

土地用途转换表征模型与应用

邓祥征^{1,2} 赵永宏^{1,3} 战金艳⁴ 林英志¹ (1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院农业政策研究中心, 北京 100101; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 北京师范大学环境学院水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875)

摘要 介绍了栅格面积成分数据模型, 推导了土地用途转换动态度公式, 为区域土地用途转换提供了表征方法与手段。在此基础上, 以东北地区土地用途转换为案例, 采用栅格面积成分数据模型与土地用途转换动态度公式, 提炼了 1988~2000 年东北地区土地用途转换的特征。研究表明, 东北地区土地用途转换导致了各种土地利用类型的收缩与扩张, 并体现为水田与旱地相互转换、退耕还林/还草等 9 种主要转移类型。

关键词 土地利用; 土地用途转换; 表征模型; 面积成分数据; 栅格成分数据; 土地用途转换动态度
中图分类号 F301.24 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2010)04-01958-04

Representation Model for Land Use Conversion and Its Application

DENG Xiang-zheng et al (Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract Raster-oriented area percentage data model was introduced. The formula of dynamic degree of land use conversion was deduced, which provided the representation methods and ways for the regional land use conversion. On this basis, taking the land use conversion of Northeast China as an example, the characteristics of the land use conversion in Northeast China during 1988-2000 were extracted by using the raster-oriented area percentage data model and land use conversion dynamic degree formula. The research results indicated that the land use conversion in the Northeast China resulted in the dramatic shrinkage and expansion of various kinds of land use type, which was especially characterized by nine kinds of land use conversion including mutual conversions between paddy field and dry farming land, conversions of cultivated land to forest area and grassland cover and so on.

Key words Land use; Land use conversion; Representation model; Area percentage data; Raster-oriented area percentage data; Dynamic degree of land use conversion

土地用途转换问题已成为一个全球性的重要研究课题。国内外众多专家、学者围绕土地用途转换做了大量研究并提出了多种分析模型。Riebsame 等在研究美国大平原地区农业时建立了一个综合性的土地用途转换模型。国际应用系统分析研究所 (IIASA) 建立了世界粮食与农业系统全球模型^[1]。我国学者也提出了一些土地用途转换测度与表征模型, 比较典型的有测度土地面积变化的土地利用动态度模型^[2]、土地利用变化区域差异模型^[3]等。

土地用途转换表征模型主要是用于测度与表达区域各种用地类型在某一时间段的转移方向与速率, 是描述区域土地利用变化的主要手段。笔者介绍了与土地用途转换密切相关的栅格面积成分数据模型和土地用途转换动态度公式, 并以 1988~2000 年东北地区土地用途转换的案例研究为例, 展示了栅格成分数据模型与土地用途转换动态度公式的应用。

1 栅格面积成分数据模型

栅格面积成分数据是表征土地用途转换的基础^[4-7]。栅格面积成分数据模型是用一定大小的栅格表示某种土地利用面积在该栅格内所占份额的方法。栅格面积成分数据是一系列大小相同的像元组成的矩阵^[8], 每个栅格记录了解译遥感数据的各种土地利用数据面积的信息。笔者提出一种以遥感图像为基础, 以目视解译为主要判读手段的土地用途转换信息提取技术^[7], 并统一了土地利用分类体系, 形成

了一致的判读标准, 保证了遥感数据目视解译的精度。方案设计通过 2 期遥感影像的纠正处理与判读直接对比, 采用土地用途转换分类判读(即直接解译动态斑块)的方式提取土地利用信息, 进一步勾画研究时段内的土地用途转换图斑, 并采用 1 km 栅格成分数据的办法对土地用途转换图斑加以集成(图 1)。

