

刘璐,申双和,杨舒畅. 基于 MODIS 土地覆被数据的江苏省农地景观变化及其驱动因子分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(12):274-280.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.12.063

基于 MODIS 土地覆被数据的江苏省农地景观变化及其驱动因子分析

刘璐¹, 申双和^{1,2}, 杨舒畅¹

(1. 南京信息工程大学, 江苏南京 210044; 2. 气象灾害预警预报与评估协同创新中心, 江苏南京 210044)

摘要: 基于 2001—2013 年 MODIS 土地覆被数据, 对江苏地区农地景观动态变化进行有效分析, 探索江苏地区农地景观变化与城市化进程之间的内在联系, 并进一步识别江苏省农地景观的地域差异性, 讨论城市化水平与农地景观协调发展的概念, 得到结果如下: (1) 2001—2013 年间江苏省土地利用方式变化显著。湿地、农地及未开发用地呈下降趋势, 建设用地、草地及林地面积逐步增加, 近 13 年间农地景观面积下降趋势显著, 下降幅度达到了 4.55 百分点。(2) 2001—2013 年间江苏省农地景观面积呈显著波动性下降趋势, 农地景观形状趋于复杂, 空间破碎化及离散化程度上升。农地景观指数地域性差异显著, 苏南地区农地景观指数变化率明显强于苏中和苏北地区。(3) 2001—2013 年间江苏省城市化进程显著加快, 与同期农地景观指数变化呈显著相关, 随着城市化进程加快, 农地景观面积百分比及聚集度指数快速下降, 分离度及分形维数显著上升。(4) 近 13 年间江苏地区城市化进程与农地景观协调度呈波动性变化趋势, 基本上遵循好—差—好的变化特征。

关键词: MODIS; 土地覆被数据; 江苏省; 农地景观; 城市化

中图分类号: F323.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)12-0274-07

土地资源对人类至关重要, 是人类赖以生存和发展的物质基础, 也是农业生产的基本生产资料, 尤其农业用地维系着整个社会经济的可持续发展^[1-3]。反观我国土地现状, 我国陆地面积辽阔, 但人口基数众多, 农业用地占有比例较少。人多地少是我国的基本国情, 农业用地的缺少更是我国发展前景中的一个难题, 同时也反映出我国土地资源必须合理开发和利用。农业用地的保护关乎国家经济、社会可持续发展和国家粮食战略安全等众多方面, 同时也是土地资源保护中的重要环节之一。随着国民经济的快速发展, 人民生活水平的不断提高, 区域城市化的快速发展, 在此过程中, 随之而来的土地资源形势也变得严峻, 农业用地面积在不断缩减, 原本不多的农业土地资源中, 部分农业用地不可避免地大规模的城市建设用地所替代, 同时存在着以发展设施农业为名, 擅自将农业用地改为建设用地、扩大建设用地规模等问题, 这些问题也在逐渐蚕食着农业用地, 并呈加速变化的趋势, 而如何平衡二者之间的动态关系成为关注的热点^[4-5]。

景观格局是各类大小、形状各异的斑块相互作用的结果, 反映了自然资源的综合空间分布与配置, 同时也有效表征着各种景观的生态过程^[6-7]。随着社会经济的快速发展, 城市化迅速提高, 社会经济活动必然改变着区域下垫面格局, 包括土地利用方式及区域景观格局。当前, 快速的城市化已成为

农地景观显著变化的主要驱动力, 如何准确量化农地景观变化程度及其与城市化之间的关系成为评估人类活动对农业影响的重要依据^[7-8]。当前, 诸多学者对城市化过程中土地覆被时空变化做出了大量研究^[9-14], 但综合分析城市化过程对农业用地格局的影响仍然较少, 尤其是针对江苏省及地区农地景观动态变化的相关研究较为少见。

21 世纪以来, 江苏地区经济快速发展, 工业化和城市化进程不断加速, 农业产值比重逐年下降, 工业及服务业比重不断上升, 尤其是苏南地区城镇化水平居全国前列。在此背景下研究农业用地格局动态变化及其成因, 可以为江苏地区合理开发、保护农业资源, 合理优化城市发展模式, 促进区域可持续发展提供理论支撑。近几十年来随着卫星、遥感以及计算机技术的快速发展, 土地覆盖数据的获取手段由最初的土地调查、定位勘测、文献资料整理等升级到更精细和高效的遥感探测技术, 逐渐实现自动化、实时化。虽然可以通过多种手段获取大量数据, 但这些数据在时空分辨率、覆盖范围、监测对象等方面有很大的差异。众多基于遥感的土地利用/土地覆盖变化(LUCC)数据虽然经过严格的产品质量控制, 依然存在植被类型分类误差, 各种数据之间也存在明显的不一致性。中分辨率成像光谱仪(MODIS)有 36 个离散光谱波段, 光谱覆盖范围包括从 0.4 μm 可见光波段到 14.4 μm 热红外全光谱。MODIS 的多波段数据为反演陆地表面地物特征提供了有效信息。相对于陆地卫星(Landsat)数据, MODIS 土地利用/覆被数据, 连续且成像面积较大, 同时方便获取、波普分辨率相对较高, 对地表土地利用方式的变化更敏感, 适用于较大区域或尺度的土地利用方式及变化的监测分析^[15-16]。当前, 众多关于江苏地区土地利用/覆被变化的研究主要基于 Landsat 数据等较小尺度范围进行, 对整个江苏地区的大范围

