“十二五”国家重点图书出版规划项目

草业科学研究生创新教育系列丛书

草业信息学

梁天刚◎主编

PRATACULTURAL
INFORMATICS

科学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目
草业科学研究生创新教育系列丛书

草业信息学

梁天刚　主编

科学出版社

内 容 简 介

草业信息学是现代信息技术与草业科学相结合的新兴交叉学科，是草业科学的重要分支学科，它运用草原学、生态学和信息学等学科的理论与技术，重点研究现代信息技术及其在草业科学领域方面的应用，主要包括草业信息的数字化与可视化表达、处理、分析、集成和应用等。

本书共 11 章，主要内容有草业信息学基础、草业数据的采集、草业信息统计分析与处理方法、草业信息模拟模型、草业基础数据库构建、草业资源管理信息系统、草业遥感技术、草业地理信息系统、草业决策支持系统、草业专家系统和精准草业与数字草业，为定量研究草地农业生态系统中土-草-畜-社会之间的互作关系及草业生产、经营管理、科学研究和技术推广提供了新的管理技术和传播途径，促进了草业的持续发展和数字化管理。

本书适合高等院校草业科学及相关专业的本科生和研究生教学使用，也可供草业管理人员和技术人员阅读。

图书在版编目（CIP）数据

草业信息学/梁天刚主编. —北京：科学出版社, 2017.6

（草业科学研究生创新教育系列丛书）

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-03-052745-5

Ⅰ. ①草… Ⅱ. ①梁… Ⅲ. ①草原建设–信息化–研究 Ⅳ. ①S812.5-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 101259 号

责任编辑：李秀伟 白 雪 / 责任校对：郑金红

责任印制：张 伟 / 封面设计：北京铭轩堂广告设计有限公司

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

http://www.sciencep.com

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 6 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2017 年 6 月第一次印刷 印张：20

字数：460 000

定价：118.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《草业科学研究生创新教育系列丛书》
总编委会

顾　问：任继周

主　编：南志标

委　员：（按姓氏笔画排序）

王　刚　王彦荣　王锁民　龙瑞军　任继周

杜国祯　李春杰　沈禹颖　张自和　周志宇

南志标　侯扶江　梁天刚　傅　华

《草业信息学》编委会名单

主　编：梁天刚（兰州大学）

编　者：（按姓氏拼音排序）

冯琦胜（兰州大学）

高新华（兰州大学）

郭正刚（兰州大学）

黄晓东（兰州大学）

李文龙（兰州大学）

梁天刚（兰州大学）

林慧龙（兰州大学）

张　丛（甘肃省信息中心）

审　定：张德罡（甘肃农业大学）

谢红接（美国得克萨斯大学圣安德鲁分校）

前　言

自21世纪初期以来，随着移动通信、“3S”技术（地理信息系统、遥感和全球定位系统）、移动互联网、物联网、大数据（Big Data）等现代信息技术的快速发展及其在草原管理中的不断应用，草业科学信息化已与草地管理深入融合，主要包括草原生态信息化、草业信息化和草原畜牧业信息化等内容，涉及草原生产、经营、管理、服务各个环节，已在草地农业现代化过程中发挥了重要作用。草业信息学是草地农业生产及管理信息化与现代化的基础，对有效解决草原“三化”、草畜平衡管理决策等诸多复杂问题，实现牧区及半农半牧区社会经济的协调发展，具有重要的现实意义和应用前景。

信息化是以现代通信、网络、数据库技术为基础，将所研究对象各要素汇总至数据库，供特定人群生活、工作、学习、辅助决策的一种技术，信息化可极大地提高各种行为的效率，为推动人类社会进步提供极大的技术支持。近年来，欧美、日本、澳大利亚等发达国家和地区，在信息化方面取得了显著的成效，如移动通信、智能通信、4G 等现代通信技术，以及移动网络、物联网等网络技术，大数据和云计算（Cloud Computing）等计算机技术，基于无人机的航空遥感技术，高分遥感技术和高光谱遥感技术，基于大数据的数据库及其分析与管理技术，以及基于“3S”技术的精准农牧业等方面发展迅速，并取得了显著的成效。国内在移动通信、移动互联网、物联网、“3S”技术、大数据等信息技术方面也开展了卓有成效的研究工作，这些技术已逐步应用于草原管理中，在草原生态保护、草地畜牧业管理等方面均建立了数据库和信息服务平台，并建立了诸多业务信息系统。例如，草原防火指挥信息系统、草原生态保护补助奖励信息系统，已形成了部、省、地（市、州）、县、乡信息管理体系；许多地区对草原生态展开长期监测，获取了海量数据；部分地区基于草原承包经营管理系统，开展了草原承包管理、合同打印和牧户档案管理等。

近十年以来，随着大数据、物联网、云计算、移动互联网、位置服务（Location Based Service，LBS）、遥感及地理信息系统等技术的飞速发展，草地农业数据呈现海量爆发趋势，草业跨步迈入大数据时代，草业科学与信息科学之间的相互交叉及融合，推动了草业信息学这一交叉学科的诞生。由于受多种支撑学科及其方法论的影响，草业信息学的相关技术及理论也处于不断探索和发展的过程中。目前，国内多所农业院校开设了与草业信息学相关的课程，诸如地理信息系统、遥感等，但尚无统一的草业信息学教材。为了更好地促进高等院校草业信息学的教学及研究工作，我们组织了多名长期从事草地农业信息学教学和研究方面的专家，编写了《草业信息学》一书。本书由梁天刚教授设计大纲并主持撰写，全书共 11 章，各章执笔人员如下：第一章草业信息学基础由梁天刚执笔，第二章草业数据的采集由梁天刚和高新华执笔，第三章草业信息统计分析与处理方法由林慧龙执笔，第四章草业信息模拟模型和第七章草业遥感技术由李文龙执笔，

第五章草业基础数据库构建由冯琦胜和张丛执笔，第六章草业资源管理信息系统和第十章草业专家系统由张丛执笔，第八章草业地理信息系统由黄晓东和张丛执笔，第九章草业决策支持系统和第十一章精确草业与数字草业由郭正刚执笔。本书以“基础理论-关键技术-主要方法-实践应用”为主线，重点介绍遥感、地理信息系统、全球定位系统、数据库、管理信息系统、专家系统、决策支持系统等关键技术及其在草业科学生产和管理中的应用。草业信息学运用草原学、生态学、计算机科学与信息学、遥感、地理信息系统和全球定位系统等学科的理论与技术，研究草业信息的表达、处理、分析、集成和应用，对草业资源与环境的监测、评价和管理进行方法性研究，为草业信息的数字化、可视化管理提供理论和技术支撑。草业信息学体系由理论基础、关键技术、应用系统这3方面组成，涉及众多学科体系，具有多学科的交叉性和综合性。《草业信息学》可作为草业科学及相关专业的高年级本科生和研究生教材，也可供草原、农学、畜牧、生态、规划、农业经济专业的教学、科研和生产工作者参考。

本书为草业科学研究生创新教育系列教材，在编写初期，承蒙任继周、南志标两位院士审阅教材大纲并予以指导，在编写过程中得到了张德罡教授的指导和帮助，全书由张德罡教授和谢红接教授主审，谨此一并致以衷心感谢！

本书编写时正处于草业科学和信息学快速发展的阶段，由于学识所限，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编　者

2016年10月9日

目　录

前言
第一章　草业信息学基础……1
第一节　草业信息学的形成……1
一、信息技术与信息科学……1
二、草业信息学发展背景与形成过程……3
第二节　草业信息学特征……6
一、草业信息学的定义与内涵……6
二、草业信息学的基本特征……9
第三节　草业信息学研究的关键技术……10
一、草业数据库技术……10
二、草业信息遥感监测技术……11
三、草业空间信息管理技术……11
四、草业空间定位信息获取技术……12
五、草业系统数理模拟技术……12
六、草业管理信息系统技术……13
七、草业决策支持系统技术……13
八、草业专家系统技术……13
九、精准草业技术……14
十、数字草业技术……14
十一、草业信息网络服务技术……15
十二、草业信息系统开发技术……15
第四节　草业信息学的作用及应用……15
一、草业信息学的作用……15
二、草业信息学的应用……16
思考题……20
参考文献……20
第二章　草业数据的采集……21
第一节　草业数据类型及其基本特征……21
一、草业数据类型……21
二、草业数据基本特征……22
第二节　草业数据采集……23
一、地形与地貌数据……23

二、气象数据……25
三、土壤数据……29
四、生物数据……33
五、人文数据……37
六、其他数据……38
思考题……38
参考文献……38
第三章 草业信息统计分析与处理方法……39
第一节 草业信息处理常用统计分析方法及软件简介……39
一、常用统计分析方法概述……39
二、常用统计软件分析模块简介与应用实例……47
第二节 草业信息分析处理的地统计学方法……51
一、整体空间插值分析方法……52
二、局部空间插值分析方法……53
三、克里格插值分析方法……57
第三节 草业信息分析处理的多目标规划方法……59
一、数学规划的概念……59
二、线性规划问题的数学形式……60
三、非线性规划问题的数学形式……60
四、多目标规划（Multi-objective Programming，MOP）的数学形式……61
思考题……64
参考文献……64
第四章 草业信息模拟模型……67
第一节 草业信息模拟模型的概念、特征与功能……67
一、草业信息模拟模型的概念和类型……67
二、草业信息模拟模型的特征、意义及功能……70
第二节 草业系统模拟的原理与技术……71
一、系统分析方法……71
二、模拟研究的尺度……72
三、支持研究……72
四、析因法与系数化……72
五、草业信息模型模拟的表示方法……73
六、模型开发环境与工具……74
七、结构化程序设计……74
第三节 草业信息模拟模型构建方法……76
一、模型选择与系统定义……76
二、资料获取与算法构建……77
三、模块设计与模型实现……77

四、模型检验与改进……77
第四节　草业信息模拟模型的应用……77
一、草业信息模拟模型的应用领域……78
二、模拟模型与其他技术的耦合……82
思考题……84
参考文献……84
第五章　草业基础数据库构建……86
第一节　草业基础数据库的概念与特征……86
一、数据库的概念与结构……86
二、关系数据库……87
三、结构化查询语言……94
第二节　草业基础数据库构建与应用……106
一、草业基础数据库设计……107
二、现有草业数据库简介……109
第三节　大数据及其在草业科学中的应用……112
一、大数据的概念和特征……112
二、大数据分析方法……114
三、大数据在草业科学中的应用……117
思考题……118
参考文献……118
第六章　草业资源管理信息系统……120
第一节　草业资源管理信息系统的概念与特征……120
一、草业资源管理信息系统的概念……120
二、草业资源管理信息系统的结构……126
三、草业资源管理信息系统的特征……129
四、草业资源管理信息系统的发展……131
第二节　草业资源管理信息系统的开发……134
一、草业资源管理信息系统的开发流程……134
二、草业资源管理信息系统的分析……136
三、草业资源管理信息系统的设计……140
四、草业资源管理信息系统的实施……143
第三节　草业资源管理信息系统应用实例……145
一、中国草业开发与生态建设管理信息系统网站界面……145
二、中国草业开发与生态建设管理信息系统主要功能……148
思考题……151
参考文献……151
第七章　草业遥感技术……152
第一节　草业遥感概述……152