土地用途转换 1 km 栅格成分数据的制备大致包括 7 个步骤: ①在遥感图像解译软件环境下, 打开 t 与 $t + \Delta t$ 时刻 2 期经过精纠正处理的遥感数字影像; ②以 t 时刻遥感数字影像作为衬底参考底图, 通过对比 t 与 $t + \Delta t$ 时刻的遥感影像, 勾画土地利用变化矢量动态图斑, 形成工作区土地利用变化动态图; ③在 ArcGIS 软件环境下, 利用 Arc 模块下的 Generate 命令, 制备覆盖整个工作区的 1 km 矢量网格图, 该矢量网格图的属性文件中包含能唯一标示各个 1 km 矢量网格的单元编码; ④对土地利用变化动态图与 1 km 矢量网格图做叠置处理, 得到每个 1 km 栅格内各土地类型变化面积及类型之间的转换面积; ⑤将计算出的 1 km 矢量网格内的土地类型变化面积与转换面积制备成 ArcGIS 可以读取的 info 文件, 并在该 info 文件内保存记录 1 km 矢量网格的单元编码; ⑥在 ArcGIS 软件环境下, 将上述记录 Δt 时段内土地类型变化与用途转换信息的 info 文件利用 1 km 矢量网格的单元编码链接到 1 km 矢量网格图; ⑦在 Arc 模块下将该 1 km 矢量网格图利用其属性表中记录的土地类型变化面积、土地用途转换面积(以各 1 km 栅格内变化、转换面积占整个栅格面积的百分比计)生成大小为 1 km 的栅格数据, 分类、分层表征每个 1 km 栅格上的土地利用结构变化和土地用途转换(图 1)。利用上述方法生成的 1 km 栅格成分数据与原数据精度保持一致。在依据栅格进行动态面积汇总时, 耕地面积为未对内部细小地物进行扣除的面积, 因此反映的是遥感调查面积。

基金项目 国家自然科学基金(70873118、4080123、70821140353); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-305-2); 国家科技支撑项目(2006BAC08B03、2006BAC08B06、2008BAC43B01、2008BAC44B04、2008BAK50B06)。

作者简介 邓祥征(1971-), 男, 山东日照人, 副研究员, 从事土地系统变化与效应、区域环境变化研究。

收稿日期 2009-10-16

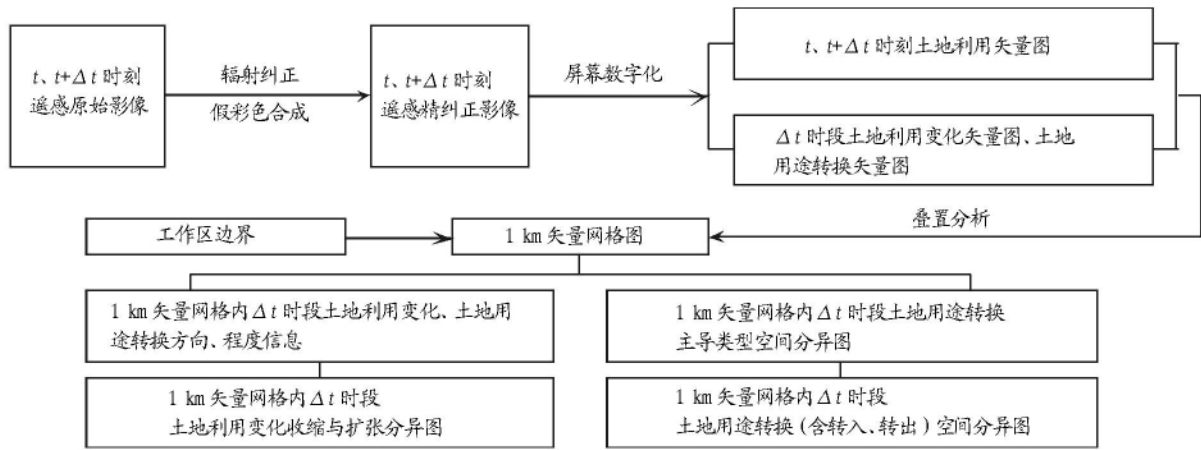


图 1 遥感数据处理与土地利用转换信息提取技术流程

Fig.1 The technical flow for the remote sensing data processing and land use conversion information extraction

2 土地利用转换动态度公式

区域土地利用转换方向与速率可以用土地利用转换动态度加以表述^[9]。假设研究区内有 M 种不同的土地利用类型 ($M \geq 1$) 其面积均是关于时间 t 的函数, 记为 $f_j(t)$ 其中 $j = 1, 2, \dots, M$ 。那么, 从时间节点 $a \sim b$, 发生用途转换的土地随时间的累积面积可表示为:

$$\int_a^b [\sum_{j=1}^M |f_j(t) - f_j(a)| / 2] dt$$

因此, 土地利用转换动态度可以表述为:

$$\frac{\int_a^b [\sum_{j=1}^M |f_j(t) - f_j(a)| / 2] dt}{\int_a^b \sum_{j=1}^M f_j(a) dt} \cdot \frac{1}{b-a} \times 100\%$$

