

区域土地利用结构变化与土地可持续利用研究

——以江苏省原锡山市为例

罗 昀 黄贤金 濮励杰 周 青

(南京大学城市与资源学系 南京 210093)

摘 要 文章在分析区域土地利用结构变化与土地可持续利用相互作用机理的基础上,以原锡山市为例,分析了研究区域土地利用结构的多样化和集中化趋势,并着重通过构建灰色系统动态模型,预测了2005和2010年原锡山市土地利用结构的变化趋势,以及由此而对区域土地可持续利用的影响。根据论文的研究,原锡山市土地利用结构将呈现农业用地非农化、农业用地质量退化以及区域土地利用效率难以快速提高、区域土地后备资源日趋匮乏等变化态势,据此,论文最后从适度保护农地资源尤其是耕地资源、合理协调农业用地与非农业用地之间的相互关系、进一步完善区域土地利用政策体系以及提高科学技术对于土地资源的替代率等几个方面提出推进研究区域土地可持续利用的政策建议。

关键词 区域土地利用结构变化;土地可持续利用;灰色系统动态模型

中图分类号 F323.211

区域土地利用结构是土地利用结果的具体体现,土地可持续利用则是土地利用的目标,两者之间存在何种相互关系呢?可通过图1加以描述,从图1可以看出,区域土地利用结构变化是在一定政府行为或土地利用政策引导下,用地者为追求土地

利用收益的最大化,调整区域土地利用的结构;而用地者这种土地利用行为所带来的区域土地利用结构变化不一定符合土地可持续利用的目标,只有当区域土地利用结构变化结果同时也符合土地利用的生态建设目标和社会公益目标时,才能实现区域土

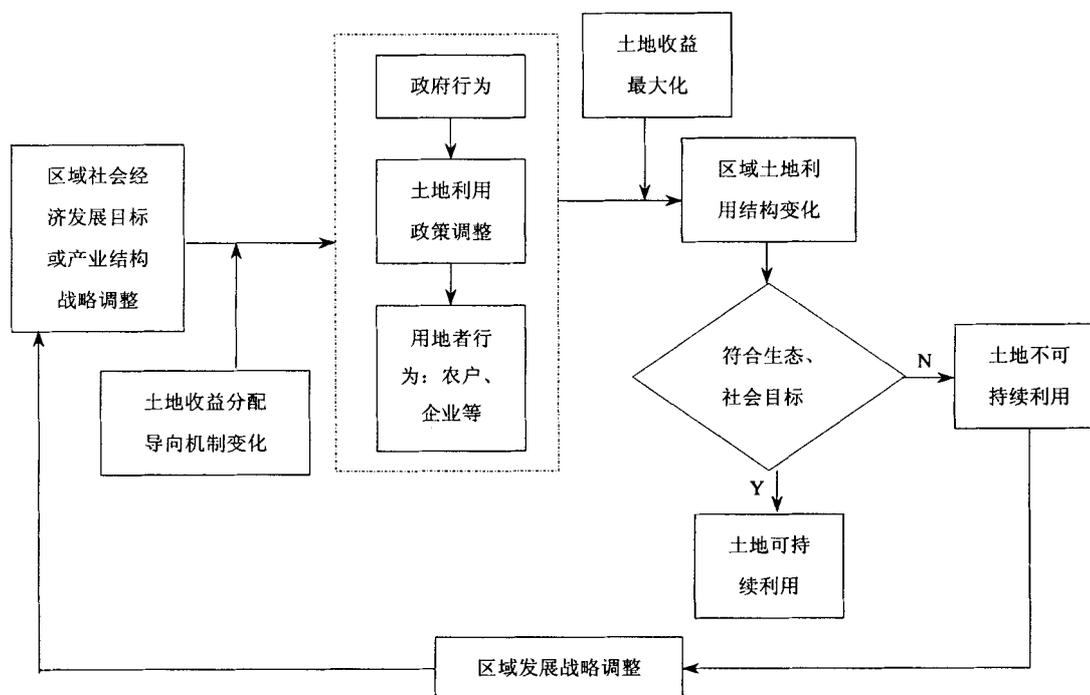


图1 区域土地利用结构变化与土地可持续利用相互作用机理

Fig. 1 Mechanism of interactions between change in regional land-use structure and sustainable land-use

