单位代码	10445
学　　号	20042613
分 类 号	TP79

山东师范大学

硕士学位论文

论文题目：DEM支持下的日照市茶树土地适宜性评价

学科专业名称：　自然地理

申请人姓名：　王智勇

指导教师：　郑昭佩 副教授

论文提交时间：　2007年4月20日

DEM支持下的日照市茶树土地适宜性评价

摘要

本文选择山东省日照市东港区和岚山区作为研究对象，首次对我国暖温带地区茶树土地适宜性进行了评价研究。通过分析暖温带地区土地资源与茶树生长之间的关系，建立了适合北方地区茶树土地适宜性评价的指标体系，最终通过综合评价得到研究区适宜性等级，并编制单因子评价等级图和综合评价等级图；研究集成GIS和数学模型，并运用到评价中，总结出一套适合北方土地适宜性评价快速、精确的方法。

在对国内外土地适宜性评价理论、方法和研究状况进行全面评述的基础上，依据FAO《土地评价纲要》中的原则、方法，通过对研究区的气候条件、地形条件、土壤条件作了分析，结合已有的研究资料、大量的野外调查和询问茶农及茶树种植科技人员的基础上，揭示了温带地区各土地条件与茶树生长的相关关系，并遴选了研究区茶树土地适宜性评价的影响因子。

在土地适宜性评价中，首先利用1：50000数字高程模型（DEM），借助C语言程序，模拟了实际地形下的直接辐射和散射辐射，同时利用ARCGIS软件提供的Spline内插方法对所选最低月均温、极端低温、相对湿度等因子进行内插，在此基础上，利用天文辐射和气温直减率对实际地形下的温度进行了订正，其结果突破了以往气候因子模拟只能描述其在水平方向变化的局限，结果能够直观地反映出区划因子随海拔和泼向的立体变化特征；另外，基于DEM数据，充分考虑了坡度、坡向、坡位等因素对空气流动的影响，以北风为主要风向，通过ARCGIS软件提供的Kriging内插方法对冬季平均风速进行了模拟，结果逼真的反映了实际地形下风速的分布特点；最后结合同比例尺下的土壤pH值、土壤质地和坡度等数据，建立了土地适宜性评价因子数据库。

论文在单因子土地适宜性评价的基础上，确定各因子的相对重要性，借助AHP（层次分析法）计算出各因子的权重，并运用模糊数学模型进行了茶树土地适宜性综合评价，将研究区域划分为最适宜区、适宜区、一般适宜区和不适宜区等四个等级，根据评价结果，分析了各适宜级的分布规律和主要限制性因素，并提出相应的对策。

论文是我国北方茶树种植土地适宜性的首次研究成果，研究所选因子具有明

显的北方特色，而且各因子的适宜范围也与南方研究有所差别，这对中国茶树种植的研究有所拓展和突破。

本研究为研究区茶叶产业有条不紊的发展提供了基础性依据，可以避免盲目扩大种植面积带来的损失，提高经济效益，为该地区土地资源的优化配置提供基础性指导。

通过 DEM 和 GIS 技术结合，可以更为准确地进行各个重要因子的模拟，通过 GIS 空间分析和模糊数学的结合可以准确快速完成评价，而且能实现定性和定量的土地适宜性评价的综合表示，使评价结果更符合实际情况。

关键词：DEM 土地适宜性评价 茶树 模拟 模糊数学 日照市（东港区、岚山区）

Research on Land Suitability Evaluation for tea-tree in Rizhao Shandong based on DEM

Abstract

The land suitability evaluation for tea-tree was carried out in Rizhao, Shandong ,china. Analyzed the relation between land conditions of warm temperate zone and tea planting, the researcher founded that the evaluating factors system meeting the demand of north tea plants, and educed the comprehensive evaluation result of which was made a map with four grades. The integration of evaluation model and GIS was used in evaluation, it is a way with great efficiency and speed and can be utilized in other land suitability evaluation.

Based on the integrated study results of the theories, methods and research of land use evaluation (land suitability evaluation) at home and abroad, and according to the methods and principles of FAO"A Frame work for land Evaluation", the paper expounded the interrelation between land conditions and tea-tree growth in warm temperate zone through the investigation, analysis and evaluation of the climate, terrain, soil and consulting the tea planting farmers in tea plating samples in Rizhao, and choose the evaluation factors.

In the paper, the scattered radiation and the direct solar radiation in actual landform was simulated on the base of DEM and C program, the temperature and the relative humidity was interpolated by Spline supplied by ARCGIS software, then the temperature in actual landform was corrected by air temperature lapse rate and the direct solar radiation, and the average wind speed in winter taking effect of slope, aspect into account, was simulated, and the soil pH and soil texture was readied; the date base of evaluation factors was build at last.

On the base of evaluation to every factors, the weight every one was calculated by AHP(Analytical Hierarchy Process), the comprehensive evaluation was made by utilized the Fuzzy model. The result divided the evaluation region into four grades: grade I ,the most suitable region; grade II, the more suitable region; grade III,the

suitable region; grade Ⅳ, the unsuitable region. The paper expatiated on the distribution law of the evaluation grades, and put forward how many limiting factors and how to deal with them.

The choose factors connected with tea planting showed strong north character, and every factor has a suit rang to the tea planting which is different with south study result, so the research about the factor system achieved a breakthrough in the study of China tea planting.

The achievement of the paper supplied Rizhao with a basal grade distribution for developing the teaplant rationally, and can save the waste or loss of unreasonable teaplant introducing which always happened, and can optimize the structure of land resource.

The date base was build exactly by using DEM correcting technology, and the integration Fuzzy model with GIS spatial analyse achieved the evaluation result more fast and accurately, and the result more accord with the fact.

Keyword: DEM, land suitability evaluation, tea-tree, simulation, Fuzzy model, Rizhao city

独 创 声 明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得_____（注：如没有其他需要特别声明的，本栏可空）或其他教育机构的学位或证书使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：王智勇　　导师签字：郑昭枫

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解__学校__有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权_学校_可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。（保密的学位论文在解密后适用本授权书）

学位论文作者签名：王智勇　　导师签字：郑昭枫

签字日期：200　年　月　日　　签字日期：2007年5月20日

1 文献综述

1.1 研究目的、意义

土地适宜性评价是针对某种特定的用途而对区域土地资源质量的综合评定。土地适宜性评价是土地利用的基础评价。

选择日照市岚山区、东港区进行茶树土地适宜性评价的目的就是要通过综合评价，明白那些区域不适宜种茶树，那些区域适宜种植茶树，适宜程度如何。

论文采用3S技术，即GIS（地理信息系统）、RS（遥感）、GPS（全球定位系统）。以DEM（数字高程模型）数据作为基础，对气候因子进行了较为精细的模拟，论文探讨了GIS空间分析技术与数学模型相结合的技术路线，总结了一套适合北方地区土地适宜性评价方法。

研究首次针对我国北方地区进行了茶树土地适宜性评价，所以对中国茶树土地适宜性评价研究地域上有所拓展。另外，通过土地适宜性评价，划分出该区茶树种植的适宜性等级，优化当前茶树的种植布局，为研究区的茶叶发展提供科学的依据，避免盲目种植带来的损失。论文技术手段先进，具有较强的现实意义和推广应用价值。

1.2 土地评价国内外研究现状综述

1.2.1 土地评价国外研究现状

国外早期土地评价可以追溯到上世纪初，如1903年美国农垦局为发展灌溉农业而拟定的评价方法；到了上世纪30年代为了合理的征税和管理土地资源，土地评价研究进一步发展。例如，德国财政部于1934年提出的《农地评价条例》，美国于1937年提出的斯托利指数分级(STR)和康乃尔评价体系（cornell system），以及德国30年代提出的土地指数分等，1936年，美国农业部为了水土保持而提出的土地潜力级分类，是世界上第一个比较全面的土地综合评价体系，到了60年代这种评价体系在全球得到了广泛的应用[1]。

由于有很高的实用价值，国外土地评价迅速发展，进入上世纪70年代，土地适宜性评价逐渐得到重视。联合国鉴于各国均有自己的土地评价系统，需要一个全世界统一的土地评价系统，在综合各国土地评价研究成果的基础上，于1976年，FAO发表了《土地评价纲要》，这是一个针对特定土地利用方式，对土地的

适宜性和适宜程度做出评价的土地评价方案。《纲要》阐述了土地评价的一些原则，一些基本概念，适宜性分类的结构和进行土地适宜性评价所必须遵循的程序等[2]，这些原则和程序为建立良好的土地评价、土地适宜性评价体系提供了基础。

80年代以后，土地评价不断扩展、深入，FAO又在《纲要》的基础上，针对特定用途的土地适宜性评价，相继出版了《旱地农业土地评价指南》(1984)和《林业土地评价》(1984)《灌溉农业土地适宜性评价指南》(1985)，《牧业土地评价》(1986)等指导性文件[3]。这些文件为全球更好的开展土地评价提供了依据。在FAO研究方法的基础上，加拿大的Dumanski等通过改进更加精确的获得土地适宜性值，确定出六个土地适宜性等级。随后，FAO年1993在出版的第一本《土地利用规划指南》中指出，土地适宜性评价为土地利用规划的“技术导向”[4]。

1.2.2 土地评价国内研究现状

我国很久以前就有对土地评价的记录。据《周礼》记载，周朝根据地形和土壤性质将土地分为山林(高山峻岭)、川泽(江河湖泽)、丘岭、坟衍(水湿与低平地)、原隰(高而平坦与低下湿地)等五类，并规定了各种土地的适种作物。战国时的《管子·地员篇》依据地下水位、自然植被、土壤性质和生产力差异将土地分为三等十八类，作为赋税依据。《禹贡》一书将全国九州土地划分为三等九级，这些著作是迄今为止世界上最早的土地分类和土地评价的科学著作。

我国较为系统的土地评价工作始于20世纪50年代的荒地调查，20世纪70年代到80年代改革开放以后，土地评价以制定土地利用规划和农业发展规划为目的蓬勃发展起来，一些学者引进了国外先进的土地评价理论和方法，有力地推动了土地评价工作的进行[1]。

90 年代以后，由于社会经济发展，资源、环境保护的驱动，我国土地评价更加重视综合考虑自然、经济、社会因素，并采用定性和定量相结合的方法，从可持续发展的角度出发，使得土地评价的广度和深度都取得了前所未有的发展，其中，作为土地评价主流的农牧业土地评价生命力不断增强[5~8]；由于引入了经济学的理论，城市地价评估和农用地估价得到了迅速发展[9]；另外，旅游土地评价[10~13]，土地退化评价[14~16]，脆弱生态区评价[17~19]，土地整理评价[20~21]都有了长足的发展。

1.3 土地适宜性评价国内研究现状

1.3.1 应用领域不断拓展

1.3.1.1 农用地土地适宜性评价

首先，研究区域从大范围到中、小尺度范围延续的特点仍在继续[1, 22]。近几年开展的较大区域土地适宜性评价包括：刘彦随在陕西秦岭对山地土地类型——质量——功能的适宜匹配和调整的研究[23]，郑宇等对山东省土地适宜性做了空间分析及其优化配置研究[24]，邢世和等针对福建省农用地资源进行适宜性评价分析[25]。对比初期和目前大尺度土地适宜性评价，可以看出，初期的评价主要是“摸清家底”以备开发利用，而目前的评价更重视保护土地资源，走可持续利用之路。另一方面，县市级尺度以下的土地适宜性评价大量开展[26, 27]，乃至出现了微小尺度的土地适宜性评价，如谢树春等在进行湘中紫色土丘陵地区土地适宜性评价时，将村级单位作为试点研究[28]。

另一个显著特点是近年来环境生态脆弱区土地适宜性评价明显增加。随着人口的增多，社会经济的发展，土地资源的供求矛盾日益严重并引起一系列生态环境问题，正是在这样的背景下，一些研究者在内蒙古地区[26, 29]、喀斯特地区[27]、黄土高原地区[30]、黄土丘陵沟壑区[31]，祁连山地区[32]、紫色土丘陵区[28]等生态脆弱地区开展了土地适宜性评价。这些评价旨在为生态脆弱区人地矛盾的解决提供指导，以满足土地合理利用，防止土地退化，保护生态健康的需要。

单一用途土地适宜性评价一直倍受重视。一个较为明显的特点就是，评价基本都围绕经济作物展开，例如，彭补拙等在太湖流域作了青梅的土地适宜性评价，为这种典型的中亚热带果树品种的北移提供了科学依据[33]；华熙成综合自然和经济条件，采用定性定量相结合的方法，研究了浙闽山区茶叶生产基地的合理布局[34]；张红旗对县级区域的柑桔进行了土地适宜性评价，该研究首先得出基于自然属性的柑桔适宜等级，再结合经济因素进行综合评价[35]，这符合土地自然属性比较稳定而经济属性易于变化的特点，为以后一定时期内再进行土地适宜性评价避免了对自然要素的重复评价；王桂芝通过对橡胶、椰子、芒果、腰果和槟榔五种主要热带作物的土地适宜性等级研究，为三亚市的经济作物发展提供了决策依据[36]；此外，还有一些针对果树[37]和特色经济作物[38]的土地适宜性评价。

在林牧业方面，郭晋平等对黄土高原沟壑区进行了宜林地立地分类，并开展了土地适宜性评价，进行了多林种、多目标土地利用规划辅助决策研究[39]；卫三平等在晋西地区进行了刺槐林的立地条件分析，为该区水土流失的治理提供了依据[40]；孟林建立了草地资源的生产适宜性评价系统，并在新疆昌吉作了验证，为草地资源的合理利用和管理提供了良好的技术指导[41]。

1.3.1.2 城市土地利用适宜性评价

随着中国城市化进程的加快，城市建设对土地的要求从质和量两方面在不断提升，同时城市内部出现了结构、功能不合理的状况。针对上述情况，首先以城市建设用地质量为主的适宜性评价不断开展，明庆忠以“圈层”模式，从地貌的角度对山间盆地型城市建设用地作了适宜性评价[42]；陈桂花等在分析城市建设用地质量评价特点和意义的基础上，定性和定量相结合，得出城市建设用地质量等级，为城市规划发展提供了基础，这是对城市建设用地土地质量评价较为系统的探讨[43]。

城市扩建或改建过程中，也需要开展土地适宜性评价工作，城乡结合部是公认的土地利用规划的难点，刘贵利对该类建设用地适宜性评价做了探讨，以期寻求一种协调用地矛盾，提高用地效益的途径[44]，唐先明等在分析三峡库区综合指标的基础上，建立了山地县城选址模型，并对迁建地做了土地适宜性评价、分等，为三峡库区城市迁建提供了指导[45]。

对城市内部土地资源进行优化配置，是提高城市土地利用集约程度的途径之一。闫整等通过对山东省城镇土地集约利用问题的研究，提出了山东省城镇土地集约利用指标体系，并被政府采纳；赵涛等对济南市城区土地利用结构做了分析和预测，确定了土地利用空间分配的优先顺序，为提高城市土地利用效率提供了一种良好的思路[46]；申金甲等从自然、社会、环境等因素入手，对城市居住地做了适宜性评价，为居住地的合理布局和城市土地的优化配置提供了理论和方法上的支持[47]。

在城市公共设施建设方面，如污水处理用地[48]、垃圾处理用地[49]等方面，土地适宜性评价都起着很重要的指导作用，而这些评价案例又进一步丰富了土地适宜性评价的理论和内涵。

1.3.1.3 旅游用地适宜性评价

作为土地适宜性评价的一个重要领域，旅游用地适宜性评价一直在摸索、拓新。上世纪90年代初楚义芳系统提出旅游资源评价的方法，主要从旅游地的旅游资源、区域条件、区位特性等方面来综合考虑旅游资源的优劣，并将该方法应用于武陵源和衡山的比较评价[50]，程伟民等以类似的方法对海南省的旅游资源作了评价分级[51]，然而这些评价的重点主要倾注在旅游资源自身的“质 ”和“量”上，并未充分考虑旅游活动对旅游地产生的影响。

崔凤军等在全面分析影响旅游的社会—文化环境、社会—心理环境和生态—经济环境诸因素的基础上，提出了旅游环境承载力概念[52]，这为旅游资源的评价提出了新的、更为全面客观的思路。李铁松等在分析云南省德钦县旅游资源的基础上,进行了各景区环境容量适宜大小的评价和排序[53]；时亚楼等从自然状况、环境质量、环境响应入手评价了旅游名胜区的旅游环境适宜性，并针对旅游开发中的问题提出了解决对策[54]。

随着生态旅游的提出和兴起，生态旅游适宜度评价倍受关注。钟林生等引入景观生态学理论，并根据不同景观因子相对于生态旅游活动开展的重要性，提出生态旅游适宜度评价方法，以确定旅游地的生态适宜程度[55]，提出了在保持生态健康的前提下，发展旅游业的思路。

1.3.1.4 土地整理、复垦土地适宜性评价

目前，我国的土地整理主要目标是增加耕地，保持耕地总量动态平衡[56]，这方面的土地适宜性评价也主要是围绕农用地展开的。张献忠等根据生态环境特征，针对土地整理实施前后的土地质量进行了评价，证明土地整理在提高土地的质和量方面都是有效的[57]；刘长胜对广西柳城县未利用地进行适宜性评价，为土地整理的顺利开展提供了依据[58]；高燕对农村居民点用地整理适宜性评价做了探讨，分析了泰安市岱岳区农村居民点用地整理开展的难易程度，为进一步开展土地整理工作提供了参考[59]。

为避免土地整理给生态环境带来的负面影响，对土地整理进行生态评价显得尤为重要[56]。章程等对广西51个岩溶县(市)耕地进行了生态适宜性分析评价，并对此进行了分级排序。以期在土地开发整理过程中能更好地保护生态环境[60]。

城市土地整理尚处在起步阶段，该方面的适宜性评价并不多见，粟辉等以重庆市江北区为例，对需要土地整理的城市土地进行适宜性评价，确定其整理的方

向、措施以及整理的时序，为优化城市土地资源配置提供了科学依据[61]。

在土地复垦土地适宜性评价方面，苏光全等在实地考查的基础上，将全国矿区废弃土地资源进行了分类，并对每一类概括的作了适宜性评价，初步为废弃土地资源的复垦提出有效的技术参考[62]；白中科等经过长期实践研究，在大型露天煤矿土地复垦规划利用中应用了土地适宜性评价，该评价不仅涉及了已复垦废弃地，待复垦废弃地也被列入评价范围，该研究为矿区土地复垦提供了可借鉴的经验[63]；另外，针对高速公路临时用地复垦的土地适宜性评价也有开展[64]，这为废弃土地的重新利用提供了指导。

1.3.1.5 单因素土地适宜性评价

单因素土地适宜性评价在特定情况下针对性强，能抓住要害，非常有效。如邱炳文等从土壤的角度,对武汉市狮子山区蔬菜地、果园地适宜性做了评价，该研究的亮点在于：分别进行了1982、1984、1998年三个时段的土地适宜性评价，这种动态研究有利于及时纠正不良的土地利用行为，以确保土地的可持续利用[65]；苏建平等从土壤的角度出发，对祁连山地区土地进行了农业适宜性评价，并对该区土地资源特征以及存在的问题进行了探讨[32]。

李湘阁等从气候的角度对南京地区茶树生长气候适宜度做了评价，讨论了气象条件对茶叶采摘的影响状况[66]；任健美等对五台山各月旅游活动气候适宜性进行分析评价，为五台山旅游发展规划和游客选择旅游时间提供了科学的依据[67]。

此外，戴福初等从地质环境入手，以兰州市为例，针对城市中各种建设用地对地质环境的不同要求进行了评价分级，为合理的开展城市建设提供了参考[68]。

1.3.2 理论思想不断完善

1.3.2.1.评价指标体系有所变化

首先，评价目的发生了变化。在农用地适宜性评价中，土地环境条件影响并决定着农业土地利用方式及其生产过程。评价主要考虑土地第一性生产力，以及影响土地第一性生产力的各个因子，评价目的是为农业生产服务，以提高土地生物产量，并保护农业生态[25]。

在非农业用地中，一般而言土地只是提供了一种场所，并不强调土地生产能力，评价更注重承载力，多考虑人为活动对土地造成的影响。这一点在非农用土

地适宜性评价中体现的尤为明显。如，郑爱榕等在晋江市进行各种建设用地生态适宜度分析时，就是基于当地环境容量，充分考虑各环境单元之间可能产生的影响而进行评价的，评价结果为晋江市环境区划、功能区调整提供了科学依据[69]。目前，在非农用地评价中，城市用地评价的目的在于优化土地资源配置，提高城市功能的发挥[44, 46]；旅游地评价是为了保持景区环境，为选择最佳旅游方式提供参考[52~54]，以发展具有保护自然环境和维系当地居民质量的双重责任的旅游活动[55]。

其次，评价选取的因子逐渐多样化。农业用地适宜性评价中，选取评价因子多注重自然因素[24, 25]，在经济作物的土地适宜性评价中，经济因素受到了重视[34, 35]；随着城市、旅游以及其他土地适宜性评价的开展与深入，由于不同的土地利用目的，所选评价因子也呈现多样化的特点，在城市用地评价方面，自然因子所占比重大大下降[44, 46]，而经济、社会、环境、生态因子发挥着越来越重要的作用，吕晓剑等在汉阳湖区土地资源评价时考虑了生态环境和景观建设等因素，为合理开发城市湖泊区土地资源和生态保护提供了重要的科学依据[70]。

此外，行为成为目前土地适宜性评价的参评因素之一，在农村居民点用地整理的评价中，所选公众可接受程度[59]，在旅游方面提到的心理承载力[52]，以及在评价时涉及到的舒适度指数、着衣指数[67]等都体现了行为因子的重要性；俞义等在建立水网平原区人居环境质量评价指标体系时，其中一部分影响因子的选择就是基于人的心理进行的[71]。

在土地适宜性评价中，经济、社会、环境、行为等因素的引入使得评价所考虑的因素更为全面，但是由于这些因素可变性较大，这必然会影响到评价成果的可靠程度和持久性，然而如何改善评价方法，还需要进一步研究。

1.3.2.2 景观生态学理论的引入

近些年土地适宜性评价引入了生态学理论，这给评价带来了新的视角。如，欧阳志云等在进行土地适宜性评价时采用了“生态位适宜度模型”，从生态学的角度选取农业生产的影响因子进而进行适宜性评价[72]；在县域土地利用中，郝晋珉等应用景观评价的方法，在分析景观密度、比例、频率、优势度的基础上，引入基质、镶嵌体、廊道等景观因素，并对各种用地类型从景观合理性的角度做了全面评价，并做出了土地利用规划，该研究一定程度上弥补了一般土地适宜性评

价仅从单一用地出发进行研究所带来的缺陷[73]。不过这方面的研究还处在尝试和摸索阶段，基于这种方法进行的评价中，区域尺度、发展水平以及景观结构、功能、景观间相互联系等问题都有待继续探讨。

1.3.2.3 可持续发展观深入人心

土地可持续利用问题近年来已成为土地领域研究的焦点，土地适宜性评价很大程度上是一种现状评价，缺乏对土地未来适宜性的预测[74]，而可持续利用评价就是要使土地适宜性评价能够“动”起来。但是，由于动态系统过于复杂，难于定量研究，该方面的研究主要集中于探讨土地可持续利用的评价指标体系方面[9]，比如，傅伯杰等利用传统的评价方法，从生态、经济、社会三方面建立了土地可持续利用的评价体系[74]；另外彭建等应用景观生态学理论，将海岸带土地多重利用目标和景观格局相结合进行了土地可持续利用在时空上的综合评价、分级，以期使现状土地适宜性评价在时间上得到延续[75]，卢远等以类似的方法做了广西东南丘陵地区土地可持续利用的景观生态评价[76]。这为可土地持续利用提供了新的研究角度。然而在同类研究中，尺度问题，景观生态因子的选择以及评价的标准问题仍值得探讨。

一方面，很多研究者在专门从事土地可持续利用研究，试图实现土地可持续利用的定量分析；另一方面，这种可持续的思想已经渗透到了土地适宜性评价中，比如前文所述及的脆弱区土地适宜性评价，以优化城市土地利用的城市土地利用适宜性评价，旅游地承载力评价等等都是佐证。

1.3.3 技术方法不断推新

1.3.3.1 土地适宜性评价技术方法趋于多样化

土地适宜性评价方法主要体现在确定评价因子及其权重和综合评价方面，在确定因子权重方面，常用的有特尔斐法，但该方法咨询周期较长，而且主观随意性大；线性回归也是常用的确定因子权重的方法[41, 77]，该方法的缺点在于计算时要求较大的样本数量，而且因变量和自变量之间线性关系要比较明显；层次分析法常常被用来确定由多个层次级别构成的因子权重[78]；模糊综合评判[79]也常被用来确定因子权重；岳健等在不断实践的基础上，提出了一种在农用地自然适宜性评价中确定参评因子权重的方法——调试法[80]，该方法简单易行，但是对评价经

验要求很高。

在综合评价方面，张洪业采用了限制评分法[81]，定性、定量相结合做了土地适宜性评价，主要突出了限制性因子在评价中的作用；加权求和法较为综合地考虑了土地适宜性的影响因子，因而一直受到重用[23, 82]；但是加权求和法有时不能突出主要限制因子的作用，而将二者结合进行土地适宜性评价会使结果更加客观、可靠[35]。

线性回归也可被用作土地适宜性综合评价，彭补拙等将土地生产能力作为土地优劣的标准，运用线性回归进行了中亚热带北缘青梅土地适宜性评价[33]，盛建东等也用过类似的方法，模型上利用了投影寻踪回归技术，是一种回归方法的改进[77]。

土地对于其利用方式（尤其是农业）的优劣程度具有渐变性，这符合模糊数学的特点，这使得模糊数学模型在土地适宜性评价中得到了广泛的应用，陈健飞等通过研究对比，得出利用模糊数学模型能较好地解决土地适宜性等级归属模糊性问题的论证，这提高了土地适宜性评价的精度[79]。王建国等在进行土壤质量评价中运用了模糊数学，一定程度上避免了评价中存在的粗糙性、主观性以及评价结果信息量少的弊病[83]；杜红悦等在攀枝花农用地适宜性评价[78]，梁艳平等在城市用地适宜性评价时也都用了该方法[84]。

