



西华师范大学学报(自然科学版)

Journal of China West Normal University(Natural Sciences)

ISSN 1673-5072,CN 51-1699/N

《西华师范大学学报(自然科学版)》网络首发论文

题目：汾河流域土地利用变化特征及驱动力分析
作者：董海平，牛俊杰，林菲，于秋月
收稿日期：2021-05-26
网络首发日期：2021-09-06
引用格式：董海平，牛俊杰，林菲，于秋月. 汾河流域土地利用变化特征及驱动力分析. 西华师范大学学报(自然科学版).
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1699.n.20210903.1444.007.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

汾河流域土地利用变化特征及驱动力分析

董海平，牛俊杰，林菲，于秋月

（太原师范学院 汾河流域科学发展研究中心，山西晋中 030619）

摘要：为了探究汾河流域近 18 年来的土地利用变化特征及其驱动因素。以 2000、2010 和 2018 年 3 期土地利用现状为研究对象，采用土地利用动态度和桑基图对研究区的土地利用结构变化进行分析，并利用地理探测器模型探究各驱动因子对土地利用空间分布和变化的影响程度。结果表明：2000—2018 年耕地的面积逐渐减少，共减少 891.65 km²，建设用地的面积从 2000 年的 1 614.06 km² 增加为 2018 年的 3 157.99 km²，主要源于耕地的转入；各驱动因子对不同土地类型空间分布的影响程度不同，主要受自然因素的影响，而同一地类在不同时期受各驱动因子影响的排序差别较小；林地和草地变化受自然因子的影响较大，耕地和建设用地变化受自然因子和社会经济因子的影响均较强，各驱动因子独立作用的 q 值解释力小于两因子交互作用。

关键词：汾河流域；土地利用；驱动因子；地理探测器

中图分类号：X144;P962

文献标志码：A

土地作为环境要素的组成之一，是人类生存和发展中不可缺少的宝贵资源^[1]。土地利用是指人类为了达到一定目的，按照土地资源的特性，并采取一系列手段，对土地资源进行的利用活动^[2-3]。土地利用变化是人类作用于自然环境的直观反映，受自然和人文两方面因素的影响，随着人口激增、社会经济迅速发展、土地资源供不应求、土地利用空间分布不断发生变化等问题凸显，同时人类对土地资源的不合理利用和开发导致了水土流失、温室效应、土壤沙化等一系列生态环境问题^[4]。在这种背景下，全球环境变化研究蓬勃发展，自 1995 年“土地利用/覆被变化”研究计划的提出，土地利用变化逐渐成为全球环境变化研究的热点问题^[5]。同时，RS 和 GIS 技术的发展为该研究提供了技术支撑，使得研究更趋向于定量化和可视化。

目前，土地利用方面的研究广泛：在研究内容方面，包含时空演变^[6]、驱动机制^[7-8]、生态风险^[9-10]、结构优化^[11]和模拟预测^[12-13]等；在研究尺度方面，大到国家层面，小到乡镇区域范围；在研究方法方面也趋于多样化，其中驱动机制的研究是揭示土地利用变化影响因素的途径，能够为后期政策的制定、未来土地利用状态的模拟预测奠定基础，研究方法包括对驱动因子进行描述的定性分析，采用主成分分析、层次分析、灰色关联度分析、Logistic 回归模型等定性定量相结合的方法。国内外众多学者在这方面已经做了大量研究，如廖慧等^[14]基于黄河流域 1980—2015 年的土地利用数据，对整个流域以及不同省份土地利用的时空演变进行了分析，并采用主成分分析法探究气候、经济和人类活动对流域土地利用的影响；王新源等^[15]在对河西走廊绿洲面积动态分析的基础上，应用灰色关联度分析法分析了 12 个环境因素对绿洲变化的影响，结果表明不同行政区的主导因子不同，但均与农耕产业密切联系。近些年，地理探测器模型的出现，使得分析因变量与自变量之间的关系被简化，且不需要做线性假设，同时能够分析两种自变量综合作用的影响，该方法已经广泛应用于土地利用变化的影响因素^[16-19]、健康风险探测^[20]、土壤污染^[21]等领域。

本文以汾河流域作为研究区，以 2000、2010 和 2018 年土地利用现状数据为研究对象，分析近 18 年来汾河流域各土地类型的面积变化及转移方向，从自然、社会经济和可达性三方面共选取 10 个驱动因子，采用地理探测器模型探究各驱动因子对土地利用变化和不同时期土地利用空间分布的影响程度，以期对汾河流域的土地资源合理利用提供依据，进而促进区域人类活动和生态环境的协调发展。

