

基于灰色系统河谷型耕地变化驱动力分析及预测 ——以兰州市耕地动态变化为例

高彦鹏¹, 曹方^{2†}

(1. 甘肃农业大学 经济管理学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省科学技术发展战略研究院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 为了提供河谷型城市耕地利用有效的决策支持, 以兰州市 1990~2010 年的统计资料为基础, 利用 SPSS 软件和 PCA 分析方法, 对兰州市耕地变化的驱动力进行了研究。并且利用灰色系统 GM(1, 1) 模型及软件对兰州市 2015 与 2020 年耕地面积进行预测。研究表明, 经济发展、人口增长、农业科技和政府政策是主要驱动因子。预测得知, 兰州耕地面积仍呈递减的趋势。因此, 亟待对耕地可持续利用提供对策措施。

关键词: 灰色系统理论; 河谷型; 驱动力分析; 预测; 兰州
中图分类号: F301. 21

土地是不可再生资源, 也是人类赖以生存和发展的重要物质基础, 耕地是人类最重要的物质资源和生活保障。近年来, 全球环境变化成为人们关注的焦点, 粮食安全也成为国际热点问题。耕地的变化是引起这些问题的重要原因。因此, 保有一定数量和质量的耕地资源, 直接关系到经济发展、社会稳定和国家安全。2008 年通过的《全国土地利用总体规划纲要(2006-2020)》, 从保障粮食安全、经济安全和社会稳定出发, 提出了坚守 1.2 亿 hm^2 耕地红线的目标^[1]。但是随着城市化和工业化的快速推进, 耕地被占用成为必然, 耕地面积日益减少。耕地变化驱动力分析对解释耕地的时空变化和建立耕地变化预测模型起关键作用。因此, 研究区域耕地面积的动态变化及影响耕地面积变化的驱动因子, 对合理利用耕地、保护耕地面积都具有重要意义^[2]。

1 研究区概况

兰州是甘肃省的省会, 位于祖国西部三大高原交汇处, 处在东经 $102^{\circ}30'' \sim 104^{\circ}30''$ 、北纬 $35^{\circ}5'' \sim 38^{\circ}$, 南北群山对峙, 东西黄河穿城而过, 蜿蜒百余里。城市依山傍水而建, 层峦叠嶂。兰州市现辖城关、七里河、西固、安宁、红古五区和永登、榆中、皋兰三县, 全市总面积 1.31 万 km^2 , 其中市区面积 1631.6 km^2 。兰州属中温带大陆性气候, 冬无严寒、夏无酷暑, 气候温和, 市区海拔平均高度 1520m, 年均气温 11.2 $^{\circ}\text{C}$, 年均降水量 327mm,

全年日照时数平均 2446h, 无霜期 180d 以上。2009 年全市户籍总人口 323.59 万人, 其中非农业人口 202.77 万人。2009 年, 全市实现生产总值 925.98 亿元, 比上年增长 10.8%, 其中第一、二、三产业增加值分别为 30.55 亿元、433.62 亿元和 461.82 亿元。

然而兰州深居大陆腹地, 降雨量少, 时空不均; 气象灾害频繁, 危害严重; 植被覆盖度低, 黄土、泥石流多, 生态环境极为脆弱, 目前已成为我国耕地退化、水土流失与荒漠化比较严重的地区。在这种情况下, 对区域耕地动态变化驱动力研究, 对兰州和类似的西部干旱地区的河谷盆地型城市有深远的现实意义。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

选择了 1990-2010 年耕地统计数据作为主要资料, 统计数据来源于《甘肃统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》、《兰州统计年鉴》等统计资料。

2.2 研究方法

耕地动态变化主要采用 Excel 统计分析, 驱动因子分析主要采用基于 SPSS 软件的主成分分析 (PCA) 方法。它可以把原来多个指标分为少数几个指标, 以获得影响土地变化的主要驱动力。耕地预测采用灰色系统 GM(1, 1) 预测方法及软件对兰州市未来耕地面积进行预测。

[†] 通讯作者: 曹方 (1955-), 男, 甘肃农业大学硕士生导师, 甘肃省科技战略研究院院长兼甘肃省科学技术情报研究所所长, 研究方向: 区域经济、农村信息化等。