在进行土地适宜性评价时，一般都要有确定因子权重的步骤，这使得主观因素在所难免，而人工神经网络将这一步交给了网络自学，尤其是 BP 神经网络，近年来不断被应用[64, 85]，针对网络固有的缺点[9]，刘耀林等首先构建了模糊神经网络模型，然后采用改进的遗传算法进行训练，取得了良好的结果[86]，是一种值得借鉴的方法。

此外，张光宇基于可拓学的理论和方法，建立了物元模型，对土地资源进行适宜性及优化配置分析，提出土地优化配置的新方法[87]；张学雷等在海南省1:25万SOTER数据库的支持下，计算了气候危险性，通过运用ALES(Automated Land Evaluation System)模型对该地区四种热带作物做了土地适宜性评价[88]。

1.3.3.2 GIS 技术应用日益广泛

GIS 的兴起为土地适宜性评价带来了技术上的革新，它将空间数据和属性数据完美的结合在一起，并且具有强大的空间分析能力，这使得对土地这种空间复

杂系统的分析、评价更具科学性。因此，GIS 技术在土地适宜性评价的应用得到迅速发展，并表现出了强劲的发展势头。

上世纪 90 年代初黄杏元等最先将 GIS 的原理和方法引入土地评价[89]，进入 90 年代后期，大部分土地适宜性评价都或浅或深的应用了 GIS 技术。

应用 GIS 最广泛的无疑是农用地土地适宜性评价。如，宋如华等以朔州市平鲁区为研究对象，建立了土地资源管理信息系统，进行了土地适宜性评价及土地利用规划，将结果落实到了地块上[90]；程建权总结了 GIS 对空间性指标定量化的空间分析方法，并应用于城镇发展格局优化的研究中，为空间决策提出了一种很好的思路[91]；此外，GIS 在旅游地评价[55]、土地整理复垦方面[58]都有广泛的应用。

针对基于 GIS 的土地适宜性评价中存在的因素选择和定级的问题，黄波利用专家系统中确信度概念进行了改进，提高了评价的精度[92]；胡月明等探讨了基于矢量数据的图层叠加和属性数据获取的新思路，并应用于浙江省坡地土地资源质量的评价中，取得了好的效果[93]；唐宏等探讨了基于栅格数据的土地评价单元的确定方法，并对有关 DEM 和空间叠置分析等技术问题做了研究，以期提高土地适宜性评价的效率[94]；武强等对于在 MapInfo 中如何实现土地适宜性评价因素图的无缝连接、图层叠加等技术做了很好的探讨，并在河北省邱县的农用地土地适宜性评价[95]中具体应用；邱炳文等对 GIS 支持下的各种土地适宜性评价方法进行了对比分析，强调技术和公众参与是进行土地适宜性评价不可缺少的两个层面[96]。

地形因素常常是土地适宜性评价过程中无法回避的问题，处理不当将会影响评价精度，DEM 分析为此类问题的解决提供了强有力的技术支持。李红等利用 DEM 建立了山区日照的地形遮蔽分析模型，并对日照时数、辐射、温度、降水等因子作了地形校正，提高了土地适宜性评价的精度[97]；贺瑜等分析了海拔、坡度和坡向与农业生产的关系，运用 DEM 分析模型进行了土地适宜性评价；张红旗在确定影响柑桔生长的海拔因子时也用到了 DEM[35]。

近年来，GIS 与评价模型集成化成为土地适宜性评价的一个新趋势。陈崇成以福清市土地利用分布为例，集成土地适宜性综合指数模型和地块紧凑度模型，开发了基于地理信息系统的土地适宜性评价系统，为土地适宜性评价和土地利用优化配置提供了很好的决策工具[99]；聂艳等利用组件式开发的农用地分等定级信息系统，对湖北省仙桃市中稻和小麦用地做了土壤质量的分等评价[102]。另外，GIS 与数学模型的集成在土地适宜性评价中也很普遍。比如，线性回归[35、77]、模

糊数学[100]、人工神经网络[101]等数学模型在GIS中的集成使得评价更加灵活、客观。

遥感和GIS的结合也是土地适宜性评价的另一个亮点。白淑英等在退耕还林区做土地适宜性评价时，首先解译遥感影像得到土地利用现状图，并与土地适宜性评价图进行叠加分析，得出不合理土地利用部分，为退耕还林工程的空间布局提供了依据[26]；史周等在调整黄岩区柑橘种植结构时也利用了类似的方法[103]，这不仅提高了对土地利用现状调查的速度和精度，也使得评价结果能迅速得到落实。

1.4 论文特色与创新点

1.4.1 论文特色

在因子的选取方面，论文充分的考虑了北方的土地条件的特点，茶树在北方种植，首要的问题在于茶树是否能安全越冬，所以，重点选择影响茶树安全越冬的因子是一个特色，比如：极端低温和一月平均风速的选择。

DEM在论文中起着重要的作用，高度、坡度、坡向等重要因素都是给予DEM生成的，另外，各气候因子的模拟也是基于此进行的，而且，由于DEM数据的栅格大小为25×25米，为了数据的统一，所有的评价因子都采用25×25米栅格。

GPS野外调查与SPOT5遥感影像解译相结合，外业调查详细记录了所调查地块的边界坐标和海拔高度，调查结果即可以用于辅助遥感解译，又可以验证土地评价结果的精度。

本研究充分利用了GIS对空间数据强大的管理和分析功能，对数据处理和分析，主要在Erdas、Mapgis、Arcview等GIS软件环境下进行，这使得评价工作能够做的更精细，评价结果更具推广应用价值。

1.4.2 论文创新点

1，建立了北方茶树土地适宜性评价指标体系。与南方茶树相比，北方茶树由于地处温带，土地条件与南方有所差别，论文在实地考察和参考文献的基础上，虽然选取的因子与南方已有的研究成果相似，但是每个因子的适宜范围较南方有所不同。

2，本研究利用DEM对选取的各气候因子进行了空间分布的模拟，论文不仅考虑了经纬度对气候因子的影响，而且考虑了起伏地形下不同高度、坡度、坡向

对气候因子的影响，这更符合实际地形下个气候因子的分布，使得所选茶树适宜性评价因子在小地形单元上都能体现出等级区别。

2 研究区概况

2.1 研究区范围的确定

为使茶树适生环境分析评价工作能够在一个合适的研究尺度上进行，以利于更具体的指导茶树推广种植，有必要选择一个相对完整的县级行政区作为研究区，在1：5万比例尺地图上，针对小地形土地单元进行茶树土地适宜性分级。

为此，选择了茶叶发展比较好，在茶树引种过程中积累丰富经验的日照市东部的东港区和岚山区（原日照县辖区）作为研究区，区内地形以丘陵为主，适合茶树土地适宜性评价工作的开展。研究区位置见图3-1。

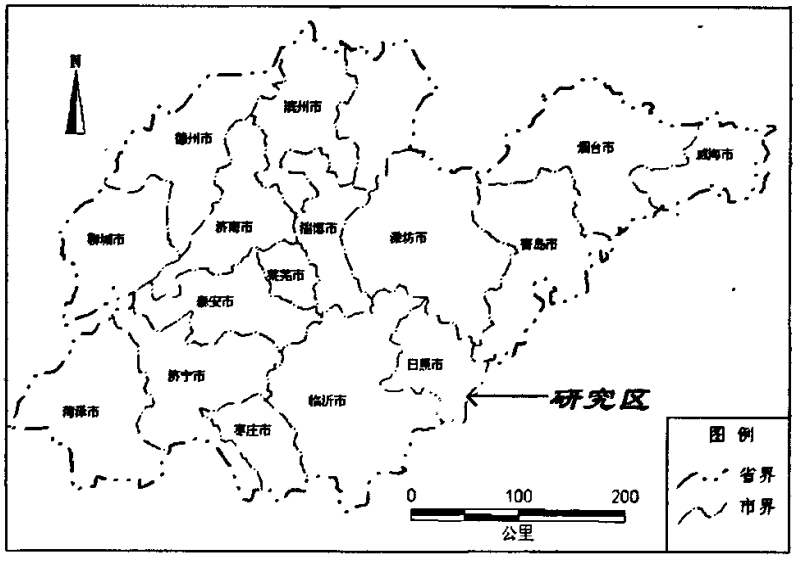


图3-1 研究区在山东省的位置示意

2.2 研究区茶树种植优势

研究区位于东经119° 4′ 45″～119° 39′ 55″，北纬35° 12′ 1″～35° 36′ 25″。地处山东半岛南部，东濒黄海，北邻胶南市、五莲县，西连莒县、莒南县。陆域面积1799平方公里。

研究区属鲁南丘陵区（图3-2），地势由西北向东南倾斜，西北多山，东南低洼多沿海平原，海拔656.9米至1.3米。地貌类型多样，其中山地占9.2%，丘陵占61.3%，平原占21.4%，陆地水面占5.6%，滩涂占2.5%。海拔高程

200 米以上的区域主要分布在西部和西北部，海拔 600 米以上的低山有峤子山、甲子山、平垛山、河山等，峤子山主峰 656.9 米。本区丘陵系沂蒙山系的东伸部分，大体走向为东北偏东向和北偏东向，与冬季风主风向垂直分布，因而产生了许多背风向阳的地形单元，为茶树种植提供了良好的空间。

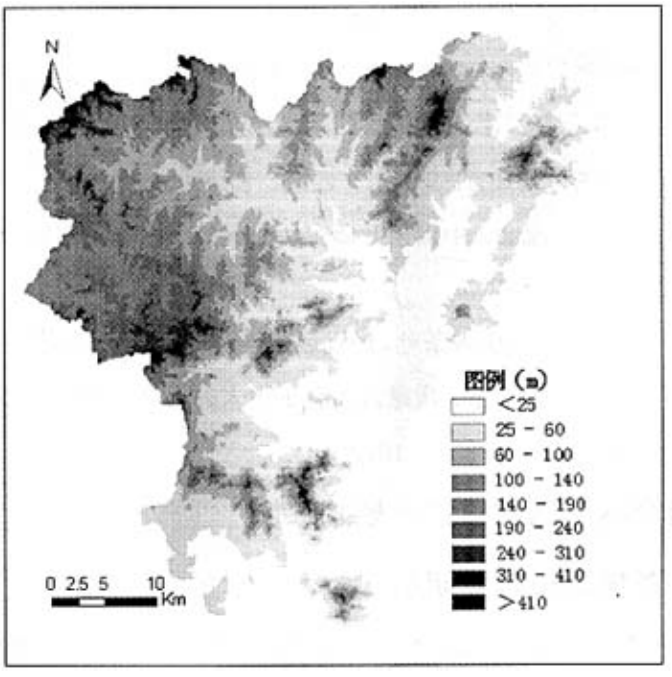


图 3-2 日照市数字高程模型（DEM）

受成土母质、地形、气候等因素的影响，本区形成棕壤（含潮棕壤、白浆化棕壤、棕壤粘土）、潮土(含滨海潮土、河潮土)、水稻土、盐化土、风化土五大类型。以棕壤为主，占总面积的 79.01%，肥力水平中等偏上，土壤有机质一般在 0.6～1%左右， 最高达 1.2%[108]。

研究区属于暖温带季风气候区，年均温 13℃，无霜期 220 天以上，年降水 870mm，≥ 10℃活动积温 4260℃，年平均相对湿度 72%，总体气候条件适合发展茶树种植。

2.3 研究区茶树种植历史

《中国茶叶历史资料选辑》中，据竺可桢研究和有关考古资料指出四、五千年前黄河中下游地区气候湿热，所以关于上古时期这一地区有茶的传说是有可能的。

后由于气温骤然变寒使茶绝迹。据地方志记载，山东在元、明时期，昆嵛山区曾设有管理茶叶生产的机构“茶场提举”。又《中国茶叶》1979 年曾报道：1940 年日本石川县茶叶组合副组长本山亮一来山东调查种茶的可能性，在津浦铁路沿线北纬 36° 以南的旷野中，发现一株唯一的大茶树，“粗有三抱，高达五丈余”。同年日本《茶》刊报道了这一发现，并刊载了大茶树照片一幅，但没有山东省茶的试验、生产记载。

上世纪 50 年代，山东省开始在青岛、日照等地进行“南茶北引”的尝试，1966 年扩大到等 16 个市、县，面积 284 亩，成活率 37%。1973 年 10 月中国农科院茶叶研究所在日照召开 6 省区（山东、西藏、新疆、陕西、河北、辽宁）“南茶北引、西迁”经验交流会。中国茶叶研究所研究员李联标考察认为：“山东南茶北引是成功的”。

日照 1966 年开始引种茶叶，经过近 40 年的发展已经积累了丰富的种植茶树的经验，并在面积和产量、质量方面有了很大的提高。取得了喜人的成果。这打破了“茶树种植北纬 30 度”的结论。

2.4 研究区茶树种植生产现状

2.4.1 茶树种植效益明显

研究区现有茶园 10 万亩以上，其中投产茶园 3 万亩，茶叶年产量达 180 万公斤，面积和产量均居山东省第一位，是长江以北最大的绿茶生产基地。素称“北方第一茶”。拥有 30 多个茶叶品种，远销俄罗斯、欧盟等地。其中，日照绿茶公司生产的“河山青”牌碧绿茶在第 29 届布鲁塞尔国际博览会上获金奖，在第二届中国农业博览会上获银奖，被第三届中国农业博览会认定为国家级名牌产品，与历史名茶碧螺春齐名[104]。该区是南茶北移最成功的地区，研究区内有 10 万亩茶园已发展成为生态茶园，所产绿茶获绿色食品认证[105]。

茶业有利于农民增收。2003 年，日照市东港区投产茶园面积 5 万亩，产量 2800 吨，产值 3.16 亿元，茶叶创收已经成为该区农村的支柱产业[106]。截至 2004 年，日照名优茶已占茶叶总产量的 60%以上，产值占茶叶总产量超过 80%[107]。

2.4.2 研究区茶树种植存在的问题

日照在种植茶树方面取得了很大的成就，茶叶产业也有了很大的发展，这进

一步刺激了茶农种植茶树的积极性，扩大茶树种植面积成为必然的趋势。但是茶树本身是典型的亚热带、热带植物，对北方的自然条件很“挑剔”，由于在扩大茶树种植规模时缺乏科学的、系统的指导，只是凭茶农长期积累的经验来种植，这就产生了试验周期长，引种盲目性大，经济损失严重等问题。一般而言，新开的茶园，茶种播种每亩投资 1000 元，引进茶苗栽植每亩投资 2000 元，可以看出如果引种不成功，茶农的经济损失是很大的。

为了能使茶农根据茶树生理条件和各地的生态条件，有针对性地发展茶叶，避免盲目引种带来的损失，本项研究从影响茶树生长的各个自然要素的分析出发，研究茶树种植的土地适宜性，可以为茶树种植推广提供科学依据。

3 研究内容、方法与技术路线

3.1 论文研究内容

论文研究的内容为日照市茶树土地适宜性评价，具体内容如下：

一，暖温带茶树适生土地条件调查。

通过选取一些具有一定代表性的茶叶种植区，收集这些地区茶叶种植者的意见以及其它已有研究资料综合出具体的暖温带茶树适生土地条件（土壤、气候、地形等）。

二，建立茶树土地适宜性评价指标体系。

影响茶树生长的因素错综复杂，科学的评价指标体系是保证评价工作符合实际情况的关键。以日照市茶叶种植适生环境条件分析作为依据，确定影响茶树土地适宜性评价因子。

三，气候因子的模拟。

气候因子对茶树生长极为重要，论文的气象数据全部来源于气象站点，通过GIS强大空间分析功能，实现了各个气候因子的模拟，得到各气候因子的空间分布数据。这既是论文的技术难点也是论文完成的重要基础性内容。

四，茶树土地适宜性评价方法的选择。

合理的方法是土地适宜性评价成功与否的关键所在，论文主要探讨了GIS空间分析功能和模糊数学模型相结合的方法，并将这种方法应用再茶树土地适宜性评价中。

五，日照市茶树土地适宜性综合评价。

根据以上资料和制定的方法，进行土地适宜性评价，在此基础上划分茶树种植的适宜性等级，编制日照市茶树土地适宜性评价等级图。

六，茶树土地适宜性评价结果检验。

利用2005年11月日照市SPOT5遥感影像解译，结合外业GPS定位考察，获得研究区茶园现状分布图；然后与茶树土地适宜性评价分布图对比，对评价结果进行验证。

七，提出日照市茶树推广种植建议。

在典型区茶树土地适宜性评价的基础上，结合茶叶种植分布现状的分析，找出区域发展茶叶种植的优势与限制性因素，提出优化茶树种植分布的建议。

3.2 研究阶段划分

该研究可分为室内准备，野外考察，室内分析、总结阶段。

3.2.1 室内准备阶段

室内准备主要是收集和分析所需要的各种图件和相关的文字资料及其相关文献。在本研究中，主要收集资料如下：

一. 日照市 1：5 万 DEM。用以模拟研究区内温度、风等茶树生长的气候因子空间分布。

二. 日照市土壤专题图。主要包括 1：5 万日照市土壤类型图等，用以分析土壤肥力状况，不同 pH 值土壤的分布规律，并为适宜性评价分级奠定良好基础。

三. 主要气象站观测资料。通过对研究区及周围地区气候资料的整理，分析气候要素的地域分异特点，以备茶树土地适宜性评价分析研究。

四. 收集各种相关文字资料。如，日照市自然地理状况、茶树栽培的有关资料，茶树种植的论文文献，与各种地图相匹配的资料，关于土地适宜性评价的最新研究资料等等。

五. 遥感数据。选择了日照市 2005 年 11 月 SPOT5 遥感影像数据，用以解译现有茶园分布状况，并为评价结果的检验做准备。

3.2.2 野外考察阶段

野外调查主要集中在研究区进行，配合 1：5 万地形图，沿现有茶树种植线路进行，其目的在于：

一. 初步掌握茶树生长状况的第一手资料，确定不同微地貌下茶树生长的优劣，同时，记录各个茶园的环境状况，比如，地形地势，坡向差别，土壤质地等等，为茶树土地适宜性评价提供定性的指导。

二. 利用 GPS 野外记录地理坐标的优势，记录所有考察茶园的地理坐标（经度、纬度、高程），这为茶园遥感图像解译提供了有效的依据；同时，也可作为茶树适宜性评价是否合理提供一种检验的手段。

三. 通过山东省茶叶推广站和日照市农业局了解研究区茶叶目前的种植规

模，分布特点、冻害情况及其发展计划。

3.2.3 室内分析、总结阶段

在室内准备和野外考察的基础上，还需室内分析总结，得出研究区土地适宜性评价结果，研究主要在 GIS、RS、GPS 技术的支持下，运用定性与定量相结合的方法完成了具体研究任务，包括：

一. 图件矢量化。主要包括日照市土壤类型图（提取 pH 值、土壤质地等）。

二. 基于气象数据和 DEM。结合 GIS 空间分析功能进行光热资源，冬季风速等因子的模拟。

三. 适宜性评价指标体系的建立。并在定性分析的指导下进行土地适宜性评价方法的选择。

四. 利用日照市 SPOT5 遥感影像。进行日照市现有茶园的解译，并将解译结果和评价结果进行比较，以检验评价结果的合理性。

3.3 研究方法、技术及软件环境

3.3.1 研究方法及技术路线

茶树土地适宜性评价和区划根据 FAO《土地评价纲要》中所确定的方法和原则，通过土地质量与茶树的生态要求间的匹配而确定土地的适宜性等级。既具有综合性的特点，又有很强的专业特色。在评价中不仅借鉴已有茶树的土地适宜性评价、区划的研究成果，而且熟悉了研究区域的气候、土壤、等条件，充分利用当地有关部门多年的实验结果，结合茶农和科技人员经验，并运用 GIS 和数学模型相结合的手段，完成了本次评价。评价技术路线如下：

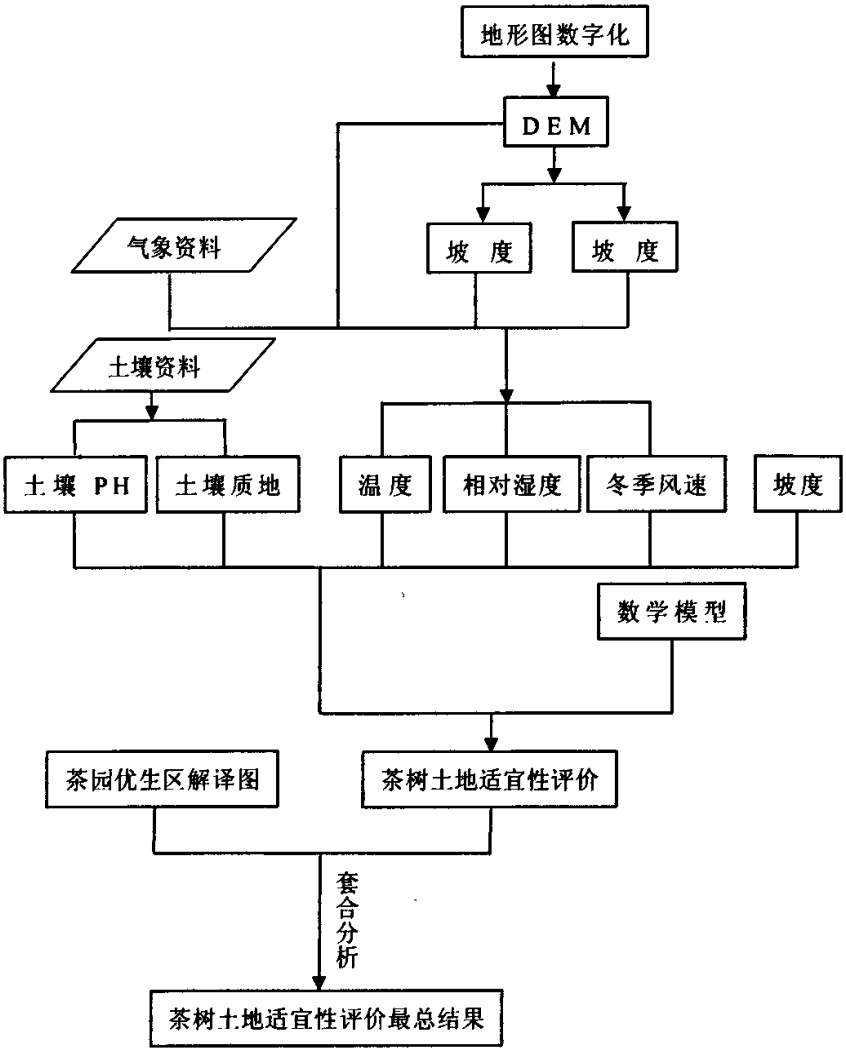


图 2-1：茶树土地适宜性评价技术路线

3.3.2 气候资源模拟软件

ArcGIS 9.1 版：是美国环境系统研究所（ESRI）公司产品中最经典、功能最强大的专业 GIS 产品。它主要有两部分组成，WORKSTATION 和 DESKTOP。本研究中使用 AML 二次开发语言，主要用于太阳直接辐射、散射辐射、风速空间分布的模拟计算，并利用 DESKTOP 中的 ARCMAP 对模拟结果进行显示。

ArcView 3.2a 版：由 ESRI 开发。ArcView 采用了可扩充的结构设计，整个系统由基本模块和可扩充功能模块构成。空间分析模块使桌面用户可以创建、查询、分析基于栅格的光栅地图，可以通过多层数据查询信息。该平台下完成本次

研究主要的分析工作。

Excel 2003：微软公司（Microsoft）的办公系列软件 Office2003 系列中的一个，是本次研究中运用空间统计方法，对各类气象资料的统计整理以及地形信息的提取结果数据进行统计计算和分析的主要工具，挖掘基于统计数据的规律性知识。

Visual Basic 6.0 版：微软公司开发一系列可视化软件开发工具。主要用于太阳辐射的空间分布模拟计算。

Erdas 8.5：ERDAS IMAGINE是美国ERDAS公司开发的专业遥感图像处理与地理信息系统软件。它是以模块化的方式提供给用户的，可使用户根据自己的应用要求、资金情况合理的选择不同功能模块及其不同组合，对系统进行裁减，充分利用软硬件资源，并最大限度的满足用户的专业应用要求。本部分主要利用其进行数据预处理工作。

3.3.3 土地适宜性评价软件

DPS 7.55版：由浙江大学教授唐启义开发的数据统计分析软件。本研究中主要利用其进行区划和适宜性评价所选影响因子的权重确定。

Matalab 6.5版：由美国The Works公司开发。本研究的区划和适宜性评价的主要工作在此软件中完成。

Erdas 8.5：ERDAS IMAGINE是美国ERDAS公司开发的专业遥感图像处理与地理信息系统软件。利用其对区划和土地适宜性评价结果进行三维显示。

4 茶树土地适宜性评价指标体系

4.1 暖温带茶树生物地学特点

茶树生长需要的环境条件主要包括日照、热量、水分、空气、地形地势（排水条件）、土壤等方面。

茶树通常是在亚热带的环境条件下生长，已有的研究大多是基于南方自然条件进行的。在山东省进行适宜性评价时，除了要参考已有的经验和资料外，更要注重研究北方茶树的土地适应性。因此，本研究在分析已有研究成果的基础上，经过实地调查，搜集当地科技人员和茶农种植经验，对暖温带茶树生物地学特点有了较为深入系统的认识。

4.1.1 茶树温度需求特点

茶树春梢萌动的起始温度，多数品种为日平均气温稳定在10℃左右，大部分茶树生长的最适合温度在20～30℃的范围内；茶区温度低于10℃或者高于35℃时，新梢生长比较慢[109]。山东省年平均温度在12℃以上，日照市多年平均温度在13℃以上，年平均温度能满足茶树生长。

低温会使茶树受害。在冻结温度以上（≥0℃）的低温危害称冷害（或寒害），而在冻结温度以下（＜0℃）的低温危害则称为冻害。茶树耐低温的能力因品种、年龄、管理、季节等条件的不同而不同，例如，茶树大叶种多能忍受-5℃左右的低温，中、小叶种忍受低温的能力更强，一般在-10℃左右，而在雪覆盖的情况下，也可忍受-15℃的低温侵袭[109]。山东丘陵地区引种的茶树经过长期的环境适应，耐旱耐寒性都有很大的提高，在日照市的茶园记录中，出现过-18℃的极端低温茶园仍能安全越冬的纪录。

