

土库曼斯坦农牧业水足迹研究

张雪妮, 吕光辉, 秦璐, 何学敏, 刘昊奇, 马玉

(新疆大学 a. 资源与环境科学学院; b. 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

摘要: 农牧业水足迹研究可揭示农牧业经济系统与水资源消耗间的联系与矛盾, 为农业水资源合理利用和农业结构调整提供参考。运用水足迹理论和方法计算了土库曼斯坦农牧业水足迹, 分析该农牧业水足迹总量、结构、人口密度、土地密度、农牧业水资源集约利用度、水资源负载指数特征及其年际动态和水资源生态安全指标。研究表明: 土库曼斯坦农牧业水足迹总量介于 $1.63 \times 10^{10} \sim 2.73 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 之间, 年际变化总体呈上升趋势, 2008 年增幅最大; 农产品水足迹组成中经济作物占总量的 67.93%; 农产品水足迹人口、土地密度的年际动态特征与总量相似, 2008 年出现峰值, 畜产品水足迹较稳定; 2007-2011 年间该国农牧业水资源利用有效性提高, 经济效益增加, 但总体低于畜产品水资源的利用效率和经济效益; 2007-2012 年农业水资源负载指数显示农业水资源利用度和开发潜力持续升高, 但仍有较大开发潜力; 随着土国农牧业水足迹的上升, 该国面临的水资源压力骤增, 水资源生态安全问题突出。

关键词: 农牧业; 水足迹; 水资源; 土库曼斯坦

中图分类号: X87

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)03-0038-05

Research on agriculture and husbandry water footprint in Turkmenistan

ZHANG Xueni, LÜ Guanghui, QIN Lu, HE Xuemin, LIU Haoqi, MA Yu

(a. College of Resources and Environment Science; b. Key Laboratory of Oasis Ecology;

Education Ministry, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: The water footprint analysis of agriculture and husbandry can reveal connection and contradiction between agriculture and husbandry economic system and water resources consumption, and provide reference for rational utilization of agricultural water resources and agricultural structure adjustment. In this paper, the water footprint of agriculture and husbandry in Turkmenistan was investigated by method of water footprint. The gross volume of agriculture and husbandry water footprint, structure, population density, land density, utilization degree of water resources, carrying capacity index 2012 and its water resource ecological security were analyzed. The results showed that in general, the agriculture and husbandry gross water footprint is between $1.63 \times 10^{10} \sim 2.73 \times 10^{10} \text{ m}^3$, and basically presents increasing trend every year, the greatest increment is in 2008; the economic crops in water footprint of Turkmenistan account for 67.93% of gross agriculture products; annual dynamic characteristics of population and land density of agriculture productions shows similarly trend to gross water footprint, the peak appeared in 2008 and animal products changed slightly; water resources efficiency and economic benefits from 2007 to 2011 were improved, but which was less than that of animal products; water resources carrying capacity index of Turkmenistan indicated that water resources utilization degree and exploring potential keep rising year by year, but still have great development potential. However, along with the rise of agriculture and husbandry water footprint, Turkmenistan is faced with abruptly water resource pressure and prominently water resource ecological security problems.

Key words: agriculture and husbandry; water footprint; water resources; Turkmenistan

收稿日期: 2013-12-28; 修回日期: 2014-01-28

基金项目: 国家国际科技合作计划 (2010DFA92720-12); 新疆大学中亚研究院课题 (ZYYJ2014B4)

作者简介: 张雪妮 (1985-), 女, 河南洛阳人, 在读博士生, 主要从事干旱区生态学研究。

通讯作者: 吕光辉 (1963-), 男, 山东青岛人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事生态过程与适应、生态模拟研究。

1 研究背景

作为人类和社会经济发展的物质基础,水资源是支撑一个地区社会经济可持续发展的重要条件和战略性资源。水资源时空分布的不均匀性、水资源需求激增以及全球极端天气频发加剧下的水资源供需矛盾,使得水资源危机成为国际关注的焦点。在此背景下,水足迹核算作为一种评价水资源消费和应对区域水危机的崭新概念和技术,日益受到各国水管理机构的重视^[1-2]。

