

· 创新与探索 ·

长沙市生态足迹与脱钩效应变化及预测分析

郭荣中^{1,2,3}, 刘华平⁴, 谢露静¹

(1. 长沙环境保护职业技术学院, 湖南 长沙 410004; 2. 自然资源部南方丘陵区自然资源监测监管重点实验室, 湖南 长沙 410118; 3. 国土资源评价与利用湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410118; 4. 湖南省国土资源规划院, 湖南 长沙 410118)

摘要: 用改进的生态足迹因子对长沙市 2002—2016 年的生态足迹及其脱钩状态进行定量评价, 并构建灰色 GM(1, 1) 模型对长沙市生态状况进行预测。结果表明: 长沙市生态足迹由期初的 $8.63 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 逐年增加到期末的 $1.16 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 同期可利用生态承载力由 $1.99 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 逐年增加到 $2.03 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 生态赤字由 $-6.65 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 先后后降至 $-9.58 \times 10^6 \text{ hm}^2$; 灰色 GM(1, 1) 模型预测得到 2030 年生态赤字将上升到 $-1\,368.03 \text{ hm}^2$ 。

关键词: 生态足迹; 脱钩效应; 灰色模型; 长沙市

中图分类号: X24

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2023)01-0059-05

Change and Prediction of Ecological Footprint and Decoupling Effect in Changsha

GUO Rong-zhong^{1,2,3}, LIU Hua-ping⁴, XIE Lu-jing¹

(1. *Changsha Environmental Protection College, Changsha, Hunan 410004, China*; 2. *Key Laboratory of Natural Resources Monitoring and Supervision in Southern Hilly Region, Ministry of Natural Resources, Changsha, Hunan 410118, China*; 3. *Hunan Key Laboratory of Land Resources Evaluation and Utilization, Changsha, Hunan 410118, China*; 4. *Hunan Provincial Institute of Land and Resources Planning, Changsha, Hunan 410118, China*)

Abstract: The improved ecological footprint factor was used to quantitatively evaluate the ecological footprint and decoupling status of Changsha from 2002 to 2016, and the grey GM(1, 1) model was constructed to predict the ecological status. The results showed that the ecological footprint of Changsha increased year by year from $8.63 \times 10^6 \text{ hm}^2$ at the beginning to $1.16 \times 10^7 \text{ hm}^2$ at the end. During the same time, the available ecological carrying capacity increased from $1.99 \times 10^6 \text{ hm}^2$ to $2.03 \times 10^6 \text{ hm}^2$ year by year, and the ecological deficit rose first from $-6.65 \times 10^6 \text{ hm}^2$ and then fell to $-9.58 \times 10^6 \text{ hm}^2$. The GM(1, 1) model predicted that the ecological deficit would rise to $-1\,368.03 \text{ hm}^2$ in 2030.

Key words: Ecological footprint; Decoupling effect; GM(1, 1) model; Changsha

生态环境问题是全球共同面临的重要课题, 随着经济发展和城镇化进程的加快, 加强生态文明建设尤为迫切^[1]。如何协调经济增长与自然资源环境承载力之间的关系, 严守生态红线成为亟待解决的热点问题^[2]。20世纪90年代, 加拿大学者提出生态足迹模型, 为可持续性发展提供了新的研究方向^[3-4]。自1999年生态足迹模型引入我国^[5], 国内学者基于生态足迹模型从不同尺度对区域可持

收稿日期: 2021-12-19; 修订日期: 2022-12-26

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2021JJ60090); 自然资源部南方丘陵区自然资源监测监管重点实验室开放基金资助项目(NRMSSHR2022Y11); 国土资源评价与利用湖南省重点实验室开放课题基金资助项目(SYS-ZX-202103); 湖南省教育厅科研基金资助项目(21C1578); 湖南省社会科学成果评审委员会课题基金资助项目(XSP22YBC474)