冬季风速的大小是引起茶树冻害的重要因子，冬季风速过大，气温迅速下降，同时茶树会产生生理性失水现象，造成茶树冻害。所以，冬季风速小的区域，有利于茶树安全越冬。

4.1.2 茶树水分需求特点

南方茶树生长地区年降水量一般在1000～1400mm，月降水量不少于50mm[109]。山东丘陵区降雨绝大多数地区达不到1000mm，但是在700—900mm的区域，由于茶树耐旱性的提高，加之适量的灌溉补充，仍基本可以满足茶树生长的需要。

茶树生长期空气湿度会影响茶叶的品质。南方地区的经验，相对湿度在80～90%比较适宜茶树生长，若小于50%，新梢生长会受到抑制，而低于40%茶叶品质明显下降[1]。山东丘陵区相对湿度达不到80%，但是都大于50%，基本在60～70%，实践证明这些区域茶树生长良好，茶叶品质也较高。

4.1.3 茶树地形需求特点

地形地势包括海拔高度，坡度坡向等。地形地势不同，光、热、水、气、土、肥等条件会发生相应的变化，因而会影响茶树的生长发育和产量品质。

第一，海拔高度的不同对茶树的生长会有一定的影响。随着海拔的升高，山地上的月平均气温、年平均气温、活动积温有明显的变化。一般而言，海拔上升100米，温度降低0.6，山越高，气温越低，积温越少。其次，山地的降水量在各高度上也是不相同的。在2000米最大降雨高度以下，降水随着高度的增加而增加。山东的茶树种植都在这一高度以下，因此在全省范围内研究降水量空间分布状况对茶树种植区划意义重大；而在县域范围内，尤其是地势起伏不太大的情况下，降水的差别不是很大。

第二，坡度、坡向的不同也会导致茶树生长状况的不同。古书《茶经》中指出："茶地斜坡为佳，聚水向阴之处，茶品遂劣。故一山之中，美恶相悬。"山东省鲁中南、鲁东丘陵地区均具有适合茶树生长的地形条件；典型研究区日照市主要也是以起伏的地形为主（图4-1），有利于茶树的种植。

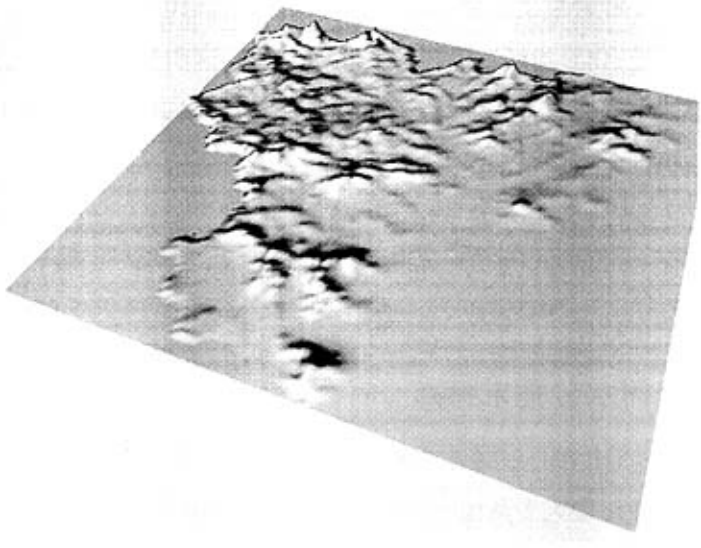


图4-1 典型研究区三维地形虚拟

坡度和坡向的不同，导致坡地上日照时间和太阳辐射强度都有很大差别，于是形成了不同坡向间的小气候差异。在我国主要产茶区，偏南坡（阳坡）获得的太阳辐射多，所以热量多，温度高；而北坡正好相反，东坡和西坡介于二者之间。将茶树从南方引入北方，其对各种气候因素更加敏感，坡度、坡向对茶树种植有更强的影响。

第三，地形起伏对茶树冻害影响很大，在冬季晴天的条件下，由于冷空气向低洼地带汇集，谷底温度低，常引起冻害。但遭遇冷空气袭击时，坡顶的温度最低，谷底温度相对较高，坡顶容易受到冻害，同时坡底地势较平坦，可能产生积水现象，这可能产生茶树的烂根现象，所以茶树应避免在坡顶和坡脚处种植。

4.1.4 茶树光照需求特点

光照是茶树进行光合作用制造有机质所必须的能量源泉，所以，分析茶区的光照条件，对茶树土地适宜性评价有重要的意义。

首先是日照时数，日照时数的多少影响着茶树的生长和茶叶的品质，日照时数的多少不仅决定着光合作用的强弱，而且还影响着茶树种植区的热量，温度等，所以要成功地种植茶树，日照时数必须达到一定的要求，在我国的江北茶区，年日照时数达到 2200 小时，日照百分率在 50%左右，能够满足茶树生长，但是由于地形因素的影响，使得不同地貌部位的日照时数有所不同，正是这个因素使得茶树生长在局部地形上有巨大的差别。

其次是漫散射，一般而言，在漫散射多的情况下，蓝紫光增多，这有利于光合作用的进行以及营养物质的积累[109]。尤其在夏天，要求增加蓝紫光来增强光合作用，更多的积累茶多酚的含量，以提高茶叶品质。在不同的地形下，漫散射的多少不同，一般阳坡多于阴坡；在山东沿海地区，水汽登陆常常能形成雾天，这能很好的阻挡太阳直接辐射，增加散射辐射。

4.1.5 茶树土壤需求特点

土壤是茶树生长的基础，茶园土壤条件的好坏决定茶叶产量、质量。

首先是土壤质地，土壤质地有粗细之分，它影响着茶园土壤肥力的高低和茶园生产潜力的大小，我国现今的名茶一般都生长在质地粗松，有机质含量丰富的砂砾土、砂土上，

其次是土壤 pH 值，茶树适宜酸性土壤，宜茶的土壤 pH 值一般在 6.5 以下。

如果超过 6.5，茶树生长就会受到不良影响[109]。山东丘陵区长期的栽培试验结果表明，暖温带弱酸性的土壤环境也能产出高质量的茶叶，山东郯庐断裂带以东的丘陵地区大部分属于棕壤区，pH 在 5.5-6.5 之间，鲁中南丘陵山区也有部分酸性土壤分布。

4.1.6 茶树生长地质背景分析

岩性可以决定成土母质，进而决定他的酸碱度，氮、磷、钾含量等，更重要的是地质背景决定了土壤与地下水的化学成分，土壤及灌溉水源中微量元素的存在，是产生优质茶的重要因素。

山东东部丘陵地区，主要基岩为花岗岩，其中含有黑云变粒岩，磁铁石英岩等早期变质岩俘虏体，矿物质丰富。通过对 K、Ca、Mg、Fe、Mn、B、Cu、Zn、Mo、Cr、Pb、Se、Hg 等元素含量的测定，主要营养元素 K、N，有益元素 Mg、Fe、Mn、Cu、Zn 均高于世界平均水平，并且大部分高于南方水平，尤其是 Se（硒）高出世界平均水平 10 多倍，也高出南方茶区数倍，而有害元素 Cr、Pb、Hg 则低于世界平均水平，这为茶树种植奠定了良好的基础。

4.2 评价因子的选择

4.2.1 评价因子选择原则

第一，因地制宜原则。影响茶树种植的因素区域差异性很大，我国以前的茶树土地适宜性评价主要见于南方，评价因子也具有南方特色，而这些可参考的评价因子中，部分情况与北方不符，所以评价时应密切结合本地的实际，科学地确定评价因素及指标等级。

第二，综合性和主导因素相结合原则。土地是在特定时空条件下，由地貌、土壤、气候、水文等要素组成的自然综合体，并受到人为因素的影响。土地的性质取决于这些因素的综合作用；但是各个因素的作用大小是不等同的，在特定的时间和空间里某些因素起主导作用。因此，在强调综合分析的基础上，抓住主要限制因素和主导因素进行分析评价尤为重要。

第三，稳定性原则。在选择因子时，尽量选择那些较长期影响茶树生长和茶叶质量的因子，以便据此评判土地对于茶树种植的适宜性及利用的稳定性程度。而对于那些在人为因素下具有易变性的因子则不宜采用。

第四，空间变异性原则

土地适宜性评价的结果是要给出研究区内各评价单元种植茶树的适宜性等级。所以应该选取那些在区域内有较大的变化且其变化对茶树生长影响显著的因子。如果评价指标在空间上变异很小，就很难划分土地适宜性的等级。

4.2.2 评价因子的选择

虽然茶树生长与自然条件之间的关系有许多成熟的研究，但是由于茶叶是典型的热带亚热带作物，已有的研究大多是基于南方自然条件进行的，所以进行日照茶树土地适宜性评价时，除了要参考已有的经验和资料外，更要立足于北方自然条件。

本研究在分析了已有研究成果的基础上，结合野外调查，总结当地科技人员和茶农的经验，分别从土壤、温度、辐射、空气、地形、水分等因素出发，选择了土壤 pH 值、土壤质地、最低月均温、极端低温、散射辐射、一月平均风速、坡度、坡向、年平均降水、相对湿度等 10 项评价因子。

由于在辐射的模拟中，已经考虑了坡向因子，所以评价不再将坡向单独作为一个因子参评。但是，定性的考虑，在北方地区，受气温、辐射、寒潮的影响，被迫不能种植茶树，所以评价之前，已将北坡（0°～30°，330°～360°）除去；另外，评价只限于日照市东港区和岚山区，尽管降水对于茶树种植很重要，但由于该区降水基本能满足茶树生长需求，而且年平均降水在评价区内空间变化较小，所以年平均降水也没有作为最后的参评因子；除掉上述两项因子，最后遴选了土地适宜性评价的 8 项参评因子（图 4-2）。

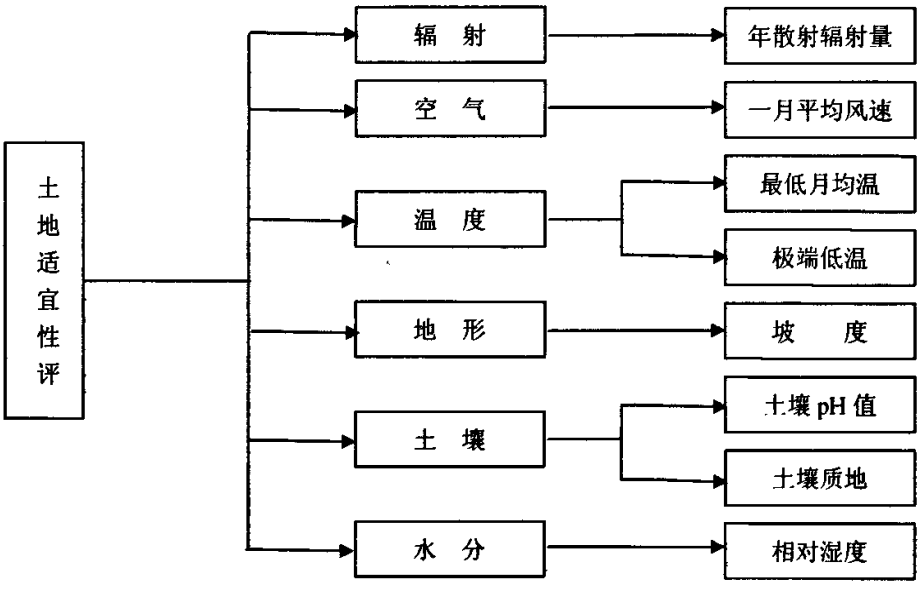


图 4-2 土地适宜性评价参评因子

（第二列为评价因素，第三列为评价因子）

5 基于GIS评价因子的实现

5.1 数字高程模型（DEM）

5.1.1 数字高程模型简介

数字高程模型是通过有限的地形高程数据实现对地形曲面的数字化模拟或者说是地形表面形态的数字化表示，英文为 Digital Elevation Model，简称DEM[111]。

数字高程模型（DEM）是表示区域 D 上的三维向量有限序列，用函数的形式描述为：

$$Vi = (Xi, Yi, Zi)\ i = 1,2,\ldots,n$$

其中，Xi，Yi 是平面坐标，Zi 是(Xi, Yi)对应的高程值。当该序列中各平面向量的平面位置呈规则格网排列时，其平面坐标可省略，此时，DEM 就简化为一维向量序列{Zi，i=1,2,3,…，n}。

与传统地形图比较，DEM 有如下特点：

(1)容易以多种形式显示地形信息：地形数据经过计算机软件处理，并进行一定的编辑、修改[112]产生多种比例尺的地形图、纵横断面图和立体图。而常规地形图一经制作完成后，比例尺不容易改变，若改变或者绘制其它形式的地形图，则需要大量的人工处理。

(2)精度不会损失：常规地图随着时间的推移，图纸将会变形，失掉原有的精度。而 DEM 采用数字媒介，因而能保持精度不变。另外，由常规的地图用人工的方法制作其它种类的地图，精度会受到损失，而由 DEM 直接输出，精度可以得到保证。

(3)容易实现自动化、实时化：常规地图要增加和修改都必须重复相同的工序，劳动强度大而且周期长，不利于地图的实时更新。而 DEM 由于是数字形式的，所以增加或改变地形信息只需将修改信息直接输入到计算机，经软件处理后立即可产生实时化的各种地形图。

总之，数字高程模型具有以下显著的特点：便于存储、更新、传播和计算机自动处理；具有多比例尺特性，如1m分辨率的DEM自动涵盖了更小分辨率如10m和100m的DEM内容；特别适合于各种定量分析与三维建模。

DEM 是多学科交叉与渗透的高科技产物，已在测绘、资源与环境、灾害防治、国防等与地形分析有关的各个领域发挥着越来越大的作用，也在国防建设与国民生产中有很高的利用价值。例如，在民用和军用的工程项目中计算挖填土石方量；为武器精确制导进行地形匹配；为军事目的显示地形景观；进行越野通视情况分析；道路设计的路线选择、地址选择；不同地形的比较和统计分析；计算坡度和坡向，绘制坡度图、晕渲图等；用于地貌分析，计算侵蚀和径流等；与专题数据进行组合分析等等。并且还可以由 DEM 派生出平面等高线图，立体等高线图，等坡度图，晕渲图，通视图，景观图，立体透视图等。因此，DEM 具有广泛的应用前景与潜力。

5.1.2 DEM 的表示方法及特点

数字地形通常有等高线、规则格网(Grid)和不规则三角网(TIN)3 种不同的表示方法。通常所说的数字高程模型主要是指规则格网 DEM 和不规则三角网 TIN[113]。这两种形式的地形模型，结构相对简单，易于建立拓扑关系，以及对模型进行可视化和分析。其中由于规则格网 DEM 在生成、计算、分析、显示等诸多方面的优点,应用更为广泛。

5.1.2.1 规则网格(Grid) DEM 表示法

为了减少数据的存储量及便于使用管理，可利用一系列在 X，Y 方向上都是等间隔排列的地形点的高程 Z 表示地形，形成一个规则格网 DEM。

在这种情况下，除了基本信息外，DEM 就变成一组规则网格存放的高程值：

$$DEM=\{H_{ij}\},\ i=1,2,\ldots,m-1,m;\quad j=1,2,\ldots,n-1,n.$$

此时，DEM 来源于直接规则格网采样点或不规则离散数据点内插产生。规则格网 DEM 的优点不言而喻，如数据结构简单、便于管理和进行各种分析，以及制作立体图等。高程矩阵特别有利于各种应用，但规则格网 DEM 也有缺点：

a. 地形简单的地区存在大量的冗余数据。

b. 如不改变格网大小，则无法使用于起伏程度不同的地区。

c. 如果栅格过于粗略，不能精确表示地形的关键特征，如山峰、洼坑、山脊、山谷等。

为了压缩栅格 DEM 的冗余数据，可采取用游程编码或四叉树编码方法对数据进行处理。

5.1.2.2 不规则三角网(TIN)表示法

为克服规则格网的缺点，可采用附加地形特征数据，如地形线(山脊线、山谷线、断裂线、水涯线等)和地形特征点等，从而构成完整的 DEM。将按地形特征采集的点按一定规则连接成覆盖整个区域且互不重叠的许多三角形，从而构成一个不规则三角网来表示 DEM，通常称为不规则三角网 DEM 或 TIN。

不规则三角网(Triangulated Irregular Network，缩写为 TIN)克服了高程矩阵中冗余数据的问题，其最主要的优点就是可变的分辨率，可根据不同地形，选取合适的采样点数，即当表面粗糙或变化剧烈时，TIN 包含大量的数据点，而当表面相对单一时，在同样大小的区域 TIN 则只需要少量的数据点；另外，TIN 还具有考虑重要表面数据点的能力，能充分利用地貌的特征点、线，较好地表示复杂地形；进行地形分析也很方便。许多年来，它一直是人们的研究的热点[114]。当然，正是这些优点导致了其数据存储与操作的复杂性，因而不便于规范化管理。

不规则三角网 TIN 和规则格网 DEM 是可以互相转换的。在现今的 GIS 系统中，基本上均支持以上两种数据格式，并提供相互转换功能。

5.1.3 DEM 的发展及研究现状

数字地面模型是 20 世纪 50 年代由美国 MIT 摄影测量实验室主任米勒(C. L. MILLER)首次提出的，并用其成功地解决了道路工程中土方的估算问题。60 年代，对数字高程模型的研究主要集中在对插值方法的研究上，并提出了一些实用的算法，如移动曲面拟合法、多面函数法、最小二乘内插法和有限元内插法等。70 年代初，数字高程模型的研究和应用迅速发展，除了工程应用之外，主要研究利用离散点或断面线高程数据自动绘制等高线图。70 年代中后期，对采样方法进行了较深入的研究。80 年代以来，对 DEM 的研究已涉及到 DEM 系统的各个环节，其中包括用 DEM 表示地形的精度、地形分类、数据采集、DEM 的粗差探测、质量控制、DEM 数据压缩、DEM 应用以及不规则三角网 TIN 的建立与应用等。进入 90 年代，随着地理信息系统的发展，DEM 在 GIS 中得到广泛应用，已成为地理信息系统的一个重要的组成部分。由于 DEM 具有广泛的应用价值，国内外已将其作为国家基础地理信息产品之一[115]。

5.1.4 研究区 DEM 数据概况

图 5-1 是日照（东港、岚山）DEM 光照晕渲图。DEM 为 1：5 万比例尺，

其空间分辨率为 25 米，采用 Transverse Mercator 投影，椭球体为 krasovsky。表 5-1 为研究区 DEM 数据的信息统计。

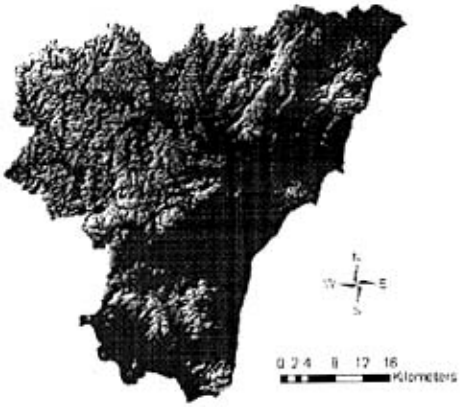


图 5-1 研究区光照晕渲图

表 5-1 DEM 信息统计表

地区	平均值（m）	最大值（m）	最小值（m）	标准差
日照市（1∶5 万）	75.85	650.00	0.00	75.35

5.1.5 DEM 在气候因子模拟中的作用

山区气候的形成，除纬度、离海洋距离远近及大气环流等背景条件外，在很大程度上受到山区本身地形特点的影响。GIS 的发展以及 DEM 的建立，使得区域气候因子的模拟得以实现。由于地形因子对山地气候影响作用显著，精确的地形分析将大大提高山地气候资源模拟的精度。而 DEM 恰恰能够提供经纬度、高程信息以及坡度、坡向、地形粗糙度等地形因子信息，这为气候资源的逐栅格空间推算提供了条件，最后还可用来对模拟结果进行可视化表达。

在气候资源模型的计算中引入 DEM，不仅可以提高计算速度、增加模拟的精确性，而且还能对模型起到优化的作用。同样，数字高程模型的地形描述精度在很大程度上受其信息源精度与栅格分辨率的影响，了解研究的空间尺度条件，选择适用的 DEM 是进行太阳辐射、地表温度、风等气候资源有效模拟的基础。关于不同比例尺的 DEM 对模拟精度的影响程度，杨昕[116]通过对比同一地区 1：1 万，1：5 万，1：25 万 DEM 模拟太阳辐射的误差分析发现，随着比例尺的减小，模拟结果的精细程度降低，地区差异减小，模拟值增大。1：1 万和 1：5 万的模拟结果的精度较为接近，1：25 万的模拟结果则误差较大。在实际应用中，应该考

虑研究的地域范围、研究的目的以及数据生产的可能性选择恰当比例尺的DEM，土地适宜性评价之类的小尺度、要求较为精细的研究项目宜使用大比例尺的DEM，而区划等大尺度、大区域的研究项目则可使用较小比例尺的DEM。故研究在茶树土地适宜性评价时，由于研究区的范围较大，生产1：1万比例尺DEM比较困难，故选择使用日照（东港区、岚山区）1：5万的数字高程模型进行气候因子的模拟。

基于DEM的气候因子模拟能够为农业区划及农业资源评价提供依据，对于更加有效的利用气候资源，也有着重要的意义。通过研究区域太阳辐射、温度、风速的差异与植物生长条件之间的关系，为进行合理的种植提供决策参考，实现最佳的生态与经济综合效益。基于DEM的气候因子的模拟，为进一步探求地形对区域气候资源空间分布的影响，研究气候资源的空间分布规律与可视化表达提供了新的研究手段与研究思路，也为GIS拓宽了应用研究的领域。

5.2 基于DEM散射辐射模拟

5.2.1 太阳辐射研究进展

太阳辐射是地表热量的主要来源，是大气中一切物理现象、物理过程形成、发展变化以及植物生长发育最基本的能量源泉。丘陵、山地区太阳辐射深受地表起伏形态的影响。海拔高度、坡度、坡向以及周围地形遮蔽的作用，造成山区各部位接受到的太阳辐射能量有很大的差异，继而影响温度、湿度、降水等气候条件，形成独特的丘陵山区小气候。因此计算太阳辐射量在实际地形下的空间分布有重要的意义。

国外考虑地形因素的太阳辐射模型的研究始于20世纪60年代。由于传统太阳辐射分析方法存在缺陷，60年代计算机的出现使得气象气候学者的研究从基于物理的太阳辐射分析过程转到太阳辐射模型的数学表达[117, 118]。随着GIS的广泛应用，二十世纪九十年代以来，气象学者以及少数GIS专家都将目光集中于太阳辐射模型与GIS的结合。在这方面已经取得了一些进展。Dozier（1990）首先提出利用数字高程模型模拟太阳的方法，使模拟精度更高、空间性更强。并且与James一同提出了能显著减少大数据量运算时间的快速算法[119, 120]。Dubayah（1990、1992）提出建立地理信息系统中的太阳辐射模型[120, 121]。Kumar、Skidmore和Knowles于1997年也提出运用数字高程模型计算晴空条件下太阳直接辐射

和散射辐射的模型，该模型可用于计算平原和山地的太阳辐射[117]。遥感工作者Gilabert (1990)[122]，Civco(1993)[123]在这方面探讨了任意地形条件下的辐照入射度模拟。Oscar Van Dam(2003)进行了太阳辐射模拟[124]，Javier G.Corripio(2003)针对太阳辐射建模在算法上进行了讨论[125]。

国内研究太阳辐射模型的主要是气象学者。南京大学的傅抱璞、南京气象学院的翁笃鸣、北京气象中心的李占清、中科院地理所的左大康等人在这方面作出了很大的贡献。对于任意地形条件下太阳辐射的开创性研究是由傅抱璞（1983）[126]做出的。李占清、翁笃鸣（1988）、朱志辉（1987）[127~129]等发展了这一方法，并引入了实际山地中的散射辐射和总辐射的模拟。提出了一种计算山地总辐射日平均通量密度的计算机模式，不过它的试验基础是基于自行划分的格网数据。在总结前人研究的基础上，他们还对坡面的散射辐射和反射辐射作了仔细的研究，提出了一种通用性较强的坡面散射辐射通量密度的计算模式。其提出的丘陵山地总辐射适用于任何地区各种地形下的总辐射的数值模拟。李新（1996）[130]等首次利用数字高程模型进行太阳辐射的模拟，并在随后（1999）[131]进行了改进，取得了很好的模拟结果。陈华（2002）[132]利用DEM进行日照时数的模拟，将结果与气象站数据进行对比，证明具有很高的一致性。何洪林(2003)[133]等建立了太阳潜在总辐射计算模型；邱新法在博士论文中提出了起伏地形下太阳辐射资源空间的分布模型；曾燕（2003）[134]、（2003）[135]、（2005）[136]等对我国可照时间的空间分布以及黄河流域的天文辐射、直接辐射空间分布进行了模拟。但他们所用的DEM大多为大尺度上的研究项目服务，分辨率比较低，仍不能明显地体现太阳辐射在局地的再分配与小气候的差异性。杨昕（2004）[116]在硕士论文中对不同比例尺（1：1万，1：5万及1：25万）DEM、不同地域（秦岭山区、黄土丘陵沟壑区）太阳辐射模拟结果的差异性进行了比较并分析了其应用适宜性问题。叶晗（2004）[137]等利用ARC/INFO AML开发出山地入射潜在太阳辐射模型，实现对地面所获得太阳辐射量的数值模拟。

