

基于 RS 与 GIS 重庆都市区土地利用/覆盖变化 过程及预测分析

孔次芬¹, 李月臣^{2,3}, 简太敏¹

(1. 重庆师范大学 地理与旅游学院, GIS 应用研究重庆市高校重点实验室, 重庆 400047;

2. 重庆市气象科学研究所, 重庆 401147; 3. 重庆交通大学 土木建筑学院, 重庆 400074)

摘要:以重庆都市区为例,借助 GIS 和 RS 技术,运用土地利用/覆盖类型的动态度、转移矩阵和马尔柯夫过程研究方法,以重庆都市区 1997 年和 2006 年两期的 TM 数据作为研究对象,对重庆都市区近年来土地利用/覆盖的动态过程分析和未来土地利用/覆盖演变趋势进行了预测。为重庆都市区的土地规划、管理和决策提供依据,同时也为该区土地资源可持续发展提供借鉴。结果表明:1997—2006 年间,都市区土地利用类型主要以耕地和林地为主,两者之和占总面积的 70% 以上;转移数量最大的是耕地,其面积净减少 506.67 km²,主要转化林地和建设用地;用马尔柯夫过程对 2006 年土地利用进行检验与预测,总体误差范围在卡方检验范围之内;2006—2024 年的预测结果耕地面积百分比从 2006 年的 62.24% 降低到 2024 年的 52.46%;建设用地面积百分比从 2006 年的 8.99% 增加到 2024 年的 15.91%;林地、草地、水域变化相对较小。

关键词:土地利用/覆盖变化;马尔柯夫;预测;重庆市

中图分类号:F301.24;S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)02-0205-05

The Process and Prediction of Land Use/Cover Changes Based on RS and GIS in Metropolitan Area of Chongqing City

KONG Ci-fen¹, LI Yue-chen^{2,3}, JIAN Tai-min¹

(1. Key Laboratory of GIS Application, College of Geography and Tourism, Chongqing Normal

University, Chongqing 400047, China; 2. Chongqing Institute of Meteorological Science, Chongqing 401147, China;

3. School of Civil Engineering Architecture and Construction, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: With the support of GIS and RS technology and the research methods of the dynamic degree of the land use/cover changes, transfer matrix and the Markov process, this paper studies the TM data of two periods (1997 and 2006) from urban Chongqing and predicts the analysis and evolution situation of dynamic process of the land use/cover changes of urban Chongqing in future. And this study provides not only basis of land planning, management and decision, but a source of reference for sustainable development of land resources in this area. The research results reveal that the type of land use of urban district is mainly arable and forest land from 1997 to 2006, the sum of which is more than 70%. The maximum number of transferred land is arable which decrease 506.67 km². Then with the use of Markov process, land use is inspected and predicted. From 2006 to 2024, the predicted results show that arable area decreases from 62.24% in 2006 to 52.46% in 2024, while construction land area increases from 8.99% in 2006 to 15.91% in 2024. Differently, the area change of forest, grass and water is relatively little.

Key words: land use/cover change; Markov; forecast; metropolitan area of Chongqing

土地利用/覆被变化研究已成为全球环境变化的热点问题和前沿领域^[1-3]。目前一些学者应用 RS、GIS 技术在土地利用/覆盖变化的检测、评价与制图、

农村与农业的土地利用/覆盖变化分析等方面做了相应的研究^[4-7]。其中研究重点主要集中在土地利用/覆盖变化问题中的动态信息获取、过程模拟、驱动

收稿日期:2011-09-30

修回日期:2011-10-22

资助项目:重庆市气象局开放基金(kfj-201103);重庆市自然科学基金(CSTC,2008BB7367);国家自然科学基金(40801077);教育部重点项目(209100);重庆市教委科技项目(KJ07081)

