

# 基于脱钩理论的城市化水平与耕地安全水平的 近程耦合关系研究

陆文勋<sup>1</sup>, 李 峥<sup>1</sup>, 孙鹏举<sup>1</sup>, 蔡志毅<sup>1</sup>, 李杨帆<sup>1①</sup>, 郭青海<sup>2</sup> (1. 厦门大学环境与生态学院, 福建 厦门 361102; 2. 中国科学院城市环境研究所, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 当前我国快速城市化推进对半城市化、农村等近程区域分布的耕地产生直接、强烈的影响,也对耕地安全造成强大的胁迫效应。为此,构建城市化-耕地安全综合评价指标体系,分别计算城市化指数和耕地安全胁迫指数,并基于脱钩理论方法对城市化水平与耕地安全水平的近程耦合关系进行量化分析。以江苏省连云港市为例,定量分析 2000—2014 年间其城市化水平与耕地安全的脱钩-耦合关系及耕地安全对城市化进程的响应程度。结果表明,2000—2014 年间,连云港市城市化指数持续增高,耕地安全胁迫指数波动降低;2000—2007 年为强脱钩、弱脱钩、扩张负脱钩及扩张脱钩的波动状态;2008—2014 年呈更加强烈的波动状态,包括 2008—2012 年的强脱钩和 2013 年的扩张负脱钩状态,这反映出区域发展规划、土地利用规划和城市总体规划的实施对这一典型近程耦合系统产生了较大影响。研究期内连云港市城市化水平大幅提高,耕地安全所受胁迫程度不断降低,两者虽总体呈强脱钩关系,但仍需注意近程耦合结果波动性较大所揭示的不确定性问题,需要谨慎权衡城市化相关政策对耕地安全的影响。与过去的宏观、单一指标模型相比,基于近程耦合关系提出的多指标脱钩-耦合模型更具综合性,能更加全面、精细化分析快速城市化进程与耕地安全保护之间的复杂关系,为半城市化地区景观安全格局评估提供支撑,为城市化与耕地保护之间的协调发展提供决策支持。

**关键词:** 近程耦合; 城市化; 耕地安全; 脱钩; 连云港

中图分类号: F293.2; X22 文献标志码: A 文章编号: 1673-4831(2017)11-0968-07

DOI: 10.11934/j.issn.1673-4831.2017.11.002

**Neighboring/ Adjacent Coupling Relationship Between Urbanization and Farmland Safety Based on the Decoupling Theory.** LU Wen-xun<sup>1</sup>, LI Zheng<sup>1</sup>, SUN Peng-ju<sup>1</sup>, CAI Zhi-yi<sup>1</sup>, LI Yang-fan<sup>1</sup>, GUO Qing-hai<sup>2</sup> (1. College of Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen 361102, China; 2. Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** The current rapid development of urbanization in China has directly and seriously affected farmlands distribution in its para-urbanized neighboring/adjacent regions, and also posed severe stresses on safety of these land. It is, therefore, essential to build up a comprehensive urbanization and farmland safety assessment indicator system, work out quantitatively urbanization index and farmland safety stress index, and analyze quantitatively neighboring coupling relations between urbanization and arable land safety based on the decoupling theory and method. A case study was conducted of Lianyungang City of Jiangsu Province to explore quantitatively coupling-decoupling relationship between urbanization and farmland safety and response of farmland safety to the progress of urbanization during the period from 2000 to 2014. Results show that during the study period, urbanization index of Lianyungang City increased steadily, while farmland safety stress index fluctuated with a declining trend. Their relationship displayed a wavy trend from 2000 to 2007, i.e. strong decoupling-weak decoupling-expanding negative decoupling-expanding connection and a strong fluctuation curve from 2008 to 2014, including strong decoupling during 2008-2012 and expanding negative decoupling in 2013, which reflects strong impacts of the implementation of the regional development, land use and city overall programs on this typical neighboring/adjacent coupling system. During the study period, Lianyungang City made a huge and steady progress in urbanization, while reducing fluctuation of its stress on farmland safety. Though the two posed a strong decoupling relationship, the problem of uncertainty reflected in the huge fluctuation of the result of the neighboring/adjacent decoupling calls for high atten-

收稿日期: 2017-02-06

基金项目: 国家自然科学基金(41271008); 厦门大学大学生创新创业训练计划; 中国科学院大学生创新实践训练计划

① 通信作者 E-mail: yangf@xmu.edu.cn

tion, and the influence urbanization had on farmland safety needs to be weighed prudently. Compared to the macroscopic single indicator models used in the past, the multi-index decoupling-coupling model built for the neighboring coupling relationship is more comprehensive and capable of analyzing the complex relationship between rapid urbanization and protection of farmland safety in a more holistic and finer way. Furthermore, it may provide theoretical support to landscape safety assessment of para-urbanized regions and to decision-making on harmonized development of both urbanization and protection of farmland.

