量的增加将不断增加，中国南方耕地整体呈逐渐减少趋势，而草地、林地则呈增加趋势；未来中国建设用地呈增加趋势，在空间上主要表现为东北平原、华北平原、长江中下游平原、长江三角洲、珠江三角洲等区域范围内的城市建城范围的不断扩大、乡村建设用地不断增加、交通等其他建设用地的不断延伸和拓展。

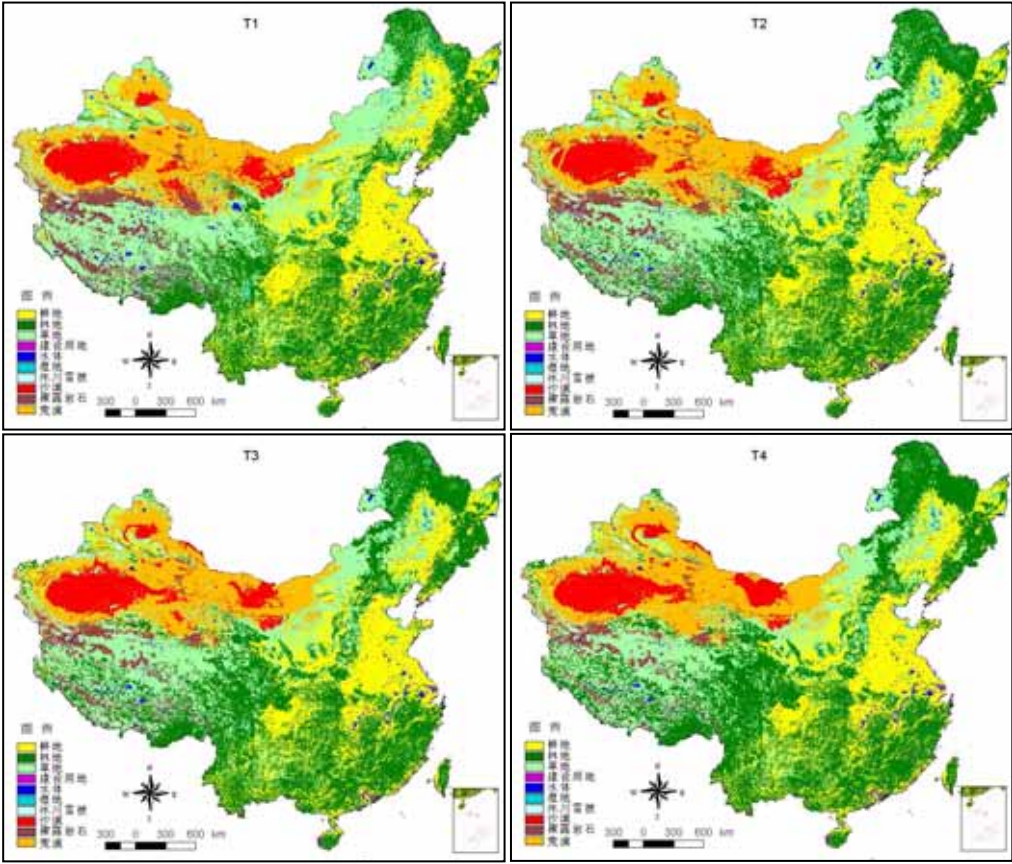


图 5.15. 中国基于 HadCM3B2a 的土地覆被未来情景 ( T1、T2、T3 和 T4 分别代表 1961-1990 年、2010-2039 年、2040-2069 年和 2070-2099 年 )

5.3.3. 土地覆被类型面积变化

总结分析基于 HadCM3 A1FI、HadCM3 A2a 和 HadCM3 B2a 的 3 种模拟情景结果显示，在未来 100 年中国土地覆被类型的面积变化趋势总体上将表现为耕地减少、林地增加、草地减少、建设用地增加、湿地减少、冰川雪被减少、沙漠面积减少（其中 B2a 情景沙漠增加）、裸露岩石减少、荒漠增加。3 种情景的平均结果表明在 T1-T4 时段内林地增加速度最快（平均每 10 年增加 2.34%），裸露岩石减少速度最快（平均每 10 年减少 2.38%）；3 种情景的模拟结果比较一致地反映了在未来不同的气候变化情景驱动下中国土地覆被面积的变化趋势。

在未来 100 年内，各种情景在各时段的中国土地覆被类型之间的转换呈如下规律：耕地主要转换为林地，从 T1、T2、T3 到 T4 时段的转换速度逐渐减缓；草地主要转换为荒漠用地类型，从 T1、T2、T3 到 T4 时段的转换速度逐渐加快；3 种情景各个时段之间的各种土地覆被类型转换情况大致类同。

#### 5.3.4. 土地覆被类型的多样性和连通性

在未来的 100 年中，土地覆被多样性将呈现出持续减少趋势，而斑块连通性呈现出持续增加趋势。基于 HadCM3A1FI 的情景分析结果表明土地覆被多样性平均每 10 年减少 0.16%，连通性平均每 10 年增加 2.16%；基于 HadCM3A2a 的分析结果表明，土地覆被的多样性平均每 10 年减少 0.11%，连通性平均每 10 年增加 2.15%；基于 HadCM3 B2a 的分析结果显示，土地覆被多样性平均每 10 年减少 0.25%，斑块连通性平均每 10 年增加 3.83%。随着气温的不断上升、降水逐渐的增加等各种自然气候条件的变化，未来 100 年中国土地覆被的多样性将逐渐趋于单调。因此，必须针对中国陆地生态系统的复杂性特征，对比较脆弱的生态系统及生态环境进行修复和保护，以免目前生态环境恶化的趋势进一步加大，从而利用自然气候条件对未来情景的预测结果作为将来各种人类活动参照物，并进一步从自然规律的角度指导人类活动的可持续性。

#### 5.3.5. 土地覆被类型平均中心偏移

基于 HadCM3 A1FI、HadCM3 A2a 和 HadCM3 B2a 的 3 种情景分析结果显示（图 5.16），未来 100 年各个时段各种土地覆被类型平均中心整体上将出现以下空间分布规律和变化趋势：耕地类型平均中心总体上位于华北平原西南部的河南南阳等地区，整体呈西南方向偏移趋势；林地类型平均中心总体上位于湖北宜昌至重庆万县一带，并呈现出整体上向西南方向的偏移趋势；草地类型的平均中心总体上位于青海湖周围地区，A1FI 和 A2a 情景整体上呈现出向东北方向偏移，B2a 情景整体上呈现出向西偏移；建设用地类型的平均中心总体上位于华北平原的安徽、河南、湖北的交接地区，整体上呈现出向西或西南方向的偏移趋势；水体类型的平均中心总体上位于甘南渭河地区，整体上将呈现出向东偏移趋势；湿地类型的平均中心总体上位于东北平原的通辽周围地区，整体上将呈现出东偏移趋势；冰川雪被类型的平均中心总体上位于昆仑山与阿尔金山交接的高寒地区，整体上将呈现出向西南偏移趋势；沙漠类型的平均中心总体上位于塔里木盆地东部地区，整体上将呈现出向南偏移趋势；裸露岩石类型的平均中心总体上位于青藏高原的可可西里山周围地区，整体上将呈现出向西偏移趋势；荒漠类型的平均中心总体上位于柴达木盆地西北部一带，在整体上将呈现出东南偏移趋势。

T1-T2 时段中国土地覆被类型平均中心的偏移距离整体上小于其他时段的偏移距离，这表明了中国土地覆被变化在未来将随着气温的升高和降水量的增加而发生相对于现在变化速度更快的变化；各个时段内的耕地平均中心偏移距离的波动均小于其他的土地覆被类型平均中心的偏移情况。总之，随着气温的不断升高及降水量的不断增加，在自然气候条件的变化驱动下，各种土地覆被类型的平均中心均发生着一系列响应的移动变化趋势。其中，随着西北荒漠类型中心的不断向东南偏移，一方面耕地的平均中心也将不断向东南移动，另一方面草地的平均中心不断向西南方向移动。当然草地的移动现



象除了西北荒漠化面积扩大外，还是温度的不断升高致使青藏高原南部草地逐渐增加的结果；同时随着降水量的不断增加、气温的不断上升，以及其他自然条件的影响导致青藏高原上裸露岩石类型逐渐转换为草地或其他土地类型，所以裸露岩石的平均中心将呈现出向西移动趋势。

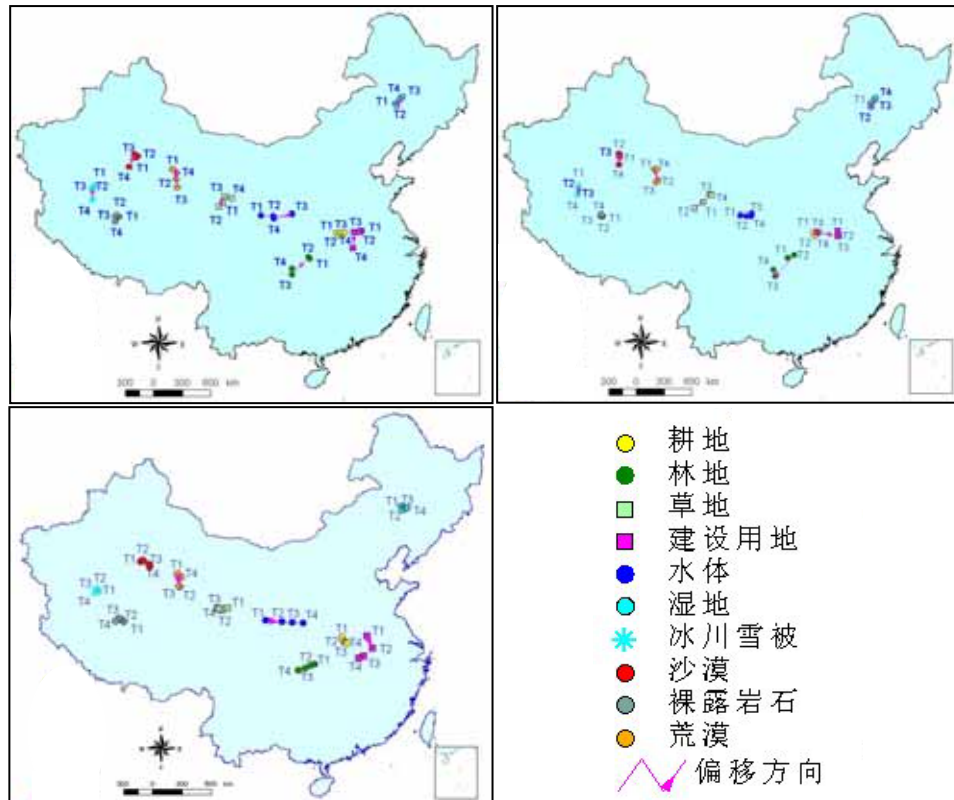


图 5.16. 未来 100 年土地覆盖类型平均中心偏移趋势（左上图：基于 HadCM3 A1FI；右上图：基于 HadCM3 A2a；左下图：基于 HadCM3 B2a；T1、T2、T3 和 T4 分别代表 1961-1990 年、2010-2039 年、2040-2069 年和 2070-2099 年）

总体上讲，以上模拟结果的研究分析虽然考虑了中国退耕还林还草工程未来的生态环境效应，但主要还是依据未来的气温、降水、蒸腾等气候自然条件的变化情景来进行模拟的。研究主要侧重于根据目前的自然条件来预测未来的土地覆被变化情景，所以研究过程中没有对人为因素对土地覆被变化的过程进行详细探讨分析。如果在未来情景下人类活动强度对生态环境产生的负面效应在生态环境自身的调控范围内，甚至人类通过干预自然，使的生态环境向良性发展（譬如退耕还林还草工程等），那么未来情景下的中国土地覆被变化将会呈现出以上的模拟分析的变化模式；如果人类活动强度继续超出生态环境自身系统平衡调控范围，那么未来情景下中国土地覆被空间分布将有可能不呈现出以上变化模式，而是将有可能发展成为更为恶化的生态环境模式；除了控制人类活动对生态环境的破坏程度以外，还要考虑由于未来气候的不断变暖而导致的自然荒漠化（是指在没有人类活动的影响下，由于自然因素而引起的沙漠化）问题。总之，未来土地覆被变化的情景分析，是一个庞大而复杂的系统工程，在以后的研究过程中将加以不断的改进和完善。



## 5.4. 食物

### 5.4.1. 气候变化对西部地区生态系统食物供给功能影响的情景分析

根据中国地带性气候变异的模拟规律对 SRES 中 A1、A2、B2 三种情景在 2010 年-2039 年间气温、降水、蒸发平均变化的修正结果，考虑气温、降水与蒸发变化对食物供给功能的共同影响，测算不同情景下中国西部陆地生态系统食物供给功能的可能变化（图 5.7）。

从图中可以看到，三种情景下西部地区生态系统的食物供给功能整体上处于上升态势，在空间上的分布格局总体上也基本相似，表现为西北地区，包括内蒙古西部及其以西、天山及其以南、青藏高原北部及其以北之间的广大地区，其增加幅度较大，影响系数一般都在 125% 以上；内蒙东部、广西、云南以及青藏高原的部分地区食物供给潜力略有下降或变化不太明显；西部其它地区虽然也有一定的增加，但增幅明显低于西北地区。西北干旱区的食物供给潜力的快速增长格局，与降水的影响格局基本类似，反映了降水在这些地区食物供给影响中起着主导作用。

