

# 新疆棉花消费水足迹及其对生态环境影响研究

邓晓军<sup>1,2</sup>, 谢世友<sup>3,4</sup>, 崔天顺<sup>1,2</sup>, 李 艺<sup>1,2</sup>, 李 晖<sup>1,2</sup>

(1. 广西师范大学 环境与资源学院, 广西 桂林 541004; 2. 广西环境工程与保护评价重点实验室, 广西 桂林 541004; 3. 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715; 4. 西南大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715)

**摘 要:** 基于虚拟水和水足迹的理论与方法、棉花生产水资源消费的特征, 提出了棉花消费水足迹的概念及模型, 并对新疆地区 2005 年的棉花消费水足迹进行计算和分析。结果表明: 新疆地区的棉花消费水足迹为  $353.95 \times 10^6 \text{ m}^3$ , 虚拟水外调量为  $3.185.54 \times 10^9 \text{ m}^3$ , 其中蓝水调出量为  $2.290.53 \times 10^9 \text{ m}^3$ , 分别是本地消费水足迹的 9 倍和 6.5 倍。大量的地表水和地下水外流, 给水资源本来就不富裕的南疆地区带来巨大的压力, 严重阻碍着该地区的可持续发展。最后探讨了棉花生产带来的生态环境问题, 并提出了水资源持续利用和环境保护对策。

**关键词:** 虚拟水; 水足迹; 棉花消费水足迹; 生态环境; 新疆地区

**中图分类号:** S152.7; X171.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2009)02-0176-05

## Research of the Water Footprint of Cotton Consumption and Its Effect on Ecological Environment in Southern of Xinjiang

DENG Xiao-jun<sup>1,2</sup>, XIE Shi-you<sup>3,4</sup>, CUI Tian-shun<sup>1,2</sup>, LI Yi<sup>1,2</sup>, Li Hui<sup>1,2</sup>

(1. College of Environmental Science and Resources, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004, China; 2. The Guangxi Key Lab of Environmental Engineering, Protection and Assessment, Guilin, Guangxi 541004, China; 3. School of Geography Science, Southwest University, Chongqing 400715, China; 4. Key Lab of Ecovenvironment of the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** Based on the theory and methods of virtual water and water footprint, combined with the water consumption and its character of cotton production, the paper, taking the Southern of Xinjiang as an example, calculates and analyzes the water footprint of cotton consumption in 2005. The results indicated that the water footprint of cotton consumption is  $3.539.5 \times 10^9 \text{ m}^3$ . And the volume of the virtual water trade is  $3.185.54 \times 10^9 \text{ m}^3$ , the blue water export is  $3.185.54 \times 10^9 \text{ m}^3$ . They are the 9 times and 6.5 times of the local water footprint of cotton consumption. Lots of surface water and groundwater flow into other countries and regions, which has brought enormous pressure to Southern of Xinjiang, where water resource is extraordinary shortage. This is a serious impediment to the local sustainable development. In the end, the paper also analyzes some environmental and ecological problems, and provides multiple countermeasures for the sustainable utilization of water resources and the environmental protection.

**Key words:** virtual water; water footprint; the water footprint of cotton consumption; ecological environment; Southern of Xinjiang

新疆地处欧亚大陆腹地, 降水稀少、气候干燥、蒸发强烈, 是我国乃至世界上最严重的干旱区之一。随着人口的不断增长和西部大开发战略实施带来的经济社会的快速发展, 水资源短缺已成为新疆面临的最主要的生态环境和社会经济问题之一。南疆地区位于新疆南部塔里木盆地内, 包括巴音郭楞蒙古

自治州、阿克苏地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州、喀什地区及和田地区等五个地州, 是全国重要的棉花生产基地。而棉花的生产过程不仅和水资源的消耗紧密联系在一起, 还因使用农药化肥等对生态环境的影响也较大, 因此, 如实地衡量南疆地区的棉花生产水资源消费现状, 对科学管理水资源、合理规划棉

\* 收稿日期: 2008-12-18

基金项目: 国家科技支撑计划(2006BAC01A16); 广西师范大学青年基金项目

作者简介: 邓晓军(1981-), 男, 江西吉安人, 硕士, 助教, 主要从事水土保持, 岩溶环境, 资源开发与区域可持续发展等方面的研究。E-mail: mijun45 @163.com