作者简介: 郭荣中(1979—), 女, 湖南桂东人, 教授, 博士, 研究方向为土地信息与土地生态。

续发展开展评价研究^[6-7]。研究表明,区域生态足迹的测算可以定量分析区域资源供求,评价资源消耗强度与生态承载力是否协调,从而反映区域可持续发展状况。

脱钩理论被用于描述经济发展与资源消耗之间的关系,可以通过经济变量和环境变量等相关数据来表征变量间的阻断关系。20 世纪末,脱钩理论逐步被引入环境与经济等领域^[8-9]。国内外学者也从不同角度展开了大量的研究^[10-13]。研究表明,脱钩理论能够探求经济发展与资源消耗之间的关系,判断区域发展状态健康与否。今应用改进的生态足迹因子对长沙市 2002—2016 年的生态足迹及其脱钩状态进行定量评价,并构建灰色 GM(1, 1)模型对长沙市生态状况进行预测,为政府制定区域的可持续发展政策提供参考。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

长沙市是湖南省省会(E111°53′~E114°15′, N27°51′~N28°41′),土地总面积 11 815.96 km²。2016 年长沙市地区生产总值 9 356.91 亿元,固定资产投资 6 693.32 亿元,地方财政收入 743.70 亿元,农林牧渔业总产值 583.58 亿元,总人口 764.52 万人。研究基础数据主要来源于《湖南统计年鉴》《湖南农村统计年鉴》(2003—2017 年)。

1.2 模型参数计算

对生态足迹模型测算过程中的均衡因子和产量因子进行修正。在均衡因子的取值上,采用刘某承等^[14]的研究成果,即农地、林地、畜牧地、渔业水域、建筑用地、能源用地分别赋值 1.32、0.82、0.71、0.56、1.32、0.82。在产量因子的取值上,结合刘某承等^[15]的研究,采用长沙市研究期内耕地产量因子的算术平均数作为修正系数,耕地的产量因子则是由该地区不同类型作物产量因子加权计算得出。2016 年长沙市耕地产量因子计算结果见表 1。

表 1 2016 年长沙市耕地产量因子

Table 1 Yield factor of cultivated land in Changsha in 2016

作物类型	2016 年产量 m/t	种植面积 A/10 ³ hm ²	各类型作物平均产量 /(kg·hm ⁻²)	全球平均产量 /(kg·hm ⁻²)	各类型作物 产量因子	占耕地 比例/%
稻谷	2 298 773	336.07	6 840	2 744	2.49	54.40
小麦	660	0.23	2 870	2 744	1.05	0.04
玉米	79 736	12.33	6 467	2 744	2.36	2.00
高粱等谷物	3119	0.90	3 466	2 744	1.26	0.15
豆类	33 787	10.32	3 274	1 856	1.76	1.67
薯类	57 997	12.88	4 503	12 607	0.36	2.08
棉花	416	0.25	1 664	1 000	1.66	0.04
油料	95 201	55.51	1 715	1 856	0.92	8.99
麻类	20	0.01	2 000	1 500	1.33	0
甘蔗	3 537	0.15	23 580	18 000	1.31	0.02
烟叶	17 323	8.52	2 033	1 548	1.31	1.38
蔬菜	5 935 927	172.19	34 473	18 000	1.92	27.87
瓜果类	260 364	8.43	30 885	18 000	1.72	1.36

由表 1 可知,2016 年度长沙市耕地产量因子为 2.101 6。同法,分别计算出长沙市 2002—2016 年度耕地产量因子参数,最终取 15 a 算术平均数 2.091 2 为长沙市耕地产量因子,调整系数为 1.462 4。结合刘某承等^[15]计算的湖南省产量因子取值,即耕地取值 1.43、草地取值 3.00、林地取值 1.10、建筑用地取值 1.43、水域取值 3.00、CO₂ 吸收取值 0,以长沙市耕地调整系数(2.091 2/1.43=1.462 4)为基准,同比将长沙市区域内产量

因子进行修正,得到耕地、草地、林地、建筑用地、水域、CO₂ 吸收的产量因子分别为 2.091 2、4.387 2、1.608 6、2.091 2、4.387 2、0。

