

赵 慧,尹庆民,田贵良. 居民虚拟水消费测算模型及实证研究[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):320-324.

居民虚拟水消费测算模型及实证研究

赵 慧^{1,2}, 尹庆民^{1,3}, 田贵良^{1,2}

(1. 河海大学商学院, 江苏南京 211100; 2. 河海大学投资研究所, 江苏南京 211100;

3. 江苏沿海资源经济研究中心, 江苏南京 211100)

摘要:水资源是影响人类生存及生产活动的重要因素,不同消费模式对水资源配置影响不同,运用农、畜产品虚拟水含量计算模型和虚拟水消费特征指数,在分析江苏省 2000—2011 年居民虚拟水消费量的基础上,通过设定 3 种消费模式调整方案,测算并比较不同模式下虚拟水消费量节约情况和消费特征变化情况。结果表明:城镇居民虚拟水消费量保持稳定,农村居民虚拟水消费量呈下降趋势,且城乡居民的消费结构日趋合理,虚拟水消费多样性指数及均衡性指数越来越高;粮食产品的消费减少是造成虚拟水消费量下降的主要原因;以虚拟水含量低的产品代替虚拟水含量高的产品,改变当前虚拟水消费模式,可以有效节约虚拟水消费量。

关键词:虚拟水;消费模式;消费结构;消费特征

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)02-0320-04

随着我国经济的发展和人口的激增,水资源短缺现象越来越严重,已成为制约我国国民经济发展的瓶颈^[1]。人口增长、技术变化、消费增加是水资源危机产生的主要原因^[2]。20 世纪 90 年代英国学者提出了“虚拟水”这一概念,将水资源与粮食问题紧密联系起来,为解决水资源合理配置与粮食安全等问题提供了新途径。此后,各国学者从多角度展开了对虚拟水的研究。“虚拟水战略”是指缺水国家或地区通过贸易的方式从富水国家或地区购买水密集型农产品,尤其是粮食,保证水、粮食安全。不同地区的虚拟水战略千差万别,虚拟水战略的选择与该区域的经济发达程度密切相关,具有明显的地域性。Dennis 从经济学角度阐述了虚拟水的应用优势^[3]。虚拟水实证研究范围不断扩大,涉及到埃及、黎巴嫩、日本等国,虚拟水贸易研究引起了学者们的高度重视。虚拟水战略对我国资源安全具有重要意义。马静等与 Hoekstra 合作,以我国南北方及各区域的虚拟水贸易量为切入点,计算了我国各区域的虚拟水流量,率先将虚拟水理论应用于我国实际贸易中^[4]。许长新等从节水效应、经济价值角度阐述了虚拟水战略的经济学内涵,并对虚拟水贸易在我国经济增长中的贡献份额进行了实证分析^[5]。谢卫奇等提出一套完整的水资源评价指标体系,为虚拟水贸易战略的科学运用提供了决策支持^[6]。目前关于虚拟水与消费模式关系研究较为少见^[7-9]。本研究对居民消费模式与虚拟水消费特征关系进行了分析,介绍了虚拟水计算方法并建立了虚拟水消费特征评价模型,并以江苏省 2000—2011 年主要居民消费品的虚拟水为例,研究了居民消费模式变化对虚拟水消费结构及消费特征的影响,旨在为解决我国水资源短缺问题提供依据。

1 虚拟水计算方法及消费特征评价模型

1.1 虚拟水计算方法

1.1.1 农产品虚拟水含量计算方法 综合现有研究,利用公式(1)计算农产品虚拟水量化。

$$D_{nc} = W_{nc} / Y_{nc} \quad (1)$$

式中: D_{nc} 表示 n 区域内 c 作物的虚拟水含量 (m^3/t), W_{nc} 为该区域 c 作物的需水量 (m^3/hm^2), Y_{nc} 为该区域 c 作物的产量 (t/hm^2)。