一、草业遥感的概念……152
二、草业遥感的观测手段与方法……153
三、草业遥感的应用……154
四、草业遥感的发展与展望……157
五、草业遥感工具软件及技术支持……157
第二节 草业遥感原理……158
一、电磁波和电磁波谱……158
二、太阳辐射与大气窗口……159
三、地物波谱特征……160
四、彩色合成原理……162
五、物候学与遥感最佳时相的选择……163
第三节 草业遥感方法……164
一、草业遥感的主要方式……164
二、主要的草业遥感数据介绍……164
三、草业遥感信息分类方法……169
四、遥感植被指数……174
第四节 草业遥感的应用……177
一、草业资源遥感调查……177
二、草地植被长势监测与估产……179
三、草业灾害监测与评估……181
思考题……183
参考文献……183
第八章 草业地理信息系统……184
第一节 草业地理信息系统的基本概念与功能……184
一、关于地理信息系统……185
二、地理信息系统的功能……185
三、草业地理信息系统……186
第二节 几何变换与地图投影……186
一、几何变换……187
二、地理坐标系统……188
三、地图投影……189
四、常用地图投影……190
第三节 地理信息系统数据模型……191
一、矢量数据模型……191
二、栅格数据模型……192
三、数据转换……194
第四节 空间数据与属性数据编辑……195
一、GIS 数据获取……195

二、空间数据编辑……197
三、属性数据编辑……200
第五节　空间分析……202
一、数据查询……202
二、矢量数据分析……205
三、栅格数据分析……209
四、地形制图与分析……211
五、流域分析……214
六、空间插值……215
第六节　数据显示与地图编制……216
一、地图符号及种类……216
二、地图注记……217
三、地图设计与生产……217
思考题……218
参考文献……219
第九章　草业决策支持系统……220
第一节　决策支持系统的概念与功能……220
一、决策支持系统的内涵……220
二、决策支持系统的产生与发展……224
第二节　草业决策支持系统的类型……226
一、基于牧草生长模型的决策支持系统……226
二、基于知识规则的草地管理决策支持系统……228
三、基于知识模型的草地管理决策支持系统……229
四、基于知识模型和生长模型的草畜管理决策支持系统……230
第三节　草业决策支持系统的应用案例……231
一、澳大利亚 GrazFeed 智能决策支持系统……232
二、甘南牧区草畜平衡管理决策支持系统……242
思考题……247
参考文献……247
第十章　草业专家系统……249
第一节　草业专家系统的概念、特征与结构……249
一、草业专家系统的概念……249
二、草业专家系统的特征……249
三、草业专家系统的结构……250
第二节　草业专家系统的开发过程和知识获取……252
一、草业专家系统的开发过程……252
二、草业专家系统的知识获取……252
第三节　草业专家系统的知识表达……256

一、知识表达的要求……256
二、产生式表示法……257
三、语义网络表示法……261
四、面向对象表示法……266
五、框架表示法……269
第四节　草业专家系统的建立……273
一、草业专家系统知识库与模型库的构建……273
二、草业专家系统的调试与修改……275
三、草业专家系统的开发工具与环境……277
四、草业专家系统的应用……279
思考题……279
参考文献……280
第十一章　精准草业与数字草业……281
第一节　精准草业简介……281
一、精准草业技术概述……281
二、草业空间定位系统……287
三、智能化草业机械装备技术……291
第二节　数字草业技术……291
一、数字地球概述……291
二、数字草业技术体系……296
三、数字草业研究展望……301
思考题……302
参考文献……303

第一章　草业信息学基础

自 21 世纪以来，信息化已成为国民经济和社会发展的一项重要战略目标，对人们的工作、生活、学习和文化传播方式产生了深刻影响。在信息技术（Information Technology，IT）和信息科学（Information Science，IS）快速发展过程中，基于草业科学与信息科学相互交叉而形成的草业信息学（Pratacultural Informatics）正在成为一门新兴的学科，为定量研究草地农业生态系统中土-草-畜-社会之间的互作关系及草业生产、经营管理、科学研究和技术推广，提供了新的管理技术和传播途径，促进了草业的持续发展和数字化与可视化管理。

本章主要介绍草业信息学的形成、草业信息学的一些基本概念（包括信息技术、信息科学、草业信息学等）、草业信息学的特征、草业信息学研究的关键技术，以及草业信息学的作用与应用。

第一节　草业信息学的形成

从 1923 年美国学者 Arthur 所著的 *Range and Pasture Management* 作为第一本大学教科书，草业科学自诞生到现在已经有 90 多年。自 20 世纪 70 年代信息科学形成以来，信息技术和信息科学得到快速发展，信息学已广泛应用于包括草业科学在内的各个学科及各种行业，对人类社会经济发展和科学研究产生了深刻影响。信息技术和信息科学是草业信息学形成及发展的重要基础。随着信息科学和草业科学的理论及技术在近 30 年的交叉融合发展，逐渐形成了草业信息学这一新兴学科。

一、信息技术与信息科学

（一）信息技术

信息化是指培养、发展以计算机为主的智能化工具为代表的新生产力，并使之造福于社会的历史过程。信息技术是指用于管理和处理信息所采用的各种技术的总称。它主要是应用计算机科学和通信技术来设计、开发、安装和实施信息系统及应用软件。信息技术通常也称为信息和通信技术（Information and Communications Technology，ICT），其研究包括科学、技术、工程及管理等学科。

信息技术的应用包括计算机硬件和软件、网络和通信技术、应用软件开发工具等。自从计算机和互联网普及以来，人们日益普遍地使用计算机来生产、处理、交换和传播各种形式的信息（如书籍、商业文件、报刊、电影、电视节目、语音、图形、影像等）。

信息技术代表着当今先进生产力的发展方向，信息技术的广泛应用使信息的重要生产要素和战略资源的作用得以发挥，使人们能更高效地进行资源优化配置，从而推动传

统产业不断升级，提高社会劳动生产率和社会运行效率。随着信息化在全球的快速进展，世界对信息的需求快速增长，信息产品和信息服务对于各个国家、地区、企业、单位、家庭、个人都不可缺少。信息技术已成为支撑当今经济活动和社会生活的基石。

信息技术的类型较多，有多种分类方法。按表现形态的不同，信息技术可分为硬技术（物化技术）与软技术（非物化技术）。前者指各种信息设备及其功能，如显微镜、电话、通信卫星、多媒体电脑等。后者指有关信息获取和处理的各种知识、方法与技能，如语言文字技术、数据统计分析技术、规划决策技术、计算机软件技术等。按工作流程中基本环节的不同，信息技术可分为信息获取技术、信息传递技术、信息存储技术、信息加工技术及信息标准化技术。

（二）信息科学

信息科学以信息为主要研究对象，以信息的运动规律和应用方法为主要研究内容，以计算机等技术为主要研究工具，以扩展人类的信息功能为主要目标。信息科学是研究信息运动规律和应用方法的科学，是由信息论、控制论、计算机理论、人工智能理论和系统论相互渗透、相互结合而成的一门新兴综合性科学。其支柱为信息论、控制论和系统论。

1. 信息论

信息论是信息科学的前导，是一门用数理统计方法研究信息的度量、传递和交换规律的科学，主要研究通信和控制系统中普遍存在着的信息传递的共同规律，以及建立最佳的解决信息的获取、度量、变换、存储、传递等问题的基础理论。

2. 控制论

控制论的创立者是美国科学家维纳，1948 年他撰写了《控制论》一书，明确提出控制论的两个基本概念——信息和反馈，揭示了信息与控制规律。控制论是关于动物和机器中的控制与通信的科学，它研究各种系统的共同控制规律。在控制论中广泛采用功能模拟和黑箱方法。控制系统实质上是反馈控制系统。负反馈是实现控制和使系统稳定工作的重要手段。控制论中，对系统控制调节通过信息的反馈来实现。

3. 系统论

系统论的基本思想是把系统内各要素综合起来进行全面考察统筹，以求整体最优化。整体性原则是其出发点，层次结构和动态原则是其研究核心，综合化、有序化是其精髓。系统论是国民经济中广泛运用的一大组织管理技术。

（三）信息科学主要研究内容

信息科学正在迅速发展中，人们对其研究内容的范围尚无统一的认识。现在的研究主要集中在以下 6 个方面。

1）信息源理论和信息的获取，研究自然信息源和社会信息源，以及从信息源提取信息的方法和技术。

2）信息的传输、存储、检索、变换和处理。

3）信号的测量、分析、处理和显示。

4）模式信息处理，研究对文字、图像、声音等信息的处理、分类和识别，研制机器视觉系统和语音识别装置。

5）知识信息处理，研究知识的表示、获取和利用，建立具有推理和自动解决问题能力的知识信息处理系统，即专家系统。

6）决策和控制，在对信息的采集、分析、处理、识别和理解的基础上做出判断、决策或控制，从而建立各种控制系统、管理信息系统和决策支持系统。

二、草业信息学发展背景与形成过程

草业信息学是草业科学与信息学相互渗透、相互结合而形成的一门新兴的交叉学科，是草业科学的重要分支学科，也是信息学重要应用领域之一。草业科学自诞生至今已有 90 多年，信息科学的发展从 20 世纪 70 年代末期开始，至今也有 40 多年的历史。草业信息学的形成过程与计算机技术和信息科学的发展紧密相关。

20 世纪 40 年代末，电子计算机的诞生，以及信息论等理论的创立及其在通信工程中的广泛应用，为信息科学的研究奠定了初步的基础。随着自动化系统和自动控制理论的出现，对信息的研究开始突破原来仅限于传输方面的概念。

20 世纪 60 年代，数据库技术、计算机图形学、遥感（美国极轨气象卫星 NOAA 成功发射）、地理信息系统等理论与技术的创立和应用，使信息学得到空前发展，信息和控制成为信息科学的基础和核心。从草业科学看，草地类型学及其分类研究是人类科学认识、评价和合理开发利用草原的理论基础。世界草地资源类型复杂、空间分布广泛，许多国家在这一时期及之前多采用传统的地面调查方法开展草地资源研究工作，获取了较为丰富的数据资料。这一时期，美国、澳大利亚等发达国家开始应用遥感技术，初步探索划分地类和草地类型，判定边界，进行制图。同时，在家庭牧场科学管理方面，开始研究基于计算机技术的概念模型及相关算法和软件。

20 世纪 70 年代，随着电视、数据通信、遥感（美国第一代地球资源卫星 Landsat-1、Landsat-2、Landsat-3 成功发射）和生物医学工程的发展，信息论已从原来的通信广泛地渗入自动控制、信息处理、系统工程、人工智能等领域，这就要求对信息的本质、信息的语义和效用等问题进行更深入的研究，建立更一般的理论，从而产生了信息科学。这一时期，澳大利亚、美国等发达国家利用人机交互技术探索遥感图像的计算机自动分类和制图，研发出放牧系统优化与管理的综合模型（Comprehensive Model for the Management and Optimization of Grazing Systems）。我国在 70 年代末开展了中国历史上第一次全国统一组织、按照统一规范进行的全国性大规模草地资源调查工作，历时 10 余年，普遍引进了遥感技术，与传统的地面调查方法相结合，提高了调查精度。在调查中，首次采用电子计算机处理调查数据，为建立全国草地资源数据库打下了基础（许鹏，2000）。这一时期是信息学在草业科学中的初步应用阶段。

20 世纪 80 年代，为了解决控制和决策中的非数值问题与适应智能机研究的需要，

以及要解决知识信息处理的问题，遂产生了知识工程，并研制成专家系统、自然语言理解系统和智能机器人等。80 年代，随着新一代航天遥感影像资料（美国第二代地球资源卫星 Landsat-4、Landsat-5 成功发射）的出现，以及计算机、数据库、遥感、地理信息系统等技术的不断成熟及广泛应用，为草业科学研究提供了更加有效的手段，进一步提高了草地调查资料的处理、分析和制图水平，开启了草地资源遥感动态监测的新时代。

这一时期新西兰学者开始采用 NOAA/AVHRR 遥感数据计算的归一化植被指数（Normalized Difference Vegetation Index，NDVI）来监测草地植被生物量的动态变化，发现牧草地上生物量与 NDVI 密切相关，NDVI 和比值植被指数（Ratio Vegetation Index，RVI）与绿色植物生物量有很好的相关性，并提供了在木本植物盖度小于 10%的情况下，直接用 NDVI 监测草地总产草量的方法。此后，国内外开展了许多相关研究。

