

河南省化肥施用强度地理分布及其环境风险评价

刘钦普

(南京晓庄学院 社会发展学院, 江苏 南京 211171)

摘要: 为了准确把握河南省农田化肥施用对生态环境的潜在威胁, 防治化肥面源污染, 通过环境风险评价模型对河南省化肥施用强度地理分布特征进行分析, 并对其环境风险进行评价。结果表明, 河南省 18 个地级市普遍存在农田化肥施用过量的问题, 环境污染风险较大, 平均风险程度为中等, 其中有 8 个地级市风险程度为严重, 10 个地级市风险程度为中等。氮、磷、钾 3 种肥料的面源污染中, 氮肥和钾肥污染风险程度为中等, 磷肥污染风险程度为严重。河南省氮、磷、钾比例总体基本合理, 但化肥施用强度区域差异大, 分布规律比较明显。豫西地区化肥施用强度相对较低, 而豫北地区化肥施用强度较高。化肥施用强度最高的是新乡市, 为 $1\,240.40\text{ kg/hm}^2$, 是最低的三门峡市 (588.33 kg/hm^2) 的 2.1 倍。

关键词: 化肥施用强度; 地理分布; 环境风险评估; 河南省

中图分类号: F323.22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2014)06-0066-05

Regional Distribution and Environmental Risk Assessment of Chemical Fertilizer Application Rate in Henan Province

LIU Qin-pu

(School of Social Development, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing 211171, China)

Abstract: In order to correctly understand the potential threats of chemical fertilizer to environment in Henan province and prevent chemical fertilizer pollution, model of environmental risk assessment was used to analyze the distribution of chemical fertilizer application rate and assess the environmental risk. The results showed that chemical fertilizer was overused in 18 cities, resulting in great potential risk to environment, the average risk to environment was at moderate level. In the 18 cities, there were 8 cities in serious environmental risk state, 10 cities in moderate environmental risk state; nitrogen (N) and potassium (K) posed moderate risks to environment, phosphorus (P) posed serious risk to environment. The proportion of N, P, K was basically reasonable, but there were great differences in chemical fertilizer application rate among different regions in Henan province. The chemical fertilizer application rates in the north of Henan province were highest, especially Xinxiang city ($1\,240.40\text{ kg/ha}$); the chemical fertilizer application rates in the south of Henan province was lowest, especially Sanmenxia city (588.33 kg/ha).

Key words: chemical fertilizer application rate; regional distribution; environmental risk assessment; Henan province

近几十年来, 农业生产的发展使得全球大约有 30%~50% 的地表水体受到面源污染的影响^[1]。我国农业面源污染也比较严重。为提高粮食产量, 从

20 世纪 90 年代以来, 我国农业生产上的化肥施用量快速增长。2011 年, 我国化肥总用量为 5 704.2 万 t, 占世界化肥总用量的 1/3, 单位面积施用量超过世

收稿日期: 2013-12-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071281); 南京市环境科学重点建设学科项目; 南京晓庄学院科研项目(2012NXY24)

作者简介: 刘钦普(1957-), 男, 河南许昌人, 教授, 博士, 主要从事土地资源利用与评价方面的研究。E-mail: liuqinpu@163.com

界平均水平的3倍^[2]。2007年通过农业面源污染排放的总氮为270.46万t,总磷为28.47万t,分别占同期全国排放量的57.19%和67.27%^[3]。农业面源污染即将成为我国流域污染的主要因素,我国七大水系水质总体为中度污染,湖泊(水库)富营养化问题突出^[3]。2007年我国海域发生赤潮82次,累计发生面积11610 km²,造成了巨大的经济损失,这都与农田过量施用化肥有关^[4]。

近10 a,河南省化肥施用量年均递增4.5%,目前仍处于上升趋势。据统计,2011年,河南省化肥用量(折纯)673.71万t,居全国首位,平均用量为935.42 kg/hm²,是全国化肥平均施用水平(480.2 kg/hm²)的1.95倍^[5]。由于氮肥当季利用率为30%~40%、磷肥为10%~20%、钾肥为35%~50%,加之表施多于深施,造成肥料的有效利用率低,导致肥料养分流失严重,大量未被利用的化肥通过径流、淋溶、硝化与反硝化等方式污染地表水、空气等^[6],使河南省生态环境面临严峻挑战。