**Key words:** neighboring/ adjacent coupling; urbanization; arable land safety; decoupling; Lianyungang City

我国城市化的快速推进将对城镇地区近程的资源环境包括耕地安全造成现实或潜在的深刻影响。城市化过程中伴随的耕地数量、质量下降,荒地增加以及农药、化肥的过度使用等问题,严重威胁着我国的耕地、粮食安全以及可持续发展<sup>[1-6]</sup>。以耕地安全为基础的粮食安全则是关系我国国民经济发展的全局性重大战略问题,对城市化水平和耕地安全水平这一近程耦合关系开展评价和量化研究,有助于为我国城市化的合理推进及国家粮食安全的有力保障,实现城市化和耕地安全的协调可持续发展提供相关决策支持。在可持续性研究领域,LIU 等<sup>[7-8]</sup>强调了人类与自然耦合系统的不同部分之间的一体化与整体观,并总结了这一思路在行星边界(planetary)、人-自然关系(human-nature nexus)及远程耦合(telecoupling)中的应用。对比 LIU 等提出的远程耦合概念,即远距离的人类系统和自然系统响应,城市化及其周边耕地安全之间则为较近距离、较小尺度的近程耦合关系,人口城市化、土地城市化、产业城市化都会直接或间接地对城市区域周边的耕地产生影响,从而导致其数量、质量以及生态安全方面出现变化(图 1)。TOBLER<sup>[9]</sup>曾提出任何事物都与其他事物相联系,且邻近的事物比较远事物联系更为紧密。此外空间自相关在空间统计学及在生态学、环境科学上的广泛应用也能反映出某些变量在同一个分布区内的观测数据之间潜在的相互依赖性<sup>[10]</sup>。这些都为城市化与耕地安全之间存在着复杂交互的近程耦合关系提供了理论支撑。

城市化和耕地安全作为重要的近程耦合系统,近年来已成为研究热点,DENG 等<sup>[11]</sup>定性分析了城市化对耕地的影响,张文斌等<sup>[12]</sup>、张勇等<sup>[13]</sup>和 SONG<sup>[14]</sup>进一步定量分析了经济发展与耕地面积占用之间的脱钩关系;SONG 等<sup>[15]</sup>还从耕地质量的角度分析了城市扩张与耕地安全之间的关系;BOM-MARCO 等<sup>[16]</sup>认为人口对粮食持续增长的需求给耕地带来了压力;花利忠等<sup>[17]</sup>研究发现耕地景观被蚕食演变为建设用地是反映城市化进程及半城市化地区空间扩展情况的重要指标。这些研究或定性

评价城市化对耕地的影响,或定量分析耕地安全的单一方面(面积、质量)与城市化的单一方面(人口、空间、经济发展)之间的关系,在准确、全面指示城市化水平与耕地安全之间的定量关系上仍有完善空间。

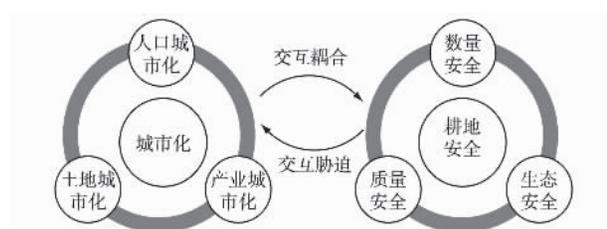


图 1 耕地安全与城市化脱钩-耦合模型

Fig. 1 The decoupling-coupling model for farmland safety and urbanization

从城市化与耕地安全之间的近程耦合关系出发,选取能够全面且精细化反映城市化水平及耕地安全水平变化的主要指标,以江苏省连云港市为研究区域,结合人口、产业、空间的城市化与耕地的质量、数量、生态安全构建城市化水平与耕地安全综合评价体系,分别计算城市化指数及耕地安全胁迫指数,并对城市化与耕地安全之间的耦合、脱钩关系进行定量分析,以期对协调城市化进程与耕地安全保护工作之间的关系提供建议与参考。