收稿日期：2021-05-26

基金项目：山西省高等学校哲学社会科学项目（20190123，20200133）

作者简介：董海平（1995—），女，山西兴县人，硕士研究生，研究方向为资源评价与开发。Email:hpdong1117@163.com

通信作者：牛俊杰（1968—），男，山西岚县人，教授，博士，研究方向为区域环境。Email:junjieniu@foxmail.com

1 研究区概况

汾河发源于山西省宁武县管涔山,自北向南涉及全省 6 市 45 县(区),并在运城市万荣县注入黄河,干流全长 716 km,流域面积为 39 471 km²,约占全省的 25.5%^[22]。汾河位于山西省中南部,西依吕梁山,东临太行山,地势由北向南倾斜,且众多支流分布于两侧山地(图 1)。汾河流域属于大陆性半干旱季风气候,年平均气温自北向南逐渐升高,约 6~13 ℃,年平均降水量北低南高,在 300~700 mm 之间。汾河流域内有耕地 1.16×10⁶ hm²,占全省的 29.54%,人口、GDP 分别占全省的 39%和 42%。

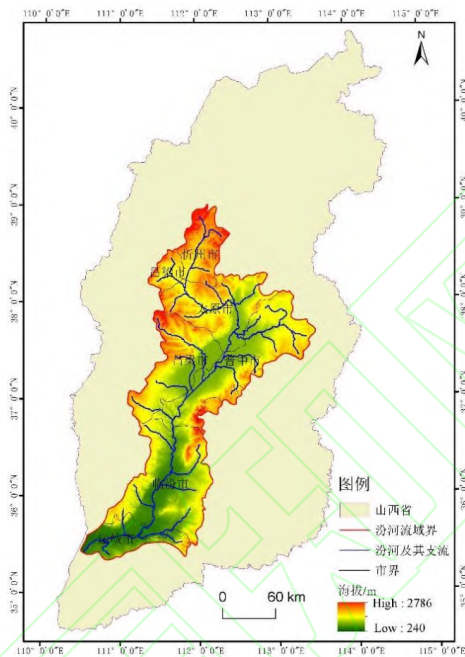


图 1 研究区区位图

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理

汾河流域 2000、2010 和 2018 年三期土地利用现状数据以及土壤类型数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心 (<http://www.resdc.cn/>),并依据国家标准《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017)将三期土地利用现状数据重分类为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 个一级类。数字高程模型 DEM 来自地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/sources/>),同时在该数据的基础上提取坡度数据。年均降水和年均气温数据取自中国气象数据网 (<http://data.cma.cn/>),从汾河流域及周围地区共 61 个气象站点数据提取,并通过克里格插值法获取栅格数据。人口密度、人均 GDP、城市化率等社会经济数据获取于山西省统计年鉴(2000-2018 年),将面数据转为点数据,再利用插值法获得空间数据。居民点和铁路的位置数据来源于国家基础地理信息中心 (<http://www.ngcc.cn/ngcc/>),通过欧氏距离分析生成相应的距离栅格图。

2.2 研究方法

2.2.1 驱动因子选取

土地利用变化受各方面因素的共同影响,地形、气候因素对研究区的农业、生态环境等产生影响,进而影响土地利用;随着社会经济的发展,人类生活水平提高,从而加剧了土地利用方式的改变;道路的建设会影响居民点的分布,表现为人类对土地利用变化的影响。根据研究区的本底特征以及数据的可获取性,从自然、社会经济和可达性方面共选取了 10 个驱动因子。自然因子包括 DEM、坡度、土壤类型、年均降水和年均气温;社会经济因子包括人口密度、人均 GDP、城镇化率;可达性因子包括到居民点距离、到铁路距离。

2.2.2 土地利用动态度

土地利用动态度能够反映研究区在一定时间范围内土地类型的变化情况，根据研究对象可分为单一土地利用动态度和综合土地利用动态度。

单一土地利用动态度可用于表征某时段内某种土地利用类型变化的幅度，表达式为：

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

式中， U_a 、 U_b 分别指该种土地类型初始和终止年份的面积； $U_b - U_a$ 指的是研究时段内某种土地类型的变化； T 表示的是研究时段，单位为年； K 指某一土地类型的动态度， K 的绝对值越大，表明该种土地类型的变化速率越快。