式中, $\sum_{j=1}^M f_j(a)$ 表示初始时刻研究区不同类型的土地面积总和; $(b-a)$ 表示考察时长; $\int_a^b \sum_{j=1}^M f_j(a) dt$ 表示当土地用途不发生变化时, 研究区内不同土地利用类型的总面积随时间的累积量, 即基期的土地利用状况随时间的累积量。

然而, 由于土地利用转换的复杂性, 在现实中根本无法拟合出不同土地利用类型的面积关于时间的函数 $f_j(t)$ 。因此, 需将以上模型近似地写为如下的离散形式:

$$\frac{\sum_{i=1}^N \{ [\sum_{j=1}^M |f_j(t_i) - f_j(a)| - \sum_{j=1}^M |f_j(t_{i-1}) - f_j(a)|] (t_i - t_{i-1}) / 2 \}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M f_j(a) (t_i - t_{i-1})} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^N (t_i - t_{i-1})} \times 100\%$$

式中 t_i 表示第 i 次观测的时刻 $t_0 = a, t_N = b; f_j(t_i)$ 表示 t_i 时刻的第 j 种土地利用类型的土地面积; $\sum_{j=1}^M |f_j(t_i) - f_j(a)| - [\sum_{j=1}^M |f_j(t_{i-1}) - f_j(a)|] / 2$ 为 2 次观测之间不同土地利用类型的面积变化之和。

由于 $\sum_{i=1}^N (t_i - t_{i-1}) = b - a$ 因此上式可简写为:

$$\frac{\sum_{i=1}^N \{ [\sum_{j=1}^M |f_j(t_i) - f_j(a)| - \sum_{j=1}^M |f_j(t_{i-1}) - f_j(a)|] (t_i - t_{i-1}) / 2 \}}{\sum_{j=1}^M f_j(a) (b-a)} \cdot \frac{1}{b-a} \times 100\%$$

在土地利用转换研究过程中, 往往仅能得到处在 2 个时

间节点的不同类型的土地面积, 即 $N = 1$ 。因此, 上述模型被进一步近似为:

$$\frac{[\sum_{j=1}^M |f_j(t_1) - f_j(a)| - \sum_{j=1}^M |f_j(t_0) - f_j(a)|] (t_1 - t_0) / 2}{\sum_{j=1}^M f_j(a) (b-a)} \cdot \frac{1}{b-a} \times 100\%$$

$$= \frac{\sum_{j=1}^M |f_j(b) - f_j(a)| / 2}{\sum_{j=1}^M f_j(a)} \cdot \frac{1}{b-a} \times 100\%$$

或者记作:

$$S = (\frac{\sum_{j=1}^M \Delta S_j}{\sum_{j=1}^M S_j}) \cdot \frac{1}{T} \times 100\%$$

此式即为土地利用转换动态度公式。式中 $\Delta S_j = |f_j(b) - f_j(a)|, S_j = f_j(a)$ 分别表示第 j 种土地利用类型面积变化的绝对量和初始时刻第 j 种土地利用类型的面积; T 表示 2 次观测之间的时间间隔; S 即为综合土地利用转换动态度, 用以表征和描述区域土地利用转换的总体情况。在研究单一土地利用类型的用途转换情况时, 上述公式可表述为:

$$S = \frac{f_j(b) - f_j(a)}{f_j(a)} \cdot \frac{1}{T} \times 100\%$$

3 东北地区土地利用转换分析

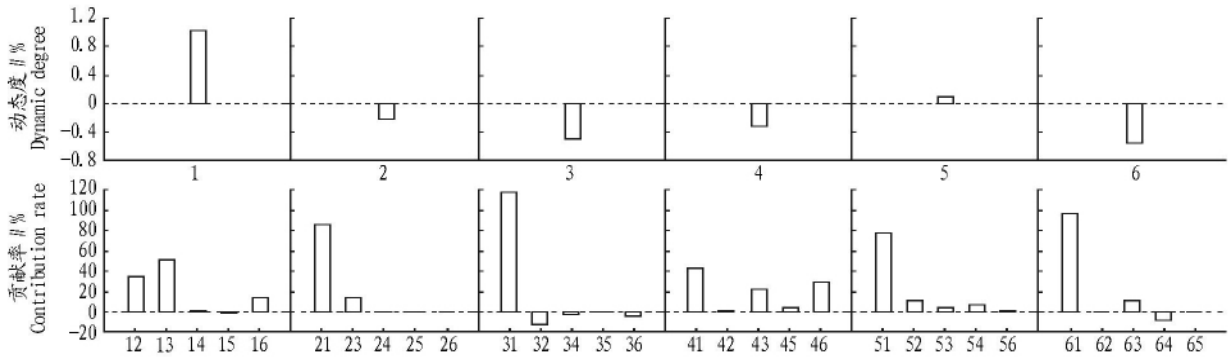
3.1 区域概况 研究案例区——东北地区包括黑龙江、吉林、辽宁 3 省及内蒙古自治区的呼伦贝尔盟、兴安盟、通辽市和赤峰市, 东部和北部分别与朝鲜和俄罗斯相邻, 西部边界为 1.2 等干燥度线, 南部边界为 3 200 °C 等积温线 (≥ 10 °C)。该区是我国重要的商品粮和经济作物生产基地, 也是我国主要的木材和石油生产基地。近年来, 随着人口增长与社会经济的发展, 该区土地利用转换频繁。