对比三种情景下食物供给功能的变化，可以发现三者之间也有很多的不同。总体上看，B2 情景下食物供给的变化较大，A1 情景次之，A2 情景下变化最小。在 B2 情景下，除青藏高原北部的柴达木盆地及西南部等极少数地区的食物供给潜力下降、广西中南部、云南中部、青藏高原西部等部分地区变化不大外，其它地区的影响系数都在 105% 以下；青藏高原东部、横断山区、内蒙东部等地影响系数可达 115% 以上。在 A1 情景下，食物供给潜力降低的地区有所增加，而潜力增加的地区有年减少或增加的幅度降低。在青藏高原东北部及西南部地区，潜力降低的范围在原有的基础上进一步扩大，并且，在四川北部及云南南部的部分地区，食物供给潜力也开始有所下降；变化不显著的区域还包括了四川盆地、广西全部、甘肃南部及内蒙东部的部分地区；内蒙中东部潜力影响系数大于 115% 的地区已很少见。在 A2 情景下，影响系数大于 125% 的地区几乎全部退缩到西北地区，潜力降低的地区还包括青藏高原东南部及横断山区北部地区、内蒙古东部的赤峰及通辽地区。与 A1 情景相比，青藏高原东南部、云南大部的潜力影响系数都较低，但四川盆地的潜力影响系数反而有所上升，基本都在 105% 以上。

对西部地区气候变化引起的各类生态系统食物供给功能变化的统计结果表明，在不同的气候变化情景下、不同生态区的不同的生态系统所表现出来的潜力变化状况并不一样。总体上看，西部地区的水生生态系统的食物供给潜力呈下降趋势，而农田生态系统、草地生态系统、林地生态系统的食物供给潜力都有所上升。在后三类生态系统中，草地生态系统的食物潜力影响系数大于农田生态系统，而农田生态系统又大于林地生态系统。在不同的气候变化情景之间，除水生生态系统中 B2 情景下的变化略小于 A1、A2 情景外，其它三个生态系统中，B2 情景的变化都要大于 A1 情景，而 A1 情景的变化又要大于 A2 情景。尽管这样，但同一地区、同一类生态系统在不同情景下的差异并不大。以整个西部地区为例，农田和林地生态系统中，B2 和 A2 之间相差 0.03，草地生态系统中 B2 和 A2 之间相差略大，为 0.05，水生地生态系统中 B2 和 A1、A2 之间相差仅 0.02。

以上所反映的是西部地区的整体情况，但对不同的生态系统而言，不同生态区之间的差异也很明显。以下按三种气候情景下的平均变化情况分析这种不同生态系统中的地区差异。

对农田生态系统而言，除藏南山地高寒草甸草原生态区的食物供给潜力有所下降外，其它 29 个生态区的潜力都有所升高，其中，升高幅度最大的五个生态区依次分别为：帕米尔-昆仑山-阿尔金山高寒荒漠草原生态区、塔里木盆地-东疆沙漠生态区、内蒙古高原中西部-北山山地荒漠生态区、内蒙古高原中部草原化荒漠生态区、天山山地森林-草地生态区；上升幅度最小的五个区依次分别为：滇桂南部热带季雨林-雨林生态区、藏东-川南寒温性针叶林生态区、南岭中亚热带常绿阔叶林生态区、滇桂中部亚热带季风常绿阔叶林生态区、汾渭盆地农业生态区。

对草地生态系统而言，各生态区的食物供给潜力都有所增加，但增加幅度的差异较大，增幅最大的五个生态区分别为：塔里木盆地-东疆沙漠生态区、帕米尔-昆仑山-阿尔金山高寒荒漠草原生态区、阿里山地温性干荒漠生态区、内蒙古高原中西部-北山山地荒漠生态区、天山山地森林-草地生态区，其系数都大于 1.20；增幅最小的五个生态区依次分别为：藏南山地高寒草甸草原生态区、藏北高原高寒荒漠草原生态区、滇桂中部亚热带季风常绿阔叶林生态区、滇桂南部热带季雨林-雨林生态区、南岭中亚热带常绿阔叶林生态区，其系数都小于 1.06。

对林地生态系统而言，其食物供给的空间变化特征与草地生态系统类似，各生态区的潜力都有所增加，增幅最高的五个生态区依次分别为：帕米尔-昆仑山-阿尔金山高寒荒漠草原生态区、塔里木盆地-东疆沙漠生态区、柴达木盆地荒漠生态区、内蒙古高原中西部-北山山地荒漠生态区、天山山地森林-草地生态区，其系数都大于 1.25；增幅最小的五个生态区依次分别为：藏南山地高寒草甸草原生态区、滇桂中部亚热带季风常绿阔叶林生态区、滇桂南部热带季雨林-雨林生态区、南岭中亚热带常绿阔叶林生态区、东北平原农业生态区，其影响系数都小于 1.06。

对水生生态系统而言，其食物供给的空间变化特征与其它三个生态系统的有很大的不同，最突出的表现在于负面影响的地区较多。增幅最高的五个生态区依次分别为：陕甘宁黄土高原生态区、内蒙古高原中部草原化荒漠生态区、准葛尔分地荒漠生态区、阿尔泰山-准葛尔西部山地森林-草原生态区、柴达木盆地荒漠生态区，其系数都大于 1.28；降幅最大的五个生态区依次分别为：大兴安岭北部寒温带针叶林生态区、大兴安岭中南部落叶阔叶林-森林草原生态区、藏东-川西寒温性针叶林生态区、藏南山地高寒草甸草原生态区、秦巴山地北亚热带常绿-落叶阔叶林生态区，其影响系数都小于 1.06。

综上所述，气候变化的改变可以显著地影响生态系统食物供给潜力的大小，但应当注意的是，以上情景分析只考虑了气温、降水与蒸发的变化对生态系统食物供给功能的共同影响，并没有考虑气候变化所引起的灾害天气等不稳定因素对食物供给功能的负面作用。

#### 5.4.2. 中国西部地区人口承载力情景

计算人口承载能力除了需要生态系统的食物生产与供给能力外，还必须知道人口的消费需求水平。由于生活标准的不同，人在每天所需要的食物量是不同的。根据中国营养学会、中国中长期食物发展研究组等机构的研究成果，结合西部地区人口对食物需要的客观情况，我们选取了温饱型和富裕型两种生活标准来计算西部地区的人口承载力（表 5.1）。

表 5.1. 不同生活标准下中国西部地区居民的营养物质需求

生活标准	温饱型	富裕型
热量 (Cal)	2400	2750
蛋白质 (g)	64	85
脂 肪 (g)	58	81

西部地区在温饱型生活水平下，平均人口承载力为 158-163 人/平方公里(图 5.17)，而在富裕型生活水平下(图 5.18)，这一数值为 114-118 人/平方公里。从不同的生态区来看，平均人口承载力的差异相当大。在四川盆地，富裕型生活水平下每平方公里可以承载人口 950 人，温饱型生活水平下甚至可以承载人口 1 200 多人，而在帕米尔-昆仑山-阿尔金山高寒荒漠草原生态区，每平方公里平均承载力约 2 人。在西部地区，温饱型生活水平下，平均人口承载力超过 500 人/平方公里的除四川盆地外，还包括滇桂南部热带季雨林-雨林生态区、汾渭盆地农业生态区、南岭中亚热带常绿阔叶林生态区、滇桂中部亚热带季风常绿阔叶林生态区、黔中部中亚热带喀斯特植被生态区，而在富裕型生活水平下，这些地区的平均人口承载力都超过 400 人/平方公里。平均人口承载力较低的地区除帕米尔-昆仑山-阿尔金山生态区外，还包括内蒙古高原中西部-北山山地荒漠生态区、柴达木盆地荒漠生态区、阿里山地温性干旱荒漠生态区、藏北高原高寒荒漠草原生态区、塔里木盆地-东疆沙漠生态区，这些地区的平均人口承载力在温饱型生活水平下均不超过 18 人/平方公里、在富裕型生活水平下均不超过 15 人/平方公里。

#### 5.4.3. 人口空间分布情景

根据目前的生态和经济状况，中国从地理上可分为三个区域：西部、中部和东部。西部地区由西南五省、西北五省和内蒙古自治区、广西壮族自治区组成。西南五省是四川、重庆、云南、贵州和西藏自治区。西北五省是陕西、甘肃、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区和青海省。中国西部面积大约 675.46 万平方公里，占中国陆地总面积的 70%。中部地区由八个省组成，分别是山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南、吉林和黑龙江，面积大约 167 万平方公里，占中国陆地总面积的 17.4%。东部地区由 11 个省组成，分别是北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南，总面积约 120 万平方公里，占中国陆地总面积的 12.5%。

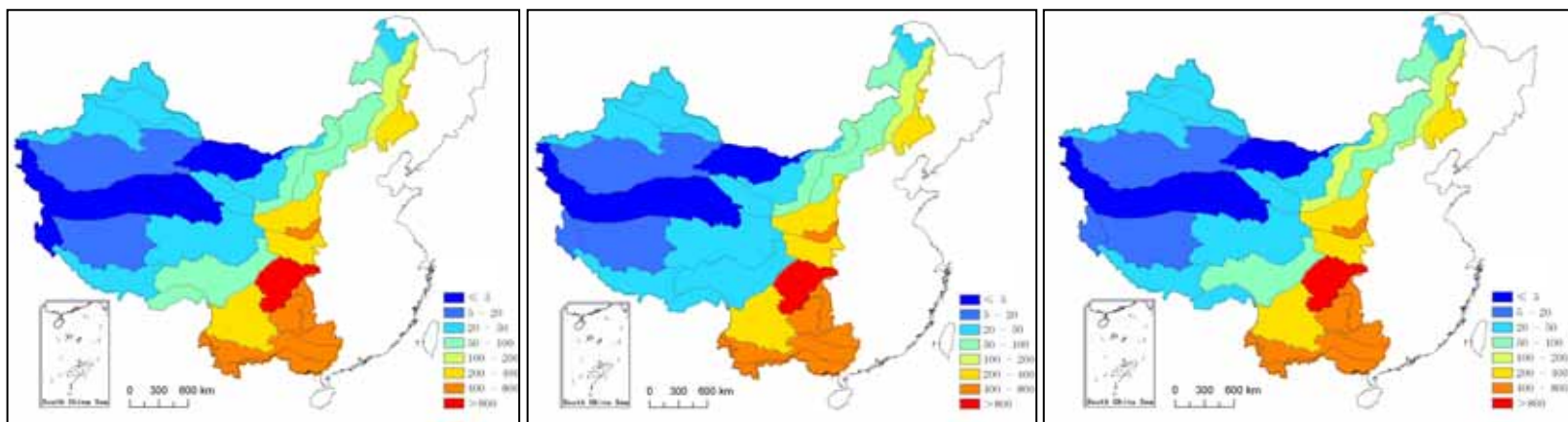


图 5.17. 中国西部各生态区温饱型生活的平均人口承载力(人/平方公里) (左图:基于 HadCM3 A1FI;中图:基于 HadCM3 A2a;右图:基于 HadCM3 B2a)

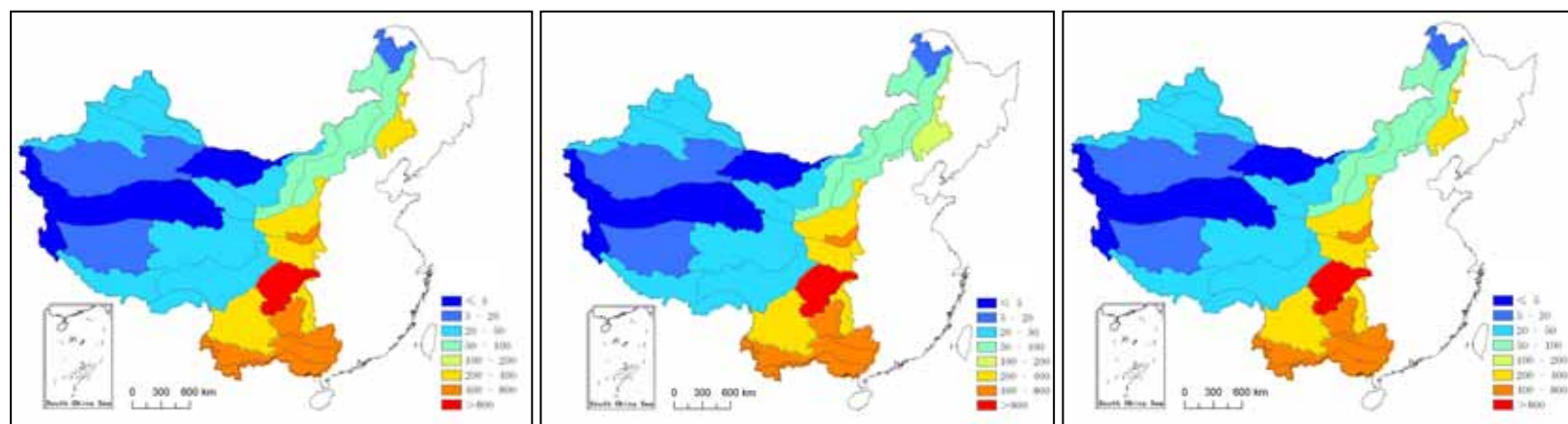


图 5.18. 中国西部各生态区富裕型生活的平均人口承载力(人/平方公里) (左图:基于 HadCM3 A1FI;中图:基于 HadCM3 A2a;右图:基于 HadCM3 B2a)



图 5.19. 2020 年中国人口空间分布情景 II (单位：人/平方公里)

在净初级生产力年增  $0.49\text{gC}/\text{m}^2$ 、水系和海拔高度在全国层面几乎不发生变化的前提条件下，将 2020 年中国人口空间分布情景区分为 I、II 和 III 三种可能。在情景 I，假定城市化率为 73.82%，公路总里程 154 万公里，铁路总长度 11.41 万公里，全国总人口 15.98 亿；在情景 II，假定城市化率为 65.02%，公路总里程 147 万公里，铁路总长度 10 万公里，全国总人口 15.09 亿；在情景 III，假定城市化率为 56.22%，公路总里程 147 万公里，铁路总长度 8.59 万公里，全国总人口 14.56 亿。

上述三种假设条件下的情景分析结果表明，如果人口可在全国范围内不受任何限制的自由流动，人口将从中西部向东部大量迁移。西部、中部和东部关于全国总人口的平衡比率分别为 16%、33% 和 52%。由于三种情景的空间格局基本类似，本报告只展示人口空间分布的情景 II (图 5.19)。