3 耕地动态变化趋势分析

区域土地利用变化包括土地利用类型的面积变化、空间变化和质量变化。面积变化是首要变化,通

过分析耕地面积变化,可了解耕地变化总的态势。

根据历年统计资料,兰州市耕地面积从 1990 年的 21.95333 万 hm^2 减少到 2009 年的 20.96733 万 hm^2 , 20 年间耕地净减少 0.9860 万 hm^2 ,见表 1。

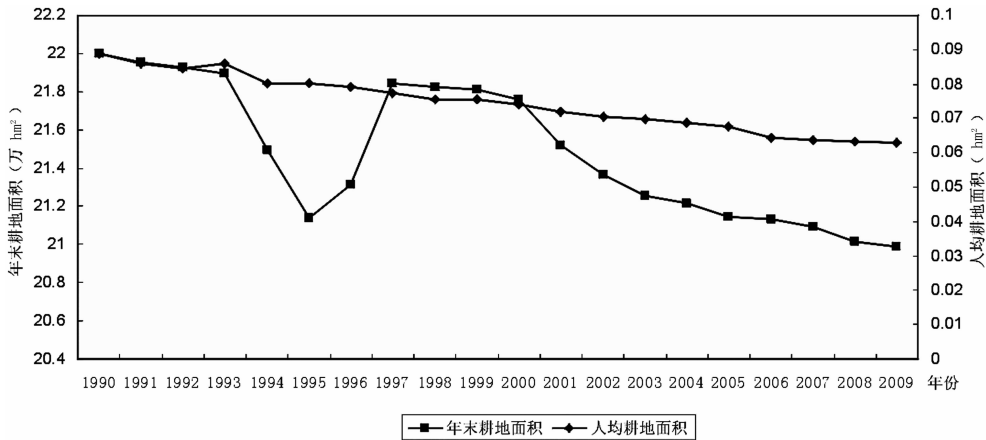


图 1 1990 ~ 2009 年耕地面积变化

表 1 兰州市 1990 ~ 2009 年耕地面积变化

年份	年初耕地面积 (万 hm^2)	年末耕地面积 (万 hm^2)	耕地面积变化 (万 hm^2)	人均耕地 (hm^2 /人)	年末总人数 (万人)
2009	20.98600	20.96733	-0.01867	0.0631	332.18
2008	21.01533	20.98600	-0.02933	0.0634	331.01
2007	21.09133	21.01533	-0.07600	0.0638	329.43
2006	21.13067	21.09133	-0.03934	0.0645	327.01
2005	21.14333	21.12333	-0.02000	0.0678	311.74
2004	21.21867	21.15067	-0.06800	0.0686	308.11
2003	21.25733	21.21867	-0.03867	0.0697	304.43
2002	21.36667	21.25733	-0.10933	0.0706	300.95
2001	21.52200	21.36667	-0.15533	0.0721	296.51
2000	21.75733	21.52200	-0.23533	0.0740	290.67
1999	21.81400	21.75733	-0.05667	0.0757	287.59
1998	21.82467	21.81400	-0.01067	0.0756	288.56
1997	21.84667	21.82467	-0.02200	0.0773	282.41
1996	21.31267	21.84667	0.53400	0.0791	276.09
1995	21.14067	21.31267	0.17200	0.0802	265.67
1994	21.49467	21.14067	-0.35400	0.0803	263.32
1993	21.89267	21.49467	-0.39800	0.0860	250.05
1992	21.92800	21.89267	-0.03533	0.0847	258.38
1991	21.95333	21.92800	-0.02533	0.0860	255.01
1990	22.00133	21.95333	-0.04800	0.0890	246.74

根据图 1 可以看出,耕地面积总体上呈现下降趋势,可以分为四个阶段:第一阶段从 1990 ~ 1993 年耕地面积持续减少,但减少趋于平缓,3 年间减少耕地 606.6 hm^2 ;第二阶段从 1993 ~ 1997 年,1993 年到 1995 年耕地面积迅速减少,2 年间减少 7520 hm^2 。原因有二:一是这一时期农村大兴水利,大量耕地被转化为水利设施;二是自然灾害,同时农业生产要素价格上涨,农民生产积极性受到打击,导致一些耕地

废弃和水土流失加剧。1995 ~ 1997 年耕地面积增加,2 年间增加 7060 hm^2 。原因是甘肃省保护耕地政策与未利用地复垦增加耕地后备资源。第三阶段从 1997 ~ 2001 年耕地面积基本保持稳定,即使有所下降,幅度也很小。原因有二:一是自 1997 年开始,甘肃省大力实施土地整理、土地复垦工程,加大力度增加耕地后备资源;二是全省实施的产业结构调整,使得一部分园地、林地、草地转为耕地。供给