1985 年，澳大利亚启动了 GrazPlan 项目，开发出了牧草生长模块（Pasture Growth Module），为家庭牧场管理系统的商业化研发奠定了良好的基础。同年，原甘肃草原生态研究所（现兰州大学草地农业科技学院）引入美国 ERDAS 遥感图像处理系统，使用 NOAA/AVHRR 资料开始研究草地牧草产量的遥感监测方法。美国环境系统研究所公司（Environmental Systems Research Institute，Inc.，ESRI）成立于 1969 年，其开发的产品 PC Arc/Info 在 1986 年的正式发布标志着 GIS 在众多领域实际应用的开端。自 1978 年与 ESRI 开展技术交流以来，中国一直致力于将国外的先进技术、理念和应用引进来，以提升国内的应用水平。1988 年 ESRI 向中国近百个科研单位及大专院校赠送了 100 套 PC Arc/Info 产品，这成为中国 GIS 在草业科学及其他领域的应用得以快速发展的重要条件。这一时期是信息科学与草业科学进入广泛融合及应用的新阶段。

20 世纪 90 年代，随着互联网技术的应用、计算机软硬件技术的不断改进，以及人工智能和“3S”技术的发展，信息科学与草业科学等学科的结合更为紧密，计算机、遥感（美国第三代地球资源卫星 Landsat-6、Landsat-7 成功发射）、地理信息系统等信息科学相关技术在草业科学中得到广泛应用。与此同时，人类面临的资源与环境问题日益突出，社会经济发展对草业科学提出许多亟待解决的重大问题，如草地自然灾害快速监测、草地退化评价、草畜平衡动态分析等。这些具有显著时空特性的复杂问题的解决，都离不开信息技术与信息科学的方法及手段。90 年代中后期，澳大利亚在 GrazPlan 项目资助下正式发布了 Windows 版本的 MetAccess、LambAlive、GrassGro、GrazFeed 等软件，广泛应用于家庭牧场的研究和管理。同时，基于 Internet 等信息技术的各类专业网络服务系统不断涌现，新一代对地观测系统航天遥感资料，特别是 Terra 卫星中分辨率成像光谱仪（MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer，MODIS）资料的出现及其全球共享政策，以及 GPS 技术的广泛应用和“3S”技术的融合发展，极大地促进了信息技术在草业科学和其他相关学科的应用，为深入研究长时间序列的区域乃至全球尺度的草地植被动态变化提供了前所未有的基础。

21 世纪初，人类全面迈向一个信息时代，信息技术革命是经济全球化的重要推动力量和桥梁，是促进全球经济和社会发展的主导力量，以信息技术为中心的新技术革命成为世界经济发展史上的新亮点。随着大数据、物联网、云计算、移动互联网、遥感及地理信息系统等技术的飞速发展，草地农业数据呈现海量爆发趋势，草业跨步迈入大数据

时代。

随着数字地球技术、人工智能技术、“3S”技术等多项信息技术综合集成系统的不断发展和应用，信息科学与草业科学得到进一步深入融合。在这期间，国外开发的家庭牧场管理系统得到不断丰富和广泛使用，在放牧草场 P、N、S 及 C 的原型模型研究、农牧业优化管理系统（如 GrazPlan 的 FarmWi$e）、智能决策支持系统的开发等方面取得良好进展。同时，国内在草地资源宏观管理系统开发方面也取得不少成果。中国农业科学院草原研究所等相关研究单位和机构相继研发出中国草地资源与牧草种质资源信息网（http://grassland.net.cn/）、中国草业开发与生态建设网（http://www.ecograss.com.cn/）、中国草业网（http://www.digitalgrass.cn/）等基于 WebGIS 等技术的信息系统。

与此同时，2002 年我国部分高等院校开始为草业科学专业的本科生及研究生开设地理信息系统课程，自 2007 年开始兰州大学草地农业科技学院在全国率先开设了草业信息学的理论及实验课程。2010 年任继周院士和侯扶江教授发表的《草业科学的多维结构》一文中指出，草业科学内部有 4 个学科具有维的性质，它们分别是草原类型学，可称为类型维；草原生态化学，可称为化学维；草地农业生态系统学，可称为系统维；草业信息学，可称为信息维。他们认为信息维不仅是草业科学四维特征之一，还是草业科学现代化的神经网络；并首次明确提出草业科学的信息维特征，以及草业信息学的概念、内涵及主要研究内容（任继周和侯扶江，2010）。这标志着草业信息学这门新兴学科的初步形成。表 1-1 系统总结了这一时期影响草业信息学形成与发展的重要事件。

表 1-1　影响草业信息学形成与发展的部分重要事件

时间	重要事件概述
1946 年	世界上最早的计算机诞生于美国宾夕法尼亚大学，至今已经历了四个阶段
20 世纪 40 年代	美国数学家克劳德·艾尔伍德·香农（Claude Elwood Shannon）提出信息熵的数学公式，从量的方面描述了信息的传输和提取问题，创立了信息论
1961 年	美国发射了第一颗试验型极轨气象卫星 NOAA（National Oceanic and Atmospheric Administration）
1963 年	伊凡·苏泽兰（Ivan Sutherland）在麻省理工学院发表了名为《画板》的博士论文，它标志着计算机图形学的正式诞生
20 世纪 60 年代末期	数据库技术产生，主要研究如何存储、使用和管理数据 遥感技术兴起。根据电磁波的理论，应用各种传感仪器对远距离目标所辐射和反射的电磁波信息，进行收集、处理，并最后成像，从而对地面各种景物进行探测和识别的一种综合技术
1967 年	罗杰·汤姆林森（Roger Tomlinson）博士开发出加拿大地理信息系统（CGIS），是世界上第一个真正投入应用的地理信息系统，该系统由联邦林业和农村发展部在加拿大安大略省的渥太华研发
20 世纪 70 年代	美国发射了第一代地球资源卫星 Landsat-1、Landsat-2、Landsat-3
20 世纪 80 年代	美国发射了第二代地球资源卫星 Landsat-4、Landsat-5
1988 年	1988 年我国第一颗风云气象卫星（FY-1A）发射成功
1990 年	1990 年 9 月 3 日，我国第二颗风云气象卫星（FY-1B）极轨试验气象卫星发射成功
1994 年	全球定位系统（GPS）全面建成。GPS 是美国从 20 世纪 70 年代开始研制，于 1994 年全面建成，具有海、陆、空全方位实时三维导航与定位能力的新一代卫星导航与定位系统
1997 年	1997 年我国成功发射了第一颗静止轨道风云二号气象卫星
20 世纪 90 年代	美国发射了第三代地球资源卫星 Landsat-6、Landsat-7

续表

时间	重要事件概述
1999 年	1999 年 12 月 18 日美国成功发射了新一代对地观测系统卫星 Terra，其中 MODIS 传感器观测的遥感数据向全球免费提供服务 1999 年 10 月 14 日，中巴地球资源卫星 01 星（CBERS-01）成功发射 1999 年 5 月 10 日，风云一号（FY-1C）极轨业务气象卫星发射成功
2000 年	2000 年我国成功发射了第二颗静止轨道风云二号气象卫星
2002 年	美国新一代对地观测系统卫星（EOS-AQUA）于 2002 年 5 月 2 日成功发射
2003 年	中巴地球资源卫星 02 星（CBERS-02）于 2003 年 10 月 21 日成功发射
2005 年	Google Earth 于 2005 年向全球推出，使用了公共领域的图片、受许可的航空照相图片、KeyHole 间谍卫星的图片和很多其他卫星所拍摄的城镇照片
2007 年	中巴地球资源卫星 02B 星于 2007 年 9 月 19 日在中国太原卫星发射中心发射，并成功入轨，2007 年 9 月 22 日首次获取了对地观测图像
2008 年	2008 年 9 月 6 日，我国环境与灾害监测小卫星星座 A、B 星由 CZ-2C/SMA 火箭在太原卫星发射中心采用一箭双星方式成功发射并顺利进入预定轨道 2008 年 5 月 17 日，我国新一代极轨气象卫星风云三号试验星发射成功
2011 年	我国资源一号 02C 卫星（ZY-1 02C）于 2011 年 12 月 22 日发射成功
2012 年	我国资源三号卫星于 2012 年 1 月 9 日成功发射 2012 年 12 月 27 日，北斗卫星导航系统（BDS）空间信号接口控制文件正式版 1.0 公布，北斗导航业务正式对亚太地区提供无源定位、导航、授时服务
2013 年	2013 年 2 月 11 日美国第八颗 Landsat 卫星（Landsat-8）在加利福尼亚州范登堡空军基地发射成功，相关遥感数据向全球提供免费服务

第二节　草业信息学特征

草业信息学运用草原学、生态学、计算机与信息学、遥感、地理信息系统和全球定位系统等学科的理论与技术，研究草业信息的表达、处理、分析、集成和应用，对草业资源与环境的监测、评价和管理进行方法性研究，为草业信息的数字化、可视化管理提供理论和技术支撑。草业信息学体系由理论基础、关键技术、应用系统这 3 方面组成，涉及众多学科体系，因此草业信息学的特征也具有多学科的交叉性和综合性。

一、草业信息学的定义与内涵

（一）草业信息学的定义

草业信息学是探究草业各个因子群、各个界面、各个生产层而建立的众多板块之间的信息认知、采集、处理、流通、反馈、调控的科学（任继周和侯扶江，2010）。

信息（Information）是用文字、数字、符号、语言、图像等介质来表示事件、事物、现象等的内容、数量或特征，从而向人们或系统提供关于现实世界新的事实和知识并将其作为生产、建设、经营、管理、分析和决策的依据。信息具有客观性、适用性、可传输性和共享性等特征。信息来源于数据，而数据（Data）是一种未经加工的原始资料，数字、文字、符号、图像都是数据，数据是对客观对象的表示，而信息则是数据内涵的意义，是对数据内容的解释。

草业信息学以信息学自身的特殊手段，将草原类型学（Typology）、草原生态化学（Ecological Chemistry）、草地农业生态系统学（Agro-ecosystem），以及草业科学内部各个分支学科所提供的信息加以整合，建立自身的学科系统，阐述草业科学内部的信息关联并加以调控。其集成表现之一就是草业专家系统（Expert System），它是草业科学现代化的神经网络。

草业信息学的概念涉及一系列有关草业科学和信息学的相关内容，下面就一些关键概念作进一步解释。

1. 因子群（Factor Group）

草业科学的因子群可概括为生物因子（植物、动物、微生物等）、非生物因子（土壤、气候、地形等）和社会因子（人口、交通、经济等）三大类，包括众多因素。草地农业生态系统的生物因子群居于核心地位，非生物因子群是生态系统的自然立地条件，社会因子群是草地农业系统所处的社会立地条件。

2. 界面（Interface）

草业科学由许多界面沟通、连缀而成。草地农业生态系统含有许多子系统，这些子系统各有自己的界面，子系统正是通过相关的界面互相分隔并互相联系的。分隔与联系，这是界面的双重作用。因而界面是各个子系统之间相互作用的区域，是系统最活跃、最敏感、功能最密集的部分。草业科学的界面指土、草、畜、大气、社会经济等不同界面之间的分界面，如大气与土壤、草地与家畜等。草业科学最重要的3个界面是草丛-地境界面、草地-家畜界面、草畜-社会界面，它们是系统最活跃、最敏感、功能最密集的部分。