5.2.2 丘陵区散射辐射的模拟

5.2.2.1 技术流程

日照市属于丘陵区，在起伏地形下实际的散射辐射的计算比较复杂，这里既要考虑山坡本身和来自周围山地的地形遮蔽，还要考虑由周围山地反射而到达的山坡的一部分散射辐射。

模拟首先应该模拟一年内每一日的散射辐射量，然后逐日累加辐射量，得到年散射辐射总量，但是由于难于取得日照市每一日的云量信息，所以，论文选取当月平均云量信息，以每月 15 日为代表日先计算平均日散射辐射，然后乘以当月天数，得到月散射辐射总量，再将月散射辐射累加得到年散射辐射总量。下图是日散射辐射模拟技术流程：

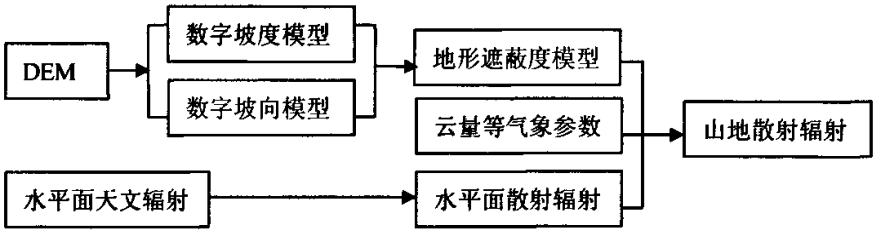


图 5-2　散射辐射模拟技术流程

5.2.2.2 模拟步骤：

（1）利用数字高程模型计算数字坡度模型和数字坡向模型。

（2）计算一天的地形遮蔽度（Kd）因子。

（3）计算平地的天文辐射量S_0。

（4）计算平地的散射辐射量D_0。

（5）计算云量函数$F(n)$的值。

（6）利用 GIS 的多层信息复合方法计算散射辐射。

其中，散射辐射计算模型如下：

李占清、翁笃鸣给出了山地散射辐射的气候计算模式：

$$D_{\alpha\beta} = K_d[D_0 \cos^2(\frac{\alpha}{2}) + 35.1F(n)\cos(1.09h')\sin(1.42\alpha)\cos(\beta - A')]$$

h'和A'为正午时刻太阳高度角和太阳方位角，Kd为地形遮蔽度因子，$F(n)$为关于云量的函数，D_0为水平面的散射辐射通量密度。

$$Kd = \frac{\cos\alpha[1-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sin^2 h_i'] - \sin\alpha[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}((h_i' + \frac{1}{2}\sin 2h_i')\cos\psi_i))]}{\cos\alpha[1-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sin^2 h_i] - \sin\alpha[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}((h_i + \frac{1}{2}\sin 2h_i)\cos\psi_i))]}$$

$$\psi_i = \frac{i}{n} \cdot 2\pi$$

$$h_i = \arcsin \frac{-\cos(\beta - \psi_i)}{[\cot^2 \alpha + \cos^2(\beta - \psi_i)]^{1/2}}$$

其中，h_i' 表示周围地形对坡地遮蔽角，它随与坡地的相对方位角 ψ_i 而改变。h_i 表示开旷的理想坡面，坡地自身形成的遮蔽角。

$$F(n) = 1 - 0.08n_t - 0.02n_l$$

$$D_0 = S_0(a + bn' - cn'^2)$$

$$n' = C_t n_t + C_l n_l$$

$$S_0 = \frac{24}{\pi} I_0 E_0(\omega_s \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \sin\omega_s)$$

其中，n_t 为总云量，n_l 为低云量，以百分数代入，S_0 为平地的太阳天文辐射量，ω_s 为太阳日落时角，C_t，C_l 为权重系数，a,b,c 为经验系数。论文采用翁笃鸣的实验结果，C_t，C_l，a,b,c 的值分别为 0.07，0.03，0.034，0.701，0.710。

5.2.2.3 模拟结果与分析

日照市年散射辐射模拟的时间为 2000 年。由于气象资料的缺乏，代表日的总云量与低云量都采用当月的月平均值，模拟结果如图 5-3 所示。

表 5-2 日照市 2000 年各月平均云量 单位：%

	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一	十二
低云量	33	10	9	15	30	41	46	51	33	48	29	17
总云量	54	34	37	48	54	66	66	75	52	63	49	37

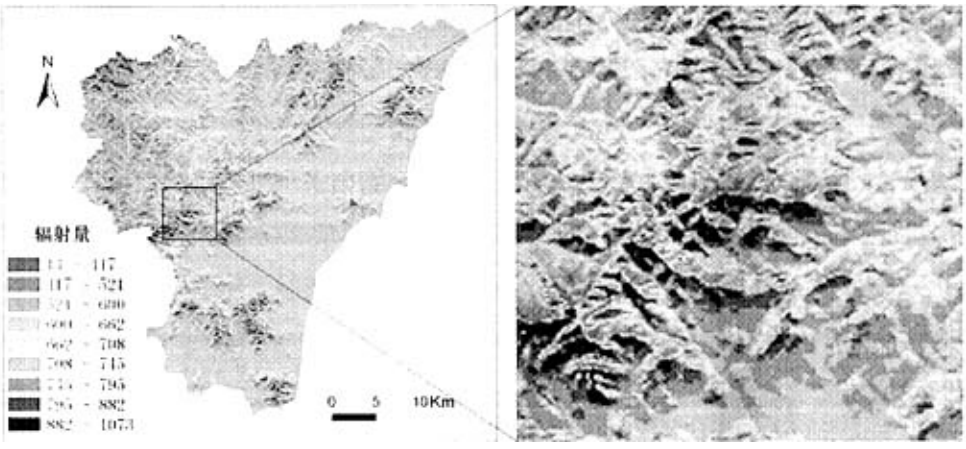


图5-3 研究区年散射辐射量分布图（单位MJ/m²）

表 5-3 散射辐射量统计表（单位 MJ/m²）

类别	最小值	最大值	平均值
年总量	14	1073	721

散射辐射的强弱与太阳高度角及大气透明度有关。太阳高度角增大时，到达近地面层的直接辐射增强；散射辐射也相应增强；相反的，太阳高度角减小时，散射辐射也弱。天空有云出现即大气透明度差时，参与散射作用的质点增多，散射辐射增强；反之，减弱。

在图 5-3 中，从冷色调的绿色到暖色调的红色，辐射量逐渐增大，由表 5-3 可以看出，散射辐射的年总量平均值为 721MJ/m²。其中最大值为 1073 MJ/m²，最小值为 14 MJ/m²，从散射辐射的地形分布规律来看，散射辐射的分布受地形遮蔽条件和坡向因子的影响，最大值出现在阳坡和山脊处，最小值位于阴坡和山谷中。

5.3 基于 DEM 的温度分布模拟

5.3.1 温度模拟研究进展

气温是最重要的气象要素之一，对农业影响尤为显著，是农作物生长、发育和产量形成的关键。因此气温在实际地形下的空间分布特征、变化规律对人们的生产活动具有非常大的影响[139]。由于纬度、海陆分布以及地势地貌与下垫面的

特性不同，造成气温在空间分布上有明显的区域差异，在地形复杂而观测资料稀少的地区，气温的空间分布的推算一直以来是一个难题。

国外，Mccatchan 探讨了山区温度场的预报问题[140]，栗原弘一等研究了 1 km × 1km 网格的气温推算问题，Joan Sohumaker 给出了气温多元回归模型[141]。近年来，美国 Oregon 州立大学空间气候研究中心建立了 PRISM(Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model)模型在该方面研究影响比较大[142, 143, 144]，该模型是一种基于地理空间特征和回归统计方法生成气候图的专家系统，可以进行大范围的气温推算。国内，自 20 世纪 70 年代中期，一些学者相继提出了一些用数值统计模拟方法来推算气温分布的模式。综观这些研究成果，气温要素的推算方法主要有:（1）分离综合法。这是一种分项叠加的方法，傅抱璞[145]、卢其尧[146]作了较为完整的论述。此方法从理论上以及实际处理上都较合理，是目前各地用得比较普遍的一种方法。但该方法不能满意地解决小地形订正值的估算问题且需要小地形考察资料。（2）成因分析法。这种方法在山区温度形成的成因分析上比较合理，抓住了主要影响方面[147]。这种方法是建立在野外考察资料基础上的。（3）回归余项法。此方法由沈国权[148]提出，他认为，平均气温可表示为地理纬度、经度、拔海高度的多元一次回归方程，其回归余项为地形影响项。上述方法，实际上都是以回归方程为基础。受经度、纬度、海拔等基础地理信息获取手段的限制，传统的气候资料推算方法多集中在局部区域。不同气候要素在不同地区呈现不同的空间分布规律，这极大地限制了气候要素空间扩展研究的进行，也不利于气候要素空间分布规律研究的深入[149, 150]。

随着地理信息系统(GIS)的迅速发展，在 90 年代后期，GIS 技术开始被用于气温资源的定量评估分析，提高了分辨率，大大减少了工作量。陈晓峰[151]、张洪亮[152]、程路[153]、杨昕[116]等在气象站点实测数据基础上，利用 GIS 技术获取影响山地气温分布的地形要素进行了气温空间分布的推算，由于这些推算方法是建立在地理信息和计算机技术的基础上，可更好的反映气温分布的一些细部特征从而提高分辨率。

5.3.2 气温分布的影响因子

影响气温分布与变化的因素很多，主要有经度(主要考虑离海远近)、纬度(主要考虑太阳辐射)、所在大山系的走向、气候背景条件、测点的海拔高度、地形

条件(坡向、坡度、地形遮蔽度等)和下垫面性质(土壤、植被状况等)等。其中，当山区范围较大时，经度、纬度、海拔高度的影响是主要的；而当研究区范围较小时，经度和纬度的变化很小，可以忽略，海拔高度和地形条件的影响才是主要的[150]。

大气中的热量主要是由地面供给的，对流层空气的增温主要依靠吸收地面的长波辐射，离地面越近，获得的长波辐射的热能越多，气温越高；反之，离地面越远，气温越低。所以，气温在对流层中的变化，主要是由离地面高度不同所造成。随离地面高度的增加，自由大气中的气温一般总是递减的。根据探空资料，中纬度地区自由大气中的年平均气温每升高100m约降低0.6℃。

关于地形对气温的影响，有些气候学者提出在回归模型中直接加入地形因子（坡度、坡向），以体现地形对气候资源的作用。但是气象观测资料来源于各地的气象站点。气象站选址时，充分考虑了气象资料采集的基本要求，一般选择在山顶或平坦宽阔的地方，观测场地坡度为零，并且在一定距离内没有遮蔽物的影响。因此，在利用地形因子进行气温订正时，无法直接将坡度引入内插模型。另外，坡度和坡向对温度的影响是通过辐射起作用的，并不存在简单的函数关系。我们知道，地表能量的来源主要是太阳辐射。坡度、坡向和地形遮蔽等地形因子决定一地太阳辐射的空间变化，坡度、坡向和遮蔽等地形因子影响一地辐射量的多少，再通过辐射平衡来影响气温等气候因子。研究表明，温度与辐射的关系非常密切，一地接收到的太阳辐射量越多，温度越高，反之相反。因此坡地上温度分布随坡向、坡度及季节和纬度而变化的特点和规律性，一般与坡地上的辐射相类似[149, 151]，根据前人研究，月平均温度与天文辐射在空间和时间尺度上都有着很好的相关关系[149, 154]。

5.3.3 基于DEM的日照市温度模拟

5.3.3.1 数据来源

本文采用的数据包括：

（1）温度数据

本文研究所用的基础数据来源于山东省气象局，时间为1976～2005年，数据内容为历年逐月平均温度、1～4月逐日极端

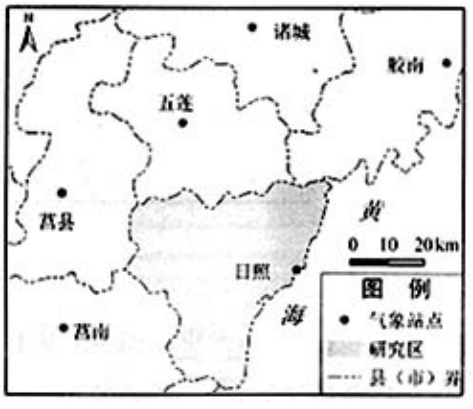


图5-4 日照及周边地区气象站点分布图

低温及均温，各气象站的经度、纬度和海拔高度，包括日照及周边地区的 6 个气象台站（图 5-4）。

（2）DEM 数据

本文所用数字高程模型（DEM）数据是以日照市 1：5 万地形图为信息源经扫描数字化生成的，制作过程严格依照国家测绘局关于建立数字高程模型的标准进行。DEM 数据的空间分辨率为 25m，具有较高的高程采样精度。将气象台站资料按照其经纬度在 ARC/INFO 中生成点图层，进行投影和坐标转换，与 DEM 数据最后都统一到北京 1954 坐标系，采用 krasovsky 椭球体和 6 度分带的高斯—克吕格投影。

5.3.3.2 技术流程

以日照市 DEM 数据和气象站气温统计数据为基础，利用 ARC/INFO 中提供的插值方法（样条函数法）对同一海拔高度下的气象站数据进行内插，得到水平面上气温的空间分布趋势；利用 DEM 数据得到研究区高程、坡度、坡向等地貌要素，结合太阳轨迹的变化周期，建立太阳辐射模型，分别求出水平面上和坡地上任一时刻、任一地点的太阳天文辐射值；然后通过气温直减率法以及辐射与温度之间的相关关系对日照市实际地形下的平均气温进行了分布式模拟。整个过程在 GIS 技术支持下完成，采用的技术流程如图 5-5 所示。

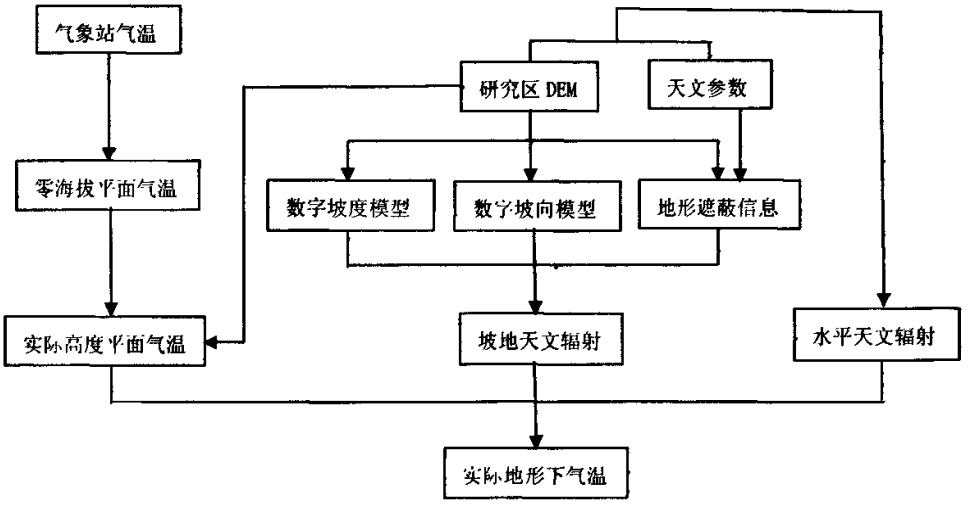


图 5-5 基于 DEM 的气温模拟技术流程图

5.3.3.3 气象站温度的内插

首先将用来内插的各气象站的气温数据按照气温直减率法（本文所采用的气温直减率取为 0.6℃/100m）订正到同一海拔高度上（本文订正到零海拔）。将气象台站资料按照其经纬度在 ARC/INFO 中生成点图层，进行投影和坐标转换后，在 ARCVIEW 中将零海拔的气温资料挂接入点图层作为属性数据，然后进行内插即可。本文采用样条函数法对零海拔平面上气象站点的气温进行内插，生成气温分布格网图层，该图层仅能反映没有地形起伏条件下零海拔平面上的气温分布趋势。将DEM格网图层与零海拔平面上气温分布格网图层在ARC/INFO的GRID模块下按照气温直减率法进行栅格运算，得到各栅格不同高程的平面上的气温分布，内插结果不仅反映了温度随纬度、海洋影响等宏观条件影响下的分布趋势，而且也体现了不同高度下气温的分异。栅格运算的公式为：

$$T_h=T_0-0.006\times\Delta h \tag{8}$$

其中，T_h 为不同高程平面上的温度，T_0 为零海拔平面上的温度，Δh 为高度差。

5.3.3.4 天文辐射的模拟

在天文辐射的计算中，需要用到太阳赤纬 δ 和地球轨道修正因子 E_0 两个天文参数。将参数 δ 和 E_0 看作以一年为周期循环的函数，则它们的 Fourier 级数表达式如下[129]：

a．地球轨道修正因子

$$E_0=1.000109+0.033494\cos\theta+0.001472\sin\theta+0.000768\cos 2\theta+0.000079\sin 2\theta \tag{9}$$

式中 θ 称日角，即 $\theta=2\pi t/365.2422$，t=N-1，N 为积日，即日期在年内的顺序号。

b．赤纬

本文采用左大康[138]等给出的 Fourier 级数表达式计算赤纬，公式如下：

$$\delta=0.006894-0.399512\cos\theta+0.072075\sin\theta-0.006799\cos 2\theta+0.00089\sin 2\theta \tag{10}$$

式中 θ 的含义同式（1）。

太阳天文辐射模型如下[155]：

S_0 为平地的太阳天文辐射量，$S_{0\alpha,\beta}$ 为坡地天文辐射量：

$$S_0=\frac{24}{\pi}I_0E_0(\omega_{s,i}\sin\varphi\sin\delta+\cos\varphi\cos\delta\sin\omega_{s,i}) \tag{11}$$

$$S_{0\alpha,\beta}=\frac{I_0TE_0}{2\pi}\sum_{i=1}^{n}\Big[u\sin\delta\left(\omega_{s,i}-\omega_{r,i}\right)+v\cos\delta\left(\sin\omega_{s,i}-\sin\omega_{r,i}\right)-$$

$$w\cos\delta\left(\cos\omega_{s,i}-\cos\omega_{r,i}\right)g_i\Big] \tag{12}$$

$$\begin{cases} u = \sin\varphi\cos\alpha - \cos\varphi\sin\alpha\cos\beta \\ v = \sin\varphi\sin\alpha\cos\beta + \cos\varphi\cos\alpha \\ w = \sin\alpha\sin\beta \end{cases} \quad (13)$$

式中，T 为日长，φ 为地理纬度，α 为坡度，β 为坡向，I_0 为太阳常数 1367W/m^2，n 为可照时角的离散数目，取经验值 n=36。$\omega_{r,i}$和$\omega_{s,i}$为微分时段内的日出和日没时角，g_i 为地形遮蔽度。

首先利用 DEM 提取数字坡度模型、数字坡向模型并计算太阳日出和日落时角，确定可照时角的离散数目 n=36。从日出开始分别计算每一个微分时段内的日出时角和日落时角，相应的太阳高度角、太阳方位角，然后计算该微分时段内的地形遮蔽度数字模型。采用光线追踪算法计算地形遮蔽，搜索入射路径上所有格网点，若某格网点高程与计算格网点高程之间的高度角大于该入射路径上的太阳高度角，则这是一条可遮蔽路径，在任一微分时段内，研究点的日照状况完全取决于两端点时刻的日照状况。即若两端点时刻可照(遮蔽)，则整段可照(遮蔽)；若一时刻可照，另一时刻遮蔽，则整段有一半时间可照(遮蔽)。利用太阳辐射公式求出每一微分时刻的太阳天文辐射，最后利用 GIS 的多层面复合分析方法，将各微分时段数值累加求和得到一天的辐射量。

由于以上数据处理过程较为繁琐，本文在 ARC/INFO 软件的支持下，利用其提供的宏语言功能编写了 AML 程序，通过输入模拟日期、研究区 DEM 和纬度值，就可以实现整个过程的自动批处理。

5.3.3.4 实际地形下的温度模型

坡度、坡向等地形因子对温度的影响是通过辐射起作用的，地形通过改变辐射的分布而影响温度的空间分布。根据前人研究，月平均温度与天文辐射在空间和时间尺度上都有着很好的相关关系[146, 147]，坡地与平地的温度差异可以通过坡地与平地的天文辐射差异推算而得。因此，用推算出的实际高度上平面的温度空间分布，加上辐射造成的差异，就可得到实际地形下温度的空间分布。

实际地形下温度模型可表示为：

$$T_s = T_h + r \times \Delta S \quad (14)$$

其中，T_s 为实际地形下的温度，T_h 为实际高度上平面的温度，ΔS 为坡地与平地天文辐射之差，r 为订正系数。该模型既考虑了高度对温度的影响，又以辐

射量之差表示了坡度、坡向等地形因素对温度的影响，物理机制非常明确。

关于订正系数r 的确定，文献 149 以 105°E 以东全国 422 站 1971 年～2000 年 30 年年平均气温，与各站年平均天文辐射量进行回归分析，得到回归系数 r =0.0734°C/MJ·m^2（图 5-6）。这一结果具有较好的可扩展性，因此本文用此系数进行模拟。

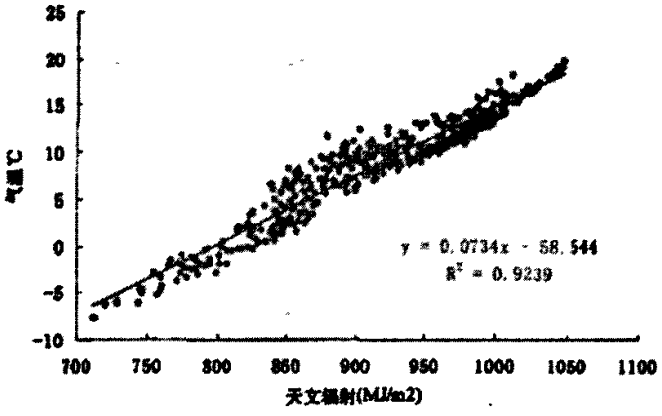


图 5-6 全国 105° E 以东 422 站年平均天文辐射与气温相关图

5.3.4 模拟结果及分析

5.3.4.1 模拟结果对比分析

图 5-7 为气象站数据内插后经过高度订正后的研究区年均温空间分布，反映的是各栅格不同高程的平面气温分布，即辐射订正前的年均温分布图。图 5-8 为经过辐射订正后的研究区实际地形下的年均温空间分布。图 5-7、5-8 右边的图为局部放大图。

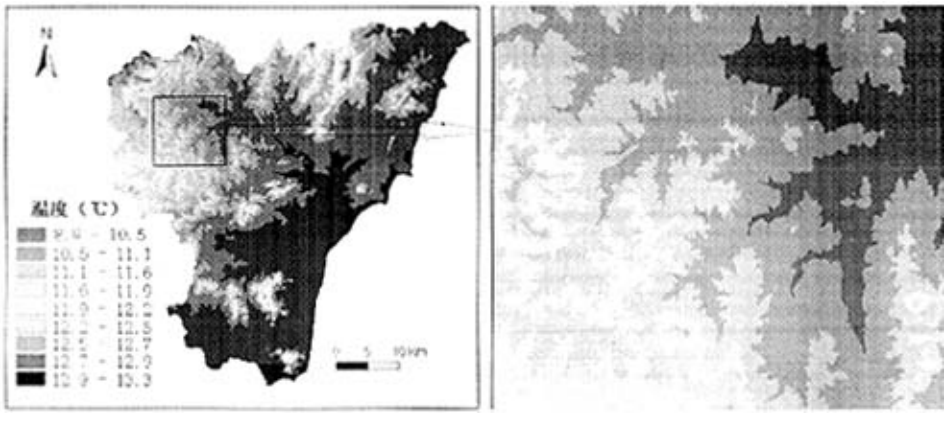


图 5-7 辐射订正前的研究区年平均气温

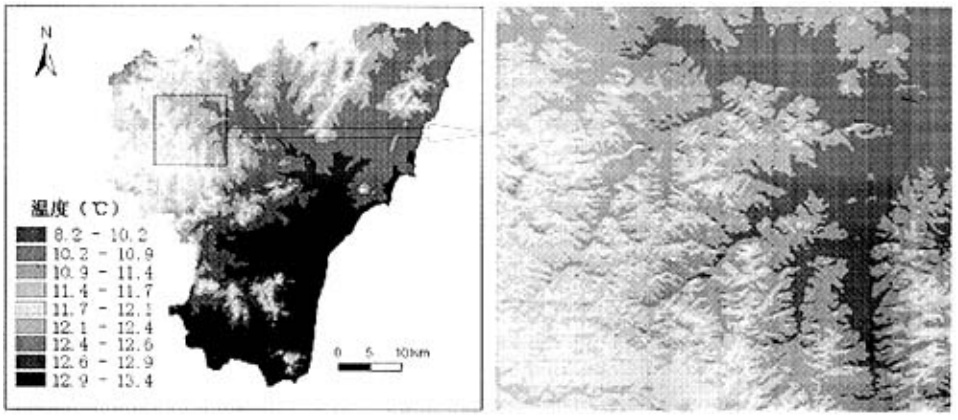


图 5-8 辐射订正后的研究区年平均气温

图中从冷色调的绿色到暖色调的红色，温度逐渐升高。从图中可以看出，辐射订正前后的气温的整体分布趋势是一致的，但是从局部放大图上看，辐射订正后，气温模拟的结果在地形上更为精细，主要表现为局部差异，即在山脊的两侧和阴阳坡上有变化。辐射订正后整个地区的温度有所变化，反映在南坡的温度有所增加，北坡的温度有所减少；温度范围由订正前的 8.9℃～13.3℃变为订正后的 8.2℃～13.4℃。温度变化的幅度因地形的差异而不同。经过太阳天文辐射订正后，温度场的空间变率都有明显增大，反映小尺度的空间差异的局部特征可以分辨出来。

5.3.4.2 最低月平均温度模拟结果及分析

图 5-9 是研究区 1 月平均温度的模拟结果，右边部分为局部放大图。图中由冷色调的绿色到暖色调的红色，温度由低到高变化。由此可知各栅格单元的温度与其所在的海拔高度和辐射差密切相关，随着海拔高度的增加温度呈现递减的趋势，而辐射的订正使得温度的分布更加精细，体现了温度随坡度、坡向等地形条件的不同而呈现的显著差异。