根据农作物累积蒸发蒸腾水量 ET_c 来计算需水量 W_{nc} , E_{Tc} 计算方法见公式(2)。

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (2)$$

式中: K_c 表示农作物系数,是计算农作物需水量的重要参数。 ET_0 表示作物蒸发蒸腾量参考值,是在忽略作物类型、作物发育、管理措施等因素的基础上,计算的作物需水量,计算方法见公式(3)。

$$ET_0 = \frac{0.408 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \times \frac{900}{T + 273} \times U_2 \times (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma \times (1 + 0.34 \times U_2)} \quad (3)$$

式中: Δ 为饱和水汽压与温度相关曲线的斜率, $\text{kPa}/^\circ\text{C}$; R_n 为作物表面净辐射, $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; G 为土壤热通量, $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; T 为温度平均值, $^\circ\text{C}$; U_2 为 2 m 高处的风速, m/s ; e_a 为饱和水汽压, kPa ; e_d 为实测水汽压, kPa ; γ 为温度常数。

1.1.2 畜产品虚拟水含量计算方法 国内外学者多用生产树方法计算畜产品的虚拟水含量。因为此方法计算结果很大程度上依赖于动物类型、饲养结构、自然环境条件,因此量化过程较农产品更为复杂。畜产品虚拟水含量计算流程见图 1^[10-11]。

1.2 虚拟水消费特征评价方法

1.2.1 虚拟水消费多样性指数 虚拟水消费多样性指数反映虚拟水消费水平的高低,用不同消费类别虚拟水的比例作为测算消费结构与水资源利用效率之间关系的指标^[12-13],测

收稿日期:2013-07-11

基金项目:国家自然科学基金(编号:41001377,51279058);江苏沿海资源经济研究中心研究项目。

作者简介:赵 慧(1990—),女,河北唐山人,硕士研究生,主要从事基础设施投融资研究。E-mail:wennie@foxmail.com。

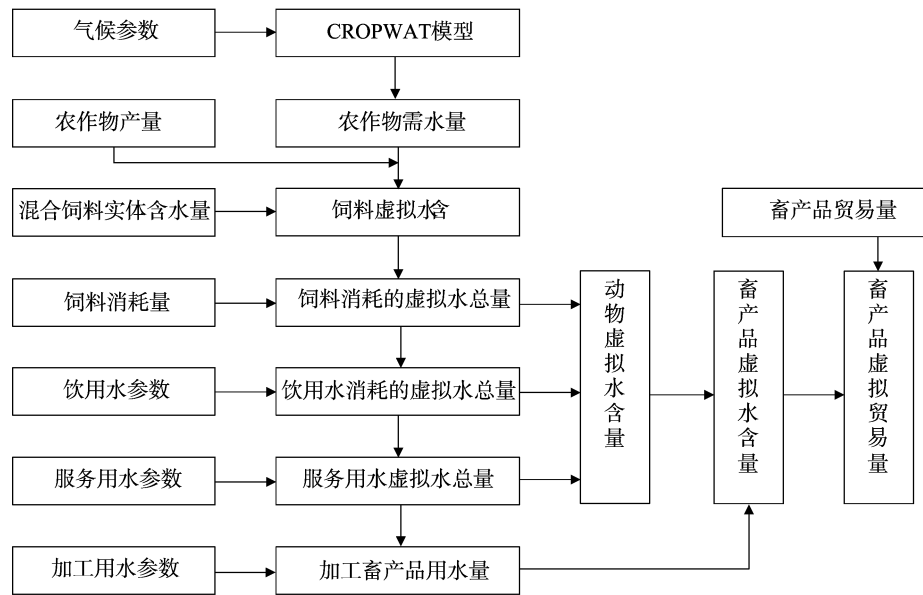


图1 畜产品虚拟水含量计算流程

算值越大,表明虚拟水消费多样性越高。采用公式(4)计算虚拟水消费多样性指数。

$$H = - \sum_i (p_i \times \ln p_i) \tag{4}$$

式中: H 表示虚拟水消费多样性指数, p_i 表示各消费类别虚拟水比例, i 指粮食、蔬菜、水果、猪肉、牛羊肉、家禽、蛋类、奶类、糖类、酒、饮料、水产品等消费类别。