花生产及解决其引起的生态环境问题有着十分重要的意义。

为了定量测度人类活动对水资源的需求与自然界的供给之间的差距,并通过商品贸易来解决区域水匮乏问题,Allan 和 Hoekstra 分别提出了虚拟水概念和水足迹研究方法<sup>[1-2]</sup>。2002 年 12 月在荷兰举行了第一次关于虚拟水的国际会议,2003 年 3 月在日本召开的第三届世界水论坛上对虚拟水贸易进行了专题讨论<sup>[3]</sup>。自此之后,国外的虚拟水和水足迹研究迅速发展并日臻完善,在国内程国栋、徐中民、龙爱华、王新华等人近年来利用该方法对区域的虚拟水消费进行了研究,并探讨了人口、技术、消费模式等因素对水足迹的影响<sup>[4-9]</sup>,取得了一定的成果。但以往的研究多集中在区域的水资源利用评价,而对单个产品水足迹的研究比较少。本文拟将水足迹理论与方法引入到棉花生产水资源消费研究中,通过构建棉花消费水足迹模型定量表示棉花生产对水资源系统的压力和程度,并为水资源可持续利用和环境保护提供合理的对策建议。

1 棉花消费水足迹模型

1.1 绿水、蓝水和稀释水

棉花的生产过程可分成棉花作物生长过程和棉花产品加工过程两部分。据 Falkenmark<sup>[10]</sup>,我们可以用“绿水”来表示赋存于土壤非饱和含水层中以蒸散的形式为植物利用的那部分降水,即通常所说的土壤水,用“蓝水”来表示赋存于河流、湖泊及含水层中的地表和地下水。因此,作物生长过程中消耗的水资源量就是其消耗的绿水和蓝水之和。此外,在棉花生长过程中必须施加肥料和喷洒农药,在棉花加工过程中也需添加一些化学药品,因而可把用于稀释各种化学药剂所造成水质污染的水资源量称为稀释水。

1.2 各级棉花虚拟水含量

籽棉是棉花生产的初级产品,籽棉虚拟水含量就是指棉花作物生长过程中所消耗的水资源量,包括土壤水(绿水)和灌溉用水(蓝水)两部分。作物绿

水虚拟水含量可通过有效降水和作物产量的比值来计算,作物蓝水虚拟水含量也可通过灌溉用水量和作物产量的比值来估算,籽棉的虚拟水含量就是绿水虚拟水与蓝水虚拟水之和,其它各级棉花加工产品的虚拟水含量可根据籽棉的虚拟水含量和产品转化率来计算。

$$V_g = \frac{P_e}{Y} \tag{1}$$

$$V_b = \frac{I}{Y} \tag{2}$$

$$V_{sc} = V_g + V_b \tag{3}$$

$$V_i = K_i \cdot V_{sc} \tag{4}$$

式中:  $V_g, V_b$ ——绿水和蓝水虚拟水含量;  $P_e$ ——有效降水;  $Y$ ——作物产量;  $I$ ——灌溉用水量;  $V_{sc}$ ——指籽棉的虚拟水含量;  $V_i, K_i$ ——第  $i$  级棉花加工产品和产品转化率。

1.3 棉花消费水足迹

根据水足迹的概念<sup>[11]</sup>,一个国家或地区的棉花消费水足迹就是该国家或地区居民消费的棉花产品生产过程中所耗费的水资源量,也是由内部棉花水足迹和外部棉花水足迹两部分构成,其值等于蓝水足迹、绿水足迹和稀释水足迹之和。

$$WF_c = IWF_c + EWF_c = W F_b + W F_g + W F_d \tag{5}$$

式中:  $WF_c$ ——棉花消费水足迹;  $IWF_c$ ——内部棉花水足迹;  $EWF_c$ ——外部棉花水足迹;  $W F_b$ ——蓝水足迹;  $W F_g$ ——绿水足迹;  $W F_d$ ——稀释水足迹。

2 2005 年南疆地区棉花消费水足迹计算分析

2.1 籽棉虚拟水含量

籽棉虚拟水含量等于有效降水量与灌溉用水量之和,单位面积的有效降水和灌溉用水可以使用 Cropwat 软件来计算,各单位面积用水量乘以棉花作物种植面积就等于对应的水消耗量。计算所需数据来自 FAO 的 Climate 数据库中的南疆地区各州市多年平均气象资料<sup>[12]</sup>和《新疆统计年鉴 2006》<sup>[13]</sup>。