我国化肥面源污染的研究始于上世纪80年代,起初侧重于化肥面源污染现状的研究^[7-10]。随后的研究更加活跃,化肥污染的宏观特征、影响因素等逐渐被重视^[11-12]。近些年,开始重视重金属及农业氮、磷面源污染等的潜在环境风险评价研究^[13-23]。但针对化肥施用引起的面源污染环境风险评价研究较少。为此,对河南省农田化肥施用强度、分布及其造成的潜在环境风险进行评价,为河南省治理化肥面源污染、促进农业可持续发展提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 数据来源

本研究数据主要来自《河南统计年鉴2012》^[5]、《中国统计年鉴2012》^[24]、原国家环境保护总局发布的资料^[25]。

1.2 环境风险评价模型

环境风险评价广义上是指对人类的各种社会经济活动所引发或面临的危害(包括自然灾害)对人体健康、社会经济、生态系统等造成的可能损失进行评估,并据此进行管理和决策的过程。狭义上,环境风险评价常指对有毒有害物质(包括化学物质和放射性物质)危害人体健康和生态系统的程度进行概率估计,并提出减小环境风险的方案和对策^[26-27]。本研究基于环境风险评价广义概念,提出化肥施用环境风险评价模型,用于河南省农田化肥施用环境风险评价。其计算公式如下:

$$F_i = \frac{M_i}{A} \quad (1)$$

$$R_i = \frac{F_i}{F_i + T_i} \quad (2)$$

$$R_T = \sum_{i=1}^n W_i R_i \quad (3)$$

式中, M_i 表示当年化肥施用量,化肥施用量按折纯量计算,折纯量是指氮肥、磷肥、钾肥分别含N、P₂O₅、K₂O的数量^[25];A表示耕地面积; F_i 为单项肥料施用强度; T_i 为单项肥料环境安全阈值,是指获得作物理想产量而不危害环境的最大化肥施用量; R_i 为单项施肥指数; W_i 为单项施肥风险权重,其值介于0~1; R_T 为施肥环境风险总指数。

由公式(2)、(3)可见, R_i 、 R_T 介于0~1,当 R_i 等于0.5时, F_i 和 T_i 相等,是施肥环境安全的临界点。当 R_i 、 R_T 趋近1时, F_i 大大超过 T_i ,即环境化肥污染存在极其严重风险;当 R_i 、 R_T 趋近0时, F_i 趋近0, F_i 大大低于 T_i ,是属于不施用化肥的有机农业状态。根据环境风险指数远离0.5的程度,以0.15为等级变化范围,把化肥施用环境风险从高度安全到严重危险分为6个不同的等级,如表1所示。

表1 环境风险指数分级

| 等级 | 风险指数 | 风险程度 |
|----|-------------|------|
| 1 | ≥ 0.80 | 严重风险 |
| 2 | 0.65~0.79 | 中等风险 |
| 3 | 0.50~0.64 | 低风险 |
| 4 | 0.35~0.49 | 尚安全 |
| 5 | 0.20~0.34 | 中等安全 |
| 6 | ≤ 0.19 | 高度安全 |

2 结果与分析

2.1 河南省化肥施用强度及分布特征

根据《河南统计年鉴2012》^[5]公布的2011年河南省各地级市的化肥消费情况和总耕地面积,根据公式(1)分别计算出全省平均总化肥施用强度和氮、磷、钾肥单项施用强度,并按照总化肥施用强度的大小进行排序(表2)。

由表2可见,河南省化肥施用强度平均为920.31 kg/hm²,是一些发达国家规定的化肥施用安全上限(225 kg/hm²)^[28]的4.1倍,是我国生态县建设中规定的化肥施用强度(250 kg/hm²)^[16]的3.68倍。河南省化肥施用强度区域差异大,分布规律比较明显。化肥施用强度最高的是新乡市,为1240.40 kg/hm²,是最低的三门峡市(588.33 kg/hm²)的2.1倍。豫西地区化肥施用强度相对较低,而豫北地区化肥施