收稿日期: 2018-04-07

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(编号: GYHY201506018)。

作者简介: 刘璐(1992—), 女, 江苏淮安人, 硕士, 研究方向为农业气象。E-mail: 1348483080@qq.com。

通信作者: 申双和, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为农业气象、生态环境气象。E-mail: yqzhr@nuist.edu.cn。

土地利用方式变化的针对性相关研究仍然较少。本研究基于 2001—2013 年 MODIS Q1 土地利用/覆被产品对近 13 年来江苏地区农业用地格局的时空变化特征进行深入分析,探讨农业用地格局变化的驱动成因,以期揭示农业用地格局与城市化之间的内在联系。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

江苏省地处大陆东部沿海地区中部,东临黄海,位于长江、淮河下游,西连安徽省,北接山东省,东南与沪、浙接壤,是长三角地区重要的组成部分,地理位置为 $30^{\circ}45' \sim 35^{\circ}20'N$ 、 $116^{\circ}18' \sim 121^{\circ}57'E$ (图 1)。内陆面积 10.72 万 km^2 ,占国土总面积的 1.12%。江苏地区以平原为主,约占江苏省总面积的 70% 以上,主要由苏北平原、江淮平原、黄淮平原、滨海平原以及长江三角洲平原组成,构成五大农业区,分别为沿江农业带、沿海农业带、淮北农业区、太湖农业区和江淮农业区。江苏省整体属于温带向亚热带的过渡性气候,雨热同季,四季气候分明,以淮河及苏北灌溉总渠一线为界,以北属暖温带湿润气候,以南属亚热带湿润季风气候。

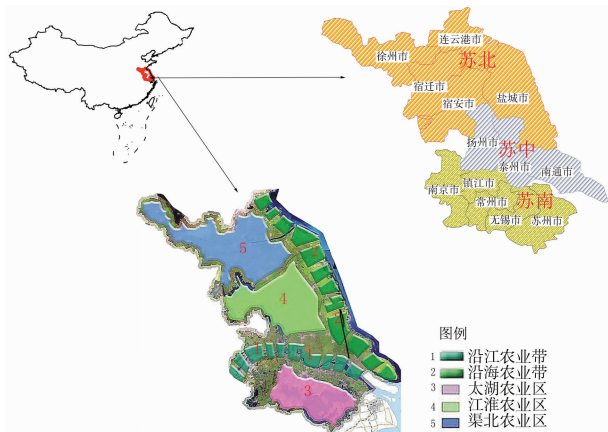


图1 江苏省及主要农业区示意

1.2 数据来源及预处理

MODIS 土地覆盖数据来源于美国国家航空航天局 (NASA) 地球观测系统 (EOS) 发射的环境遥感卫星 Terra (AM) 和 Aqua (PM) 的中分辨率成像光谱仪。本研究所用 MODIS 土地覆盖类型产品 (MCD12Q1) 采用了基于国际地圈生物圈 (IGBP) 17 类全球植被分类方案,其空间分辨率为 500 m ,时间为 2001—2013 年。基于 MRT 软件对该数据产品进行格式转换、轨道镶嵌和投影变换及合并等处理,再根据江苏地区行政边界在 Arcgis10.2 平台对研究时段内江苏省土地利用/覆被信息进行提取。其中人口、国内生产总值 (GDP) 等统计数据来自江苏及各地级市的 2001—2013 年统计年鉴。本研究涉及的江苏地区分别为苏南 (苏州市、无锡市、常州市、镇江市、南京市),苏中 (扬州市、南通市、泰州市) 和苏北 (盐城市、淮安市、宿迁市、连云港市、徐州市)。

城市化水平或城市化率是国家或地区社会经济发展程度的重要标志。传统的城市化水平测度的方法主要为单一指标法和综合指标法。单一指标法通常指利用单一且便于统计分析的指标来描述城市化发展水平,如用非农人口比重指标、城

镇人口比重指标或非农或者第二、第三产业及工业国内生产总值比重指标等。综合指标有助于消除单一指标法存在的一定偏差,有助于全面反映地区城市化的客观进程。因而,越来越多的学者倾向于用多项指标综合衡量城市化水平。本研究结合江苏省城市化水平的主要影响因子和数据的可得性,采用了以下 2 个常用指标的综合指标 (K) 来衡量江苏省及地区城市化水平,分别为非农人口占总人口的比例 (K_1) 和非农产业 GDP 占总 GDP 的比例 (K_2)。

基于 Fragstats 4.2 对江苏地区农地景观分别进行景观指数计算 (表 1),主要包括面积百分比 (Pland)、分形维数 (Pafac)、离散度 (Division) 以及聚集度 (AI)。面积百分比能够有效反映各地区农地景观所占面积的动态变化,而分形维数能够反映农地景观形状复杂程度变化特征,分离度及聚集度指数反映了区域农地景观的破碎化程度。农地景观指数有效反映了农地景观的空间变化特征,本研究通过主成分分析分别计算各指数对农地景观综合贡献率,并在此基础上通过综合农地景观指数对比分析城市化进程对江苏地区农地景观变化的影响。

表 1 景观格局分析指标

指数名称	指数含义
面积百分比 (%)	反映不同斑块类型所占总面积的比重
分形维数	反映了不同斑块类型之间形状变化程度
分离度 (%)	反映了不同斑块类型之间的分离程度
聚集度 (%)	反映不同斑块类型的连通性或聚集程度