3. 生产层（Production Level）

草业科学 3 个最重要的界面连缀了 4 个生产层，即前植物生产层（即景观层）、植物生产层、动物生产层、后生物生产层（任继周和侯扶江，2004）。

4. 板块（Plate）

一个板块可理解为由一个特定区域的各因子群、界面、生产层而形成的具有区域特色及更高层级的生态系统或景观。

5. 信息认知（Information Cognition）

信息认知指通过形成概念、知觉、判断或想象等心理活动获取知识。人对客观事物的认知，是从自己感知开始的；如果一个人没有自我的感知活动，那么就不可能产生出认知，反过来，这种感知也是人类特有的认知形式。

6. 信息采集（Information Collection）

信息采集指按照一定规范和标准，对相关信息进行的收集、观测和记录。信息采集应遵循信息的可靠性、完整性、实时性、准确性和易用性 5 个方面的原则，这些原则是

保证信息采集质量最基本的要求。

7. 信息处理（Information Processing）

信息处理指根据特定需要，将信息进行分类、计算、分析、检索、管理和综合等处理。

8. 信息流通（Information Transmission）

信息流通指通过计算机内部的指令或计算机之间构成的网络将信息从一地传送到另外一地，或从一个部门传送到另外一个部门。

9. 信息反馈（Information Feedback）

信息反馈是指由控制系统把信息输送出去，再把其作用结果反馈回来，并对信息的再输出产生影响，以达到预定的目的。

10. 信息调控（Information Adjustment）

信息调控是草业信息学研究的主要目标之一。通常依据信息反馈结果，对相关研究领域的信息进行改进调整，以指导草业生产实践活动。

（二）草业信息学的内涵

草业信息学是在草业科学和信息学的基本理论与技术的基础上，对草业系统采用数据库技术、遥感技术、地理信息系统、专家系统、决策支持系统等现代信息技术的集成和应用，主要包括草业信息的数字化与可视化表达、处理、分析、集成和应用等方面。草业信息学正处在发展阶段，其内涵随着信息科学和草业科学的发展也在不断丰富之中。从建立学科的基本内容看，草业信息学体系应由理论基础、关键技术、应用系统这3方面组成。

草业信息学的理论基础涵盖草业科学和信息学交叉融合而形成的一些基本理论，广泛涉及信息科学、计算机科学、地球科学、系统科学、管理科学、生态学、土壤学等多个学科领域，包括草业信息的结构、性质、分类及其表达，草业信息的传输机制与信息流的形成机理，草业信息的管理与调控技术等。草业科学由生产域、管理域、市场域构成，其中管理域的核心就是信息系统对草业的操控过程。信息是现代草业构建和发展的必要条件，信息维是草业系统的神经网络。草业科学涉及的3类因子群、3个主要界面及4个生产层是该学科的理论基础。研究这些因子群、界面及生产层的信息认知、采集、处理、流通、反馈、调控是草业信息学的核心，其中信息调控是草业信息学研究的主要目标之一。

草业信息学的技术体系包括草业信息获取、信息传递、信息存储、信息加工处理、信息模拟、信息控制、信息标准化等7个主要方面。其中，信息获取技术包括信息的搜索、感知、接收、过滤等，如航空航天遥感技术、全球定位技术、地面各类调查和无损快速检测技术。信息传递技术指跨越空间共享信息的技术，又可分为不同类型，如单向传递与双向传递技术，单通道传递、多通道传递与广播传递技术。信息存储技术指跨越时间保存信息的技术，如照相、录音、录像、缩微、磁盘、光盘等技术。信

息加工处理技术是对信息进行描述、分类、排序、转换、浓缩、扩充、创新等方面的技术，主要包括地理信息系统技术提供的空间分析技术、人工智能技术和各类专业模型技术。信息加工处理技术的发展已有两次突破：从人脑信息加工到使用机械设备（如算盘、标尺等）进行信息加工；再发展为使用电子计算机与网络进行信息加工。信息模拟技术主要包括模拟模型技术、虚拟现实技术和多媒体技术等，用来构建仿真型和虚拟化的草业生产系统，并模拟再现牧草生长过程及生产管理效应；信息控制技术主要是在信息处理分析基础上，对草业生产系统进行科学的优化设计和管理调控，以获得最佳的系统表现和综合效益。信息标准化技术是指使信息的获取、传递、存储、加工各环节有机衔接，提高信息交换共享能力的技术，如信息管理标准、字符编码标准、语言文字的规范化等。

草业信息学的应用系统以提高草业生产效益和保护生态环境为目标，以草业信息学的关键技术为基础，以草业科学的应用领域为服务对象，包括草地资源动态监测、草地健康评价、草地退化诊断与评价、牧区灾害监测与预警、草畜平衡管理、资源优化配置、牧草种质资源信息管理、草坪建植决策等多个领域。目前较为成功的应用系统包括基于“3S”和 Internet 等技术的草地资源动态监测信息管理系统、基于人工智能的苜蓿病害诊断专家系统、基于决策支持系统技术的牧场管理系统等。随着草业信息学研究的不断深入，其应用系统的实用性及其应用领域、应用的深度和广度必将得到进一步拓展。

二、草业信息学的基本特征

草业信息学是现代信息技术与草业科学相结合的新兴交叉学科，是草业科学和信息科学的重要分支学科，它运用草原学、生态学和信息学等学科的理论与技术，重点研究现代信息技术及其在草业领域的应用，主要包括草业信息的数字化与可视化表达、信息处理、分析、集成和应用等内容。草业信息学涵盖理论基础、技术体系、应用系统这 3 个方面的重要内容，涉及众多学科体系，因此草业信息学的特征也具有多学科的交叉性和综合性。

草业信息学具有信息科学的基本特征。草业信息学是信息科学的一个应用分支，因而草业信息学具有系统化、模型化、知识化、智能化、可视化、数字化、网络化、多媒体化、虚拟化等信息科学和信息技术的基本特征。草业科学和信息科学的理论和技术是草业信息学的主要基础，就信息技术的特征而言，可从技术性和信息性两方面来理解：①信息技术具有技术的一般特征——技术性，具体表现为方法的科学性、工具设备的先进性、技能的熟练性、经验的丰富性、作用过程的快捷性、功能的高效性等；②信息技术具有区别于其他技术的特征——信息性，具体表现为信息技术的服务主体是信息，核心功能是提高信息处理与利用的效率、效益。信息的秉性决定信息技术还具有普遍性、客观性、相对性、动态性、共享性、可变换性等特征。

草业信息学具有多维技术体系的特征。草业信息学研究涵盖一个多维技术体系，既有信息学的共有技术，又有草业领域的学科特点。在信息科学基础上，形成的许多诸如数据库、遥感、地理信息系统、空间定位系统、决策支持系统、专家系统等技术是草业

信息学的共有技术，这些多维技术和草业科学理论与知识的综合应用，是研发草业信息各类应用系统和服务系统的前提条件，也是实现草业信息的处理与分析、调控与服务的基础。

草业信息学是一种应用系统平台，是草业科学信息化的基础。具有组装和集成多种草业信息技术且有特定目标的草业信息应用系统，是草业信息技术的具体应用平台和工具，而草业信息资源的网络化传播则是草业信息的服务系统。草业信息应用系统和草业信息服务系统将是未来草业信息技术在实践中发挥作用的两种最主要的形式。随着草业信息学理论的不断丰富和多维技术体系的创新发展，草业信息应用系统和草业信息服务系统的内容及形式必将得到更大的发展。

第三节　草业信息学研究的关键技术

草业信息学是草业科学的重要分支学科，它通过现代信息技术，对草业资源与管理系统加以数字化与可视化表达、处理、分析、集成和应用等。草业信息学研究的关键技术主要有草业数据库技术、草业信息遥感监测技术、草业空间信息管理技术、草业空间定位信息获取技术、草业系统数理模拟技术、草业管理信息系统技术、草业决策支持系统技术、草业专家系统技术、精准草业技术、数字草业技术、草业信息网络服务技术、草业信息系统开发技术。其中，草业技术及数据库技术、“3S”技术、模拟技术和网络技术是草业信息学研究的最基础性的关键技术，管理信息系统、决策支持系统、专家系统、精准草业、数字草业是这些基本关键技术的系统集成，草业信息网络服务系统是多种关键技术的综合应用平台（图 1-1）。

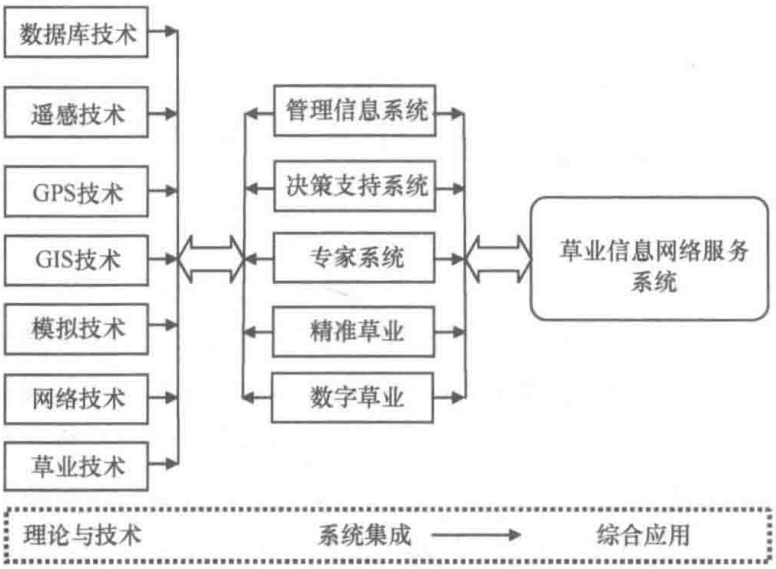


图 1-1　草业信息学研究的关键技术及其关系

一、草业数据库技术

数据库技术产生于 20 世纪 60 年代末，其主要目的是有效地管理和存取大量的数据

资源。数据库技术主要研究如何存储、使用和管理数据。

数据库（Database）是按照数据结构来组织、存储和管理数据的仓库。随着信息技术和市场的发展，特别是20世纪90年代以后，数据管理不再仅仅是存储和管理数据，而转变成用户所需要的各种数据管理的方式。数据库有很多种类型，从最简单的存储有各种数据的表格到能够进行海量数据存储的大型数据库系统，在各个方面都得到了广泛应用。

数据库管理系统（Database Management System，DBMS）是一种操纵和管理数据库的大型软件，用于建立、使用和维护数据库。它对数据库进行统一的管理和控制，以保证数据库的安全性和完整性。

草业数据库主要研究内容包括：①草业数据库的结构与特征；②草业数据库建设，如草业信息基础数据库的设计（内容、结构、分类及编码），草业信息基础数据库的建立方法（关系型数据库标准语言SQL、MS Access等）；③数据标准化与规范化；④数据库的维护与更新；⑤大数据、现有草业数据库及其应用。

二、草业信息遥感监测技术

遥感（Remote Sensing，RS）简单讲就是遥远的感知。遥感技术是20世纪60年代兴起的一种探测技术，是根据电磁波的理论，应用各种传感仪器对远距离目标所辐射和反射的电磁波信息，进行收集、处理，并最后成像，从而对地面各种景物进行探测和识别的一种综合技术（梅安新等，2001）。

依据遥感平台，可分为地面遥感、航空遥感和航天遥感。按传感器的探测波段可分为紫外遥感（探测波段在0.05～0.38μm）、可见光遥感（探测波段在0.38～0.76μm）、红外遥感（探测波段在0.76～1000μm）、微波遥感（探测波段在1mm～10m）。多波段遥感指探测波段在可见光和红外波段的范围内，再分成若干窄波段来探测目标。

草业遥感内容涉及草业遥感原理与发展动态，包括草业遥感的定义、作用、发展动态；草业遥感原理，包括电磁波和电磁波谱、太阳辐射与大气窗口、地物波谱特征、彩色合成原理、草地植物物候学与遥感最佳时相的选择等；草业遥感方法，包括地面遥感试验研究、空间遥感数据处理方法、植被指数模型等；草业遥感应用，包括草业资源遥感调查、草地植被长势监测与估产、草地灾害监测与评估等。