的增加导致耕地面积下降不是很明显。第四阶段从 1998 ~ 2009 年耕地持续减少,10 年间减少耕地 7900hm²。兰州市耕地呈持续减少状态,其原因:一是农业结构的调整,种植结构随人们需求的变化而不断调整;二是经济发展导致建设项目增多,占用了更多的耕地;三是生态退耕;四是因为自然灾害的发生,导致一些耕地废弃和水土流失加剧^[3]。

4 耕地变化的驱动力分析

影响耕地面积变化的因子错综复杂,归纳起来有自然驱动因素和人文社会驱动因素两方面。从对耕地数量影响来看,又可分为增加耕地的因素(如开垦)和减少耕地的因素(城市化、基本建设、退耕还林还牧等)两种。这些因子不仅与耕地面积之间存在着相关,而且相互之间耦合关联。如果用单纯的相关分析,则必然存在一定的误差。系统分析中的主成分分析可以将若干个自变量压缩成几个独立成分,以此来减弱自变量之间的相互干扰^[4]。因此,主成分分析方法比较适合耕地变化驱动力分析。一般人类活动是主要影响因素,自然因素具有相对稳定性,并且通过对耕地面积变化趋势分析,得知影

响兰州耕地面积变化的主要因素是人文社会经济因素。

4.1 指标的选取

耕地面积和人文社会经济因素之间存在着紧密的相关关系。根据主成分分析方法的思路和要求,以及兰州现有的社会经济资料,选择 1999 ~ 2010 年系列资料作为基础数据(1990 ~ 1998 年耕地变化幅度比较大,自然因素占主因。因此不进行分析),以 Y 耕地面积(hm²)为因变量,选取 15 个影响因子,分析社会经济因素对耕地变化的影响:总人口(X1、万人),农业人口(X2、万人),GDP(X3、亿元),财政收入(X4、亿元),工业总产值(X5、亿元),全社会固定资产投资(X6、亿元),粮食单产(X7、kg),粮食总产量(X8、万 kg),城市化率(X9、%),农村人均居住面积(X10、m²),城市人均居住面积(X11、m²),农村人均纯收入(X12、元),农村机械总动力(X13、万 kW),货运量(X14、万 t),客运量(X15、万人),见表 1。

4.2 驱动力分析

根据主成分分析原始数据,利用 SPSS17.0 软件对样本进行,得出相关系数矩阵、特征值、主成分贡献率、累计贡献率与主成分载荷矩阵。

表 2 兰州市耕地变化的社会经济驱动力指标

年份	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15
1999	287.59	130.61	267.46	26.774	352.56	139.103	173.55	44.46	53.95	16.91	13.6	1924	97	4749	1832
2000	290.67	130.93	300.32	27.343	415.17	153.743	145.26	33.46	54.45	16.59	12.1	2005	109.4	5167	2002
2001	296.51	131.64	341.68	34.7	446.52	172.422	166.37	36.69	54.96	16.69	12.19	2134	122.3	5401	2141
2002	300.95	130.86	381.41	38.891	485.58	194.544	176.25	37.54	55.61	17.93	14.51	2268	128.9	5634	2253
2003	304.43	128.82	433.65	72.937	561.54	210.637	184.23	35.23	56.52	24.74	15.04	2398	123.3	5581	2209
2004	308.11	127.84	500.25	84.519	696.34	231.918	175.62	32.77	57.68	20.34	15.67	2550	125.4	5786	2417
2005	311.74	127.81	567.04	96.131	832.46	259.585	172.56	32.3	58.51	22.32	16.69	2713	129.5	5972	2546
2006	313.64	127.95	638.47	106.49	1012.2	298.206	165.41	30.01	59	21.94	17.98	2898	130	6264	2732
2007	319.28	120.75	732.76	134.06	1246.6	358.609	199.74	37.16	59.2	22.37	17	3103	135.5	6839	2926
2008	322.28	120.65	846.28	152.44	1426.5	431.984	205.35	38.75	59.31	22.9	17.63	3503	139.8	7207	3151
2009	323.59	120.82	925.98	254.8	1409.6	506.185	194.45	38.79	59.55	24.26	17.76	4001	133.8	7358	3373

