

# 江苏省化肥施用强度时空演变及差异分析

宋知远<sup>1,2</sup>, 孙晓玲<sup>1</sup>, 许雅婷<sup>1</sup>, 周子阳<sup>1</sup>, 胡乃娟<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 南京农业大学人文与社会发展学院, 江苏南京 210095; 2. 南京农业大学区域农业研究院, 江苏南京 210095; 3. 南京农业大学公共管理博士后流动站, 江苏南京 210095)

**摘要** [目的]研究江苏省化肥施用规律并为化肥减量提出建议。[方法]以江苏省2000—2016年化肥施用量及农作物播种面积为原始数据,计算得到该时期江苏省化肥施用强度,并在此基础上计算化肥施用的变异系数及泰尔指数以研究其时空变化。[结果]江苏省化肥施用强度经历了受城镇化影响上升后受农业结构及相关政策影响下降的过程,在2007年达到最大值,为463.40 kg/hm<sup>2</sup>;变异系数与泰尔指数变化趋势基本相同,2000—2014年逐年上升,近年有下降趋势,表明江苏省化肥施用强度区域差异经历了一个先上升后下降的过程;江苏省化肥施用强度受自然条件、社会经济发展及农业发展水平影响在空间上呈“北高南低”的特征;随着时间延长,大多数城市的化肥施用强度逐渐下降。[结论]从发展节肥技术、加快推进农业现代化、加强政府引导3方面提出化肥减量的建议。

**关键词** 化肥施用量;化肥施用强度;时空演变;江苏省

中图分类号 S 143 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)18-0005-04

## Spatio-temporal Evolution and Difference Analysis of Chemical Fertilizer Intensity in Jiangsu Province

SONG Zhi-yuan<sup>1,2</sup>, SUN Xiao-ling<sup>1</sup>, XU Ya-ting<sup>1</sup> et al (1. College of Humanities and Social Development, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095; 2. Institute of Regional Agricultural Research, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095)

**Abstract** [Objective] To study the application rule of chemical fertilizer in Jiangsu Province and make suggestions for the reduction of chemical fertilizer. [Method] The application intensity of chemical fertilizer in Jiangsu Province was calculated in this study by using the amount of chemical fertilizer and the sown area of the crops in Jiangsu Province from 2000 to 2016 as the original data. On this basis, the variation coefficient and their index were calculated to study the temporal and spatial changes. [Result] The intensity of chemical fertilizer application in Jiangsu had gone through the process of declining influenced by the change of agricultural structure and related policies after the rise because of urbanization. It reached the maximum value of 463.40 kg/hm<sup>2</sup> in 2007; the trend of variation coefficient was the same as that of their index. It increased year by year from 2000 to 2014. It had a decreasing trend in recent years. It showed that the regional difference of fertilizer application intensity in Jiangsu had experienced a process of first rising and then decreasing; the application intensity of fertilizer in Jiangsu showed the characteristics of “high in the North and low in South” in space because of natural conditions, social economic development and agricultural development level. The intensity of fertilizer application in most cities was decreasing with time. [Conclusion] This paper puts forward specific suggestions from three aspects: developing the technology of fertilizer saving, speeding up the modernization of agriculture and strengthening the guidance of the government.

**Key words** Fertilizer application; Chemical fertilizer intensity; Spatio-temporal evolution; Jiangsu Province

化肥作为重要的农业生产要素极大地促进了我国农业发展。王祖力等<sup>[1]</sup>研究表明,1978—2006年化肥投入对粮食产量增长的弹性值为0.20,贡献率达56.81%,是所有投入要素中贡献最大的一项;房丽萍等<sup>[2]</sup>研究发现,1978—2010年化肥投入对粮食产量增长的弹性值为0.18,贡献率达20.79%,化肥仍是影响粮食增产的重要因素。但在我国农业生产过程中存在化肥利用率不高的问题,导致严重的面源污染,威胁着我国农业可持续发展。

化肥施用的时空变化能够说明化肥施用规律,并为减少化肥施用提供指导。我国学者从社会经济、农业技术以及自然条件等方面利用多种方法在全国或省域尺度对化肥施用情况进行了研究。陈同斌等<sup>[3]</sup>利用1990—1998年我国各地化肥施用量和粮食产量数据,计算了我国各地区不同年份的化肥利用率;辛良杰等<sup>[4]</sup>利用2000—2010年化肥施用总量、农地面积、作物播种面积等数据,通过空间自相关及冷热点等分析方法,对近年来我国各地区施肥总量与单位农地化肥施用负荷的时空演变特征及驱动因子进行了分析;潘丹<sup>[5]</sup>采用2004—2011年31个省(市、区)的数据,对我国化肥消费