1.2.2 虚拟水消费均匀性指数 虚拟水消费均匀性指数反映虚拟水消费的均匀程度,从公式(4)可以看出,消费品类别以及消费品分配的均匀性共同影响虚拟水消费多样性指数,各类消费品分配的越均匀,多样性指数越高。虚拟水消费均匀性指数计算方法见公式(5)^[14]。最大虚拟水消费多样性指数计算方法见公式(6)。

$$E = H/H_{\max} \tag{5}$$

式中: E 表示虚拟水消费均匀性指数; H 表示虚拟水消费多样性指数; H_{\max} 表示最大虚拟水消费多样性指数。

$$H_{\max} = -S \left[\frac{1}{S} \ln \left(\frac{1}{S} \right) \right] = \ln S \tag{6}$$

式中 S 表示消费品类别数。

2 居民虚拟水消费测算实证分析

江苏省位于我国东南沿海地区,水域面积占全省总面积的17%。虽然江苏省水资源丰富,但是人均水资源占有量严重不足。以2012年为例,江苏省水资源总量约347亿 m^3 ,人均水资源占有量不足500 m^3 ,全省降水量时空分布不均,水资源南丰北枯,同时水资源污染日益严重,资源性缺水与水质性缺水并存,缺水已经成为制约江苏省经济社会发展的重要因素。

2.1 江苏省城镇居民虚拟水消费结构变化

2000—2011年江苏省城镇居民及农村居民虚拟水消费量如表1、表2所示。

表1 2000—2011年江苏省城镇居民人均虚拟水消费量

$\text{m}^3/\text{年}$

年份	粮食	油脂类	蔬菜	水果	肉禽类	蛋奶类	副食品	总计
2000	149.88	65.93	15.75	38.88	136.88	129.16	88.92	625.41
2001	146.44	65.19	16.30	43.75	128.00	134.74	93.67	628.09
2002	155.81	66.01	17.68	48.52	156.27	158.55	96.65	699.49
2003	147.44	68.15	16.47	41.90	156.16	159.03	92.42	681.58
2004	145.49	67.04	17.10	44.19	154.57	154.59	87.93	670.92
2005	137.56	64.90	15.71	42.53	158.97	141.97	84.23	645.86
2006	137.97	67.64	16.39	45.58	154.47	146.83	87.15	656.02
2007	135.11	66.82	17.00	43.99	141.91	142.67	93.08	640.58
2008	136.75	68.97	17.37	40.34	141.20	141.09	89.24	634.96
2009	130.07	65.27	17.49	43.23	147.23	135.79	91.23	630.30
2010	129.77	60.83	18.23	44.64	156.12	138.00	91.17	638.77
2011	123.46	62.46	17.30	38.80	160.08	145.39	87.22	634.71

由表1可知,2000—2011年江苏省城镇居民人均虚拟水消费量呈先上升后下降趋势,表明城镇居民在不断调整消费结构。粮食、肉禽类、蛋奶类虚拟水消费量所占比重较大,均为20%~25%。江苏省人均粮食消费量大,肉禽类及蛋奶类产品单位虚拟水含量较高。由于蔬菜类产品单位虚拟水含量

很低,因此虽然江苏省人均蔬菜类产品消费量大,但蔬菜类产品人均虚拟水含量最低。2000—2011年江苏省城镇居民粮食类产品消费比重呈下降趋势,高营养的肉禽类及蛋奶类产品消费比重呈上升趋势,油脂类、蔬菜类、水果类、副食品产品消费比重则一直保持平稳状态,这主要是因为随着人们收入

水平的提高,消费观念开始转变,朝着更加合理健康的方向发展。

2.2 江苏省农村居民虚拟水消费结构变化

由表 2 可知,2000—2011 年江苏省农村居民人均虚拟水消费量总体呈下降趋势,且变化幅度较大,其中,粮食类产品虚拟水消费量比重最大,始终保持在 50% 以上。粮食类产品消费量的下降是导致江苏省农村居民虚拟水消费量下降的主要原因。2000—2011 年江苏省农村居民肉禽类、副食品、蛋奶类消费量逐渐增加,由此可知,江苏省农村居民消费结构较