综合土地利用动态度是从研究区总体出发，反映区域内土地利用总体变化的强度，表达式为：

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% , \quad (2)$$

式中， LU_i 表示研究时段内初始年份 i 土地类型的面积； ΔLU_{i-j} 表示为研究时段内 i 土地类型转为其他土地类型面积的绝对值； n 为土地利用类型的数量； T 为研究时段，单位为年； LC 为综合土地利用动态度。

2.2.3 地理探测器模型

地理探测器是以空间异质性为研究对象，揭示其与驱动因素间关系的一种方法^[23]，共包括 4 个探测层次，即因子探测、交互探测、风险探测和生态探测。本研究利用因子探测和交互探测定量评估汾河流域四种土地利用类型的时空分布及其驱动力的影响程度。

(1) 因子探测：定量探测自变量 (X) 对因变量 (土地利用类型) 空间分异的影响力，用 q 值来表示，取值范围为 0~1，且越趋近于 1 表示影响程度越大，表达式为：

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} = 1 - \frac{SSW}{SST} , \quad (3)$$

$$SSW = \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 , SST = N \sigma^2 , \quad (4)$$

式中： q 为驱动因子 (自变量 X) 对因变量的解释力； $h=1,2,3...L$ ，表示自变量或因变量的分类； N_h 和

N 分别代表第 h 类和整个研究区的样本数； σ_h^2 和 σ^2 分别表示第 h 类和整个研究区因变量的方差； SSW 为各类中的方差之和； SST 为整个研究区内的总方差。

(2) 交互探测：探测不同驱动因子之间的交互作用，即 $q(X_i \cap X_j)$ ，并与单因子作用时的 q 值相比较，进而判断双因子的交互作用对因变量的影响是增强或减弱。其中 X_i 、 X_j 表示不同的驱动因子，首先将 X_i 和 X_j 两个驱动因子的图层叠加，得到 $X_i \cap X_j$ 新图层，再利用公式 (3)、(4) 计算得到 $q(X_i \cap X_j)$ ，同时与 $q(X_i)$ 、 $q(X_j)$ 相比较，最后得出交互作用的结果。

交互作用结果共分为以下 5 种，当 $\min[q(X_i), q(X_j)] < q(X_i \cap X_j) < \max[q(X_i), q(X_j)]$ 时，为单因子非线性减弱；当 $q(X_i \cap X_j) < \min[q(X_i), q(X_j)]$ 时，为非线性减弱；当 $q(X_i \cap X_j) > \max[q(X_i), q(X_j)]$ 时，为双因子增强；当 $q(X_i \cap X_j) > q(X_i) + q(X_j)$ 时，为非线性增强；当 $q(X_i \cap X_j) = q(X_i) + q(X_j)$ 时， X_i 、 X_j 对因变量的影响相互独立。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

结果表明：2000—2018 年汾河流域的综合土地利用动态度整体较低，为 1.00%；2000—2010 年的综合土地利用动态度为 0.03%，2010-2018 年为 2.24%，呈增加趋势，即 2010—2018 年各土地类型之间转换较频繁，表明随着经济的发展，人类活动对汾河流域土地利用的影响加重。

从单一土地利用类型动态度（表 1）可知，2000—2018 年，建设用地面积持续增加，其中 2010-2018 年增幅较大，且在不同时段中动态度均为最大，2000-2010 年为 1.10%，2010-2018 年为 9.54%，表明汾河流域的城镇化速度不断加快；耕地和未利用地的面积呈持续减少趋势，且均在 2010-2018 的变化幅度大，分别减少 702.21 km²、5.02 km²，其中未利用地的面积较少，虽然变化较小，但动态度相对较大；林地的面积在 2000-2010 年小幅减少，而在 2010-2018 年增加 147.87 km²；草地和水域面积的变化与林地相反，呈先增加后减少的趋势，总体分别减少 760.42 km²、34.58 km²。

表 1 汾河流域土地利用变化情况及动态度

地类	2000—2010 年		2010—2018 年		2000—2018 年	
	变化面积 /km ²	动态度/%	变化面积 /km ²	动态度/%	变化面积 /km ²	动态度/%
草地	10.16	0.01%	-770.58	-0.95%	-760.42	-0.42%
耕地	-189.44	-0.11%	-702.21	-0.53%	-891.65	-0.30%
林地	-3.70	0.00%	151.56	0.16%	147.87	0.07%
建设用地	177.23	1.10%	1366.69	9.54%	1543.92	5.31%
水域	5.86	0.17%	-40.44	-1.46%	-34.58	-0.56%
未利用地	-0.95	-0.95%	-5.02	-6.93%	-5.97	-3.31%