表 1 南疆地区棉花作物消费用水

项目	生产需水/	有效降水/	蓝水需求/	灌溉比重/	消费用水/ mm		
	mm	mm	mm	%	蓝水	绿水	总计
巴音郭楞蒙古自治州	637	283	354	86.57	307	283	590
克孜勒苏柯尔克孜自治州	852	76	776	70.07	544	76	620
阿克苏地区	898	82	816	78.72	642	82	724
和田地区	825	52	773	71.49	553	52	605
喀什地区	852	76	776	73.47	570	76	646

表 2 籽棉的水消耗量和虚拟水含量

项目	水消耗量/ (10 <sup>7</sup> m <sup>3</sup> ·a <sup>-1</sup> )			籽棉产量/ (10 <sup>6</sup> kg ·a <sup>-1</sup> )	虚拟水含量/ (m <sup>3</sup> ·kg <sup>-1</sup> )		
	蓝水	绿水	总量		蓝水	绿水	总量
巴音郭楞蒙古自治州	29.54	27.23	56.77	169.38	1.744	1.608	3.352
克孜勒苏柯尔克孜自治州	3.16	0.42	3.58	7.76	4.072	0.541	4.613
阿克苏地区	108.68	13.88	122.56	300.58	3.616	0.462	4.077
和田地区	12.03	1.13	13.16	39.07	3.079	0.289	3.368
喀什地区	97.44	12.99	110.43	275.00	3.543	0.472	4.016
平均	-	-	-	-	3.211	0.674	3.871
合计	250.85	55.65	306.50	791.79	-	-	-

注:本文只对地方棉花生产进行研究,因而不把兵团所属农场棉花生产考虑在内。

2.2 各级棉产品虚拟水含量

棉布的生产加工包括去籽、纺纱、织造和染整 4 项工艺过程。籽棉经过去籽加工成皮棉,皮棉经纺纱和织造加工成棉纱和坯布。染整则是用化学方法和

一部分物理机械方法把坯布加工成棉布的过程,通过整理加工,可以提高纤维及其制品的服用性能并改善其外观。这四种棉花加工产品的虚拟水含量计算见下表 3,其结果不包括漂白、染色等化学处理用水。

表 3 各级棉产品的虚拟水含量 m<sup>3</sup>/kg

项 目	皮棉		棉纱		坯布		最终纺织品		
	蓝水	绿水	蓝水	绿水	蓝水	绿水	蓝水	绿水	总计
巴音郭楞蒙古自治州	3.488	3.216	2.790	2.573	4.186	2.573	5.023	2.573	7.596
克孜勒苏柯尔克孜自治州	8.144	1.082	6.515	0.866	9.773	0.866	11.728	0.866	12.594
阿克苏地区	7.232	0.924	5.786	0.739	8.678	0.739	10.414	0.739	11.153
和田地区	6.158	0.578	4.926	0.462	7.390	0.462	8.868	0.462	9.330
喀什地区	7.086	0.944	5.669	0.755	8.503	0.755	10.204	0.755	10.959
平均	6.422	1.348	5.138	1.078	7.706	1.078	9.247	1.078	10.325

注:据相关部门加工和价格资料,假定加工 1 kg 皮棉需籽棉 2.0 kg、1 kg 棉纱需皮棉 0.8 kg、1 kg 坯布需棉纱 1.5 kg、1 kg 纺织品需坯布 1.2 kg。

2.3 稀释水

2.3.1 用于生长过程的稀释水 棉花生产污染水质在其生长和加工过程都会产生。生长过程的影响首先取决于肥料的施用率和作物的吸收率,其次则跟土壤类型和作物生产阶段可利用的肥料数量有关。土壤中的磷能和其他矿物质反应生成不容易溶解的化合物,所以磷不容易流动而且其过滤比较容易。钾在土壤中的流动性介于磷和氮之间,但是由于钾离子能被土壤胶体离子吸引以至于钾不容易被过滤。氮很容易污染地下水和地表水,并且含有氮形成的亚硝酸根离子 的水对人体十分不利。每吨氮稀释所需要的水可通过过滤氮和可自由排放的地表水中含氮的最高限度来计算。一般采用 EPA 的标准,即每升饮用水中不能超过 10 mg 的氮<sup>[14]</sup>。而几乎所有的农药使用过后都会进入地下水或地表水中。由于杀虫剂和除草剂的数据难以收集,所以本文对农药影响水质的情况没有进行研究。