#### 5.4.4. 中国西部地区可持续人口承载力情景与人口增长情景对比分析

根据生态阈值模型 (岳天祥, 2000)，在 A1、A2 和 B2 气候情景下，中国西部地区温饱型生活水平的人口可持续承载力范围分别为 [2.11 亿人, 7.89 亿人]、[2.10 亿人, 7.85 亿人] 和 [2.16 亿人, 8.09 亿人]，富裕型生活水平的人口可持续承载力范围分别为 [1.63 亿人, 6.09 亿人]、[1.62 亿人, 6.06 亿人] 和 [1.67 亿人, 6.24 亿人]。根据 SMPD 模型的模拟结果，如果人口可在全国范围内不受任何限制的自由流动，西部地区人口相对于全国总人口的平衡比率应为 16% (Yue et al., 2005a)；在人口可在省区内自由流动的条件下，1930 年、1949 年和 2000 年各时期西部地区人口占全国总人口的比例最大值为 32%。有关预测结果表明 (蒋正华, 1998；Yue et al., 2005b)，我国 2020 年人口总数的三种情景分别是 15.98 亿、15.09 亿和 14.56 亿。因此，如果西部地区人口占全国总人口的比例为 32%，西部地区人口数的三种情景为 5.11 亿、4.83 亿和 4.66 亿；如果西部地区人口比例为 16%，则西部地区人口数的三种情景为 2.56 亿、2.41 亿和 2.33 亿。在两种生

活型下,西部地区的 6 种人口情景都在可持续人口承载力范围内。也就是说,西部地区人口承载力能够保障西部地区未来人口的发展(表 5.2)。

表 5.2. 西部生态区在两种生活型下的可持续人口承载力情景与人口增长情景对比分析(单位:亿人)

可持续人口 承载力范围	温饱型			富裕型		
	气候情景	气候情景	气候情景	气候情景	气候情景	气候情景
	A1	A2	B2	A1	A2	B2
	[2.11, 7.89]	[2.1, 7.85]	[2.16, 8.09]	[1.63, 6.09]	[1.62, 6.06]	[1.67, 6.24]
人口情景 1				5.11		
人口情景 2				4.83		
人口情景 3				4.66		
人口情景 4				2.56		
人口情景 5				2.41		
人口情景 6				2.33		

### 5.5. 中国西部发展的未来情景

在西部地区的情景分析过程中,我们考虑实施西部大开发政策与不实施西部大开发政策这样两个重大举措,而在实施西部大开发政策下还会因社会经济政策与生态环境政策的优先程度不同有不同的情景。

首先,影响我国西部大开发政策有很多因素如生态环境建设、水土资源配置、能源消费、基础设施建设、产业结构调整、技术投入、科技进步、区域发展水平、教育水平、劳动力素质等,项目组将各种因素进行了归类划分为三个大部分(表 5.3)。

表 5.3. 西部大开发的主要政策要素

基础设施建设、产业结构 配置、技术投入及科技进步	生态环境建设、水土资源 配置、能源消费	区域发展水平、教育 水平、劳动力素质
优	优	优
优	优	差
优	差	优
优	差	差
差	优	优
差	优	差
差	差	差
差	差	优

针对前面对西部地区未来发展的驱动力定性分析,我们认为,西部大开发政策是引导西部地区发展的重要驱动力,因此,将上述的驱动因素和西部大开发的政策作为描述西部地区未来发展情景的主要内容,为了使研究工作更加有的放矢,本研究对未来情景描述进行简化,主要考虑了区域发展均衡、两极分化以及主要注重改善环境和主要注重经济发展四个方面的主要情景(图 5.20)。



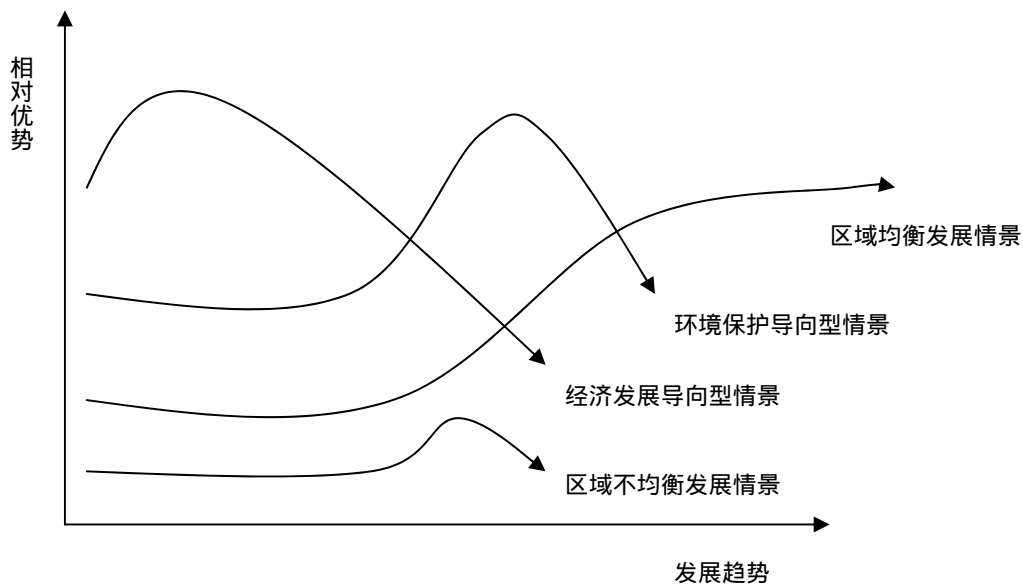


图 5.20. 中国西部未来情景描述

#### 5.5.1. “区域不均衡发展”的情景

经济发展的运行规律完全按照市场规律运行，西部的发展将成为中国的落后经济地区，生态环境持续恶化。主要的描述为：国家不实行西部大开发政策，西部地区的发展将变成一片狼籍，社会经济发展严重滞后，生态环境急剧恶化，人民福利水平与日俱减，西部地区发展极不稳定，进而影响国家的长治久安。人们认为这种情景实现的可能性很小。生态系统的四大服务功能将变为支持功能严重不足，供给功能将逐年减少，缺水，缺粮现象将日益严峻，调节功能不强，生物多样性严重减少，其文化功能逐渐丧失。

#### 5.5.2. “区域均衡发展”情景

在全国一盘棋的思想下，充分考虑帮助西部地区脱贫致富，对西部地区实行各种优惠政策，优先发展西部地区，而且发展的前提是保护西部地区的生态环境。主要描述为：在西部大开发政策全面成功实施的驱动下，未来 30-50 年内，西部生态恶化的态势可望得到遏制，社会经济可望加快发展，地区差距逐步缩小，生态服务功能可望得到恢复和重建，资源、环境和社会经济可望良性循环，实现可持续发展。

#### 5.5.3. “环境保护导向型”情景

西部地区的落后，根源在于恶化的生态环境，经济的发展应以保护生态环境为前提，因此，主要关注的是生态环境如何好转，而不把关注的焦点放在经济发展上。这种情景主要描述为：在退耕还林还草等生态环境政策得到充分实施，而产业结构调整 and 科技教育政策被忽视的情况下，西部生态环境可望得到改善，生态系统服务功能提高，但是经济发展缓慢，贫困问题突出，西部与东部、中部地区的差距继续扩大，不仅拖了全国现代化的“后腿”，而且由于地区差距过大，地区矛盾、民族矛盾和社会阶层矛盾激化，可能导致民族分裂，危及国家安全和社会稳定。

#### 5.5.4. “ 经济发展导向型 ” 情景

重视经济发展而忽视生态建设，经济水平大幅度提高，地区差距缩小；但是大规模资源开发和经济发展，造成生态环境继续全面恶化。主要描述为：在未来 20 年左右的时间里，西部的绿洲消亡、江河断流、环境污染加剧，自然灾害频繁，西部生态环境阻碍了经济发展，生存环境危及居民的生活和生产活动；同时西部生态全面恶化导致东中部地区生态环境进一步恶化，全国生态环境整体全面恶化，人民生活和经济发展停滞不前，可持续发展和现代化目标化为泡影。

根据目前的发展态势和重要驱动力的分析，我们认为，“全国一体化”的情景下西部地区生态系统服务功能与人类服务水平都将得到明显改善，我们期望这种情景得到实现。因此，在制定有关的响应政策时，应该制定一些促进这种情景容易实现的政策。以确保国家经济发展的长治久安，生态系统、经济系统的良性循环。

## 6.对策与建议

### 6.1. 西部生态建设的目标

西部开发,历史上曾有过多次,但每次都造成生态环境的破坏。现在提出的大开发战略,如果不注意社会经济与生态建设的协调发展,还有可能加剧生态环境恶化的趋势。因此,应认真贯彻可持续发展战略,采取切实可行的措施,促使生态环境良性循环。

从发展战略考虑,西部生态环境承载力有限,生态环境建设的重点是生态恢复。第一步是先停止人为的破坏,遏制恶化趋势,第二步再进行重点建设,实现生态环境优化的目标。用大约 50 年左右的时间,动员和组织全社会力量,依靠科技创新、制度创新和管理创新,在大力发展西部经济的同时,加强生态环境建设,把恢复植被作为主攻方向,带动土地利用结构调整与优化,促使生态系统的良性循环。要实现这一战略目标,应统筹规划,因地制宜,分区治理,突出重点,分步实施。

在未来 50 年内,可以考虑大体分三步走:

第一阶段(2001-2015 年)。前 15 年通过加大对基础设施和生态环境建设的投入,力争西部地区生态环境恶化的趋势得到基本遏制,黄河、长江上中游水土流失重点地区、草原“三化”严重地区以及严重荒(石)漠化地区的治理初见成效,黄土高原的生态状况有较大改观,西北绿洲环境得到初步治理,经济运行进入良性循环。

第二阶段(2016-2030 年)。在第一阶段的基础上,再用 15 年左右的时间,即到 2030 年,使西北地区的治理大见成效,水土流失和土地荒漠化得到不同程度的治理,黄土高原、塔里木河、青藏高原的生态环境有明显改观,西南地区的生态环境步入良性发展轨道。

第三阶段(2031-2050 年)。在第二阶段的基础上,再用 20 年左右的时间,即到 2050 年,使西北地区适宜治理的地区得到全面整治,宜林宜草地基本绿化,植被覆盖率恢复达到或接近历史时期较高水平,建立起有效防护水土流失和荒漠化的结构合理的林草植被体系,基本实现《全国生态环境建设规划》提出的目标。

### 6.2. 分生态区生态环境治理建议

我国西部地域辽阔,区域差异较大,生态系统类型多样。西部地区的生态环境建设与国土资源开发应突出重点,即:一方面要把生态环境问题严重而又具有开发前景的地区作为建设重点,另一方面要把经济发达而生态环境又十分脆弱的地区作为治理重点,现提出以下重点生态区(王苏民等,2002)。

#### 6.2.1. 生态区划分

我国的西部地区,包括重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆等 10 个省、市、自治区,面积广阔,自然环境复杂多样,地域差异巨大。通过划分生态地理区域系统,将使我们科学地认识到西部大开发的艰巨性和长期性,合理利用西部地区的自然资源,并有目标地进行生态建设,避免盲目无序的开发状态,对实施西部大开发战略和西部区域可持续发展具有重要的意义。

依据西部生态环境敏感性、生态服务功能重要性以及生态环境特征相似性和差异性的西部地区生态功能分区（图 6.1），西部共有 30 个生态区（欧阳志云等，2002）。

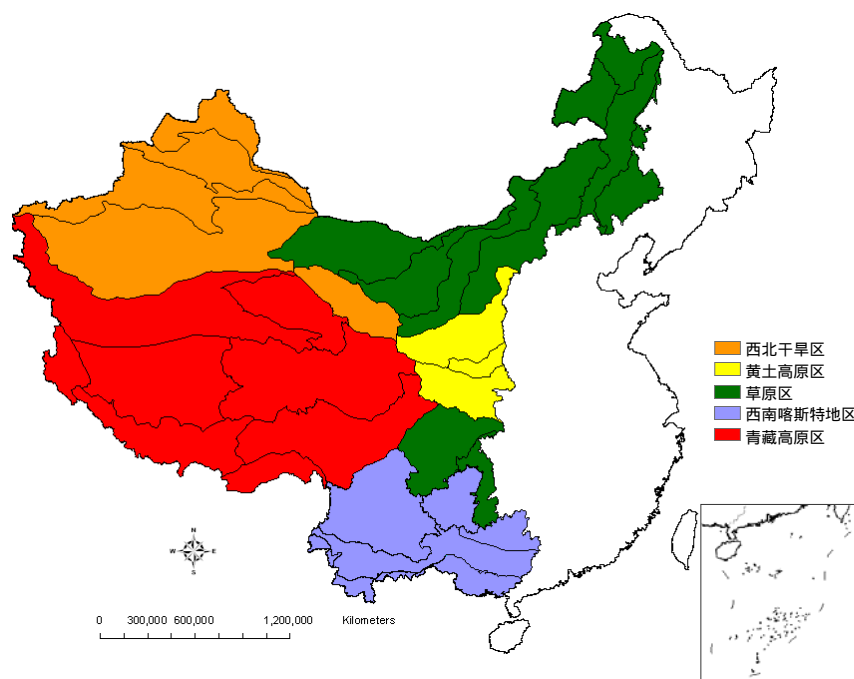


图 6.1. 生态重点区空间分布图

## 6.2.2. 分生态区生态建设建议

### 6.2.2.1. 黄土高原

黄土高原是西部地区生态建设的“重中之重”。黄土高原的生态建设要和富民、增收政策相结合，认真贯彻退耕还林（草）、封山绿化、以粮代赈、个体承包的方针，把恢复植被作为重点，通过水土流失综合治理，带动土地利用结构调整。

生态建设工程应优先在水土流失最严重的陕北、晋西和晋陕蒙接壤区实施。晋陕蒙接壤的“乌金三角”地区是我国新兴煤炭基地，由于环境保护工作不力，植被破坏，水土流失越来越严重。该区应以防止风蚀水蚀、确保矿产资源开发的生态安全为重点，以恢复草灌植被、建立设施农业为主要措施；陕北、晋西北以防止水土流失、恢复乔灌草植被、培育林果业和发展畜牧业为重点。