桑基图能够直观地反映出不同土地利用类型的流入与流出。由图 2 可知，2000—2018 年，耕地、草地、水域和建设用地的面积占比减少，以转出为主，林地和建设用地的面积占比增加，以转入为主。转出量最大的是耕地，面积占比从 41.30%减少为 39.08%，主要流向草地 2 896.81 km²、建设用地 1 722.00 km²和林地 1 161.83 km²，其中与草地间相互转换，转入量最大的是建设用地，面积占比由 4.01%增加为 7.84%，主要源于耕地的大面积转入，即表明汾河流域耕地的非农化、生态用地面积减少主要由建设用地的扩张造成。林地面积的增加主要源于耕地和草地的转入，受退耕还林政策的影响。其余土地类型间也存在不同程度的转换关系。

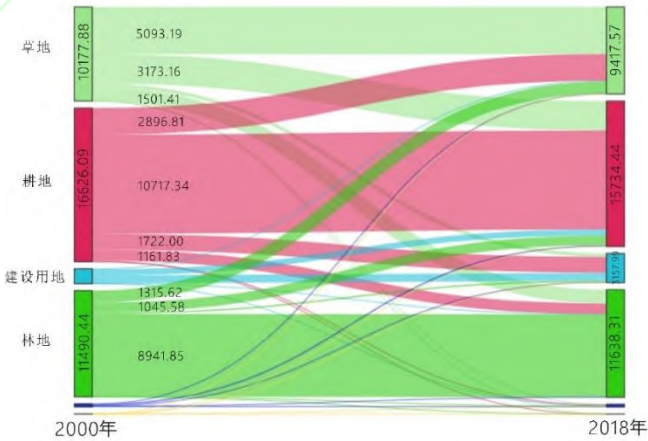


图 2 2000-2018 年土地利用转移桑基图

3.2 土地利用空间分布驱动力分析

在 ArcGIS 中利用重分类工具对各驱动因子进行离散化分类，采用创建渔网工具生成 $5\text{ km}\times 5\text{ km}$ 的规则格网，对每个网格中心点采样，共有 1 598 个有效采样点，最后利用地理探测器模型研究土地利用变化的驱动因素。由于汾河流域水域和未利用地的面积较小，本研究仅对耕地、林地、草地和建设用地的影响因素做分析。

由表 2 可知，不同时期耕地的空间分布均受自然、社会经济和可达性因子的共同影响，且在三期数据中各驱动因子的影响程度排序差别不大，自然因子中的高程 (X_1)、坡度 (X_2) 和年均气温 (X_5) 起主导作用， q 值均大于 0.09，即在高程较低、坡度较小、气温较高的地带适宜人类进行农业生产活动，耕地分布较广；其次较重要的影响因素为土壤类型 (X_3) 和到铁路距离 (X_9)， q 值在 0.05~0.09；年均降水 (X_4)、人口密度 (X_6)、人均 GDP (X_8)、城镇化率 (X_7) 和到居民距离 (X_{10}) 的 q 值均小于 0.05，即这些因子对研究区耕地的空间分布影响程度较小。

表 2 不同时期耕地空间分布驱动因子解释力

驱动因子	q 值		
	2000 年	2010 年	2018 年
高程 (X_1)	0.2170	0.2108	0.2055
坡度 (X_2)	0.1066	0.1044	0.0986
土壤类型 (X_3)	0.0831	0.0808	0.0671
年均降水 (X_4)	0.0495	0.0472	0.0353
年均气温 (X_5)	0.1265	0.1253	0.1239
人口密度 (X_6)	0.0267	0.0156	0.0358
城镇化率 (X_7)	0.0164	0.0286	0.0328
人均 GDP (X_8)	0.0471	0.0169	0.0436
到铁路距离 (X_9)	0.0585	0.0584	0.0682
到居民点距离 (X_{10})	0.0400	0.0394	0.0469

从图 3 中可得出，在不同时期所选的 10 个驱动因子均影响林地的空间分异，由于 2000-2010 年林地变化较小，2000 年和 2010 年除社会经济因子外其余各影响因子的 q 值解释力均相等；与 2018 年相比，各时期影响较强的因子相同，从大到小依次为：高程 (X_1) > 坡度 (X_2) > 到铁路距离 (X_9) > 土壤类型 (X_3) > 到居民点距离 (X_{10}) > 年均气温 (X_5)，且随着时间的推移， q 值逐渐增大，表明这些因子对林地转移的解释力逐渐增强；其余驱动因子的 q 值低于 0.05，解释力相对较弱。