水足迹理论是由 Hoekstra 于 2002 年提出的基于消费基础,反映水资源利用情况和评价水资源消费的方法,其定义为任何已知人口在一定时间内消耗的所有产品和服务所需要的水资源量,即虚拟水含量。该理论将水资源问题拓展到社会经济领域,充分反映了人类活动与水资源系统的相互作用关系^[3]。在虚拟水的研究中,工业产品虚拟水含量计算过于复杂,目前尚无有效计算方法,且其虚拟水含量相对于农业产品较小,因此当前开展的工作主要是对农业、种植业和养殖业产品的虚拟水研究。水足迹是衡量人类真实水资源需求的概念^[4],通过水足迹研究,能够寻找调整水资源消费模式的切入点,并据此采取相应的措施减少水足迹,提高水资源利用效率^[1-2]。

土库曼斯坦位于中亚西南部,总面积 $49.12 \times 10^4 \text{ km}^2$ (不包括里海),全境位于干旱区,年均降水量 220 mm ^[5]。由于处在中亚河流下游,土库曼斯坦水资源尤为缺乏,每年人均用水量不足 $5\,000 \text{ m}^3$,远低于世界平均值 ($7\,323 \text{ m}^3/\text{人} \cdot \text{年}$)^[6-7]。由于位于咸海下游,土库曼斯坦的河流水资源较为缺乏,而土国农牧业在国民生产总值中占相当大的比重,农业灌溉用水量较大^[8]。土库曼斯坦农业生产结构以种植业为主、畜牧业为辅^[9],由于高耗水的农业发展模式,农业在土国水资源分配中占据着统治地位,这导致严重缺水的土库曼斯坦成为世界上人均耗水量最高的国家之一。随着土库曼斯坦灌溉农业的发展,水资源短缺问题还将继续扩大,因此如何调整 and 合理利用水资源,以保证水资源的长久利用和可持续发展等是土国政府必须面对的一个重大问题。目前,水足迹被认为是解决粮食与水资源安全的重要策略,可以作为衡量土国居民对水资源真实占有量的有效手段^[2]。

2 数据来源和研究方法

本研究基于联合国粮农组织 CROP 数据库、

AQUASTAT 数据库以及统计年鉴^[10],采用生产法计算 2007–2012 年土库曼斯坦的农牧业水足迹,分析其总量和结构的时间变化规律,以及农业水资源效率和水资源负载力的动态变化和趋势。生产法即生产一定数量的农产品所消耗的统水量纲的水单位数,它通过将某一区域农产品产量与单位产品虚拟水含量相乘求和得到。计算公式为:

$$W_F = \sum_{i=1}^n (P_i V_i) \quad (1)$$

式中: W_F 为农业水足迹总量, m^3 ; P_i 为第 i 种农业产品产量, kg ; V_i 为第 i 种农业产品的单位产品虚拟水量, m^3/kg 。

本研究采用与土库曼斯坦同纬度范围内的我国新疆、青海或甘肃等地的研究资料确定不同农牧产品的单位虚拟水含量^[11-13],以时间较新为原则,综合各地区的相关农牧业产品单位虚拟水含量信息,计算得到总农业水足迹。研究包括的农牧产品主要为粮食作物(大麦、小麦、稻谷、玉米和蔬菜瓜果等)、经济作物(棉花、油料、甜菜和烟草等)和畜产品(肉类、蛋类和奶制品)三类。另外,由于部分 2012 年农作物产量数据缺失,采用以 2011 年数据为基础,以 2007–2011 年的平均增长率估算该年的缺失数据;对 2007–2011 年均不变的作物产量,2012 年依然保持不变;畜产品数据均无 2012 年数据,故研究年限为 2007–2011 年。

2007 年之后单位农产品虚拟水含量的确定参考李泽红(2013)等^[11]的方法,即以 2007 年为标准,按每年提高 0.4% 和 0.3% 的标准向后进行修正,单位畜产品虚拟水量不变,以 2007 年标准值计算;农牧业水足迹人口、土地密度分别为单位人口和农业用地面积(km^2)的水资源量(m^3);农牧业水资源集约利用度为单位农业生产总值($\text{m}^3/\text{美元}$)的水足迹;水资源负载指数的计算参考封志明等^[14]的计算方法,土库曼斯坦农业水资源负载指数计算公式如下:

$$C = K \sqrt{PG} / W_a \quad (2)$$

式中: C 为农业水资源负载指数; P 为人口,万人; G 为农业生产总值,亿元; W_a 为农业淡水抽取量,亿 m^3 ; K 为与降水有关的系数,根据土库曼斯坦的降雨数据(仅 2007 和 2011 年有记录为 161 mm),参考张丹等^[15]的方法,当降雨量 $< 200 \text{ mm}$ 时, $K = 1$ 。水资源负载指数分级的评价见表 1。