## 1 研究区域概况及数据

研究区为江苏省连云港市的市域范围,位于江苏省沿海工业区与陇海线东部带状区域的“T”形交界处,是江苏北部经济发展和江苏“两个率先”战略的支柱区域<sup>[18-19]</sup>。2014 年连云港市地区生产总值为 1 965.89 亿元,户籍总人口 526.51 万,其中市区人口 219.07 万;城市化率由 2000 年的 28.02% 上升至 2014 年的 57.13%;城市建成区面积由 2000 年的 51.4 km<sup>2</sup> 上升到 2014 年的 275.0 km<sup>2</sup>;全市人均耕地面积由 2000 年的 0.828 hm<sup>2</sup> 下降到 0.767 hm<sup>2</sup>,低于全国平均水平 1.02 hm<sup>2</sup>。研究涉及数据主要来源于 2000—2014 年《连云港市统计年鉴》以及

2000—2014年《连云港市国民经济和社会发展统计公报》等。

## 2 研究方法

### 2.1 城市化与耕地安全综合评价指标体系构建

#### 2.1.1 指标体系构建

综合指数法能综合表达城市化与耕地安全交互胁迫中的定性与定量因素,表现形式简洁清晰<sup>[20]</sup>。开展城市化水平评价时,应从人口、经济和社会等诸多方面选取若干既相互联系又相对独立的指标,构建综合评价指标体系。在设置评价指标体系时,结合案例区实际情况,按照科学性、系统整体性原则以及数据的可获取性,选取城市建设用地面积、城镇人口占总人口比例、第二与第三产业GDP占总GDP比例为指标,并采用熵权法计算各指标权重,最后形成基于人口城市化、土地城市化、产业城市化的城市化水平综合评价指标体系(表1)。

表1 城市化水平综合评价指标体系

Table 1 The comprehensive urbanization level evaluation index system

目标层	指标层	单位	权重	指标效应
城市化指数	城市建设用地面积	km <sup>2</sup>	0.519	正
	城镇人口占总人口比例	%	0.253	正
	二、三产业GDP占总GDP比例	%	0.228	正

耕地安全与否涉及数量、质量和生态3个方面,即耕地资源的数量、质量和结构是否处于有效供给状态<sup>[21]</sup>。以耕地安全胁迫指数为目标层,从耕地的数量安全、质量安全和生态安全角度选取若干指标,并采用熵权法计算各指标权重,构建耕地安全综合评价指标体系(表2)。

表2 耕地安全综合评价指标体系

Table 2 The comprehensive farmland safety evaluation index system

目标层	指标层	单位	权重	指标效应
耕地安全胁迫指数	单位面积化肥使用量	t · km <sup>-2</sup>	0.123	正
	单位面积农药使用量	t · km <sup>-2</sup>	0.129	正
	单位面积地膜使用量	t · km <sup>-2</sup>	0.127	正
	耕地面积	km <sup>2</sup>	0.085	负
	粮食单产	kg · hm <sup>-2</sup>	0.536	负

#### 2.1.2 指标标准化

首先对数据进行无量纲化处理,使各数据标准化而具备比较性。记第*i*个评价对象第*j*项指标为

$X_{ij}$ ,当指标呈正效应时,其标准化公式为

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_j\}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}} \quad (1)$$

对于负效应指标,其标准化公式为

$$Y_{ij} = \frac{\max\{X_j\} - X_{ij}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}} \quad (2)$$

式(1)~(2)中, $X_{ij}$ 为指标的标准化值。当 $Y_{ij}=1$ 时,指标代表项达最佳状态;相反,当 $Y_{ij}=0$ 时,达最差状态。

#### 2.1.3 指标权重赋值及指标值计算

权重用来表示各指标变量或要素对于上一层次等级要素的相对重要程度。信息熵理论是一种客观的赋权方法,信息熵权的原理为:对于某项指标,指标值间的差距越大,表明该指标在综合评价中所起的作用越大;如果差异为0,表明该指标在综合评价中不起作用。该研究采用熵权法计算指标权重,以避免主观因素对各指标相对重要程度的影响<sup>[22]</sup>。

第*j*项指标的熵值 $e_j$ 计算公式为

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m (Y_{ij} \times \ln Y_{ij}) \quad (3)$$