地可持续利用, 否则, 就要调整区域社会经济发展目标, 并据此调整政府行为, 重新调整土地利用政策, 以使土地利用者行为同时符合经济可行性、生态合理性和社会可接受性^[1] 3 个目标体系。

基于上述对于区域土地利用结构变化与土地可持续利用变化相互作用机理的认识, 本文将江苏省无锡市所辖的原锡山市为例, 进行区域土地利用结构变化与土地可持续利用的实证分析。

1 研究区域土地利用结构现状与演变趋势分析

1.1 研究区域概况

原锡山市, 再前为无锡县。1995 年 8 月, 经国务院批准, 撤销无锡县, 建立锡山市。该区域位于江苏省南部、长江三角洲腹地, 南滨太湖, 北连江阴, 东和常熟、吴县相接, 西邻武进。属于北亚热带季风气候区, 四季分明, 气候温和, 日照充足, 雨量充沛; 境内地貌类型众多, 土地资源丰富, 以平原为主, 有低山丘陵和众多河流, 是江南著名的水乡。该区域交通发达, 改革开放后, 第一、二、三产业协调发展, 尤其是乡镇企业发展迅速。1991~1994 年, 连续 3 年被列于中国农村综合实力百强县(市)首位, 并被誉为“华夏第一县”^[2]。该研究区域现已调整为无锡市的惠山区和锡山区, 还有一部分划入了滨湖区, 本研究以其划区之前最后一次行政调整的范围 (109597.37hm²) 为研究对象。

原锡山市 2000 年人口密度 900.11 人/km², 在国内是人口稠密, 土地偏少的地区之一。由于工业化、城市化发展迅速, 该区域土地利用变化也是比较显著的, 因此, 是考察快速城市化时期土地利用变化的典型或代表性研究区域。

1.2 研究区域土地利用结构现状分析

为了深入分析原锡山市区域土地利用结构, 这里还选择了 3 个代表性乡镇——东亭镇、安镇镇、羊尖镇进行典型研究。这 3 个镇都位于原锡山市东部, 但距离原锡山市区远近不同, 社会经济发展、城市化水平以及自然资源利用等各项指标存在比较大的差异性, 因此分别代表了研究区域不同社会经济发展水平和城市化水平下的土地利用结构。这里主要从土地利用结构的多样化程度和集中化程度两个方面来分析研究区域的土地利用结构现状。

1.2.1 区域土地利用结构的多样化程度分析 多样化分析^[3]是反映区域土地利用类型总体结构的重要指标。其计算公式为:

$$G = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2} \quad (1)$$

式中: G 为多样化指数;

n 为土地利用分类数量;

x_i 为第 I 类土地利用类型面积。

通过运用上述公式进行分析, 得出结果见表 1。

表 1 原锡山市土地利用类型总体结构多样化指数表

Table 1 Diversification index of land-use structures in XiShan City

	$\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2$	$\sum_{i=1}^n x_i^2$	G
全市	12011632987.3469	3772196907.7101	0.686
东亭镇	8657894.3049	3698410.473658	0.5728
安镇镇	14585906.7225	5793320.8303	0.6028
羊尖镇	25690503.2164	10963307.1042	0.5733

*此表各类土地面积单位为 hm², 数据来源于原锡山市统计年报(2000 年)。

由此可知, 原锡山市平均多样化指数为 0.686, 低于类型数目相同、分布均匀情况下的多样化指数 0.875, 但比其区域内的东亭镇、安镇镇和羊尖镇的多样化指数要高, 其中以东亭镇的多样化指数为最低。这主要是由于东亭镇处于市区中心, 土地利用类型主要以建设用地为主; 3 镇中羊尖镇处于最远离市区地带, 土地利用主要以农业利用为主; 而安镇镇处于两者的中间地带, 建设用地和农业用地的比例也介于两者的中间; 从这里也可以发现土地利用类型与所处区位有着密切的关系。

1.2.2 区域土地利用结构的集中化程度分析 集中化指数分析^[4], 是指定量地说明土地利用集中化的程度, 其计算公式为:

$$I = (A-R) / (M-R) \quad (2)$$

式中: I 为区域土地集中化指数; A 为区域土地类型累计百分比之和; M 为假设土地都集中于某一类型时, 最大累计百分比总和; R 为高一层次区域土地各种类型累计百分比之和。