土国农业水资源压力指农业淡水抽取量与年度淡水抽取总量的比值,农牧业水资源匮乏度指农牧

业水足迹与年度淡水抽取总量的比值。分别按下式计算：

水资源压力： $W_p = \frac{W_a}{W_T}$ (1)

水资源匮乏度： $W_s = \frac{W_{ah}}{W_T} \times 100\%$ (2)

式中： W_p 与 W_s 指水资源压力与水资源匮乏度， W_a 为农业淡水抽取量， m^3 ， W_{ah} 为农牧业水足迹， m^3 ， W_T 为年度淡水抽取总量， m^3 。

表 1 水资源负载指数分级评价

级别	C 值	水资源利用程度 及开发潜力	今后水资源进一步开发评价
I	>10	很高,潜力很小	艰巨、有条件时需要外流域调水
II	5~10	高,潜力小	开发条件困难
III	2~5	中等,潜力较大	开发条件中等
IV	1~2	较低,潜力大	开发条件较容易
V	<1	低,潜力很大	兴修中小工程,开发容易

3 结果与分析

3.1 土国农牧业水足迹总量和结构的年际动态

总体来看,2007-2012 年土库曼斯坦的农业水足迹总量呈波动性增加趋势(图 1),其中 2007-2008 年($3.84 \times 10^{10} m^3$)的增幅最大,达到 136%,但在 2009 年即降至 $3.12 \times 10^{10} m^3$,随后逐年有小幅下降,至 2012 年略有上升;虽然 2009-2012 各年变化较小,但至 2012 年,土库曼斯坦农业水足迹总量较 2007 年上升了 68%,说明土国农业耗水量总体上增加;此外,与 2007-2009 年新疆农畜产品水足迹(2.30×10^{10} 、 2.08×10^{10} 和 $2.46 \times 10^{10} m^3$)^[12] 对比,同时期土国农畜产品水足迹[2007-2009 年(农业+畜产品)水足迹:($1.63 + 0.47 = 2.10 \times 10^{10} m^3$ 、($3.84 + 0.47 = 4.31 \times 10^{10} m^3$ 和 ($3.12 + 0.49 = 3.61 \times 10^{10} m^3$)]增幅较大,这对于本身缺水的土国而言应引起相关部门的重视。

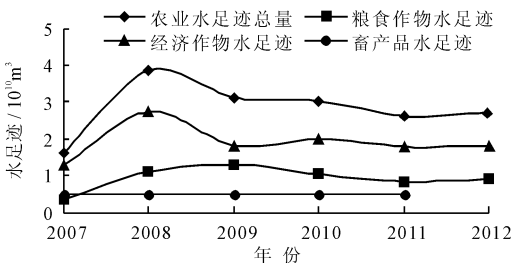


图 1 2007-2012 年土库曼斯坦农牧业水足迹总量和结构

从土库曼斯坦农业水足迹构成可以看出,该国农业水足迹的主体是经济作物的水足迹,平均占农业水足迹总量的 67.93%,因此其年际间变化特征基本与农业水足迹总量相同;粮食作物水足迹在 2008 年和 2009 年持续上升,2009 年后呈小幅波动;畜产品水足迹较稳定,年际间变幅为 2%~3%;由上述及图 1 可知,2008-2009 年是土国农业水足迹近 6 年变化的转折点。