2.3.2 用于加工过程的稀释水 据美国环保署 (USEPA) 1996 年统计,棉纺品的湿处理阶段(包括漂白、染色和印花等)和最终成品阶段分别要消耗 360 m<sup>3</sup>/t 和 136 m<sup>3</sup>/t 水<sup>[16]</sup>。1996 年联合国环境署

工业与环境规划活动中心 (UNEP IE) 对纺织工厂排放的废水中含有的生化需氧量 (BOD)、化学需氧量 (COD) 和悬浮固体含量 (TSS) 等也做了研究<sup>[17]</sup>。1999 年世界银行 (WB) 对废水的最低排放标准也作出了具体规定<sup>[18]</sup>。2005 年 A. Y. Hoekstra 等人根据这些资料计算了棉纺厂排放污水的参考稀释水标准<sup>[19]</sup>,见表 5。

2.4 虚拟水贸易量

棉花虚拟水贸易量包括国内贸易和国际贸易两部分,考虑到南疆地区的贸易数据尤其是国内贸易数据难以收集,本文拟采用一种与实际情况较接近的情景模式进行大致的测算。由于相比棉花虚拟水流入而言,该区的棉花虚拟水流出是一个巨大的数字,因此我们在计算虚拟水贸易的时候,可以忽略虚拟水流入量。根据该地当年的统计年鉴,本地居民的棉花消费主要在于衣物类购买。假设南疆地区棉花产品的 10 %用于本地居民的消费,则棉花调出量占总产量的 90 %。结合南疆地区棉花期货市场交易情况,我们可假设棉花各级产品产量构成为皮棉 30 %、棉纱 50 %、坯布 15 %、最终纺织品 5 %,由此可计算出虚拟水贸易量见表 6。

表 4 各种肥料的施用率和稀释肥料的水量

项目	平均施肥率/ (kg · hm <sup>-2</sup> )			总施肥量/ (10 <sup>3</sup> kg · a <sup>-1</sup> )			稀释水	
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> · a <sup>-1</sup> )	(m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> )
巴音郭楞蒙古自治州	106	90	54	10200	8661	5196	102	0.602
克孜勒苏柯尔克孜自治州	83	51	27	463	285	151	16	2.062
阿克苏地区	107	69	36	18114	11681	6094	181	0.602
和田地区	108	52	37	2350	1132	805	24	0.614
喀什地区	97	57	28	16581	9744	4786	166	0.604
合 计				47709	31501	17032	489	0.618

注： 假设每生产 1 kg 籽棉需纯氮 0.06 kg； 各肥料施用比来源于参考文献[15],其中巴音郭楞蒙古自治州采用石河子的数据,克孜勒苏柯尔克孜自治州采用阿克苏地区和喀什地区的平均值； 各地的单位面积产量取自《新疆统计年鉴 2006》。

表 5 不同生产阶段稀释水需求量

生产阶段	各种污染物所需稀释水量/ (m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> )			总稀释水量/ (m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> )
	BOD	COD	TSS	
湿处理阶段	6.40	4.92	5.00	0.64
成品阶段	1.20	1.00	2.40	0.24
两个阶段在同一地方	7.60	5.92	7.40	0.76
两个阶段在不同地方	-	-	-	0.88

2.5 结果分析

根据上面的计算,我们可得出 2005 年南疆地区的棉花消费水足迹为 353.95 ×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>,其中蓝水、绿水和稀释水水足迹分别为 254.50 ×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>、49.50 ×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> 和 49.95 ×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>。据统计,南疆地区多年平