因为原锡山市缺少草地, 0.875 是指在除草地类型外的其它 7 大土地利用类型分布均匀、面积大小相同的情况下按照公式 (1) 计算出来的原锡山市的土地多样化指数值。

集中化程度分析表 (表 2)

由表 2 知,公式中的 R 值为 447.66, M 值为 700, 将各区土地利用集中化指数 I, 依次代入计算得出: 东亭镇为 -0.1461, 安镇镇 0.1874, 羊尖镇 0.1916。即原锡山市的东亭镇、安镇镇和羊尖镇 3 镇间集中化程度明显有差异, 其中以羊尖镇的集中化程度最高, 安镇镇次之, 且差异不大, 东亭镇集中化程度为最低。这主要是由于在羊尖镇, 农业土地利用占有很大的比例; 安镇镇虽然与羊尖镇相比, 建设用地占有较大的比例, 但是, 仍然是以农业用地为主; 东亭镇则是建设用地在比例上占有绝对地位, 但是,

其数值却低于安镇镇和羊尖镇, 因此, 这使得其土地利用结构的集中化程度较低。其中, 安镇镇和羊尖镇集中化指数化指数为正数, 在于安镇镇和羊尖镇的各土地类型累计百分比之和大于原锡山市各土地类型累计百分比之和, 即安镇镇和羊尖镇的集中化程度大于原锡山市平均集中化程度; 而东亭镇集中化指数为负数, 则因为东亭镇的各土地类型累计百分比之和少于原锡山市各土地类型累计百分比之和, 也即东亭镇的集中化程度小于原锡山市平均集中化程度。

表 2 原锡山市土地利用结构集中化程度分析表

Table 2 Centralization degree of land-use structures in XiShan City

	林地	耕地	未利用地	居民工矿地	水域	园地	交通用地	A
全市	1.29	46.43	47.24	65.34	92.55	94.81	100.00	447.66
东亭镇	0.19	19.94	20.50	81.22	94.14	94.81	100.00	410.8
安镇镇	3.47	62.92	63.57	79.15	91.06	94.79	100.00	494.96
羊尖镇	0.59	61.49	62.44	81.36	94.69	95.44	100.00	496.01

* 此表数据来源于锡山市统计年报 (2000 年)

通过上述分析可以看出, 由于土地利用的区位特征和产业结构的差异性, 使得区域土地利用结构的多样性和集中化程度也呈现出分布的差异性。

2 研究区域土地利用结构演变趋势分析

由于区域土地利用结构系统的复杂性, 任何分析仅有数量、模式分析是不够的, 因为土地利用结构中还有着非数量的、质的方面和联系^[5]。所以, 只有在定量分析的基础上, 结合质的阐明, 才能全面完成结构分析的要求, 达到预期目的^[4]。为此, 这里选用灰色系统动态模型进行分析。

灰色系统动态模型 GM(n, h) 是依据灰色系统理论原理, 利用系统的离散采集数据建立其动态微分方程, 以灰色模块为基础, 微观拟合分析为核心的建模方法。其主要特点是能够用较短的基础数据序列, 将抽象的问题实体化、量化, 将变化规律不明显的情况, 找出规律, 通过规律分析事情的发展变化, 揭示发展过程的优劣, 找出对策, 以促进系统的满意、高效发展, 为中长期规划编制、决策创造条件, 用它可以通过对系统过去和现在采集的数据集对系统未来的发展趋势作出预测^[6]。在当前土地资料不完整的情况下, 运用 GM(n, h) 模型, 进行土地利用结构过程分析, 无疑十分适宜^[4]。故本

研究将建立原锡山市未来城市化过程中的耕地、林地、园地、居民工矿地、交通用地、水域和未利用地的 GM(1,1) 预测模型, 以把握其未来的变化方向。

2.1 灰色系统动态 GM(1,1) 预测模型建模

GM(1,1) 灰色系统动态模型是 GM(n, h) 模型中的一种特殊的动态模型, 即一阶单变量的微分方程模型, 通常只需一个时间序列, 4 个以上的连续数据便可求得用于预测的 GM(1,1) 模型。在本研究中, 我们选取原锡山市各用地类型土地利用量时间序列作为随机过程, 运用 GM(1,1) 模型模拟预测原锡山市各用地类型未来值。