3.2 土国农牧业水足迹人口密度和土地密度的年际变化

从土国农牧业水足迹人口密度来看(表 2),其年际变化规律与农业水足迹较相似。农产品水足迹人口密度在 2007 年最低,仅为 $3.36 \times 10^3 m^3/人$,但在 2008 年升至最高($7.81 \times 10^3 m^3/人$),随后至 2012 年呈降低趋势;农畜产品水足迹人口密度的上述变化主要是由于土国 2007-2012 年的农业人口增幅较小(平均 0.68%)。此外,与 2007-2009 年新疆农畜产品的人均水足迹($1.10 \times 10^3 m^3/人$ 、 $0.97 \times 10^3 m^3/人$ 、 $1.14 \times 10^3 m^3/人$)^[12] 相比,土库曼斯坦的人均农畜产品水足迹较高,其值介于 2007 年的 4.34(即 $3.36 + 0.98$) $\times 10^3 m^3/人$ 和 2008 年的 8.77(即 $7.81 + 0.96$) $\times 10^3 m^3/人$ 之间,这主要与土库曼斯坦较高的农畜产品水足迹有关,因为 2007-2009 年土国人口(4.86×10^6 、 4.92×10^6 、 4.98×10^6 人)^[10] 为同期新疆人口(2.10×10^6 人、 2.13×10^6 人、 2.16×10^6 人)^[12] 的 2 倍之多。导致土库曼斯坦农畜产品人均水足迹较高的原因可能是多方面的,人均粮食消费量、消费结构(生活水平、民族构成和生活习惯)、农牧业结构和生产水平以及气候^[16] 等均会显著影响一个地区的农牧业水足迹水平;土地密度方面,由于 2007-2011 年土国农业用地面积不变,因此其年际动态与农牧业水足迹特征相似。畜产品人口密度与土地密度变化均较小,这与畜产品水足迹、人口规模和农业用地面积的稳定或不变有关。

表 2 2007-2012 年土库曼斯坦农牧业水足迹人口和土地密度 $10^3 m^3/人, 10^4 m^3/km^2$

项目		2007	2008	2009	2010	2011	2012
水足迹人	农产品	3.36	7.81	6.27	6.02	5.13	5.29
	畜产品	0.98	0.96	0.98	0.99	0.96	
水足迹土	农产品	4.99	11.76	9.56	9.29	8.02	
	畜产品	1.45	1.44	1.49	1.53	1.50	

3.3 土国农牧业水资源集约利用度

水资源集约利用度是指某一区域年 GDP 与水

足迹的比值,该指标是衡量水资源利用的程度和效率,其值越大,说明该地区的水资源利用效率高,产生的经济效益高;反之亦然。研究利用土库曼斯坦农业 GDP(2012 年数据因缺失未纳入)与农畜产品水足迹数据计算了该国 2007-2011 年的农牧业水资源集约利用度(图 2)。土库曼斯坦农牧业水资源集约利用度总体呈上升趋势,说明水资源在农牧业生产中的利用有效性提高,经济效益见长;其中,农产品水资源的利用效率在 2007-2009 年有所下降,随后在 2010-2011 年逐渐升高;畜产品水资源利用效率则在 2007-2009 年不变,2010-2011 年上升;比较来看,土国畜产品的水资源利用效率较高,产生的经济效益较大。

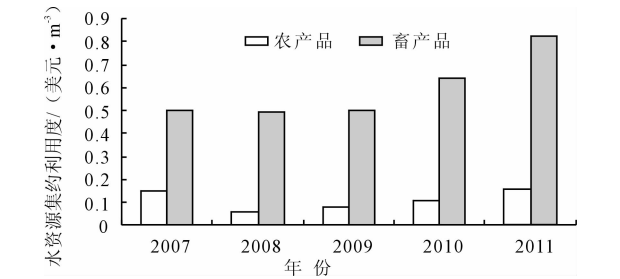


图2 2007-2011年土库曼斯坦农牧业水资源集约利用度

3.4 土国农业水资源负载指数年际动态及其水资源生态安全

利用水资源负载指数(C 值)可以进一步讨论水资源的开发利用前景。该值可反映水资源的利用程度及判断今后水资源开发的难易程度。2007-2012 年土库曼斯坦农业水资源负载指数介于 0.406~0.587 之间,均小于 1(表 3),即该国水资源承载力为第 V 级,说明其水资源利用程度还处于较低水平,开发潜力很大,水资源的开发容易,今后可兴修中小工程。但需要指出的是,近年来土库曼斯坦农业水资源负载指数逐渐上升,这说明土国农业水资源利用程度和开发潜力逐年提高的同时,其农业水资源消耗面临的压力加剧。

