

基于三维生态足迹模型的福建省耕地资源评价

薛若晗 (闽江学院海洋学院, 福建福州 350108)

摘要 为了解福建省耕地资源的可持续发展状况, 基于传统生态足迹模型和三维生态足迹模型, 测算了福建省 2008—2017 年人均耕地生态足迹、生态承载力、足迹广度、足迹深度和三维生态足迹。在此基础上, 引入耕地压力指数, 判断当前福建省耕地是否处于超载状态。结果表明: 2008—2017 年, 福建省人均耕地生态足迹由 0.263 6 hm² 增长至 0.307 1 hm², 增长了 16.5%; 人均耕地生态承载力逐年缓慢减少, 从 0.213 7 hm² 下降到 0.201 9 hm², 下降了 5.5%。2008—2017 年, 福建省耕地从未出现过生态盈余, 人均耕地足迹生态赤字从 0.049 9 hm² 扩大到 0.105 2 hm², 增加了 110.8%。福建省 2008—2017 年耕地足迹广度总体下降, 而足迹深度总体上升, 且人均耕地足迹深度始终大于 1。这 10 年间, 耕地压力指数逐渐上升至 1.520 9。福建省耕地资源的利用为不可持续发展状态。最后, 提出了一些合理的对策, 以维持福建省的可持续发展。

关键词 耕地; 生态足迹; 足迹广度; 足迹深度; 福建省

中图分类号 F 301.2 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)19-0059-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.19.019



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Evaluation of Arable Land Resource in Fujian Province Based on Three-Dimensional Ecological Footprint Model

XUE Ruo-han (Ocean College, Minjiang University, Fuzhou, Fujian 350108)

Abstract To study the sustainable development state of arable land resource in Fujian Province, by applying the traditional ecological footprint model and the three-dimensional ecological footprint model, the per capita ecological footprint of arable land, ecological capacity, footprint size, footprint depth and three-dimensional ecological footprint of Fujian from 2008 - 2017 were calculated. Based on these, the arable land pressure was introduced to determine the situation of sustainable development. The results show that: per capita ecological footprint of arable land in Fujian increased from 0.263 6 hm² to 0.307 1 hm², which increased by 16.5% during 2008-2017. The per capita ecological capacity of arable land in Fujian decreased from 0.213 7 hm² to 0.201 9 hm², which decreased by 5.5%. During the ten years, arable land in Fujian did not have ecological surplus, the per capita ecological deficit grew from 0.049 9 hm² to 0.105 2 hm², which increased by 110.8%. During 2008 - 2017, the footprint size of arable land decreased, the footprint depth of arable land increased, and the latter was more than 1. The arable land pressure of Fujian increased to 1.520 9 during the ten years. The use of arable land resources was in an unsustainable state. Finally, in order to maintain the sustainable development of Fujian, some countermeasures were put forward.

Key words Arable land; Ecological footprint; Footprint size; Footprint depth; Fujian Province

生态足迹(Ecological Footprint)是 1992 年加拿大生态经济学家 William Rees 提出的^[1]。生态足迹能够为判断某类生物生产性土地的可持续发展能力提供依据, 同时也是评价整个区域可持续发展状况的重要指标之一^[2]。近年来, 国内外学者对生态足迹的理论和模型提出了改进和修正, 如 Niccolucci 等提出的三维生态足迹模型, 并在众多实证研究中加以采用^[3-5]。可持续的利用区域耕地资源, 是保障区域生态安全的基本要求之一, 直接关系到区域经济与、社会和环境的整体可持续发展。不少学者运用生态足迹模型对区域耕地资源利用的可持续性进行了评价研究, 如樊玉杰等^[6]对昭通市耕地可持续发展进行评价; 靳相等^[7]运用三维生态足迹模型扩展对温州市耕地承载力指数进行研究; 曹文亚^[2]基于生态足迹对德阳市耕地脆弱性研究; 王琦等^[8]对四川省耕地资源评价; 周丽萍等^[9]对 2002—2015 年甘肃临夏州耕地资源的可持续发展状况进行研究。

福建省近年来城镇化的快速推进和人口的增长, 导致人均耕地资源减少、耕地保护形势严峻。笔者对福建省 2008—2017 年耕地资源的可持续状况进行定量计算和分析, 应用传统生态足迹模型计算了人均耕地生态足迹、生态承载力、生态赤字; 运用 Niccolucci 等^[3]提出的三维生态足迹模型计算