用强度较高。其原因有待进一步研究。

表 2 2011 年河南省各地级市化肥施用强度及氮、磷、钾肥比例

| 地级市 | 施用强度/(kg/hm ²) | | | | 氮、磷、钾肥比例 | 地理位置 |
|------|----------------------------|--------|--------|--------|-----------|------|
| | 总化肥 | 氮肥 | 磷肥 | 钾肥 | | |
| 三门峡市 | 588.33 | 259.57 | 163.44 | 165.32 | 1:0.6:0.6 | 豫西 |
| 洛阳市 | 680.01 | 326.82 | 195.78 | 157.41 | 1:0.6:0.5 | 豫西 |
| 济源市 | 681.59 | 320.12 | 213.75 | 147.72 | 1:0.7:0.5 | 豫西 |
| 开封市 | 739.98 | 384.96 | 215.24 | 139.78 | 1:0.6:0.4 | 豫东 |
| 鹤壁市 | 791.66 | 418.89 | 224.30 | 148.46 | 1:0.5:0.4 | 豫北 |
| 郑州市 | 801.55 | 369.71 | 253.32 | 178.52 | 1:0.7:0.5 | 豫中 |
| 驻马店市 | 849.15 | 329.34 | 278.17 | 241.63 | 1:0.8:0.7 | 豫南 |
| 周口市 | 883.07 | 431.40 | 276.43 | 175.24 | 1:0.6:0.4 | 豫东 |
| 南阳市 | 895.13 | 423.66 | 268.89 | 202.58 | 1:0.6:0.5 | 豫南 |
| 信阳市 | 906.37 | 541.35 | 248.30 | 116.72 | 1:0.5:0.2 | 豫南 |
| 许昌市 | 987.05 | 449.63 | 305.24 | 232.18 | 1:0.7:0.5 | 豫中 |
| 漯河市 | 1 013.29 | 530.78 | 281.72 | 200.79 | 1:0.5:0.4 | 豫中 |
| 濮阳市 | 1 051.36 | 580.04 | 300.35 | 170.97 | 1:0.5:0.3 | 豫北 |
| 安阳市 | 1 098.11 | 563.52 | 318.28 | 216.31 | 1:0.6:0.4 | 豫北 |
| 商丘市 | 1 108.82 | 482.23 | 339.67 | 286.92 | 1:0.7:0.6 | 豫东 |
| 焦作市 | 1 116.75 | 571.25 | 327.92 | 217.57 | 1:0.6:0.4 | 豫西 |
| 平顶山市 | 1 133.00 | 539.99 | 346.93 | 246.08 | 1:0.6:0.5 | 豫中 |
| 新乡市 | 1 240.40 | 656.40 | 357.64 | 226.36 | 1:0.5:0.3 | 豫北 |
| 全省平均 | 920.31 | 454.43 | 273.08 | 192.81 | 1:0.6:0.4 | |

就氮、磷、钾肥比例来说,目前世界上发达国家是 1:Q 5:Q 5,世界平均水平是 1:Q 46:Q 36^[29],中国是 1:Q 5:Q 4^[24]。河南省的氮、磷、钾肥比例是 1:Q 6:Q 4,与发达国家相比,基本合理,但部分地区如驻马店市的氮、磷、钾肥比例是 1:Q 8:Q 7,磷、钾肥的比例偏高。而濮阳市、新乡市和信阳市的氮、磷、钾肥比例是 1:Q 5:Q 2(Q 3),钾肥用量明显不足。

2.2 河南省化肥施用环境风险评价

参考我国生态县建设中化肥施用强度小于 250 kg/hm² 的评价标准^[25],定义 250 kg/hm² 为总化肥施用环境安全阈值。对于氮、磷、钾单项化肥来说,按照 1:0.5:0.5 的比例,确定氮肥的环境安全阈值为 125 kg/hm²,磷肥和钾肥的环境安全阈值皆为 62.5 kg/hm²。由于氮、磷、钾肥的配比不同以及三者利用率不同,其面源污染的危害程度也不同。一般认为,水体富营养化是土壤化肥污染的主要表现,氮、磷是水体富营养化的限制因素,磷是主要限制因素^[30]。因此,氮、磷、钾 3 种元素对水体富营养化作用的权重不同。这里确定氮肥的环境风险权重为 0.3,磷肥为 0.5,钾肥为 0.2。根据上述环境风险评价模型[公式(2)、(3)],采用表 2 中 2011 年河南省各地级市化肥施用强度数据,计算得出各自化肥施用环境风险指数和所处的环境风险程度(表 3)。