为单一且消费水平不高。2010 年之前江苏省农村居民虚拟水消费量远高于城镇居民,这主要是因为农村居民与城镇居民粮食产品消费量存在巨大差异。除了油脂类及蔬菜类,城镇居民的其他类别产品消费量都高于农村居民,一方面反映城镇居民的消费结构更加合理,另一方面也反映出城镇居民与农村居民的收入水平差别较大。由于城镇居民收入高,因而对肉禽类、蛋奶类、副食品的消费量也较高,农村居民收入低,则倾向于粮食产品。整体来看,江苏省居民消费水平逐步提高,消费结构逐渐完善。

表 2 2000—2011 年江苏省农村居民人均虚拟水消费量 m³/年

年份	粮食	油脂类	蔬菜	水果	肉禽类	蛋奶类	副食品	总计
2000	569.6	71.04	17.4	17.3	71.88	70.9	51.25	869.33
2001	526.3	71.04	16.5	19.2	67.20	54.5	51.41	806.11
2002	521.1	71.78	16.2	13.6	70.18	53.6	55.08	801.62
2003	500.4	61.42	16.4	14.3	72.62	58.0	59.86	782.87
2004	461.8	40.70	17.6	14.0	70.68	56.8	58.81	720.32
2005	412.4	59.94	16.3	14.8	89.24	55.4	67.54	715.57
2006	432.8	65.86	17.0	16.7	88.93	59.7	71.29	752.25
2007	424.1	62.90	17.2	16.0	83.49	54.5	75.81	733.93
2008	400.9	66.60	17.0	14.6	81.50	66.6	72.81	720.09
2009	396.8	66.60	16.1	14.9	84.78	62.1	72.28	713.60
2010	349.3	53.28	16.0	7.5	90.86	59.0	73.70	649.76
2011	312.4	58.46	14.0	8.4	89.18	55.4	69.04	606.75

3 不同消费模式下的消费结构与特征

江苏省作为严重缺水的省份,通过实施虚拟水战略,降低全省虚拟水消费总量,具有重要的战略意义。减少虚拟水人均消费量必然能减少虚拟水消费总量,降低虚拟水人均消费量最有效的办法是调整现有消费模式。

3.1 城乡消费模式调整方案

随着经济的发展,通过控制消费总量来改变现有的消费模式并不现实。因此,可以通过调整消费结构来改变当前的消费模式。由虚拟水理论可知,产品链上位置越高的产品,虚拟水含量越高。如水稻、玉米、大豆、谷子等主要农作物虚拟水含量分别为 0.64、0.18、0.53、0.62 m³/kg,猪肉、牛羊肉、蛋类的虚拟水含量分别为 3.65、19.3、8.65 m³/kg。由此可知,可以通过调整消费结构,减少肉类等虚拟水含量高的产品消费量,达到调整消费模式的目的。按照卡路里摄入量相等的原则调整蔬菜类、肉类的消费比例,表 3 设定了几种消费结构调整方案^[15]。

表 3 城乡消费结构调整方案

消费模式	调整措施
模式 0	现有消费模式,不调整
模式 1	肉类消费量减少 1/3,蔬菜消费量增加 8/3 倍
模式 2	肉类消费量减少 1/2,蔬菜消费量增加 3 倍
模式 3	肉类消费量减少 1/4,蔬菜消费量增加 5/3 倍

3.2 不同消费结构下虚拟水消费量

由表 4 可知,与模式 0 相比,3 种方案都不同程度地减少了城乡居民人均虚拟水消费量。城镇居民人均虚拟水消费量在模式 1、模式 2、模式 3 中最大节约量分别为 79.81、48.08、

108.76 m³/年。农村居民人均虚拟水消费量在模式 1、模式 2、模式 3 中最大节约量分别为 36.16、16.63、57.57 m³/年。由此可见,无论是城镇还是乡村,都是模式 3 的节水效果最为显著。