式(3)中, $k=1/\ln m$ , $k>0$ ;  $0 \leq e_j \leq 1$ 。如果 $Y_{ij}$ 为0,则用0.00001代替计算。

第*j*项指标的权重 $W_j$ 计算公式为

$$W_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j \quad (4)$$

式(4)中, $d_j$ 为指标 $X_j$ 的差异系数,其值等于 $1-e_j$ 。

在确定指标权重的基础上,可计算单指标评价得分( $S_{ij}$ )及综合评价指数(ESI  $I_{ES}$ ),公式分别为

$$S_{ij} = W_i \times Y_{ij}$$

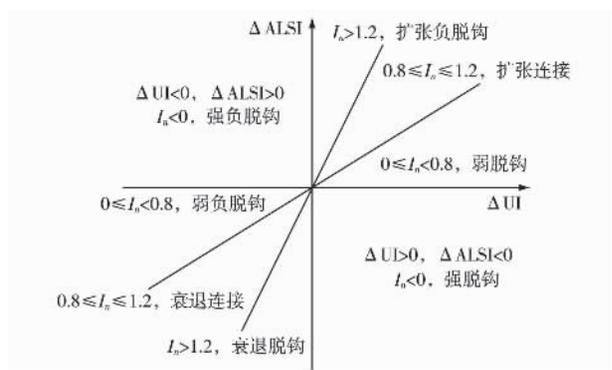
$$I_{ES} = \sum_{j=1}^n W_j \times Y_{ij}$$

据此模型分别计算耕地安全胁迫指数( $ALSI$ ,  $I_{ALS}$ )与城市化指数( $UI$   $I_U$ )。

## 2.2 脱钩

脱钩理论(decoupling)的本质是研究具有响应关系的2个或多个系统之间的相互关系的存在和消亡<sup>[23]</sup>,该研究中的脱钩则是指城市化进程与耕地安全胁迫之间联系的阻断。随着对脱钩理论的研究不断深入,国内学者将其应用于探究GDP增速、人口增速和工业产值增加值等变量与城市扩张的关系,并将脱钩概念细化为扩张性复钩、强复钩、弱复钩、弱脱钩、强脱钩、衰退性脱钩等<sup>[24-25]</sup>。就脱钩的测度方法来看,主要有IPAT模型法<sup>[24]</sup>、Tapio弹性系数法<sup>[26]</sup>和脱钩指数法<sup>[27]</sup>等。其中Tapio弹性系

数法更加全面细致, 其将弹性值在 0.8~1.2 间视作耦合, 避免了对弹性值的细微变化过度解读。由此可以得到脱钩状态的 8 种情形及相应判定标准, 见图 2<sup>[14 28-29]</sup>。



$I_n$ —脱钩指数;  $\Delta UI$ —城市化指数 (UI) 年变化量;  
 $\Delta ALSI$ —耕地安全胁迫指数 (ALSI) 年变化量。

图 2 城市化与耕地安全胁迫脱钩分析模型

Fig. 2 Model for decoupling analysis of urbanization and arable land safety

采用 Tapio 法对城市化与耕地安全的脱钩关系

进行分析, 其具体公式为

$$I_n = \frac{I_{ALS\ n} - I_{ALS\ n-1} / I_{ALS\ n-1}}{(I_{U\ n} - I_{U\ n-1}) / I_{U\ n-1}} \quad (5)$$

式(5)中  $n$  为年份;  $I_n$  为第  $n$  年的脱钩指数;  $I_{ALS\ n}$  和  $I_{ALS\ n-1}$  分别为第  $n$  年和第  $n-1$  年的耕地安全胁迫指数;  $I_{U\ n}$  和  $I_{U\ n-1}$  分别为第  $n$  年和第  $n-1$  年的城市化水平指数。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 城市化水平及耕地安全综合指数

采用综合评价方法, 对 2000—2014 年连云港市城市化水平及耕地安全胁迫程度进行评价, 结果如表 3 和图 3 所示。2000—2014 年, 连云港市城市化水平呈持续上升趋势, 2008—2010 年城市化水平增长最快。相较于城市化水平的持续上升趋势, 耕地安全胁迫指数则呈现较为复杂的波动变化情况, 2000—2014 年耕地安全胁迫指数整体呈下降趋势, 2000—2007 年耕地安全胁迫指数在波动中下降, 2008—2014 年耕地安全胁迫指数总体呈较为平稳的下降趋势, 但 2013 年耕地安全胁迫指数有小幅上升。

表 3 2000—2014 年连云港市城市化指数与耕地安全胁迫指数及其脱钩关系

Table 3 Urbanization index and farmland safety stress index of Lianyungang City in 2000–2014 and their decoupling relationship