均水资源总量为 429 ×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,而 2005 年该区的棉花生产水足迹为 35.40 ×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,占用了水资源总量的 8.25 %。不难看出,蓝水在南疆地区的生产和消费中发挥着很大的作用,它占据了 82.95 %的生产用水和 71.90 %的消费用水。同时,蓝水在虚拟水贸易中也起着举足轻重的作用。从表 6 可以看出,南疆地区调出的虚拟水主要是蓝水,占到水资源总量的 5.33 %,是本地消费水足迹的 6.5 倍。说明该地区 1/20 的地表水和地下水被其他国家和地区使用。一方面是水资源的极度缺乏,另一方面又是水资源的无序开发、低效利用以及大量外流,导致该地区的源流向干流输送的水量逐年减少、河道逐渐断流、水土污染加重和胡杨林不断死亡,生态环境日趋恶化。

表 6 棉花产品虚拟水贸易量

类型	皮棉/ 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	棉纱/ 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	坯布/ 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	最终纺织品/ 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	总计/ 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
蓝 水	686.47	1144.17	343.23	116.66	2290.53
绿 水	144.09	240.06	48.02	13.34	445.50
稀释水	-	-	-	-	449.51
合 计	830.56	1384.22	391.25	129.99	3185.54

相比而言,绿水水足迹要比蓝水水足迹小得多,这也和南疆地区降雨量极少,植物生长水分主要依靠地下水的实际情况相吻合。值得一提的是,棉花生产绝对不能忽视稀释水,它几乎与绿水占据相同的地位。由于国家尤其是南疆地区的环境保护措施比较落后,废水处理远远没有达到国际水准,因而稀释水水足迹可能比实际情况要偏大些。这也就从另一方面说明该地区没有处理的污水量远比本文的计算数据还要多,其对生态环境造成的影响更大。

棉花消费水足迹的影响因素很多,在计算棉花虚拟水时,只能得出一种理想状态下的结果,忽略了因耕作方式和气候类型等因素带来的影响。其次,由于没有污水稀释的真实标准,同时还忽略了用于稀释农药的水量,加上肥料的施用量统计困难,加上各种统计数据 and 实情有差距,且统计的标准也不一

样。因此,本文的计算结果只是一种保守的估算。

3 棉花消费水足迹对生态环境的影响

3.1 直接影响

棉花的生产过程与自然环境关系非常密切。如图 1,一方面棉花的种植和加工要消耗大量的自然资源,另一方面棉花的生产过程中又会污染水土环境。可以看出,棉花消费水足迹对生态环境的直接影响可分为资源消耗和环境污染两部分。在第一阶段中,棉花作物的生长对自然环境的影响主要有三种:棉花的生长消耗绿水从而影响渗入土壤中的雨水的蒸发;棉花的灌溉消耗蓝水从而影响地下和地表水的回流;肥料和杀虫剂等农药的使用导致水质污染。在工业阶段中,主要有两个影响:加工过程中所消耗的地下和地表水以及加工过程因使用化学药

品而产生的大量污水,且后者又需要一定量的清洁的水资源去稀释。此外,大量废水排放农区和污水灌溉也会造成了局部耕地土壤的污染。特别是棉花基地建设中塑料地膜使用量日益增加,造成农业环境的严重污染。

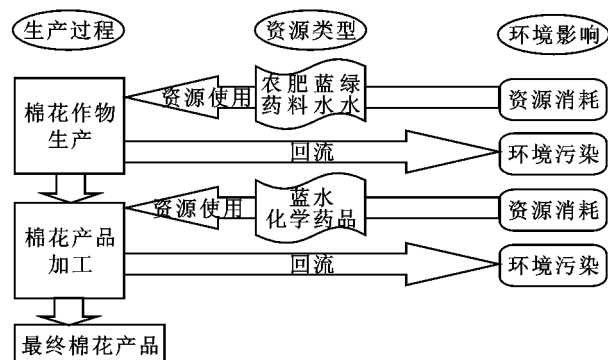


图1 棉花生产对自然环境的影响

### 3.2 间接影响

**3.2.1 天然植被减少** 南疆地区干旱少雨,植物生长所需水分主要靠地下水,而地下水是由地表水转化而来,一旦地表水减少,地下水的补给就会减少或断绝,地下水位就会下降,土壤发生脱湿脱潮,植物生长就会受到抑制。棉花种植大幅度扩展后,由于水资源利用率提高、地下水位下降、生态用水量减少等,引起了自然植被衰退和草地面积减少<sup>[20]</sup>。天然植被大面积破坏,覆盖率下降,其结果自然是沙漠化的加剧,引起生态环境退化的恶性循环。