作者简介:孔次芬(1985—),女,云南宣威人,在读硕士,主要从事遥感与 GIS 方面的研究。E-mail:kongcife@163.com

通信作者:李月臣(1974—),男,山东德州人,教授,主要从事资源环境遥感与地理信息系统研究。E-mail:liyuechen@cqu.edu.cn

机制、发展趋势等方面^[8-9]。通常根据不同目的使用构造不同土地利用/覆盖变化模型模拟预测土地利用未来发展趋势,其中几种主要模型有马尔柯夫模型、多元统计模型、类似杜能模型、系统动力模型和 CLUE 模型/CA 模型等。目前马尔柯夫过程模型广泛应用于预测土地利用/覆盖景观格局变化。早在 20 世纪 70 年代 Hulst R 就利用马尔柯夫过程模型解决植被生态预测的问题^[10]。近年来, Daiyuan-Pan^[11]等应用马尔柯夫转移矩阵分析加拿大魁北克 Haut—Saint—Laurent 地区 1958—1965 年、1965—1973 年、1973—1983 年、1983—1993 年 4 个时段的景观单元转换情况,得到了较好的结果。王学雷^[12]在马尔柯夫过程模型支持下进行湿地景观格局分析和预测,分析了四湖地区湿地景观格局的动态变化。宁龙梅^[13]等应用马尔柯夫过程模拟湿地景观的动态演变情况和未来演变的趋势。预测结果表明,武汉市区主要湿地类型面积都有减少,建设用地有增加的趋势,说明城市化对于湿地景观具有很大影响。吴晓旭^[14]等基于马尔柯夫模型对乌审旗景观格局模拟与预测,未来研究区各种景观类型变化速率不一致,但是沙地仍然是该旗未来景观的主要类型。虽然前面应用马尔柯夫过程模型预测进行的研究较多,但对马尔柯夫过程预测结果与实际情况进行检验的较少。基于此,本文以重庆都市区为例,运用 GIS 和 RS 技术,并结合马尔柯夫过程对土地利用进行预测,定量分析演变特点,为重庆都市区的土地规划、管理和决策提供依据,同时也为该区土地资源可持续发展提供借鉴。

1 研究区概况

重庆市位于中国西南部、长江上游地区,地跨东经 105°11′—110°11′,北纬 28°10′—32°13′。都市区位于重庆中部,属于亚热带季风河谷区,具有雨量充沛、无霜期长、湿度大、云雾多、四季分明等特点。区内以山地、丘陵为主,平地较少,山脉有缙云山、歌乐山和中梁山。主要土地利用类型有耕地、林地、水域、建设用地等。植被主要有常绿阔叶林、次生暖性针叶林、竹林和常绿阔叶灌丛等。都市区行政区划分为渝中区、大渡口区、江北区、沙坪坝区、九龙坡区、南岸区、北碚区、渝北区、巴南区 9 个区,总面积 5 470.15 km²,2009 年该区常住人口 700 万,GDP 高达 2 986.24 亿元,占全市总量的 45.73%。

2 数据来源及方法

2.1 数据来源

本文利用 1997 年 8 月和 2006 年 8 月的中国科

学院卫星遥感地面站所提供的数据产品, TM 影像每个波段的数据单独存储为一个二进制的图像灰度文件与一个头文件,空间分辨率 30 m。在 ERDAS 辅助下,经假彩色合成、辐射增强、几何配准等增强处理后,再用研究区行政区位图提取出研究区范围作为数据源,参照国家土地利用现状分类标准,并结合重庆都市区的具体情况,综合应用监督分类、聚类分析、去除分析和分类重编码的方法完成遥感影像解译与分类,将都市区土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、建设用地 5 类。两期影像解译误差矩阵值均在 85% 以上,满足研究要求。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用/覆盖类型的动态度 土地利用动态度可定量描述区域土地利用变化速度,它对比较土地利用变化的区域差异和预测未来土地利用变化趋势都具有积极的作用^[15]。单一土地利用/覆盖类型动态度表示某研究区域一定时间范围内某种土地利用/覆盖类型的数量变化情况,表达式为:

$$R = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: R ——研究时段内某土地利用/覆盖类型动态度; U_a, U_b ——研究期初和研究期末某种土地利用/覆盖类型的数量; T ——研究时段长。