年份	城市化指数	城市化指数变化率	耕地安全胁迫指数	耕地安全胁迫指数变化率	脱钩指数	脱钩程度
2000	0.000		0.830			
2001	0.029		0.656			
2002	0.090	2.086	0.639	-0.025	-0.012	强脱钩
2003	0.140	0.560	0.756	0.183	0.327	弱脱钩
2004	0.195	0.395	0.492	-0.350	-0.886	强脱钩
2005	0.259	0.327	0.697	0.416	1.271	扩张负脱钩
2006	0.316	0.221	0.427	-0.387	-1.750	强脱钩
2007	0.352	0.114	0.467	0.095	0.837	扩张连接
2008	0.390	0.110	0.362	-0.227	-2.064	强脱钩
2009	0.644	0.651	0.307	-0.152	-0.233	强脱钩
2010	0.787	0.222	0.289	-0.057	-0.256	强脱钩
2011	0.842	0.070	0.178	-0.386	-5.500	强脱钩
2012	0.889	0.055	0.119	-0.328	-5.952	强脱钩
2013	0.953	0.073	0.151	0.266	3.665	扩张负脱钩
2014	1.000	0.049	0.130	-0.139	-2.848	强脱钩

#### 3.2 脱钩指数

由表 3 可知, 2000—2014 年连云港市城市化指数与耕地安全胁迫指数的脱钩-耦合状态主要呈现出弱脱钩、强脱钩、扩张负脱钩和扩张连接 4 种状态, 并呈动态变化态势(图 4)。

##### 3.2.1 第 1 阶段(2000—2007 年)

第 1 阶段的脱钩关系经历了包括强脱钩、弱脱

钩、扩张连接和扩张负脱钩 4 种形态的复杂变化过程, 脱钩曲线主要处于非理想状态—畸形状态—理想状态的“M”型周期性变化中的前 2 种状态。在这一阶段, 连云港市城市化指数平稳上升, 耕地安全胁迫指数整体下降并呈波动变化趋势。

2007 年, 连云港市的城市建设面积, 二、三产业比例与城镇人口比例比 2000 年分别增长 75.10%、

13.75%和 44.54% 随之增长的还有对建设用地、生活空间和粮食的需求,使得连云港市城市化水平保持稳定增长。连云港市大量耕地被转变为非农用的商服用地、工矿仓储用地和住宅用地等不透水面的土地利用类型。为了提升粮食产量,化肥、农药和地膜的使用量不断增加。该阶段城市化指数持续上升但仍处于较低水平,属于典型的半城市化状态。尽管耕地安全胁迫指数整体呈下降趋势,但由于缺乏协调城市化与耕地安全之间关系的相关经验,耕地安全土地利用管理规划滞后,耕地安全胁迫指数在 2003、2005 和 2007 年均出现上升趋势,城市透水地面/不透水地面比例失衡,耕地安全的保障形势严峻。

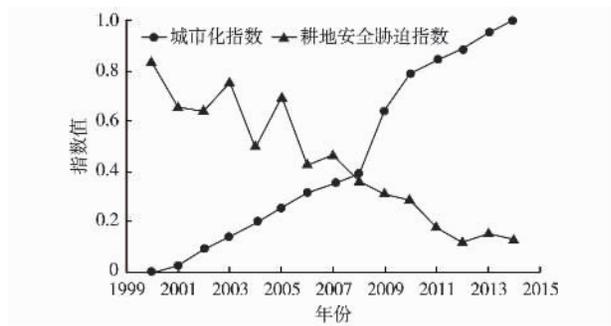


图 3 2000—2014 年连云港市城市化指数与耕地安全胁迫指数变化

Fig. 3 Variation of the urbanization index and farmland safety stress index of Lianyungang City 2000—2014

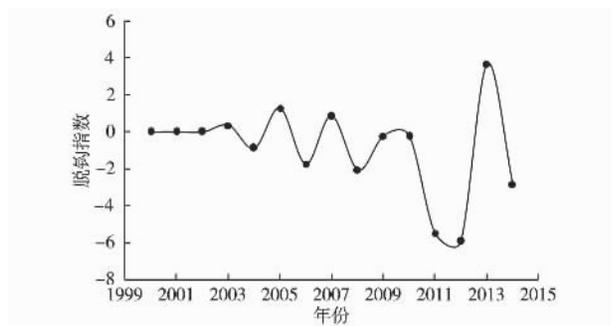


图 4 2002—2014 年连云港城市化水平与耕地安全水平脱钩弹性变化

Fig. 4 Variation of the decoupling elasticity of the relationship between urbanization level and farmland safety level of Lianyungang City 2000—2014