1.3 生态足迹计算

区域总人口的生态足迹(EF)、区域总生态承载力(EC)分别按式(1)、式(2)计算。生态盈余/赤字按式(3)计算,若 ED<0,则出现生态赤字;若 ED>0,则表现为生态盈余。

$$EF = N \times ef = \sum r_j \times C_i / Y_i \quad (1)$$

$$EC = N \times ec = \sum C_j = \sum a_j \times r_j \times y_j \quad (2)$$

$$ED = EF - EC = N \times (ef - ec) \quad (3)$$

式中: ef 为区域人均生态足迹; N 为人口数; i 为消费项目的类型; C_i 为第 i 种消费项目当地的人均消费量; Y_i 为第 i 种消费项目的平均产量; r_j 为均衡因子; ec 为区域人均生态承载力; C_j 为第 j 种消费项目的人均生态承载力分量; a_j 为人均生物生产面积; y_j 为产量因子。

1.4 脱钩分析法

利用万元 GDP 生态足迹、生态足迹利用效率、脱钩分析法对长沙市近 15 a 的可持续发展情况进行分析与评价。万元 GDP 生态足迹 (eg) 和生态足迹利用效率 (EE) 分别按式 (4) 和式 (5) 计算。

$$eg = ef \times N / \text{GDP} \quad (4)$$

$$EE = \text{GDP} / \text{EF} \times 100\% \quad (5)$$

脱钩分析中用脱钩弹性指数 (DI) 描述环境压力变量与经济驱动变量二者间的脱钩弹性关系。参考 Tapio^[16] 的分类标准, 将脱钩弹性指数分为 8 类。

$$DI = \frac{(EF_t - EF_{t-1}) / EF_{t-1}}{(\text{GDP}_t - \text{GDP}_{t-1}) / \text{GDP}_{t-1}} = \frac{V_t}{K_t} \quad (6)$$

式中: EF_t 、 EF_{t-1} 分别为长沙市在 t 、 $t-1$ 年份的生态足迹; GDP_t 、 GDP_{t-1} 分别为 t 、 $t-1$ 年份的经济生产总值; V_t 为第 t 年的生态足迹增长率; K_t 为第 t 年的 GDP 增长率。

1.5 灰色 GM(1,1) 模型

利用灰色 GM(1,1) 模型^[17] 对长沙市人均生态足迹、人均可利用生态承载力及万元 GDP 生态足迹进行预测。

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = \left[x_{(1)}^{(0)} - \frac{u}{a} e^{-at} \right] + \frac{u}{a}, [x_{(1)}^{(1)} \supset x_{(1)}^{(0)}] \quad (7)$$

$$\hat{x}^{(0)}(t) = \hat{x}^{(1)}(t) - \hat{x}^{(1)}(t-1) \quad (8)$$

式中: e 为常量, 其值为 2.718 28; t 为预测时间, a 。

2 结果与讨论

2.1 长沙市 2002—2016 年生态足迹和生态承载力动态变化

根据式 (1) 和式 (2), 计算出长沙市 2002—2016 年的生态足迹和生态承载力。结果表明, 长沙市生态足迹由 2002 年的 $8.63 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 逐年增加到 2012 年最大值 $1.26 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 主要是由于经济的发展和城镇化的扩张, 需要以大量的生产性土

地面积为支撑, 同时对自然资源的消耗也持续增多。之后生态足迹持续下降到 2016 年的 $1.16 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 表明在经历生态环境的破坏后, 长沙市积极响应国家号召, 大力发展高新技术企业, 加强生态建设, 关注经济发展与生态环境的协同发展, 同期生态承载力由 2002 年的 $2.26 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 逐年持续上升到 2016 年的 $2.31 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。

2.2 可利用生态承载力和生态赤字动态变化

根据式 (3), 结合长沙市研究期间人口统计数据, 计算出长沙市 2002—2016 年的可利用生态承载力和生态赤字。其中, 可利用生态承载力是指生态承载力扣除了要预留的 12% 的生物多样性保护用地后的值。结果表明, 长沙市可利用生态承载力由 2002 年的 $1.99 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 逐年增加到 2016 年 $2.03 \times 10^6 \text{ hm}^2$; 同期生态赤字由 2002 年的 $-6.65 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 逐年增加到 2012 年的 $-1.06 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 之后持续下降到 2016 年的 $-9.58 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。表明研究区域由于经济快速发展、城市建设用地大幅扩张、土地利用类型调整等, 造成耕地、林地及湖泊面积减少, 实现经济发展与环境保护的双赢仍须进一步努力。