2.2.2 马尔柯夫过程 马尔柯夫过程是一种特殊的随机运动过程。它将研究对象看作是一个独立的系统,这一系统在 $T+1$ 时刻的状态与 T 时刻的状态有关,而与 T 时刻以前的状态无关,这个特性称为无后效性。这一无后效的随机过程是马尔柯夫过程。研究表明,成功地运用马尔柯夫模型进行景观变化预测的关键在于转移矩阵的确立^[16-18],转移概率矩阵的表达式如下:

$$P = P_{(ij)} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \cdots & P_{2n} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & \cdots & P_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & P_{n3} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: n ——土地利用/覆盖类型的数目; P_{ij} ——土地利用/覆盖类型 i 转化为 j 的概率。转移概率矩阵的每一个元素满足以下条件: ① $0 \leq P_{ij} \leq 1 (i, j = 1, 2, \cdots, n)$, 即矩阵中各元素都为非负值; ② $\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1 (i = 1, 2, \cdots, n)$, 即矩阵中每行元素之和为 1。(3) 假设转移概率不发生改变。马尔柯夫过程第 n 期的转移概率计算公式为^[17]:

$$P_{ij}^{(n)} = \sum_{k=0}^{n-1} P_{ik} P_{kj}^{(n-1)} = \sum_{k=0}^{n-1} P_{ik}^{(n-1)} P_{kj} \quad (3)$$

$$A(n) = A(0)^T P^n \quad (4)$$

3 结果与分析

3.1 土地利用/覆盖类型的动态度分析

利用 RS 和 GIS 技术得到重庆市都市区不同时期土地利用图,根据公式(1),并对研究区土地现状进行空间分析和统计分析,得到重庆都市区土地利用变化的总体特征(表 1)。

表 1 表明了 1997—2006 年 9 a 间都市区耕地、草地面积急剧下降;林地、水域、建设用地面积增加。1997—2006 年土地利用/覆盖面积及变化情况,都市区土地利用类型都以耕地为主,1997 年耕地

3 846.62 km²,占总面积的 70.32%;虽然 1997—2006 年耕地面积呈下降趋势,但到 2006 年耕地面积为 3 339.95 km²,仍占总面积的 61.06%;其次所占面积较大是林地,1997 年林地占地面积 20.13%,2006 年达到 25.44%;草地占地面积最小,1997 年只有总面积的 2.44%,2006 年减少了 0.12%。

从年变化率来看,建设用地从 1997 年的 220.04 km² 增加到 524.11 km²,增加了 304.07 km²,年变化率 15.35%,增幅最大;其次林地净增 290.31 km²,年变化率 2.93%;耕地和林地面积在数量上变化显著,但年变化率幅度相对不大。

表 1 1997—2006 年重庆都市区土地利用/覆盖类型结构及动态变化

| 年份 | 指 标 | 耕 地 | 林 地 | 草 地 | 水 域 | 建设用地 |
|-----------|---------------------|---------|---------|---------|--------|--------|
| 1997 | 面积/km ² | 3846.62 | 1101.13 | 133.30 | 169.06 | 220.04 |
| | 百分比/% | 70.32 | 20.13 | 2.44 | 3.09 | 4.02 |
| 2006 | 面积/km ² | 3339.95 | 1391.44 | 6.68 | 207.96 | 524.11 |
| | 百分比/% | 61.06 | 25.44 | 0.12 | 3.80 | 9.58 |
| 1997—2006 | 变化值/km ² | −506.67 | 290.31 | −126.62 | 38.90 | 304.08 |
| | 年变化率/% | −1.46 | 2.93 | −1.55 | 2.56 | 15.35 |