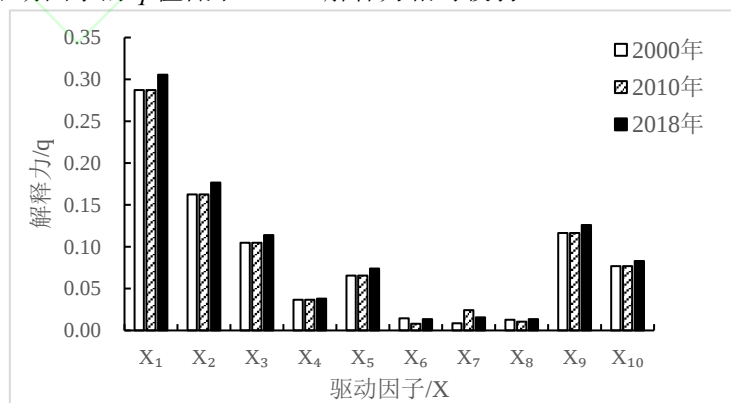


图 3 不同时期林地空间分布驱动因子解释力

通过研究区不同时期草地和建设用地的因子探测结果（表3）可知，可达性因素对草地几乎无影响，2000年，影响草地时空分布的驱动因子有高程、土壤类型、年均气温、人口密度、年均降水、城镇化率和人均GDP，相比较于2000年，2010年缺少人均GDP因子，2018年增加坡度和到铁路距离因子。不同时期相同驱动因子的 q 值解释力相差甚小，而且高程、土壤类型和年均气温因子的 q 值大于0.05，即为主要驱动力。对于建设用地而言，不同时期某些因素的 q 值解释力在发生变化，其中社会经济因子中人均GDP的 q 值从0.0118增加到0.0289，表明随着社会经济水平的提高，其他土地类型转为建设用地的几率增加；可达性因子中到居民点距离和到铁路距离因子的 q 值逐渐增大，分别从0.0166、0.0317增大到0.0329、0.0454，即这些因子对建设用地转入和转出的限制增大。

表3 不同时期草地和建设用地空间分布驱动因子解释力

驱动因子	2000年		2010年		2018年	
	草地	建设用地	草地	建设用地	草地	建设用地
高程 (X_1)	0.0811	0.0665	0.0832	0.0712	0.0808	0.0870
坡度 (X_2)	—	0.0147	—	0.0161	0.0074	0.0224
土壤类型 (X_3)	0.0604	0.0591	0.0615	0.0594	0.0607	0.0636
年均降水 (X_4)	0.0208	0.0123	0.0203	0.0128	0.0131	0.0195
年均气温 (X_5)	0.0599	0.0357	0.0601	0.0385	0.0544	0.0401
人口密度 (X_6)	0.0422	0.0209	0.0468	0.0137	0.0252	0.0139
城镇化率 (X_7)	0.0128	0.0261	0.0188	0.0215	0.0290	0.0301
人均GDP (X_8)	0.0545	0.0118	—	0.0187	0.0328	0.0289
到铁路距离 (X_9)	—	0.0317	—	0.0360	0.0108	0.0454
到居民点距离 (X_{10})	—	0.0166	—	0.0169	—	0.0329

注：“—”表示驱动因子未通过0.05水平的检验，不具有统计意义。

3.3 土地利用变化驱动力分析

3.3.1 因子探测

由表4可知，2000—2018年，耕地变化受自然因子的影响最大，其中高程为主导因子， q 值解释力为0.1283，其次为坡度和土壤类型，在人为因子中城镇化率和人均GDP的解释力最强，表明汾河流域耕地面积的减少主要源于农村人口向城市迁移，城市住宅面积的需求增大，部分耕地转为建设用地。林地变化受驱动因子的影响从大到小依次为：高程>土壤类型>年均气温>到铁路距离>年均降水>人口密度>城镇化率>坡度，主导因子高程的 q 值为0.0786。草地变化主要受高程、年均气温、土壤类型的影响较大，其余因子的影响程度较小， q 值小于0.05。对于建设用地变化的驱动因子，除年均降水因子外，其余因子的 q 值均大于0.05，表明建设用地的变化受自然因子和社会经济因子的影响均较强，随着人口激增、社会经济迅速发展，同时自然因素优越的条件下，汾河流域建设用地面积增加。