足迹深度、足迹广度和三维生态足迹等; 并在此基础上, 进一步计算了福建省耕地生态压力。基于计算结果, 分析和评价福建省耕地资源利用的可持续性。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 传统生态足迹计算模型。采用《国家生态足迹账户计算基本方法和框架(2011 版)》^[10]中的模型计算生态足迹, 且计算中用到的耕地均衡因子和产量因子的取值也出自其中, 计算公式如下:

$$\text{生态足迹计算公式: } EF = N \cdot ef = N \cdot EQF_j \cdot \sum_i \frac{c_i}{p_i} \quad (1)$$

$$\text{生态承载力计算公式: } EC = N \cdot ec = N \cdot \sum_j a_j \cdot EQF_j \cdot YF_j \quad (2)$$

$$\text{生态赤字计算公式: } ED = EF - EC = N \cdot ed \quad (3)$$

式中, EF 是区域总生态足迹; N 是区域人口数; ef 是人均生态足迹; i 是消费类型; j 是生物生产性土地类型; EQF_j 是第 j 种土地类型的均衡因子; c_i 是第 i 种消费的区域人均消费量; p_i 是第 i 种消费的全球平均生产力。EC 是区域总生态承载力; ec 是人均生态承载力; a_j 是区域第 j 种生物生产性土地的人均面积; YF_j 是第 j 种土地类型的产量因子。ED 是区域总生态赤字, ed 是人均生态赤字^[10-13]。

生态足迹和生态承载力的单位是全球公顷, 处于全球平均生产力水平的 1 公顷土地的生产能力即为 1 全球公顷生

基金项目 福建省中青年教育科研项目资助(JAT170465)

作者简介 薛若晗(1978—), 女, 福建福州人, 讲师, 硕士, 从事生态环境研究。

收稿日期 2019-06-23

产力^[11-13]。生态承载力计算结果扣除 12% 的生物多样性保护面积^[13,14]。

1.1.2 三维生态足迹模型。Niccolucci 等对传统生态足迹模型进行大量研究和实践应用,并对传统模型提出改进,引入了足迹广度和足迹深度,建立了基础三维生态足迹模型。足迹广度指标具有空间属性,它表示在区域生态承载力限制下,区域生态需求实际占用多少生物生产性土地面积。足迹深度指标具有时间属性,它表示区域人口的对资源的实际需求超出区域生态承载力的程度,它亦能表示若需维持区域现有资源消费水平,理论上需占用多少倍的区域实际生物生产性土地面积;或者可以理解为在政策和技术条件维持不变的情况下,再生出区域 1 年资源消耗量所需的时间^[3,5,15]。计算公式如下:

若 $EF - EC \geq 0$, 则:

$$EF_{size} = EC \quad (4)$$

$$EF_{depth} = \frac{EF}{EC} = 1 + \frac{EF - EC}{EC} = 1 + \frac{ED}{EC} \quad (5)$$

$$EF_{3D} = EF_{size} \times EF_{depth} \quad (6)$$

若 $EF - EC < 0$, 则:

$$EF_{size} = EF \quad (7)$$

$$EF_{depth} = 1 \quad (8)$$

式中, EF_{depth} 为足迹深度,无量纲; EF_{size} 为足迹广度; EF_{3D} 为三维生态足迹; EF 、 EC 和 ED 表示意义同传统模型。 EF_{size} 、 EF_{3D} 的单位也都是全球公顷。由公式可知: $EF_{depth} \geq 1$, 1 表示足迹深度的自然原长。 EF_{depth} 的数值大小,表示区域人口生态消费的多少,其数值越大则表明区域可持续性越弱; EF_{size} 取值在区域生态承载力范围之内,表示区域生态承载力是该区域生态系统的最大生态资源供给量。^[3-5,15,16] 三维生态足迹的数值与传统模型计算出的生态足迹相等。该模型对处于生态赤字状态的单一生物生产性土地类型,如耕地,较为适用^[7,16]。