2.2 区域土地利用变化过程中的结构演变趋势分析

在灰色系统模型中, 我们运用 GM(1,1) 模型对单一土地类型进行预测, 即分别对耕地、园地、林地、交通用地、未利用地、居民工矿地和水域进行预测, 在土地利用总量不变的前提下, 对预测结果进行以误差权重为基准的修正, 保持土地利用总量的平衡。

以原锡山市为例, 我们从原锡山市 1985~2000 年各土地利用类型统计数据中选取 1996~2000 年的各土地利用类型数据来进行区域土地利用变化过程中的结构演变趋势分析。

先选取 1996~2000 年的原锡山市各类土地利用

类型统计数据，运行编制的灰色系统动态 GM (1, 1) 模型，用类型的一元一阶方程：

1) 模型计算机程序，可以得出原锡山市各类土地利

$$\begin{aligned}
 \text{耕地：} & \hat{x}^{(1)}(k+1) = -1363213085 * e^{-0.0036787k} + 13682320 \\
 \text{园地：} & \hat{x}^{(1)}(k+1) = -216565.335 * e^{-0.01195835k} + 219148.4 \\
 \text{林地：} & \hat{x}^{(1)}(k+1) = -164725.7712 * e^{-0.0088819k} + 166140.8 \\
 \text{居民工矿地：} & \hat{x}^{(1)}(k+1) = 2580365.43 * e^{0.007473372k} - 2561087 \\
 \text{交通用地：} & \hat{x}^{(1)}(k+1) = 307847.6088 * e^{0.01733092k} - 302527.7 \\
 \text{水域：} & \hat{x}^{(1)}(k+1) = -64342175.7 * e^{-0.0004646426k} + 64372040 \\
 \text{未利用地：} & \hat{x}^{(1)}(k+1) = -511881.9188 * e^{-0.001727995k} + 512825.5
 \end{aligned}$$

依据以上方程，以耕地为例，我们可以得出 2005 年与 2010 年锡山市耕地的预测面积（表 3）。

表 3 GM(1,1)模型预测的原锡山市耕地面积（单位：hm²）

Table 3 Predicted areas of cultivated land based on GM(1,1) model in XiShan City

年份	$\hat{x}^{(1)}(t)$	$\hat{x}^{(0)}(t)$	原始数据	残差	误差比
1996	50189.15	50189.15	50189.15	0.00	0
1997	100245.46	50056.31	50036.08	20.23	0.04%
1998	150117.97	49872.51	49882.97	-10.46	-0.02%
1999	199807.35	49689.38	49729.89	-40.51	-0.08%
2000	249314.27	49506.92	49476.43	30.49	0.06%
2005		48604.64			
2010		47718.81			

随后对模型进行残差检验，得出模型的平均相对误差为 0.0409%，拟合精度为 99.9591%，模拟预测效果很好。当然由于进入 90 年代后原锡山市经济发展速度迅速加快，土地利用变化也随之迅速加大，为了更好的模拟预测出经济高速发展的原锡山市未来土地利用变化，所以我们只选取了具有代表性的 1996~2000 年的原锡山市各土地利用类型统计数据，由于只采用了 5 年的数据模拟未来 5 年乃至 10 年的预测值，其预测结果必定存在误差，且用较短

时间数据外推至较长时间的预测，时间越长，误差则越大。

同样的方法，可以得出原锡山市园地、林地、居民工矿地、交通用地、未利用地和水域的预测数据。在得出原锡山市 2005 年和 2010 年各土地利用类型的面积预测数据后，发现预测出来的各土地利用类型面积总和与原锡山市土地利用总量不相等，根据土地利用总量平衡，我们按照各土地利用类型的误差权重来对整个模型进行修正（表 4）。

表 4 土地利用结构变化趋势预测(单位：hm²)

Table 4 Predicted changes in land-use structure

	耕地	园地	林地	交通用地	未利用地	居民工矿地	水域	误差
2005 年	48604.64	2339.48	1356.69	6182.16	871.63	20548.82	29778.28	- 84.33
2010 年	47718.81	2203.69	1297.76	6741.76	864.13	21331.19	29709.17	- 269.14
2005 年调整后	48584.76	2332.60	1355.32	6173.01	865.28	20522.5	29763.90	0
2010 年调整后	47655.35	2181.72	1293.40	6712.57	843.87	21247.18	29663.28	0