必须十分重视对天然植被的保护封育。黄土高原需要治理的面积很大，除坡耕地外，天然草场（牧荒坡）平均占到水土流失严重地区土地面积的 1/4 强。一些土地退化严重的地区，耕地利用价值大大降低，靠人工恢复植被，人力、财力均甚困难，唯一的出路是封山绿化，辅之以补插、补植措施。

退耕还林（草）工程应根据植被地带性分布规律，按“两线三区”规划。黄土高原年均 550 毫米降雨线以上的地区（陕西延安以南），可以大面积营造人工林，实行针叶林和阔叶林混交或与灌木混交，如油松、刺槐、白桦、辽东栎、杨树、沙棘等。年均降水 450-550 毫米的地区（陕西延安以北至长城沿线），乔木林只适宜种植在水分条件较好的沟坡下部，该区植被应以灌草为主，建造稀树灌草丛或灌草混交植被，如油松、刺

槐、沙棘、小叶锦鸡儿、沙打旺等。年均 450 毫米降雨线以下的地区，植被应以草、灌为主，如沙打旺、柠条等。根据植被有效保持水土的功效，确定植被覆盖率达到目标为 60%-70%，可以减少土壤侵蚀 60% 以上。还应根据不同条件选择适当的植被建造方式，如人工种植、飞机播种、封育以及封育结合人工补播等，并切实制定管护政策，确保植被恢复目标的实现。

黄土高原的经济发展应依据本区的资源优势和市场的需求选择主导产业。经多年努力，黄土高原的粮食已可基本自给，一方面，退耕还林（草）将推动生态环境的改善，另一方面，农业生产结构调整空间扩大，以草食动物为主的畜牧业有可能成为重要的商品畜产品基地。在经营方式上，由以往单一的放牧转变为舍饲为主或舍饲与放牧相结合，同时大力发展多种畜产品加工业，以高质量的加工产品推向国内外市场。经济的发展又将增强改善生态环境的实力，从而使区域经济走上可持续发展的道路。

#### 6.2.2.2. 草原区

西部地区现有牧草地约 2.6 亿公顷，我国主要牧区均分布于此。但牧区的草场条件很不相同，各季节放牧草场产草量很不平衡，干旱、暴风雪、草原鼠害、虫害等往往成为畜牧业稳定发展的严重障碍。

在畜牧业经营方式上，大部分牧区沿袭传统的放牧方式，追求牲畜数量的增长，能够提供到区外的商品畜产品不多；对草场的过牧超载造成草原生态退化，抗灾能力不强。这是各牧区带有普遍性的问题。应将各地已经采取的改良天然草场、建立人工饲料基地、增加牧区围栏设施、发展舍饲与半舍饲畜牧业等坚持下去，并根据以下几类牧区，实行分类建设和分类管理，不同区域采取不同的措施。

北方干旱半干旱草原区（包括内蒙古高原半干旱草原、甘新干旱荒漠和山地草原）水资源匮乏，生态环境脆弱，草原资源利用不平衡，超载过牧严重，畜牧业生产水平不稳不高，应以加强天然草原的保护与建设为主攻方向，在年降水量不足 250 毫米的地区和“三化”草原地区，实行封育围栏，划区轮牧，以草定畜，降低载畜量；对重度退化的草原实行年度休牧，对中度退化的草原在返青期和结实期实施季节休牧，促使草原自然恢复；加强以人工种草、飞播牧草、草原改良为主要内容的草原建设，建立饲草基地，实行冷季舍饲圈养，稳定牲畜存栏量。在沙地和沙漠边缘以草治沙，大力种植旱生牧草与灌木，倡导草、灌结合，提高植被覆盖度，遏制草原沙化的趋势。建立人工草地，发展饲草料基地、牛羊异地育肥等高效率的草业商品化生产，实现畜牧业的集约经营。

农牧交错区（包含陕西省、陇东、内蒙古西部和青海省东部地区）历史上多为草原牧区，现今是我国生态环境破坏、水土流失最严重的地区之一。面对这一严峻状况，应作重大调整。本区种植业“十年九旱”，广种薄收。但作为草地畜牧业的基地，则可相对稳产高产。因此应舍弃农牧交错区单一粮食生产的传统，在区域粮食基本自给的基础上，退耕还草，大力发展草地畜牧业，在充分保护、利用天然草原的同时，将牧草引入农田系统，实行三元种植结构，提倡人工种草，把畜牧业作为产业化的主攻方向。

青藏高寒草原区以畜牧业生产为主体，但由于气候干冷、交通不便、文化技术落后，畜牧业生产水平不高。由于基础设施薄弱，冬春饲草不足，抗灾保畜能力较差。在经营上，畜群结构不合理，管理粗放，牧民商品观念淡薄。青藏高原气候寒冷，草原自然生

态系统脆弱，由于长期超载过牧及其他不合理利用，致使 1/3 的草原严重退化，大量水土流失直接影响长江、黄河上中游地区的生态安全。因此该区要认真贯彻执行“保护与发展畜牧业”的方针，通过强化基础设施建设、保护和建设草原、改进饲养管理、改良畜种等措施，促进畜牧业的发展。加强“三化”草原的治理，搞好草原轮牧、禁牧和季节性休牧，降低载畜量；在水源条件较好的地区建设部分高产人工草地，进行抗灾保畜生产，提高抗灾能力，为禁牧和休牧提供条件。

西南丘陵山区气候温和，雨量充沛，次生草地分布零散，产草量较高，但草质较差，大约 30% 利用过度，30% 轻度利用，40% 利用不足。部分地区由于植被破坏，水土流失严重，加剧了洪涝灾害的发生。要坚持重点保护与合理利用相结合，陡坡地退耕还草并改良现有草场，建设高产优质人工草场。在丘陵山区实行低经济成本和低生态成本的草地改良模式，如灌丛-牧草-山羊系统、经济林地行间种草模式；在平原地区实行粮食-经济作物-饲料作物三元种植结构模式，建成西南草原畜牧业基地。

#### 6.2.2.3. 西北干旱区

西北干旱区是我国沙漠化与风沙综合防治区的重要组成部分。该地区水资源短缺，风沙面积大，沙尘暴频繁发生，部分绿洲生态环境恶化。生态治理的重点有三条：一是加强防沙治沙工作，重点恢复紧邻绿洲边缘的荒漠植被，在大中城市、厂矿、工程项目周围，重点布置防沙治沙工程和天然林保护工程；二是选择适当坝址建设山区水库，既可蓄水发电，又可平衡供水，根据实际情况，改造平原水库，减少渗漏蒸发，改善下游生态环境；三是采取有效措施改善绿洲生态，以水资源的节约与平衡为前提，制定绿洲发展规划，科学确定绿洲内部的用地构成，增加防林网和草地、饲料用地比例。

河西走廊是我国荒漠化严重地区之一，区内的绿洲处于沙漠的包围之中，绿洲边缘的生态十分脆弱，利用不当土地极易引起荒漠化并波及绿洲其他部位。特别是河流中上游绿洲盲目扩大，已殃及下游绿洲，造成许多矛盾。根据河西走廊的特点，在其北部风沙沿线应以治理风蚀、防风固沙为核心，采取生物措施和工程措施相结合，通过封、育、造、种增加沙区林草，促进天然沙生植被的恢复，形成防风固沙骨干林草带；沙漠边缘生态建设，采取综合措施固沙、治沙，恢复林草植被，控制农牧交错地区荒漠化扩大趋势。在绿洲外围边缘地带，维护绿洲生态系统的稳定性。河西地区尚有 134 万公顷以上的宜农荒地资源，由于水资源总量的限制，在开发利用上必须禁止不顾生态环境后果的开荒，盲目扩大耕地面积。

加大对祁连山区生态的恢复与保育力度，维护水资源形成的自然机制。祁连山区是河流水源涵养地和补给区，不同的高度带分布有天然草地和森林植被，它们既是特定气候条件的产物，又对水循环产生影响，维持着稳定的生态系统，必须采取切实有效的措施，扩大封护面积、加大保护建设力度，恢复和保育好祁连山的天然植被，维护河西内陆河流域水资源形成的天然机制，这是实现河西地区可持续发展的根本途径。

加强新疆绿洲地区生态环境建设与农业可持续发展，稳定和建设好现有的绿洲，绿洲内的农用地应有适当比例的防护林网，农作物的布局要考虑对水资源的供应条件，适当缩小高耗水作物的发展。除北疆伊犁河、额尔齐斯河的水土资源尚有开发潜力外，南



疆各大绿洲均应着重绿洲生态系统的保护，加强农牧结合，形成具有绿洲特色的多种商品农产品基地。

建设天山北部的生态系统与可持续农业。天山北麓山盆生态系统功能恢复需要两大产业结构转移：一是用材林应当由山地天然针叶林向盆地平原速生丰产人工林基地转移；二是草地畜牧业的重点向盆地的转移。天山北麓的山前洪积、冲积扇连成的向盆地倾斜的扇前平原，其宽度达数十千米，是古老的绿洲农业所在地。又是人口、重要城镇和工业的集中分布区。绿洲农业的生态和经济结构的改善，主要是形成配置合理的农、园、林、草、水复合系统。扇缘地带一般是绿洲与荒漠之间的过渡带，可改造建成畜牧业基地。准噶尔盆地古尔班通古特沙漠具有世界温带荒漠中最为丰富的生物资源，是世界温带干旱地带的基因宝库。建议加强整个古尔班通古特沙漠的自然保护，划定特别有价值的地区为国家自然保护区或荒漠公园。在此基础上，逐步开展野生有蹄类食草动物的繁育，发展生态旅游与狩猎业。天山北部山盆体系是整个中亚干旱荒漠地带山地与盆地相间地貌的典型生态系统结构。在我国西北的昆仑山与天山南麓山地之间的塔里木盆地、昆仑山与祁连山之间的柴达木盆地以及祁连山北麓的河西走廊等均有大同小异的山盆结构和类似的生物地球化学循环关系与土地利用格局。因此，该优化生态示范模式经过因地制宜的调整与修改后，当可适用于我国西北的其他山盆系统。

#### 6.2.2.4. 西南喀斯特地区

贵州、广西和云南东部是我国喀斯特地貌分布最广泛、最集中的地区，也是世界上集中连片最大的喀斯特地貌分布地区之一。这些地区绝大部分为石灰岩山地和丘陵，土层瘠薄，水土流失严重，生态环境极为脆弱，旱涝灾害频繁。该区域生态环境建设应采取综合措施，对山区生态环境严重恶化的土地进行生态重建，以造林、营林和扩大林草植被覆盖为主要内容，以减少水土流失和治理岩溶石漠化为重点，恢复和改善生态环境，提高抗御自然灾害的能力。

加大生态环境建设力度。主要建设内容为人工植树和封山育林，有条件的地区采取坡改梯等工程措施与之配合。在治理区内，根据陡坡耕地情况、石漠化程度及地类的不同，具体采取措施。石山类型岩石裸露率达 70% 以上，土壤极少，以封山育林育草为主；白云质砂石山类型土层极薄，一般不超过 2-3 厘米，除有条件的地段，采取人工植树后封山育林外，应以封山育林育草为主；半石山类型岩石裸露率在 30%-70%，土壤少、土层薄，在立地条件较好的地段，采用人工造林，条件差、岩石裸露率较高的地段采取封山育林；石见土类型与半石山相似，但由于已开垦种植作物，水土流失严重，石漠化速率高，采用农林复合经营的方式，增加植被覆盖，控制水土流失。总的来看，喀斯特地区 25 度以上的坡地水土流失最严重，石漠化潜在危险最大，应采取以人工造林为主，封山育林为辅的措施，逐步退耕还林或实行农林复合经营。

搞好生态扶贫工作。首先，要积极调整和优化产业结构，大力发展生态农业、特色农业和旅游业，尤其是具有地方特色的畜牧业、经济林果业、中草药业和精品水果生产。推广优良品种和先进技术，把生态建设、特色农业发展和经济开发有机地结合起来，建设优质、高产、高效农业。其次，采取切实可行的综合措施，努力改善农民的生产 and 生存环境，大规模实施地头水柜集雨节灌工程，通过坡改梯、砌墙保土等措施，防止水土

流失。为减少对自然植被的破坏，宜改变农村的能源结构，推广沼气、小水电等，有条件的地方以液化气或煤炭作为农村燃料，当前可着重于农户节柴灶的推广。

西南喀斯特地区由于特殊的地貌和地质环境，形成了独具特色的旅游资源。集“清、秀、奇、巧、变”为一体的喀斯特自然风光同浓郁古朴的少数民族风情，以及独特的民族建筑风情画卷，旅游开发独具魅力，旅游业应成为带动第三产业发展的龙头。

#### 6.2.2.5. 青藏高原

青藏高原自然环境特殊，在高寒干旱的条件下，生态系统极为脆弱，对全球气候变化的响应敏感而迅速。现有的野生动植物资源均系历史时期的积累，禁不起过度的开发和干扰。但近几十年来，草场过牧超载、樵柴破坏植被、垦荒、采矿挖药等人类活动频繁，青藏高原森林面积下降，草地退化，沙漠化日益扩大，珍稀野生动植物资源急剧减少，局部环境污染严重。因此，本区域生态建设的重点应以保护现有的自然生态系统为主，加强天然草场、长江黄河上游植被保护，防止不合理开发。要切实抓好自然保护区工作，尽快制定青藏自然保护区建设规划。同时，加强地震、滑坡、泥石流、强降雪等灾害防治，设立专门基金，加强对突发性灾害的预防和应急反应能力建设。

在稳定粮食生产的基础上，大力发展青藏高原有特色的商品畜产品。第一，要调整作物种植结构。高原的粮食已可基本自给，农区有条件推广饲草饲料的种植，通过农牧结合，扩大畜牧业规模，减少对天然草场的压力。第二，延长产业链，发展畜产品加工业。青藏高原的牛羊肉为绿色食品，在内地和香港深受欢迎，且价格比国际市场便宜50%-80%。加入WTO后市场可以扩大，随着交通条件的改善，将更为肉类外运提供便利。应大力发展与尼泊尔、巴基斯坦、印度等邻国边境畜产品贸易，努力创出绿色、优质名牌产品。