表 3 表明影响耕地变化的 15 个因子中存在着不同程度的相关性,因子间存在较大的正负相关性,说明进行主成分分析的比较性。

表 4 表明第一主成分、第二主成分的特征值均大于 1,且累计贡献率已达 90.54%,说明利用第一到第二主成分来表示选取的 15 个因子的组合是可行的。

由表 4 可以看出,在第一主成分中 X1、X3、X15、X14、X12、X5、X6、X9、X4、X11、X13、X10 与主

成分 1 有较大的相关性,它们分别代表了总人口、GDP、客运量、货运量、农村人均纯收入、工业总产值、全社会固定资产投资、城市化率、财政收入、城市人均居住面积、农村机械总动力、农村人均居住面积。第二主成分与 X8、X2 有较大的正相关性,代表的是粮食单产和农业人口,反映了土地生产力及农业发展情况。因此,兰州市耕地面积变化驱动因子可以归纳为经济发展因子、人口增长因子和农业科技因子。

表 3 耕地变化驱动要素的相关系数矩阵

因子	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15
X1	1.000														
X2	-0.679	1.000													
X3	0.968	-0.578	1.000												
X4	0.890	-0.492	0.955	1.000											
X5	0.954	-0.552	0.990	0.916	1.000										
X6	0.929	-0.539	0.989	0.973	0.974	1.000									
X7	0.746	-0.265	0.745	0.687	0.746	0.749	1.000								
X8	-0.195	0.608	-0.047	0.035	-0.029	0.053	0.409	1.000							
X9	0.980	-0.645	0.935	0.848	0.925	0.875	0.651	-0.312	1.000						
X10	0.832	-0.524	0.776	0.764	0.736	0.736	0.676	-0.211	0.831	1.000					
X11	0.918	-0.436	0.885	0.805	0.874	0.828	0.665	-0.195	0.950	0.828	1.000				
X12	0.943	-0.557	0.991	0.981	0.967	0.996	0.729	-0.002	0.898	0.765	0.852	1.000			
X13	0.900	-0.848	0.803	0.674	0.786	0.756	0.635	-0.332	0.854	0.680	0.742	0.769	1.000		
X14	0.966	-0.658	0.987	0.923	0.981	0.979	0.754	-0.055	0.913	0.736	0.839	0.975	0.861	1.000	
X15	0.966	-0.623	0.995	0.948	0.982	0.987	0.719	-0.070	0.926	0.737	0.863	0.989	0.834	0.993	1.000

表 4 特征值、主成分贡献率和主成分载荷矩阵

成分	初始特征值			主成分	
	合计	方差的%	累积%	1	2
1	11.790	78.603	78.603	0.992	-0.073
2	1.790	11.932	90.535	-0.651	0.632
3	0.572	3.813	94.348	0.989	0.088
4	0.494	3.296	97.645	0.932	0.174
5	0.255	1.701	99.345	0.973	0.105
6	0.055	0.368	99.713	0.966	0.175
7	0.028	0.187	99.900	0.759	0.473
8	0.010	0.066	99.966	-0.124	0.968
9	0.004	0.026	99.993	0.960	-0.161
10	0.001	0.007	100.000	0.829	-0.072
11	1.817E-16	1.211E-15	100.000	0.903	-0.016
12	3.255E-17	2.170E-16	100.000	0.975	0.128
13	-7.334E-17	-4.889E-16	100.000	0.867	-0.305
14	-2.649E-16	-1.766E-15	100.000	0.984	0.046
15	-5.577E-16	-3.718E-15	100.000	0.986	0.048

4.3 因子分析

4.3.1 经济发展因子

经济发展是导致耕地资源减少的一个主要原因。1998~2009年兰州经济较快增长,11年间GDP总量增长了3.4621倍,财政收入增长了9.5167倍,全社会固定资产投资总额增长了3.6389倍,工业总产值增加了3.9982倍。经济发展使农民收入大幅度提高。1998~2009年,兰州市农民人均纯收入由1923.66元增加到4001元,增加了2.0799倍。农民生活水平的提高,城中村改造政策的实施,占用大量耕地。经济的发展也推动了交通业的发展。1998~2009年,兰州的货运量由4749万t增加到7358.27万t,客运量由1832万人增加到3373.04万人,交通