2 结果与分析

2.1 2001—2013 年江苏省土地利用/覆被变化特征分析

2001—2013 年基于 MODIS 土地覆被产品的江苏地区土地利用时空变化特征见图 2、表 2。利用散点图添加趋势线进行分析,2001—2013 年间江苏省湿地、农地及未开发用地呈下降趋势,变化率分别为 $-0.031/\text{年}$ 、 $-0.298/\text{年}$ 、 $-0.034/\text{年}$,建设用地、林地及草地面积有所增加,变化率分别达到 $0.028/\text{年}$ 、 $0.287/\text{年}$ 和 $0.048/\text{年}$ 。农地景观变化是整个区域景观变化的核心,近 13 年间农地景观面积从 2001 年的 80.25% 下降到 2013 年的 75.73%。空间上,各类景观类型整体变化强度呈由南向北降低,苏南地区各主要景观类型转化明显强于苏中和苏北地区,包括太湖及长江沿线农地及湿地景观明显转移,苏中地区集中于扬州和泰州北部地区。苏北洪泽湖地区及连云港沿海地区景观类型变化明显,湿地及农地景观面积同样呈下降趋势。总体上,近 13 年间农地及湿地景观转移明显,尤其是农地景观,可能与江苏地区快速的城市化相关。随着经济的快速发展,城市化进程不断加速,农业在国民经济中所占比例不断下降,农民种粮的积极性不断降低,尤其是苏南地区,占用大量耕地为代价的城市化以及弃耕现象日益严峻。

2.2 2001—2013 年江苏地区农地景观格局动态变化特征

2001—2013 年江苏地区农地景观指数变化趋势,如图 3、图 4 所示。2001—2013 年间江苏农地景观面积呈显著波动性下降趋势,从 80.25% 下降到 75.73%,而分形维数从 1.485 上升到 1.540,农地景观整体形状趋于复杂。农地景观分离度指数从 0.560% 上升到 0.610%,增速显著,聚集度则呈下

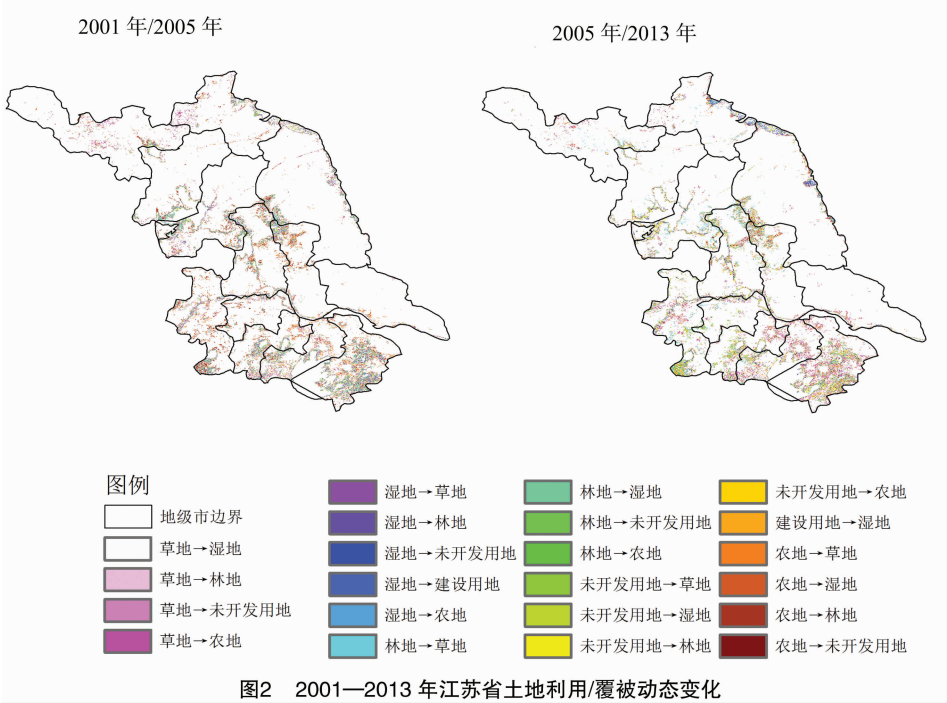


图2 2001—2013 年江苏省土地利用/覆被动态变化

表 2 2001—2013 年江苏省主要土地利用/覆被面积变化转移矩阵 %

年份	湿地	草地	林地	农地	建设用地	未开发用地
2001	7.96	2.05	5.05	80.25	3.32	1.37
2002	6.72	2.37	6.44	79.87	3.33	1.27
2003	8.36	1.86	6.05	79.58	3.32	0.83
2004	7.74	1.65	5.39	80.40	3.34	1.48
2005	8.10	2.58	5.94	79.02	3.36	1.00
2006	7.75	2.78	5.10	79.50	3.31	1.56
2007	9.01	2.27	4.63	79.50	3.42	1.17
2008	8.42	1.99	7.26	77.25	3.48	1.60
2009	8.09	2.10	6.57	78.13	3.52	1.59
2010	7.01	2.43	7.47	78.16	3.67	1.26
2011	7.29	2.52	7.43	77.95	3.75	1.06
2012	7.72	2.55	7.69	77.89	3.43	0.72
2013	7.17	2.83	10.17	75.73	3.55	0.55

