

# 基于 GM 模型的天水市麦积区土地利用结构演变分析及预测

蒲 荣<sup>1</sup>, 王宝春<sup>1</sup>, 辛瑞超<sup>2</sup>

(1. 甘肃农业职业技术学院, 甘肃 兰州 730020; 2. 山丹县自然资源局, 甘肃 山丹 734100)

**摘要:** 为研究区域土地利用结构的动态变化, 探究其发展规律和驱动机制, 运用 SPSS 等软件对天水市麦积区 2015—2020 年土地利用变更数据进行处理, 采用信息熵、单一土地动态度对麦积区土地利用结构及其动态变化特征进行了定量分析并对麦积区 2021—2026 的信息熵进行了预测。结果表明, 麦积区土地利用类型时间变化具有不均衡性, 但已呈现良好方向发展的趋势。从单一土地动态度来看, 居民工矿用地、水利设施用地、交通设施用地均为正向变化, 其中交通设施用地变化最为明显, 水利设施变化幅度最小。其他用地类型均为负向变化, 林地变化最小。依据 2015—2017 年信息熵、均衡度、优势度以及 2021—2026 年预测值分析, 麦积区土地利用结构正在向均衡化的方向发展。

**关键词:** 土地利用动态变化; 信息熵; 灰色预测; 麦积区

**中图分类号:** F301.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1463(2022)02-0073-06

[doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2022.02.018](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2022.02.018)

## Dynamic Evolution and Prediction of Land Use Structure in Maiji District of Tianshui City Based on GM Model

PU Rong<sup>1</sup>, WANG Baochun<sup>1</sup>, XIN Ruichao<sup>2</sup>

(1. Gansu Agricultural Vocational and Technical College, Lanzhou Gansu 730020, China; 2. Natural Resources Bureau of Shandan County, Shandan Gansu 734100, China)

**Abstract:** Based on the land use data of Maiji district from 2015 to 2020, using software such as Excel and Spss to handle the change data for 6 years, we made a quantitative analysis of the dynamic evolution of the land use structure by using the analyzing approaches such as the information entropy, single land dynamic degree and the GM (1,1) model of grey system theory, and made a prediction on information entropy of the Maiji district in Tianshui city from 2021 to 2026. The results demonstrated that the distribution of different land use types showed the trend of temporal unbalance, but it began to develop toward a good direction. From the perspective of single land dynamic degree, residential land, industrial and mining land, land used for water conservancy facilities, and land used for transportation facilities all had positive changes, in which the change of land used for transportation facilities was the most obvious, while the change of land used for water conservancy facilities was the least. Based on the analysis of information entropy, equilibrium degree and superiority degree from 2015 to 2017 and the predicted value from 2021 to 2026, the land use structure is moving towards equilibrium in Maiji district of Tianshui city.

**Key words:** Dynamic evolution of land use; Information entropy; Grey prediction; Maiji district

当前, 我国正处于城镇化快速发展的阶段, 经济、社会、人口快速发展的同时加大了对土地资源的需求, 使得原本就存在的土地供需矛盾更加尖锐, 土地利用结构也更加趋向于复杂化<sup>[1]</sup>。研究区域土地利用结构的动态变化, 探究其发展规律和驱动机制, 是土地利用结构研究中必须要解决的课题<sup>[2]</sup>。土地利用结构动态演变的研究成

果对于在各地区和部门合理配置土地资源, 有效缓解用地的供需矛盾, 实现可持续发展战略有着极其重要的参考价值。目前, 国内学者对土地利用结构演变已经有了很多研究<sup>[3-9]</sup>, 包括土地的空间分布、时间变化、均衡度及驱动力分析等。研究所使用的方法也各式各样, 如信息熵法、主成分分析法、马尔可夫链、神经网络法等<sup>[10]</sup>。我

收稿日期: 2021-10-09

作者简介: 蒲 荣(1989—), 男, 甘肃秦安人, 助教, 硕士, 主要从事农业资源利用研究与教学工作。联系电话: (0)18919238987。

们在借鉴了前人研究的基础上,根据信息熵和单一地类动态度的原理,结合天水麦积区的土地利用现状,选取2015—2020年间的土地利用变更数据,对麦积区6年的土地利用空间结构变化进行分析和研究,并运用灰色预测的方法对麦积区2021—2026年土地利用结构进行预测,以期对麦积区土地在各部门间优化配置及土地的集约节约化提供科学依据。