表4 2000-2018年各土地利用变化驱动因子解释力

驱动因子	耕地	林地	草地	建设用地
高程 (X_1)	0.1283	0.0786	0.1518	0.1615
坡度 (X_2)	0.0612	0.0214	0.0345	0.0579
土壤类型 (X_3)	0.0616	0.0340	0.0842	0.0984
年均降水 (X_4)	0.0139	0.0297	0.0103	0.0448
年均气温 (X_5)	0.0510	0.0337	0.0923	0.1314
人口密度 (X_6)	0.0258	0.0280	0.0476	0.1203

城镇化率 (X_7)	0.0569	0.0246	0.0135	0.0955
人均 GDP (X_8)	0.0453	—	0.0276	0.0577
到铁路距离 (X_9)	0.0293	0.0321	0.0315	0.0928
到居民点距离 (X_{10})	0.0434	—	0.0123	0.0655

3.3.2 交互探测

交互探测是双因子交互作用所得 q 值解释力与单因子作用时 q 值解释力的比较，汾河流域 2000—2018 年 4 种土地类型变化驱动因子的交互探测结果（图 4）表明，单因子作用的 q 值小于双因子交互作用的 q 值，即交互作用的结果均为非线性增强或双因子增强，表明汾河流域的土地利用变化是由多种因子复杂交互共同作用而成。四种土地类型中各因子均与高程的交互作用最强，反映了高程因子对各土地类型变化的解释力均较强。就耕地而言，双因子中高程与年均气温交互作用的 q 值解释力最大，为 0.27，年均降水与到铁路距离的最小，为 0.07，影响程度最低的年均降水与其他因子交互作用后解释力明显增强。就林地而言，解释力最大的仍为高程与年均气温交互作用， q 值为 0.17，坡度与人均 GDP 的最小， q 值为 0.05，总体来看，双因子对林地变化的影响程度比耕地小。就草地而言，高程和年均气温交互的 q 值最大，为 0.28，人均 GDP、城镇化率等解释力较小的驱动因子与其他因子交互后结果均为非线性增强。就建设用地而言，双因子作用的 q 值解释力均大于 0.1，除高程与各因子交互作用外，年均气温与到铁路距离、人均 GDP 和城镇化率的交互作用解释力最大，可见建设用地变化受自然因子与社会经济因子的共同作用较大。