### 3.2.2 第 2 阶段( 2008—2014 年)

第 2 阶段的城市化指数与耕地安全胁迫指数的脱钩关系主要以强脱钩为主,且波动更为剧烈。城市化指数持续上升,耕地安全胁迫指数呈较为平稳

的下降趋势。该阶段二、三产业 GDP 增长仍保持强劲势头,人口继续保持稳步增长,城市建设用地面积持续增加。2009 年,连云港市建成区面积增长 1 倍,城市化指数变化率为 0.651,是城市化水平提升最快的一年。《连云港市城市总体规划( 2008—2030) 》确定的“一体两翼”成为连云港发展的新格局,“城市东进,拥抱大海”成为连云港市城乡建设推进工作的主题。与此同时,《连云港市土地利用总体规划( 2006—2020) 》中特别强调了对农用地的合理利用与保护,加大耕地保护力度、增加耕地转用成本,耕地数量得以保持。《到 2020 年江苏省化肥使用量零增长行动方案》大力推广测土配方施肥对保持耕地质量起到良好作用。2008—2012 年,城市化指数与耕地安全胁迫指数呈现良好的强脱钩关系。2012 年是江苏沿海开发两步走第 1 阶段的收官期,这一时期连云港市基础设施建设、滩涂围垦等沿海开发重点项目加速实施,但二、三产业比例及城市人口比例增幅,乃至城市化进程较 2010 年以前有所放缓。在耕地安全胁迫指数有所上升的 2013 年,城市化指数与耕地安全胁迫指数呈扩张负脱钩关系。该时段耦合关系呈现的强烈波动可能与前期相关政策、项目实施的滞后效应有关,这与 LIU 等<sup>[7]</sup>在远程耦合框架中所提到的时间动态( temporal dynamics) 概念相吻合。城市化进程与耕地安全的近程耦合关系中存在着不确定性因素,需要谨慎权衡城市化相关政策可能对耕地安全产生的影响。LI 等<sup>[19]</sup>在研究连云港城市化与环境耦合关系时发现,采用统计数据得到的脱钩、耦合状态分析结果较实际情况呈现出向好的趋势,这样的情况也同样出现在笔者研究中。

## 4 结论与展望

在对城市化和耕地安全的耦合、脱钩关系进行研究时,明确了其近程研究的尺度,综合考虑了人口、土地、产业的城市化与耕地的质量安全、数量安全、生态安全,构建了城市化水平综合评价指标体系及耕地安全综合评价指标体系,采用城市化水平指数和耕地安全胁迫指数对耕地安全与城市化水平的关系进行脱钩、耦合分析,可以更加全面、具体地反映在城市化进程中农村人口转变为城镇人口,第一产业转变为二、三产业,农村区域向城市地域转变对耕地安全的影响。

连云港市城市化水平与耕地安全之间近程耦合关系的脱钩弹性曲线呈非理想状态—畸形状态—理想状态的“M”型周期性变化,主要呈弱脱钩、

强脱钩、扩张负脱钩和扩张连接 4 种状态,研究期内多处于强脱钩状态,说明连云港市的城市化水平与耕地安全总体上发展较为协调。2007—2014 年,连云港市脱钩指数呈强烈波动变化,相关政策对城市化与耕地安全的影响增强,且存在滞后效应、累积效应等不确定性因素,因此必须谨慎对待相关政策规划的制定实施。

该研究提出了近程耦合理念并应用到城市化和耕地安全耦合系统研究中,在对其关系进行量化时运用了脱钩的基本原理方法,通过关键指标的选取,对这一复杂的耦合系统进行了简化。针对近程耦合关系提出的多指标脱钩-耦合模型,可用于快速分析城市化进程-耕地安全之间的复杂关系,有助于表征半城市化区域耕地安全特点,建立较为完善的半城市化地区-耕地耦合系统景观格局分析模型。

定量评价和分析只是手段,该研究试图从发展规划、土地利用规划和城市总体规划等角度去分析研究连云港城市化-耕地安全耦合系统的实际内涵和演化机理,特别是将研究结果与相关区域战略政策等具体实际相结合,但仍存在一定的不确定性,需在下一步研究工作中通过完善指标体系和评估方法,以期更全面地开展近程耦合系统的研究。