2.3 脱钩分析

根据式 (4), 运用长沙市生态足迹和 GDP 数据, 计算出长沙市 2002—2016 年的万元 GDP 生态足迹, 从 $1.0028 \text{ hm}^2/\text{万元}$ 下降至 $0.1240 \text{ hm}^2/\text{万元}$ 。主要归因于技术要素在经济生产过程中得到更多运用, 企业能效比得到提高, 产业结构得到了一定程度的优化。说明研究区域的资源利用效率在逐步提高, 资源利用方式已由粗放型向集约型转变, 由消耗型逐渐向节约型转变。同理, 根据式 (5) 计算出长沙市 2002—2016 年生态足迹利用效率从 1.00% 快速上升至 8.06%, 表明研究区域单位生态足迹下产生的经济量逐年增加, 自然资源的利用效率由低到高, 生物产品的产出量由少到多。根据式 (6), 计算出长沙市 2002—2016 年的脱钩弹性指数见表 2。由表 2 可知, 长沙市 2002—2016 年间经济发展和生态足迹经历了弱脱钩—强脱钩—弱脱钩—强脱钩的过程, 随着长株潭两型社会建设的推进, 长沙市生态足迹的逐年增长率呈现出波动性下降趋势。与此同时, 长沙市 GDP 增速远超生态足迹的增速, 二者之间呈现出脱钩状态。表明长沙市的经济没有过度依赖生态环境的消耗, 处于一种较协调状态。

表 2 生态足迹与 GDP 增长的脱钩指数

Table 2 Decoupling index of ecological footprint and GDP growth

阶段	脱钩指数	脱钩状态		阶段	脱钩指数	脱钩状态	
		类型	区间			类型	区间
2002—2003 年	0.663 05	弱脱钩	0 ~ 0.8	2009—2010 年	0.060 77	弱脱钩	0 ~ 0.8
2003—2004 年	0.739 39	弱脱钩	0 ~ 0.8	2010—2011 年	0.028 32	弱脱钩	0 ~ 0.8
2004—2005 年	0.344 43	弱脱钩	0 ~ 0.8	2011—2012 年	0.170 24	弱脱钩	0 ~ 0.8
2005—2006 年	0.195 91	弱脱钩	0 ~ 0.8	2012—2013 年	0.075 20	弱脱钩	0 ~ 0.8
2006—2007 年	0.166 32	弱脱钩	0 ~ 0.8	2013—2014 年	-0.162 12	强脱钩	< 0
2007—2008 年	-0.097 58	强脱钩	< 0	2014—2015 年	-0.531 80	强脱钩	< 0
2008—2009 年	0.079 05	弱脱钩	0 ~ 0.8	2015—2016 年	-0.460 70	强脱钩	< 0

2.4 长沙市生态足迹的预测分析

以 2004—2016 年长沙市生态足迹、可利用生态承载力为基础,利用灰色 GM(1,1)模型即式(7)和式(8),预测研究区域 2018—2030 年生态赤字状况。生态足迹、生态承载力和可利用生态承载力预测模型分别为 $\hat{x}^{(1)}(t+1) = 36\,775.61e^{0.029\,6t} - 35\,912.16(t = 1, 2, \dots, n)$ 、 $\hat{x}^{(1)}(t+1) = 62\,753.80e^{-0.003\,6t} + 62\,527.78(t = 1, 2, \dots, n)$ 和

$\hat{x}^{(1)}(t+1) = 55\,226.67e^{-0.003\,6t} - 55\,027.78(t = 1, 2, \dots, n)$,模型检验均为 1 级,相对误差值分别为 2.68%、0.05% 和 0.03%,表明预测模型可信度高。同时,为了进一步验证预测模型的准确性,通过预测模型计算出来的长沙市典型年份的生态足迹、生态承载力、可利用生态承载力与实际值进行比较,并计算相对误差,结果见表 3。计算结果表明,相对误差均较小,模型通过检验。

表 3 生态足迹与生态承载力的模型计算值与实际值对比

Table 3 Comparison between model value and actual value of ecological footprint and ecological carrying capacity