表 3 2011 年河南省化肥施用潜在的环境风险指数及风险程度

| 地级市 | 氮、磷、钾总肥 | | 氮肥 | | 磷肥 | | 钾肥 | |
|------|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 风险指数 | 风险程度 | 风险指数 | 风险程度 | 风险指数 | 风险程度 | 风险指数 | 风险程度 |
| 郑州市 | 0.77 | 中等风险 | 0.75 | 中等风险 | 0.80 | 严重风险 | 0.74 | 中等风险 |
| 开封市 | 0.75 | 中等风险 | 0.75 | 中等风险 | 0.77 | 中等风险 | 0.69 | 中等风险 |
| 洛阳市 | 0.74 | 中等风险 | 0.72 | 中等风险 | 0.76 | 中等风险 | 0.72 | 中等风险 |
| 平顶山市 | 0.83 | 严重风险 | 0.81 | 严重风险 | 0.85 | 严重风险 | 0.80 | 严重风险 |
| 安阳市 | 0.82 | 严重风险 | 0.82 | 严重风险 | 0.84 | 严重风险 | 0.78 | 中等风险 |
| 鹤壁市 | 0.76 | 中等风险 | 0.77 | 中等风险 | 0.78 | 中等风险 | 0.70 | 中等风险 |
| 新乡市 | 0.83 | 严重风险 | 0.84 | 严重风险 | 0.85 | 严重风险 | 0.78 | 中等风险 |
| 焦作市 | 0.82 | 严重风险 | 0.82 | 严重风险 | 0.84 | 严重风险 | 0.78 | 中等风险 |
| 濮阳市 | 0.81 | 严重风险 | 0.82 | 严重风险 | 0.83 | 严重风险 | 0.73 | 中等风险 |
| 许昌市 | 0.81 | 严重风险 | 0.78 | 中等风险 | 0.83 | 严重风险 | 0.79 | 中等风险 |
| 漯河市 | 0.80 | 严重风险 | 0.81 | 严重风险 | 0.82 | 严重风险 | 0.76 | 中等风险 |
| 三门峡市 | 0.71 | 中等风险 | 0.67 | 中等风险 | 0.72 | 中等风险 | 0.73 | 中等风险 |
| 南阳市 | 0.79 | 中等风险 | 0.77 | 中等风险 | 0.81 | 严重风险 | 0.76 | 中等风险 |
| 商丘市 | 0.82 | 严重风险 | 0.79 | 中等风险 | 0.84 | 严重风险 | 0.82 | 严重风险 |
| 信阳市 | 0.77 | 中等风险 | 0.81 | 严重风险 | 0.80 | 严重风险 | 0.65 | 中等风险 |
| 周口市 | 0.78 | 中等风险 | 0.78 | 中等风险 | 0.82 | 严重风险 | 0.74 | 中等风险 |
| 驻马店市 | 0.77 | 中等风险 | 0.72 | 中等风险 | 0.82 | 严重风险 | 0.79 | 中等风险 |
| 平均 | 0.79 | 中等风险 | 0.78 | 中等风险 | 0.81 | 严重风险 | 0.75 | 中等风险 |

由表 3 可见,河南省 18 个地级市的化肥面源污染平均风险程度为中等,其中 8 个地级市风险程度为严重,10 个地级市为中等。氮肥污染平均风险程度为中等,其中有 7 个地级市为严重;磷肥污染平均风险程度为严重,18 个地级市中只有 4 个地级市为中等,其余都为严重;钾肥面源污染相对较轻,只有平顶山市和商丘市为严重,平均风险程度为中等。总的来说,河南省化肥面源污染情况比较严重,特别是磷肥污染更令人担忧。化肥直接污染地表水,根据 2011 年河南省环境状况公报^[31],当年河南省的地表水水质为中度污染,基本符合本研究确定的中等风险;省辖四大流域污染程度由轻到重依次是:长江流域、黄河流域、淮河流域、海河流域,主要污染因子为 BOD(五日生化需氧量)、COD(化学需氧量)和 TP(总磷)。污染严重的省辖海河流域正是处于化肥施用强度高、环境污染风险的严重区域。

3 结论与建议

总体来说,河南省化肥施用强度平均为 920.31 kg/hm^2 ,远高于一些发达国家规定的化肥安全施用上限(225 kg/hm^2)^[28]和我国生态县建设中规定的化肥施用强度的标准(250 kg/hm^2)^[16]。目前,河南省 18 个地级市普遍存在农田化肥施用过量的问题,环境污染风险较大,特别是磷肥污染更令人担忧。河南省化肥施用强度区域差异大,分布规律比较明显。豫西地区化肥施用强度相对较低,而豫北地区化肥施用强度较高,导致氮、磷污染风险严重。