1.1.3 耕地压力指数。基于三维生态足迹模型可构建耕地生态压力指数,评价区域耕地对区域消费的承载状况。理论上,区域耕地所承受的生态压力与该区域的耕地足迹成正比,与区域耕地生态承载力成反比^[7]。因此,本文选取靳相木等对温州市耕地承载力研究中所采用的耕地压力指数计算方法,即,区域耕地压力指数 I 可以表示为:

$$I = \frac{EF}{EC} = EF_{depth} \quad (9)$$

1.2 研究区域与数据来源

1.2.1 研究区域概况。福建省位于中国东南沿海,陆地边界与浙江、江西和广东 3 省毗邻,与台湾隔海峡相望,陆域面积 12.4 万 km^2 ,全省现辖 9 个地级市以及 1 个综合实验区,2017 年全省人口 3 911 万^[17]。福建省近年来的各方面统计资料和数据都较为完善,作为本次研究的数据资料来源。

1.2.2 研究数据来源。该研究的产量数据来自《福建统计年鉴 2018》^[17]。其中,由于考虑到水果类园地的普遍土质和实际耕种情况,将水果类园地归为耕地。在福建省的畜牧业

中,饲养猪和禽类的饲料主要来源于耕地产出的粮食或农作物加工品,因此提供该类产品的生物生产性土地也归为耕地。

该研究中土地资源的数据来自“第二次全国土地调查主要数据成果公报”中福建及所辖地区的数据成果^[18]。

2 结果与分析

2.1 基于传统模型的耕地生态足迹计算 运用传统生态足迹模型,将基础数据代入公式(1)、(2)、(3)中计算,得到的 2008—2017 年福建省的人均耕地足迹、生态承载力和生态赤字,具体见表 1,人均耕地生态足迹的组成内容和结构比例见图 1。

表 1 2008—2017 年福建省人均耕地足迹、生态承载力和生态赤字
Table 1 Per capita ecological footprint, ecological capacity and ecological deficit of arable land in Fujian (2008—2017)

年份 Year	人均生态足迹 Per capita ecological footprint/ hm^2	人均生态承载力 Per capita ecological capacity/ hm^2	人均生态赤字 Per capita ecological deficit/ hm^2
2008	0.263 6	0.213 7	0.049 9
2009	0.270 6	0.220 9	0.049 6
2010	0.274 2	0.217 6	0.056 7
2011	0.270 8	0.215 4	0.055 5
2012	0.267 9	0.213 3	0.054 6
2013	0.272 4	0.214 6	0.057 8
2014	0.268 5	0.208 7	0.059 7
2015	0.274 0	0.206 3	0.067 7
2016	0.285 5	0.204 0	0.081 5
2017	0.307 1	0.201 9	0.105 2

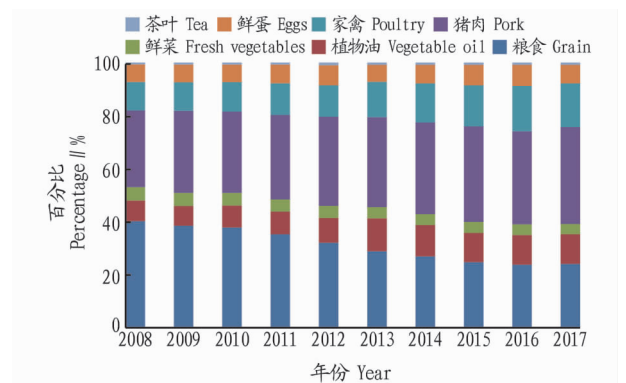


图 1 2008—2017 年福建省人均耕地生态足迹构成

Fig. 1 Component percentage of per capita ecological footprint of arable land in Fujian (2008—2017)

由表 1 和图 1 可知,2008—2017 年福建省人均耕地足迹从整体上呈现增加趋势,在 2017 年达到最高的 0.307 1 hm^2 ,对比 2008 年的 0.263 6 hm^2 ,增长了 16.5%。福建省当地的猪和禽类的饲养主要依靠耕地供应农作物加工品,因此该研究中的耕地所提供的产品也包括猪肉、家禽、蛋等。2008—2017 年福建省耕地生态足迹的增长,主要是居民对肉类、植物油、禽、蛋的消费足迹的扩大,尤其是猪肉类消费足迹增加显著,鲜菜消费足迹基本持平,而粮食稻米消费足迹减少明显。