年份	生态足迹			生态承载力			可利用生态承载力		
	模型值 A/ hm ²	实际值 A/ hm ²	相对误差/ %	模型值 A/ hm ²	实际值 A/ hm ²	相对误差/ %	模型值 A/ hm ²	实际值 A/ hm ²	相对误差/ %
2004 年	1 104.83	1 047.36	5.49	226.32	226.29	0.01	199.17	199.14	0.02
2006 年	1 138.02	1 183.22	-3.82	227.14	227.15	0	199.89	199.89	0
2008 年	1 172.21	1 191.75	-1.64	227.96	227.59	0.16	200.61	200.28	0.16
2010 年	1 207.42	1 226.52	-1.56	228.78	228.81	-0.01	201.34	201.35	0
2012 年	1 243.70	1 259.58	-1.26	229.60	229.57	0.01	202.06	202.03	0.01
2014 年	1 281.06	1 251.97	2.32	230.43	230.23	0.09	202.79	202.60	0.09
2016 年	1 319.54	1 160.65	13.70	231.26	230.69	0.22	203.52	203.06	0.23

分别用上述预测模型预测 2018—2030 年长沙市的生态足迹、可利用生态承载力、生态承载力,结果见表 4。

表 4 生态足迹与可利用生态承载力预测

Table 4 Prediction of ecological footprint and available ecological carrying capacity

年份	生态足迹 A/hm ²	生态承载力 A/hm ²	可利用生态承 载力 A/hm ²	生态赤字 A/hm ²
2018 年	1 359.19	232.10	204.26	-1 154.93
2020 年	1 400.03	232.93	204.99	-1 195.04
2022 年	1 442.09	233.77	205.73	-1 236.36
2024 年	1 485.41	234.62	206.48	-1 278.93
2026 年	1 530.03	235.46	207.22	-1 322.81
2030 年	1 576.00	236.31	207.97	-1 368.03

由表 4 可知,到 2030 年长沙市生态足迹和可利用生态承载力分别为 1 576.00 hm² 和 207.97 hm²,生态赤字由期初的 -1 154.93 hm² 持续上升到期末的 -1 368.03 hm²。预测结果显示,长沙市生态赤字将不断加大。

3 结语

2002—2016 年,长沙市生态足迹由 2002 年的 8.63×10^6 hm² 逐年增加到 2016 年 1.16×10^7 hm²,可利用生态承载力由 2002 年的 1.99×10^6 hm² 逐年增加到 2016 年 2.03×10^6 hm²,同期生态赤字由 -6.65×10^6 hm² 先升后降至 -9.58×10^6 hm²。通过计算出长沙市 2002—2016 年万元 GDP 生态足迹、生态足迹利用效率和脱钩弹性指

数等指标,对长沙市的可持续发展状态进行评价。结果表明,2002—2016年长沙市的万元GDP生态足迹呈现持续下降变化趋势;生态足迹利用效率呈现逐渐快速上升的趋势;经济发展和生态足迹经历了弱脱钩—强脱钩—弱脱钩—强脱钩的过程,说明长沙市的经济发展没有过度依赖生态环境的消耗,两者处于一种较协调状态。利用灰色GM(1,1)模型预测研究区域2018—2030年生态足迹、人生态承载力及生态赤字状况,发现该区域到2030年人均生态赤字将上升到 $-1\ 368.03\ \text{hm}^2$,说明长沙市生态前景不容乐观,当地政府须高度重视并进行有效控制。

[参考文献]