## 1 研究区概况

### 1.1 自然经济概况

麦积区地处东经105°25′~106°43′,北纬34°06′~34°48′,东与宝鸡市相接,南与两当县、徽县相连,西靠甘谷县,北临清水县、秦安县。东西跨度最大123 km,南北最宽约50 km,最窄处则不足5 km。全区土地总面积3452 hm<sup>2</sup>。现辖17个乡镇、3个街道办事处,379个行政村,总人口约64万,其中农村人口约45万。

### 1.2 土地利用结构概况

根据麦积区2015—2020年土地利用变更数据、麦积区统计年鉴,整理得到麦积区土地利用结构概况(表1)。麦积区2015—2020年土地类型中林地面积占比超过总面积1/2,但其比例变化幅度较小。水利设施用地占比最小,其变化也较小。耕地、林地、园地、未利用地、牧草地均有不同程度的减少,居民工矿用地、交通设施用地和水利设施用地都有增加,其中居民工矿用地增加最高,为0.4461百分点。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

研究所用的基础数据来源于2015—2020年麦

积区土地利用变更统计数据及麦积区土地利用总体规划,并以麦积区国土局、农业局等部门提供的数据为补充。

### 2.2 研究方法

**2.2.1 信息熵** 信息熵原本是一个物理学的概念,它可以用来衡量一个系统的复杂度与均衡度,信息熵值越高,其所属系统的有序程度就越低,系统也就越紊乱<sup>[11-12]</sup>。土地利用结构信息熵可以反映一定时期研究区土地利用结构的动态变化以及地类转化的程度,对区域土地利用结构的优化和调整都具有一定指导作用<sup>[5]</sup>。对某一具有固定界线的区域,假定其区域总面积为A,根据一定的划分标准将该区域内土地利用类型分为n类,各种土地利用类型的面积用A(x<sub>i</sub>)表示,则某一地类出现的概率可用如下公式表示:

$$p(x_i)=A(x_i)/A, i=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

显然,当 $\sum p(x_i)=1$ 时,满足归一化条件,则信息熵可定义如下:

$$H(x)=-\sum p(x_i)\ln p(x_i) \quad (2)$$

信息熵H可以用来表示一个系统的复杂性与均衡性,本文将用其来描述一个区域内土地类型的复杂程度。如果某个区域的土地类型有n种,那么当该区域处于未开发时,其熵值为0,即 $H_{\min}=0$ ;相反,如果这一区域内的各种土地类型已基本趋于稳定或均匀,并且当其满足信息熵值最大化条件时,即 $A(x_1)=A(x_2)=\dots=A(x_n)=A/n$ 时,则有 $A(x_i)=1/n(i=1, 2, \dots, n)$ ,此时该区域信息熵值达到最大值,有 $H_{\max}=\ln(n)$ 。根据上述分析可知,当一个区域内的土地利用类型越多,各类土地面积越接近时,其熵值也就越大。

表1 2015—2020年麦积区土地利用结构

年份/年	耕地	园地	林地	牧草地	其他农用地	居民工矿用地	交通设施用地	水利设施用地	未利用地	%
2015	17.204 1	6.006 6	65.195 6	4.481 2	2.987 3	2.575 1	0.362 8	0.000 7	1.186 6	
2016	17.203 4	5.984 4	65.194 6	4.481 1	2.982 3	2.615 6	0.363 5	0.000 7	1.174 4	
2017	17.201 3	5.874 8	65.188 8	4.469 3	2.949 6	2.777 2	0.365 1	0.000 7	1.173 1	
2018	17.179 6	5.779 4	65.183 3	4.423 9	2.958 8	2.924 9	0.376 7	0.000 7	1.172 7	
2019	17.148 3	5.747 1	65.179 3	4.412 4	2.966 7	2.978 4	0.396 2	0.000 8	1.170 7	
2020	17.083 6	5.719 1	65.175 4	4.401 9	2.984 9	3.021 2	0.454 1	0.000 8	1.158 9	