强度变化的驱动效应进行了测度和时空差异比较,并进一步对影响化肥消费强度变化的因素进行了实证分析;耿仲钟等<sup>[6]</sup>采用锡尔分解方法考察了2004—2013年我国不同地区化肥施用强度的区域差异特征及其变化规律,并进一步分析其收敛性;刘钦普<sup>[7]</sup>根据大田作物氮磷钾1.0:0.5:0.5的养分要求,建立了氮磷钾化肥施用环境安全阈值模型,对我国化肥施用强度和环安全阈值的时空变化及施肥合理性进行了研究。赵大伟等<sup>[8]</sup>从空间和时间双重维度对黑龙江省黑土带地区化肥施用量的成因、趋势进行分析,利用非平稳时间序列加法模型对化肥施用量进行了预测;经阳等<sup>[9]</sup>运用ESDA空间相关分析理论,结合GIS技术和GWR模型,探讨了2000—2010年江西省农业化肥施用的地域格局变化规律及其驱动机制。

目前研究者运用不同的方法对化肥施用量及化肥施用强度的时空演变进行了分析,但研究多以全国为研究范围,结果及分析相对宏观,对小范围区域的研究较少。江苏省是我国农业大省,2016年农业生产总值仅次于山东、河南,位居全国第3,农业发展迅速。但江苏省农业化肥施用量在2009年达到最大值335.44万t后一直呈下降趋势,2016年化肥施用量为312.5万t。研究江苏省化肥施用强度时空格局的变化不仅能够对化肥施用情况有更深入的了解,并为进一步减少化肥施用量提出建议,对我国其他省市的化肥减量也极具指导意义。笔者以江苏省为研究对象,利用变异系数法及泰

**基金项目** 国家级大学生创新创业训练计划项目(201710307079)。  
**作者简介** 宋知远(1994—),男,河南安阳人,硕士研究生,研究方向:区域农业发展。\*通讯作者,讲师,博士,从事区域农业与农村生态研究。  
**收稿日期** 2018-03-07;修回日期 2018-03-14

尔指数对其化肥施用强度进行时空演变测算,结合社会经济发展等方面的情况对测算结果进行解释说明,并为进一步推进化肥减量提出了建议。

## 1 数据来源与研究方法

**1.1 数据来源** 以江苏省13个市为研究对象,研究2000—2016年江苏省各市化肥施用强度的时空演变和差异性。研究数据主要来源于《江苏省统计年鉴》,2005与2006年数据依据江苏省13个市统计年鉴进行修正。

## 1.2 研究方法

**1.2.1 化肥施用强度计算。**化肥施用强度是指在农业生产过程中农作物单位播种面积实际施用的化肥量,计算公式:

$$AF = TF/Y$$

式中,  $AF$  为化肥施用强度 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ),  $TF$  为化肥施用总量 ( $\text{kg}$ ),  $Y$  为农作物播种面积 ( $\text{hm}^2$ )

**1.2.2 变异系数法。**变异系数是衡量区域某一要素相对差异的常用指标,能够体现各市化肥施用强度的样本值相对于江苏省均值的偏离水平<sup>[10]</sup>。变异系数越大说明江苏省各市化肥施用强度的差异越大,反之,则差异越小,其计算公式:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{it} - \bar{X}_i)^2}{n}}$$

$$V_i = S_i/\bar{X}$$

式中,  $S_i$  为标准差;  $X_{it}$  为第  $i$  个市在  $t$  年的化肥施用强度;  $\bar{X}_i$  为  $t$  年的江苏省化肥施用强度;  $n$  为市的个数,为13;  $V_i$  为变异系数。

**1.2.3 泰尔指数。**泰尔指数可用来衡量区域某一要素差异水平,其值越大,说明地区间不平衡程度越大,反之,则地区间不平衡程度越小<sup>[11]</sup>。运用泰尔指数测度江苏省各市化肥施用强度的空间差异,其计算公式:

$$T = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{P} \log \frac{\bar{X}}{X_i}$$