河南省化肥施用强度过高的原因是多方面的,缺乏有机肥、施肥不科学、化肥利用率低是其直接原因,农户经营规模小是其间接原因。鉴于此,一方面,提高土地经营规模有助于减轻农业面源污染,政府应该进一步增强土地经营政策的灵活性;另一方面,提升农户教育层次也有助于减轻农业面源污染^[32]。各级组织要对广大农民进行教育和培训,推广测土配方施肥,提倡施用有机肥和复合肥,尽量减少化肥施用量。同时要不断探索优化施肥技术,提倡作物轮作留茬,增加农田糙率,促使养分最大限度地在农田系统内循环,减少农田径流,消减农田径流中的养分含量,使农业逐步由高投入、高产出、高污染的无机农业模式过渡到可持续发展的生态农业模式。

加快土壤污染防治的法律和制度建设是保护农业生态环境的根本保证。我国已经制定了防治水、大气、噪声、固体废物、放射性污染以及保护海洋环境的法律,但是保护土壤环境的法律基本上还是空

白,土壤环境标准体系也很不健全,土壤环境监测尚未纳入国家例行监测范围,有相当部分的干部群众和企业对土壤环境保护的重要性缺乏认识。因此,国家应尽快出台有关法律制度,对土壤环境保护做出总体规划与部署,对化肥农药等化学物质的施用也应有相应的规定和要求。河南省要大力宣传和推广生态县、生态市和生态省建设,保证河南省农业可持续发展。

参考文献:

- [1] Dennis L C, Peter J V, Keith L. Modeling nonpoint source pollutants in the vadose zone with GIS[J]. Environmental Science and Technology, 1997, 31(8): 2157-2175.
- [2] 李仲春. 我国农业面源污染现状及防治对策[J]. 现代农业科技, 2012(23): 275-276.
- [3] 耿士均, 陆文晓, 王波, 等. 农业面源污染的现状与修复[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(25): 13993-13996.
- [4] 李仲春. 我国农业面源污染现状及防治对策[J]. 现代农业科技, 2012(14): 213-214.
- [5] 河南省统计局. 河南统计年鉴 2012[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [6] 赵丽莉, 钟崇林, 李有. 河南省农业面源污染现状与防治对策[J]. 广东农业科学, 2010(7): 186-188.
- [7] 徐谦. 我国化肥和农药非点源污染状况综述[J]. 农业生态环境, 1996, 12(2): 39-43.
- [8] 赵明, 赵瑞萍, 赵亮. 山西省农业环境污染问题及对策[J]. 山西农业科学, 2012, 40(10): 1075-1077, 1087.
- [9] 邹芳玉. 大连市土壤中化肥污染现状与防治措施[J]. 现代农业科技, 2010(9): 294, 297.
- [10] 梁维敏, 梁潇, 王缙. 浅谈农村水污染的成因与防治对策[J]. 天津农业科学, 2011, 17(3): 142-144.
- [11] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 I: 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [12] 杨爱玲, 朱颜明. 地表水环境非点源污染研究[J]. 环境科学进展, 1999, 7(5): 60-67.
- [13] 郑燕平. 河南农田土壤重金属污染状况及其评价[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2007, 17(3): 44-46.
- [14] 陈涛, 常庆瑞, 刘京, 等. 长期污灌农田土壤重金属污染及潜在环境风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(11): 2152-2159.
- [15] 张庆辉, 朱晋, 程莉, 等. 污灌区铜潜在生态风险评价及其分布特征[J]. 河南农业科学, 2012, 41(4): 74-77.
- [16] 李潇瀚, 王瑞, 卞建民, 等. 基于 GIS 的伊通河流域农业非点源污染风险评估[J]. 中国水土保持 SWCC,