积极引导和鼓励调整能源消费结构，减少生物能源消费。青藏高原农牧区，一方面，由于长期以作物秸秆、灌草乃至牛粪充作能源，加大了植被破坏的程度。另一方面，丰富的水能、地热和太阳能等尚未充分利用。为此应积极发展中、小型水电站，构建常年运转、稳定出力、布局合理、保障有力的电力系统；在地广人稀、交通不便、电力难及地区，配合“阳光计划”开发太阳能及风能，特别重视发展县级太阳能电站；实行优惠电力投资政策和价格政策，推广太阳能热水器、太阳灶、太阳能采暖房暖棚等。

以建龙头产业为目标，大力发展青藏特色旅游业。旅游资源是青藏的优势资源，旅游业应作为产业结构调整 and 升级的关键产业。为适应青藏旅游业的发展，要加强重点旅游区和旅游景点建设，一是在拥有众多世界著名宗教寺庙、高原湖泊、高原草地、藏族村落和游牧营地的拉萨及其周边地区，加强旅游设施建设，形成区域旅游接待中心；二是在喜马拉雅山北侧，由5座8000米以上山峰和珠峰自然保护区组成的旅游区，以传统国际商道为依托，建设国际旅游路线；三是开发从云南香格里拉经昌都盐井、然乌湖、波密、雅鲁藏布江峡谷到拉萨的沿线丰富旅游资源，以“茶马古道”为主题发展超长线旅游。此外，还可增加开发山峰数目，降低登山费用，简化审批程序，发展环绕拉萨、珠峰和希夏邦马峰、林芝、昌都、风仁波齐峰神山圣湖的科考和探险旅游。

长江、黄河上游源区是我国生态安全的战略要地，要特别加强该地区的生态环境保护，严格控制过度放牧，合理利用和保护草场资源，切实抓好草地生态综合治理，对夏、

秋草场全面封山育草，对生态极度脆弱的地区实施退牧还草工程，保护高原湖区的湿地生态系统。西藏一江两河流域集中了西藏约 80% 的人口，是西藏自治区经济社会发展的精华所在，应加强生态环境动态监测和管理，以重点地区治理开发重大生态环境问题整治为突破口，综合运用生物和工程措施，防治土地沙漠化、草地退化和森林退化、保护日益减少的生物多样性资源。

柴达木盆地干旱缺水，风沙威胁大，当前应重点采取以下措施；一是合理利用和保护天然草场，加快人工饲料基地建设，搞好畜群和牧草品种改良，控制畜群数量，防止超载过牧和草场退化；二是加强科技攻关，搞好盐湖资源的综合利用和深度开发，解决卤水排放中的环境污染问题；三是要进行综合整治，切实保护好青海湖流域的生态环境，加强对湖周植被退化的治理，遏制湖区沙化和荒漠化扩大的趋势。

### 6.3. 西部地区退耕还林（草）的区域分析与建议

#### 6.3.1. 退耕还林（草）工程的实施背景与调整原因

自上世纪 90 年代中期以来，我国政府启动了退耕还林工程，以遏止水土流失和土地沙漠化加剧的趋势。然而，2003 年底，中央政府决定 2004 年新增退耕地面积指标由 2003 年的 5 000 万亩大幅度压缩为 1 000 万亩。

退耕还林补贴方案的高额度和标准单一化，以及退耕还林的高速扩张，有其深刻的体制和政策原因，尤其与中国近年来粮食政策和地方治理结构中存在的问题有密切的关系。退耕还林政策的推出加速了粮食市场供求关系的转折。以保护价收购粮食及其无法持续必然带来的粮食价格低落，势必推动粮食市场本身进行供需调整，而作为改变粮食市场供需失衡情况并减少国有粮食部门亏损而出台的一项重大政策，退耕还林的开始和迅速扩张也在一定程度上加速了粮食总产量和国家粮食库存的下降。退耕还林作为一项粮食过剩时期推出的大型生态保护工程，因粮食供需变化，势必进行调整（徐晋涛，曹轶瑛，2002）。

#### 6.3.2. 退耕还林（草）的区域分析

根据生态系统的人口承载力、人口压力等指标建立退耕压力模型的分析结果（图 6.2），西部地区重点退耕区面积 14.15 万平方公里，占全国重点退耕区面积的 81.77%，其中一级区面积 1.61 万平方公里，二级区面积 2.93 万平方公里，三级区面积 9.60 万平方公里，分别占西部退耕地区面积的 11.39%、20.73%、67.89%。此外，西部地区还有一般退耕面积 12.15 万平方公里，占全国一般退耕区的 66.60%。重点退耕区和一般退耕区合计为 26.30 万平方公里，占全国退耕区面积的 73.98%。由此可见，全国退耕还林的区域主要位于西部地区。

从地区分布来看（表 6.1），重点退耕一级区主要位于四川、云南、重庆、甘肃等地区，重点退耕二级区主要位于云南、四川、陕西、内蒙古、甘肃、重庆、贵州等地；重点退耕三级区主要位于甘肃、陕西、云南、四川等地；一般退耕地区主要位于内蒙古、陕西、甘肃、云南、四川、贵州等地。退耕面积最大的省份依次为甘肃、陕西、云南、四川及内蒙等地，其面积都在 3 万平方公里以上。

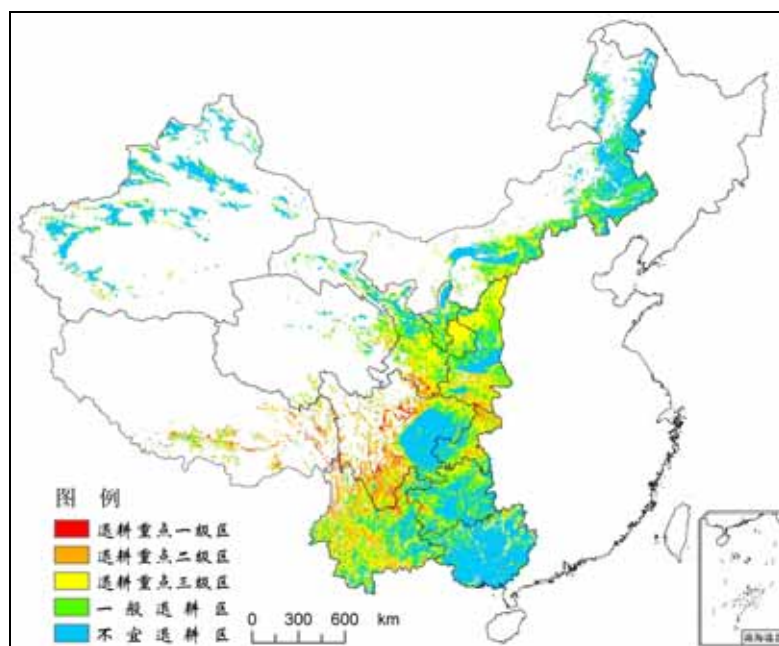


图 6.2. 中国西部地区退耕还林的地域分布

表 6.1. 中国西部地区分省退耕还林面积与影响程度 (单位: km<sup>2</sup>、%)

地区	重点退耕区								一般退耕地区		合 计	
	一 级 区		二 级 区		三 级 区		小 计		面积	影响	面积	影响
	面积	影响	面积	影响	面积	影响	面积	影响				
内蒙古	231	0.12	3034	1.90	8525	6.47	11790	8.49	22700	19.86	34490	28.35
广西	38	0.04	217	0.29	1007	1.46	1262	1.79	2373	3.78	3635	5.57
重庆	1826	3.30	2915	5.90	6819	15.02	11560	24.22	7520	18.15	19080	42.37
四川	5839	3.34	6478	4.08	12034	8.17	24351	15.59	14498	10.66	38849	26.25
贵州	646	0.97	1975	3.08	7625	12.82	10246	16.87	11475	21.15	21721	38.02
云南	4490	4.90	7151	8.71	13742	17.87	25383	31.48	14850	20.77	40233	52.25
西藏	602	10.17	833	14.63	1299	25.56	2734	50.36	854	19.04	3588	69.40
陕西	884	1.06	3129	3.79	19477	21.23	23490	26.08	18463	23.34	41953	49.42
甘肃	1470	2.12	2960	4.30	20871	31.63	25301	38.05	18359	29.84	43660	67.89
青海	55	0.56	302	3.37	1419	16.82	1776	20.75	2378	29.00	4154	49.75
宁夏	2	0.01	82	0.35	2450	11.79	2534	12.15	5190	27.31	7724	39.46
新疆	26	0.02	249	0.14	780	0.79	1055	0.95	2883	4.41	3938	5.36
西部	16108	2.15	29325	3.94	96047	12.19	141480	18.28	121542	16.32	263022	34.60
中部	531	0.05	2430	0.24	19352	1.78	22313	2.07	38084	3.90	60397	5.97
东部	111	0.02	978	0.16	8138	1.18	9227	1.36	22880	3.37	32107	4.73
全国	16749	0.67	32733	1.32	123538	4.70	173020	6.69	182506	7.44	355526	14.13

### 6.3.3. 退耕还林（草）工程的风险认知

从工程的实施情况看，由于推进过快，并缺乏历史的成功经验，可能带来多方面的风险。

#### 6.3.3.1. 财政风险

目前中央政府已经投入将近 500 亿元，而 2003 年由于已经退耕 1.08 亿亩，财政支出将达到 200 亿元，而未来几年即使进一步控制退耕地的迅速增加，仍将继续有所上升（2004 年将增加 20 亿元左右）。从这个意义上看，2004 年中央迅速调整新增退耕还林面积的决策是完全必要的，以后几年退耕的计划也必须结合财政成本和退耕收益进行全面考虑，慎重决策。

#### 6.3.3.2. 农户的就业和收入风险

而大部分退耕还林地区经济基础和教育水平低下，非农就业机会相对较少；林业预期收入由于成材速度较慢，市场木材价值偏低，加上未来砍伐存在的不确定性而不乐观；圈养畜牧业则因直接面临饲料问题（特别是粮食补贴期过后）或难以为继，或可能变成不利生态保护的放养。所以，参与农户向具有可持续性的非种植业转移的前景也不容乐观。如果这种情况持续下去，补贴期结束后，农户“退林还耕”的可能性就相当大。

#### 6.3.3.3. 农户的粮食安全风险

退耕地必然会影响到生态系统的食物供给功能。从统计结果来看，退耕地还林对西部地区的食物供给功能的影响比较大。若将重点退耕区的耕地全部退耕，可导致西部地区食物减少 18.28%，其中，一级退耕区引起食物减少 2.15%、二级退耕区引起食物减少 3.94%、三级退耕区引起食物减少 12.19%。西部一般退耕区对食物的影响程度为 16.32%，与重点退耕区合计影响 34.60%。退耕还林对食物影响程度较大的地区有西藏、甘肃、云南、青海、陕西、重庆，这几个地区的影响程度都高于 40%。由此可见，对西部地区的退耕还林建设，必须兼顾长远利益与当前的实际，有计划、有重点地逐步推进。尤其值得注意的是，许多退耕还林地区（特别是西北地区）生态环境比较恶劣，人类无法调控的气候灾害频繁，往往是一个正常年伴随着 2-3 个旱年，农民需要一年丰收的存粮足够 2-3 年使用，所以保有较大面积的人均耕地非常重要。从这个意义上看，即使退耕工程本身不会带来全局性的粮食安全问题，如果退耕面积过大，也会导致参与农户的粮食赋权问题，一旦退耕补贴期结束，除非政府继续保证发放一定数量的粮食，否则复垦不可避免。

#### 6.3.3.4. 区域生态风险

由于退耕还林的地域广阔，气候、土壤存在明显的区域差异，不同地形、地貌部位坡地的土壤水分状况差异也很大，植被建设因地制宜尤为重要。但目前的退耕政策往往设定统一要求（例如不区分植被自然分布规律，一律要求各县 80% 退耕地营造生态林；科学依据并不充分的造林密度规定；“退一、还二、还三”的硬性要求等），使得各地往往不顾立地条件进行造林。有些地方在封禁后自然植被开始恢复的陡坡地上，也开挖鱼鳞坑、水平阶造林，不仅破坏了残存的自然植被，也违背了植被建设应遵从的自然规律。

因此，在西北干旱地区，其气候特点决定了其顶极群落是草原植被，最佳水土保持系统也是草地系统。但退耕还林仍在梁峁坡地上大规模营造乔木林，不顾地带、立地条件而不合理植树，尤其是高密度植树，不仅种植的树会死掉，也将破坏植被恢复的土壤生态基础条件，导致土地逐渐沙化，对治理土壤侵蚀相当不利。在长江上游，虽然为解决水土流失、防止中游水库泥沙淤积而进行陡坡地还林非常必要，但目前的措施仍然存在林种单调（仅云杉、云松、桉等数种），无法形成多样性的林群结构和复合森林群落，生态功能大为削减，一旦发生虫灾和火灾，生态风险也很大。

#### 6.3.4. 退耕还林（草）工程建议

在我国西北和北部地区，更应该重视那些由于农业和畜牧业过度开发所导致的生态不可逆现象，通过政府增加财政投入等方式及时采取治理措施。比如，在西北地区，特别是新疆，河流上游出于农业灌溉目的的不合理利用、乃至浪费水资源导致下游断水，河道干涸，植被死亡，土地沙化乃至沙漠化；在内蒙，出于扩大畜产品产出和赢利的商业目的带来的过度放牧也带来草场退化、沙化；这些土地沙化和退化不仅本身构成一个不可逆的生态过程，而且也容易导致跨区域的沙尘暴。在这种情况下，通过严格的计量经济研究比较水资源在灌溉农业生产中的边际产出和对于生态保护的价值，并设计合理的转移支付手段来扭转生态进一步恶化的局面，或者通过计算草原畜牧业短期收益和草场破坏的长期损失并为调整畜牧业生产模式给出政策依据就不仅具有必要性，而且具有紧迫性。