3.2 土地利用变化转移矩阵

从表 2 中可知,1997—2006 年间未发生转变土地利用类型为 3 938.45 km²,占总面积的 71.99%。此外,耕地净减面积 506.67 km²,数量变化最大,占 1997 年耕地面积的 13.17%,耕地主要转化为林地和

建设用地。林地净增面积 290.31 km²,主要来源于耕地的转化。同时草地减少量主要转变为耕地和林地,占草地转化面积的 93.50%。而水域和建设用地总体面积均呈大幅上涨趋势,这主要是由三峡库区建设和城市化发展导致的。

表 2 1997—2006 年土地利用类型转换矩阵

| 类 型 | 耕地 | 林地 | 草地 | 水域 | 建设用地 | 1997 年总计 |
|----------|---------|---------|------|--------|--------|----------|
| 耕 地 | 2885.21 | 623.40 | 5.74 | 59.21 | 273.06 | 3846.62 |
| 林 地 | 323.36 | 728.63 | 0.00 | 7.72 | 41.42 | 1101.13 |
| 草 地 | 95.18 | 23.28 | 0.94 | 0.31 | 13.58 | 133.30 |
| 水 域 | 17.43 | 7.74 | 0.00 | 135.75 | 8.15 | 169.06 |
| 建设用地 | 18.77 | 8.39 | 0.00 | 4.96 | 187.92 | 220.04 |
| 2006 年总计 | 3339.95 | 1391.44 | 6.68 | 207.96 | 524.12 | 5470.15 |

在 ArcGIS 辅助下,结合 2006 年土地利用类型属性表,在 1997—2006 年,由于耕地转化为林地和建设用地以及草地转化为耕地和林地比较明显,因此土地利用类型空间格局主要体现耕地、林地之间的转化。就整个都市区而言,在 1997 年的基础上,其中建设用地扩张主要来自城市周边耕地转化,长江、嘉陵江两岸尤为明显,即江北区、南岸区、渝中区,其次沙坪坝在此期间建设用地增长相对较快,其他不同区域也有不同程度的增长趋势,使得 1997—2006 年这一阶段整个都市区城市用地呈增长趋势,都市区北部沿缙云山脉少量草地转化成了耕地和林地。

3.3 马尔柯夫模型预测与检验

将研究区各土地利用类型间的转化看作为按类

型划分的一系列相互演化的状态,各状态在系统中所占的比例,即每种土地利用类型面积占该类型总面积的百分比作为各状态的初始概率。1997 年各状态的初始概率构成初始状态矩阵 A(0)。

$$A(0)=\begin{bmatrix} 70.32 \\ 20.13 \\ 2.44 \\ 3.09 \\ 4.02 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \text{耕地} \\ \text{林地} \\ \text{草地} \\ \text{水域} \\ \text{建设用地} \end{bmatrix} \quad (5)$$

计算转换概率即每一类土地转移后的各种土地类型面积分别除以转移前该类土地的面积,得到该时间段内各类土地的转移概率(表 3),在此基础上,可以计算出年均转化率,进而求得初始状态转移概率矩阵^[16]。

表 3 初始状态各土地利用/土地覆盖类型的转移概率矩阵

| 土地利用 | | 1998 年 | | | | |
|--------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 类型 | | 耕地 | 林地 | 草地 | 水域 | 建设用地 |
| 1 耕地 | | 0.9722 | 0.0180 | 0.0002 | 0.0017 | 0.0079 |
| 9 林地 | | 0.0326 | 0.9624 | 0.0000 | 0.0008 | 0.0042 |
| 9 草地 | | 0.0793 | 0.0194 | 0.8897 | 0.0003 | 0.0113 |
| 7 水域 | | 0.0115 | 0.0051 | 0.0000 | 0.9781 | 0.0054 |
| 年 建设用地 | | 0.0095 | 0.0042 | 0.0000 | 0.0025 | 0.9838 |