三、草业空间信息管理技术

地理信息系统（Geographic Information System或Geo-Information System，GIS）也称为“地学信息系统”或“资源与环境信息系统”。它是在计算机硬件、软件系统支持下，对整个或部分地球表层（包括大气层）空间中的有关地理分布数据进行采集、储存、管理、运算、分析、显示和描述的技术系统（Chang，2010）。

GIS主要研究内容包括地理信息系统的基本特征、构成与功能。地理信息系统的基本原理与软件，包括地理信息系统的基本原理、地理信息系统软件、GIS与RS及GPS的集成技术；草业地理信息系统的研制，包括草业地理信息系统的研制流程、地理信息

系统平台、草业地理信息系统的二次开发等；草业地理信息系统的应用，包括草业地理信息系统应用领域、草业地理信息系统与其他技术的结合。

四、草业空间定位信息获取技术

目前全球有中国的北斗卫星导航系统[BeiDou（COMPASS）Navigation Satellite System，BDS]、美国的全球定位系统（Global Positioning System，GPS）、俄罗斯的格洛纳斯（GLONASS）和欧盟的伽利略（GALILEO）四大卫星导航系统。其中，我国的BDS是一种与其他3种系统兼容共用的全球卫星导航系统。在各类草业信息采集、处理、分析中，基于卫星导航系统的空间定位信息的采集是必不可少的一类信息。

全球定位系统是美国从20世纪70年代开始研制，于1994年全面建成，具有陆、海、空全方位实时三维导航与定位能力的新一代卫星导航与定位系统。GPS起始于1958年美国军方的一个项目，1964年投入使用。70年代，美国陆海空三军联合研制了新一代卫星定位系统GPS，主要是为陆海空三大领域提供实时、全天候和全球性的导航服务，并用于情报收集、核爆监测和应急通信等一些军事目的，经过20余年的研究试验，耗资300亿美元，到1994年，全球覆盖率高达98%的24颗GPS卫星星座已布设完成（邬伦等，2002）。

北斗卫星导航系统是中国自行研制的全球卫星定位与通信系统，是继美国GPS和俄罗斯GLONASS之后第三个成熟的卫星导航系统。2012年12月27日，北斗系统空间信号接口控制文件正式版公布，北斗导航业务正式对亚太地区提供无源定位、导航、授时服务。BDS由空间端、地面端和用户端组成，可在全球范围内全天候、实时为各类用户提供高精度、高可靠定位、导航、授时服务，并具短报文通信能力，已经初步具备区域导航、定位和授时能力。

五、草业系统数理模拟技术

针对不同的草业数据类型及研究目标，通常需要采用不同的数理模拟技术。主要包括：①与地理位置无关的草业属性数据的处理与分析方法，常用SAS、SPSS等软件进行数据分析；②与地理位置相关的草业属性数据处理与分析的地统计学方法，如整合在GIS软件中的整体空间插值分析方法、局部空间插值分析方法；③草业信息处理与分析的多目标规划方法，如线性规划、多目标规划、不确定性多目标规划，常用MATLAB等软件。

根据系统或过程的特性，按一定规律用计算机程序语言模拟系统原型的数学方程称为模型。从人类使用数字开始，就不断地建立各种数学模型，以解决各种各样的实际问题。数学模型（Mathematical Model）可以将实际问题归结为相应的数学问题，并在此基础上利用数学的概念、方法和理论进行深入的分析和研究，从而从定性或定量的角度来刻画实际问题，并为解决现实问题提供精确的数据或可靠的指导。

草业系统数理模拟技术的研究内容有：①草业模拟模型的特征与功能，包括草业模拟模型的类型、特征、作用与功能；②草业系统模拟的原理与技术，包括系统分析方法、机理性与经验性的关系、模拟研究的尺度、模型开发环境与工具、构件化程序设计等；

③草业模拟模型的研制步骤，包括模型选择与系统定义、资料获取与算法构建、模块设计与模型实现、模型检验与改进；④草业模拟模型基本算法构建，包括牧草生长发育的模拟、草地净初级生产力的模拟、草地生物量与可食牧草产量的模拟、草地生态服务价值的模拟、草地生态补偿价值的模拟、草地养分效应的模拟、草地水分效应的模拟、草畜平衡动态的模拟等；⑤草业模拟模型的应用，包括草业模拟模型的应用领域、模拟模型与其他技术的耦合。

六、草业管理信息系统技术

管理信息系统（Management Information System，MIS）是一个以人为主导，利用计算机硬件、软件、网络通信设备及其他办公设备，进行信息的收集、传输、加工、储存、更新和维护、管理及应用，以提高效益和效率为目的的计算机系统。

管理信息系统由信息的采集、信息的传递、信息的储存、信息的加工、信息的维护和信息的使用 6 个方面组成。管理信息是重要的资源和决策的基础，不仅是实施管理控制的依据，还是联系组织内外的纽带。MIS 的基本功能有数据处理、流程控制、预测和辅助决策。

草业管理信息系统技术的主要研究内容有：①草业管理信息系统的结构与特征，包括草业管理信息系统的组成、草业管理信息系统的特征；②草业管理信息系统的研制与应用，包括草业管理信息系统的设计、开发和应用。

七、草业决策支持系统技术

决策支持系统（Decision Support System，DSS）是辅助决策者通过数据、模型和知识，以人机交互方式进行半结构化或非结构化决策的计算机应用系统。它是管理信息系统（MIS）向更高一级发展而产生的先进信息管理系统。它为决策者提供分析问题、建立模型、模拟决策过程和方案的环境，调用各种信息资源和分析工具，帮助决策者提高决策水平和质量。

主要内容有决策支持系统的概念与功能，包括决策支持系统的基本概念、决策支持系统的产生、发展及功能；草业决策支持系统的类型与结构，包含草业决策支持系统的类型，如基于牧草生长模型的决策支持系统、基于知识规则的草地管理决策支持系统、基于知识模型的草地管理决策支持系统、基于知识模型和生长模型的草畜管理决策支持系统等；草业决策支持系统的开发技术，包括草业决策支持系统开发的关键技术、草业决策支持系统的设计与开发；主要草业决策支持系统及其应用，包括基于生长模型、知识规则、知识模型的草地管理系统，专家系统与生长模型、知识模型相结合的草地管理决策支持系统等。

八、草业专家系统技术

专家系统（Expert System，ES）是根据人们在某一领域内的知识、经验和技术而建

立的解决问题和进行决策的计算机软件系统，它能对复杂问题给出专家水平的结果。草业专家系统是信息技术与草业系统交互融合的最高形态。它使我们能够精密掌控草业系统各个分量，对系统内部各个板块运行实时监测，发出指令，删除其冗余，补充其不足，调控其结构。

主要研究内容包括：①草业专家系统的特征与功能，包括草业专家系统的特征、草业专家系统的结构与功能；②草业专家系统的研制与应用，包括开发过程、知识获取、知识表达、知识库与模型库的构建、系统调试与修改、开发平台及草业专家系统的应用。

九、精准草业技术

精准农业（Precision Agriculture）是当今世界农业发展的新潮流，是由信息技术支持的，根据空间变异，定位、定时、定量地实施一整套现代化农事操作技术与管理的系统。其基本涵义是根据作物生长的土壤性状，调节对作物的投入，即一方面监测一定地域范围内的土壤性状与生产力空间变异，另一方面确定农作物的生产目标，进行定位的“系统诊断、优化配方、技术组装、科学管理”，调动土壤生产力，以最少的或最节省的投入达到同等收入或更高收入，并改善环境，高效地利用各类农业资源，取得经济效益和环境效益。

精准农业由空间定位系统、信息采集系统、遥感监测系统、地理信息系统、农业专家系统、智能化农机具系统、环境监测系统、系统集成、网络化管理系统和培训系统等技术系统组成。

精准草业源自精准农业的概念，精准草业技术的研究涉及精准农业的各项技术，同时需要根据草业科学与生产的特点，探索研究各项技术在草业生产与管理方面的具体应用，如运动场草坪养护与管理、智能化饲草料生产与家畜育肥等系统的建设，都离不开精准草业技术的研究及应用。

十、数字草业技术

“数字地球”（the Digital Earth）最早提出于 1997 年下半年。1998 年 1 月 31 日，美国副总统戈尔（Al Gore）在美国加利福尼亚科学中心发表了题为《数字地球：21 世纪认识地球的方式》（*The Digital Earth: Understanding Our Planet in the 21st Century*）的讲演，正式提出“数字地球”的概念。戈尔指出：“数字地球”是一种可以嵌入海量地理数据的、多分辨率的和三维的地球的表示（冯学智等，2007）。

Google 公司 2005 年向全球推出的一款虚拟地球仪软件——Google 地球（Google Earth）可以看作“数字地球”的雏形。它把卫星照片、航空照相和 GIS 布置在一个地球的三维模型上，用户可以 3D 形式遨游大都市上空，俯瞰全景，查询检索各地著名的地标和自然景观等信息。

在“数字地球”理念的推动下，也逐渐形成数字城市、数字农业、数字草业等不同学科分支。数字草业（Digital Prataculture）是指将遥感、地理信息系统、全球定位系统、计算机技术、通信和网络技术、自动化技术等高新技术与地理学、草业科学、生态学、

植物生理学、土壤学等基础学科有机地结合起来，实现在草业生产过程中对牧草、土壤从宏观到微观的实时监测，以实现对草地生长、发育状况、病虫害、水肥状况及相应的环境进行定期信息获取，生成动态空间信息系统，对草业生产中的现象、过程进行模拟，达到合理利用草业资源、降低生产成本、改善生态环境、提高草地产量和质量的目的。数字草业技术的研究内容包括数字地球、数字农业、数字草业技术体系、数字草业应用等。

十一、草业信息网络服务技术

计算机网络技术是通信技术与计算机技术相结合的产物。计算机网络是按照网络协议，将地球上分散的、独立的计算机相互连接的集合。连接介质可以是电缆、双绞线、光纤、微波、载波或通信卫星。计算机网络具有共享硬件、软件和数据资源的功能，具有对共享数据资源集中处理及管理和维护的能力。

草业信息网络服务系统主要研究内容有：①草业信息网络，包括草业资源信息发布、草业资源信息检索；②草业信息服务领域，包括智能学习与远程教学、草业物流服务（物流信息发布与物流管理、电子商务）、牧草长势监测与估产信息服务（草业信息咨询服务，如专家咨询、在线服务）、草地自然灾害监测与预警信息服务、草畜平衡决策支持和技术咨询服务、草地生态环境监测与评价信息服务等。

十二、草业信息系统开发技术

使用已有的开发工具（如专家系统研发工具等）或利用计算机程序开发语言，设计并研发拥有自主知识产权的草业信息系统，对创新、改进、完善及丰富现有草业信息学的理论、技术和应用，具有重要的意义。常用的信息系统开发语言主要有 Java、PowerBuilder、Visual Basic、C#、Fortran 等。

第四节　草业信息学的作用及应用

信息维对草业系统的整合作用无所不在。在对草业科学信息维的认知基础上，采用草业信息学手段，研究草业信息的获取、表达、处理、分析、综合集成等方法，实现草业信息的数字化、可视化与集成化管理系统，对促进草业科学的连缀与规整具有重要意义，对草业科学研究及实践有重要的推动作用，具有广泛的应用领域。

一、草业信息学的作用

随着信息技术的迅猛发展，草业信息学在草地资源管理、牧草生长模拟与草地生产力评价、草地生态环境监测与评估、草地类型与气候变化动态关系模拟、草地自然灾害管理决策等方面具有重要的应用前景。总体而言，草业信息学在草业学科中的作用可以概括为以下两个方面。