由模型结果可以看出,耕地、园地、林地、水域以及未利用地的指数动态分量为负实数,说明耕地、园地、林地、水域和未利用地增长变化有保守性,而居民工矿地和交通用地则处于无约束增长期。锡山市耕地、林地、园地、水域及未利用地呈现逐年递减趋势,居民工矿地和交通用地有逐年上升的趋势。运用预测模型对 2001~2010 年的各土地利用类型面积预测的结果表明:2001~2010 年的耕地平均减少速率高于 1996~2000 年的平均减少速率,而居民工矿地和交通用地的 2001~2010 年的平均增长速率也高于 1996~2000 年的平均增长速率。这说明按当前的发展趋势,原锡山市在未来的城市化过程中以耕地为主的农用地减少的速率将会加快,而居民工矿地和交通用地等非农用地也将比以往更加迅速地增加。

3 原锡山市土地利用结构演变对区域土地可持续利用的影响分析

通过对原锡山市土地利用结构演变趋势的分析,可以看出,区域土地利用结构变化将在一定程度上影响区域土地可持续利用,具体表现出以下 4 点。

3.1 农用地特别是耕地将持续减少,人地矛盾将进一步加剧

由于原锡山市城市化和经济快速发展的需要,工业、居住、交通、水利工程等非农用地大量占用农地,大量农用地不可避免地转换成为非农用地。从先前的灰色动态预测模型中也可以看出,按目前的发展势态,以耕地为主的农用地的减少在未来的 10 年中将会加快;而人口却会在很长的一段时间内呈增长趋势,致使人均耕地进一步减少,人地矛盾日益尖锐。

3.2 区域土地利用效率有待进一步提高

原锡山市乡镇企业繁盛,不仅吸收了大批闲置农业劳动力,而且成为农村的经济支柱。但是目前乡镇企业布局过于分散,这不仅使基础设施投资增加,污染加剧,而且也增加了土地占用面积,浪费了优良的土地。此外,乡村居民点缺少规划,占地过大,建筑容积率偏低,也导致了土地利用的低效率^[7]。再加上缺乏科学的规划管理,以及各用地单位普遍存在着“多征少用、先征后用”的思想,导致有些建设用地批租围占后长期不用,开发区随意扩大用地规模或改变用地规划,土地浪费比较严重。这种状况还将在今后较长的一段时期内持续。

3.3 农地质量将持续下降

在原锡山市城市化、工业化的同时,空气污染、水污染、土壤污染等诸多环境问题也随之而来,加上农民不合理施用化肥、农药,耕地的有机肥用量减少,致使耕地污染较为严重,同时复种指数较高,农民投入太少,粗放经营,结果导致耕地的质量不断下降;另外,由于不同产业间的利益驱动,忽视了农业的持续投入,农业的集约化水平大大降低;农产品的增产越来越依赖于化肥的投入,造成土壤板结,营养成分比例失调。目前,大部分农田基础设施年久失修、设备老化、效益衰减、无力抗拒旱涝等自然灾害,产量下降,地力退化(表 5)。

表 5 锡山市各时段土壤质量指数区域平均值(Q)的变化情况*
Table 5 Change in regional average soil quality index in XiShan City

年份	第 2 次土壤普查	1985	1988	1991	1996
Q 值	2.23	2.21	1.94	1.82	1.72

* 数据来源于国土资源部科技项目《长江三角洲地区耕地总量动态平衡与可持续利用研究》(991014)报告。

3.4 土地后备资源匮乏的状况将进一步加剧

根据 2000 年原锡山市各地类统计数据,其中未利用地为 886.52 hm²,仅占原锡山市土地利用总量的 0.8%,且其中只有一部分可以看作土地后备资源,所以在人多地少且土地后备资源匮乏的前提下,原锡山市的土地可持续利用的前景十分严峻。

4 主要结论及政策建议

本文研究了原锡山市的土地利用现状和土地利用结构变化总体特征,通过建立原锡山市未来城市化过程中的耕地、林地、园地、居民工矿地、交通用地、水域和未利用地的 GM(1,1) 预测模型,进行了土地利用结构过程分析,对未来的土地利用结构演变趋势作出了预测。预测结果表明:原锡山市在未来的城市化过程中,农地尤其是耕地资源的减少有加快的趋势,原锡山市将面临着大量农地尤其是耕地资源的急剧减少,农地资源的过快与过早非农化是未来原锡山市土地利用结构变化的最主要特征。农地的急剧减少势必将影响到城市生态环境的良性循环,影响社会的可持续发展。