2.2.2 优势度和均衡度 基于信息熵函数,可以构建其均衡度,其均衡度公式如下:

$$J=H/H_{\max}=-\left(\sum_{i=1}^i p_i \times \ln p_i\right)/\ln N \quad (3)$$

式中,  $J$  表示均衡度,是土地利用结构信息熵值与理论最大熵值之比;  $H$  表示信息熵,因为  $H \leq H_{\max}$ ,所以  $J$  的变化区间为  $[0, 1]$ 。当  $J$  的值为 1 时,说明土地利用达到了最理想的平衡状态,相反,当  $J$  的值为 0 时,则表明土地处于最不均匀状态,该区域尚未开发。基于均衡度的概念,可以构建出优势度公式:

$$I=1-J \quad (4)$$

式中,  $I$  表示优势度,是实际熵值增量与最大熵值增量之比,其意义与均衡度的相反,用其表示土地利用的集中度,反映一个区域内一种或几种占优势的地类支配该区域土地的程度。

2.2.3 单一土地利用类型动态度 单一土地利用类型动态度模型<sup>[13-15]</sup>,本文用其表达某研究区内一定时间范围内的某种土地利用类型的数量变化情况,其公式为:

$$K=\frac{(U_b-U_a)}{U_a} / \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (5)$$

式中,  $K$  代表研究时段内某种土地利用类型的动态度。 $U_a$ 、 $U_b$  分别为研究期初和研究期末某种土地利用类型的数量,  $T$  为研究时长,当  $T=1$  时,  $K$  的值就是该研究区内某种土地利用类型的年际变化率。

2.2.4 GM (1, 1) 灰色预测模型 灰色预测 GM (1, 1) 模型<sup>[11]</sup>是拟微分方程的动态系统,灰色预测模型的实质是对原始数据先进行一次累加生成,这使得生成的数据序列呈现一定的规律,而后通过建立一阶微分方程模型,求得拟合曲线,用以对系统进行预测<sup>[11]</sup>。模型为:

$$\hat{X}_{(k+1)}^{(0)} = \hat{X}_{(k+1)}^{(1)} - \hat{X}_{(k)}^{(1)} \quad K=1, 2, 3 \cdots, n \quad (6)$$

$$\hat{X}_{(k+1)}^{(1)} = e^{-nk} \left( X_{(1)}^{(0)} - \frac{u}{a} \right) + \frac{u}{a} \quad (7)$$

式中,  $\hat{X}_{(k+1)}^{(0)}$  为模型预测值,  $X_{(1)}^{(0)}$  为原始序列的第一个值,  $a$  代表发展系数;  $u$  为灰色作用量;  $K$  为

研究时间。

### 3 结果与分析

#### 3.1 麦积区土地利用结构信息熵演变分析

根据 2015—2020 年麦积区土地利用变更数据,结合研究区土地资源特点,将三大类基本土地利用类型划分为耕地、园地、林地、牧草地、其他农用地、居民点及工矿用地、交通用地、水利设施用地和未利用地 9 种类型,通过计算与分析得到麦积区各年信息熵、均衡度和优势度(表 2)。

表 2 2015—2020 年麦积区土地利用结构信息熵、均衡度和优势度

年份	熵值	均衡度	优势度
2015	1.161 9	0.528 8	0.471 2
2016	1.162 1	0.528 9	0.471 1
2017	1.163 3	0.529 4	0.470 6
2018	1.165 0	0.530 2	0.469 8
2019	1.166 3	0.530 8	0.469 2
2020	1.168 8	0.531 9	0.468 1

由表 2 可知,麦积区土地利用结构 2015 年信息熵为 1.161 9,2020 年信息熵上升为 1.168 8,增加了 0.006 9,表明麦积区近年来土地利用结构发生了变化。熵值总体来说是增长的,但根据其增长特点不同又可分为两个阶段:第一阶段,2015—2017 年缓慢上升,熵值变化最小 0.000 2、最大 0.001 2。耕地与居民公矿用地变化显著,说明该时段土地利用结构调整以耕地和居民点及工矿用地为主。第二阶段,2017—2020 年熵值快速上升,平均为 0.003 8,居民点及工矿用地、耕地、园地比重变化较大。总体上,随着居民点及工矿用地、交通用地、水利设施等建设用地比重的不断增加,耕地、园地、林地等逐步下降,土地利用信息熵不断增加。均衡度呈单调递增趋势,2020 年比 2015 年增加了 0.003 1,优势度与均衡度相反。说明各土地利用类型之间更加平衡,稳定性也不断增强,土地利用结构有向合理、均衡的发展趋势。