3.3 不同城乡消费结构下虚拟水消费特征

改变消费结构不仅会影响人均虚拟水消费量,同时也会改变虚拟水消费特征,从而改变人们的生活方式。本研究选取最具代表性的 2 个虚拟水消费特征指标:虚拟水消费多样性指数及虚拟水消费均匀性指数,测算调整城乡消费结构后,虚拟水消费量变化情况。由图 2、图 3 可以看出,4 种模式下虚拟水消费多样性指数都呈现逐年上升态势,针对每一特定年份,与实际消费情况相比,无论是城镇还是农村,模式 3 的虚拟水消费多样性指数均最低,模式 2 的虚拟水消费多样性指数均最高。针对每一特定年份,无论是城镇还是农村,模式 2 的虚拟水消费均衡性指数均最高,城镇居民虚拟水消费均衡性指数较为稳定,农村居民虚拟水消费均衡性指数呈上升趋势。

4 结论

本研究表明,2000—2011 年,江苏省城镇居民人均虚拟水消费量保持稳定,农村居民人均虚拟水消费量呈下降趋势,2011 年之前,农村居民人均虚拟水消费量高于城镇居民,这主要是由于不同消费人群对粮食产品需求量不同。虚拟水消费量的决定因素是实物消费量,其中最重要的因素是粮食、肉禽类。可以减少粮食消费量,并以虚拟水含量较低的产品(如蔬菜)替代虚拟水含量高的产品(如肉类),从而改善居民消费结构,降低虚拟水消费量,将节约的水资源应用于工业。江苏省城镇及农村居民的虚拟水消费多样性指数及均衡性指

表 4 城乡不同消费结构下可节约的虚拟水消费量

m³/年

地区	年份	模式 0	模式 1		模式 2		模式 3	
		人均虚拟水消费量	人均虚拟水消费量	节约虚拟水量	人均虚拟水消费量	节约虚拟水量	人均虚拟水消费量	节约虚拟水量
城镇	2000	625.41	560.40	65.00	588.47	36.94	533.25	92.16
	2001	628.09	569.91	58.17	596.68	31.41	542.95	85.14
	2002	699.49	624.77	74.72	656.71	42.78	594.07	105.42
	2003	681.58	604.93	76.65	636.45	45.14	575.44	106.14
	2004	670.92	596.37	74.54	627.83	43.08	566.39	104.53
	2005	636.61	556.80	79.81	588.53	48.08	527.85	108.76
	2006	651.77	576.11	75.66	607.32	44.45	546.84	104.92
	2007	637.58	571.30	66.28	600.62	36.96	542.48	95.10
	2008	634.56	569.38	65.18	598.71	35.85	540.24	94.32
	2009	629.27	560.26	69.01	590.63	38.64	530.51	98.77
	2010	629.25	555.56	73.70	587.66	41.60	524.32	104.94
农村	2011	634.72	556.84	77.88	589.29	45.44	526.20	108.52
	2000	869.33	850.33	19.00	868.10	1.23	826.99	42.34
	2001	806.11	788.81	17.30	805.51	0.60	766.71	39.40
	2002	801.62	781.83	19.79	798.93	2.69	759.79	41.83
	2003	782.87	761.73	21.14	779.29	3.58	739.32	43.56
	2004	720.32	702.48	17.84	720.12	0.21	679.03	41.30
	2005	715.57	683.30	32.27	703.62	11.95	659.53	56.04
	2006	752.25	721.29	30.96	741.77	10.47	696.88	55.37
	2007	733.93	706.89	27.04	726.53	7.40	682.76	51.17
	2008	720.09	694.16	25.93	713.42	6.67	670.33	49.76
	2009	713.60	683.97	29.63	703.48	10.12	660.78	52.83
	2010	649.76	615.93	33.83	636.43	13.33	592.31	57.45
	2011	606.75	570.60	36.16	590.12	16.63	549.18	57.57