水资源压力和匮乏度(因数据缺失,故依据 2007 和 2011 年数据计算)是测度水资源生态安全的指标。土库曼斯坦农业水资源压力接近 1,表明该国缺水程度较严重;2007 年土库曼斯坦农牧业水资源匮乏度尚小于 1,但至 2011 年已大于 1,说明土国农牧业水资源匮乏,且呈升高趋势。综合水资源生态安全指标可以看出,土库曼斯坦淡水资源量极缺,而农牧业水足迹上升的趋势将使土国面临的水资源压力骤增。

表 3 2007-2011 年土库曼斯坦农牧业水资源负载指数 10 ⁴ 人, 10 ⁸ 元, 10 ⁸ m ³						
项 目	2007	2008	2009	2010	2011	2012
人口	485.82	491.75	497.90	504.20	510.67	517.29
农业生产总值	23.88	23.33	24.40	31.77	40.25	46.21
农业淡水抽取量					263.60	
C 值	0.409	0.406	0.418	0.480	0.544	0.587
农业水资源压力					0.94	
农牧业水资源匮乏度	0.75				1.11	

4 结 语

由于流动循环性、分散性以及人类活动的影响,水资源利用状况的评价是一个复杂的过程。水足迹是一种测量和比较经济社会对水资源的需求和水资源承载力之间差距的定量测度方法,可揭示一个国家或地区、行业或领域的总需水量,以及衡量人类消费对水资源的影响^[3,12,16]。利用该方法,研究分析了 2007-2012 年土库曼斯坦农牧业水足迹结构和密度的变化特征,评价了该时期土国水资源利用效益和负载的动态变化,揭示其农牧业经济系统与水资源消耗之间的联系与矛盾,为解决水资源短缺、制定切实可行的水资源战略提供了一定的科学依据。主要得出以下结论:

(1)2007-2012 年土库曼斯坦农产品水足迹呈增长趋势,2008 年出现高峰,这与该年份耗水农作物如棉花、油料及谷类等增产有关。2008 年土国棉花产量突破百万吨,同比增长 6%^[17],创历史新高。可见种植和消费不同农作物对水资源系统的影响各异,土库曼斯坦是中亚内陆最干旱的国家之一,农业是其高耗水行业,应积极发展低耗水、高效益和节水作物,调整区域农业结构以实现节水增效目标。畜牧业对自然降水的依赖程度较高,因此其水足迹年际动态浮动较农业小,从而形成土国农牧业水资源消耗主要由农业结构决定的格局。

(2)土库曼斯坦人均农业水足迹明显高于世界(约 1 250 m³)和我国(750 m³)^[18]。该国农业生产以种植棉花和粮食为主,水资源消耗量相对高,另外生产力水平和气候条件也导致其农业水足迹较高;土国单位国土面积消耗的农业水资源量较小,这与该国农业用地面积较大有关,其农业用地(32.66 万 km²)占国土面积 66.5%^[10],说明该国城市化率不高,也间接表明其农业生产力水平较低,导致人均农业水足迹较高。

(3)土库曼斯坦水资源集约利用度和水资源负

载指数自 2009 年以来增幅明显。这说明,一方面土国水资源效益逐步提升,另一方面水资源在其农业生产中的开发和利用程度提高。然而,相对于水资源效率的逐年提高,该国水资源承载力增速较缓,即水资源用量连续增加将导致水资源开发潜力减小,同时,农业水资源压力和农牧业水资源匮乏度较高且有升高趋势,若长期持续土国水资源可能会面临枯竭的困境。