1）草业信息学是解决草业科学中具有时空动态分布特征的复杂系统问题的重要手段，具有其他学科不可替代的重要作用。草业信息学具有草业信息数字化、可视化、网络化、智能化等信息科学的基本特征，同时具有多维技术体系和作为应用及服务系统平台的特征，因此它是区域及全球尺度草地类型划分及地理分布模拟、草地动态变化监测、草地植被与气候变化交互响应机制等理论研究与实践应用的重要手段，是对草业科学各分支学科研究信息进行综合处理与分析、系统耦合与集成、成果数字化与可视化展示、信息快速传播与应用的一门学科，对促进各学科研究内容的整合、拓宽研究思路、提升信息处理与集成手段，尤其对气候变化与草地植被响应特征、草地灾害预警等复杂问题的动态模拟与研究，具有其他学科不可替代的重要作用。

2）草业信息学是实现草业科学数字化、可视化及网络化管理与应用的基础，是草业科学现代化的神经网络。草业科学有四维特征，其中信息维是草业科学现代化的神经网络。信息维对草业系统的整合作用无所不在，对促进草业科学的连缀与规整具有重要作用。通过草业信息学方法，将草业的各个生产板块加以连缀，构建草业系统并将其置于有序运转轨道。在其系统连缀和系统运转流程中，不断进行信息的收集和处理，对系统发出指令、依据信息反馈加以调控。这一复杂过程的前提是草业数字化。在草业数字化的基础上，结合全球定位系统和遥感技术、地理信息系统、智能化草业机械装备技术、数字草业技术体系等，最终构建草业信息网络服务系统，其中包括草业知识获取与表达，数据库、知识库与模型库的构建，系统调试与修改等。其主要功能是草业信息的咨询服务，包括草业资源信息检索、牧草病害诊断、草地类型信息处理与鉴别、智能学习与远程教学、草业物流服务、牧草长势监测与估产信息服务、草地自然灾害监测与预警信息服务、草畜平衡决策支持和技术咨询服务、草地生态环境污染监测与评价信息服务等。

草业信息学研究的最终目标是建立草业信息应用系统和草业信息服务系统。草地专家系统是信息技术与草业系统交互融合的最高形态。它使人们能够精密掌控草业系统各个分量，对系统内部各个板块运行实时监测，发出指令，删除其冗余，补充其不足，调控其结构。

二、草业信息学的应用

随着信息科学和信息技术的不断发展，国内外在近 20 年以来，在草业信息学关键技术及其应用方面开展了大量的研究与实践，取得了一系列研究成果。尽管如此，由于受现有草业信息学相关技术的局限，在数字草业、精准草业及草业专家系统的研发方面，以及天然草地植被退化状况评估、草地健康状况评价、草畜平衡决策支持、草地植被对气候变化的响应等研究领域，目前仍然处于不断探索之中。总体而言，草业信息学比较成功的应用实践可以概括为以下 5 个方面。

（一）草地资源调查与制图

草地资源类型学是草业科学研究的基础。随着人类对草地生态系统的结构与功能认识的提高，以及研究方法的不断丰富及要求的提高，现代草地类型学所需资料的获取和

处理方法也日新月异（任继周，1995；胡自治，1997；赵军和胡自治，2005）。由最初的徒步现场调查发展到应用航空、航天遥感资料与地面调查相结合，运用计算机及网络和“3S”等技术，建立信息系统，发展定量化、数字化和可视化分类的新方向。基于草业信息学多维技术，开展不同时空尺度的天然草地资源遥感调查与制图，是解决诸如草畜平衡决策、草地退化评价、草地健康评估、草地对全球气候变化的响应等复杂系统问题的重要基础，也是草业信息应用系统与草业信息服务系统研发的主要信息源。

天然草地资源调查与制图内容主要包括草地资源的类型、面积、生产力等。与西方发达国家相比，我国在草地资源调查与制图方面的研究明显滞后。自 20 世纪七八十年代开展全国第一次草地资源调查以来，相关调查数据沿用至今，而发达国家每隔 3～5 年便进行一次资源调查。美国、澳大利亚等发达国家在 20 世纪 60 年代开始应用遥感技术，初步探索划分地类和草地类型，判定边界及制图，70 年代利用人机交互技术探索遥感图像的计算机自动分类和制图。我国在 70 年代末开展的全国性草地资源调查工作中，普遍引进了遥感技术，与传统的地面调查方法相结合，提高了调查精度（许鹏，2000）。20 世纪 80 年代以来，国内外广泛开展了草地类型遥感判识、草地遥感植被指数和草地生物量动态变化监测等方面的许多研究；进入 90 年代以来，在基于较高时空分辨率（如 Landsat 和 SPOT 等卫星）的草地类型遥感解译与制图、草地生长状况遥感监测、草地生产力评价等方面，形成了比较成熟的理论及技术体系。自 21 世纪以来，随着高分遥感、高光谱遥感及相关技术的发展和应用，天然草地资源类型遥感解译的精度得到进一步改善，过去依托“3S”技术及地面调查资料只能解译草地类、亚类，目前逐渐探索草地型、优势牧草品种及毒杂草的辨识和解译方法。

如果采用综合顺序分类方法，在确定大类、类及亚类基础上，对草地型的判识也必须借助地面外业调查数据和遥感图像的解译（梁天刚等，2015）。

（二）草地牧草长势及生产力动态监测与评价

草地资源是全球陆地绿色植物资源中面积最大的再生性自然资源之一，是发展畜牧业的物质基础，草地生态系统是陆地生态系统中最重要、分布最广的生态系统类型之一，对全球碳循环和气候调节起着重要的作用。动态监测草地长势及生产力不仅是草业科学研究与应用的核心问题之一，还是研究气候变化与草地植被响应、区域草畜平衡决策等复杂系统问题的基础。

遥感植被指数与草地生物量、盖度、叶面积指数等定量指标之间具有较好的相关关系。迄今为止，国内外已研发出 40 多种遥感植被指数。草地牧草长势可以采用时间序列的遥感植被指数或草地生物量、盖度等指标进行动态监测和评价。草地生产力监测可以归纳为单纯采用遥感数据的统计模型、生态系统过程模型和光能利用率模型等 3 种方法。生态系统过程模型和光能利用率模型本身机理复杂，涉及参数较多，许多参数不易获得，限制了其发展及应用；统计模型参数简单，重点在于研究遥感植被指数与产草量的关系，其特点表现为所用遥感数据多样化、植被指数多样化、模型多样化，存在的主要问题表现在天地数据的时空匹配、生态因子的量化及精度等方面。常用的卫星遥感数据有 NOAA/AVHRR、NASA/MODIS、Landsat TM/ETM 等，采用的遥感植被指数主要

有归一化植被指数（Normalized Difference Vegetation Index，NDVI）、比值植被指数（Ratio Vegetation Index，RVI）、垂直植被指数（Perpendicular Vegetation Index，DVI）、增强型植被指数（Enhanced Vegetation Index，EVI）等。

过去主要利用 NOAA/AVHRR、Landsat、SPOT 等遥感资料，自 21 世纪以来，针对新一代对地观测系统（如美国的 Terra 及 Aqua 卫星、我国的环境减灾 HJ-A/B 卫星等）等多源遥感数据，研发出多种监测算法与产品（如 NDVI、EVI 等）。通常依据多种遥感植被指数及地面观测数据，统计分析二者之间的相关关系，建立植被指数与实地调查样点测产值之间的数学模型，以遥感植被指数值计算单位面积的生物量，开展大范围的天然草地的估产。基于卫星遥感植被指数与地上生物量的关系估算得到的结果，只能反映卫星探测时牧草长势和生物量的空间分布状况，当遥感数据获取的时间与地面实测时间基本同步且数据观测的时间足够长时，估产模型的精度可达 70%～80%甚至以上。

结合长时间序列的遥感资料、草地面积、实际放牧家畜数量、补饲量等信息，根据草地生物量遥感监测模型可统计分析区域草地植被的总生物量及理论载畜量，研究区域草畜平衡状况，为牧区草地资源的保护及合理利用提供科学依据。

（三）草地自然灾害监测与预警

草地资源种类繁多，空间分布广泛，地域差异较大，自然灾害频发，损失巨大，因此监测和防治各类自然灾害，对牧区防灾减灾和草地畜牧业的可持续发展具有重要的意义。草地自然灾害种类较多，主要包括非生物灾害（雪灾、火灾、旱灾）及生物灾害（鼠害、虫害、病害、毒杂草）两大类。单纯利用地面人工调查方法，往往不能及时发现草地灾害，对危害面积和扩展速度不能准确了解，以致延误时机。卫星资料具有观测范围广、信息量大、多时相、成本低、不受地理条件限制等特点，结合地面调查数据，利用遥感等技术对大范围草地灾害进行动态监测，具有其他常规手段无法替代的优势，不但能节省调查的人力和时间，而且能提供有利的防治时机，采取合理的防治方法，以免造成不必要的经济损失。

在牧区各类自然灾害的监测、评价与预警研究及应用中，仅有雪灾、火灾及部分鼠害和虫害比较成功，其他类型的草地自然灾害（特别是旱灾、病害及毒杂草）由于涉及因素众多，干扰因素复杂，研究相对较为薄弱，存在较多技术问题，监测、评价及预警的指标体系及精度还需要不断探索，实际应用中尚存在较大困难。

（四）家庭牧场管理

我国草地严重超载，平均超载率 30%以上，有 90%以上的草地出现不同程度的退化。针对草地资源利用、草地生态保护与草地管理方面存在的众多问题，国家实施了退牧还草、围栏封育等一系列草地生态环境保护工程及措施。家庭农牧场是 2012 年前后才在我国兴起的新型土地规模经营主体，2013 年“家庭农场”的概念首次在中央一号文件中出现，引导农村土地承包经营权有序流转，鼓励和支持承包土地向专业大户、家庭农场、农民合作社流转，发展多种形式的适度规模经营。家庭农牧场及相关制度的实施，在天然草地资源的适度利用及生态保护等方面，必将产生重要的影响。

国内基于生产及管理过程的家庭牧场信息化管理系统的研发基础薄弱，相关软件较少，应用严重滞后。近年来，针对经济效益较好的奶牛牧场管理系统的研发取得了一些成果，如上海益民科技有限公司开发的“奶业之星（Dairy Star）”系列软件包（http://www.dairystar.online），北京历源金成科技有限公司 2012 年发布的我国首款奶牛牧场云计算管理系统——“新牛人 X6”（http://www.liyuantech.com/）等。但是，美国、英国、法国、澳大利亚、新西兰等发达国家早已开发出多种家庭牧场管理系统，广泛应用于家庭牧场的草畜管理，推行严格的放牧管理制度和禁垦制度，草地基本实现可持续利用。在国外研发出的众多家庭牧场管理系统中，应用较为广泛的系统有 GrazPlan、GrazeMore、DairyWIN、牧场生产和利用模拟系统（Simulation Production and Utilization of Rangeland，SPUR）等。GrazPlan 是由澳大利亚联邦科学与工业研究组织（Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation，CSIRO）植物产业部开发的放牧管理软件包，其中 GrassGro 是一种针对家庭农牧场管理的智能决策支持系统（Decision Support Software for Agriculture）（http://www.grazplan.csiro.au/）。依据气象、土壤和牧草参数，GrassGro 可估测牧草的生长量，结合草地饲养的动物品种、生产能力、产品质量和价格，确定补充饲草量，制订饲草饲料生产计划，以达到最佳经济效益的畜群管理。GrazeMore 是英国北爱尔兰农业研究所（Agricultural Research Institute of Northern Ireland，ARINI）开发的奶牛放牧管理系统，可以基于实时的和模拟的气象数据逐日进行模拟，能够预测每个放牧小区的牧草生长、采食、牧草损耗和牧群的产奶量，能够管理放牧草地资源，提高放牧管理者经营和利用草地的技能。DairyWIN 是新西兰梅西大学研发的奶牛牧场管理系统，可以综合监测畜群行为，为逐日奶牛畜群的管理提供决策（http://www.dairywin.co.nz/）。