降趋势,从 94.14% 下降到 91.03%,总体上反映了江苏省农地景观在空间分布上趋于分散和破碎化。

2001—2013 年江苏省各地区景观指数地域差异性显著。各地区面积百分比均呈下降趋势,斜率分别为 $-0.45/\text{年}$ 、 $-0.25/\text{年}$ 和 $-0.16/\text{年}$ 。分形维数整体呈增加趋势,苏南农地景观形状趋于复杂且变化明显大于苏中和苏北地区,苏南、苏中、苏北地区变化率分别达到 $0.37 \times 10^{-2}/\text{年}$ 、 $0.24 \times 10^{-2}/\text{年}$ 及 $0.17 \times 10^{-2}/\text{年}$ 。苏南地区农地景观分离度同样高于苏中和苏北地区,斜率分别为 $0.72 \times 10^{-2}/\text{年}$ 、 $0.44 \times 10^{-2}/\text{年}$ 和 $0.28 \times 10^{-2}/\text{年}$,而苏北地区农地景观聚集度则明显高于苏中和苏南地区,而斜率变化则明显低于苏中和苏南地区,苏南、苏中、苏北分别为 $0.24/\text{年}$ 、 $0.13/\text{年}$ 和 $0.11/\text{年}$ 。总体上,江苏地区景观指数有效反映了农地景观格局的动态变化特征,农地景观面积下降,形状趋于破碎化和离散化。苏南地区变化程度明显高于苏中和苏北地区,可能与江苏省城市化地域

性差异有关,苏南地区经济发达,明显领先于苏中和苏北地区,大量的弃耕现象及经济开发活动可能是导致农地景观面积下降以及趋于破碎化和离散化的主要原因。

2.3 江苏地区农地景观与城市化水平动态变化分析

2001—2013 年江苏地区城市化水平状况见表 3。城市化水平是衡量国家或地区经济成熟程度的重要指标,能够有效反映其社会经济发展水平的高低。本研究结合江苏地区城市化水平的关键因子以及数据获取的可得性,选用以下 2 个主要指标的综合指标(K)来衡量江苏地区城市化水平,分别为非农人口占总人口的比例(K1)和非农产业 GDP 占总 GDP 的比例(K2),选用特尔斐法分别赋予 K1 以 0.8 的权重和 K2 以 0.2 的权重,进行综合加权平均计算得到综合指标 $K = K1 \times 0.8 + K2 \times 0.2$ 用以评估江苏地区城市化发展^[11]。2001—2013 年间江苏全省城市化水平明显提高,城市化水平从 51.72% 上升到 70.21%,变化率为 1.553/年。苏南城市化水平明显优于苏中和苏北地区,但苏北、苏中城市化上升率呈快速提高趋势,苏南、苏中、苏北地区的斜率变化分别为 0.019/年、0.022/年及 0.025/年,这反映了苏中、苏北地区的城市化进程不断加速。江苏地区城市化水平的提高反映了近 13 年来该地区非农人口以及非农产业在社会经济发展中发挥着越来越重要的作用。

2001—2013 年江苏地区农地景观指数状况见表 4、图 5。通过拟合江苏省整体景观指数与城市化分布,可以直观地描述城市化水平对农地景观的影响。江苏省整体城市化与农地景观面积百分比及聚集度呈显著负相关,与分离度及分形维数呈显著正相关,相关系数分别为 -0.845 、 -0.659 、 0.665 及 0.775 ,都通过了 0.01 水平上的显著性检验。2001—2013 年江苏省城市化的快速提高引起了农地景观面积的快速下降,农地景观形状复杂度增加,空间分布趋于离散和破碎化。如表 4 所示,江苏各地城镇化与景观指数之间存在显著的差