式中,  $T$  为泰尔指数;  $P_i$ 、 $X_i$  分别代表第  $i$  个市的农作物播种面积和化肥施用强度;  $P$ 、 $\bar{X}$  分别代表江苏省农作物播种面积和江苏省化肥施用强度。

## 2 结果与分析

**2.1 化肥施用强度** 根据统计年鉴数据计算得到2000—2016年江苏省13个市的化肥施用强度,结果见表1。由表1可知,2000—2016年江苏省化肥施用强度为404~463  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

**2.2 化肥施用强度时序演变** 由图1可知,2000—2016年江苏省化肥施用强度经历了逐步上升和快速下降2个阶段,并在2007年达到最大值463.40  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,呈“倒U型”。第1阶

表1 2000—2016年江苏省化肥施用强度

Table1 Fertilizer application intensity in Jiangsu Province from 2000—2016

$\text{kg}/\text{hm}^2$

城市 City	年份																
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
南京 Nanjing	422	443	419	393	398	370	384	361	283	276	269	255	249	248	241	235	255
无锡 Wuxi	235	492	520	548	536	472	492	456	424	390	361	347	326	321	307	306	323
常州 Changzhou	381	373	358	370	384	373	368	364	312	302	290	289	280	280	282	314	289
苏州 Suzhou	637	421	409	370	411	374	368	355	327	347	339	329	321	315	310	311	295
镇江 Zhenjiang	377	359	361	375	382	407	408	438	412	325	293	266	245	241	232	228	229
南通 Nantong	302	304	309	306	304	310	311	324	315	313	287	279	281	278	272	269	270
扬州 Yangzhou	343	358	356	376	381	388	408	414	410	407	379	376	383	390	391	398	395
泰州 Taizhou	504	485	468	446	397	386	370	386	362	347	338	322	309	302	295	285	280
徐州 Xuzhou	572	580	595	645	651	655	682	723	680	660	640	628	597	577	568	536	524
连云港 Lianyungang	524	570	564	556	530	559	564	572	574	602	571	561	543	544	547	545	547
淮安 Huaian	413	437	425	441	427	441	441	469	450	448	470	472	479	485	503	509	487
盐城 Yancheng	394	396	400	409	415	421	429	415	422	433	416	403	381	370	365	363	361
宿迁 Suqian	454	469	485	466	475	471	471	506	513	524	545	564	570	566	556	549	537
江苏省合计 Total of Jiangsu Province	426	440	441	446	445	446	453	463	448	447	436	430	420	415	412	408	404

段为2000—2007年,化肥施用强度从426.00  $\text{kg}/\text{hm}^2$  上升到463.40  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,化肥施用量增加近37.40  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。其中2000—2001、2005—2007年2个阶段化肥施用强度增长较迅速,而2001—2005年增长较平缓。这一时期由于全国及江苏省城镇化及工业化的快速推进,劳动力转移明显,农户在农地经营上更为粗放,更依赖通过施用化肥而非精耕细作来达到增产的目标。第2阶段为2008—2016年,化肥施用强度持续快速下降,由448.30  $\text{kg}/\text{hm}^2$  减少到403.65  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。这一时期,江苏省农业结构调整不断推进,农业结构不断优化,化肥施用强度也随之降低。杜华章等<sup>[12]</sup>对江苏省农业产业结构调整进行研究,结果表明,江苏省种植业、林业、畜牧业

以及渔业的区位商在2006年均具有显著变化并在之后的年份趋于稳定,可以作为2008年化肥施用强度降低的一个重要佐证。另一方面,国家及江苏省政府对于农村生态文明以及农业面源污染问题的重视程度不断增加。2008年以来的中央一号文件多次明确提到了化肥污染治理问题,江苏省在2005年开始全面推行测土配方施肥,随后又推出一系列关于农村环境治理与有机肥推广的政策,对随后年份化肥施用强度的变化起到了明显作用。