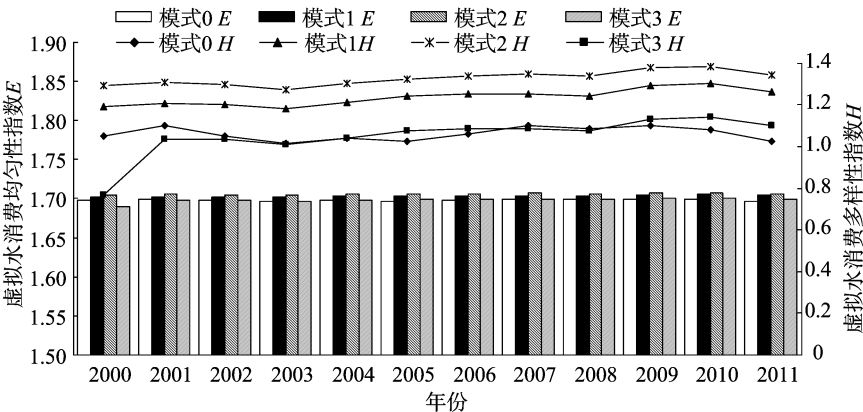


图2 江苏省城镇居民虚拟水消费特征变化

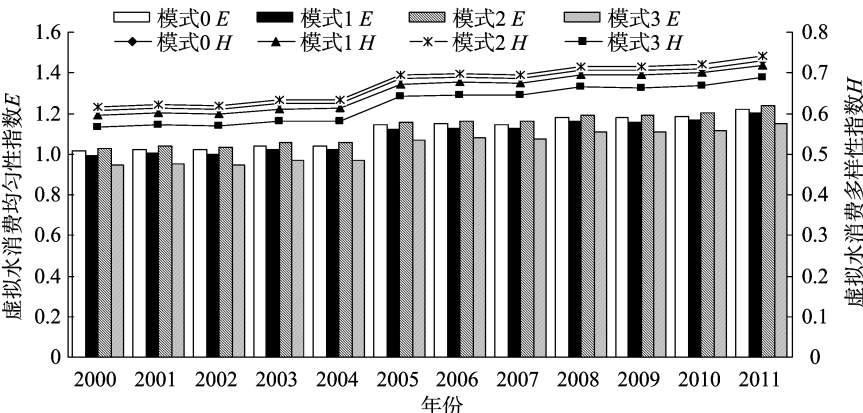


图3 江苏省农村居民虚拟水消费特征变化

刘桓嘉,刘永丽,张宏忠,等. 城市污泥堆肥土地利用及环境风险综述[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):324-326.

城市污泥堆肥土地利用及环境风险综述

刘桓嘉¹, 刘永丽², 张宏忠¹, 魏明宝¹

(1. 郑州轻工业学院材料与化学工程学院, 河南郑州 450001; 2. 郑州大学化工与能源学院, 河南郑州 450001)

摘要:污泥中含有大量的有机质及氮、磷等营养元素,污泥堆肥土地利用是国内外城市污泥最重要的处置方式。介绍了污泥堆肥土地利用的历史及现状,分析总结了国内外关于污泥堆肥环境风险的研究成果。

关键词:污泥堆肥;土地利用;重金属;环境风险

中图分类号: X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)02-0324-03

随着我国城市化进程的加快以及污水深度处理效率的提高,城市污水处理的副产物——污泥产量急剧增加。将城市生活污水堆肥后加以利用是符合我国国情的一种污泥处理方式,这种处理方式在美国、欧盟等国家也十分流行^[1]。城市污泥土地利用能够改善土壤理化性质、减小土壤密度、促进作物生长、提高土壤保水能力,同时能缓和因大量施用化肥造成的土壤板结、肥效下降等问题,但土壤中的盐分、持久性有机污染物、重金属等有害成分增加了土地利用的环境风险^[2-6]。目前,污水污泥处置方式主要包括焚烧、填埋、制作建筑材料、土地利用等。卫生填埋在有条件的地方可以作为一种处置方式,但需要在底部铺设防水层以防地下水污染,而且应经过稳定化处理,这种处置方式成本相对较低,但需要特殊的位置条件;焚烧法处理污泥最彻底,减量化程度最大,但成本较高,焚