为了实现原锡山市土地可持续利用,以保持和加强土地的生产或服务功能(生产性),减少生产风险程度(安全性),保护土地资源的潜力和防止土壤与水质的退化(保护性),具有经济活力(可行性),具有社会承受力(可承受性)^[8],本文提出如下建议。

4.1 适度保护农地资源尤其是耕地资源

对于农地资源及耕地资源数量的保护，应该根据区域产业结构尤其是农业产业结构合理确定。耕地总量动态平衡战略的实现也必须考虑到区域社会经济发展的特征。同时，通过进一步完善区域间建设用地指标交易市场制度，来推进不同区域间耕地保有指标和耕地用地占用指标之间的调剂，以从更大的区域范围内推进社会经济和土地利用整体效益的提高。

4.2 合理协调农业用地与非农用地的关系

首先，通过进一步规范城市规划和土地利用总体规划编制行为，合理确定农业用地和非农用地的用地布局和规模；二是建立农业用地和非农业用地之间比例关系变动的动态规划机制；三是进一步完善农业用地和非农业用地转换的价格约束机制，尤其是由于农业用地利用存在着很强的外部性，如实现粮食安全、体现生态功能等，因此，应该给予必要的价值补偿。

4.3 进一步完善土地利用决策体系

从宏观上看，要进一步加强土地利用规划、城镇发展规划、产业规划之间的协调性；从微观上来讲，要强化土地利用主体对于土地利用的权能，就农地而言，在符合土地利用规划要求的基础上，要增强农户的土地利用财产和决策权利，如合理促进

农业产业的调整、进一步规范农地流转等。

4.4 积极推进科技进步，提高土地利用效率

原锡山市经济基础厚实，具有科技创新的基础。因此，要据此进一步提高技术（非农业产业和农业产业）对于土地资源的替代效率，提高土地利用效率，减少区域产业发展的占地冲动。

参考文献

- 1 傅伯杰, 陈利顶, 马诚. 土地可持续利用评价的指标体系与方法. 自然资源学报, 1997, 12(2): 112~118
- 2 无锡县土地志编纂委员会. 无锡县土地志. 南京: 江苏人民出版社, 1997, 1~5
- 3 刘闯. 区域土地数量结构分析模型及其应用. 中国土地科学, 1989, 3(3): 31~38
- 4 秦明周. 土地利用及持续开发理论与实践. 西安: 西安地图出版社, 1998, 37~57
- 5 魏心镇. 国土规划的理论开拓——关于地域结构研究. 地理学报, 1989, 44(3): 262~271
- 6 邓聚龙. 灰色系统基本方法. 武昌: 华中理工大学出版社, 1987, 15~26
- 7 陈文瑞等. 长江三角洲土地资源可持续利用. 自然资源学报, 1998, 13(3): 261~266
- 8 陈百明. 土地资源学概论. 北京: 中国环境科学出版社, 1996, 261~267

CHANGE IN REGIONAL LAND USE STRUCTURE AND SUSTAINABLE LAND USE

—A CASE STUDY OF XISHAN CITY IN JIANGSU

Luo Yun Huang Xianjin Pu Lijie Zhou Qing

(Department of Urban and Resource Science, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract Based on analysis of mechanism of interactions between change in regional land use structures and sustainable land use, in a case study of Xishan City, trend of diversification and centralization of land use structure in the research region was analyzed and trend of changes in land use structure of Xishan City in year 2005 and 2010 and its effect on regional sustainable land use were predicted by rebuilding the Grey Systemic Dynamic Model. According to this research, the land use structure of Xishan City will show alienation of agricultural lands, degradation of agricultural land, hard-to-correct inefficiency of land use and increasing shortage of land resource reserves. Hereby, finally this paper brings forward some suggestions to advance the sustainable land use of the research region through protecting the agricultural land resource especially the resources of cultivated land, reasonably harmonizing the relationship between agricultural land and non-agricultural land, consummating the policy system for land use in the region and improving the rate of science and technology substituting land resource.

Key words Structural change of regional land use, Sustainable land use, Grey Systemic Dynamic Model