**3.2.2 沙尘天气增多** 由于引水量的增加,灌区外部土壤严重缺水,加上人为砍伐,大片河谷林及平原草地衰退,地表植被覆盖率减少,表层土壤干燥、松散,为风沙天气的发生起到促进作用<sup>[21]</sup>。盆地西北部的阿克苏灌区,虽然扬沙日数和沙尘暴天气没有增加,但浮尘天气日数显著增加,20世纪80年代以来增加了近一倍,严重污染大气层,影响光照和热量,以致于影响作物的生长,给农牧业生产和居民身体健康带来了极大的危害。

## 4 结语与建议

从以上对棉花消费水足迹的概念、计算模型的介绍以及对2005年南疆地区棉花消费水足迹的计算和分析可以看出,棉花消费水足迹的衡量定量揭示了棉花生产过程中水资源的真实消费状况,同时棉花消费水足迹的分析还如实地反映了棉花生产所引起的生态环境问题,对缓解该地区的水资源短缺及生态环境压力具有重要的启示:

(1) 合理布局棉花产业、优化配置水资源。可根据水资源供给条件,进行棉花种植面积和工业布局

调整,对水资源相对较充裕的上游地区,可考虑适当扩大棉花种植面积,而对于水资源相对比较紧缺的下游地区,可相应地增加棉花加工工业的建设。

(2) 大力开发地下水、调整农业产业结构。南疆地区光热资源丰富,唯受缺水限制,许多地区无法实现复播和发展一年多熟制作物,同时该地区地下水埋深较浅,潜水无效蒸发量较高,容易造成土壤盐渍化。因此,可在开发地下水的前提下适当压缩棉花种植面积,在提高单产保证棉花生产整体效益的同时,加快推进林果畜牧业发展,提高粮食生产收益。

(3) 实施虚拟水战略。棉花生产不但占用了大量生态用水,使生态环境的水分条件发生变化,而且其生产过程中产生的污水会带来严重的水土污染等问题。因此可考虑实施虚拟水战略,从水资源富裕的棉产地进口棉花初级产品并减少最终棉产品等水密集型产品的出口,通过新的“开源节流”来降低本地棉花消费水足迹,合理分配生态用水,减小环境污染,实现区域的可持续发展。

### 参考文献:

- [1] Allan J A. Virtual water: A long term solution for water short Middle Eastern economies[R]. British: University of Leeds, 1997.
- [2] Hoekstra A Y, Hung P Q. Virtual water[C]// Virtual Water Trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade (No. 11), Delft, The Netherlands: IHE, 2002:7-17.
- [3] Hoekstra A Y. Virtual water [C]// Virtual Water Trade: Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade (No. 12), Delft, The Netherlands: IHE, 2003:13-23.
- [4] 程国栋. 虚拟水:中国水资源安全战略的新思路[J]. 中国科学院院刊, 2003(4):260-265.
- [5] 徐中民,龙爱华,张志强. 虚拟水的理论方法及在甘肃省的应用[J]. 地理学报, 2003, 58(6):861-869.
- [6] 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.
- [7] 王新华,徐中民,李应海. 甘肃省2003年的水足迹评价[J]. 自然资源学报, 2005, 20(6):909-915.
- [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, 27(3):418-425.
- [9] 龙爱华,徐中民,王新华,等. 人口、富裕及技术对2000年中国水足迹的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(10):3358-3365.
- [10] Falkenmark M. Land-water linkages: a synopsis 'In: Land and Water Integration and River Basin Management[R], FAO, Rome, 1995:15-16.

(下转第185页)

参考文献:

[1] Pasternak T, Rudas V, Potters G, et al. Morphogenic effects of abiotic stress: reorientation of growth in *Arabidopsis thaliana* seedlings [J]. *Environ Exp Bot*, 2005; 53: 299-314.

[2] Potters G, Pasternak T P, Guisez Y, et al. Stress - induced morphogenic responses: growing out of trouble [J]. *Trends in Plant Science*, 2007, 12(3): 98-105.

[3] Hodge A. The plastic plant: root responses to heterogeneous supplies of nutrients [J]. *New Phytol*, 2004, 162: 9-24.

[4] Lynch J. Root architecture and plant productivity [J]. *Plant Physiology*, 1995, 109: 7-13.