麦积区土地利用结构信息熵增加的最主要原因是建设用地的增加。2015—2019 年

间,耕地、园地占比分别下降了0.1205、0.2875百分点,居民工矿用地、交通设施用地比重分别增加了0.4461、0.0913百分点。耕地、牧草地、园地比重持续下降,林地和未利用地缓慢下降,其他农用地先上升后下降,居民工矿用地和交通设施用地持续上升,水利设施用地上升速度缓慢。地类此消彼长的变化,反映出了麦积区正在由传统农业向现代化、工业化转变。一方面西部大开发如关中—天水经济区的建设、天平铁路和宝天高速公路的建设、旅游开发等占用了大量土地,使居民工矿用地、交通建设用地等增加;另一方面,城市化进程的推动也使麦积区城市建成区的规模扩大成为必然趋势,农用地变为建设用地、农地景观变为非农地景观的现象在郊区更为显著。在各种因素的共同作用下,麦积区近6年来熵值虽然呈上升的变化趋势,但是“熵值趋于稳定”的规律还没有得到体现,这从一个侧面说明麦积区正处于经济发展的加速阶段。

### 3.2 单一土地利用类型动态度的时间分异分析

基于2015—2020年土地利用变更数据计算得到各类土地面积变化和单一土地利用类型年动态度(表3)。

由表3可知,2015—2020年麦积区土地利用变化速度较快,其中交通设施用地变化最为活跃,平均每年增加4.195%;其次是居民工矿用地和水

利设施用地。变化较快的是园地、未利用地和牧草地,变化较缓慢的是耕地和其他农用地,变化速度最小的是林地,平均每年减少0.005%。2020年较2015年居民点及工矿用地、交通用地和水利设施用地都有所增加,其中居民工矿用地增加面积最大,为1553.85 hm<sup>2</sup>,水利设施用地增加较少,仅为0.28 hm<sup>2</sup>;耕地、园地、林地、牧草地、其他农用地、未利用地都在减少,以园地面积减少最多,为1001.19 hm<sup>2</sup>,其次为耕地,减少了419.59 hm<sup>2</sup>。

### 3.3 麦积区2021—2026年土地利用结构信息熵、均衡度、优势度预测

3.3.1 预测结果 选择2015—2020年信息熵、均衡度、优势度,运用matlab建立灰色预测模型对2021—2026年信息熵、均衡度、优势度进行预测的结果(表4)表明,麦积区2021—2026年信息熵

表4 麦积区2021—2026年土地利用结构信息熵、均衡度和优势度预测

年份	信息熵	均衡度	优势度
2021	1.173 3	0.534 0	0.466 1
2022	1.175 0	0.534 7	0.465 3
2023	1.176 6	0.535 4	0.464 6
2024	1.178 3	0.536 2	0.463 9
2025	1.180 0	0.536 9	0.463 1
2026	1.181 6	0.537 7	0.462 4

表3 2015—2020年麦积区土地利用面积变化情况及单一地类动态度

土地利用类型	面积/hm <sup>2</sup>			单一地类年动态度/%
	2015年	2020年	2020年较2015年增加	
耕地	59 922.02	59 502.43	-419.59	-0.117
园地	20 920.92	19 919.73	-1 001.19	-0.798
林地	227 077.20	227 006.96	-70.24	-0.005
牧草地	15 608.16	15 332.04	-276.12	-0.295
其他农用地	10 404.76	10 396.42	-8.34	-0.013
居民工矿用地	8 969.19	10 523.04	1 553.85	2.887
交通设施用地	1 263.62	1 581.71	318.09	4.195
水利设施用地	2.57	2.85	0.28	1.816
未利用地	4 133.10	4 036.36	-96.74	-0.390