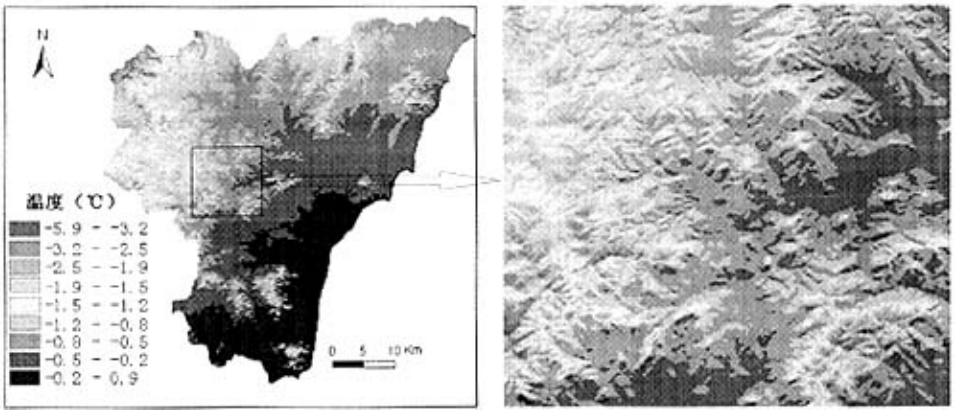


图 5-9　研究区 1 月平均温度分布

表 5-4　月平均温度统计表（单位 ℃）

类别	最小值	最大值	平均值
1 月	-5.9	0.9	0.7

结合表 5-4 可知，日照市 1 月的平均温度为-5.9℃～0.9℃，平均值为-0.7℃。1 月气温的空间分布总体呈纬向分布的趋势，气温北部低，南部高，同时地形分布规律比较明显，首先随着海拔高度的增加，温度逐渐降低；其次由于太阳辐射的订正，温度随坡度、坡向等地形因素变化而存在显著差异，主要表现为南坡温度较高，而北坡较低。

5.3.4.3 极端低温模拟结果及分析

另外，参照 1971～2000 年 1～4 月逐日极端低温和研究区茶园近 30 年来冻害资料，本文还模拟了研究区极端低温的空间分布。为了更具有实际参考意义，选取一次天气过程中的极端低温进行模拟，时间为 2000 年 1 月 25～26 日，模拟结果如图 7 所示，右边为局部放大图。

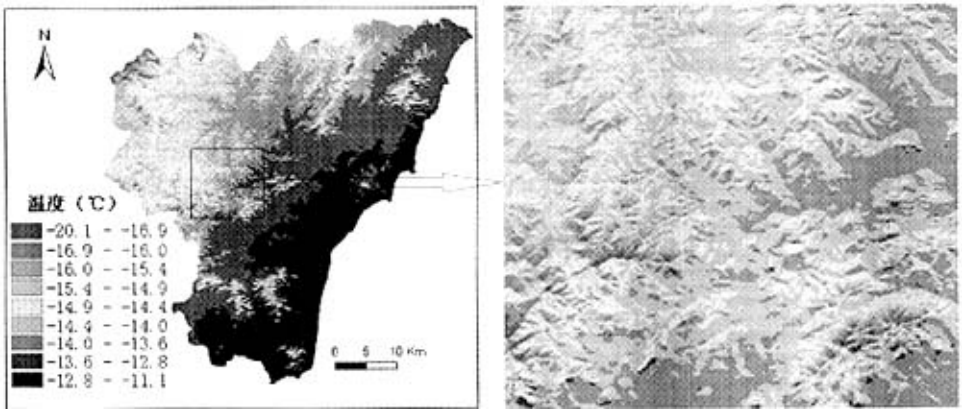


图 5-10 日照市极端低温（2000 年 1 月 25 日～1 月 26 日）

图 7 中，从冷色调的绿色到暖色调的红色温度范围为-20.1℃～-11.1℃。整体上呈现出由研究区的南部到北部温度逐渐降低的分布趋势。温度的地形分布规律非常明显，随着海拔高度的升高，温度逐渐降低；温度随坡度、坡向等地形因素的差异也存在显著的变化，南坡温度较高，而北坡温度较低。

5.4 基于 DEM 的风速分布模拟

5.4.1 风速模拟研究进展

风是空气运动的表征，它输送着不同属性的气团，产生热量和水分的交换，对天气气候的形成和变化有着重要的作用，同时对经济建设和人民生活存在直接影响。山区风的状况，比之山区温度、湿度分布要复杂的多[154]。

目前，在山地气流的数值模拟方面已有不少成果。国外，Jackson 和 Hunt[156]提出了 J-H 模式，用解析方法导得了二维理想地形条件下，计算气流速度、气压、应力扰动量的最大值公式，1976 年 YTZHAO MAHRER 和 ROGER A. PLELKE[157]利用三维的非静力 PBL.模式来模拟流场，来说明地形对风场的影响，主要集中在对局地风系的研究，加拿大 Walmsley[158]研制出 GUIDE 模式来考虑不同地形和地表粗糙度对山顶风速的影响，并针对在实际工作中资料的选取情况，来模拟复杂地形风速。国内，南京大学的王卫国和蒋维楣[159, 160]对 PBL 模式进行了研究和扩展应用，袁春红、杨振斌、朱瑞兆[161]等考虑地形和地表粗糙度对山顶风速的影响，根据实际情况对 GUIDE 模式进行了改进，余琦[162]通过引入一个表示地形起伏变化程度的因子，提出了一种计算起伏地形下风速的权重内插方法。利用上述理论模式可以对过山气流的湍流结构和应力变化进行详细描述和深入探讨，但

由于这些数值模式通常是针对短时间的天气问题，包含的物理过程多，对初始资料的条件要求高，需要求解具有特定边界条件的大气运动方程组，在实际工作中资料的搜集比较困难。如何利用常规气象资料推算各种具体地形条件下风速分布的实际状况成为森林火灾、作物冻害等地学分析和评价领域中亟待解决的问题。

日照市作为我国长江以北最大的绿茶产区，冬季干冷风是该地区茶树频频遭受冻害的重要因素，模拟起伏地形下风速的局地分布对于茶园生产布局具有现实意义。因此，本研究所探讨的基于 DEM 的风速模拟问题主要面向地学分析与评价研究，有别于专门针对天气问题的气象模拟模式。

5.4.2 起伏地形下风速变化基本公式

5.4.2.1 近地层风速变化基本公式

由于地面摩擦的影响，近地层风速随高度的降低而逐渐减小；除了地面粗糙状态外，低层大气的层结状态也是决定扰动强弱的一个重要因子。因此，不同的下垫面和不同的大气层结情况可以得出不同的垂直风速廓线方程。但是在实际应用中，目前仍旧沿袭已久的指数律和对数律公式[163]：

指数律：$u = u_1\left[\frac{z}{z_1}\right]^m$ 公式（1）

对数律：$u = u_1\frac{\ln z - \ln z_0}{\ln z_1 - \ln z_0}$ 公式（2）

式中：u — 距地面高度 z 处的风速；

u_1 — 距地面高度 z1 处的风速；

z_0 — 粗糙度

m — 风随高度变化指数，其取值大小按下垫面特征确定，一般介于 1/2～1/8

一般来说，在近地（海）面处，风速随高度的变化接近于对数律；从地（海）面以上 100m 至摩擦层顶（1000m 左右），变化规律接近于乘幂规律。试验研究表明，在沿海地区，幂指数公式比对数公式可以更精确地拟合垂直风廓线，为此，在进行风速随高度的换算时，采用幂指数公式。表 5-5 给出了采用幂指数公式时，各类下垫面的 m 取值情况：

表 5-5 各类下垫面幂指数（m）的取值

下垫面特征	A 类	B 类	C 类	D 类	E 类	F 类	G 类
m	0.10	0.14	0.16	0.20	0.22-0.24	0.28-0.30	0.40

注：A 类：光滑地面，硬地面，海洋　　B 类：草地

C 类：城市平地，有较高草地，树木极少　　D 类：高的农作物，篱笆，树木少

E 类：树木多，建筑物极少　F 类：森林，村庄　G 类：城市有高层建筑

5.4.2.1 不同地形部位上的风速差异

当气流通过丘陵或山地时，由于受到地形阻碍的影响，在山的向风面下部，气流受阻，风速减弱，且有上升气流；在山的顶部和两侧，因为流线密集，风速加强；在山的背风面，因流线辐散，风速急剧减弱，且有下降气流。大气愈稳定，背风面风速愈小，有时甚至可以出现静风区（图 5-11）。

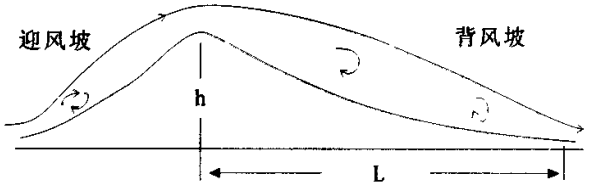


图 5-11　气流经过山岗时的流线剖面图

由于地形的动力作用，在同一大气系统下，不同地形部位的风速差别很大。山区气象台站有限，不可能在所有地点都进行气象观测，但人们又常常需要了解各种具体地形条件下风速分布的实际状况。为了解决这个问题，最常用的方法主要依靠野外观测和风洞试验。傅抱璞等在南京方山的一个基本对称的馒头形小山

表 5-6 各种地形条件下不同部位 2 米高度的风速与开旷平坦地风速的比值

地　　形	开旷平地的风速(米/秒)			
	3～5		≥6	
	稳定层结	不稳定层结	稳定层结	不稳定层结
开旷平坦地形	1	1	1	1
山地丘陵起伏地形				
1. 山顶				
a) Δh>50 米	1.4～1.5	1.6～1.8	1.2～1.3	1.4～1.5
b) Δh<50 米	1.3～1.4	1.6～1.7	1.1～1.2	1.3～1.4

2. 坡度 3～10° 的向风坡				
a) 山坡上部	1.2～1.3	1.4～1.6	1.1～1.2	1.3～1.5
b) 山坡中部	1.0～1.1	1.0～1.1	1.0～1.1	1.1～1.2
c) 山坡下部	1.0	0.8～0.9	0.9～1.0	1.0
3. 坡度 3～10° 与风平行的坡地				
a) 山坡上部	1.1～1.2	1.3～1.4	1.0～1.1	1.2～1.3
b) 山坡中部	0.9～1.0	1.0～1.1	0.8～0.9	0.9～1.0
c) 山坡下部	0.8～0.9	0.9～1.0	0.7～0.8	0.8～0.9
4. 坡度 3～10° 的背风坡				
a) 山坡上部	0.8～0.9	0.8～0.9	0.7～0.8	0.7～0.8
b) 山坡中部	0.8～0.9	0.9～1.0	0.8～0.9	0.9～1.0
c) 山坡下部	0.7～0.8	0.8～0.9	0.7～0.8	0.8～0.9

上观测了离地面 2m 高度处的风速分布情况，结果表明在孤立小山上地面附近的风速分布是山顶最大，与风向垂直的两侧山腰次之，背风坡底部最小。前苏联学者根据气象台观测资料和一些专门的野外考察资料，分类统计了各种地形条件下不同位置的风速与开旷平地风速的关系（表 5-6）。借助这种关系可以推断没有观测资料地区不同地段上平均风速的分布情况[126]。

5.4.3 一月平均风速模拟的方法

5.4.3.1 预设条件

山区实际地形变化复杂，在对风速的模拟的过程中又存在众多的不确定性因素。考虑到利用 GIS 技术对这一问题进行研究的可操作性，本文在风速模拟之前，提出如下预设条件，以简化问题的复杂性：

（1）不同坡向上的风速差异是由于大尺度背景风在局部地形动力作用的影响下形成的。如图 5-11 所示，大尺度背景风有一个主导风向（或称作盛行风向），在大尺度背景风的作用下，由于局部地形的作用，出现迎风坡、背风坡以及与风向近乎垂直的顺风坡 3 种不同坡向上的风速分异。

（2）摩擦层内大尺度背景风的风速随地方海拔高度的抬升而增大，不同高度上风速的换算依照幂指数模式。

（3）小于 3° 的地区视作开旷平坦地，没有坡向分异；大于 3° 的山丘有坡向

分异，按照与主风向的夹角分为 4 个坡向：迎风坡、背风坡以及与风向大致平行的两侧岗坡。山地丘陵起伏地形条件下不同坡向、坡位上的风速与开旷平坦地的比值依据表 9-2 中的关系确定。

（4） 本研究探讨的是大尺度背景风控制下由于海拔高度和局部地区的坡度、坡向、坡位等地形条件的差异而导致的风速变化，不讨论山谷风、地形狭管效应等对近地面风速的影响。

5.4.3.2 技术流程与算法设计

本文所探讨的复杂地形上的风速模拟，主要面向地学分析和评价研究，有别于专门针对天气问题的气象模拟模式。模拟的整个过程在 GIS 技术的支持下完成，采用的技术流程可由图 5-12 表示。

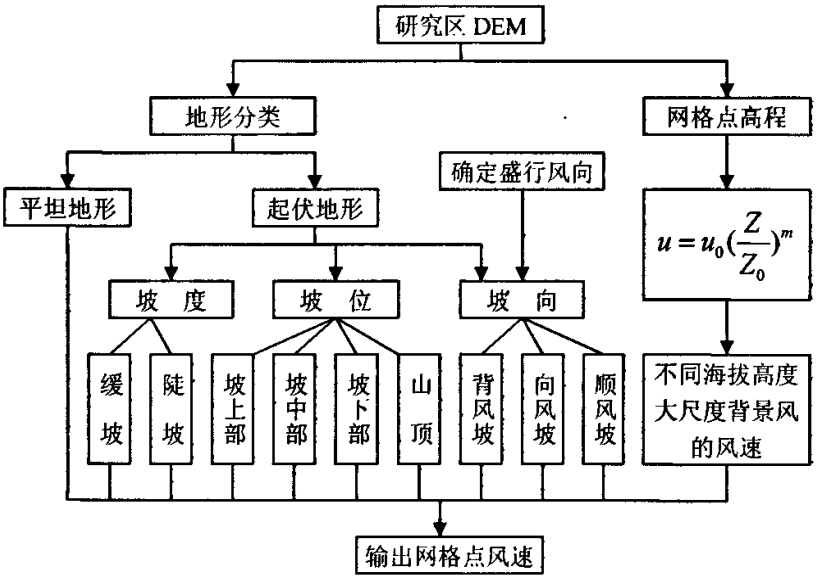


图 5-12 基于 DEM 的风速模拟技术流程图

考虑到地貌制图中一般采用 2km×2km 的范围计算相对起伏度划分地貌类型[111]，本文利用窗口分析法，首先计算 2km×2km 窗口内最高点与最低点的高差作为中心格点的相对起伏度，然后逐步移动窗口的位置就可以计算出每个格网的相对起伏度。参考地貌分类标准，按相对起伏度将研究区分为平坦地形和起伏地形两大类，平坦地形对应于地貌分类中相对起伏度小于 50m 的平原区，起伏地形对应于山地丘陵区。对于平坦地形按幂指数公式进行风随高度的换算，直接得到平

坦地形网格点的风速；对于起伏地形，以中心格点所在窗口内的最低点高程为该窗口内开旷平坦地的高度，利用气象站点资料进行风速换算求得该窗口内开旷平坦地的风速以后，再根据中心格点的坡度、坡向和坡位条件，依据表 5-6 中的关系对中心格点的风速进行订正。

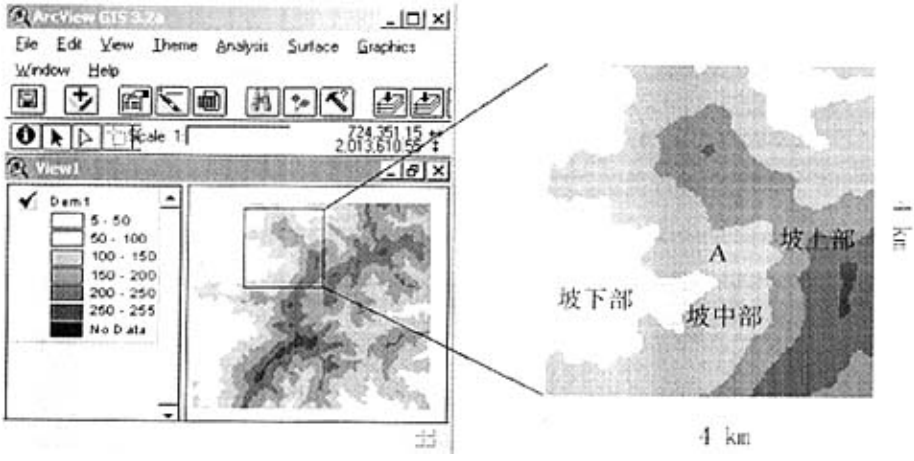


图 5-13 窗口分析法示例

上述过程中，坡度、坡向可以在 Arcview 或 ARC/INFO 中输入 DEM 直接计算得到。关于坡位的求算目前尚没有成熟的算法，考虑到 2km×2km 范围内通常能够包括 1～2 个山丘，涵盖山顶和坡麓。因此，本文提出了采用窗口移动法求算坡位的思想。如图 5-13 所示，该方法同样使用一个 2km×2km 的方形窗口在 DEM 数据上滑动，窗口内的高程值按等间隔划分，由下而上分为坡下部、坡中部、坡上部和坡顶 4 个坡位，通过比较窗口中心格点与其他格点的高程确定窗口内中心格点的坡位类型。

5.4.4 研究区 1 月份平均风速模拟

5.4.4.1 数据来源

本文采用的数据包括：（1）国家整编的 30 年（1976-2005 年）平均风速资料，来自于山东省气象局，包

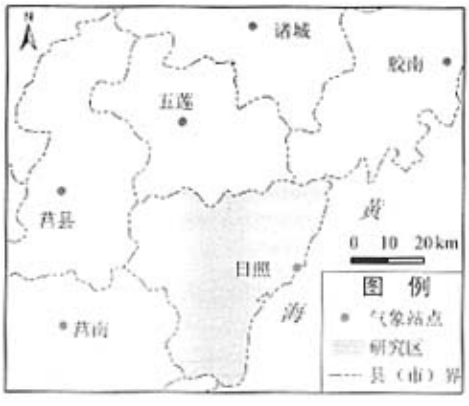


图 5-14 研究区及周边地区气象站点分布

括研究区及周边地区的 6 个气象台站（图 5-14）；（2）由 1：5 万国家基本比例尺地形图数字化建立的 DEM 数据，栅格的水平分辨率为 25m，具有较高的高程采样精度。将气象台站资料按照其经纬度在 ARC/INFO 中生成点图层，进行投影和坐标转换，转化后的数据采用 krasovsky 椭球体，高斯—克吕格投影。

5.4.4.2 数据处理过程

考虑到 6 个气象台站的平均海拔高度为 80m 左右，按照公式（1）将各气象站点 1 月份平均风速统一换算到海拔 80m 平面高度上，采用克里金插值法对该平面上气象站点的风速进行内插，生成海拔 80m 平面上风速分布格网图层，该图层仅能反映没有地形起伏条件下 80m 平面上的风速分布趋势。

将 DEM 格网图层与 80m 平面上风速分布格网图层在 ARC/INFO 的 GRID 模块下按照指数律公式进行栅格运算，得到不同栅格高程上的风速分布图。然后利用条件语句进行判断，如果是平原区平坦地形，则直接得出栅格单元的风速；如果是山丘区起伏地形，则采用窗口分析方法按照不同的坡度、坡向和坡位的组合关系计算某一栅格单元的风速。

由于以上数据处理过程较为繁琐，本文在 ARC/INFO 软件的支持下，利用其提供的宏语言功能编写了 AML 程序（见本章附录），通过输入研究区 DEM 和气象站点的风速值，就可以实现整个过程的自动批处理。

5.4.4.3 模拟结果分析

研究区 1 月份平均风速的模拟结果如图 5-15 所示。其中左图显示了研究区域 1 月份风速的空间分布情况，右图为局部地区的放大效果。整个研究区 1 月份的平均风速介于 0.86～5.38m/s 之间，平均值为 2.80m/s。从风速分布的宏观格局来看，西部和东北部山区地势较高，风速较大，中部和南部平原地区风速较小。从局部地区的风速分布来看，能够反映出迎风坡与背风坡、山顶与山麓、坡上与坡下等不同地形部位的风速分异特点，表现为迎风坡风速大，背风坡风速小；山顶风速大，山麓风速小；坡上风速较大，坡下风速较小。

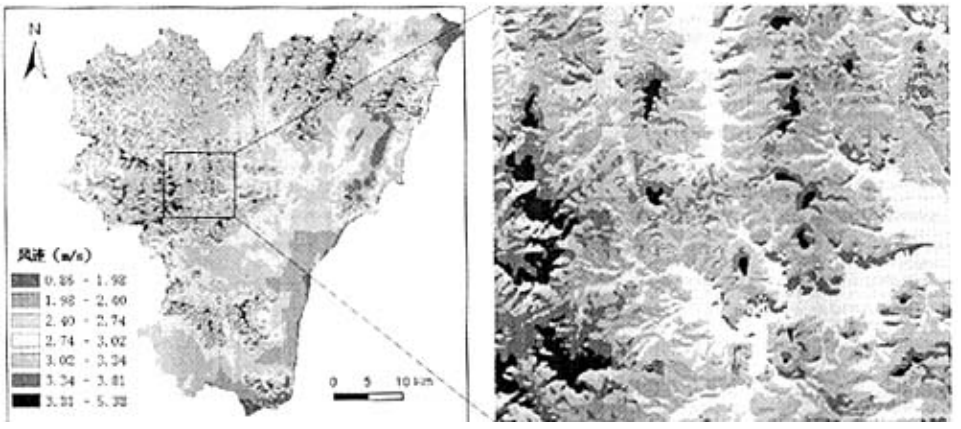


图 5-15 研究区 1 月份平均风速空间分布图

与以往利用 GIS 技术和数字高程模型对平均风速进行模拟的相关研究相比，本研究除了考虑地形高差的影响以外，还充分考虑了坡度、坡向、坡位等多种地貌要素对风速分布的影响。但是由于预设条件中对风速问题的简化，忽略了山谷风、地形狭管效应等对近地面风速的影响，必然带来一些偏差，对模拟的精度产生一定的影响，这些问题还有待于进一步的研究。

5.5 其它评价因子的实现

5.5.1 坡度因子实现

以研究区 1：50000 地形图生成的 DEM 为基础，在 ARCVIEW3.2a 下，利用表面分析（Surface-analysis Functions）功能对 DEM 进行坡度运算，从而提取坡度信息。

地面上某点的坡度表示了地表面在该点的倾斜程度。在 Arcview 中 Slope 确定了中心栅格与四周相邻栅格高程值的最大变化率。

坡度的计算通常在 3×3 的 Dem 栅格窗口（如图 5-16）中进行，对 3×3 栅格的高程值采用一个几何平面来拟合，中心栅格 E 的坡向即此平面的方向，其坡度值采用平均最大值方法（Burrough, P.A., 1986）来计算。窗口在 Dem 数据矩阵中连续移动后完成整个区域的计算工作。

A	B	C
D	E	F
G	H	I

图 5-16 3×3 的窗口计算中心栅格的坡度

在3×3的Dem栅格窗口中，如果中心栅格是No Data数据,则此栅格的坡度值也是No Data数据；如果相邻的任何栅格是No Data数据，它们被赋予中心栅格的值。坡度值的范围是0—90°。

根据上述研究方法，对研究区坡度因子进行了提取，结果如图5-17所示：

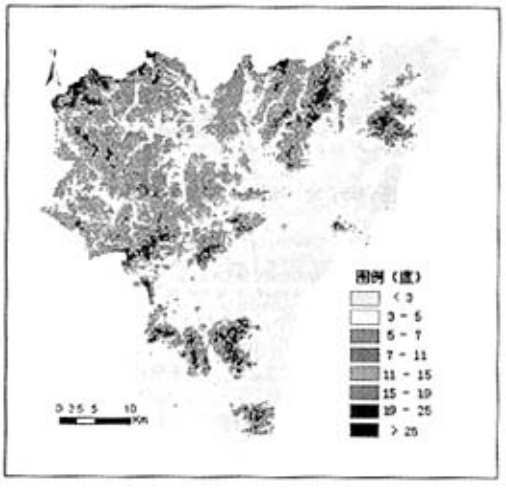


图5-17 研究区坡度空间分布

表5-7 不同坡度范围所占比例

比较项目	比较内容								总计
坡度（°）	<3	3-5	5-7	7-11	11-15	15-19	19-25	>25	—
面积（km^2）	556.7	574.5	280.2	173.6	85.8	50.5	45.4	32.3	1799
比例（%）	30.9	31.9	15.6	9.6	4.8	2.8	2.6	1.8	100

从图5-17和表5-7分析可以看出，日照市< 3°的土地面积占总面积比例（30.9%）较高，>15°的土地面积占总面积的1.8%，二者共计32.7%。其余67.3%的土地分布在3～15°的范围内，另外，从统计结果看，日照市内坡度最小值为0°最大值为62°平均值为4.9°标准差为6.12，这说明日照市丘陵分布比较和缓，适合种植茶树。

5.5.2 土壤因子的实现

土壤评价因子主要是土壤质地和土壤pH，数据来源于研究区土壤类型图，技术路线如下图：

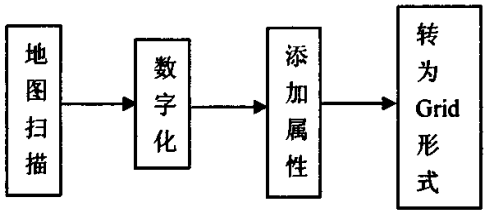


图 5-18 土壤因子实现技术流程

土壤因子的矢量化和属性的添加在 Arcmap 下进行，先建立 shape 文件，进行矢量化，然后添加属性，再转化为 coverage 格式，进行拓扑重建，最后 coverage 文件转入 Arcview 下将其转化为 Grid 格式，栅格大小和别的因子同样为 25×25m。最后形成土壤质地和土壤 pH 值如下图所示：