由表1可知,2008—2017年福建省的人均耕地生态承载力虽数值上略有增减变化,但起伏不大,整体呈现逐年缓慢减少的态势,从 0.2137 hm^2 下降到 0.2019 hm^2 ,这10年内总共下降了5.5%。在2008年,福建省的耕地就已经呈现出生态赤字了,说明福建省耕地已经处于超负荷状态。在研究期的10年内,随着人均耕地足迹的增长和人均耕地生态承载力的下降,人均耕地足迹生态赤字不但没有减少,反而大幅增长,从2008年的 0.0499 hm^2 扩大到2017年的 0.1052 hm^2 ,增加了110.8%。

2.2 基于三维生态足迹模型的耕地足迹计算与分析 将表1计算结果代入公式(4)~(6),运用三维生态足迹模型计算,得到2008—2017年福建省人均耕地足迹广度、足迹深度和三维生态足迹,见表2和图2。在此基础上,将数据代入公式(9)计算出2008—2017年福建省耕地压力指数,见表2。

表2 2008—2017年福建省人均耕地足迹广度、足迹深度和三维生态足迹
Table 2 Per capita footprint size, footprint depth and 3D ecological footprint of arable land in Fujian (2008—2017)

年份 Year	生态足迹广度 Footprint size hm^2	生态足迹深度 Footprint depth	三维生态足迹 3D ecological footprint// hm^2
2008	0.2137	1.2337	0.2636
2009	0.2209	1.2247	0.2706
2010	0.2176	1.2605	0.2742
2011	0.2154	1.2575	0.2708
2012	0.2133	1.2560	0.2679
2013	0.2146	1.2693	0.2724
2014	0.2087	1.2862	0.2685
2015	0.2063	1.3281	0.2740
2016	0.2040	1.3993	0.2855
2017	0.2019	1.5209	0.3071

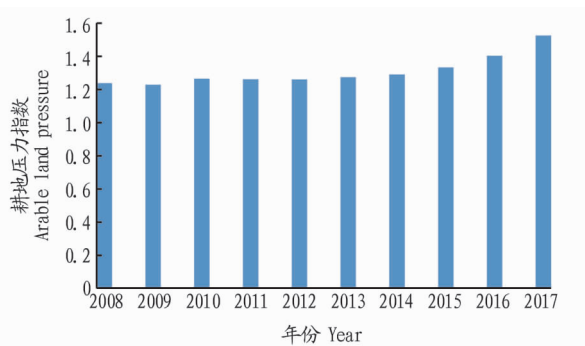


图2 2008—2017年福建省耕地压力指数

Fig. 2 Arable land pressure of Fujian (2008—2017)

由表2可知,2008—2017年福建省人均耕地足迹广度虽有小幅度上下浮动,但总体呈现下降态势,2017比2008年下降了5.5%,最高值出现在2009年。2008—2017年福建省人均耕地足迹深度始终大于1,而且总体上升,由2008年的1.2337增长到2017年1.5209,增长了23.3%。耕地足迹深度可以很好地反映出当前耕地的生态压力大小。从表2和图2可知,2017年福建省在当前的种植技术下要实现全省耕地生产的自给自足,需要超过1.5倍的当前全省耕地面积,或者需要消耗超过1.5年耕地上所生产的自然资源。可见,

福建省耕地的生态负担较为严重。

3 结论与建议

3.1 结论 该研究分别运用传统生态足迹模型和三维生态足迹模型,对2008—2017年福建省耕地生态足迹、生态承载力、生态赤字、足迹深度、足迹广度和人均三维生态足迹进行计算和分析,并计算了耕地生态压力指数,得出以下结论:

2008—2017年福建省人均耕地足迹总体加速上升,增长了16.5%,这主要是居民消费结构的变动,造成了耕地足迹构成的变化。说明了福建省居民生活水平普遍提高,最基本的吃饭问题已经不是主要限制因素,居民进入了改善饮食结构、提升饮食质量的阶段。由于经济的增长、城市化进程的加快和城市人口的增长,导致福建省人均耕地生态承载力略有起伏但总体小幅下降,2008—2017年下降了5.5%。2008—2017年福建省的耕地未出现生态盈余,均为生态赤字,且人均耕地足迹生态赤字增长迅速,增长幅度为110.8%。可见,一方面社会生产和居民生活对自然资源的需求不断增加,另一方面福建省耕地的供给能力下降,福建省的人地关系逐年紧张,土地所能提供的自然资源远远不能满足当前的生活水平和社会经济活动需要。