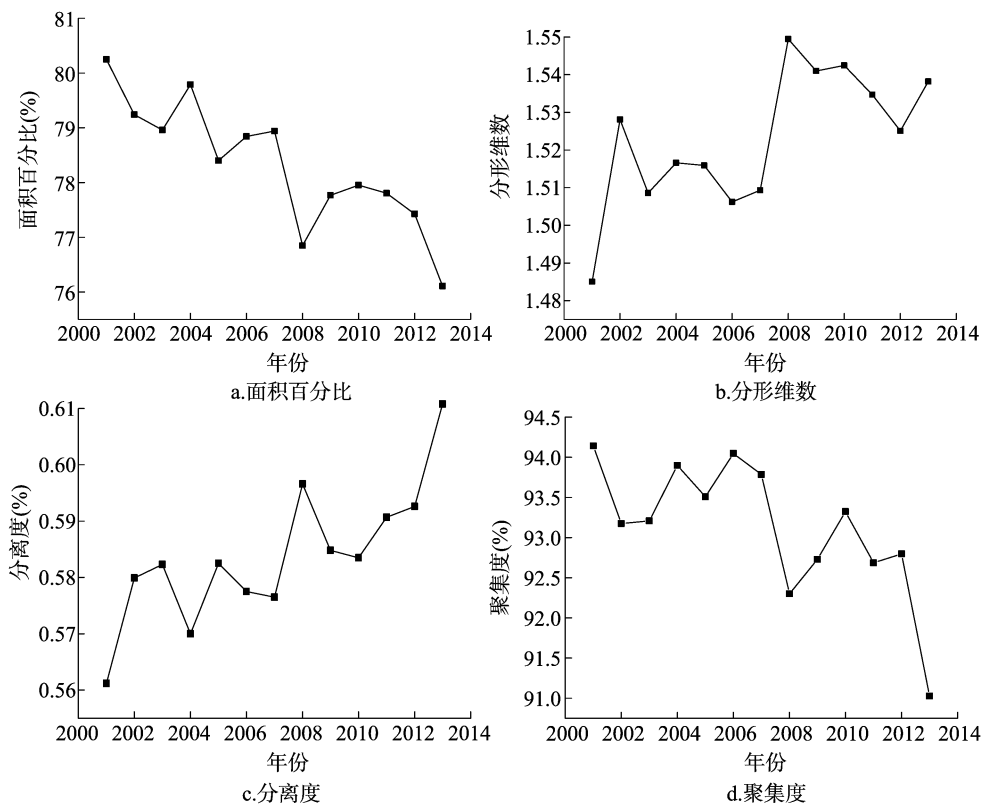


图3 江苏省农地景观指数变化

异性,江苏省整体及苏南地区与各景观指数显著或极显著相关,而苏中与苏北地区相关程度未通过 0.05 的显著性检验,这也有效反映了城市化水平高低是区域农地景观动态变化的重要驱动因子。

如表 5、表 6 所示,基于 Matlab 平台,对农地景观指数进行主成分分析,根据各指数的贡献率采用线性加权求和法计算农业景观综合指数,用以表征江苏省农地景观的整体动态变化特征,整体上苏北地区农地景观综合指数分别高于苏中和苏南地区。2001—2013 年间,江苏省整体农地综合景观指数从 71.98 显著下降为 67.85,变化率为 0.245/年。苏南地区农地景观综合指数明显低于苏中和苏北地区,下降率则明显高于苏中和苏北地区,分别为 0.434/年、0.229/年、0.156/年,农地综合景观指数的地域性差异也进一步反映了农地景观格局的变化与区域城市化水平紧密相关。