**2.3 化肥施用强度空间差异时序演变** 运用变异系数和泰尔指数对江苏省化肥施用强度的空间差异进行定量测度和对比分析,结果见图2。由图2可知,2000—2016年江苏省化

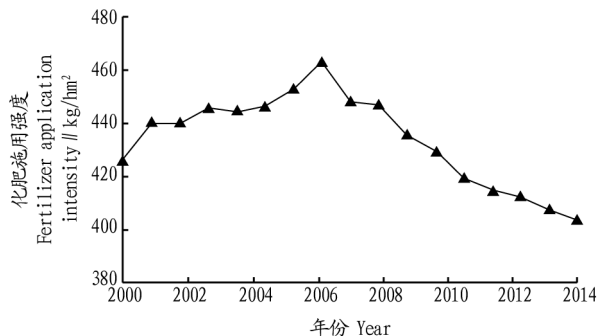


图1 江苏省化肥施用强度时序演变

Fig.1 Sequential evolution of fertilizer application intensity in Jiangsu Province

肥施用强度变异系数和泰尔指数变化程度较为一致,2000—2014年均呈波动上升,2015、2016年略有下降,即江苏省化肥施用强度的空间差异逐步扩大,但在以后年份有持续下降的可能。从变异系数看,2000—2004年变异系数波动较大,从2000年的0.26降至2001年的0.19,随后又上升至2003年的0.22,2004年又出现小的下降;2005—2011年增长较快,从0.21增长至0.32;2012年到2014年变异系数则增长缓慢,增加了0.01;2014年以后变异系数下降0.02。从泰尔指数看,2000—2004年泰尔指数有所波动,2000年为0.013,2001年为0.008,随后又上升至2003年的0.010,2004年又出现小的下降;2005—2011年增长明显,从0.010增长至0.018;2012—2014年变异系数增长缓慢且有略微下降;2014年以后泰尔指数由0.190下降至0.170。

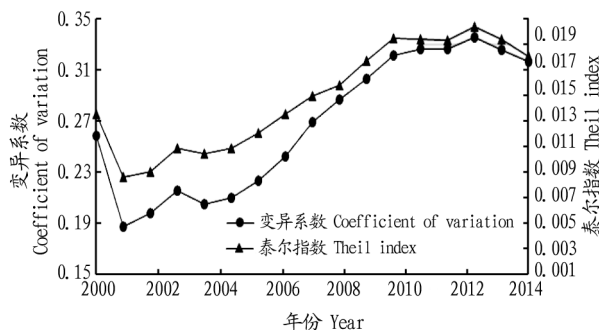


图2 江苏省化肥施用强度空间差异时序演变

Fig.2 Spatial disparity sequential evolution of fertilizer application intensity in Jiangsu Province

**2.4 化肥施用强度空间分异** 由图3可知,2000—2016年,江苏省各个市区的化肥施用强度除少数城市外均出现较大幅度的下降,尤其是苏南(南京、苏州、常州、镇江)、苏中地区(南通、泰州)下降明显。从空间范围看,江苏省化肥施用强度变化区域特征明显。化肥施用强度由南向北逐渐增强,呈“北高南低”的特征。化肥施用强度较大的城市基本分布在苏北区域范围内,化肥施用强度较小的城市主要分布在苏南区域范围内,而苏中地区则经历了从强到弱的显著变化。这种差异来源于江苏省地区间资源环境、社会经济发展、农业技术进步以及农业结构的不同。从资源环境看,江苏省耕地主要分布在苏北地区,2016年苏北地区农业播种面积占江苏

省播种总面积的60.73%,与此同时苏北地区的农业基础设施、农业现代化水平与苏南、苏中地区还有一定差距,这使得苏北地区化肥施用强度较高。从社会经济发展角度看,环境库兹涅兹“倒U型”曲线<sup>[13]</sup>可作为该原因的一个重要理论基础,郑微微等<sup>[14]</sup>研究表明社会经济是影响化肥施用强度的一个重要因素。社会经济发展的提升带来的另一个变化是居民对于农产品品质需求的提升。江苏省三大区域从北至南社会经济发展水平不断提高,尤其是苏南地区地处长江三角洲,靠近上海,经济发展快,对化肥施用强度的降低起到了关键性作用。从农业发展水平看,江苏省农业现代化水平基本上呈北低南高的状态<sup>[15]</sup>,与化肥施用强度的空间变化相反。2016年苏南地区农作物播种面积仅占江苏省的14.45%,但农业生产总值占江苏省的23%,农业生产水平高。农业现代化水平提升,设施农业、都市农业等新型农业形式出现,农业结构不断调整,使农业集生产、生态、生活功能于一身,农业生产对于化肥的需求量也有所降低。