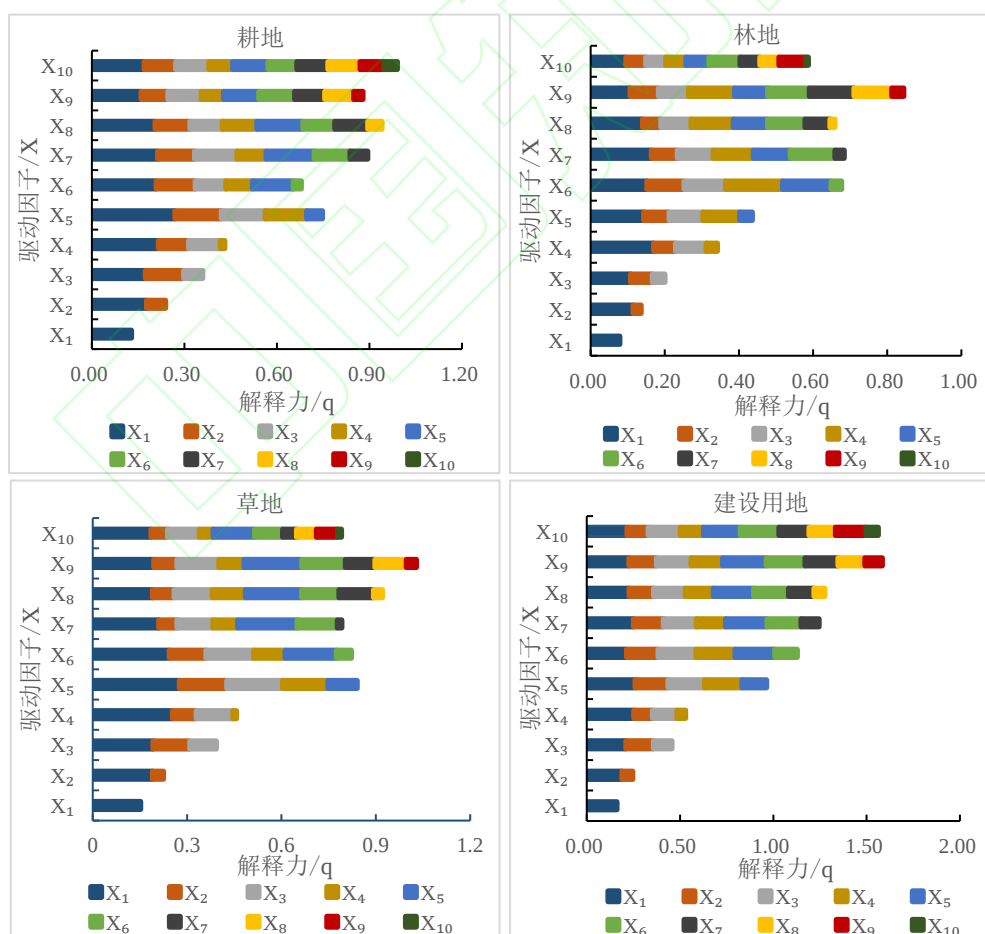


图 4 2000—2018 年土地利用变化驱动因子交互探测结果

4 结论与讨论

(1) 2000—2018 年, 耕地和未利用地的面积呈持续减少趋势, 其中耕地共减少 891.65 km²; 建设用地的面积持续增加, 从 2000 年的 1 614.06 km² 增加为 2018 年的 3 157.99 km², 动态度最大, 汾河流域从乡村迁移至城市的人口逐渐增加, 住宅面积的需求增大, 同时研究区产业结构的调整^[24]、经济水平的提高, 使得建设用地面积不断增加; 林地的面积在 2000—2010 年小幅减少, 而在 2010—2018 年增加, 草地和水域面积的变化与林地相反, 为先增加后减少。

(2) 从土地利用的转移方向可知, 转出量最大的是耕地, 转入量最大的是建设用地, 且建设用地的增加主要源于耕地的大面积转入, 即汾河流域耕地的非农化、生态用地面积减少主要由建设用地的扩张造成, 因此人类在发展经济的同时应该注重耕地的保护。林地面积的增加主要源于耕地和草地的转入, 受退耕还林政策的影响。

(3) 从土地利用类型空间分布的驱动力分析得出, 不同时期相同土地类型的影响因子排序差别较小, 高程对四种土地类型空间分布的影响程度最大, 除高程外, 耕地的空间分异主要受坡度和年均气温的影响; 坡度、到铁路距离和土壤类型对林地分布的解释力最强; 各驱动因子对草地和建设用地的 q 值相对较小, 排序最前的为土壤类型。可见研究区土地利用空间分布主要受自然因素的影响, 研究区独特的地貌特征决定了土地利用的空间分布。

(4) 从土地利用变化的驱动因子分析可知, 林地和草地变化受自然因子的影响较大, 耕地和建设用地变化受自然因子和社会经济因子的影响均较强, 研究区人口增加并向城市迁移, 城市的居住面积需求增大, 农村大量耕地荒废, 同时经济发展迅速, 道路、机场和工业区增多, 造成耕地减少和建设用地增加; 各驱动因子独立作用的 q 值解释力小于两因子交互作用, 交互后的结果均为非线性增强或双因子增强。

(5) 相比较于其他研究^[25-26], 本研究纳入可达性因子, 并利用地理探测器分析了双因子的交互作用。土地利用空间分布及变化受多种因素的影响, 本文只考虑了部分自然、社会经济和可达性因素, 未将政策因素空间化, 探讨其对土地利用的影响程度, 在今后的研究中将全面考虑各驱动因子对研究区土地利用的影响。

参考文献:

- [1] 何英彬, 陈佑启. 土地利用/覆盖变化研究综述[J]. 中国农业资源与区划, 2004(2):61-65.
- [2] 陈佑启, 杨鹏. 国际上土地利用/土地覆盖变化研究的新进展[J]. 经济地理, 2001(1):95-100.
- [3] 范树平, 程从坤, 刘友兆, 等. 中国土地利用/土地覆盖研究综述与展望[J]. 地域研究与开发, 2017, 36(2):94-101.
- [4] 谢花林. 区域土地利用变化的生态效应研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [5] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1):3-14.
- [6] 李勃燃, 王俊峰, 田风勋. 天津市静海县土地利用动态变化研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(3):152-153+156.
- [7] 李硕, 沈占锋, 柯映明, 等. 1974-2019 年大清河流域土地利用景观时空变化[J]. 水土保持研究, 2021, 28(1):195-203+210.
- [8] 邓信翠, 陈洋波. 1990-2018 年东江流域土地利用变化及其驱动力[J]. 水土保持通报, 2020, 40(6):236-242+258+331.
- [9] 康紫薇, 张正勇, 位宏, 等. 基于土地利用变化的玛纳斯河流域景观生态风险评价[J]. 生态学报, 2020, 40(18):6472-6485.
- [10] 周伟, 李丽丽, 周旭, 等. 基于地理探测器的土壤重金属影响因子分析及其污染风险评价[J]. 生态环境学报, 2021, 30(1):173-180.
- [11] 杨亮洁, 王晶, 魏伟, 等. 干旱内陆河流域生态安全格局的构建及优化——以石羊河流域为例[J]. 生态学报, 2020, 40(17):5915-5927.
- [12] 张晓荣, 李爱农, 南希, 等. 基于 FLUS 模型和 SD 模型耦合的中巴经济走廊土地利用变化多情景模拟[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(12):2393-2409.
- [13] RAHNAMA M R. Forecasting land-use changes in Mashhad Metropolitan area using Cellular Automata and Markov chain