业的发展占用了大量耕地。随着兰州城市发展速度的加快,特别是兰州高新技术开发区和兰州经济技术开发区的快速发展,使城市、工矿、能源等建设用地不断扩大,从而导致耕地数量减少^[3]。

4.3.2 人口增长因子

人口增长是构成第一成分的另一个主要因子,在一定程度上导致了耕地的快速减少。1999年总人口为287.59万人,2009年增加到323.59万人,其中农业人口数量减少了9.79万人,同期城市化率增长了5.6个百分点。人均耕地从1999年的0.0757hm²下降至0.0631hm²,人均下降了0.0126hm²。兰州市城市居民和农村居民的人均居住面积不断增加,11年间分别增加了7.35m²和4.16m²。这些增长的居

住用地主要来自对耕地的占用。随着经济发展,第三产业用地也在增加,耕地面积继续减少,这种情况使人地矛盾尖锐,耕地的负荷加重。

4.3.3 农业科技因子

在第二主成分中,粮食单产与其相关性最大,为0.968。农业科技的进步是反映粮食单产的直接要素。兰州市粮食单产从1999年44.46万kg下降至38.79万kg,每年粮食靠甘肃其他地区供应。2009年全市农业机械总动力达133.82万kW,比1999年增长了1.38倍,但粮食总量并未因农业技术水平的提高而大幅度增加,原因是在比较经济利益下,农民种植果树、蔬菜等经济作物要比种植粮食获取更大利润,因此,耕地面积进一步减少^[5]。

4.3.4 政府政策因素

政策因素无法用某一指标定量描述,因此,在选择驱动力因子进行定量描述时没有将政策因素考虑进去,然而耕地面积变化也深受国家和市政府宏观政策的影响和制约。政策因素对耕地的影响主要是通过颁布法律、法规,制定社会、经济政策等手段实现的,这类因素很难定量分析,在这里仅作定性分析。随着土地利用问题的日益突出,国家相继出台了《土地管理法》、《森林法》、《水土保持工作条例》等法律法规,并开始实施严格的耕地保护制度,对耕地利用产生了很大的影响,特别是天然林保护工程以及退耕还林政策对耕地影响很大,导致耕地减少^[3]。

5 耕地面积的预测

耕地变化除受上述因素的影响之外,还存在着诸多不确定的无法度量的经济政治因素。应用灰色系统理论对事物进行分析的前提,就是要把研究对象当作一个系统进行处理。运用灰色系统理论对耕地变化分析,在很多情况下较为合适。因此,建立灰色系统理论模型对兰州市耕地面积进行预测。

5.1 灰色系统理论预测模型

灰色关联分析方法是对系统所包含的相互联系、相互影响、相互制约的因素之间关联程度进行定量比较的一种研究方法。从其本质反映各因素变化特性的数据序列所进行的几何比较。它可以克服统计相关分析的因素之间的关联程度相等的缺陷,并能定量分析系统发展过程中因素之间的相对变化情况,寻求在系统发展的过程中各因素之间的主次关系,找出影响目标值的重要因素^[6]。灰色预测就是通过原始数据的处理和灰色模型的建立,发现、掌握

系统发展规律,对系统未来状态做出科学定理预测。

GM(1,1)灰色模型不直接利用原始数据,而是通过累加生成灰色模式,滤去原始数据中可能混入的随机量或其他噪声,从上下波动的时间数列中寻找隐含规律。

1) 建立原始数据,即 $X_0 = [x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)]$ 。

2) 对该原始数据做一次累加生成处理,得到一次累加生成序列,即 $X_1 = [x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(n)]$ 。

3) 建立的GM(1,1)模型结构为: $\frac{dx_1}{dt} + ax_1 = b$ 。

这是一阶单变量的微分方程模型,记参数列为 $\hat{a} = [a, b]^T$ 。

按最小二乘法解,求 $\hat{a} = [a, b]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y$

$$Y = \begin{bmatrix} x_0(2) \\ x_0(3) \\ \vdots \\ x_0(n) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -Z_1(2) & 1 \\ -Z_1(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -Z_1(n) & 1 \end{bmatrix}$$