3.2 土地利用转换时空格局

3.2.1 1988 ~ 2000 年土地利用转换动态度。利用土地利用转换动态度公式, 计算得到 1988 ~ 2000 年东北地区 6 种用地类型 (耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地) 的土地用途转换动态度 (图 2)。相对而言, 耕地的转换动态度最大, 为 1.025%。建设用地、未利用地、草地、水域和林地的转换动态度次之, 依次为 0.123%、-0.566%、-0.491%、-0.317% 和 -0.224%。进一步探讨土地利用转换的来源

和流向发现,耕地方面主要体现为与林地、草地之间的转换,分别占期间耕地面积净变化的34.49%和51.09%。林地和草地方面,林地与耕地之间转换占林地面积净变化的86.49%;草地与耕地之间的转换更是高达草地面积净变化的117.93%。这也说明了1988~2000年东北地区耕地与林地、草地之间的转换应值得关注。建设用地和未利用地同样主

要体现为与耕地之间的转换,分别占期间建设用地的和未利用地面积净变化的76.98%和97.18%。这暗示着东北地区城市用地扩张的主要来源是耕地,同时耕地退化的现象也应当引起人们的重视。水域与耕地、草地、未利用地之间的转换是导致水域面积变化的主要原因,其中与耕地之间的转换占水域面积净变化的43.12%,与林地之间的转换占22.46%,



注:1~6分别表示耕地、林地、草地、水域、建设用地与未利用地;此处贡献率(CR_{ij})定义为6种土地利用类型之间两两转换面积(不计自身转换)占其自身面积净变化的比例;贡献率按照该公式计算: $CR_{ij} = (\text{土地利用类型}j\text{转向土地利用类型}i\text{的面积} - \text{土地利用类型}i\text{转向土地利用类型}j\text{的面积}) / \text{土地利用类型}i\text{面积的净变化}$ 。

Note: 1-6 stand for cultivated land, woodland, grassland, water area, contribution land and unused land. The contribution rate(CR_{ij}) was defined as the proportion of the inter-conversion land between 6 kinds of land use (except self-conversion) in the net changes of self areas; The contribution rate was calculated according to the formula of $CR_{ij} = (\text{the conversion area from land use type } j \text{ to land use type } i) - \text{the conversion area from land use type } i \text{ to land use type } j) / \text{the net changes of land use type } i$.

图2 1988~2000年东北地区土地用途转换动态度及各种土地用途转换的贡献率

Fig.2 Dynamic degree of land use conversion and contribution rate of various land use conversion in Northeast China from 1988 to 2000

与未利用地之间的转换占28.88%。

3.2.2 土地用途转换分区、分类。根据东北地区土地用途转换的总体特征,笔者提炼了5个土地用途转换分区与9种转移类型。5个转换分区分别为农林交错带东北林草—耕地转换区、东北旱地与水田相互转换区、农牧交错带草地向耕地转换区、城市扩张区及西北开垦与撂荒区。9类转移类型分别为水田与旱地相互转移型、退耕还林还草型、水体扩张型、其他用地类型转为建设用地区、毁林开荒型、林草转换型、草地或废弃地复垦型、草地或废弃地的植树造林型及水域向耕地、林地、草地或未利用土地的转换型。基于每个栅格内最大转移特征决定该栅格的土地利用转移类型的原则,通过统计每个栅格内不同土地利用类型的面积转换,可以发现东北地区各种土地利用类型存在着不同程度的收缩与扩张(图3)。