和均衡度在原来的基础上将继续增加,优势度将持续下降。表明麦积区未来6年土地利用结构正在不断变化中趋于稳定并将向良好的方向发展,这也从侧面表明了麦积区将继续处于经济快速发展阶段。

3.3.2 灰色预测模型的精度检验 灰色预测模型的精度检验方法主要有3种,分别是残差检验法、后验差检验法和关联度检验法,我们采用第二种方法进行检验。检验数据选择2015—2020年熵值和均衡度与预测值(表5)。

表5 2015年—2020年实际值与模型值

年份	熵值		均衡度	
	实际值	预测值	实际值	预测值
2015	1.161 9	1.162 1	0.528 8	0.528 8
2016	1.162 1	1.161 8	0.528 9	0.528 8
2017	1.163 3	1.163 5	0.529 4	0.529 5
2018	1.165 0	1.165 1	0.530 2	0.530 2
2019	1.166 3	1.166 7	0.530 8	0.531 0
2020	1.168 8	1.168 4	0.531 9	0.531 7

经计算得出信息熵后验差比值  $C=0.115\ 848$ , 预测精度  $P=1.000\ 015$ 。均衡度后验差比值  $C=0.120\ 300$ , 预测精度  $P=0.999\ 975$ 。指标C的值越小越好,C的值越小表明尽管原始数据很离散但模型所得计算值与实际值之差并不离散。指标P的值越大越好,P值越大表明其精度越高。将指标与预测精度等级参照表(表6)作对比。对比结果表明,预测精度等级达到一级,符合预测所需精度,可用于麦积区土地利用结构的未来预测。

表6 预测精度等级参照

预测精度等级	相对误差	C	P
一	$<0.01$	$<0.35$	$>0.95$
二	$<0.05$	$<0.50$	$>0.80$
三	$<0.10$	$<0.45$	$>0.70$
四	$\geq 0.01$	$\geq 0.65$	$\leq 0.70$

#### 4 结论

通过对麦积区2015—2020年的信息熵分析,麦积区在6年间土地利用类型变化具有不均衡性,结构性较差的特点。从单一土地利用类型动态度可知,麦积区在2015—2020年间土地利用变化速

度较快,其中交通设施用地变化最为活跃,林地变化最为缓慢。从信息熵和单一土地利用类型动态度变化分析,麦积区信息熵变化与单一土地利用类型动态度最显著的都是交通设施用地和居民工矿用地,说明这两种用地类型变化是引起信息熵增加的主要因素。

通过对信息熵预测值分析,未来6年麦积区信息熵单调递增,均衡度稳定增加,土地利用结构正在不断变化中趋于稳定并将朝均衡的方向发展,这从侧面表明了麦积区正处于并将继续处于经济快速发展阶段。

#### 参考文献:

- [1] 宋洁,刘学录.土地利用结构优化研究综述[J].现代商业,2012(5):259-261.
- [2] 陈俊.基于蚁群算法的土地利用结构优化研究——以柳州市为例[D].武汉:华中农业大学,2009.
- [3] 陈军伟,孔祥斌,张凤荣,等.基于空间洛伦茨曲线的北京山区土地利用结构变[J].中国农业大学学报,2006,11(4):71-74.
- [4] 陈彦光,刘继生.城市土地利用结构和形态的定量描述:从信息熵到分数维[J].地理研究,2001,20(2):146-152.
- [5] 赵晶,徐建华,梅安新,等.上海市土地利用结构和形态演变的信息熵与分维分析[J].地理研究,2004,23(2):137-145.
- [6] 解修平,周杰.土地利用变化预测研究—以西安地区为例[J].干旱区研究,2008,25(1):125-130.
- [7] 谭永忠,吴次芳.区域土地利用结构的信息熵分异规律研究[J].自然资源学报,2003,18(1):112-117.
- [8] 姬桂珍,吴承祯,洪伟,等.武夷山市土地利用结构信息熵动态研究[J].安全与环境学报,2004,8(4):41-44.
- [9] 宋春威.近30年松嫩沙地土地利用时空动态[J].甘肃农业科技,2021,52(7):45-49.
- [10] 匡文慧,张树文.长春市百年城市土地利用空间结构演变的信息熵与分形机制研究[J].中国科学院研究生院学报,2007,24(1):73-80.
- [11] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [12] 李冬梅,濮励杰,韩书成,等.吴江土地利用结构信息熵变化诱因[J].福建农林大学学报(自然科学