致谢: 感谢厦门大学李艺博士、邱建慧硕士、林静玉硕士、Muhammad Sajjad 硕士在指标体系选取和英文表达方面给予的帮助。

#### 参考文献:

- [1] 蔡运龙. 中国经济高速发展中的耕地问题[J]. 资源科学, 2000, 22(3): 24-28. [CAI Yun-long. Problems of Farmland Conservation in the Rapid Growth of China's Economy [J]. Resources Science, 2000, 22(3): 24-28.]
- [2] LONG Hua-lou, ZOU Jian. Grain Production Driven by Variations in Farmland Use in China: An Analysis of Security Patterns [J]. Journal of Resources and Ecology, 2010, 1(1): 60-67.
- [3] BAI X M, SHI P, LIU Y. Society: Realizing China's Urban Dream [J]. Nature, 2014, 509(7499): 158-160.
- [4] LI P, QIAN H, WU J. Environment: Accelerate Research on Land Creation [J]. Nature, 2014, 510(7503): 29-31.
- [5] DALIN C, QIU H G, HANASAKI N, et al. Balancing Water Resource Conservation and Food Security in China [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2015, 112(15): 4588-4593.
- [6] 刘晓娜, 张微微, 李红. 基于 LUCC 的密云水库上游流域人为干扰动态变化 [J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(6): 951-957. [LIU Xiao-na, ZHANG Wei-wei, LI Hong. Research on Dynamics of Human Disturbance in Upper Streams of Miyun Reservoir Watershed Based on Land Use and Land Cover Change [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2016, 32(6): 951-957.]
- [7] LIU J G, MOONEY H, HULL V, et al. Sustainability Systems Integration for Global Sustainability [J]. Science, 2015, 347(6225): 1258832.
- [8] LIU J G, HULL V, BATISTELLA M, et al. Framing Sustainability in a Telecoupled World [J]. Ecology and Society, 2013, 18(2): 26.
- [9] TOBLER W R. A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region [J]. Economic Geography, 1970, 46(Suppl. 1): 234-240.
- [10] KNEGT H J D, LANGEVELDE F V, COUGHENOUR M B, et al. Spatial Autocorrelation and the Scaling of Species: Environment Relationships [J]. Ecology, 2010, 91(8): 2455-2465.
- [11] DENG X Z, HUANG J K, ROZELLE S, et al. Impact of Urbanization on Cultivated Land Changes in China [J]. Land Use Policy, 2015, 45: 1-7.
- [12] 张文斌, 陈英, 张仁陟, 等. 基于脱钩分析方法的耕地占用与经济发展的关系研究: 以甘肃省康乐县为例. [J] 自然资源学报, 2013, 28(4): 560-570. [ZHANG Wen-bin, CHEN Ying, ZHANG Ren-zhi, et al. Study on the Relationship Between Cultivated Land Occupation and Economic Growth Based on the Decoupling Method: Taking Kangle County of Gansu Province as an Example [J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(4): 560-570.]
- [13] 张勇, 汪应宏, 张乐勤, 等. 安徽省建设占用耕地与经济发展的脱钩分析 [J]. 中国土地科学, 2013, 27(5): 71-77. [ZHANG Yong, WANG Ying-hong, ZHANG Le-qin, et al. Decoupling Between the Cultivated Land Occupied by Construction and Economic Development in Anhui Province [J]. China Land Sciences, 2013, 27(5): 71-77.]
- [14] SONG W. Decoupling Cultivated Land Loss by Construction Occupation From Economic Growth in Beijing [J]. Habitat International, 2014, 43: 198-205.
- [15] SONG W, PIJANOWSKI B C, TAYYEBI A. Urban Expansion and Its Consumption of High-Quality Farmland in Beijing, China [J]. Ecological Indicators, 2015, 54: 60-70.
- [16] BOMMARCO R, KLEIJN D, POTSS S G. Ecological Intensification: Harnessing Ecosystem Services for Food Security [J]. Trends in Ecology & Evolution, 2013, 28(4): 230-238.
- [17] 花利忠, 崔胜辉, 黄云凤, 等. 海湾型城市半城市化地区空间扩展演化: 以厦门市为例 [J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3509-3517. [HUA Li-zhong, CUI Sheng-hui, HUANG Yun-feng, et al. Analyses of Peri-Urban Landscape Dynamics in the Rapid Urbanizing Process: A Case Study of Xiamen [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3509-3517.]
- [18] LI Y F, ZHU X D, SUN X, et al. Landscape Effects of Environmental Impact on Bay-Area Wetlands Under Rapid Urban Expansion and Development Policy: A Case Study of Lianyungang, China [J]. Landscape and Urban Planning, 2010, 94(3/4): 218-227.
- [19] LI Y F, LI Y, ZHOU Y, et al. Investigation of a Coupling Model of Coordination Between Urbanization and the Environment [J]. Journal of Environmental Management, 2012, 98: 127-133.
- [20] 芮萸艺, 朱琳, 赵克强, 等. 农村环境质量综合评估方法及实证