（五）天然草地资源与生态环境管理信息系统

以草地资源监测数据为基础，结合草业科学研究与实践过程中积累的相关知识，国内外在研发包括草地资源类型、牧草特性、草地生态环境信息等内容，以及具有草地资源及其生境信息查询检索等功能的草地资源与生态管理信息系统方面，已有许多成功的实践及应用。

按照服务内容、目标、功能等特征的差异，该类系统可分为不同的类型：依据系统涉及的空间尺度，可分为全球、区域及地区尺度的草地资源与生态管理系统；依据系统服务内容、目标及功能，可分为以草地类型及其空间分布格局、时空变化动态信息检索服务为主的草地资源管理信息系统、栽培牧草种质资源管理信息系统、草地长势监测与估产信息服务系统、牧草病害诊断系统等功能及内容相对单一的系统，以及草地自然灾害监测与预警信息服务系统、草畜平衡决策支持和技术咨询服务系统、草地生态环境监测与评价信息服务系统等功能及内容复杂的综合系统。

该类系统的信息需求量大，通常包括气候（年平均气温、年极端最高温、年极端最低温、大于零摄氏度的年积温、空气湿度、年平均降水量、年日照时数等）、地形（数字高程模型、坡度、坡向）、土壤（土壤类型、土壤养分含量）、水文（河流水系、径流量、集水区边界等）、草地资源（类型、等级与面积、草地利用状况等）、家畜（种类、

数量、载畜量等)、土地覆盖、行政分区、社会经济（人口数量、密度、交通道路、工农业生产状况）等基础空间数据库。但是，系统内容的动态更新、系统功能的智能化拓展等方面仍然存在诸多问题，是今后系统研发及建设的重要方向。

思 考 题

1. 什么是草业信息学？
2. 简述草业信息学研究的关键技术？
3. 简述草业信息学研究的关键技术及其关系？
4. 论述草业信息学在草业科学中的作用及主要应用实践？

参 考 文 献

曹卫星. 2005. 农业信息学[M]. 北京: 中国农业出版社.
冯学智, 王结臣, 周卫, 等. 2007. "3S"技术与集成[M]. 北京: 商务印书馆.
胡自治. 1997. 草原分类学概论[M]. 北京: 中国农业出版社.
梁天刚, 林慧龙, 冯琦胜. 2015. 草地综合顺序分类系统研究进展(Ⅰ)——自然植被分类与碳汇研究[M]. 南京: 江苏凤凰科学技术出版社.
梅安新, 彭望琭, 秦其明, 等. 2001. 遥感导论[M]. 北京: 高等教育出版社.
任继周. 1995. 草地农业生态学[M]. 北京: 中国农业出版社.
任继周. 2010. 草业科学框架结构与教学实践[J]. 高等理科教育, (4): 1-7.
任继周, 侯扶江. 2004. 草业科学框架纲要[J]. 草业学报, 13(4): 1-6.
任继周, 侯扶江. 2010. 草业科学的多维结构[J]. 草业学报, 19(3): 1-5.
邬伦, 刘瑜, 张晶, 等. 2002. 地理信息系统——原理、方法和应用[M]. 北京: 科学出版社.
许鹏. 2000. 草地资源调查规划学[M]. 北京: 中国农业出版社.
赵军, 胡自治. 2005. 从生态信息图谱的角度看草原综合顺序分类法检索图[J]. 草原与草坪, (2): 12-14.
Chang KT. 2010. 地理信息系统导论(原著第 7 版)[M]. 陈健飞, 连莲译. 北京: 科学出版社.

第二章　草业数据的采集

草业系统的复杂性决定了草业数据的复杂性和多样性。对于不同的草业实体、要素、现象、事件和过程，需要采用不同的数据形式和数据类型进行描述。研究各类草业数据的外业观测与采集技术，对定量研究草地农业生态系统中土-草-畜-社会之间的互作关系，改进草业生产、经营和管理方法，具有重要意义。本章主要介绍草业数据类型及其基本特征，以及草业数据的采集技术、外业观测方法、常用观测仪器设备等内容。

第一节　草业数据类型及其基本特征

草业信息学是草业科学与信息科学相互交叉融合形成的一门新兴学科，目前国际上对该学科尚无一致的概念，仅从支撑学科和发展趋势看，草业数据的主要内容涵盖理论基础、技术方法、应用实践等几个方面，涉及不同的学科体系，其特征同样表现为不同学科和不同内涵的交叉与融合（曹卫星，2005）。一般而言，所有草业数据均具有数量化、形式化、逻辑化、多种时空尺度、多维性、观测变量误差的不确定性等基本特征。

一、草业数据类型

数据是未经加工处理的原始材料，是通过数字化或记录下来可以鉴别的符号，不但数字是数据，而且文字、符号和图像也是数据。草地是地表一种重要的土地覆盖类型，草业科学的研究对象总是与一定的地理区域相对应。因此，草业数据是一种重要的地理数据。草业数据具有地理数据的基本特征，可以分为空间数据（Spatial Data）和属性数据（Attribute Data）两大类。

空间数据用于描述草业实体、要素、现象、事件及过程产生、存在和发展的地理位置、区域范围及空间联系。一般用经纬度坐标或公里网表示具体的空间位置。对于空间数据的表达，可以将其归纳为点、线、面三种几何实体及描述它们之间空间联系的拓扑关系。

属性数据主要用于描述草业实体、要素、现象、事件及过程的有关属性特征，如草地类型、面积、产量、草层高度、植被盖度等。

按照数据的测量和记录标准，草业数据可以划分为定性而非定量的命名型数据、按顺序排列的次序型数据（如草地退化分级）、按照一定间隔或不固定间隔观测的间隔型数据（如分层土壤养分、气象站观测的气温等）、依据比例的比率型数据（如生物量密度、载畜力等）。此外，依据内容，草业数据可分为地形与地貌数据（Topographic and Geomorphologic Data）、气象数据（Climate Data）、土壤数据（Soil Data）、生物数据（Biological Data）、人文数据（Social Economic Data）等类型。

二、草业数据基本特征

（一）数量化（Quantification）、形式化（Formalization）与逻辑化（Logicalization）

草业数据既包括数字、文字、符号，又包括图形和图像。在信息学研究中，这些数据都可以使用数量化、形式化或逻辑化的数学方法表达。

数量化是进行评价时常用的方法，它是在评价过程中采用定量分析的方法，特别是采用各种数学方法，可以定量地对评价对象的各个环节中每一影响因素进行分析，研究各因素之间的数量关系，表示其数量变化和规律。数量化是草业数据统计分析的前提。

形式化是指分析、研究思维形式结构的方法。它把各种具有不同内容的思维形式（主要是命题和推理）加以比较，找出其中各个部分相互联结的方式，如命题中包含概念彼此间的联结，推理中则是各个命题之间的联结，抽取出它们共同的形式结构；再引入表达形式结构的符号语言，用符号与符号之间的联系表达命题或推理的形式结构。形式化方法在古代就运用了，而在现代逻辑中又有了进一步的发展和完善。这种方法特别在数学、计算机科学、人工智能等领域得到广泛运用。它能精确地揭示各种逻辑规律，制定相应的逻辑规则，使各种理论体系更加严密。同时，也能正确地训练思维，提高思维的抽象能力。形式化方法是基于数学的特种技术，适合于软件和硬件系统的描述、开发和验证。将形式化方法用于软件和硬件设计，是期望能够像其他工程学科一样，使用适当的数学分析方法提高设计的可靠性。

逻辑化是指符合思维的规律或反映客观的规律性。逻辑是关于思维的形式和规律的科学。逻辑有 4 种不同层次和角度的含义：①表示客观事物发展的规律；②表示思维的规律性或规则；③某种特殊的理论、观点或说法，如草地综合顺序分类系统；④研究思维形式及其规律的科学或行动，如逻辑学、逻辑研究。因此，草业数据的逻辑化是指与草业科学研究或应用实践相关的数据要反映其客观规律性。草业数据的逻辑化不仅是草业数据采集的基本要求，还是草业数据的基本特征。

（二）不确定性（Uncertainty）

某个事件或某种决策的可能结果不止一种，就会产生不确定性。由于草地及其生态环境受人类因素和自然因素的综合影响，因此反映草业科学相关事物、现象、过程的数据通常具有较大的变异性。因此，观测变量的误差通常存在一定的不确定性。例如，草地地上生物量受气候、土壤、草地类型、放牧强度等众多因素的影响，在不同时空尺度上具有很大的差异，外业观测的或基于遥感技术模拟的草地生物量数据通常在时空分布上具有一定的不确定性。在地理信息系统研究中，不确定性则是指空间位置、属性、时域的不确定性，以及逻辑上的不一致性及数据的不完整性。通常采用敏感性分析、概率统计等方法，研究数据的不确定性。

（三）多种时空尺度（Multiple Spatio-temporal Scale）

尺度是许多学科常用的一个概念，一般用来表示物体的尺寸与尺码，有时也用来表

示处事或看待事物的标准。在定义尺度时，应该包括 3 个方面的含义：客体（被考察对象）、主体（考察者，通常指人）及时空。时间尺度是完成某一种物理过程所花费时间的平均度量。一般来讲，物理过程的演变越慢，其时间尺度越长；物理过程涉及的空间范围越大，其时间尺度也越长。在研究草业科学许多问题时，通常以草地植被生长季或日、月、季度、年等为时间单位衡量某一现象或事物在多种时间尺度下的变化过程，研究的地理区域可以是全球、大洲、国家或者流域等范围的多种空间尺度。

在遥感等信息技术研究领域，通常将卫星遥感图像重复观测同一地区的周期称为时间分辨率（如 Landsat-8 号卫星的时间分辨率为 16 天，MODIS 传感器的时间分辨率为 1/2 天），将图像上不可分割的最小单元称为像素，其大小称为空间分辨率（如 Landsat-8 号卫星多光谱图像的空间分辨率为 30m）。一般情况下，卫星遥感数据的时空分辨率与相关研究的时空尺度紧密相关。所用遥感图像的时空分辨率越高，可选的时空尺度就越小。

（四）多维性（Multiple Dimension）

维度又称维数，是数学中独立参数的数目。在物理学和哲学研究领域，指独立的时空坐标的数目。0 维是一点，没有长度。1 维是线，只有长度。2 维是一个平面，是由一定长度和宽度的直线或曲线形成的水平面。3 维是 2 维加上高度形成的“体积面”。虽然一般情况下维度多用整数表示，但在分形中维度不一定是整数，而可能会是一个非整的有理数或者无理数。草业科学具有 4 维特征，即类型维、化学维、系统维及信息维。因此，与之相关的草业数据也具有多维性。

第二节　草业数据采集

依据草业数据的内容及特点，草业数据的观测可分为地形地貌、气象、土壤、生物和人文等数据的采集。在各类数据采集中，除使用一些地面采集的专用设备和方法外，通常也可以使用 GPS、GIS、RS 和网络等技术进行数据采集。本节主要介绍草业数据常用的地面采集设备、指标和方法。

一、地形与地貌数据

地形与地貌数据（Topographic and Geomorphologic Data）是草业科学领域中最重要、最基础的信息之一。草地生长的载体离不开土地，地形和地貌的变化影响着区域内温度和降水等气候指标，从而影响草地的变化。地形与地貌数据是一种重要的地理数据。草地类型的空间分布格局与一定地理区域的地形及地貌之间具有密切的联系。