江苏省各城市化肥施用强度变化也有所不同,无锡、扬州、连云港、淮安、宿迁的化肥施用强度均出现了增长(增长率>0)。无锡、镇江、徐州、连云港、盐城的化肥施用强度均经历了先上升后下降的过程,2006年达到较高水平,在随后的年份有所下降,这与江苏省整体化肥施用强度变化具有一致性。其中,连云港与徐州的化肥施用强度在2016年达547.08和547.06 kg/hm<sup>2</sup>,化肥施用强度较大。扬州、淮安及宿迁的化肥施用强度在各年份间波动上升,最终化肥施用量较2000年均有大幅度的增加。扬州由2000年的343.20 kg/hm<sup>2</sup>增加至2016年的394.94 kg/hm<sup>2</sup>,淮安由413.28 kg/hm<sup>2</sup>增加至487.35 kg/hm<sup>2</sup>,宿迁由537.44 kg/hm<sup>2</sup>增加至537.44 kg/hm<sup>2</sup>。南京、常州、苏州、镇江及南通、泰州的化肥施用强度下降明显。其中,南京、苏州及泰州的化肥施用强度下降相对较大,而苏州及泰州施用强度变化均超过200 kg/hm<sup>2</sup>。

### 3 结论与建议

#### 3.1 结论

(1)江苏省整体化肥施用强度先增加后减小;2000—2007年化肥施用强度受城镇化农业从业人口转移影响逐渐增加,2008—2016年化肥施用强度受农业结构调整及相关政策影响逐渐减小。

(2)江苏省化肥施用强度变异系数及泰尔指数的变化趋势相同且均逐年上升,但近年略有下降,即江苏省化肥施用强度的区域差异逐年上升,但有减小的趋势。

(3)江苏省化肥施用强度在空间上呈“北高南低”的特征,主要受各区域之间自然资源禀赋、社会经济发展及农业发展水平的影响。随着时间的变化,无锡、扬州、连云港、淮安、宿迁化肥施用强度有所增长,而其余城市化肥施用强度均有不同程度的下降。