烧过程中由于污泥盐分含量高,对设备的腐蚀性较强;利用污泥制作陶粒、砖等建筑材料,重金属滤出量极少,对于重金属污染较严重的工业污水污泥来说是一条合适的利用途径,但对于城市生活污水而言,这种处置方式浪费了大量的有机质、氮、磷、钙、镁等营养元素,同时处理量少,不能处理大量污泥。我国是农业大国,滥用化肥现象严重,污泥经堆肥后几乎可以杀死全部的病原菌、寄生虫、杂草种子^[7]。本研究对城市污泥堆肥土地利用及环境风险作了介绍,并指出今后城市污泥堆肥土地利用的发展方向。

1 城市污泥堆肥土地利用

1.1 城市污泥堆肥在林业上的应用

随着城镇化建设的不断加快,城市污泥堆肥在林地、园林绿化等方面的应用越来越多。污泥经堆肥后用于林业是一种安全、有效、可行的利用途径,可以改善林地土壤肥力,为林地植物生长提供营养^[8]。研究表明,污泥堆肥后土壤有机质含量、总氮、总磷含量均有不同程度的增加,与对照相比,榆树树高增加了11%~25%,径粗增加了19%~50%,增加了木材产量^[9]。污泥堆肥不仅能促进乔木生长,还能促进灌木

水电,2006(2):32-34.

[8] 龙爱华,张志强,徐中民,等. 甘肃省水资源足迹与消费模式分析[J]. 水科学进展,2005,16(3):418-425.

[9] 尚海洋,徐中民,王思远. 不同消费模式下虚拟水消费比较[J]. 中国人口·资源与环境,2009,19(4):50-54.

[10] 纪尚安. 我国农产品虚拟水贸易研究[D]. 青岛:青岛大学,2008.

[11] 王红瑞,王军红. 中国畜产品的虚拟水含量[J]. 环境科学,2006,27(4):609-615.

[12] Tilman D, Wedin D, Knops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems[J]. Nature, 1996, 379:718-720.

[13] Xu Z M, Cheng G D, Chen D J, et al. Economic diversity, development capacity and sustainable development of China[J]. Ecological Economics, 2002, 40(3):369-378.

[14] Rich N A. Diversity and stability in a street tree population[J]. Urban Ecology, 1983, 7(2):159-171.

[15] 杨万江. 我国国民食物消费水平变化的国际比较[J]. 消费经济, 2002(1):51-53.

收稿日期:2013-06-02

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(编号:2012ZX07204-001); 河南省重大公益性科研招标项目(编号:101100910300)。

作者简介:刘桓嘉(1987—),男,河南扶沟人,硕士研究生,主要从事污泥无害化与资源化利用研究。E-mail:catkinsimple@163.com。

数近年来呈上升态势,表明居民的饮食结构逐步改善。目前江苏省正面临资源环境恶化和经济结构转型的双重压力,研究居民虚拟水消费现状对于保持社会可持续发展具有重要意义。

参考文献:

- [1] 田贵良. 虚拟水贸易论[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.
- [2] 刘晶茹,王如松,杨建新. 可持续发展研究新方向:家庭可持续消费研究[J]. 中国人口·资源与环境,2003,13(1):6-8.
- [3] Dennis W. The role of 'virtual water' water in efforts to achieve food security and other national goals, with an example from Egypt[J]. Agricultural Water Management, 2001, 49(2):131-151.
- [4] 马静,汪党献,Hoekstra A Y. 虚拟水贸易与跨流域调水[J]. 中国水利,2004(13):37-39.
- [5] 许长新,马超,田贵良,等. 虚拟水贸易对区域经济的作用机理及贡献份额研究[J]. 中国软科学,2011(12):110-119.
- [6] 谢卫奇,田贵良,谢文轩. 虚拟水战略适宜性评价的指标体系研究[J]. 水利经济,2010,28(2):12-15,30.
- [7] 王新华. 消费模式变化对虚拟水消费的影响[J]. 中国农村水利