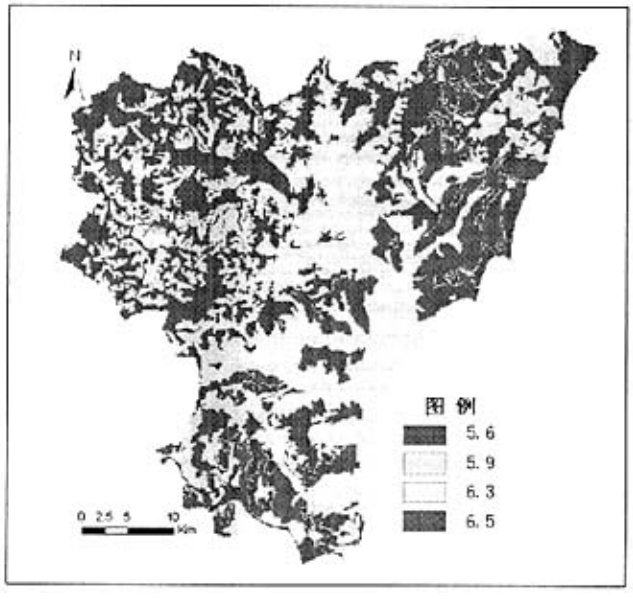


图 5-19 土壤 pH 值分布

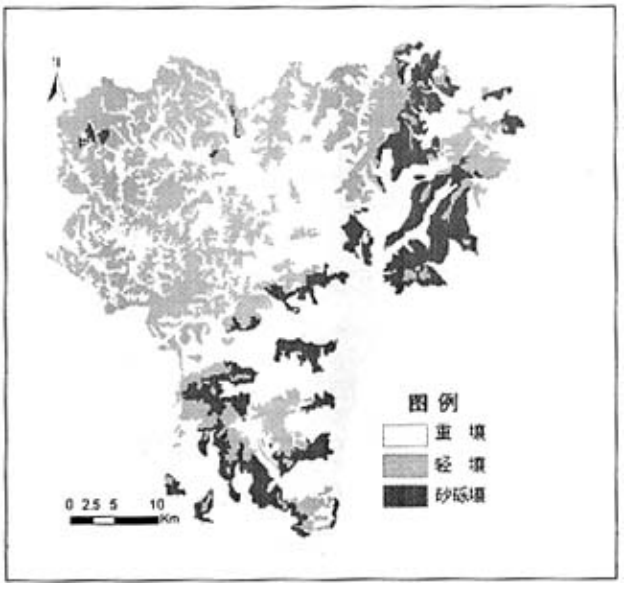


图 5-20 土壤质地分布

5.5.3 相对湿度的实现

（1）温度数据

本文研究所用的基础数据来源于山东省气象局，时间为 1976～2005 年，数据内容为历年平均相对湿度，各气象站的经度、纬度和海拔高度，共包括研究区及周边地区的 6 个气象台站（图 5-21）信息。

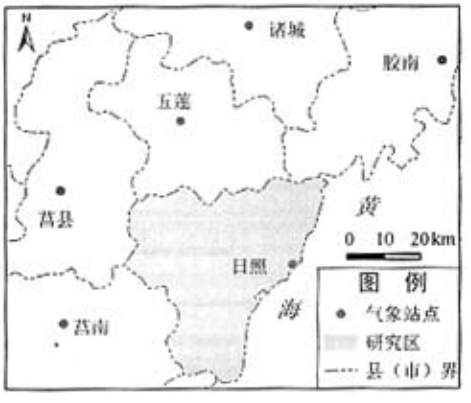


图 5-21 日照及周边地区气象站点分布

（2）模拟方法

论文通过六个气象站点所提供的相对湿度信息在 Arcinfo 下通过 Spline 内插获得，最后用研究区轮廓图切割而成年平均相对湿度。

（3）模拟结果及分析

通过上述方法实现了研究区年平均相对湿度数据（图 5-22）

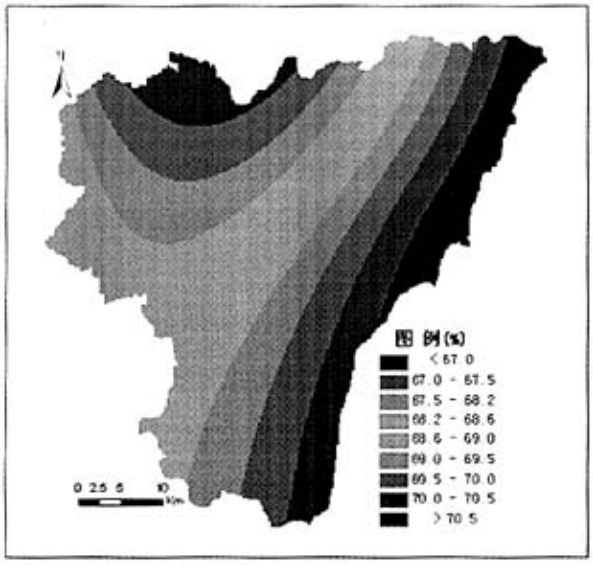


图 5-22 日照市相对湿度空间分布

从图 5-22 可以看出，研究区年平均相对湿度呈现由东向西递减的趋势，这是由于东部地区与东海相接，沿海地区有源源不断的水汽相陆地输送，这使得相对湿度越接近海洋越大；在西部表现为相对湿度较大值向北倾斜的现象。由于在日照市西北部地区，由于山地的抬升（图 3-2），温度有所降低，而且降水量加大，使得该区相对湿度呈现随高度升高而增加的情况，这就形成了西部地区相对湿度“V”型分布状况。

6 研究区茶树土地适宜性评价

6.1 土地适应性单因子评价

每一个评价因子都对茶树种植起着重要的作用，在综合评价土地适宜性之前，必须研究茶树种植每一个影响因子等级。在参考已有资料和结合研究区实际情况作了单因子评价（评价因子的选择见第四章）。

6.1.1 散射辐射评价

对于茶树种植而言，生长期内散射辐射越多茶树品质越佳，研究濒临海洋，这里常常有雾，增加了形成散射辐射的水汽粒子，散射辐射较大，这为茶树生长奠定了良好的基础，研究通过模拟，并将散射辐射分为三个等级（图 6-1），分别为，一级：＞750 MJ/m^2；二级：680～750 MJ/m^2；三级：＜680 MJ/m^2。

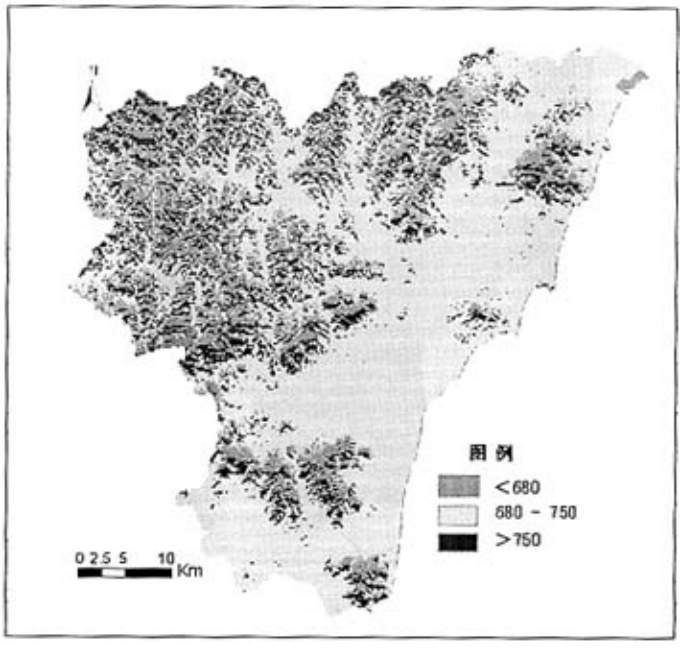


图 6-1 散射辐射评价分级（单位：MJ/m^2）

6.1.2 冬季风速评价

能否抵御寒潮袭击，是能否成功种植茶树的关键，寒潮过程往往伴有大风、降温等气候现象，而风速又决定者着降温的程度，冬季风速对茶树种植的影响不言而喻。研究在实际调查的基础上，借助 GIS 和 C 语言程序，模拟了冬季风速，并将其分为三个等级（图 6-2）。分别为，一级：＜2.5m/s；二级：2.5～3m/s；三级：＞3m/s

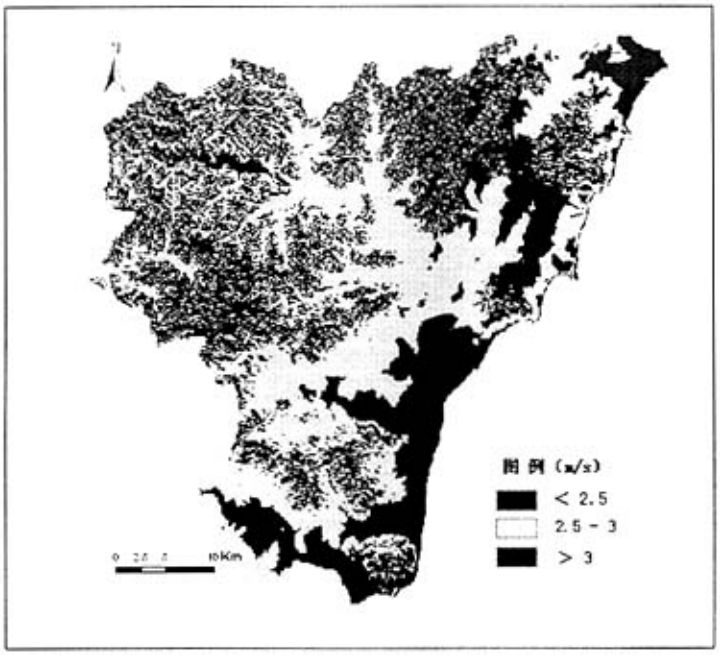


图 6-2 冬季风速单因子评价

6.1.3 气温因子评价

在气候因子中，气温对茶树生长起着重要的作用，研究区内有于年平均温度基本满足茶树生长，而求区分度不明显，所以选择了对茶树越冬有重要影响的最低月均温和极端低温作为评价因子，并进行了分级（图 6-3，图 6-4），最低月均温分级为，一级：＞0.5℃；二级：-1.5～0.5℃；三级：＜-1.5℃。极端低温分级为，一级：＞-13℃；二级：-14.5～-13℃；三级：＜-14.5℃。

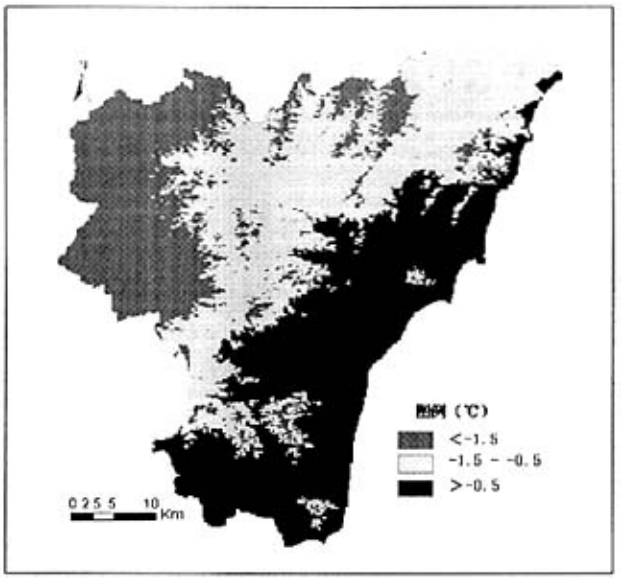


图 6-3 最低月均温评价分级

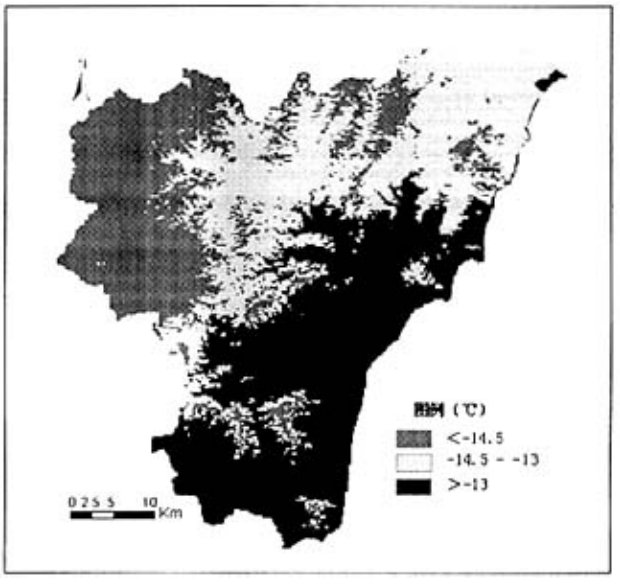


图 6-4 极端低温评价分级

6.1.4 地形因子评价

高度、坡度和坡向对茶树种植能否成功起着重要的作用，在研究中，由于研

究区基本属于丘陵区，高程有限，对茶树生长的限制性不是很明显，同时，由于在辐射、风速、温度模拟中用到了 DEM，所高度不单独做评价因子考虑；对于坡向，由于在辐射、风速、温度模拟以充分的利用了该因子，所以也不做单因子考虑，但是从定性的角度考虑，北坡不适宜种植茶树，所以在综合评价之前已将北坡除去。

最后保留了坡度因子，在<3° 的地方种植茶树可能会因为积水而烂根，同时为例避免争地矛盾，所以认为该区不该种植茶树，坡度>25° 也不适合种植茶树。基于此，研究将适合茶树种植的坡度分为 3 级（图 6-5），一级：3～5°；二级：5～15°；三级 15～25°。

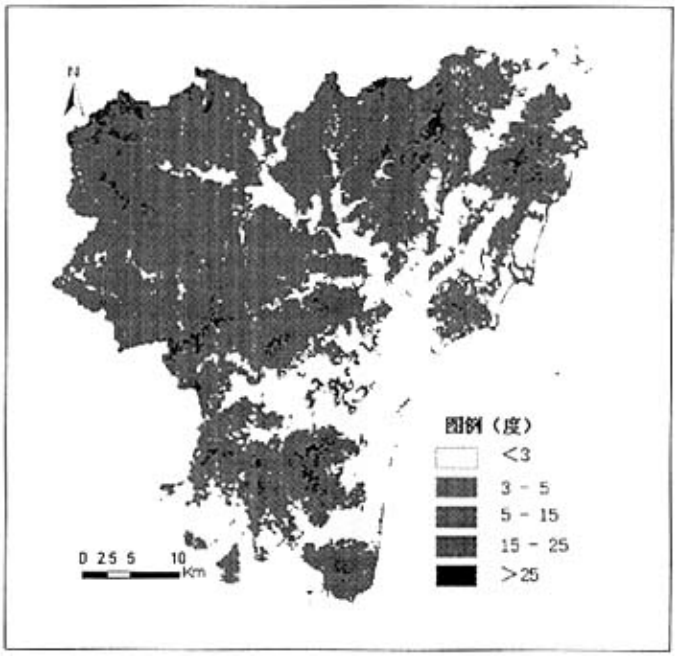


图 6-5 坡度评价分级

6.1.5 土壤因子评价

土壤对茶树生长意义明显，前文已述及土壤和茶树生长的关系，研究选择长期影响茶树生长的土壤 pH 值和和土壤质地作为茶树评价因子，并将其作了分级，在土壤 pH 中，将 pH 值为 5.6 的区域划为一级，pH 值为 5.9 的区域划为二级，pH 值为 6.3 和 6.5 的区域划为三级（图 6-6）；将土壤质地也分为一、二、三级，分别为砂砾壤区、轻壤区、重壤区（图 6-7）。同时为了方便数学模型的应用，将

土壤质地不同等级用数字表示，分别为3、2、1，对应砾壤区、轻壤区、重壤区。

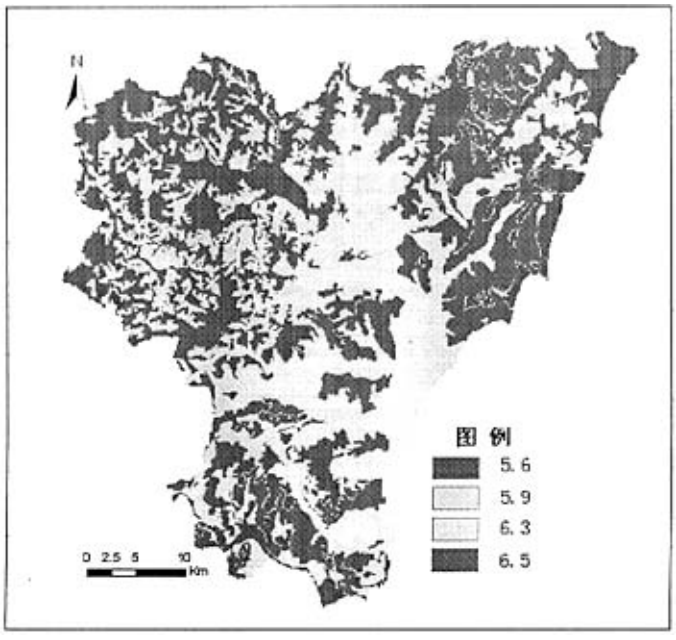


图 6-6 土壤 pH 评价分级

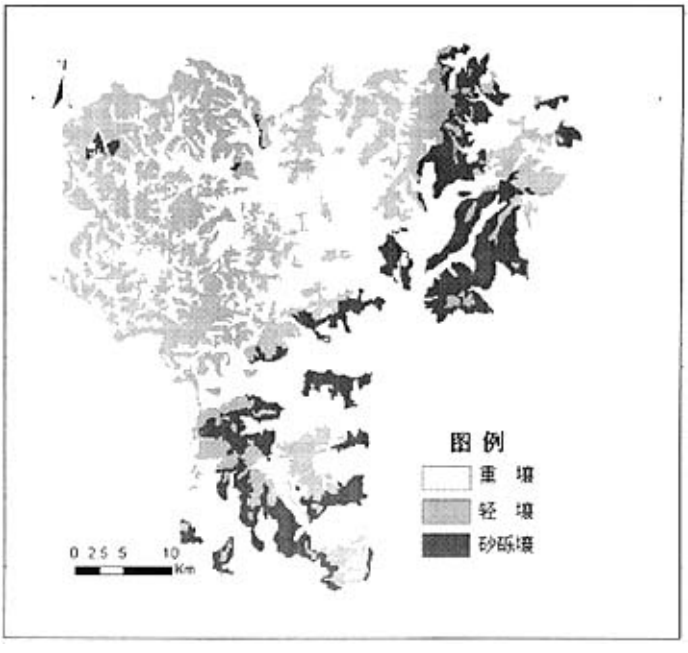


图 6-7 土壤质地评价分级

6.1.6 相对湿度评价

茶树生长对相对湿度有一定的依赖，本文通过 ARCGIS 软件提供的 Spline 插值方法，模拟了日照市相对湿度，并将其分为三级（图 6-8），一级：>70%；二级：68～70%；三级：<68%。

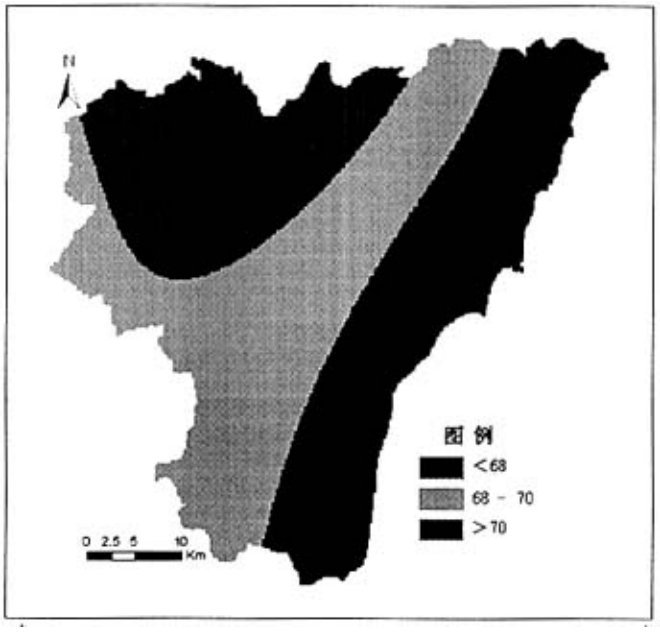


图 6-8 相对湿度评价分级

最后通过对以上各因子的汇总得到单因子评价分级表（表 6-1），分级矩阵说明为：

V={ 最适宜（Ⅰ），适宜（Ⅱ），一般适宜（Ⅲ）}

表 6-1 ：评价因子等级表

因子	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
冬季风速（m/s）	<2.5	2.5 ～ 3	>3
散射辐射（MJ/m^2）	>750	680 ～ 750	<680
最低月均温（℃）	>0.5	-1.5 ～ 0.5	<-1.5
极端低温（℃）	>-13	-14.5 ～ -13	<-14.5
坡度（°）	3 ～ 5	5 ～ 15	15 ～ 25
土壤 pH 值	5.6	5.9	6.3、6.5
土壤质地	砂砾壤（3）	轻壤（2）	重壤（1）
相对湿度（%）	>70	68 ～ 70	<68

6.2 土地适宜性的综合评价

土地是由各种因素相互作用形成的综合体，土地适宜性也应该由各个评价因子综合决定，而各个因子又存在着相对重要性，所以在需在确定各因子权重的基础上进行合理的空间分析最终得到土地适宜性综合评价结果。

6.2.1 评价因子权重的确定

权重的确定主要应用的数学方法为 AHP（层次分析法），层次分析法是一种定性与定量相结合的决策分析方法[1]。它是一种将决策者对复杂系统的决策思维过程模型化、数量化的过程。运用这种方法，决策者通过将复杂问题分解为若干层次和若干因素，在各因素之间进行简单的比较和计算，就可以得出不同方案重要性程度的权重，为最佳方案的选择提供依据。

层次分析法建立的步骤。第一，建立递阶层次结构，确定权重的目标层（最高层）：指问题的预定目标；准则层（中间层）：指影响目标实现的准则；措施层（最低层）：指促使目标实现的措施。第二，构造判断矩阵并请专家填写，确定各个因子的相对重要性，其值一般取 1～9。第三，层次单排序与检验，对于专家填写后的判断矩阵，利用一定数学方法进行层次排序。单排序是指每一个判断矩阵各因素针对其准则的相对权重。在实际中要求判断矩阵满足大体上的一致性，需进行一致性检验。只有通过检验，才能说明判断矩阵在逻辑上是合理的，才能继续对结果进行分析。第四，层次总排序与检验，总排序是指每一个判断矩阵各因素针对目标层（最上层）的相对权重。这一权重的计算采用从上而下的方法，逐层合成。很明显，第二层的单排序结果就是总排序结果；同样，对总排序结果进行一致性检验。如果通过，则可以认为判断矩阵的整体一致性是可以接受的。

最后，在参考已有研究成果和实地调查的基础上，确定了各因子的相对重要性，并利用层次分析法计算出了个因子的权重（表 6-2）。

表 6-2 ：评价因子权重表

因子	权重	因子	权重
冬季风速	0.2399	坡度	0.0924
散射辐射	0.1702	土壤 pH 值	0.0564
最低月均温	0.1316	土壤质地	0.0564
极端低温	0.1973	相对湿度	0.0558

★ ：判断矩阵一致性指标 CI=0.0216，通过一致性检验。

6.2.2 土地适宜性综合评价

土地适宜性评价运用了模糊数学（Fuzzy），模糊数学是一种研究和处理模糊现象的新型数学方法，对于地理区划，必然涉及到模糊现象、模糊概念和磨合逻辑的问题，对于解决这类问题的定量化研究，模糊数学方法是必不可少的重要工具[1]。

模糊数学是将二值逻辑［0，1］拓广到可取［0，1］闭区间上任意的无穷多个值的连续值逻辑，因此，也必须把特征函数作适当的拓广，这就是隶属 $\mu(x)$，它满足 $0 \leqslant \mu(x) \leqslant 1$。

隶属度(或者叫隶属度函数)是刻划因子模糊性的指标，是表现元素对模糊集合隶属关系不确定性大小的数学指标，可以说是模糊集合应用于实际问题的基石。在解决某一实际问题时，一般要先确定隶属度函数，但隶属度函数往往又不能直接给出，它的确定一般是使用推理的方法近似的确定。其确定过程从本质上来说是客观的，但容许一定的人为技巧，有时人为技巧对问题的解决起决定作用。值得主意的是，人为技巧应该是合乎情理的，不能有悖于客观实际。它可以通过模糊统计试验或实际经验总结的典型函数方法给出。

模糊综合评价法是一种以模糊推理为主的定性与定量相结合，精确与非精确相统一的分析评判方法。由于这种方法在处理各种难以用精确数学方法描述的复杂系统问题方面，表现出了独特的优越性，所以它在各个学科领域中得到了越来越广泛地应用。在地理学中，模糊综合评价法常常用于资源与环境条件评价、生态评价等各个方面。模糊数学综合评价法的技术流程见下图：

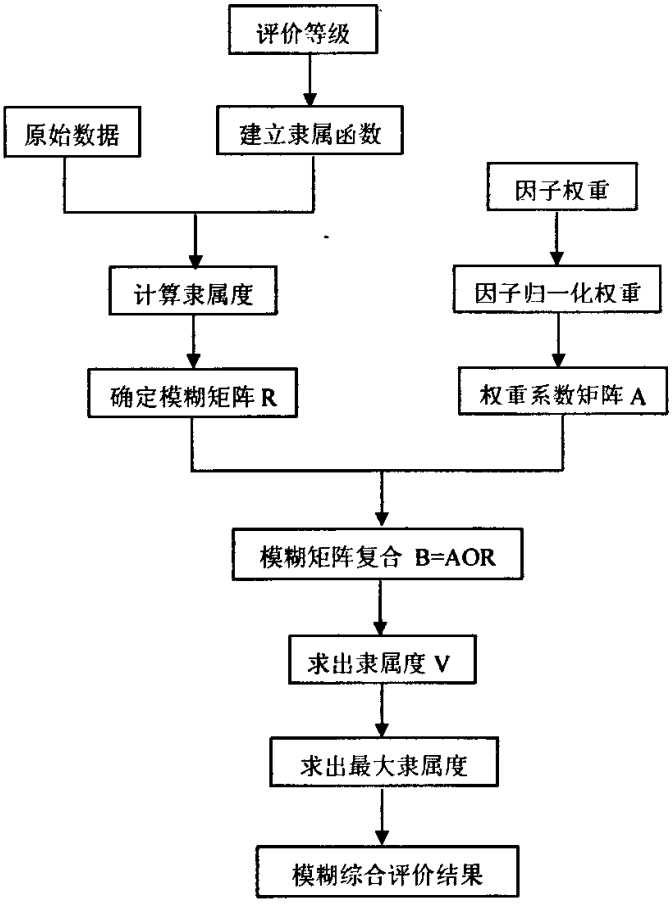


图 6-9 模糊综合评价技术流程图

综合区划评价以研究区 25×25m 栅格为单元，通过 GIS 和数学模型的集成进行。本文在建立隶属函数时采用线性函数：

隶属于 I 级的隶属函数为：

$$U_I(x)=\begin{cases}0 & X_i \le S_{ij-1}\\ \dfrac{S_{ij}-X_i}{S_{ij}-S_{ij-1}} & S_{ij-1}<X_i<S_{ij}\\ 1 & X_i \ge S_{i1}\end{cases}$$