model for 2016-2030[J].Sustainable Cities and Society, 2020, 64:102548.

- [14] 廖慧, 舒章康, 金君良, 等.1980-2015 年黄河流域土地利用变化特征与驱动力[J].南水北调与水利科技(中英文), 2021, 19(1):129-139.
- [15] 王新源, 刘世增, 陈翔舜, 等.河西走廊绿洲面积动态及其驱动因素[J].中国沙漠, 2019, 39(4):212-219.
- [16] 韩海青, 王旭红, 牛林芝, 等.1992—2015 年中亚五国 LUCC 特征及耕地驱动力研究[J].中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(2):325-339.
- [17] 盖兆雪, 孙萍, 张景奇.松花江流域土地利用变化及形成机理——以哈尔滨段为例[J].水土保持研究, 2019, 26(4):314-320.
- [18] 陈晓晓, 张永福.基于地理探测器的干旱区绿洲土地利用变化影响因子[J].江苏农业科学, 2021, 49(2):167-173.
- [19] 张扬, 周忠发, 黄登红, 等.喀斯特山区耕地时空演变与影响因子分析[J].农业工程学报, 2020, 36(22):266-275.
- [20] FENG C, YONG G, WANG J F. Optimal discretization for geographical detectors-based risk assessment[J]. GIScience & Remote Sensing, 2013, 50(1):78-92.
- [21] 齐杏杏, 高秉博, 潘瑜春, 等.基于地理探测器的土壤重金属污染影响因素分析[J].农业环境科学学报, 2019, 38(11):2476-2486.
- [22] 付扬军, 师学义, 和娟.汾河流域景观破碎化时空演变特征[J].自然资源学报, 2019, 34(8):1606-1619.
- [23] 王劲峰, 徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报, 2017, 72(1):116-134.
- [24] 史利江, 刘敏, 李艳萍, 等.汾河流域县域经济差异的时空格局演变及驱动因素[J].地理研究, 2020, 39(10):2361-2378.
- [25] 杜华明.涪江流域土地利用变化及其驱动力分析[J].绵阳师范学院学报, 2021, 40(5):95-100+107.
- [26] 韩会然, 杨成凤, 宋金平.北京市土地利用变化特征及驱动机制[J].经济地理, 2015, 35(5):148-154+197.

Characteristics and Driving Force of Land Use Change in Fenhe River Basin

DONG Haiping, NIU Junjie, LIN Fei, YU Qiuyue

(Research Center for Scientific Development of Fenhe River Basin, Taiyuan Normal University, Jinzhong Shanxi 030619, China)

Abstract: The current situation of land use in 2000, 2010 and 2018 is taken as the research object to explore the characteristics and driving factors of land use change in Fenhe river basin in the past 18 years. The change of land use structure in the study area is analyzed by land use dynamic index and the influence degree of each driving factor on the spatial distribution and change of land use is explored by geodetector model. The results show that the area of cultivated land had gradually reduced 891.65 km² in total from 2000 to 2018 whereas the area of construction land had increased from 1614.06 km² in 2000 to 3157.99 km² in 2018, owing to the transfer of large areas of cultivated land; the different influence degree of each driving factor on the spatial distribution of different land type is significantly affected by natural factors whereas the order of the influence degree of the same land type has little difference in different periods; the change of cultivated land, woodland and grassland is greatly influenced by natural factors while the change of construction land is strongly affected by both natural factors and social and economic factors; the explanatory power of q value of the independent action of each driving factor is less than that of the interaction of two factors.

Keywords: Fenhe river basin; land use; driving factors; geodetector