就黄河中上游的水土流失而言，必须考虑到黄土高原客观存在的本身是大规模水土流失的基本背景和最重要的条件，目前的工程技术条件又在很大程度上可以克服水土流失对中、下游的危害，所以黄河水土流失的治理应该是一个中、长期的任务，关键是减少人口对于土地的压力，而这需要充分通过农业和农村人口向城市和东、中部地区的逐渐迁移来完成。如同我们前面的分析所显示的，在没有为这些人口创造足够非种植业、特别是非农就业机会的情况下，通过半运动式的大规模退耕还林解决问题很难达到目的。

### 6.4. 实现中国西部生态系统良性循环的关键措施

#### 6.4.1. 生物多样性保护

生物多样性包括物种多样性、遗传多样性和生态系统多样性。加强生物多样性的保护是生态建设的一个重要组成部分，对于减缓及治理荒漠化、防治水土流失及沙尘暴，减少洪涝、干旱、泥石流等自然灾害都具有重要的作用。此外，人类的衣、食、住、行都离不开生物多样性。

##### 6.4.1.1. 确定生物多样性保护区及保护物种

从实际情况及实际需要出发，确定生物多样性保护的重点地区，应包括西部主要江河如长江、黄河、澜沧江及珠江的上游地区；内蒙古、宁夏近年来沙尘暴的主要起源地区；目前中国仅存的原始天然林地区（如西藏）等。在确定重点保护地区的同时，还应确定物种保护重点。西部地区是大熊猫以及滇金丝猴、藏羚羊等等一大批中国特有物种



的栖息地。秦岭地区是暖温带与亚热带间的过渡带,适合不同物种在不同垂直带上生存。因此,该地区是我国物种极为丰富的地区,应重点加以保护。

#### 6.4.1.2. 加强野生生物资源的调查与保护

从历史上看,西部地区野生生物资源是十分丰富的,近几十年来主要是受人类活动的影响遭受到严重的破坏。为此,加强对西部地区野生生物资源的调查,采取措施加强对这批资源的保护已成为紧迫的任务。新近的科学观察对野生双峰驼种群及野马种群的重大发现,对摸清家底、加强保护都起到十分重要的作用。在植物方面,甘草是在干旱、脆弱的生态系统中生存下来的物种,是极为宝贵的基因资源,要坚决杜绝对西部甘草资源掠夺式的采挖,如继续破坏,5年后甘草这个野生物种将在中国绝迹,将造成不可弥补的损失。

#### 6.4.1.3. 控制外来种的入侵

1992年《生物多样性公约》生效后,每年都有一天定为“生物多样性日”。2001年“生物多样性日”的主题为“生物多样性与外来入侵物种管理”,说明外来入侵种对生物多样性破坏以至灭绝已成为世界性严重问题。1985年英国发现第一例疯牛病后造成不小的经济损失和社会影响,不仅威胁到不少欧洲国家畜牧业的发展,而且也威胁到人类的安全。外来种对某一生态系统的入侵是造成该生态系统生物多样性丧失的主要原因。我国从英国引进大米草,在福建沿海滩涂推广造成的严重后果就是典型例证。外来种入侵的生态效应往往不是短期内能让人们察觉到的,往往要经过十年、几十年的时间。一旦出现负效应,就很难消除,需要付出巨大的代价。1990年以来我国每年从国外引进各种草种,据有关统计资料,2000年草种进口达6000吨以上,其中75%来自美国俄勒冈州。为此,应该警惕外来种造成不可逆转的损失。建议加强科研投资,对外来种经过科学鉴定与试验后方能推广。

### 6.4.2. 水资源合理开发利用

#### 6.4.2.1. 制定和实施西部地区全面节水战略

全面节水是当前解决西部特别是西北地区水资源紧缺的根本出路,应将建立节水型农业、节水型工业、节水型社会作为西部发展的基本对策。借鉴国外先进的经验,应用高新技术,加大投入开发节水技术,建设节水工程。在我国的用水构成中,农业用水高70%以上,西部地区的这一比重更高,但有效农业用水只占农业灌溉用水的三分之一左右。由此可见,农业节水潜力巨大,实施广义水效率战略必须以农业节水作为重点,采用节水灌溉技术、节水轮作制度和培育抗旱农作物品种等。应通过技术创新,大力发展和推广节水的工业生产技术,创建节水型工业。针对西北水资源紧缺的情况,一般不宜建设耗水量大的项目。非上不可的项目,在立项阶段就应落实用水来源和污水处理措施,提高水的重复利用率。

#### 6.4.2.2. 加强西部地区水资源的调蓄、管理与配置

西南地区雨量丰富,年降水量超过1000毫米,但时空分布不均,其下垫面多为山地丘陵,喀斯特广布,修建蓄水工程难度大,农业用水问题较为突出。为了充分利用该地区的水资源,要跳出单纯的工程水库的思路,实行土壤水库、森林水库和工程水库“三库并举”;实行坡改梯工程,平整田间土地,利用田间土地保水蓄水;植树造林、涵养

水源；修建田间小水窖，积蓄雨水，灌溉经济林地和农田，因地制宜发展山间小水库和地下水库。

西北地区地处干旱半干旱地带，蒸发量大大超过降水量，水资源仅占全国总量的8%，且在时空分布上极不均匀。土地沙化、土壤盐渍化和水体污染加剧了水的供需矛盾。值得注意的是，近年来西北地区大规模开垦、扩种，经济用水挤占乃至剥夺了生态环境用水。其中，西北内陆干旱区实际生态耗水只有284亿立方米，而最低的生态耗水量要求为388亿立方米。导致原本就十分脆弱的生态环境变得更加恶劣。为此，应根据西北未来经济社会发展和生态建设的规模，对水资源进行“全面规划，区域平衡，加强调配”，实现区域间的平衡与合理调配。

#### 6.4.2.3. 积极、稳妥地开发利用国际河流水资源

在我国发源、流出境外的河流，净出境水量超过4000亿立方米，大多在西部。由于经济发展滞后，这类河流水资源利用不充分。西南地区富水，国际河流开发主要为发电和航运；西北地区缺水，国际河流的开发应突出水资源利用，最主要的是额尔齐斯河、伊犁河、阿克苏河。这些河流对新疆未来发展至关重要，应做好对这三条主要国际河流规划的修改和审查，以及重要控制工程的设计工作，为进行国际间水资源分配的谈判做好充分的技术准备。开发利用国际河流涉及与周边国家关系，应持积极稳妥方针，既要维护我国的水资源权益，又要处理好与周边国家的睦邻友好关系。

#### 6.4.3. 防治土地荒漠化，减缓沙尘暴影响

##### 6.4.3.1. 以防为主，加强治沙管理

土地荒漠化和沙尘暴的形成与发展是一个极其复杂的过程。这个过程与全球气候变暖、大洋环流变化、不科学的自然资源利用方式有关。我国土地荒漠化和沙尘暴的问题，不但与西北干旱半干旱的自然条件及人为活动有关，而且也与蒙古国、西伯利亚地区、中亚地区的生态环境有关。针对上述特点，当前最要紧的是将人为的破坏停下来，以有限的财力、物力用到较易恢复的那一部分荒漠化土地上。《全国生态环境建设规划》提出了治理荒漠化土地近、中、远期50年的目标，应补充《中国21世纪议程》中荒漠化土地蔓延速度减少到每年1000平方公里的限制性指标。对治理的目标值，在实施过程中应该科学地调整，切勿以层层分解的方式下达；对于限制性的指标值，也应该科学地确定。

加强治沙管理，对一些人力暂时难以恢复或急剧退化的生态失衡地区，圈定为“无人区”或“无畜区”，以利于这些地区的生态平衡和恢复。对荒漠化土地有害的经济活动和非经济活动，要严格司法管理。

##### 6.4.3.2. 加强西部土地荒漠化和沙尘暴的治理

实施以保护和发展林草植被为核心的治沙工程，保护好现有沙区植被，严禁乱砍乱伐、乱采滥挖和乱耕滥牧。治理的重点应以半干旱地区为主，在降水量小于300毫米的地区应停止开荒，在宜农地区应建立基本农田，改变广种薄收、不合理开垦的做法。在旱作农业地区，为避免风蚀，宜推广秋播、夏播与免耕作业，减少在春季西北风盛行时破土耕翻，防止风蚀。

#### 6.4.3.3. 制定减缓北京地区沙尘暴发生及影响特别行动计划

国家“十五”计划，提出要建设环京津生态圈，减缓北京地区沙尘暴发生及影响程度，应该是建设该生态圈的主要内容。该项工作与西部地区荒漠化的防治紧密关联，应引起高度重视。京津地区沙尘天气具有悠久的历史，不易彻底根治，但只要措施得力，减缓其发生及影响程度是可能的。

我国目前北方有四大沙尘源区，即：甘肃河西走廊和内蒙古阿拉善高原区；位于北京北部、东部的浑善达克、呼伦贝尔、科尔沁沙地，即内蒙古中部农牧交错带及草原区；新疆塔里木盆地的塔克拉玛干沙漠周边区；陕、甘、宁、内蒙古、晋西北长城沿线的沙地、沙荒土旱作农业区。其中甘肃河西走廊和内蒙古阿拉善盟地区是最强的沙尘源区。据有关方面的调查，造成北京地区沙尘天气的冷空气主要来自三个方向：西路（阿拉善盟额济纳旗-贺兰山-包头、呼和浩特-北京）；西北路（阿拉善盟额尔济纳旗-巴彦淖尔盟、包头、乌兰察布盟、锡林郭勒盟西部-北京及周边地区）；北路（贝加尔湖和蒙古国中部、中国内蒙古锡林郭勒盟-浑善达克沙地-北京）。气象卫星图像表明，位于北京上风的内蒙古高原东南部坝上地区是北京沙尘暴危害加重的主要沙尘起源地。又据分析，北京地区出现的沙尘天气多为扬尘和浮尘，分别占沙尘天气日数的74%和21%。沙尘源组成，就地沙尘源是永定、潮白、御栖河等古冲积平原的沙土沉积，以及建筑弃土；外来沙尘主要来自内蒙古中部农牧交错区和草原牧区。也就是说，造成北京沙尘天气的沙尘源主要来自北京本地和坝上地区。因此，应重点开展对北京主要风沙源的治理，既要防止其进一步扩展，又要尽可能使其逐步半固定和固定起来。至于北京本身的建筑弃土则应通过文明施工管理来消除。

国家林业局已经制定了《北京风沙源综合治理工程实施方案》，这个方案可以作为防治和减缓北京地区沙尘暴特别行动计划的基础或组成部分。防治北京地区荒漠化土地的问题，是个长期的任务，要通过行动计划的实施，逐步加以完善，以求得最大的防治效益。

### 6.5. 实现中国西部生态系统良性循环的宏观政策措施

西部大开发战略的核心是遵循生态经济上述原理，以水土资源承载力和生态环境容量为前提，依据生态经济系统结构-功能-平衡-效益原理，优化系统结构，增强系统功能；把生态环境建设与经济发展结合起来，大力推进农业产业化，培育生态经济体系，打破脆弱-贫困-脆弱的恶性循环，达到生态环境与经济的双赢；使经济再生产、人口再生产和生态环境再生产相互促进、良性循环、协调发展；实现经济效益、社会效益和生态效益在内的综合效益，使生态经济系统功能最大化，实现区域的可持续发展。

#### 6.5.1. 生态政策建议

虽然中国西部生态恢复行动受到社会各界的认同与支持，目前是一片叫好之声，但许多问题已经暴露出来了，概况起来主要有5个方面：西部开发可能加大生态保护的壓力，大规模开发自然资源，可能对中西部地区形成新的生态破坏，使本已经十分脆弱的生态环境雪上加霜；生态建设规划水平低，在制定计划时，片面强调项目的规模，而忽略了规划的科学性与可行性；生态环境建设的速度赶不上退化速度，几十年来形

成的大面积搞生产，小面积搞生态的模式，正是局部治理、整体恶化的根本原因；生态环境建设难以达到预期目标，由于在项目规划、管理、科技支撑与经济政策方面的失误或偏差，或者人类无法抗拒的自然灾害等，使原定目标难以实现；西部巩固生态环境建设成果的难度大，在实地调查中，已经出现了退耕的农民过于依赖政府补贴的情况。可以预见，一旦政府财政补贴停止，生态破坏的情况还会发生；生态恢复任重而道远，由于生态系统结构与功能的恢复是一个长期的过程，消除我国生态脆弱区的贫困也是一个长期的过程，因此，我国生态恢复必将任重而道远。

#### 6.5.1.1. 确保基本农田数量

为了确保人民的生产和基本食物需求，确保退耕还林（草）的土地不反弹，保持一定的农业生产综合能力是完全必要的。根据现状农业综合生产能力，长江流域每人至少要有 0.07 公顷耕地，黄河流域每人至少要有 0.13 公顷耕地。

#### 6.5.1.2. 调整土地利用结构、发展替代产业

在基本农田保障的基础上，要积极主动地调整土地利用结构，发展替代产业。在传统土地利用方式之下，陡坡和其它边际土地的垦殖造成了天然植被的破坏，带来了严重的生态环境问题。因此，森林和草原等植被的恢复必须改革传统的坡耕地种植方式，代之以可持续的土地利用方式；改变传统的农业生产，发展农业的替代产业。生态恢复计划执行期间，应实现土地利用方式与产业结构的转变，提高地方经济发展的活力和后劲，建立自我造血机制，将脱贫与生态环境建设结合起来，将经济效益和生态效益结合起来。

#### 6.5.1.3. 用经济手段进行生态环境建设

目前西部地区正在实施“退耕还林（草）、荒山绿化、以粮代赈、个体承包”的生态恢复计划，其中“以粮代赈”是政府对农民生态补偿的一种方式，体现了政府运用经济手段，而不单纯是行政手段进行生态恢复的政策转变。由于土地利用结构调整与替代产业发展需要一个过程，在这个过程中，政府财政补贴可以保障农民的基本生活，确保生态恢复沿着政府希望的方向发展。类似的政策也将在防沙治沙等相关生态恢复计划中实施。除了财政补贴这一经济手段外，今后还应在税收、信贷、财政转移支付等方面，进一步发展完善生态环境建设的经济手段，逐步实现用经济手段来管理与建设生态环境。