# 绵羊 *HMGA1* 基因的生物信息学分析

靳皓宇, 武 顺, 权 洁, 韩真真, 张小雪

(甘肃农业大学动物科学技术学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 高迁移率族蛋白 A1 基因(high mobility group protein A1, *HMGA1*)是一类对 DNA 转录起调控作用的基因, 广泛存在于多种动物体内。为探究 *HMGA1* 基因在绵羊体内的功能, 对该基因及其编码产物进行了生物信息学分析。结果显示, 绵羊 *HMGA1* 基因编码 152 个氨基酸残基, 其编码的蛋白质分子式为  $C_{443}H_{759}N_{151}O_{151}S_1$ , 分子质量为 10.648 35 kDa, 等电点 pI 为 10.31。绵羊 *HMGA1* 蛋白为不稳定蛋白、亲水性蛋白、非分泌蛋白且无信号肽序列和跨膜结构; 亚细胞定位主要存在于细胞核 (95.7%)。绵羊与牛的 *HMGA1* 蛋白相似度为 100%。其二级结构和三级结构主要以无规卷曲组成。

**关键词:** 绵羊; *HMGA1* 基因; 生物信息学分析

**中图分类号:** S826; Q57

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1463(2022)02-0078-06

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1463.2022.02.019

## Bioinformatics Analysis of Sheep *HMGA1* Gene

JIN Haoyu, WU Shun, QUAN Jie, HAN Zhenzhen, ZHANG Xiaoxue

(College of Animal Science and Technology of Gansu Agriculture University, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** High mobility group protein A1 (*HMGA1*) gene is a kind of gene that regulates DNA transcription and exists widely in many kinds of animals. In order to explore the function of *HMGA1* gene in sheep, bioinformatics analysis of *HMGA1* gene and its encoding product was conducted in this study. The results showed that sheep *HMGA1* gene encoded 152 amino acid residues, and its protein molecular formula was  $C_{443}H_{759}N_{151}O_{151}S_1$ , molecular weight was 10.64 835 Kda, isoelectric point pI was 10.31. Sheep *HMGA1* protein was an unstable protein, hydrophilic protein, non-secretory protein and has no signal peptide sequence and transmembrane structure. The localization of *HMGA1* at a subcellular level was mainly existed in the nucleus (95.7%). The *HMGA1* protein similarity between sheep and cattle was 100%. Its secondary and tertiary structures were mainly composed of random crimp.

**Key words:** Sheep; *HMGA1* gene; Bioinformatics analysis

高迁移率族蛋白 (high mobility group-protein, HMG) 是 Goodwin 等<sup>[1]</sup>在 1973 年于牛胸腺细胞中首次发现的一类染色质相关非组蛋白。Bianchi 等<sup>[2]</sup>将 HMG 蛋白分为 3 类: 高迁移率族蛋白 B (high

mobility group-proteinB, HMGB)、高迁移率族蛋白 A (high mobility group-proteinA, HMGA) 和高迁移率族蛋白 H (high mobility group-proteinH, HMGH)。而 HMGA 又可分为两大类: 即高迁移率族蛋白 A1

收稿日期: 2021-10-21

基金项目: 甘肃农业大学学生科研训练计划项目(202104026)。

作者简介: 靳皓宇(2000—), 男, 山西晋城人, 本科在读, 研究方向为动物科学。联系电话: (0)18235626912。Email: 1073959479@qq.com。

通信作者: 张小雪(1984—), 女, 湖北武汉人, 副教授, 主要从事动物遗传育种与繁殖研究及教学工作。联系电话: (0931)7631225。Email: zhangxx@gsau.edu.cn。

版), 2008, 37(4): 415-419.

实践[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

[13] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 83.

[15] 陈述彭. 遥感信息机理研究[M]. 北京: 科学出版社, 1998.

[14] 史培军, 官 鹏. 土地利用/覆盖变化研究的方法和