2008—2017年福建省耕地足迹广度总体下降,而足迹深度总体上升,且人均耕地足迹深度始终大于1。这表明,居民对耕地产品的消费量大于本地耕地产品供给量,生态占用的代际公平会受到一定程度影响。

2008—2017年耕地生态压力指数不断加大,可见耕地生态系统的的不稳定性在加剧,土地承载力面临着严峻的挑战,耕地资源处于生态透支状态,耕地资源的利用由弱不可持续状态逐步向强不可持续状态发展,只有通过动用自然资源存量或者通过贸易,从其他区域向本区域输入生态资源,才能满足区域内居民对耕地系统产出的需求。

必须指出,该研究存在不足之处,由于无法获得全部耕地产品消费的统计资料,对于耕地的均衡因子和产量因子的取值与本地地区的实际值有误差,并且,三维生态足迹模型假设研究区域是封闭的,并未将区域间自然资源的相互流动过程考虑在内,以上因素均可能影响研究结果,这些也可以作为将来进一步研究的方向。

3.2 建议 区域内耕地资源的生态安全和可持续利用,在该区域整体的可持续发展中有着不可替代的地位。为了拓宽耕地生态足迹广度的可取值范围,降低耕地生态足迹深度,从而减缓耕地生态压力,增强耕地资源利用的可持续性,提出以下建议:

第一,虽然耕地足迹广度受限于自然资源禀赋,但也可以通过加大投入,提高耕地产出能力等措施加以改善。如保护土地并切实提高区域生产力。可以根据不同类型土地质地,充分发掘各自潜能,提升耕地使用质量。高产地,可通过改良品种、提高技术来增加单产,改善经济效益;中低产地,合理调整作物布局,通过作物自身相互作用,提高土壤肥力,同时注意用养结合,缓冲恢复土地肥力。加大农业科技投入力度,发展生态农业,还要特别加强农业生态环境保护,提高

耕地质量,努力提高耕地生态承载力。

第二,降低耕地生态足迹深度。要控制生态足迹,可以通过提倡节约资源、节约消费等手段,降低人均生态足迹,以减少生态赤字。

第三,合理配置土地资源,必须对耕地进行严格的保护。从规划层面严格控制土地利用类型的转变,有效实行耕地补偿机制,尽可能保证补偿耕地面积不小于建筑用地开发占用面积,适度退耕还林,加大补偿力度。

参考文献

- [1] WACKERNAGEL M, REES W E. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective [J]. *Ecological economics*, 1997, 20(1): 3-24.
- [2] 曹文亚. 基于生态足迹的德阳市耕地脆弱性研究[J]. *四川林业科技*, 2018, 39(4): 69-72.
- [3] NICCOLUCCI V, BASTIANONI S, TIEZZI E B P, et al. How deep is the footprint? A 3D representation [J]. *Ecological modelling*, 2009, 220(20): 2819-2823.
- [4] VAN DEN BERGH J, GRAZI F. On the policy relevance of ecological footprints [J]. *Environmental science & technology*, 2010, 44(13): 4843-4844.
- [5] NICCOLUCCI V, GALLI A, REED A, et al. Towards a 3D national ecological footprint geography [J]. *Ecological modelling*, 2011, 222(16): 2939-2944.
- [6] 樊玉杰, 董世杰, 杨佳. 基于耕地生态足迹的昭通市耕地可持续发展评价[J]. *中国市场*, 2017(31): 46-47.
- [7] 靳相木, 柳乾坤. 基于三维生态足迹模型扩展的土地承载力指数研究:

以温州市为例[J]. *生态学报*, 2017, 37(9): 2982-2993.