3.2.3 土地利用动态变化。1988~2000年,东北地区土地利用动态变化呈现显著的时空分异特征见表1。农林交错带东北林草—耕地转换区耕地增加1 680 866 hm^2 ,其中包括1 083 139 hm^2 天然林的砍伐并开垦。东北旱地与水田相互转换区,旱地向水田的转换趋势明显,并导致水田面积增加294 151 hm^2 。农牧交错带草地向耕地转换区新增耕地1 599 978 hm^2 ,其中水田新增295 533 hm^2 ,旱地新增1 304 445 hm^2 。因此,从整体上看,该区耕地增加而草地收缩的趋势明显。西北开垦与撂荒区位于干旱与半干旱区,开垦与撂荒交错分布。1988~2000年该区耕地增加了17 013 hm^2 而草地减少了30 215 hm^2 。从整体上看,草地的转换有

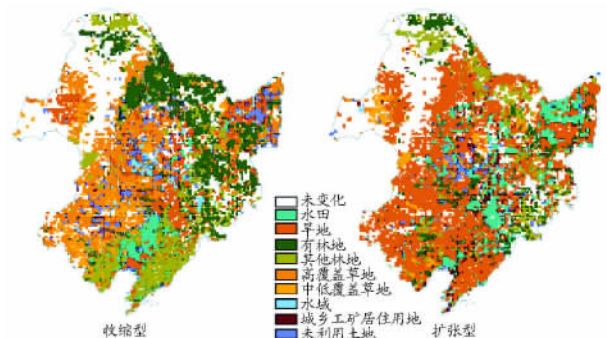


图3 1988~2000年东北地区土地用途转换导致的土地利用变化

Fig.3 The land use change induced by the land use conversion in Northeast China from 1988 to 2000

耕地和撂荒地2个方向,两者的转移面积相当。城市扩张区分布在传统的农业区,尽管新增城镇用地面积仅为23 hm^2 ,但已占该区的面积的2.0%以上,扩张趋势明显。

4 结论

研究表明,以栅格面积成分数据模型和土地用途转换动态公式为核心技术支撑的土地用途转换表征模型,能精确地描述区域土地用途转换的方向与程度。栅格面积成分数据模型是用一定尺度栅格表示区域土地用途转换方向、数量的一种方法。基于该方法生成的栅格成分数据保持了原数据的精度,是区域尺度土地用途转换监测、预测及机理分析中的一种易于表现和融合的数据集成方式。土地用途转换动态公式是用来衡量区域土地用途在一个时段内的转换程度的一种重要手段,不但能够计算区域综合土地用途转换

表 1 1988 ~ 2000 年东北地区各土地利用转换区土地利用的变化

Table 1 Net change of land use in each land use conversion zone of Northeast China from 1988 to 2000

土地利用转换区名称	水田	旱地	林地	草地	水域	建设用地	未利用土地
Name of land use conversion zones	Paddy field	Dry land	Woodland	Grassland	Water area	Contribution land	Unused land
农林交错带林草—耕地转换区	159 071	1 521 795	-1 083 139	-461 580	4 899	22 537	-160 940
东北旱地与水田相互转换区	294 151	78 205	-141 115	-77 377	-51 092	36 950	-139 707
城市扩张区	0	5 438	-3 463	-2 075	-19	23	96
农牧交错带草地向耕地转换区	295 533	1 304 445	-170 889	-1 132 204	-111 433	16 257	-201 702
西北开垦与撂荒区	0	17 013	-318	-30 215	9 184	1 015	-11 659

动态度和单一用地类型的用途转换动态度,而且有助于进一步探索区域土地利用转换的来源和流向,充分体现区域土地利用变化的活跃程度,为土地资源管理提供参考决策信息。

该研究采用土地利用转换表征模型在精细栅格尺度上分析了 1988 ~ 2000 年东北地区的土地利用转换特征;研究表明,东北地区 1988 ~ 2000 年土地利用变化呈现出明显的时空分异特征;农林交错带东北林草—耕地转换区有大量的天然林被砍伐并被开垦为耕地;东北旱地与水田相互转换区,旱地向水田的转换趋势明显;农牧交错带草地向耕地转换区总体呈现耕地增加、草地收缩的趋势;西北开垦与撂荒区开垦与撂荒交错分布;城镇用地变化以显著扩张为主要特征,其扩张区主要分布在传统的农业区。时间动态变化主要体现在为在 1988 ~ 2000 年,耕地的年际变化率最大,林地、草地、水域和未利用地的年际变化率中等,而建设用地的年际变化率最小,仅为 0.123%。

(上接第 1934 页)