#### 3.2 建议

(1)发展节肥技术。通过发展与推广节肥技术提高化肥利用率。大力推广测土施肥技术,对不同自然条件、不同生长时期的作物需肥量进行测定,按需施肥;注重有机肥与化

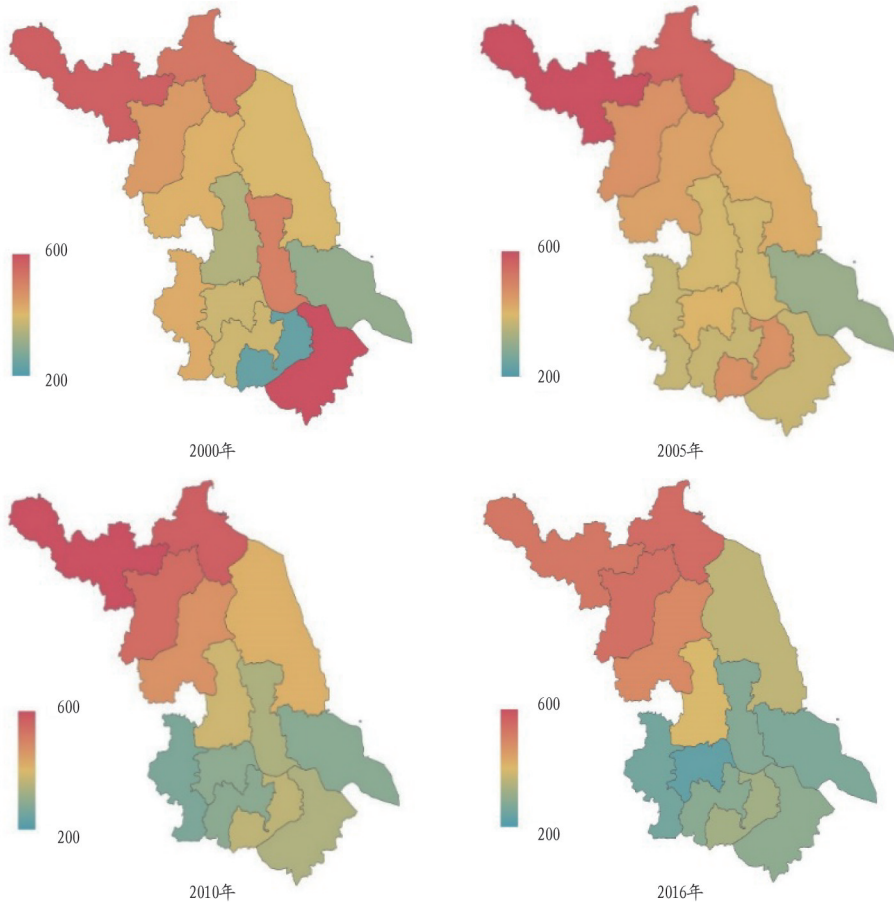


图3 2000、2005、2010、2016年江苏省化肥施用强度时空演变

Fig.3 Spatiotemporal evolution of fertilizer application intensity in Jiangsu Province in 2000, 2005, 2010, 2016

肥的配施,实行秸秆、畜禽粪便等废物的资源化利用,将其作为有机肥料施用,增强土壤肥力,防止土壤板结。

(2)加快推进农业现代化。加强农田基础设施建设与农业技术投入,降低农业对自然环境的依赖;调整农业产业结构,促进农林牧渔综合发展,减少高耗肥农作物种植面积;促进农业一二三产融合,发展有机农业、都市农业、观光农业等新型农业形式,增加农业附加值,减少农业增效对化肥的依赖程度。

(3)强化政府引导。政府应完善相关法律法规,确定化肥减量的目标、措施等,为化肥减量提供强制性的依据;制定相关方面的政策,通过补贴等方式促进农业从业者对化肥减量的积极性;通过农业推广部门与农户连接,推广测土施肥、有机化肥配施等技术。

#### 参考文献

- [1] 王祖力,肖海峰.化肥施用对粮食产量增长的作用分析[J].农业经济问题,2008(8):65-68.
- [2] 房丽萍,孟军.化肥施用对中国粮食产量的贡献率分析:基于主成分回归C-D生产函数模型的实证研究[J].中国农学通报,2013,29(17):156-160.

- [3] 陈同斌,曾希柏,胡清秀.中国化肥利用率的区域分异[J].地理学报,2002,57(5):531-538.
- [4] 辛良杰,李秀彬,谈明洪.2000~2010年我国农业化肥施用的时空演变格局[J].中国农业大学学报,2013,18(5):21-27.
- [5] 潘丹.中国化肥消费强度变化驱动效应时空差异与影响因素解析[J].经济地理,2014,34(3):121-126,135.
- [6] 耿仲钟,肖海峰.我国农用化肥施用强度的时空差异与区域收敛[J].干旱区资源与环境,2017,31(2):69-73.
- [7] 刘钦普.中国化肥施用强度及环境安全阈值时空变化[J].农业工程学报,2017,33(6):214-221.
- [8] 赵大伟,曲凯欣.黑龙江省内黑土带地区化肥施用量的时空异质性[J].东北林业大学学报,2018(2):88-92,104.
- [9] 经阳,叶长盛.江西省县域农业化肥施用差异及其驱动机制[J].农业现代化研究,2015,36(4):657-665.
- [10] 袁长伟,张倩,芮晓丽,等.中国交通运输碳排放时空演变及差异分析[J].环境科学学报,2016,36(12):4555-4562.
- [11] 张利国,陈苏.中国人均粮食占有量时空演变及驱动因素[J].经济地理,2015,35(3):171-177.
- [12] 杜华章,杨元青.江苏省农业产业结构调整区域差异研究[J].农业经济与管理,2017(2):11-23.
- [13] 巩前文,田志宏.农村经济发展与化肥使用量的库兹涅茨曲线假说及验证[J].中国农业大学学报(社会科学版),2010,27(4):157-164.
- [14] 郑微微,徐雪高.江苏省化肥施用强度变化驱动因子分解及其影响因素分析[J].华中农业大学学报(社会科学版),2017(4):55-62,147.
- [15] 孙晓欣,马晓冬.江苏省农业现代化发展的格局演化及驱动因素[J].经济地理,2016(10):123-130.

**本刊提示** 来稿请用国家统一的法定计量单位的名称和符号,不要使用国家已废除了的单位。如面积用  $\text{hm}^2$ (公顷)、 $\text{m}^2$ (平方米),不用亩、尺<sup>2</sup>等;质量用 t(吨)、kg(千克)、mg(毫克),不再用担等;表示浓度的 ppm 一律改用 mg/kg、mg/L 或  $\mu\text{L/L}$ 。