隶属于 J 级的隶属函数为：

$$U_J(x)=\begin{cases} 0 & X_i \le S_{ij-1}, X_i \ge S_{ij+1} \\ \dfrac{X_i - S_{ij-1}}{S_{ij} - S_{ij-1}} & S_{ij-1} < X_i < S_{ij} \\ \dfrac{S_{ij+1} - X_i}{S_{ij+1} - S_{ij}} & S_{ij} < X_i \le S_{ij+1} \end{cases}$$

隶属于K级的隶属函数为：

$$U_K(x)=\begin{cases} 0 & X_i \le S_{ij} \\ \dfrac{X_i - S_{ij}}{S_{ij+1} - S_{ij}} & S_{ij} < X_i < S_{ij+1} \\ 1 & X_i \ge S_{ij+1} \end{cases}$$

以上各式中，U_I、U_J、U_K分别为I、J、K级隶属度函数，X_i为评价单元第i个限制性因素的实测值，S_{ij}为第i个限制性因素指标j级的标准值，各因子隶属度函数如下：

（1） 冬季平均风速：

$$r_{11}(x)=\begin{cases} 1 & x \le 2.25 \\ \dfrac{2.75 - x}{2.75 - 2.25} & 2.25 < x < 2.75 \\ 0 & x \ge 2.75 \end{cases}$$

$$r_{12}(x)=\begin{cases} 0 & x \ge 3.25, x \le 2.25 \\ \dfrac{3.25 - x}{3.25 - 2.75} & 2.75 < x < 3.25 \\ \dfrac{x - 2.25}{2.75 - 2.25} & 2.25 < x < 2.75 \end{cases}$$

$$r_{13}(x)=\begin{cases} 1 & x \ge 3.25 \\ \dfrac{x - 2.75}{3.25 - 2.75} & 2.75 < x < 3.25 \\ 0 & x \le 2.25 \end{cases}$$

（2）：散射辐射

$$r_{21}(x)=\begin{cases}1 & x\geq 780\\ \dfrac{x-720}{780-720} & 720<x<780\\ 0 & x\leq 720\end{cases}$$

$$r_{22}(x)=\begin{cases}0 & x\leq 640, x\geq 780\\ \dfrac{x-640}{720-640} & 640<x<720\\ \dfrac{780-x}{780-720} & 720<x<780\end{cases}$$

$$r_{23}(x)=\begin{cases}1 & x\leq 640\\ \dfrac{720-x}{720-640} & 640<x<720\\ 0 & x\geq 720\end{cases}$$

（3） 最低月均温：

$$r_{31}(x)=\begin{cases}1 & x\geq 1\\ \dfrac{x+1}{2} & -1<x<1\\ 0 & x\leq 1\end{cases}$$

$$r_{32}(x)=\begin{cases}0 & x\leq -2, x\geq 1\\ x+2 & -2<x<-1\\ \dfrac{1-x}{2} & -1<x<1\end{cases}$$

$$r_{33}(x)=\begin{cases}1 & x\leq -2\\ -1-x & -2<x<-1\\ 0 & x\geq -1\end{cases}$$

（4）极端低温：

$$r_{41}(x)=\begin{cases}1 & x\geq -12\\ \dfrac{x+14}{2} & -14<x<-12\\ 0 & x\leq -14\end{cases}$$

$$r_{42}(x)=\begin{cases}0 & x\leq -15, x\geq -12\\ x+15 & -15<x<-14\\ \dfrac{-12-x}{2} & -14<x<-12\end{cases}$$

$$r_{43}(x)=\begin{cases}1 & x\le -15\\ -14-x & -15<x<-14\\ 0 & x\ge -14\end{cases}$$

（5）坡度：

$$r_{51}(x)=\begin{cases}1 & x\le 3\\ \dfrac{7-x}{7-3} & 3<x<7\\ 0 & x\ge 7\end{cases}$$

$$r_{52}(x)=\begin{cases}0 & x\ge 22, x\le 3\\ \dfrac{22-x}{22-7} & 7<x<22\\ \dfrac{x-3}{7-3} & 3<x<7\end{cases}$$

$$r_{53}(x)=\begin{cases}1 & x\ge 22\\ \dfrac{x-7}{22-7} & 7<x<22\\ 0 & x\le 7\end{cases}$$

（6） 土壤pH值：

$$r_{61}(x)=\begin{cases}1 & x\le 5.7\\ \dfrac{5.9-x}{5.9-5.7} & 5.7<x<5.9\\ 0 & x\ge 5.9\end{cases}$$

$$r_{62}(x)=\begin{cases}0 & x\ge 6.1, x\le 5.7\\ \dfrac{6.1-x}{6.1-5.9} & 5.9<x<6.1\\ \dfrac{x-5.7}{5.9-5.7} & 5.7<x<5.9\end{cases}$$

$$r_{73}(x)=\begin{cases}1 & x\ge 6.1\\ \dfrac{x-5.9}{6.1-5.9} & 5.9<x<6.1\\ 0 & x\le 5.9\end{cases}$$

（7）土壤质地：

$$r_{71}(x)=\begin{cases}1 & x\geq 3\\ x-2 & 2<x<3\\ 0 & x\leq 2\end{cases}$$

$$r_{72}(x)=\begin{cases}0 & x\leq 1,x\geq 3\\ x-1 & 1<x<2\\ 3-x & 2<x<3\end{cases}$$

$$r_{73}(x)=\begin{cases}1 & x\leq 1\\ 2-x & 1<x<2\\ 0 & x\geq 2\end{cases}$$

（8）相对湿度：

$$r_{81}(x)=\begin{cases}1 & x\geq 71\\ \dfrac{x-69}{2} & 69<x<71\\ 0 & x\leq 69\end{cases}$$

$$r_{82}(x)=\begin{cases}0 & x\leq 67,x\geq 71\\ \dfrac{x-67}{2} & 67<x<69\\ \dfrac{71-x}{2} & 69<x<71\end{cases}$$

$$r_{83}(x)=\begin{cases}1 & x\leq 67\\ \dfrac{69-x}{2} & 67<x<69\\ 0 & x\geq 69\end{cases}$$

第四 通过计算建立判断矩阵：

$$R=\begin{bmatrix}r_{11} & r_{12} & r_{13}\\ r_{21} & r_{22} & r_{23}\\ r_{31} & r_{32} & r_{33}\\ r_{41} & r_{42} & r_{43}\\ r_{51} & r_{52} & r_{53}\\ r_{61} & r_{62} & r_{63}\\ r_{71} & r_{72} & r_{73}\\ r_{81} & r_{81} & r_{81}\end{bmatrix}$$

最后，通过建立模糊综合评价模型，并计算综合评价结果：

$$V = A^{-1} \bullet R = \left(\sum_{i=1}^{8} a_i \bullet r_{i1} \sum_{i=1}^{8} a_i \bullet r_{i2} \sum_{i=1}^{8} a_i \bullet r_{i3} \right)$$

其中，V：平价综合隶属度，A^{-1}：权重矩阵的转置矩阵，i：因子个数，a_i，第i个因子的权重，r_{ij}：第i个因子的第j级隶属度。

通过计算，得出研究区茶树土地适宜性评价结果（图 6-10）：

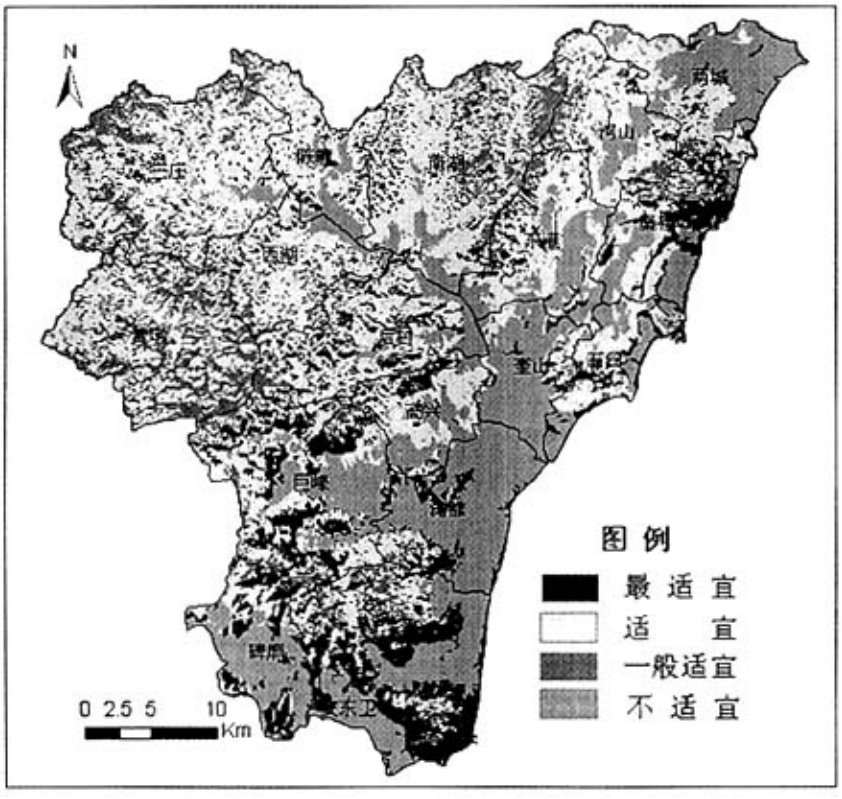


图 6-10 研究区茶树土地适宜性评价结果

在图中，红色区域为最适宜区，黄色为适宜区，绿色为一般适宜区，青绿色为不适宜区。最适宜区面积为 38283 公顷（574245 亩），占总面积 21%；适宜区面积为 54153 公顷(812295 亩)，占总面积 30%；一般适宜区为 15929 公顷(238935 亩)，占总面积 9%；不适宜区为 71535 公顷（1073025 亩），占总面积 40%。

6.3 研究区评价结果的验证

6.3.1 遥感数据源及处理

遥感影像是一种非常重要的地学信息源，不同类型的遥感影像数据具有不同的物理性质，即不同的空间分辨率、波普分辨率、和时间分辨率。因此，必须根据研究目的选择适当的遥感数据，才能更好的服务于研究需求。研究根据研究区比例尺背景，茶树生物特点，选择了 2005 年 11 月的 SPOT 影像数据，此时，由于别的作物一般都枯萎叶落，但是茶树是常绿性植物。冬季的影像图，茶树颜色突出，纹理清晰，很容易辨认。

本次研究主要采用了几何校正和图像融合，几何校正是针对由于搭载传感器的遥感平台飞行姿势变化、地球自转地球曲率等原因，使图像相对于地面目标产生的畸变而进行的校正。本次几何校正是在图像处理软件 Erdas8.5 支持下，首先将影像进行投影参数和坐标系统转化，使其与研究区图像数据有相同的坐标体系；再以日照市 1：50000 地形图为影像校正的主控图件，在地形图和相应的影像上选了 25 个控制点（GPC），选取的控制点为永久性人工建筑物，这样得到较为精确的影像资料。

图像融合，是按照一定的算法。将单一传感器的多波段信息或者不同类别传感器所提供的信息加以综合，获得更丰富的信息，它不仅是简单的数据叠加，而是强调信息的优化，并突出有用的专题信息，增加解译的可能性。本次图像融合是利用主成分变换融合法完成的，这大大的提高了图像的清晰度。

6.3.2 影像解译与评价结果检验

由于是冬季的影像图，在加上经过了图像融合处理，所以可以很好的分辨茶园的特征，茶园颜色突出，条带明显，分布规律，尤其在茶树种植良好的地方可以明显的灌丛结构。最后通过目视解译完成了解译工作，解译主要是针对岚山区的优生茶园进行的，首先，进行野外调查，掌握那里分布着茶园优生区，然后转入室内，结合影像图进行解译。并借助 Arcgis 转化为 coverage 格式（图 6-11）。

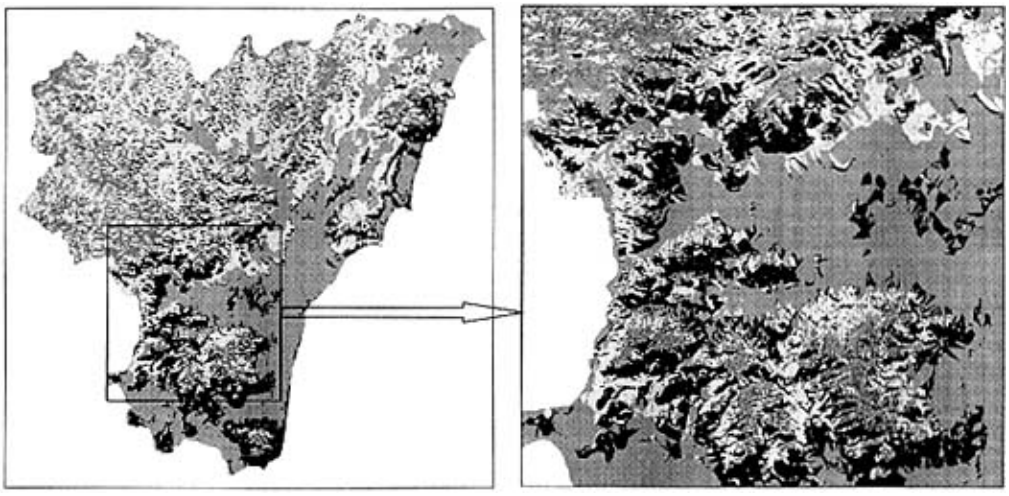


图 6-11：茶园优生区解译结果与评价结果对比

为了检验评价结果的正确性， 进行了评价结果与解译结果对比分析，将茶园优生区解译结果与评价结果图套合（图 6-11），通过统计计算得到，茶园优生区 97%的面积落在了最适宜区和适宜区，91%的茶园优生区落在最适宜区。所以，研究认为评价结果是合理的。

7 评价结果分析与讨论

7.1 评价结果与分析

7.1.1 适宜区分布规律分析

第一，从总体而言，不适宜区主要分布在东部和南部坡度较小的区域。除此之外，由于大部分评价因子（除土壤 pH）都是从东南到西北呈由好到差分布，这决定了从东南向西北茶树适宜性逐渐降低的分布特点。最适宜区主要分布在东部和南部自然条件较好的区域，适宜区主要分布在中部地区，西部地区海拔较高，评价主要为一般适宜区。

第二，另外一个明显的特点是，各评价区呈犬牙交错状，除了不适宜区外，不存在某一适宜等级区连片分布的情况。在局部放大图（图 10-12）a、b、c 中，各适宜级相互交错，尤其在图 a 中，由于该区地形复杂，导致散射辐射、一月平均风速、温度等主要因子在不同坡向产生了很大的变化，尤其是冬季风速，北坡最大，南坡最小，东西坡居中，这决定了“一山之中，美恶相悬”的茶树适生特点。在图 c 中虽然交错的特点也有体现，但是由于该区处于研究区最南部，坡度较缓，散射辐射、最低月均温、极端低温、相对湿度等都是最高值分布区，而且风速较小，所以决定了该区主要要为最适宜分布区。而在图 b 中，该区既没有西部地区那样复杂，也没有南部坡度小，地处评价区最北面，各因子优劣有别，所以各适宜区分布情况居于 a、c 之间。但是各适宜级均有分布，这还是说明了茶树适宜性随地形变化而变化的特点。

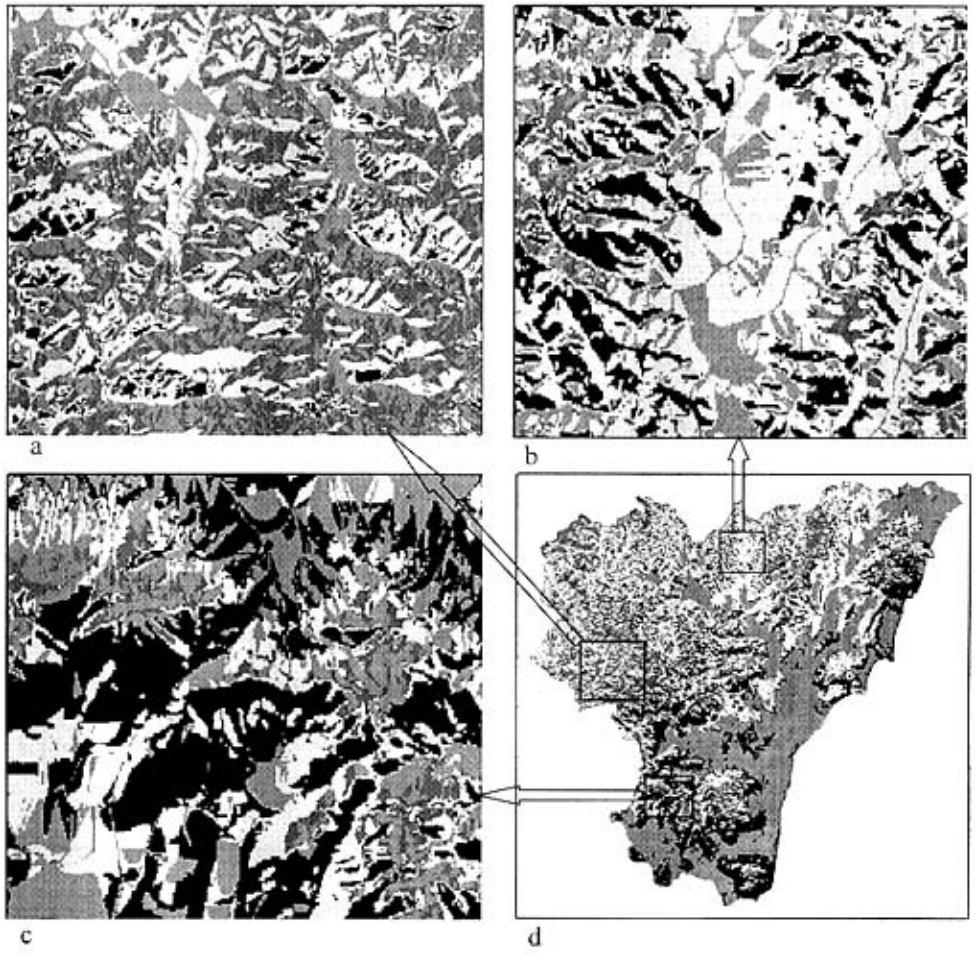


图 10-12 评价结果局部放大

(a:一般适宜区局部放大 b:适宜区局部放大 c:最适宜区局部放大 d:评价结果)

第三，随着海拔高度的增加，茶树土地适宜性不断降低，也是评价结果的一个特点，也符合茶树生长的特点，南湖东部和河山、东港西部交界处，后村南部和巨峰、高兴北部交界处，巨峰、涛雒南部和碑廓、虎山北部交界处，以及虎山北部等地区，海拔相对都比较高（图 10-11），随着海拔的增加，风速、坡度、不断增加，而温度、散射辐射最不断降低，这造成了随海拔高度增加而茶树适宜性不断降低的垂直分布特点。

7.1.2 适宜性等级分区分析

（1） 最适宜种植区，

最适宜区面积为38283公顷（574245亩），占总面积21%；主要分布在研究区东部和南部背风向阳的山前地带，包括秦楼、石臼、后村、巨峰、高兴、涛雒、虎山、碑廓、安东卫、岚山头等地；除此之外中部和西北地区也有分布，并呈逐渐减少的趋势。

该区冬季平均风速最小，大部分地区小于2.5m/s，最低月均温和极端低温最高，越冬条件好，茶树冻害少；最适宜区散射辐射最高，在680 MJ/m^{2}以上，这有利于提高茶叶品质；土壤质地以砂砾壤和轻壤为主，为茶树生长奠定了良好的基础；另外该区热量丰富，雨量充沛，利于茶树生长。所以该区可以建立大面积的茶叶生产基地。但考虑到气候不稳定性等因素，该区仍应采取适当的防冻害措施，如建立防护林，注意冬季灌溉等，防止大的寒潮侵袭，同时要加强管理，尽量施有机肥，使土壤pH保持酸性变或者不断降低，在保持茶叶产量的同时，保证茶叶有良好的品质，创出更好的品牌，取得良好的经济效益。

（2）适宜种植区

适宜区面积为54153公顷（812295亩），占总面积30%；主要分布在东港中部丘陵起伏缓和地区，包括河山、南湖、陈疃、三庄、西湖等地。该区冬季平均风速较小，大部分地区在2.5～3m/s之间；最低月均温和极端低温较最适宜区有所降低，但仍能满足茶树生长；土壤质地以轻壤为主，另外，该区坡度不断加大，介于5～15°，坡度不断增加成为茶树种植限制因素。

该区已经不在评价因子最优区，而且也不是山体的正南面，受冻害的可能性要大于最适宜区，所以加强防护林的建设是该区发展茶叶的首要任务；由于坡度加大，保水性差，应该发展该区的灌溉系统，保证供水能满足茶树生长需要；另外，还要注意适当的冬季灌溉，协助茶树安全越冬，这样才能获得较好的经济效益。

（3）一般适宜种植区

一般适宜区为15929公顷（238935亩），占总面积9%，面积最小。主要分布东港区西部的三庄和黄墩，以及全区海拔相对最高的地区。

该区冬季平均风速逐渐变大，多数在3m/s以上，最低月均温和极端低温最

低，在该区种植茶树，冬季冻害频率最高；另外，散射辐射减少，使得茶树品质不及最适宜区和适宜区，坡度较大也成为该区茶树种植环境差的重要因子。总体来说该区不太适合茶树生长。种植茶树需要慎重考虑，选择并耐寒，耐旱的品种，更要加强防冻措施，加强管理，避免不必要的损失。

（4）不适宜区

不适宜区为 71535（1073025 亩），占总面积 40%，面积最大。主要东部平原区，以及其他有地形起伏的北坡和坡度大于 25° 的地区。东部平原区，由于坡度很小，这可能造成积水，而不利于茶树种植，同时考虑到可能出现的争地矛盾，所以将其划为不适宜区；而其它地区，由于坡度过大，使得保水性很差，或者位于山体北风的迎风坡，冻害发生的可能性极大，而且辐射量不足，使得该区种植茶树环境很差。鉴于此，该区不建议种植茶树。

7.2 讨论

一，本适宜性评价为国内北方地区首次茶树种植适宜性评价，还有待于进一步完善。尽管 50 多年来日照市在北方地区茶树推广种植方面做了大量工作，积累了不少的经验资料，但是由于种植面积、规模，发展时间有限，北方茶树土地适应性与南方相比到底还存在哪些区别，比如，茶树品种在不断改善，耐寒、耐旱性不断提高，土壤适宜性也有所变化，诸如气温、土壤等因素的适宜范围还需要专门研究。因此，评价因子的选取和分级问题还有待进一步研究。

二，各个因子的模拟是基于 DEM 数据完成的，所以模拟结果较为精准。冬季平均风速的模拟，考虑了不同坡度、破向、坡位的影响；辐射模拟考虑了太阳光照在不同坡向上不同的分布；温度模拟不仅考虑了高度，而且利用天文辐射结果作了进一步的订正，这突破了以往气候因子只能描述其在水平方向变化的局限，不仅能直观地反映出各因子随地理位置和随海拔高度的立体变化特征，而且也体现了温度随不同坡度的变化。但是，影响风速、辐射、温度的因素及其复杂，而且，有关模拟技术还有待发展。所以这方面的问题还有待进一步研究。

三，评价是在 GIS 空间分析技术支持下，结合模糊数学评价模型进行的，这提高了区划的精确度。空间分析是 GIS 的“灵魂”所在，它可以将各个不同的因素通过空间叠加得到一个综合分析结果；模糊数学模型可以将自然要素随空间变化的过渡性很好的体现出来，保留各评价因子的原始状态，二者结合使得评价结

果更准确、更符合实际；同时，评价运用的方法技术可为其他农作物种植适宜性评价研究提供可借鉴的经验和方法。

参考文献

[1] 倪绍祥. 土地类型与土地评价[M]. 北京:高等教育出版社. 1999.

[2] FAO. A Frame work for land Evaluation[M], Rome, 1976.

[3] 赵华甫. 洛阳市烟草的土地适宜性评价研究[D]. 2004. 6.

[4] 蔡玉梅, 董柞继, 邓红蒂等. FAO 土地利用规划研究进展评述. 地理科学进展. 2005 (1): 70～78.

[5] 黎夏. 利用遥感与 GIS 对农田损失的监测及定量评价力法—以东莞市为例[J]. 地理学报, 1997, 52(3):279～287.

[6] 张军连, 林培. 土地生产潜力评价中土壤修正系数模型的研究—以河北省琢鹿县为例[J]. 自然资源学报, 1994, 9 (3):260～270.

[7] 孙希华, 侯西勇. 长清县土地生产力综合评价研究[J]. 地球信息科学, 2002(2):89～93.

[8] 高向军, 马仁会. 中国农用土地等级评价研究进展[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1):165 ～168.

[9] 倪绍祥. 近 10 年来中国土地评价研究的进展. 自然资源学报. 2003(6): 672～684.

[10] 蒙睿, 明庆忠, 刘嘉伟等. 西藏阿里地区旅游资源评价与开发 [J]. 热带地理, 2002, 22(1):57～61, 75.