可见,鱼鳞坑的容重比水平沟和封育草地小,非毛管孔隙和总孔隙度均比水平沟和封育草地大,故其土壤透水性强的大孔隙较多,所以表现为较大的入渗速率;水平沟次之,但其与鱼鳞坑的容重、孔隙状况相差较小,故其入渗速率与鱼鳞坑并无显著差异;封育草地的容重最大,非毛管孔隙和总孔隙度最小,加之地表存在“结皮”层,所以其入渗速率最小,与水平沟和鱼鳞坑整地方式相比,差异极显著($P < 0.01$)。这说明经人工整地干扰后的鱼鳞坑和水平沟入渗性能显著高于封育草地,更有助于二者入渗雨水。

4 结论

(1) 该研究结果表明,双环法野外土壤水分入渗过程模拟中,Philip 入渗公式拟合的精度高于 Kostiakov 入渗经验公式和 Horton 入渗经验公式,因此 Philip 入渗公式更适合于模拟该试验条件下土壤入渗过程。

(2) 目前,测定土壤水分入渗速率的主要方法有双环法(注水法)、水文法和人工降雨法^[6]。双环法测定土壤入渗具有一层的水层厚度,是一种有压入渗,反映的是土壤本身的入渗特性。试验考虑到鱼鳞坑和水平沟特殊的地形条件,双环法所测定的土壤入渗速率与人工降雨法测定的土壤入渗速率之间呈线性函数关系,且相关性较高^[7-8]。因此,试验采用了双环法测定草地土壤入渗速率,测定值虽然可能偏

参考文献

- [1] FISCHER G, FROHBERG K, KEYZER M A, et al. Linked national models: a tool for international food policy analysis [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988.
- [2] 刘纪远, 庄大方. 中国土地利用程度的区域分异模型研究 [J]. 自然资源学报, 1997, 12(2): 106-111.
- [3] 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.
- [4] 刘明亮, 唐先明. 基于 1 km 格网的空间数据尺度效应研究 [J]. 遥感学报, 2001, 5(3): 183-190.
- [5] 刘纪远, 庄大方, 张增祥, 等. 中国土地利用时空数据平台建设及其支持下的相关研究 [J]. 地球信息科学, 2002, 4(3): 3-7.
- [6] 封志明, 唐焰, 杨艳昭, 等. 中国地形起伏度及其与人口分布的相关性 [J]. 地理学报, 2007, 62(10): 1073-1082.
- [7] 邓祥征, 战金艳, 苏红波, 等. 黄淮海平原土地系统结构变化的模拟与分析 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(4): 1542-1546.
- [8] ZEILER M. Modeling our world [M]. California USA: Esri Press, 1999.
- [9] 刘纪远, 布和敖斯尔. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究——基于卫星遥感数据 [J]. 第四纪研究, 2000, 20(3): 229-239.

高,但仍能说明 3 种措施下土壤水分入渗性能的高低。试验发现水平沟土壤的初始入渗率最大,鱼鳞坑次之,封育草地最小;鱼鳞坑的稳定入渗率和平均入渗率最大,水平沟次之,封育草地最小。这说明鱼鳞坑和水平沟整地后土壤水分入渗性能显著提高。

(3) 鱼鳞坑和水平沟整地后土壤浅层容重的下降,非毛管孔隙和总孔隙度的增加有利于水分入渗。此外,土壤水分入渗率还受土壤表层初始含水率、土壤结皮状况等因素的影响,这还有待于进一步研究。

参考文献

- [1] 蒙宽宏, 姚余君, 柴亚凡, 等. 环境因子对土壤水分渗透特征的影响 [J]. 防护林科技, 2006(3): 25-27.
- [2] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 40-160.
- [3] 王健, 吴发启, 孟秦倩, 等. 不同利用类型土壤水分下渗特征试验研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(6): 159-162.
- [4] 吴钦孝, 韩冰, 李秧秧. 黄土丘陵区小流域土壤水分入渗特征研究 [J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(2): 1-5.
- [5] 雷自栋, 杨诗秀, 谢森传. 土壤水动力学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1988: 19-24.
- [6] 赵西宁, 吴发启. 土壤水分入渗的研究进展和评述 [J]. 西北林学院学报, 2004, 19(1): 42-45.
- [7] 吴发启, 赵西宁, 崔卫芳. 坡耕地土壤水分入渗测试方法对比研究 [J]. 水土保持通报, 2003, 23(3): 39-41.
- [8] 蔡进军, 张源润, 王月玲, 等. 坡地雨水资源潜力分析及径流侵蚀的动态变化 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 44-46.