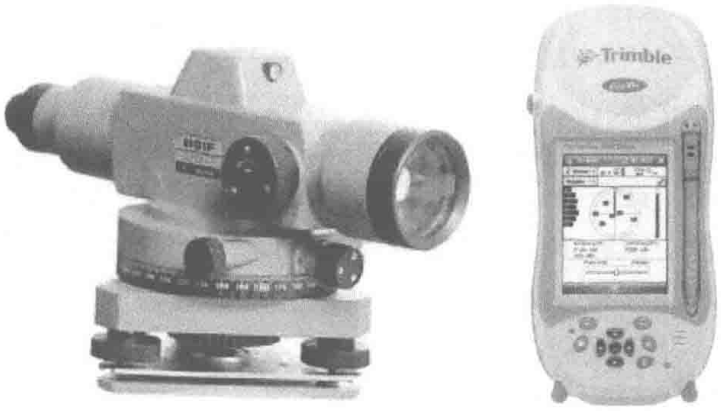
地形（Topography）是指地势高低起伏的变化，即地表的形态。一般可分为高原、平原、山地、丘陵、台地和盆地 6 种类型。地貌（Geomorphology）也称地形，不过这两个概念在使用上通常也有区别，地貌是在地形的基础上再深入一步，探究其前因后果。地形偏向于局部，地貌则指整体特征。根据形态及其成因，可将地貌划分出各种各样的

形态类型、成因类型或形态-成因类型。例如，地形图是一种主要反映地表形态的普通地图，而地貌图则是一种主要反映地貌形态、成因或某一地貌要素的专题地图（伍光和，2000）。

（一）采集技术及外业观测设备

“3S”技术是地形与地貌数据采集的主要技术。利用 GPS 技术可以采集高程点、等高线等信息。利用 GIS 技术，可以对已有的地形图进行数字化，建立数字高程模型（Digital Elevation Model，DEM），分析坡度、坡向等信息，模拟三维地形地貌。此外，也可以根据需要，采用遥感数据提取研究区的地形与地貌数据。例如，使用 SPOT 卫星遥感立体像对数据，或通过互联网络从 NASA 下载 ASTER GDEM 30m 分辨率的高程数据，以及从国际农业研究空间信息联盟咨询小组（The Consultative Group on International Agricultural Research Consortium for Spatial Information，CGIAR-CSI）开发的航天飞机雷达地形测绘（Shuttle Radar Topography Mission，SRTM）网站（http://srtm.csi.cgiar.org/）下载 SRTM-DEM 数据，分析研究区的地形地貌特征，为草业信息的处理与分析提供基础资料。

目前，较大范围的地形与地貌数据主要来源于 DEM（如 SRTM 和 ASTER GDEM），小范围的准确测量主要采用水准仪、全站仪、经纬仪、激光仪、GPS 等仪器设备（图 2-1）。地形与地貌数据地面采集的主要设备有水准仪、经纬仪、全站仪、GPS 测量系统、航空摄影机、数字摄影测量工作站和数字成图系统等设备。前 5 类属于外业设备，后 2 类属于内业设备。



(a)　　(b)

图 2-1　经纬仪（a）和手持 GPS 设备（b）

（二）外业观测方法

在对地形与地貌进行实地测量时，一般需要考虑以下因素。

1. 外业观测任务

明确任务来源、研究区范围、地理位置、行政隶属、地图比例尺、采集内容、任务量等基本情况。

2. 研究区自然地理概况和已有资料情况

包括以下 2 个方面的内容。①自然地理概况：根据草业信息采集的需要，收集研究区自然地理概况，内容可包括研究区地理特征、居民地、人口、交通、气候情况等。②已有资料情况：收集已有资料的观测年代、采用的平面及高程基准、资料的数量、形式、质量情况和评价，利用的可能性和利用方案等。

3. 引用文件

说明专业技术设计书编写中所引用的标准、规范或其他技术文件。文件一经引用，便构成专业技术设计书设计内容的一部分。

4. 成果规格和主要技术指标

包括地图比例尺、平面和高程基准、投影方式、成图方法、成图基本等高距、数据精度、格式、基本内容及其他主要技术指标等。

5. 地形与地貌数据采集设计方案

主要内容如下。①规定测量仪器的类型、数量、精度指标及对仪器校准或检定的要求，规定信息采集所需的专业应用软件及其他配置。②图根控制测量：规定各类图根点的布设、标志的设置，观测使用的仪器、测量方法和测量限差的要求等。③规定信息采集方法和技术要求：a. 规定野外地形与地貌数据采集方法，包括采用全站型速测仪、平板仪、全球定位系统（GPS）测量等；b. 规定野外数据采集的内容、要素代码、精度要求；c. 规定属性调查的内容和要求；d. 规定高程数据采集的要求；e. 规定数据记录要求；f. 规定数据编辑、接边、处理、检查和成图工具等要求；g. 需要建立 DEM 和数字地形模型（Digital Topographic Model，DTM）时，还应规定内插 DEM 和分层设色等方面的要求。④其他特殊要求：拟定所需的主要物资及交通工具等，指出物资供应、通信联络、业务管理及其他特殊情况下的应对措施或对信息采集的建议等；采用新技术、新仪器时，需规定具体的信息采集方法、技术要求、限差规定和必要的精度估算及说明。⑤质量控制环节和质量检查的主要要求。⑥上交和归档成果及其资料的内容与要求。⑦有关附录。

二、气象数据

气候作为人类赖以生存的自然环境的重要组成部分，它的任何变化都会对自然生态系统和社会经济系统产生重要影响。依据气温和降水等自然地理条件，全球气候可大致分为热带雨林气候、热带草原气候、热带季风气候、热带沙漠气候、亚热带季风气候、地中海式气候、温带海洋性气候、温带季风气候、温带大陆性气候、极地气候、高山气候等 11 个类型。草地是地表面积最大的陆地生态系统，大气环流、O_2 和 CO_2 含量、光照、温度、水分、蒸发等因素及其相互作用是草地形成及其时空分布格局动态变化的重要因素，因此气候数据的采集对草业科学的研究及应用实践具有重要意义。

气象数据一般可分为气候数据和天气数据两类。气候数据通常指的是用常规气象仪器所观测的各种原始资料的集合，以及加工、整理、整编所形成的各种资料。但随着现代气候的发展，气候研究内容不断扩大和深化，气候资料的概念和内涵得以进一步延伸，泛指整个气候系统的有关原始资料的集合和加工产品。天气数据是为天气分析和预报服务的一种实时性很强的气象资料。天气资料和气候资料的主要区别是天气资料随着时间的推移可转化为气候资料；气候资料的内容比天气资料要广泛得多，气候资料是长时间序列的资料，而天气资料是短时间内的资料。

各种气象要素的多年观测记录按不同方式统计，其统计结果称为气候统计量。它们是分析和描述气候特征及其变化规律的基本资料。通常使用的有均值、总量、频率、极值、变率、各种天气现象的日数及其初终日期，以及某些要素的持续日数等。气候统计量通常要求有较长的记录，以便使所得的统计结果比较稳定，一般取连续 30 年以上的记录。

利用逐日观测资料，统计分析不同时期（如月、年、草地生长季节）的平均气温、极端最高温、极端最低温、降水量、大于零摄氏度的年积温、空气湿度、平均降水量、日照时数等，在草地分类、草地物候学、草地植被与气候变化的关系等方面的研究中，具有不可替代的作用。

（一）主要观测指标及设备

地面气象观测指标（Surface Meteorological Observing Indicator）主要有温度、湿度、风速与风向、辐射、降水量和能见度。地面气象观测所使用的各种仪器，包括感应元件、转换系统（机械传递或电子转换线路）和显示记录仪表。

1. 温度

温度是表示物体冷热程度的物理量，微观上来讲是物体分子热运动的剧烈程度。气象部门所说的地面气温，是指高于地面约 1.5m 处百叶箱中的温度。常用测量仪器有玻璃温度表、双金属片温度计、金属电阻温度表、热敏电阻温度表、温差电偶温度表、石英晶体温度表、空盒气压表、微压计。

2. 湿度

湿度是表示大气干燥程度的物理量。在一定的温度下在一定体积的空气里含有的水汽越少，则空气越干燥；水汽越多，则空气越潮湿。空气的干湿程度称为“湿度”，空气湿度在农学、草学、大气学等专业方面有重要的应用价值。常用的测量仪器有干湿球湿度表、毛发湿度表、露点仪、电阻式湿度片、薄膜测湿电容。

3. 风速与风向

风速与风向是指风吹来的速度和方向。常用仪器有风杯风速计、螺旋桨式风速计、热线风速计、达因风向风速计等。在风向测量仪器中，风向标是各种测风仪器中用以指示风向的最主要部件，分为头部、水平杆和尾翼 3 部分。在风力的作用下，风向标绕铅直轴旋转，使风尾摆向下风方向，头部指向风的来向。风向标感应的风向必须传递到地

面的指示仪表上，以电触点式最为简单，但一般只能做到每一个方位（22.5°）有一个触点。精确的测量仪器有自整角机和光电码盘。

4. 辐射

自然界中的一切物体只要温度在绝对温度零度以上，都以电磁波和粒子的形式时刻不停地向外传送热量，这种传送能量的方式称为辐射。辐射主要有太阳直接辐射、大气散射、地面反射辐射、地面和大气的红外热辐射等类型。一般包括辐射能和日照时数的测量。常用的测量仪器有绝对日射表（计）、直接日射表、天空辐射表等。测定日照时数仪器有：①暗筒式日照计，仪器上有一小孔，阳光透过小孔射入筒内，在涂有感光药剂的日照纸上留下感光痕迹，利用痕迹线可计算出日照时数；②聚焦式日照计，它是利用太阳光经玻璃球聚焦后烧灼日照纸留下的焦痕来记录日照时数的仪器。暗筒式日照计制造较简单，记录误差小，是台站常用的仪器。

5. 降水量

从天空降落到地面上的雨水，未经蒸发、渗透、流失而在水面上积聚的水层深度，称为降水量（以 mm 为单位），它可以直观地表示降雨的多少。雨量器是用来收集降水的专用器具，并通过与之配套的雨量筒，用来测定以 mm 为单位的降水量。雨量器为传统产品，承水口使用铸铜件，筒身使用不锈钢板锡焊成型，筒质必须坚硬。为防止雨水溅入，筒口呈内直外斜的刀刃形。雨量器有带漏斗和不带漏斗的两种。筒内置有储水瓶，降雪季节取出储水瓶，换上不带漏斗的筒口，雪花可直接储入雨量筒底。

6. 能见度

能见度是反映大气透明度的一个指标，指物体能被正常视力看到的最大距离，也指物体在一定距离时被正常视力看到的清晰程度。20 世纪 60 年代前，气象台站测量大气能见度常用目测的方法，即由人眼观测目标物能从背景中分辨出来的最远距离，测定大气能见度。70 年代以来，采用大气透射仪、激光能见度自动测量仪等仪器测量，主要仪器有透射型和散射型两种类型。

（二）气象数据采集系统

除了上面介绍的单一指标观测仪器外，目前常用的气象数据的采集也可通过气象数据采集系统完成（图 2-2），如手持农业环境监测仪、积温仪等系统。积温仪可应用于农业生产和农业科研，全天候记录气温的变化，可正点定时或自由设定间隔时间采集温度信息，显示平均气温、活动积温、有效积温等参数。手持农业环境监测仪由光合有效辐射计、雨量记录仪、风向风速记录仪等设备组成，采集的数据可导入计算机软件进行统计、分析、显示、查询等数据处理。总体而言，气象数据采集系统一般可实时采集多种环境参数（如气温、湿度、光照明度、风速风向、降雨量等），广泛应用于气象、设施农业、林业、园艺、畜牧业、草业等领域，实现对设施农业综合生态信息自动控制监控、对环境进行自动控制和智能化管理。