为验证上述转移概率预测获得的结果是否合理,采用 1997 年的土地利用结构为基准 $A(0)$ 和以上转移概率矩阵,运用马尔柯夫的基本方程来模拟 2006 年的土地利用结构,并与其相对应年份 2006 年解译获得的土地利用结构实测值进行对比,如表 4 所示。

表 4 2006 年土地利用类型面积比例的实测值和预测值比较

| 土地利用 | 2006 年 | 2006 年 | | |
|------|----------|---------|--------|------------|
| 类型 | 模拟值 Y' | 实测值 Y | $Y-Y'$ | $(Y-Y')^2$ |
| 耕地 | 62.24 | 61.06 | -1.18 | 1.39 |
| 林地 | 24.10 | 25.44 | 1.34 | 1.80 |
| 草地 | 0.93 | 0.12 | -0.81 | 0.66 |
| 水域 | 3.74 | 3.80 | 0.06 | 0.00 |
| 建设用地 | 8.99 | 9.58 | 0.59 | 0.35 |

将 1997 年模拟值和实测值进行对比,采用 χ^2 检验: $\chi^2 = \sum (Y-Y')/\bar{Y}' = 4.20/20 = 0.21$,查表得 $\chi^2_{(4)} = 9.49$ 。结果表明:模拟结果与实测结果差异不显著,两者吻合情况很好,说明采用湿地景观类型之间的面积转移矩阵所确定的转移概率,通过马尔柯夫过程来预测土地利用类型转化是可行的^[19-20]。对 2006 年土地利用类型预测过程中,水域模拟值与实际值差值仅为 0.06 个百分点,差异最小;林地模拟值与实际值差值 1.34 个百分点,相对较大;其他几种类型也存在一定误差,总体误差范围在卡方检验范围之内。

利用初始状态和各土地利用类型的转移概率矩阵,在 Matlab 的支持下,分别计算出研究区 2006 年、2015 年和 2024 年的各土地利用类型的转移矩阵。因此,当 $n=9,18,27$ 时,结合上述公式计算预测得到研究区在未来这些时期的各种土地利用类型所占的面积分比,如表 5 所示。

表 5 不同时期研究区域各土地利用类型面积百分比 %

| 土地类型 | 2006 年 | 2015 年 | 2024 年 |
|------|--------|--------|--------|
| 耕地 | 62.24 | 56.49 | 52.46 |
| 林地 | 24.10 | 25.97 | 26.68 |
| 草地 | 0.93 | 0.39 | 0.20 |
| 水域 | 3.74 | 4.29 | 4.75 |
| 建设用地 | 8.99 | 12.86 | 15.91 |

从表 5 的预测结果表明:(1)1997—2024 年间重庆都市区土地利用持续变化。最为明显的是耕地、草

地持续减少;林地、水域、建设用地持续增加。如果继续保持 1997—2006 年 9 a 间的变化速率,到 2024 年,耕地面积下降了 10 个百分点;建设用地在整个阶段变化最为突出,由 2006 年的 8.99% 增加到了 2024 年的 15.91%,面积在原有基础上增加了近一倍。草地面积和水域面积变化幅度相对较小。(2)从变化速率来看,随着时间推移,变化速率减弱。但到 2024 年耕地面积和林地面积总和均达到 70% 以上,仍是都市区土地利用类型的主要组成部分。

由于近年来退耕还林政策实施,大量坡耕地转化为林地从而使耕地面积百分比持续下降,而林地呈持续上升趋势;人为破坏,政府不加以保护的草地在逐渐衰退;自直辖以来,重庆市人口增长、经济发展迅速、工业化和城市化水平得以提高,基础设施的修建等原因使得人类活动增强、农业结构调整和土地开发整理活动频繁,最终导致城市建设用地大幅增长。