其中: $z_1(k) = \frac{1}{2} [x_1(k) + x_1(k-1)] k = 1, 2, \dots, n$

4) GM(1,1)模型的时间函数为:

$$\hat{x}_1(k+1) = (x_0(1) - \frac{b}{a}) e^{-ak} + \frac{b}{a}$$

$k = 1, 2, \dots, n$

5.2 兰州耕地面积预测

以1999~2007年的耕地面积变更数据作为原始样本数据,按照上文灰色系统预测方法与公式,建立GM(1,1)预测模型,利用《灰色系统理论及其应用》第三版配套建模软件(南京航空航天大学刘思峰教授编著)^[7]预测,见表5。

表5 GM(1,1)预测值和观测值比较与残差检验

年份	观测值 (万 hm ²)	预测值 (万 hm ²)	残差 (hm ²)	相对误差 (%)
1999	21.81400	21.81400	0	0
2000	21.75733	21.86667	1093.4	0.5
2001	21.52200	21.58333	0613.3	0.28
2002	21.36667	21.52664	1599.7	0.74
2003	21.25733	21.48643	229.1	1.07
2004	21.21867	21.37442	1557.5	0.73
2005	21.14333	21.22600	0826.7	0.39
2006	21.13067	21.18623	555.6	0.26
2007	21.09133	21.13233	410	0.19
2008	21.01533	21.02546	101.3	0.05
2009	20.98600	21.01457	285.7	0.14
2015		20.82367		
2020		20.63654		

根据灰色系统预测模型,可得出兰州市 2015 年耕地面积预测值为 208236.7hm^2 ,2020 年耕地面积为 206365.4hm^2 。灰色预测检验一般有残差检验、关联度检验和后验差检验。首先采用绝对误差(残差)和相对误差进行检验,1999~2009 年预测值与数据之间的相对误差最大为 1.07%,相对误差的均值为 $0.43\% < 0.5\%$ 。其次,进行灰色关联度检验,得到 $r=0.65$ 满足 $\rho=0.5$ 是检验准则 $r > 0.60$ 。可见模型的精度较好。因此,采用灰色系统理论预测兰州市耕地面积精度较高。

6 结论

从 1999~2009 年,兰州市耕地面积逐年减少,根据耕地动态变化驱动力分析,自然因素中地形地貌影响较大,而主要因素是社会经济因素。通过主成分分析,把影响兰州市耕地变化的 15 个驱动因子,归纳为经济发展、人口增长和农业科技三大因素。随着西部大开发政策的大力实施,实行山川秀美工程以来,以粮代赈的政策,鼓励在不宜耕种的土地上退耕还林还草,封山育林,逐步调整农林牧用地结构,使耕地面积减少,而林草面积增加。现在鼓励城市发展,提高城市化水平,城中村改造工程的不断实施,城市建设及城市规模有了很大发展,城市用地不断增长。高速公路的建设、农村路网建设等增大了对耕地的需求,使得耕地非农化现象日益严重^[8]。

结合耕地面积的预测,提出以下加强耕地保护

的具体措施;树立耕地可持续利用发展观,加强耕地保护意识,确保经济社会发展与耕地资源可持续利用;完善有关耕地的法律、法规,建立健全耕地资源保护制度,严格控制耕地非农化规模,确保耕地数量和质量总量动态平衡;控制人口过快增长,协调人地关系,实现人口与土地资源的协调发展;加大科技投入,提高耕地质量水平,提升土地生产力和经济效益^[3]。

参考文献:

- [1] 张天中,刘春芳,张春红,等. 甘肃省耕地数量动态变化分析及对策研究[J]. 西北师范大学学报(自然科学版),2010(4):96-100.
- [2] 柴志敏,刘小英,李卫祥,等. 基于 PCA 法的山西省耕地变化及驱动力研究[J]. 中国农机化,2011(1):92-94.
- [3] 王淑琴,刘学录. 兰州市耕地变化及驱动力分析[J]. 吉林农业,2010(10):31-33.
- [4] 郭洪海,宋民. 山东省耕地动态变化趋势及驱动力分析[J]. 中国农业资源与区划,2009(1):51-57.
- [5] 刘普幸,张红侠. 甘肃张掖市耕地变化及驱动力研究[J]. 土壤. 2003,35(6):485-489.
- [6] 杨银峰,石培基,吴燕芳. 灰色系统理论模型在耕地需求量预测中的应用[J]. 统计与决策,2011(9):159-161.
- [7] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [8] 崔亚锋. 河南省耕地动态变化的驱动力分析[J]. 安徽农业科技,2009,37(5):2136-2138.