- 2012(1):33-35.
- [17] 新楠,卢树昌,王小波,等.天津市设施菜田氮投入状况评价与面源污染风险分析[J].河南农业科学,2013,42(6):68-72.
- [18] 马建华,宋博,谷蕾.河南省某高校校园土壤重金属污染及其防治[J].气象与环境科学,2010,33(4):1-5.
- [19] 栗献锋.太原市污灌区土壤重金属分布特征及风险评价[J].山西农业科学,2012,40(7):742-746,774.
- [20] 梁晶,马光军,赵晓艺,等.3种不同功能区绿地土壤Cd和Hg的污染现状及其风险评价[J].现代农业科技,2009(12):17-19.
- [21] 孙金华,马建华.污染场地健康风险评价述评[J].气象与环境科学,2011,34(4):72-78.
- [22] 张笑归,宁国辉,刘树庆,等.张家口葡萄产区土壤抗生素含量及其潜在生态环境风险评价[J].华北农学报,2011,26(增刊):146-151.
- [23] 郭廷忠,薛旭方,李蕊.TOPSIS法在开封市化肥河水环境质量评价中的应用[J].气象与环境科学,2008,31(2):59-62.
- [24] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 2012[M].北京:中国统计出版社,2012.
- [25] 国家环境保护总局.关于印发《生态县、生态市、生态省建设指标(修订稿)》的通知[EB/OL]. [2013-10-21]. http://www.zhb.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_172492.htm.
- [26] 毛小苓,刘阳生.国内外环境风险评价研究进展[J].应用基础与工程科学学报,2003,11(3):266-273.
- [27] 陆雍森.环境评价[M].上海:同济大学出版社,1999:531-558.
- [28] 范小杉,高吉喜.中国食品生产消费过程中农用化学品足迹分析[J].现代化工,2008,28(5):79-84.
- [29] 宋秀杰,程大军,张鑫,等.北京种植业结构调整及化肥面源污染控制[C].2010中国环境科学学会学术年会论文集,2010.
- [30] 殷砚.水体富营养化的影响及其防治技术[J].中国资源综合利用,2006,24(5):19-23.
- [31] 河南省环境保护厅.河南省环境状况公报 2011[EB/OL]. [2013-10-21]. <http://www.hnep.gov.cn/tab-id/435/InfoID/905/frtid/432/Default.aspx>.
- [32] 李传桐,张广现.农业面源污染背后的农户行为——基于山东省昌乐县调查数据的面板分析[J].地域研究与开发,2013,32(1):143-146.

(上接第 58 页)

因此,要提升四川省土地生态安全水平,强化抵御自然灾害风险能力、加强环境污染治理与生态环境保护是关键,具体应采取如下措施:首先,注重社会经济发展与人口、资源、生态环境的协调性,实施可持续发展战略,大力发展第三产业与绿色环保产业;其次,建立科学的环境污染预警预报机制,加强环境污染治理,对环境污染实施定点监控,改善环境质量;强化抵御自然灾害风险能力,注重森林、生物资源保护,维护生态环境的稳定性与协调性。

参考文献:

- [1] 曲福田,赵海霞,朱德明.江苏省土地生态安全问题及对策研究[J].环境保护,2005(2):51-56.
- [2] 黄辉玲,罗文斌,吴次芳,等.基于物元分析的土地生态安全评价[J].农业工程学报,2010,26(3):316-322.
- [3] 刘胜华.我国土地生态安全问题及其立法[J].国土资源科技管理,2004,21(2):53-56.
- [4] 李玉平,蔡云龙.河北省土地生态安全评价[J].北京大学学报:自然科学版,2007,43(6):784-789.
- [5] 李明月,赖笑娟.基于BP神经网络方法的城市土地生态安全评价[J].经济地理,2011,31(2):289-293.
- [6] 吴冠岑,牛星.土地生态安全协同演变的机理分析及动态评价——以淮南市为例[J].生态经济,2012(2):157-160.
- [7] 张丽汝.武汉城市圈土地生态安全预警研究[D].武汉:华中农业大学,2010.
- [8] 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.
- [9] 陈西蕊,张蓉珍.基于P-S-R模型的陕西省土地资源生态安全动态评价[J].南方农业学报,2011,42(2):224-228.
- [10] 余敦,陈文波.基于物元模型的鄱阳湖生态经济区土地生态安全评价[J].应用生态学报,2011,22(10):2681-2686.
- [11] 罗文斌,吴次芳,吴一洲.城市土地生态水平物元分析评价——以山东省滨州市为例[J].生态学报,2009,29(7):3818-3827.
- [12] 张小虎,雷国平,袁磊,等.黑龙江省土地生态安全评价[J].中国人口·资源与环境,2009,19(1):88-93.
- [13] 蔡运龙,傅泽强,戴尔阜.区域最小人均耕地面积与耕地资源调控[J].地理学报,2002,57(2):127-134.
- [14] 赵磊,刘洪彬,于国锋,等.基于熵权法土地资源可持续利用综合评价研究[J].资源与产业,2012,14(4):63-69.
- [15] 施开放,刁承泰,左泰安,等.基于熵权物元模型的耕地占补平衡生态安全评价[J].中国生态农业学报,2013,21(2):243-250.