[5] McCully M E. Roots in soil: unearthing the complexities of roots and their rhizospheres [J]. *Annu Rev Plant Physiol Mol Biol*, 1999, 50: 695-718.

[6] Malamy J E. Intrinsic and environmental response pathways that regulate root system architecture [J]. *Plant Cell Environ*, 2005, 28: 67-77.

[7] Liang B M, Sharp R E, Baskin T I. Regulation of Growth Anisotropy in Well - Watered and Water - Stressed Maize Roots (I. Spatial Distribution of Longitudinal, Radial, and Tangential Expansion Rates) [J]. *Plant Physiol*, 1997, 115: 101-111.

[8] Asseng S, Ritchie J T, Smucker A J M, et al. Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat [J]. *Plant and Soil*, 1998, 201: 265-273.

[9] 慕自新, 张岁岐, 郝文芳, 等. 玉米根系形态性状和空间分布对水分利用效率的调控 [J]. *生态学报*, 2005, 25(11): 2895-2900.

[10] 卢庆善, 孙毅, 华泽田. 农作物杂种优势 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001.

[11] Hochholdinger F, Hoecker N. Towards the molecular basis of heterosis [J]. *Trends Plant Sci*, 2007, 12: 427-432.

[12] 苏新宏, 夏宗良, 李潮海. 玉米杂交当代优势研究进展 [J]. *玉米科学*, 2008, 16(1): 44-46.

[13] Davies W J, Wilkinson S, Loveys B. Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture [J]. *New Phytologist*, 2002, 153: 449-460.

[14] Eapen D, Barroso M L, Ponce G, et al. Hydrotropism: root growth responses to water [J]. *Trends Plant Sci*, 2005, 10(1): 44-50.

[15] Bruce W B, Edmeades G O, Barker T C. Molecular and physiological approaches to maize improvement for draught tolerance [J]. *J Exp Bot*, 2002, 53(366): 13-25.

[16] Chaves M M, Maroco J P, Pereira J S. Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant [J]. *Functional Plant Biology*, 2003, 30: 239-264.

[17] Passioura J B. Root and drought resistance [J]. *Agri Water Manag*, 1983, 7: 265-280.

[18] Turner N C. Water use efficiency of crop plants: potential for improvement [M]// Buxton D R, Shibles R, Forsberg R A, et al. *International Crop Science I. WI, USA: Madison*, 1993: 75-82.

[19] Jackson R B, Sperry J S, Dawson T E. Root water uptake and transport: using physiological processes in global predictions [J]. *Trends Plant Sci*, 2000, 5: 482-488.

(上接第 180 页)

[11] Chapagain A K, Hoekstra A Y. Water footprints of nations [C]. *Value of Water Research Report Series (No. 16)*. IHE Delft, 2004: 5-10.

[12] FAO. Water Resources, Development and Management Service: A climatic database for CROWAT [DB/OL]. <http://www.fao.org>.

[13] 中国统计局编. 新疆统计年鉴 2006 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2006.

[14] EPA. List of drinking water contaminants: Ground water and drinking water [S]. *US Environmental Protection Agency*. 2005.

[15] 张炎, 王讲利, 毛端明, 等. 新疆主要棉区棉花肥料效应研究 [J]. *中国棉花*, 2003, 30(11): 22-25.

[16] USEPA. Best management practices for pollution prevention in the textile industry [EB/OL], [www.e-textile.org](http://www.e-textile.org).

[17] UNEP I E. Cleaner production in textile wet processing: a workbook for trainers [R]. *United Nations Environment Programme: Industry and Environment*, Paris. 1996.

[18] WB. Pollution prevention and abatement handbook 1998: Toward cleaner production [S]. *World Bank*, Washington D. C. 1999.

[19] Chapagain A K, Hoekstra A Y, Savenije H H G, et al. The water footprint of cotton consumption [C]// *Value of Water Research Report Series (No. 18)*, IHE Delft, 2005. 17-34.

[20] 吉力力·阿不都万里, 赵成义. 南疆农业综合开发的环境效应及保护对策 [J]. *干旱区研究*, 1999, 16(2): 47-53.

[21] 王立洪, 张斌, 万英. 新疆南疆农业灌溉对生态与环境的影响 [J]. *水土保持研究*, 2002, 9(1): 30-33.