4 结论

本文利用 1997 年和 2006 年两个时期的遥感数据作为数据源,对重庆都市区土地利用/覆盖类型变化过程预测,结果表明:2006—2024 年期间无论土地利用类型怎么转化,耕地仍是土地利用类型的主要组成部分;2006—2024 期间耕地、草地面积百分比不断下降,分别从 2006 年的 62.24%,0.93% 下降到 2024 年的 52.46%,0.20%;林地、水域、建设用地面积百分比不断增加,分别从 2006 年的 24.10%,3.74%,8.99% 增加到 2024 年的 26.68%,4.75%,15.91%。在目前外界驱动力不变的条件下,都市区的耕地面积将继续减少,林地、建筑用地面积持续增加。

利用马尔柯夫模型,对重庆都市区土地利用/覆盖类型变化过程预测,能够在一定程度上反映土地利用变化趋势,由于马尔柯夫是在假设转移概率不发生改变,也就是驱动因素不变的情况下来预测结果,实际中,研究区内土地利用类型面积的变化会因自然和人为因素而随时间变化,不是一个完全平稳的过程,进行预测的前提是不考虑其它诸如政府行为、自然灾害等因素对变化趋势影响,有一定的局限性。今后研究中能获得更精确的数据资料,考虑其他综合因素,利用马尔柯夫模型或者其他模型更好地模拟、预测土地利用动态变化,从而为合理利用土地提供科学的依据。

重庆都市区人口增加、经济的增长,城市用地加剧,土地利用类型变化迅速。土地是人类赖以生存发展的最基本农业资源,必须实施加以保护稳定发展;加强林地保护,禁止乱砍乱伐的行为,从而提高整个

都市区的生态环境;建设用地面积大量扩张,合理正确规划利用土地,对于不合理的发展趋势,应该采取有效的措施,从而实现土地资源的可持续利用。

参考文献:

- [1] Turner II B L, skole D. Land Use and Land Cover Change (LUCC): Science/Research Planning[R]. IG-BP Reports No. 35, Stockholm: IGBR 1995.
- [2] 史培军,李晓兵,江源,等. 土地利用/覆盖变化与生态安全响应机制[M]. 北京:科学出版社,2004:1-10.
- [3] 于修兴,杨桂山. 中国土地利用/覆被变化研究的现状和问题[J]. 地理科学进展,2002,21(1):51-57.
- [4] 陈百明,刘新卫,杨红. LUCC研究的最新进展评述[J]. 地理科学进展,2003,22(1):22-29.
- [5] 张世文,唐南奇. 土地利用/覆被变化(LUCC)研究现状与展望[J]. 亚热带农业研究,2006,2(3):221-225.
- [6] 郭旭东,刘国华,陈利顶,等. 欧洲景观生态学研究展望[J]. 地球科学进展,1999,14(4):40-44.
- [7] 孙丹峰,李红,张凤荣. 基于动态统计规则和景观格局特征的土地利用覆被空间模拟预测[J]. 农业工程学报,2005,21(3):121-125.
- [8] 张钰,刘桂民,马海燕,等. 黑河流域土地利用与覆被变化特征[J]. 冰川冻土,2005,26(6):740-746.
- [9] 陆石阁,许月卿,蔡云龙. 基于遥感技术和GIS的小流域土地利用/覆被变化分析[J]. 地理科学进展,2005,24(1):79-86.
- [10] Hulst R. On the dynamice of vegetation; Markov chain as of succession[J]. Vegetation, 1979, 40: 3-4.
- [11] Pan Daiyuan, Gerald Domon, Sylvie de Blois, et al.

Temporal (1958—1993) and spatial patterns of land use changes in Haut-Saint-Laurent (Quebec, Canada) and their relation to landscape physical attributes[J]. Landscape Ecology, 1999, 14(1): 35-52.