- [8] 王琦, 易桂花, 张廷斌, 等. 基于生态足迹模型的四川省耕地资源评价[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(1): 80-87.
- [9] 周丽萍, 戚瑞生, 冯进军. 2002—2015年临夏州耕地生态足迹动态研究[J]. *中国农学通报*, 2018, 34(2): 35-41.
- [10] Global Footprint Network. Accounting for demand and supply of the Biosphere's regenerative capacity: the National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. 2011 Edition. Oakland [EB/OL]. (2012-08-05) [2019-05-10]. http://www.footprintnetwork.org/images/uploads/Methods_Paper_Draft_2011.pdf.
- [11] 世界自然基金会(WWF). 地球生命力报告 2018 [R/OL]. (2018-10-30) [2019-05-10]. http://www.wwfchina.org/content/press/publication/2018/LPR2018_Full%20Report.pdf.
- [12] 世界自然基金会(WWF). 中国生态足迹与可持续消费研究报告 [R/OL]. (2014-04-03) [2019-05-10]. <http://www.wwfchina.org/content/press/publication/2014/CN2014footprint.pdf>.
- [13] 薛若哈. 生态足迹模型视角下的福建省可持续发展评价[J]. *合肥学院学报(综合版)*, 2017, 34(2): 16-19, 50.
- [14] 世界环境与发展委员会. 我们共同的未来[M]. 王之佳, 柯金良, 译. 长春: 吉林人民出版社, 1997: 100-200.
- [15] 方恺, HEIJUNGS R. 自然资本核算的生态足迹三维模型研究进展[J]. *地理科学进展*, 2012, 31(12): 1700-1707.
- [16] 方恺. 生态足迹深度和广度: 构建三维模型的新指标[J]. *生态学报*, 2013, 33(1): 267-274.
- [17] 福建省统计局. 福建统计年鉴 [EB/OL]. (2018-08-27) [2019-05-10]. <http://www.stats-fj.gov.cn/xxgk/ndsj/>.
- [18] 福建省国土资源厅. 福建省第二次全国土地调查主要数据成果公报 [EB/OL]. (2014-07-04) [2019-05-10]. http://www.mlr.gov.cn/tz/tz/tz/gdcd/dccg/gscg/201407/t20140704_1322754.htm.

(上接第 54 页)

进行评价,评价结果见表 1。从评价结果可以看出,湿地入口 S1 处的水质为 V 类,湿地出口 S3 的水质则达到了 II 类,说明人工湿地对于改善水质状况有着明显的作用。

表 1 水质评价结果

Table 1 Water quality assessment results

采样点 Sampling point	综合指数 Composite index	评价结果 Evaluation results
湿地入口 S1 Wetland entrance S1	4.872	V类
衡井桥下 S2 Hengjing Bridge under S2	3.399	IV类
湿地出口 S3 Wetland exit S3	1.828	II类

3 结论与讨论

水体经过人工湿地后, pH 相对稳定, 湿地对水中主要污染物 COD、NH₃-N、TN、TP 的降解效果明显, 但 TN、TP 仍维持在较高的水平, 不能满足地表水环境质量标准。故建议通过生物调控技术完善湿地水体生态系统, 进一步增加生态修复措施, 降低河道发生水体富营养化的风险。经水质评价, 湿地出口处 S3 的水质达到了 II 类, 说明人工湿地对于改善

水质状况有着明显的作用。当然, 仅根据监测指标进行水质评价尚存在缺陷, 下一步应增加 BOD₅、SS 及重金属等指标以实现对接河水质的全面分析。

参考文献

- [1] 河北省住房和城乡建设厅. 河北省城市(县城)建设统计年报(2011-2014年) [R]. 2012-2015.
- [2] 张丽, 韩乔, 司马卫平. 人工湿地污水处理技术综述 [J]. *山西建筑*, 2007, 33(28): 204-205.
- [3] 耿瑞鹏, 洪剑明. 人工湿地净化污水机理研究进展 [J]. *南水北调与水利科技*, 2006, 4(5): 43-45.
- [4] 焦有权. 人工湿地处理生态系统污水的研究进展 [J]. *中国农村小康科技*, 2007(2): 31-33.
- [5] 王飞宇, 洪剑明, 靖德兵, 等. 人工湿地生态系统污水净化研究进展 [J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(12): 5641-5643, 5689.
- [6] 李兆欣, 赵斌斌, 顾永钢, 等. 北京典型再生水补水型河道水质变化分析 [J]. *北京水务*, 2016(5): 1-4.
- [7] 马丽娜, 张慧, 檀文炳, 等. 河北滦河人工湿地水体溶解性有机物性质的演化过程研究 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2016, 36(1): 206-211.
- [8] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 102-284.
- [9] BORIN M, SALVATO M. Effects of five macrophytes on nitrogen remediation and mass balance in wetland mesocosms [J]. *Ecological engineering*, 2012, 46: 34-42.
- [10] 李君华. 人工湿地对接河水水质改善效果的分析与评价 [D]. 石家庄: 河北科技大学, 2016.