- 研究[J].生态与农村环境学报,2016,32(5):852-856.[RUI Han-yi,ZHU Lin,ZHAO Ke-qiang, et al. Methods for Comprehensive Quality Assessment of Rural Environment and Empirical Research[J].Journal of Ecology and Rural Environment,2016,32(5):852-856.]
- [21] 刘桂林,张落成,张倩.1985—2010年南京市耕地变化轨迹及驱动力分析[J].生态与农村环境学报,2013,29(6):688-694.[LIU Gui-lin,ZHANG Luo-cheng,ZHANG Qian. Trajectory and Driving Forces of Change in Farmland in Nanjing During the Period From 1985 to 2010[J].Journal of Ecology and Rural Environment,2013,29(6):688-694.]
- [22] 李秀霞,张希.基于熵权法的城市化进程中土地生态安全研究[J].干旱区资源与环境,2011,25(9):13-17.[LI Xiu-xia,ZHANG Xi.The Land Ecological Security in the Process of Urbanization Based on Entropy[J].Journal of Arid Land Resources and Environment,2011,25(9):13-17.]
- [23] 王鹤鸣,岳强,陆钟武.中国1998年—2008年资源消耗与经济增长的脱钩分析[J].资源科学,2011,33(9):1757-1767.[WANG He-ming,YUE Qiang,LU Zhong-wu. Decoupling Analysis of China's Resource Consumption and Economic Growth Over the Period 1998-2008[J].Resources Science,2011,33(9):1757-1767.]
- [24] 钟太洋,黄贤金,王柏源.经济增长与建设用地扩张的脱钩分析[J].自然资源学报,2010,25(1):18-31.[ZHONG Tai-yang,HUANG Xian-jin,WANG Bai-yuan. On the Degrees of Decoupling and Re-Coupling of Economic Growth and Expansion of Construction Land in China From 2002 to 2007[J].Journal of Natural Resources,2010,25(1):18-31.]
- [25] 黄木易,程志光.区域城市化与社会经济耦合协调发展度的时空特征分析:以安徽省为例[J].经济地理,2012,32(2):77-81.[HUANG Mu-yi,CHENG Zhi-guang. Analysis on Spatial-Temporal Characteristics of the Coordinated Development Degree Between Regional Urbanization and Social Economy: A Case Study of Anhui Province[J].Economic Geography,2012,32(2):77-81.]
- [26] TAPIO P. Towards a Theory of Decoupling: Degrees of Decoupling in the EU and the Case of Road Traffic in Finland Between 1970 and 2001[J].Transport Policy,2005,12(2):137-151.
- [27] OECD. Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressures for Economic Growth[DB/OL].(2016-03-29)[2016-11-15].http://www.oecd.org/dataoecd/0/52/1933638.pdf.
- [28] 盖美,曹桂艳,田成诗,等.辽宁沿海经济带能源消费碳排放与区域经济增长脱钩分析[J].资源科学,2014,36(6):1267-1277.[GAI Mei,CAO Gui-yan,TIAN Cheng-shi, et al. Decoupling Analysis of Energy Carbon Emissions and Regional Economic Growth in the Liaoning Coastal Economic Belt[J].Resources Science,2014,36(6):1267-1277.]
- [29] 杨克,陈百明,宋伟.河北省耕地占用与GDP增长的脱钩分析[J].资源科学,2009,31(11):1940-1946.[YANG Ke,CHEN Bai-ming,SONG Wei. Decoupling Analysis Between Arable Land Occupation and GDP Growth in Hebei Province[J].Resources Science,2009,31(11):1940-1946.]

作者简介: 陆文勋(1994—),男,福建宁德人,硕士生,主要研究方向为城市与区域环境变化。E-mail: wenzunlu@pku.edu.cn

(责任编辑: 许素)

## 欢迎订阅 2018 年《农业工程》

《农业工程》是由中国农业机械化科学研究院主管、北京卓众出版有限公司主办的农业工程类综合性学术期刊,2011年创刊,月刊,国内统一连续出版物号 CN 11-6025/S,国际标准连续出版物号 ISSN 2095-1795。办刊宗旨是解读农业工程政策,聚焦农业工程各领域关键技术的创新突破、成套技术系统集成和先进实用技术的推广示范,搭建农业工程交叉学科产学研集成信息平台,推进农业工程技术创新与成果转化,更好地为“三农”服务。

该刊设有“装备与机械化”“信息与电气化”“生物环境与能源”“农副产品加工与贮藏”“食品科学与工程”“水土工程”“土地资源管理”“设计制造及理论研究”“教学研究”“农学与生物技术”“农业经济管理”等栏目,入选国家新闻出版广电总局认定的首批学术期刊和中国科技核心期刊。

《农业工程》每期定价 20 元,全年 240 元,欢迎订阅,欢迎投稿。

地址:北京市朝阳区德外北沙滩 1 号 16 信箱 邮编: 100083

电话: 010-64882380/3625 网址: www.d1ae.com

邮箱: nygc\_2011@163.com d1ae2011@126.com