#### 6.5.1.4. 完善生态恢复的政策体系

生态环境建设是一项长期而复杂的系统工程，它面对的是生态脆弱区的千家万户的农民以及经济欠发达的地方政府，仅有政府公共投资与财政补贴政策还是不够的，迫切需要建立并完善一套完整并能延续的政策体系，来确保西部地区生态环境建设顺利进行。按照世界银行推荐的方法，可持续发展的政策与手段包括利用市场、创建市场、行政手段、信息公开与公众参与等。

### 6.5.2. 经济政策建议

尽管市场导向的经济体制改革的目标是实现资源的合理配置，使区域间得到相等的利益汇报机会，但是过去 20 年间，中国的区域差异开始进一步扩大，其中尤以沿海内陆差异最为明显。总的来说，改革开放之初，中国的区域差异有缩小的趋势，但其后很

快扩大，到 90 年代末期达到最大。中国政府已经充分认识到了区域差异的严重性，并推出了一系列措施来促进西部地区的经济发展（董锁成等，2000）。

#### 6.5.2.1. 财政转移

财政转移支付制度是以均等化为目标的，是缓解地区间财政能力差异、保证落后地区的公共服务达到基本水准的重要手段。面对西部脆弱的生态环境、薄弱的经济基础、低下的可持续发展能力，要积极借鉴国外财政转移支付的经验，尽快建立一套适合我国国情、科学有效的规范化财政转移支付制度。从财政制度上保障欠发达地区获得良好的发展机遇，逐步缩小地区差距。

具体而言，西部地区环境保护跨越式发展所需的财政转移支付政策可以从以下方面考虑：建立一项“支援西部地区环境保护发展基金”，这是由中央财政资金为主，各发达地区资金参与构成的一笔专项补助经费，属于有条件转移支付性质，主要用于帮助西部地区开展环境保护的项目建设和能力建设；提高国家环境保护部门对西部地区环境保护的经济调控能力。现在国家环保部门对西部地区只有政策指导的能力，无法给予更多经济上的帮助，对西部地区执行国家环境保护政策也无经济上的调控手段，因此，应设立上述“支援西部地区环境保护发展基金”，由国家环境保护部门代表国家来安排这项资金的使用；发达地区对口支援西部地区。对口支援的地区之间签订协议的项目，均以价值计量，在一定的数额之内为无偿援助，超过部分则为横向联合的有偿经济技术合作。

#### 6.5.2.2. 直接投资政策

国家通过直接投资的方式对特定地区的发展进程产生影响，这是全国区域政策的重要手段之一，我国“三线”建设的历史就是国家直接投资的一个典型例子。研究西部地区环境保护跨越式发展问题，国家直接投资也可以发挥重要作用。国家对西部地区环境保护的直接投资支持，也主要从以下两个方面考虑。

首先，环境保护的基础设施投资。很多为环境保护提供物质条件的基础设施如道路、排水设施、污水处理厂等，本身属于公益设施范围，不能直接产生经济效益，应该由财政力量出资建设，但西部地区限于能力，无力承担。在这种情况下，国家对西部地区协调发展的直接投资，应优先考虑加强与环境有关的基础设施建设。原则上是这样考虑：国家直接投资属无偿支持；国家独立承担的主要是跨地区的重大基础设施、重大国土整治等；对于地区内部的基础设施，国家与地方“拼盘”投资，而且地方政府应承担主要部分。

其次，保护的技术创新投资。西部地区实现环境保护跨越式发展的主要途径之一是走“绿色发展道路”，对原有企业而言，是技术改造，对新增企业而言，是采用先进工艺，这二者统一于“技术创新”这面旗帜之下。与基础设施不同，技术创新是有经济回报的过程，但起点高，投资大。因此，第一，国家应该对西部地区环境保护相关的技术创新进行投资，以帮助西部地区转变经济增长方式。第二，国家对这种技术创新投资不必采用无偿支持的方式，而应采用国内银行贷款或国家统借利用外资的方式，进行这种技术创新的企业或项目，应承担还款的责任和义务。

### 6.5.2.3. 生态补偿机制

江河中上游地区长期投入大量人、财、物力治理土地沙化和水土流失，保护植被和水源，增强了中下游地区的生态环境安全保障，但在一定程度上牺牲了经济利益；目前，黄河上中游地区尤其是黄土高原地区实施的退耕还林还草生态环境建设，更是把大面积的耕地退粮还林还草，为了追求生态效益，却牺牲了更大的经济利益。这些同样应当把上中下游地区的责任和义务与权力和利益统筹考虑。生态经济学和环境经济学原理告诉我们，河流是全流域人民的公共财产，大家共同享有对该河流资源与环境利用、保护和治理的权利和责任。我国长期实行按行政区划组织流域经济，调配流域资源。这种做法分割了上、中、下游流域生态经济系统之间密切的相互联系和有机整体性，违背了客观规律，上、中、下游各自为政，抢占资源、破坏环境的事件经常发生，流域生态经济系统陷入了恶性循环的不良状态，人们也为此付出了沉重的代价。因此，江河源区生态环境保护和建设不仅是上游的事情，更是中下游的事情。

在积极借鉴国外发达国家经验的基础上，彻底转变观念，摈弃传统的计划管理模式，按流域配置资源，组织生态环境建设，尽快建立符合中国国情的上、中、下游利益共享、责任共担的补偿机制，组建权威性的全流域统一的资源配置与环境利用、保护和管理机构，综合协调、处理全流域资源开发与保护及环境治理和管理事宜；有关部门要及早制订科学的全流域上、中、下游利益补偿、责任共担的定量核算方法；财税部门应制定出一套切实可行的上、中、下游利益补偿的财政转移支付方案、操作规程和配套政策；全国人大要制订促进流域上、中、下游利益补偿、协调发展的法律法规，把全流域资源开发、生态环境建设和管理纳入法制化轨道，从法律上保障江河源区生态环境保护事业的良性发展，以及全流域的可持续发展。

为了帮助西部转变传统的资源开发模式，走向可持续发展道路，可借助区域协调发展基金的模式，建立西部地区生态环境建设和保护基金。资金来源有二，一方面政府财政投入；另一方面通过建立并完善有偿使用生态环境资源和恢复生态环境的经济补偿机制而征收的费用。该基金主要用于生态环境基本建设和保护，并严格制定使用制度。这既能减轻财政支出的压力，又能为西部生态环境建设和保护筹措到稳定的资金来源。

### 6.5.3. 管理政策建议

西部是我国贫困人口比较集中的地区，目前国家贫困县主要集中在西部，贫困人口也主要集中在西部。西部经济发展滞后，地方财政收入较少，2002年西部的财政收入占GDP总值的比重仅为7.31%，比全国低1.01个百分点，西部地方财政支出在全国地方财政支出中的比重仅为26.82%，比东部低18.29个百分点；社会积累能力较弱，个人支付能力低。加之西部生态环境脆弱，为了生计，西部人为破坏生态环境严重，后果必然殃及全局。

#### 6.5.3.1. 调整产业结构

大量研究表明，最贫困人口生活在世界上生态恢复能力最低、环境破坏最严重的地区，因为贫困人口的发展更加依赖于自然资源的消耗。我国西部地区贫困与生态环境退化的恶性循环是西部落后的主要根源。实现跨越式发展的出路是推进产业结构的调整，实现经济效益和生态效益的“双赢”。为此，要重点做好以下几方面的工作。



### 树立新的粮食安全观,调整种植业结构,发展特色农业

从总体上看,生态环境建设失衡地区多是缺粮地区。目前我国粮食生产在总量上相对富裕,为调整农业生产结构和作物布局提供了条件,有利于一些地区生态环境向良性方向发展。粮食供求平衡要改变过去以省市县为基本单元的做法,可以在更大的范围内统筹调剂。西部地区应重视商品粮基地的建设,并从多方面开辟食物来源。缺粮区的工业用粮,尽可能多生产粮食的替代品。各地要尽量发挥当地的比较优势,利用当地特有的土壤、气候条件,生产特色农产品,调整作物结构,发展特色农业。如云南的烤烟、花卉、药材等,新疆的棉花、甜菜、瓜果等,甘肃的蕨菜、木耳、黑瓜子、啤酒大麦等。特色农业要走专业化、规模化、产业化的路子,建立具有地方特色的农产品品牌,提高农产品知名度,扩大产品的外销量。

### 大力发展先进草地畜牧业

我国的主要牧区几乎全部集中在西部地区,畜牧业有很大的发展潜力和空间。大规模的林草植被建设将为西部地区畜牧业的发展提供良好基础,畜牧业的发展也会促进林(草)建设。西部地区要加强草原建设,增加人工和改良草场面积,引进优良牧草,发展草业,采用畜产品的先进加工技术,创办现代化的畜牧产业。

### 发展地方非农产业与特色经济

结合当地情况,发展地方非农产业和特色经济,培育新的经济增长点。重点发展以本地农林牧产品为原料的轻工、食品加工业,以及建筑、运输、服务业,为能源重化工基地配套的产业和富有地方特色的手工艺品,转移农村剩余劳动力,根据市场结构不断调整产品结构,增强企业市场竞争力。

#### 6.5.3.2. 控制人口增长,提高人口素质,实施必要的生态移民工程

西部地区所面临的经济与环境“脆弱-贫困-脆弱”恶性循环的根源在于人口再生产数量超过经济再生产和生态环境再生产速度,导致人口严重超载,人口素质和结构水平低,成为内涵型经济扩大再生产和生态环境建设的严重阻力。因此,必须制定严格合理的人口政策,控制人口数量;优先发展教育与科技,不断提高人力资源素质和结构水平;推进农村城镇化,提高管理的有效性,实施生态移民工程,加强劳务输出管理,减轻土地压力。

### 控制人口增长

据联合国教科文组织 1997 年的估算,西藏人口超载 100 万,占西藏总人口的 49.3%;又据中国科学院 1997 年“中国土地资源生产潜力及其人口承载力”的研究,云南、贵州、甘肃、青海均为承载超载区,四川、新疆、陕西、宁夏为临界区。人口增长过快和人口素质的低下是西部经济发展和生态环境建设的严重障碍。为扭转这种局面,除汉族仍应实行严格的计划生育政策外,少数民族地区的人口政策也应作必要的调整,可以采取适当的激励措施,鼓励少数民族降低生育率。同时还应加大计划生育工作的投入,对少数民族家庭实行计划生育免费服务,由国家财政补贴。

### 加大西部人力资源的投入,提高人口素质

西部地区至今仍有 39%的文盲和半文盲,适龄儿童入学率尚未达到国家要求,普及九年义务教育差距更大。第一,要大力加强对西部地区的基础教育的投入,加速普及九

年制义务教育。为此，还需要对资金的投入渠道进行改革，杜绝教育资金被挪用的现象。第二，要采取措施为科技人员在西部地区发挥作用提供必要的激励机制。可以考虑在中央财政对西部地区的转移支付中划出一块专项资金用于提高科技人员的待遇。第三，为鼓励高校毕业生参与西部大开发，对来自西部地区的高校学生可以申请获得助学贷款，毕业后在西部地区就业服务满一定年限后可以免除偿还义务。

#### 实施生态移民工程

长期以来，我国在观念、制度、政策上都将农民困守在既有的土地上，对此必须要有新的突破。国家应有计划、有组织地对国家和地方规定的自然保护区，自然灾害多发地区，生态环境特别恶劣不适合人类生存的地区，将人口移至条件较好的地方。重点是黄土高原特困区以及坝上沙化草原区、内蒙古阿拉善盟的严重干旱缺水地区、西北人畜饮水困难的荒漠化地区、青藏高原土地严重沙化退化地区、西南水土流失严重的喀斯特地区。移民是一项社会生态工程，涉及移民心里和接受移民地方的条件，需要在详细调查和周密计划下进行。

#### 6.5.3.3. 建立和完善西部大开发的科研体制，强力推进科技创新

要科学地分析西部地区发展面临的各种有利条件和制约因素，加强战略研究，制定符合西部地区经济、社会发展和生态建设需要的科技发展规划。根据长期的目标和分类指导的原则，在西部生态环境建设、产业结构调整、特色资源开发、小城镇建设等方面，选准攻关课题，开展科学研究。特别是要加强农业科技，水资源利用，重大资源勘探与开发，能源利用与节约，人口与健康，环境预测与保护，自然灾害预防与减灾，气候变化及影响，生态演化与预测，人类活动与生态环境的相互作用等方面的科技投入。组织基础性、应用性重大科技项目的攻关。

西部企业必须以科技进步为动力，以提高市场竞争力为核心，形成科技和资源两优势的结合。一要组织科技攻关，认真分析和把准西部大开发的科技约束瓶颈，确立科技主攻方向，引进先进技术，形成重大科技突破，使开发变为现实。二要建立西部科技创新体系，以企业为科技生产力转化基地，形成产学研一体化的西部创新体系。三要建立和完善科技发展的市场机制和激励机制，更多地拥有自主知识产权。四要建立西部科技支撑服务体系，加快科技成果转让、技术服务和咨询、技术承包，培植未来经济发展的新的增长点。五要根据高新技术产业高风险、高投入、高效益和产品更新快的特点，制定优惠政策，建立专项基金，创办高新技术风险投资机构等，加大扶持力度。六要从根本上实现专业科研机构 and 体制动作的市场化，为西部大开发提供科研体制支持。