- [12] 王学雷,吴宜进. 马尔柯夫模型在四湖地区湿地景观变化研究中的应用[J]. 华中农业大学学报,2002,21(3): 288-291.
- [13] 宁龙梅,王学雷,胡望斌. 利用马尔科夫过程模拟和预测武汉市湿地景观的动态演变[J]. 华中师范大学学报:自然科学版,2004,38(2):255-258.
- [14] 吴晓旭,邹学勇,钱江. 基于马尔柯夫模型的乌审旗景观格局模拟与预测[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(2):158-162.
- [15] 李志,刘文兆,杨勤科,等. 黄土高原沟壑区小流域土地利用变化及其生态效应分析[J]. 应用生态学报,2007,18(6):1299-1304.
- [16] 除多,张镜锒,郑度. 拉萨地区土地利用变化情景分析[J]. 地理研究,2005,24(6):869-877.
- [17] 龚乐春,韦新良,胡秉民. 区域景观结构动态变化的趋势分析及其应用研究[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2005,31(2):211-214.
- [18] 宁龙梅,王学雷,胡望斌. 利用马尔科夫过程模拟和预测武汉市湿地景观的动态演变[J]. 华中师范大学自然科学版,2004,38(2):255-258.
- [19] 付春雷,宋国利,鄂勇. 马尔科夫模型下的乐清湾湿地景观变化分析[J]. 东北林业大学学报,2009,37(9): 117-119.
- [20] 郭笃发. 利用马尔科夫过程预测黄河三角洲新生湿地土地利用/覆被格局的变化[J]. 土壤,2006,38(1):42-47.

(上接第204页)

参考文献:

- [1] 曲泽洲,王永蕙. 中国枣树志·枣卷[M]. 北京:中国林业出版社,1993:2-6.
- [2] 郭裕新. 枣[M]. 北京:中国林业出版社,1982:3-5.
- [3] 解进宝,解秉旭. 枣树丰产栽培管理技术[M]. 北京:中国林业出版社,1998:2-3.
- [4] 龙兴桂. 现代中国果树栽培[M]. 北京:中国林业出版社,2001:5-6.
- [5] 陈贻金. 中国枣树学概论[M]. 北京:中国科学出版社,1991:32-35.
- [6] 李占林,王新河,肖小威. 新疆栽培枣树有利的气候条件[J]. 落叶果树,2006(1):18-19.
- [7] 周莉蓉,翟慧玲. 加强新疆红枣流通的合理化建议[J]. 果树花卉,2007(11):40-42.
- [8] 李占林,刘晓红,王新河. 新疆枣树害虫的发生与无公害防治技术[J]. 新疆林业,2008(2):41-42.
- [9] 史彦江,宋峰惠. 新疆红枣高效栽培技术讲座(一)[J].

农村科技,2007(1):34-35.

- [10] 于亚军,李军,贾志宽,等. 旱作农田水肥耦合研究进展[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(3):220-224.
- [11] 谢伟,黄璜,沈建凯,等. 植物水肥耦合研究进展[J]. 作物研究,2007,21(5):541-545.
- [12] 肖自添,蒋卫杰,余宏军. 作物水肥耦合效应研究进展[J]. 作物杂志,2007(6):18-22.
- [13] 文宏达,刘玉柱,李晓丽,等. 水肥耦合与旱地农业持续发展[J]. 土壤与环境,2002,11(3):315-318.
- [14] 安华明. 肥水耦合对柑橘产量和品质的影响[J]. 耕作与栽培,2007(5):18-19.
- [15] 朱德兰,王文娥,楚杰. 黄土高原丘陵区红富士苹果水肥耦合效应研究[J]. 干旱地区农业研究,2004,22(1): 152-155.
- [16] 王斌,李怀有,王志雄. 黄土高原沟壑区苹果园的水肥耦合试验研究[J]. 土壤肥料,2000(2):49-51.
- [17] 邱继水,魏岳荣,杨护,等. 水肥耦合微喷灌溉对香蕉生长和产量的影响[J]. 灌溉排水学报,2007,26(2):99-101.