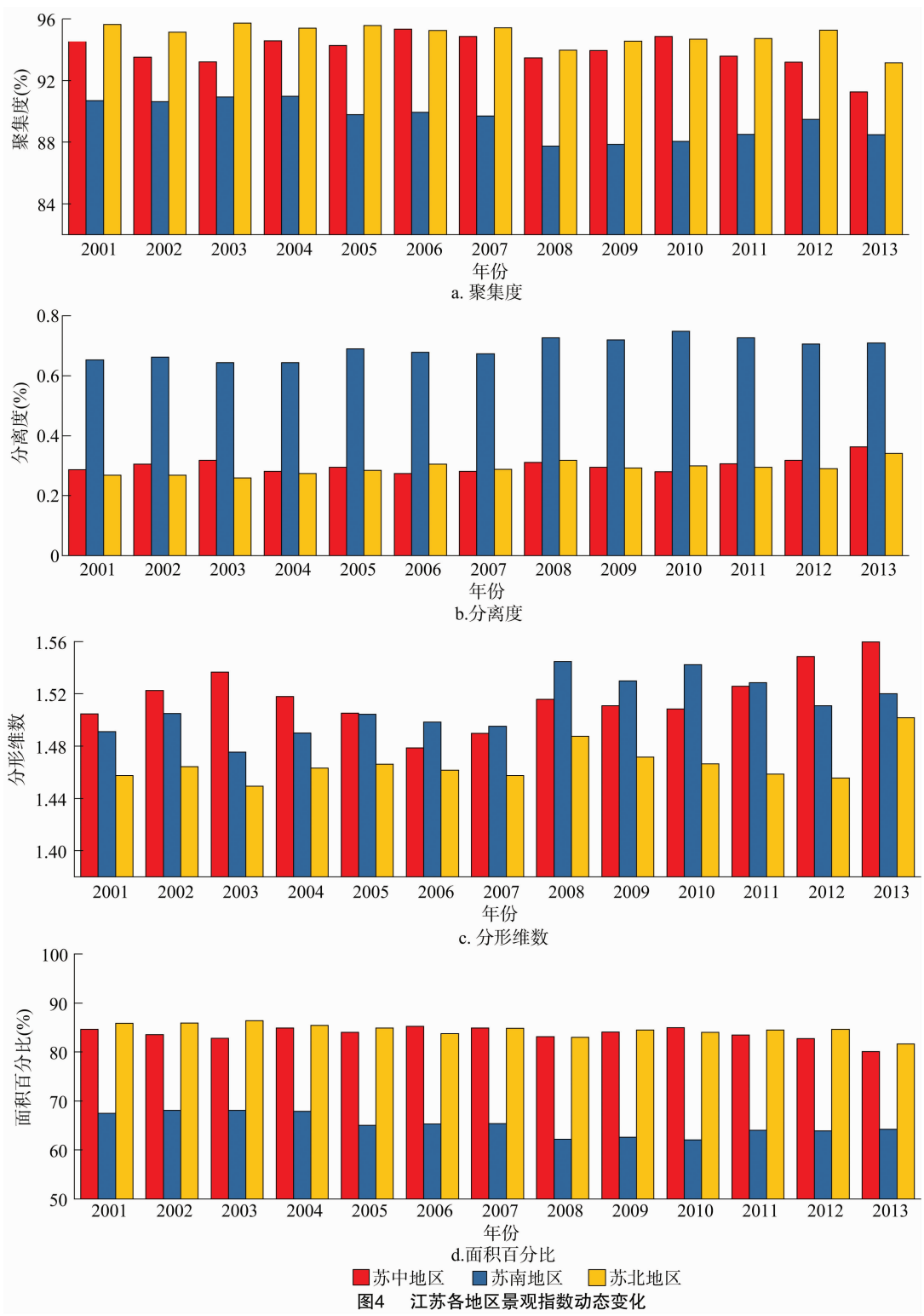
2.4 江苏地区城市化水平与农地景观协调性分析

协调度是定量评估系统间或系统组成要素间的良性相互关系的定量指标^[17]。协调度为一个时间概念,描述为某一状态的值。农地景观与城市化水平的协调度是衡量不同城市化水平阶段,农地景观与城市化水平之间相互的关系,能够有效反映农地景观与城市化水平协调度,或者用以定量评估特定时期的城市化水平发展或耦合程度。基于经济与环境协调度的相关原理,设定城市化与农地景观的协调度模型^[18-19]为 $C_{xy} = (X + Y) / \sqrt{X^2 + Y^2}$, 式中 X 表示城市化水平的提高速度; Y 表示农地景观综合指数的变化速率, C_{xy} 为城市化与农地景观的协调度,取值范围位于 $[-1.414, 1.414]$ 之间,具体评价体系、结果见表 7、表 8。总体上,近 13 年来江苏地区城市化进程与农地景观呈波动性变化趋势,基本上遵循好—

差—好的变化特征。对于全省整体来说,2001—2005 年以基本调和状态为主,城市化与农地景观协调度变化不大,反映了该期间城市扩张相对稳定。2005—2013 年期间,城市化进程加快,与农地景观协调度之间波动起伏加大,但 2008 与 2013 年出现了不协调状况,可能与江苏省积极推进全省城市化进程有关,部分地区在快速城市化的同时出现了盲目扩张,导致大量农地资源被侵占,城市化与农地景观协调度急剧下降,但随之是协调度的快速回升,2006 和 2009 年达到了较理想的协调状态,可能与当地政府面对日益严峻的农地资源保护形势有关,当出现不合理的城市盲目扩张时,采取有力措施保护农业用地,维护城市与农业发展平衡。2005—2013 年,苏中、苏北地区不协调分别出现了 2 次和 3 次,一定程度上反映了该地区城市化进程加速,与农地景观协调关系较为紧张。

3 讨论与结论

基于 2001—2013 年 MODIS 土地覆被数据,有效分析了江苏地区农地景观动态变化特征,揭示了江苏农地景观变化与城市化进程之间的内在联系,并进一步分析了江苏地区农地景观的地域差异性,讨论了城市化水平与农地景观协调发展的概念,得到以下结果:(1)2001—2013 年间江苏地区土地利用方式变化显著。湿地、农地及未开发用地呈下降趋势,变化率分别达到 $-0.031/\text{年}$ 、 $-0.298/\text{年}$ 及 $-0.034/\text{年}$,建设用、草地及林地面积有所增加,变化率分别达到 $0.028/\text{年}$ 、 $0.287/\text{年}$ 和 $0.048/\text{年}$ 。近 13 年间农地景观面积下降趋势显著,下降幅度达到 4.55%。(2)2001—2013 年间江苏地区农地景观面积呈显著波动性下降趋势,农地景观形状趋于复杂,破碎化及离散化程度上升。面积百分比从 80.25% 下降到



75.73%,而分形维数从1.485上升到1.540,分离度指数从0.56%上升到0.61%,聚集度则从94.14%下降到91.03%。农地景观指数地域性差异显著,苏南地区农地景观指数变化率明显强于苏中和苏北地区。(3)2001—2013年间江苏省城市化进程显著加快,与同期农地景观指数变化呈显著相关关系,与农地景观面积百分比及聚集度呈显著负相关关系,与分离度及分形维数呈显著正相关关系,相关系数分别为

-0.845、-0.659、0.665及0.775,都通过了0.01的显著性检验。(4)近13年间江苏地区城市化进程与农地景观协调度呈波动性变化趋势,基本上遵循好-差-好变化特征。江苏地区经济发达,城市化程度较高,在推进城市化进程的同时,必须合理配置土地资源,协调城市化进程与农业用地之间的平衡关系。有关责任部门必须做好土地利用规划,通过分析当前农地景观现状结和城市发展前景,科学预测未来

表 3 江苏地区农地景观与城市化水平状况

%

年份	江苏省			苏南地区			苏中地区			苏北地区		
	K1	K2	K	K1	K2	K	K1	K2	K	K1	K2	K
2001	42.60	88.20	51.72	47.14	94.41	56.59	29.36	84.87	40.46	26.84	72.85	36.04
2002	44.70	89.10	53.58	48.61	94.92	57.87	30.09	85.74	41.22	28.00	74.24	37.25
2003	46.77	91.14	55.64	50.53	96.01	59.63	39.61	87.63	49.22	32.06	76.99	41.05
2004	48.18	92.46	57.04	58.43	96.58	66.06	41.37	88.67	50.83	33.85	78.18	42.71
2005	50.50	92.46	58.89	56.69	96.80	64.71	43.08	85.15	51.50	35.61	81.59	44.80
2006	51.90	92.53	60.03	67.05	97.14	73.07	47.30	90.79	56.00	40.37	81.12	48.52
2007	53.20	93.33	61.23	67.47	97.41	73.46	48.76	91.84	57.37	41.69	82.69	49.89
2008	54.30	94.34	62.31	67.67	97.55	73.65	50.21	92.26	58.62	43.12	84.02	51.30
2009	55.60	93.92	63.26	67.92	97.02	73.74	52.27	91.97	60.21	44.81	84.27	52.70
2010	60.58	94.30	67.33	70.30	97.27	75.69	56.02	92.56	63.33	70.46	85.47	73.46
2011	61.90	94.52	68.42	71.91	97.28	76.99	57.46	92.91	64.55	53.29	86.39	59.91
2012	63.01	94.58	69.32	72.75	97.28	77.65	58.49	92.97	65.39	54.70	86.71	61.10
2013	64.11	94.61	70.21	73.53	97.28	78.28	59.68	93.13	66.37	56.11	87.05	62.30