消费与经济利益是水资源开发利用的直接驱动力,为缓解土库曼斯坦面临的水资源消耗的巨大压力,实现水资源的可持续利用,应从减少高耗水产品(肉类等)消费、种植低耗水作物、采用节水灌溉技术(微灌、雨水积聚技术和补充灌溉等)、实施虚拟水贸易策略等角度降低水足迹^[12,16],这些措施对于减轻水资源紧缺压力具有重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 周玲玲,王琳,王晋.水足迹理论研究综述[J].水资源与水工程学报,2013,24(5):106-111.
- [2] 尹剑,王会肖,蔡燕.基于减少水足迹的水资源管理措施[J].南水北调与水利科技,2013,11(2):18-23.
- [3] 戚瑞,耿涌,朱庆华.基于水足迹理论的区域水资源利用评价[J].自然资源学报,2011,26(3):486-495.
- [4] 郭鹏程,包安明,易秋香,等.干旱区绿洲-荒漠化演变中的水足迹表征研究——以新疆天山北坡为例[J].水土保持通报,2012,32(1):171-176.
- [5] Ministry of Nature Protection of Turkmenistan. Country study on the status of biodiversity of turkmenistan [M]. Ashgabat:Ministry of Nature Protection,2002.
- [6] 李立凡,刘锦前.中亚水资源合作开发及其前景——兼论上海合作组织的深化发展战略[J].外交学院学报,2005,31(1):36-41.
- [7] 冯怀信.水资源与中亚地区安全[J].俄罗斯中亚东欧研究,2004,34(4):63-69.
- [8] 付颖昕.中亚的跨境河流与国家关系[D].甘肃:兰州大学,2009.
- [9] 张宝山,依麻木·阿吉.中国新疆与土库曼斯坦农业发展及合作问题研究[J].新疆财经,2006,33(4):44-47+52.
- [10] 联合国粮农组织. FAOSTAT[EB/OL]. [2013-10-15]. <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/E>.
- [11] 李泽红,董锁成,李宇,等.武威绿洲农业水足迹变化及其驱动机制研究[J].自然资源学报,2013,28(3):410-416.
- [12] 韩舒,师庆东,于洋,等.新疆 1999-2009 年水足迹计算与分析[J].干旱区地理,2013,36(2):364-370.
- [13] 龙爱华,徐中民,张志强.西北四省(区)2000 年的水资源足迹[J].冰川冻土,2003,25(6):692-700.
- [14] 封志明,刘登伟.京津冀地区水资源供需平衡及其水资源承载力[J].自然资源学报,2006,21(5):689-699.
- [15] 张丹,封志明,刘登伟.基于负载指数的中国水资源三级流域分区开发潜力评价[J].资源科学,2008,30(10):1471-1477.
- [16] 王新华,徐中民,龙爱华.中国 2000 年水足迹的初步计算分析[J].冰川冻土,2005,27(5):774-780.
- [17] 中国驻土库曼斯坦大使馆经济商务参赞处.2008 年土库曼棉花产量近年来首超百万吨[EB/OL]. [2013-10]. <http://tm.mofcom.gov.cn/article/jmxw/200901/20090105986594.shtml>.
- [18] 潘文俊,曹文志,王飞飞,等.基于水足迹理论的九龙江流域水资源评价[J].资源科学,2012,34(10):1905-1912.

(上接第 37 页)

- [2] 刘志斌,王永,邵立南.基于层次分析法的地下水质量评价[J].露天采矿技术,2006,2:48-50.
- [3] 肖建军,毛剑英,石来元,等.湖库水质评价污染因子选择方案探讨[J].中国环境监测,2005,21(4):53-55.
- [4] 史永松,刘德启.苏州市外城河水水质变化趋势及对策研究[J].环境科学与管理,2008,33(6):47-49+52.
- [5] 陈科,徐达.湛江市城区地下水污染因子灰色关联分析[J].广东水利水电,2009(3):37-39+46.
- [6] 张丽旭,赵敏,时俊.长江口近岸表层海水污染因子的分类判别与环境质量综合评价[J].海洋湖沼通报,2010,3:107-114.
- [7] 鲍琨,逢勇,孙瀚.基于控制断面水质达标的水环境容量计算方法研究——以殷村港为例[J].资源科学,2011,33(2):249-252.
- [8] 孟伟.流域水污染物总量控制技术与示范[M].北京:中国环境科学出版社,2008.
- [9] 孟伟,张远,郑丙辉.水环境质量基准、标准与流域水污染总量控制策略[J].环境科学研究,2006,19(3):1-6.
- [10] 孟伟,张楠,张远,等.流域水质目标管理技术研究(I)—控制单元的总量控制技术[J].环境科学研究,2007,20(4):1-8.
- [11] 肖惠兴.京杭运河徐扬段船舶污染综合整治研究[J].现代交通技术,2010,7(2):89-92.
- [12] 周桂良,毛丽娜,费志浩.京杭运河淮安段船舶污染防治研究[J].物流工程与管理,2009,31(7):82-83.