- [1] 罗舒雯,熊建华.目标考核视角下的城市生态文明建设综合评价[J].环境监测管理与技术,2020,32(3):39-43.
- [2] 秦海旭,段学军,姚利鹏,等.基于“多规融合”的城市环境空间管控技术体系研究[J].环境监测管理与技术,2021,33(1):1-4.
- [3] REES W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out [J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 121-130.
- [4] SALVO G, SIMAS M S, PACCA S A, et al. Estimating the human appropriation of land in Brazil by means of an input-output economic model and ecological footprint analysis [J]. Ecological Indicators, 2015, 53: 78-94.
- [5] 张志强,徐中民,程国栋.生态足迹的概念及计算模型[J].生态经济(学术版),2000(10):8-10.
- [6] 黄宝荣,崔书红,李颖明.中国2000—2010年生态足迹变化特征及影响因素[J].环境科学,2016,37(2):420-426.
- [7] 秦伟明,祝安娜,陈慧,等.基于生态足迹模型的新晃县可持续发展能力评价[J].环境与可持续发展,2015(2):116-121.
- [8] OECD. Indicators to measure decoupling of environmental pressures from economic growth [R]. Paris: OECD, 2002.
- [9] 冷建飞,张倩.基于生态足迹模型的水资源可持续利用研究——以江苏省为例[J].重庆理工大学学报(自然科学),2015,29(7):54-59.
- [10] FREITAS L, KANEKO S. Decomposing the decoupling of CO₂ emissions and economic growth in Brazil [J]. Ecological Economics, 2011, 70(8): 1459-1469.
- [11] MATTILA T. Any sustainable decoupling in the Finnish economy? A comparison of the pathways and sensitivities of GDP and ecological footprint 2002—2005 [J]. Ecological Indicators, 2012, 16: 128-134.
- [12] 刘贺贺,杨青山,张郁.东北地区城镇化与生态环境的脱钩分析[J].地理科学,2016,36(12):1860-1869.
- [13] 洪思扬,王红瑞,来文立,等.我国能源耗水空间特征及其协调发展脱钩分析[J].自然资源学报,2017,32(5):800-813.
- [14] 刘某承,李文华,谢高地.基于净初级生产力的中国生态足迹产量因子测算[J].生态学杂志,2010,29(3):592-597.
- [15] 刘某承,李文华.基于净初级生产力的中国各地生态足迹均衡因子测算[J].生态与农村环境学报,2010,26(5):401-406.
- [16] 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.
- [17] 程建权.城市系统工程[M].武汉:武汉大学出版社,1999.
- [18] 汪胜国.国内土壤容重测定方法综述[J].湖北农业科学,2019(S2):82-86.
- [19] 吕刚,王磊,卢喜平,等.不同复垦方式排土场砾石对饱和导水率和贮水能力的影响[J].土壤学报,2017,54(6):1414-1426.
- [20] 李婧.土壤有机质测定方法综述[J].分析实验室,2008(S1):154-156.
- [21] 李湘萍,张建光.生物质热解制备多孔炭材料的研究进展[J].石油学报(石油加工),2020,5(36):1101-1110.
- [22] CHUN Y, SHENG G, CHIOU C T, et al. Compositions and sorptive properties of crop residue-derived chars [J]. Environmental Science & Technology, 2004, 17(38): 4649-4655.
- [23] 康彩艳,李秋燕,刘金玉,等.不同热解温度生物炭对Cd²⁺的吸附影响[J].工业水处理,2021,41(5):68-72.
- [24] 郑健,李欣怡,马静,等.秸秆生物炭配施沼液对土壤有机质和全氮含量的影响[J].农业环境科学学报,2020,39(5):1111-1121.

(上接第50页)

- [9] WANG M, XIANG A, GAO Z, et al. Study on the nitrogen-releasing characteristics and mechanism of biochar-based urea infiltration fertilizer [J]. Biomass Conversion and Biorefinery, 2021, 11(5): 1-11.
- [10] EL SHARKAEI H, TOJO S, CHOSA T, et al. Biochar-ammonium phosphate as an uncoated-slow release fertilizer in sandy soil [J]. Biomass and Bioenergy, 2018, 117: 154-160.
- [11] WANG D, LUO W, ZHU J, et al. Potential of removing Pb, Cd, and Cu from aqueous solutions using a novel modified ginkgo leaves biochar by simply one-step pyrolysis [J]. Biomass Conversion and Biorefinery, 2021, 242: 1-10.
- [12] 张伟.水稻秸秆炭基缓释肥的制备及性能研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2014.
- [13] 苗晓杰,蒋恩臣,王佳,等.对二甲氨基苯甲醛显色分光光度法检测水溶液中常微量尿素[J].东北农业大学学报,2011,8(42):87-92.