注:K1 为非农人口占总人口比例;K2 为非农 GDP 占总 GDP 的比例;K 为城市化水平。

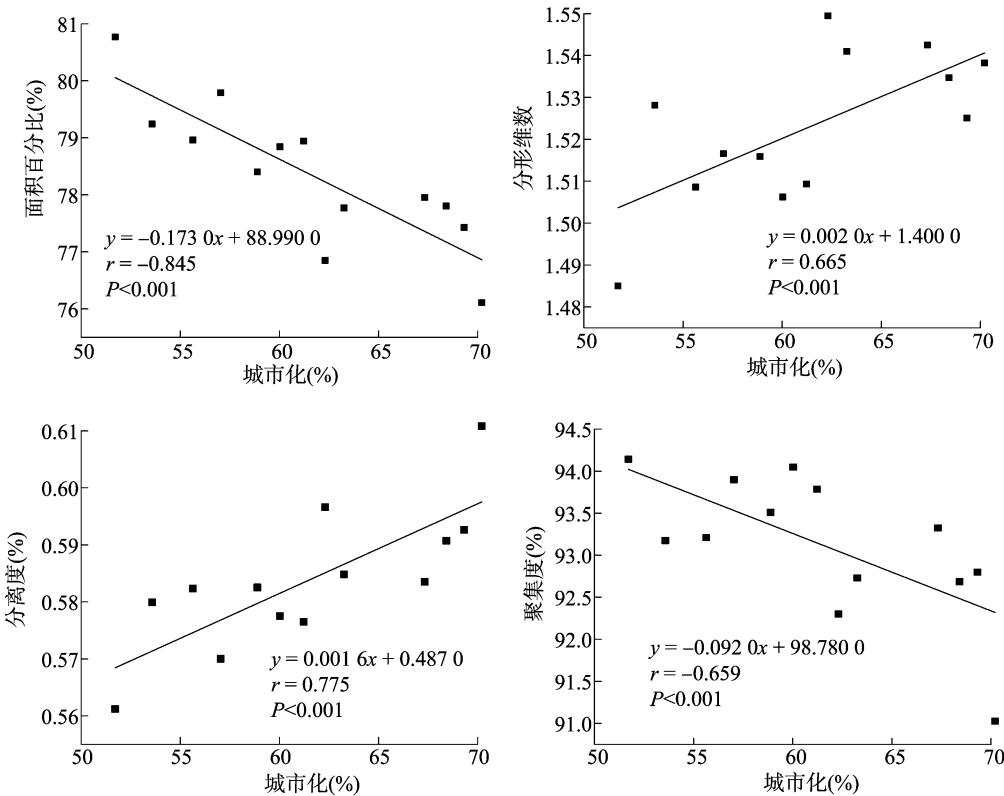


图5 江苏地区城市化与农地景观指数的拟合分布

表 4 江苏地区农地景观指数与城市化相关性分析

地区	相关系数			
	面积百分比	分形维数	分离度	聚集度
江苏省	-0.845 **	0.665 **	0.775 **	-0.659 **
苏南地区	-0.815 **	0.650 *	0.774 **	-0.773 **
苏中地区	-0.458	0.124	0.474	-0.456
苏北地区	-0.336	0.373	0.340	-0.308

注: *、** 分别表示样本在 0.05、0.01 水平上差异显著。

表 5 江苏地区景观指数对农业景观变化贡献率

地区	贡献率			
	PC1	PC2	PC3	PC4
江苏省	0.886	0.083	0.028	0.003
苏南地区	0.954	0.028	0.013	0.006
苏中地区	0.912	0.062	0.019	0.007
苏北地区	0.951	0.043	0.002	0.004

参考文献:

[1] 龙花楼. 论土地利用转型与土地资源管理[J]. 地理研究, 2015, 34(9): 1607 - 1618.

土地需求,避免盲目占用大量农业用地,积极平衡土地供需形势,进而达到城市发展与农地景观的和谐动态平衡。

表 6 江苏地区农地景观综合指数

地区	农地景观综合指数												
	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年
江苏省	71.98	70.63	70.38	71.12	69.89	70.28	70.36	68.51	69.33	69.49	69.36	69.02	67.85
苏南地区	64.96	65.57	65.57	65.37	62.62	62.88	62.93	59.89	60.28	59.76	61.68	61.55	61.83
苏中地区	79.07	79.10	79.55	78.70	78.18	77.11	78.10	76.47	77.78	77.40	77.78	77.91	75.18
苏北地区	80.86	79.83	79.12	81.16	80.33	81.49	81.12	79.48	80.38	81.24	79.79	79.11	76.54