## 参考文献

- Allen, H.D. 2001. *Mediterranean Ecogeography*. London: Prentice Hall, 2-10.
- Cairns, J. 1997. Protecting Delivery of Ecosystem Services. *Ecosystem Health*, 3(3):185-197.
- Cao, M.K., Woodward, F.I. 1998. Net primary and ecosystem production and carbon stocks of terrestrial ecosystems and their response to climatic change. *Global Change Biology*, 4:185-198.
- Cao, M.K., Ma, S.J., Han, C. 1995. Potential productivity and human carrying capacity of an agro-ecosystem: An analysis of food production potential of China. *Agricultural systems*, 47:387-414.
- Deng, X.Z., Liu, J.Y., Zhuang, D.F., Zhan, J.Y., Zhao, T. 2002. Modeling the relationship of land use change and some geophysical indicators: a case study in the ecotone between agriculture and pasturing in Northern China. *Journal of Geographical Sciences*, 12(4):397-404.
- Han, J.W., Kamber, M. 2001. *Data Mining-Concepts and Techniques*. New York: Morgan Kaufmann Publishers.
- Hopfenberg, R. 2003. Human carrying capacity is determined by food availability. *Population and environment*, 25(2):109-117.
- Johns, T.C., Gregory, J.M., Ingram, W.J., Johnson, C.E., Jones, A., Lowe, J.A., Mitchell, J.F.B., Roberts, D.L., Sexton, D.M.H., Stevenson, D.S., Tett, S.F.B., Woodage, M.J. 2003. Anthropogenic climate change for 1860 to 2100 simulated with the HadCM3 model under updated emissions scenarios. *Climate Dynamics*, 20:583-612.
- Liu, J.Y., Zhuang, D.F., Luo, D., Xiao, X. 2003b. Land-cover Classification of China: Integrated Analysis of AVHRR Imagery and Geophysical Data. *Int. J. Remote Sensing*, 24(12):2485-2500.
- Liu, J.Y., Liu, M.L., Deng, X.Z., Zhuang, D.F., Zhang, Z.X., Luo, D. 2002b. The Land Use and Land Cover Change Database and Its Relative Studies in China. *Journal of Geographical Sciences*, 12(3):275-282.
- Liu, J.Y., Liu, M.L., Zhuang, D.F., Zhang, Z.X., Deng, X.Z. 2003a. Study on Spatial Pattern of Land-use Change in China During 1995-2000. *Science in China (Series D)*, 46(4):373-384.
- Liu, J.Y., Masataka, W., Yue, T.X., Ouyang, H., Deng, X.Z. 2002a. Integrated Ecosystem Assessment for Western Development of China. *Journal of Geographical Sciences*, 12(3):127-134.
- Liu, J.Y., Zhuang, D.F., Liu, M.L. 1999. Research Activities on Land-use/cover Change in the Past Ten Years in China Using Space Technology. *Chinese Geographical Sciences*, 9(4):330-334.
- Liu, J.Y., Tian, H.Q., Liu, M.L., Zhuang, D.F., Melillo, J., Zhang, Z.X. 2005. China's changing landscape during the 1990s: Large-scale land transformations estimated with satellite data. *Geophysical Research Letters*, VOL.32, L02405.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2003. *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*. Washington: Island Press.
- Nalder, I.A., Wein, R.W. 1998. Spatial interpolation of climatic normals: test of a new method in the Canadian boreal forest. *Agricultural and forest meteorology*, 92:211-225.
- Odum, E.P. 1983. *Basic Ecology*. Philadelphia: Saunders College Publishing.
- Schumm, S.A., Lichty, R.W. 1965. Time, Space, and causality in Geomorphology. *American Journal of Science*, 263:110-119.
- Stommel, H. 1963. Varieties of oceanographic experience. *Science*, 139:572-576.
- Yue, T.X., Haber, W., Grossmann, W.D., Kasperidus, H.D. 1998. Towards the satisfying model for biological diversity. *EKOLOGIA*, 17(Supplement 1):129-141.

- Yue, T.X., Liu, J.Y., Jørgensen, S.E., Ye, Q.H. 2003b. Landscape change detection of the newly created wetland in Yellow River Delta. *Ecological Modelling*, 164:21-31.
- Yue, T.X., Liu, J.Y., Jørgensen, S.E., Gao, Z.Q., Zhang, S.H., Deng, X.Z. 2001. Changes of Holdridge life zone diversity in all of China over a half century. *Ecological Modelling*, 144:153-162.
- Yue, T.X., Xu, B., Liu, J.Y. 2004. A patch connectivity index and its change on a newly born wetland at the Yellow River Delta. *International Journal of Remote Sensing*, 25(21):4617-4628.
- Yue, T.X. 2000. Stability analysis on the sustainable growth range of population. *Progress in Natural Science*, 10(8):631-636.
- Yue, T.X., Wang, Y.A., Chen, S.P., Liu, J.Y., Qiu, D.S., Deng, X.Z., Liu, M.L., Tian, Y.Z. 2003a. Numerical Simulation of Population Distribution in China. *Population and Environment*, 25(2):141-163.
- Yue, T.X., Wang, Y.A., Liu, J.Y., Chen, S.P., Qiu, D.S., Deng, X.Z., Liu, M.L., Tian, Y.Z., Su, B.P. 2005a. Surface Modelling of Human Population Distribution in China. *Ecological Modelling*, 181:461-478.
- Yue, T.X., Tian, Y.Z., Wang, Y.A., Liu, J.Y., Chen, S.P., Su, B.P. 2005b. MSPD scenarios of spatial distribution of human population in China. *Population and Environment*, 26(3):207-228.
- Yue, T.X., Liu, J.Y., Chen, S.Q., Li, Z.Q., Ma, S.N., Tian, Y.Z., Ge, F. 2005e. Considerable effects of diversity indices and spatial scales on conclusions relating to ecological diversity. *Ecological Modelling* (in press).
- Yue, T.X., Fan, Z.M., Liu, J.Y., 2005c. Changes of major terrestrial ecosystems in China since 1960. *Global and Planetary Change* (in press).
- Yue, T.X., Fan, Z.M., Liu, J.Y., 2005d. Scenarios of major terrestrial ecosystems in China. *Ecological Modelling* (accepted).
- 曹明奎 . 1993. 中国农业生态系统的生产潜力和人口承载力 . *生态学报* , 13(1):83-91 .
- 陈百明. 2001. 中国农业资源综合生产能力与人口承载能力. 北京:气象出版社.
- 陈克林. 1998. 中国的湿地与水鸟. *生物学通报* , 33(4):2-4.
- 陈述彭. 2002. 人口统计的时空分析. *中国人口·资源与环境*, 12(4):3-7.
- 邓祥征, 刘纪远, 战金艳, 赵涛. 2004. 太仆寺旗土地利用变化时空格局的动态模拟. *地理研究* , 23(2):147-156.
- 邓祥征. 2003. 华北、黄土高原农牧交错带土地利用变化驱动机制研究. 中国科学院地理科学与资源研究所博士论文.
- 董锁成, 李周. 2000. 中国西部大开发战略研究. 西安:陕西人民出版社, 57-60.
- 范泽孟, 岳天祥. 2004. 资源环境模型库系统集成分析. *地球信息科学*, 6(2):17-22.
- 范泽孟, 岳天祥. 2004. 资源环境模型库系统与 GIS 综合集成研究——以生态系统的综合评估系统为例. *计算机工程与应用*, 21:4-7.
- 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 马克明, 李俊然. 2001. 中国生态区划方案. *生态学报*, 21(1):1-6.
- 国家发展和改革委员会国土开发与地区经济研究所. 2003. 中国西部开发信息百科(综合卷). 北京:中国计划出版社.
- 国家环保总局政策法规司政研处. 2004. 西部地区环境政策的生态影响及应急反应措施. 北京: WECMA 专题组报告.
- 国家环保总局自然司编著. 1999. 中国生态问题报告. 北京:中国环境科学出版社.
- 胡焕庸. 1935. 中国人口之分布. *地理学报*, 2(2):32-74.
- 黄秉维. 1989. 中国综合自然区划纲要. 在:中国科学院地理研究所编, *地理集刊*, 第 21 号. 北京: 科学出版社, 10-20.
- 李守德. 1997. 我国草业发展的成就任务与对策. *中国草地*, 4:1-4.
- 刘纪远, 布和敖斯尔. 2000. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究——基于卫星遥感数据. 第

- 四纪研究, 20(3):229-239.
- 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 张增祥, 邓祥征. 2002. 中国近期土地利用变化的空间格局分析. 中国科学(D 辑), 32(12):1031-1040.
- 刘纪远, 于贵瑞, 王绍强, 岳天祥, 高志强. 2003b. 陆地生态系统碳循环及其机理研究的地球信息科学方法初探. 地理研究, 22(4):397-405.
- 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 王一谋, 周万村, 张树文, 李仁东, 江南, 吴世新. 2003a. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析. 地理研究, 22(1):1-12.
- 刘纪远. 1997. 国家资源环境遥感宏观调查与动态研究. 遥感学报, 1(3).
- 刘良梧, 周建民, 刘多森, Ivanov, I.V., Gemkin, V.A., Prikod'ko, V.Y. 1988. 农牧交错带不同利用方式下草原土壤的变化. 土壤, 5:225-229.
- 刘瑛心, 黄兆华. 2000. 植物治沙和草原治理. 兰州:甘肃文化出版社.
- 陆健健. 1990. 中国湿地. 上海:华东师范大学出版社.
- 吕一河, 傅伯杰. 2001. 生态学中的尺度与尺度转换方法. 生态学报, 21(12):2096-2105.
- 罗格平. 2002. 天山北坡三工河流域绿洲时空变异与稳定性研究. 中国科学院地理科学与资源研究所博士论文.
- 孟慧君, 郭长春. 1997. 农牧矛盾尖锐化是草原畜牧业可持续发展的根本掣肘因素. 生态经济, 2:23-27.
- 欧阳志云, 王效科, 徐卫华, 苗鸿, 肖焱. 2002. 西部生态功能区划方法研究. 在:李文华、王如松主编 生态建设与生态安全. 北京:气象出版社.
- 潘耀忠, 龚道溢, 邓磊, 李京, 高静. 2004. 基于 DEM 的中国陆地多年平均温度插值方法. 地理学报, 59(3):366-374.
- 钱正英. 2004. 西北地区水资源配置生态环境建设和可持续发展战略研究(综合卷). 北京:科学出版社.
- 秦大河. 2002. 中国西部环境演变评估综合报告(第三卷). 北京:科学出版社, 24-53.
- 余国强, 陈杨乐. 1997. 湿地生态系统的结构与功能. 湘潭师范学院学报, 18(3):77-81.
- 沈国舫. 1999. 中国森林资源与可持续发展. 南宁:广西科学技术出版社.
- 陶波, 曹明奎, 李克让, 季劲钧, 黄玫. 近 20 年中国陆地净生态系统生产力空间格局及其变化. 中国科学 D 辑. 2005. (In press).
- 田永中. 2004. 基于栅格的中国陆地生态系统食物供给功能评估. 中国科学院地理科学与资源研究所博士学位论文.
- 王苏民, 林而达, 余之祥主编. 2002. 环境演变对中国西部发展的影响及对策.
- 王伟, 刘钟龄, 郝敦元, 梁存柱. 1996. 内蒙古草原恢复演替研究. 退化草原的基本特征与恢复动力. 植物生态学报, 20(5):449-459.
- 吴正. 1992. 浅谈我国北方地区的沙漠化问题. 地理学报, 65(3):266-275.
- 奚国金, 张家桢. 2001. 西部生态. 北京:中国中央党校出版社.
- 徐晋涛, 曹轶瑛. 2002. 退耕还林还草的可持续发展问题. 国际经济评论, 2:56-60.
- 许林书, 许嘉巍. 1996. 沙障成林的固沙工程及生态效益研究. 中国沙漠, 16(1):392-396.
- 姚昌恬. 2002. WTO 与中国林业. 北京:中国林业出版社.
- 殷康前, 倪晋仁. 1998. 湿地研究综述. 生态学报, 18(5):539-546.
- 于秀波. 2002. 我国生态退化、生态恢复及政策保障研究. 资源科学, 24(1):72-76.
- 岳天祥, 杜正平, 刘纪远. 2004. 高精度曲面建模与误差分析. 自然科学进展, 14(2):83-89.
- 岳天祥, 杜正平. 2005. 高精度曲面建模:新一代 GIS 与 CAD 的核心模块. 自然科学进展, 15(3):73-82.
- 岳天祥, 刘纪远. 2001. 第四代地理信息系统研究中的尺度转换数字模型. 中国图像图形学报,

6(9):907-911.

- 岳天祥, 刘纪远. 2001. 多源信息融合数字模型. 世界科技研究与发展, 23(5):19-25.
- 岳天祥. 2001. 资源与环境模型标准文档库及其与 GIS 集成研究. 地理学报, 56(1):107-112.
- 岳天祥. 2003. 资源环境数学模型手册. 北京: 科学出版社.
- 岳天祥. 2000. 种群可持续增长区稳定性分析. 自然科学进展, 10(7):665-669.
- 战金艳, 邓祥征, 岳天祥, 包玉海. 2004. 内蒙古农牧交错带土地利用变化及其环境效应. 资源科学, 26(5):80-88.
- 张继贤. 1985. 科尔沁草原南部不同类型沙丘水分研究. 中国沙漠, 5(1):23-27.
- 张落成. 1994. 干旱地区土地合理利用问题研究: 以新疆阜康县为例. 干旱区研究, 17(2):55-59.
- 张善余. 1997. 中国人口地理. 北京: 商务印书馆.
- 张宗祜, 卢耀如. 2002. 中国西部地区水资源开发利用. 北京: 中国水利水电出版社.
- 张为政. 1994. 松嫩平原羊草草地植被退化与土壤盐渍化的关系. 植物生态学报, 18(1):50-55.
- 赵哈林, 黄学文, 何宗颖. 1996. 科尔沁地区农田土壤沙漠化演变的研究. 土壤学报, 33(3):242-248.
- 赵魁义. 1999. 中国沼泽志. 北京: 科学出版社.
- 赵松乔. 1991. 内蒙古东、中部半干旱区一个危急带日环境变迁. 干旱区资源与环境, 5(2):1-9.
- 中国科学院自然区划工作委员会. 1959. 中国综合自然区划. 北京: 科学出版社.
- 中国牧区畜牧气候区划科研协作组. 1986. 中国主要牧区牧业气候区划中水分指标的探讨. 在: 全国农业气候资源和农业气候区划研究协作组, 中国农业气候资源和农业气候区划论文集. 北京: 气象出版社, 191-196.
- 中国湿地植被编辑委员会. 1999. 中国湿地植被. 北京: 科学出版社.