[11] 杨明德, 梁虹. 喀斯特峡谷景观资源的旅游评价[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2000(4):1～4.

[12] 钟林生, 肖笃宁, 赵士洞. 乌苏里江国家森林公园生态旅游适宜度评价[J]. 自然资源学报, 2002, 17(1):71～77.

[13] 李根长, 王自果, 薛华成. 模糊综合评价三亚旅游现状[J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(5):110～113.

[14] 孙武, 李森. 土地退化评价与监测技术路线的研究[[J]. 地理科学, 2000, 20(1):92～96.

[15] 刘彦随, Jay Gao. 陕北长城沿线地区土地退化态势分析[J]. 地理学报, 2002, 57(4):443～450.

[16] 范建容, 刘淑珍, 钟祥浩, 等. 金沙江干热河谷土地荒漠化评价发方法研究

[J]. 地理科学, 2002, 22(2):243～248.

[17] 赵跃龙, 张玲娟. 脆弱生态环境定量评价力法的研究[J]. 地理科学, 1998, 18(1):73～76.

[18] 杨育武, 汤洁, 麻素挺. 脆弱生态环境指标库的建立及其定量评价[J]. 环境科学研究, 2002, 25 件):46～49.

[19] 刘振乾, 刘红玉, 吕宪国. 三江平原湿地生态脆弱性研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2)=241～244.

[20] 王军, 余莉, 罗明, 等. 土地整理研究综述[J]. 地域研究与开发, 2003, 22(2):8～11.

[21] 张正峰, 陈百明, 董锦. 土地整理潜力内涵与评估力法研究初探「J]. 资源科学, 2002, 24 件):43～48.

[22] 倪绍祥, 陈传康. 我国土地评价研究近今进展[J]. 地理学报. 1993, 48(1):75～63.

[23] 刘彦随. 山地土地类型的结构分析与优化利用——以陕西秦岭山地为例[J]. 地理学报. 2001, 56(4):426～436.

[24] 郑宇, 胡业翠, 刘彦随等. 山东省土地适宜性空间分析及其优化配置研究[J]. 农业工程学报. 2005, 21(1):60～65.

[25] 邢世和, 毛艳铃, 周碧青, 等. 福建省农用地资源评价及其利用保护对策[J]. 福建农业大学学报 2000, 29(3):356～362.

[26] 白淑英, 张树文, 宝音, 阿拉坦图雅. 遥感和 GIS 在土地适宜性评价研究中的应用—以呼和浩特武川县为例[J]. 水土保持学报, 2003, 17(6):18～22.

[27] 倪宏伶, 刘甫增, 滕建珍等. 喀斯特地区土地适宜性评价研究[J]. 贵州科学. 1996 14(1):63～67.

[28] 谢树春, 赵玲. 基于 GIS 的湘中紫色土丘陵地区土地适宜性评价一以衡南县谭子山镇紫色土综合治理试验区为例[J]. 经济地理, 2005, 25(1): 101～105.

[29] 佟宝全, 陈才, 宝音, 等. 北方农林牧交错带土地利用空间结构调整研究—以内蒙古阿荣旗为例[J]. 干旱区资源与环境. 2006, 20(1):113～118.

[30] 张建明, 郁光磊, 璩向宁. 宁夏南部黄土高原地区土地适宜性评价研究[J]. 宁夏大学学报(自然科学版). 1999 20(2):154～156.

[31] 张友众,周泽福,程金花.黄土丘陵沟壑区上地适宜性评价研究一一以山西省中阳县屹针耳流域为例[J].水土保持学报.2003,17(1):93～97.

[32] 苏建平,许彦卿,张颖等.祁连山及河西走廊西段土壤和土地适宜性特征[J].干旱区研究.200421(3):240～246.

[33] 彭补拙,李春华,濮励杰.中亚热带北缘青梅土地适宜性评价方法探讨[J].自然资源.1994(2):14～21.

[34] 华熙成.浙闽山区茶叶生产基地评价的探讨[J].地理研究.1994,13(3):98～103.

[35] 张红旗.GIS支持下的县级区域柑桔土地适宜性综合评价[J].资源科学.1998,20(1):62～70.

[36] 王桂芝.基于 GIS 的三亚市热作土地适宜性评价模型的建立[J].测绘信息与工程.
1997(2):23～25.

[37] 邱炳文,池天河,王钦敏.基于GIS和多目标评价方法的果树适宜性评价(英文)[J].农业工程学报.2005,21(6):96～100.

[38] 唐嘉平,刘钊.基于GIS的特色经济作物种植适宜性评价系统[J].农业系统科学与综合研究.2002,18(1):9～12.

[39] 郭晋平,李文荣,王惠恭,等.黄土高原土地宜林性评价及土地利用规划方法的研究—以隰县试区为例[J].资源科学.1997(1):35～41.

[40] 卫三平,李树怀,卫正新,等.晋西黄上丘陵沟壑区刺槐林适宜性评价[J].水土保持学报.2002,16(6):103～106.

[41] 孟林.草地资源生产适宜性评价技术体系[J].草业学报.2000,9(4):1～12.

[42] 明庆忠.论山间盆地城市地貌适宜利用模式[J].地理学与国土研究.1995,11(2):52～57.

[43] 陈桂华,徐樵利.城市建设用地质量评价研究[J].自然资源.1997(5):22～30.

[44] 刘贵利.城乡结合部建设用地适宜性评价初探[J].地理研究.2000,19(1):80～85.

[45] 唐先明,周万村.山地城镇迁建选址模型研究—以巫山县为例[J].山地学报.2001,19(2):135～140.

[46] 赵涛,郑新奇,邓祥征.城市土地利用优化配置分析应－－以济南市为例[J].地球信息科学,2004,2(6):53～57.

[47] 申金山,关柯,李峰.城市居住用地适宜性评价方法与应用[J].城市环境与城市生态.1999,12(2):29～31.

[48] 孙铁珩,杨翠芬,赵学群.城市污水土地处理适宜性评价系统[J].中国环境科学.1998,18(6):506～509.

[49] 何连生,朱迎波,赵勇胜,等.城市垃圾填埋场建设环境影响评价支持系统设计[J].城市环境与城市生态.2003,16(4):40～42.

[50] 楚义芳.旅游地开发评价研究[J].地理学报.1991,46(4)396～404.

[51] 程伟民,谢炳庚,李晓青,等.海南省旅游地评价及其开发研究[J].自然资源学.1994,9(2)131～141.

[52] 崔凤军,刘家明.旅游环境承载力理论及其实践意义[J].地理科学进展.1998,17(1) 86～91.

[53] 李铁松,胡大鹏.云南省德钦旅游资源评价和景区环境容量分析[J].地理学与国土研究.2001,17(1):59～63.

[54] 时亚楼,李升峰.风景名胜区旅游环境适宜性分析—以中山陵园风景名胜区为例[J].城市环境与城市生态.2004,17(5):15～17.

[55] 钟林生,肖笃宁,赵士洞.乌苏里江国家森林公园生态旅游适宜度评价[J].自然资源学报.2002,17(1):71～77.

[56] 王军,余莉,罗明,等.土地整理研究综述[J].地域研究与开发.2003,22(2):8～11.

[57] 张献忠,底艳,董棉.土地开发整理项目的土地质量评价—以辽宁省庄河市土地复垦项目为例[J].资源科学,2004,26(2) :138～144.

[58] 刘长胜,卢伟,金晓斌,等.GIS 支持下土地整理中未利用地适宜性评价—以广西柳城县为例[J].长江流域资源与环境.2004,13(4) :333～337.

[59] 高燕,叶艳妹.农村居民点用地整理的适宜性评价指标体系及方法研究[J].土壤.2004,36(4) :365～370.

[60] 章程,曹建华.广西岩溶石山地区耕地整理的生态适宜性综合评价－－以县级区域为例[J].水土保持研究.2004,11(3):120～122.

[61] 粟辉,邱道持,曹蕾,等.城市土地可整理性评价——以重庆市江北区为例[J].西南师范大学学报(自然科学版).2004,29(4):691～694.

[62] 苏光全,何书金,郭焕成.矿区废弃土地资源适宜性评价[J].地理科学进展.1998,17(4):39～46.

[63] 白中科,左寻,郭青霞,等.大型露天煤矿土地复垦规划案例研究[J].水土保持学报.2001,15(4):118～121.

[64] 杨国栋,贾成前.高速公路复垦土地适宜性评价的 BP 神经网络模型[J].系统工程理论与实践.2002(4):119～124.

[65] 邱炳文,周勇,李学垣.地理信息系统支持下的区域土壤资源适宜性动态评价[J].土壤学报.2002,39(3)301～307.

[66] 李湘阁,阂庆文,余卫东.南京地区茶树生长气候适宜性研究[J].南京气象学院学报.1995,18(4):572～577.

[67] 任健美,牛俊杰,胡彩虹,等.五台山旅游气候及其舒适度评价[J].地理研究,2004,23(6):856～862

[68] 戴福初,李军,张晓晖.城市建设用地与地质环境协调性评价的 GIS 方法及其应用[J].地球科学—中国地质大学学报.2000,25(3):219～224.

[69] 郑爱榕,蔡阿根,陈慈美,等.市域环境区划和用地生态适宜度分析方法——以晋江市市域环境区划为例[J].台湾海峡.2000,(4):434～440

[70] 吕晓剑,冯长春,郭怀成.武汉汉阳湖区土地资源评价研究[J].地理科学.200525(6):742～747.

[71] 俞义,王深法,陈苇.水网平原区人居环境质量评价指标体系及其可行性研究[J].浙江大学学报(农业与生命科学版).2004,30(1):27～33.

[72] 欧阳志云,王如,松符贵.生态位适宜度模型及其在土地利用适宜性评价中的应用[J].生态学报.1996,16(2):113～120.

[73] 郝晋珉,安萍莉.景观评价在县级土地利用规划中的应用[J].农业工程学报.1996,12(4):90～95.

[74] 傅伯杰,陈利顶,马诚.土地可持续利用评价的指标体系与方法[J].自然资源学报.1997,12(4):113～119.

[75] 彭建,王仰麟,刘松,等.海岸带土地持续利用景观生态评价[J].地理学报.2003,58(3):363～371

[76] 卢远,华璀,邓兴礼. 丘陵地区土地可持续利用的景观生态评价[J]. 山地学报. 2004, 22(5):533～538.

[77] 盛建东,文启凯,蒋平安等. 投影寻踪回归技术在棉花土地适宜性评价中的应用[J]. 干旱区研究. 1997, 14(2):36～41.

[78] 杜红悦,李京. 土地农业适宜性评价方法研究与系统实现—以攀枝花为例[J]. 资源科学. 2001, 23(5):41～45.

[79] 陈健飞,刘卫民. Fuzzy 综合评判在土地适宜性评价中的应用[J]. 资源科学. 1999, 21(4):71～74.

[80] 岳健,杨发相,罗格平,等. 调试法——种农用土地适宜性评价中确定参评因子权重的方法[J]. 干旱区地理, 2004, 27(3):332～337.

[81] 张洪业. 利用限制性评分方法确定土地农业适宜性等级—以澳大利亚新南维尔士州为例[J]. 地理研究. 1994, 13(2):67～73.

[82] 张红旗,李家永,牛栋. 典型红壤丘陵区土地利用空间优化配置[J]. 地理学报. 200358(5):668～676.

[83]王建国,杨林章,单艳红. 模糊数学在土壤质量评价中的应用研究[J]. 土壤学报. 2001, 38(2):176～183.

[84] 梁艳平,刘兴权,刘越,等. 基于 GIS 的城市总体规划用地适宜性评价探讨[J]. 工程勘察. 2001(2):51～55.

[85] 赵霈生,陈百明. 在土地评价中应用人工神经网络专家系统的理论与实践[J]. 中国土地科学. 1998, (2):28～34.

[86] 刘耀林,焦利民. 基于计算智能的土地适宜性评价模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版. 2005, 30(4):283～287.

[87] 张光宇. 土地资源优化配置的物元模型[J]. 系统工程理论与实践. 1998(1):108～112.

[88] 张学雷,张甘霖,龚子同. SOTER支持下ALES模型对海南省热带作物适宜性评价研究[J]. 地理科学. 2001, 21(4):345～350.

[89] 黄杏元,倪绍祥,徐寿成,等. 地理信息系统支持区域土地利用决策的研究[J]. 地理学报. 1993, 48(3):114～121.

[90] 宋如华,齐实,孙保平,等. 区域土地资源的适宜性评价和空间布局[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报1997, 3(3):23～30.

[91] 程建权.GIS技术支持多指标综合评价[J].系统工程.1997,15(1):50～56.

[92] 黄波.基于GIS的土地适宜性评价模型的改进[J].遥感技术与应用.1997,12(1):14～18.

[93] 胡月明,欧阳村香,戴军等.基于GIS的土地资源评价单元确定与属性数据获取力法初探[[J].华南农业大学学报.1999,(2):47～53.

[94] 唐宏,盛业华,陈龙乾.基于GIS的土地适宜性评价中若干技术问题[J].地理科学.1999,(6):36～38.

[95] 武强,陈萍,董东林,等.基于GIS的农业土地适宜性评价系统研制技术[J].中国矿业大学学报.2001,30(4):379～383.

[96] 邱炳文,池天河,王钦敏,等.GIS在土地适宜性评价中的应用与展望[J].地理与地理信息科学.2004,20(5):20～23,44.

[97] 李红,孙丹峰,张凤荣.基于GIS和DEM的北京西部山区经济林果适宜性评价[J].农业工程学报.2002,18(5):250～255.

[98] 贺瑜,刘刚.DEM与空间叠加分析在土地定量评价中的研究[J].计算机工程.2006,32(1):251～253.

[99] 陈崇成,涂平,黄绚.土地利用改造规划的多因子空间分析[J].自然资源学报.2000,15(2):117～122.

[100] 于婧,周勇,周清波,等.基于GIS和模糊数学方法的多方案下农用上地多宜性评价[J].农业工程学报,2005,21(增刊):183～187

[101] 陈秋计,赵长胜,谢宏全.基于GIS和ANN技术的矿区复垦土地适宜性评价[J].金属矿山.2004,333(3):52～56.

[102] 聂艳,周勇,陈平,等.基于组件式地理信息系统的农用地分等方法研究[J].农业现代化研究.2003,24(2):107～110.

[103] 史舟,管彦良,王援高,等.遥感与 GIS 技术支持下的黄岩区柑橘种植结构调整[J].经济地理 2002,22(6):727～730.

[104] http://www.sdxnw.gov.cn/city/rz/mytc.asp

[105] http://www.rzsf.com/zwc1/ReadNews.asp?NewsID=588

[106] http://www.sdny.gov.cn/asp/detail.asp?id=42847

[107] http://www.rz.gov.cn/lvcha/rzlc/20040613155612.htm

[108] http://sd.infobase.gov.cn/

[109] 中国农业科学院茶叶研究所. 中国茶叶栽培学[M]. 上海:上海科学出版社. 1986.

[110] 王宗明.松嫩平原作物生产力及其对气候变化响应的模拟研究.中国科学院东北地理与农业生态研究所博士论文,2005.

[111] 汤国安,刘学军,闾国年.数字高程模型及地学分析的原理与方法[M].北京:科学出版社,2005.

[112] 王新.基于地形图的 DEM 的构建及其精度分析.中国人民解放军信息工程大学硕士论文,2001.

[113] 王家耀,空间信息系统原理[M].北京:科学出版社,2001,5.

[114] 柯正谊,何健邦,池天河.数字地面模型[M].北京:中国科学技术出版社,1993,5.

[115] 姚慧敏.基于地形特征建立高质量 DEM.中国人民解放军信息工程大学硕士论文,2002

[116] 杨昕.基于数字高程模型的地面光热资源模拟及农业应用.西北大学硕士论文,2004.

[117] Lalit Kumar, Andrew K. Skidmore and Edmund Know les, Modeling TopograpHic Variation in Solar Radiation in a GIS Environment[J]. GeograpHical Information Science, 1997; 11(5):475～497.

[118] Satterlund D R, Means J E. Estimating Solar Radiation Under Variable Cloud Conditions[J]. Forest Sci, 1978, 24(3):363～373

[119] Dubayah R, Donzier J, Davis FW. TopograpHic Distribution of Clear Sky Radiation over the Konza Prairie, Kansas[J]. Water Resources Research, 1990, 26(4) :679～ 690.

[120] Dozier J, Frew J. Rapid Calculation of Terrain Parametersfor Radiation Modeling from Digital Elevation Data[J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 1990, 28(5):387～393.

[121] Dubayah R. Estimating Net Solar Radiation Using Landsat Thematic Mapper and Digital elevation Data[J]. Water Resources Research, 1992, 28(9) :2469～2484.

[122] Conese C , Gilabert M A, Maselli F. TopograpHic normalization of TM

scenes through the use of use of an atmospHeric correction method and digital terrain models. PHotogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1990. 28(5):963-969

[123] Civco D L. TopograpHic normalization of landsat the matic mapper digital imagery. PHotogrammatric Engineering and Remote Sensing, 1993, 59(12), 1745-1753

[124] Modeling Incoming Potential Radiation on a Land Surface with PCRaster:POTRAD. MODmanual, POTRAD5 (Z) . Manual. Doc, 2002.

[125] Vectorial Algebra Algorithms for Calculating Terrain Parameters from DEMs and Solar radiation Modeling in Mountain Terrain. Javier, G. corripio[J] . GeograpHical Information Science, 2003, 17 (1):1～23

[126] 傅抱璞. 山地气候 [M]. 北京:科学出版社, 1983.

[127] 朱志辉. 墙面太阳辐照的理论计算公式——以上海为例[J]. 地理学报, 1987, 42 (1):28～41.

[128] 李占清, 翁笃鸣. 坡面散射辐射的分布特征及计算模式[J]. 气象学报, 1988, 46 (3):349～356.

[129] 李占清, 翁笃鸣. 丘陵山地总辐射的计算模式[J]. 气象学报, 1988, 11, 46(4):461～468.

[130] 李新, 陈贤章, 增群柱. 利用数字高程模型计算复杂地形下的短波辐射平衡[J]. 冰川冻土, 1996, 18:344～353.

[131] 李新, 程国栋, 陈贤章, 卢玲. 任意条件下太阳辐射模型的改进[J]. 科学通报, 1999, 44, 9:993～998.

[132] 陈华, 孙丹峰, 段增强, 张凤荣. 基于DEM的山地日照时数模拟时空特点及应用—以北京西山门头沟区为例[J]. 山地学报, 2002, 20 (5) :559～563.

[133] 何洪林, 于贵瑞, 牛栋. 复杂地形条件下的太阳资源辐射计算方法[J]. 资源科学, 2003, 25 (1) :78～85.

[134] 曾燕, 邱新法, 刘昌明, 等. 基于DEM的黄河流域天文辐射空间分布[J]. 地理学报, 2003, 58 (6) :810～816.

[135] 曾燕，邱新法，缪启龙，等. 起伏地形下我国可照时间的空间分布[J]. 自然科学进展, 2003, 13（5）:545～549.

[136] 曾燕，邱新法，刘昌明，等. 起伏地形下黄河流域太阳直接辐射分布式模拟[J]. 地理学报, 2005, 60（4）:680～688.

[137] 叶晗，王惠林，刘勇. 基于DEM 的山区入射潜在太阳辐射模拟[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19（5）:415～419.

[138] 左大康, 周允华, 项月琴等. 地球表层辐射研究[M]. 北京:科学出版社, 1991.

[139] 王建国.山东气候[M],北京:气象出版社,2005.

[140] Mccutchan, M.H., Determining the diurnal variation of surface temperature in mountains terrain, J.of Applied Meteorology, 1979, 18(9):1226-1230.

[141] .Sohumaker, J., Third conference on mountain Meteorology, American Meteorological Society, 265, 1984.

[142] Daly, C and RP.Neilson.A digital topograpHic approach to modeling the distribution of precipitation in mountainous terrain[J].Interdisciplinary Approaches in Hydrology and Hydrogeology, American Institute of Hydrology; 1992, 437-454.

[143] Daly, C and RP.Neilson and DL PHillips.A statistical — topograpHic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain [J].J.Appl.Meteor.1994 (33):140-158.

[144] Daly, C, GH Taylor, WP.Gibson.The PRISM approach to mapping precipitation and temperature[J].In Proc, 10th AMS Conf.on Applied Climatology, Amer.Meteorological Soc,Reno, NV, Oct.1997.20-23, 10-12.

[145] 傅抱璞.关于山地气候资料的推算问题[A],山地气候文集[A],北京:气象出版社,1984.23～34.

[146] 卢其尧.山区年月平均气温推算方法的研究[J].地理学报,1988,45(3) :213～222.

[147] 翁笃鸣,等.大寨大队沟、梁、坡地的小气候分析[J].南京气象学院学报, (1078):68～80.

[148] 沈国权.考虑宏观地开的小网格温度场分析方法及应用[J].气象,1984(6):145～155.

[149] 程路.秦岭山地辐射和气温空间分布研究.南京气象学院硕士论文,2003.

[150] 李军,黄敬峰.山区气温空间分布推算方法评述[J].山地学报,2004,22(1):126～132.

[151] 陈晓峰,刘纪远,张增祥,等.利用 GIS 方法建立山区温度分布模型[J].中国图象图形学报,1998,3(3) :234～238.

[152] 张洪亮,倪绍祥,邓自旺,等.基于 DEM 的山区气温空间模拟方法[J].山地学报,2002,20 (3): 360～364.

[153] 李军,游松财,黄敬峰.中国 1961—2000 年月平均气温空间插值方法与空间分布[J] .生态环境,2006,15(1):109～114.

[154] 翁笃鸣,罗哲贤.山区地形气候[M],北京:气象出版社,1990:220.

[155] 李新,程国栋,陈贤章,等.任意条件下太阳辐射模型的改进[J].科学通报,1999(5):993～998.

[156] Jackson, S. and Hunt, J. C. R., Turbulent wind flow over a flow hill, Quart. J. Roy. Meteor., 1975, 101.

[157] Estoque,M.A.1996.A theoretical investigation of the sea breeze.Q.J.R.Meteorol,Soc.,Vol.87, 136-146.

[158] Walmsley J L ,Taylor P A ,Salmon J R ,Simple guidelines for estimating wind speed variations due to small-scale topograpHic features an update[J], climatol.Bull,1989,23(1):3~l4.

[159] 王卫国,蒋维楣.青岛地区边界层结构的数值模拟.大气科学. 20(2) :229~234.

[160] 王卫国,蒋维楣.复杂下垫面地域边界层结构的三维细网格数值模拟[J].热带气象学报, 1996, 12(3) :212~217.

[161] 袁春红,杨振斌,朱瑞兆,等.复杂地形风速数值模拟[J].太阳能学报,2002,23(3):174~377.

[162] 余琦,刘原中.复杂地形上的风场内插方法[J].辐射防护,2001,21(4):213~218.

[163] 植石群,钱光明,罗金铃.广东省沿海风随高度变化研究[J].热带地

理,2001,21(2):131~134.

[164] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社. 2004.

致谢

论文至末，颇有感言！

很荣幸能成为郑昭佩副教授的第一个弟子，三年来，他用严谨的治学态度和谦和的为人准则教育和影响着我，使我受益匪浅；感谢师母宋德香老师，无论在学习方面还是生活方面，师母都对我关怀倍至。师恩所至，永生难忘。

感谢山东省建筑大学的史同广教授和郑国强博士，在他们的教育和指导下，使我的专业知识和动手能力大有长进，并且顺利完成了论文。

感谢人资环给予我教育和帮助的每一位老师，他们让我学到了书本内和书本外的很多知识。

感谢同窗好友王林在论文写作中给予的大量帮助，那时那事，犹在眼前；此友此谊，着实难忘。同宿舍的陈永昶、景建军、王强、曲凯、刘小青在生活和学习中给予过我很多的帮助，再次一并致谢。

感谢父母，他们期盼的眼神催我不断上进；感谢女友，她温柔的耳语抹去我种种忧伤。

至此，快乐走完三年，顺利完成论文，谢谢，谢谢你们！

王智勇

2007.3.30

攻读学位期间发表的学术论文

[1]中国土地适宜性评价研究进展（第二作者）.地理科学进展.2007.(2).

[2]昌乐县水源地生态保护研究（第一作者），山东师范大学学报（自然科学版）.2006,21(1).

[3]水资源承载力分析预测——以莒南县为例（第一作者），水土保持研究.2006,13(5).

[4]山东茶叶生产现状与开发对策（第三作者），资源开发与市场. 2006,22（6）.

[5]基于 DEM 的山东省气温模拟（第二作者），山东建筑大学学报. 2007,22(1).

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

DEM支持下的日照市茶树土地适宜性评价

作者： 王智勇
学位授予单位： 山东师范大学

相似文献(2条)

1.期刊论文 贺瑜.刘刚.HE Yu.LIU Gang DEM与空间叠加分析在土地定量评价中的研究 -计算机工程2006,32(1)

以湖北省建始县为例,研究了海拔、坡度和坡向与该区农业生产条件的关系,建立了土地适宜性评价模型.在MapGIS支持下,该文综合应用数字高程模型(DEM)及空间叠加分析技术实现了该模型在土地适宜性评价中的应用.实践表明,该数字化定量评价方法所得的结果与实际情况相符,具有高效、准确和可视化的特点,可为政府决策提供支持.

2.学位论文 陈芬 GIS支持下的福建耕地生产潜力评价 2000

该文在地理信息系统(GIS)支持下,采用联合国粮农组织的农业生态区法(AEZ)计算福 建主要大田作物的最大潜在产量并进行作物气候和土地适宜性评价,根据作物光温水土逐项衰减得出不同作物的生产潜力.该研究考虑了福建复杂的地形对辐射的影响并根据作物的实际情况分生育期进行评价,较客观地反映实际潜力,为各地合理的进行作物的优化组合,种植结构的调整,提高土地生产率,实现农业产业化生产提供科学有力的依据.

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1058441.aspx
授权使用：郑美玉(wffjnl)，授权号：5d2a68e0-b295-4d44-9ab6-9e61017efd20
下载时间：2011年1月4日