表 7 农地景观与城市化协调度分类

C_{xy}	x,y	协调度分类	协调度特征描述
$C_{xy} = 1.414$	$x = y$ 且 $x > 0, y > 0$	协调	城市化和农地景观变化均衡,理想状态
$1.2 \leq C_{xy} < 1.414$	$x \approx y$	较协调	城市化和农地景观变化接近均衡,较理想
$1.0 \leq C_{xy} < 1.2$	$x > 0, y < 0$ 且 $x > y$	基本协调	城市化发展速度高于农地景观的改善,较理想
$0.8 \leq C_{xy} < 1.0$	$x > 0, y < 0$	调和	农地景观承载力保持在阈值内,短期内可接受
$0.5 \leq C_{xy} < 0.8$	$x > 0, y < 0$	基本调和	农地景观基本保持在承载力阈值内
$0 \leq C_{xy} < 0.5$	$x > 0, y < 0$	勉强调和	农地景观勉强保持在承载力阈值内
$-1.414 \leq C_{xy} < 0$	$x > 0, y < 0$ 或 $x < 0, y < 0$	不协调	农地景观体呈衰减趋势

表 8 江苏地区农地景观与城市化水平协调度

年份	江苏省		苏南地区		苏中地区		苏北地区	
	协调度	协调类型	协调度	协调类型	协调度	协调类型	协调度	协调类型
2001	0.986	调和	1.021	基本协调	1.283	较协调	0.988	调和
2002	0.222	勉强调和	1.334	较协调	1.027	基本协调	0.114	勉强调和
2003	0.873	调和	0.998	调和	1.055	基本协调	0.799	基本调和
2004	1.352	较协调	0.969	调和	0.417	勉强调和	1.407	较协调
2005	0.281	勉强调和	-1.338	不协调	0.181	勉强调和	0.558	基本调和
2006	1.271	较协调	1.031	基本协调	0.741	基本调和	1.254	较协调
2007	1.070	基本协调	1.138	基本协调	1.396	较协调	0.703	基本调和
2008	-0.359	不协调	-0.935	不协调	-0.189	不协调	-0.107	不协调
2009	1.410	较协调	1.201	基本协调	1.408	较协调	1.381	较协调
2010	1.040	基本协调	0.705	基本调和	0.870	基本调和	1.040	基本协调
2011	0.872	调和	1.388	较协调	1.254	较协调	-1.101	不协调
2012	0.587	基本调和	0.784	基本调和	1.143	基本协调	0.368	勉强调和
2013	-0.191	不协调	1.319	较协调	-0.603	不协调	-0.483	不协调

[2]刘永强,廖柳文,龙花楼,等. 土地利用转型的生态系统服务价值效应分析——以湖南省为例[J]. 地理研究,2015,34(4):691-700.

[3]刘彦随. 土地综合研究与土地资源工程[J]. 资源科学,2015,37(1):1-8.

[4]陈 龙,周生路,周兵兵,等. 基于主导功能的江苏省土地利用转型特征与驱动力[J]. 经济地理,2015,35(2):155-162.

[5]王 群. 城市化进程中土地资源持续利用问题[J]. 中国土地科学,2003,17(2):47-51.

[6]傅伯杰,吕一河,陈利顶,等. 国际景观生态学研究新进展[J]. 生态学报,2008,28(2):798-804.

[7]吕一河,陈利顶,傅伯杰. 景观格局与生态过程的耦合途径分析[J]. 地理科学进展,2007,26(3):1-10.

[8]王玉洁,李俊祥,吴健平,等. 上海浦东新区城市化过程景观格局变化分析[J]. 应用生态学报,2006,17(1):36-40.

[9]董明辉,魏 晓,邹 滨. 城市化过程对土地覆被空间格局的影响研究——以湖南省长沙市为例[J]. 经济地理,2009,29(12):2001-2005.

[10]李莹莹,黄成林,张 玉. 快速城市化背景下上海绿色空间景观格局梯度及其多样性时空动态特征分析[J]. 生态环境学报,2016,25(7):1115-1124.

[11]赵玉碧,汤茂林. 改革开放以来江苏城市化水平区域差异变动及其影响因素[J]. 人文地理,2013,28(3):101-106.

[12]吴 群,郭贯成. 城市化水平与耕地面积变化的相关研究——以江苏省为例[J]. 南京农业大学学报,2002,25(3):95-99.

[13]吕艳梅,李明秋. 城市化与耕地保护关系初探——以新乡市为例[J]. 太原科技,2008(3):37-38.

[14]王 云,周忠学. 城市化对都市农业景观的影响——以西安市长安区为例[J]. 中国生态农业学报,2014,22(5):610-617.

[15]He Y, Bo Y. A consistency analysis of MODIS MCD12Q1 and MERIS Globcover land cover datasets over China [C]//19th international conference on Geoinformatics, IEEE, 2011:1-6.

[16]贾明明,刘殿伟,宋开山,等. 基于 MODIS 时序数据的澳大利亚土地利用/覆被分类与验证[J]. 遥感技术与应用,2010,25(3):379-386.

[17]隋映辉. 协调发展论[M]. 青岛:青岛海洋大学出版社,1990:25-29.

[18]任淑花,卢新卫. 耕地资源与城市化发展的计量和协调性分析[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(1):171-174,180.

[19]陈海军,邓良基,李何超,等. 城市化进程与耕地变化协同性研究——以成都市为例[J]. 中国农学通报,2010,26(1):312-316.