

# 基于集中期的大沽夹河年内水文特征分析<sup>\*</sup>

韩贻强<sup>1</sup>, 胡晓敏<sup>2</sup>

(1. 滨州学院 地理旅游系, 山东 滨州 256603; 2. 东营市东营区辛店街道办事处, 山东 东营 257085)

**摘要:** 选取无过境河流的山东半岛丘陵地区的大沽夹河流域作为研究对象, 采用滑动平均、集中期、集中度等方法, 在年际、季节、年代及年内各月等时间尺度上, 对流域径流的特征进行了较为全面的分析研究。结果显示: 大沽夹河 1966–2004 年间的径流量年际变化呈波浪式减少趋势, 没有规律性, 波动性较大, 变差系数值为 0.788。季节上, 径流量主要集中在夏秋季节, 断流主要出现在春冬季节, 夏秋季节断流较少。各年代段的年内平均径流量均集中在 6–10 月, 11 月至次年 5 月径流量很少, 最高径流量均为 8 月。

**关键词:** 径流; 变差系数; 大沽夹河; 山东半岛

中图分类号: P343.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)04-0220-05

## Analysis on Runoff Variation Characteristics in the Typical River Basin of Hilly Area in Shandong Peninsula

HAN Yi-qiang<sup>1</sup>, HU Xiao-min<sup>2</sup>

(1. Department of Geography and Tourism, Binzhou University, Binzhou, Shandong 256603, China; 2. Sub-district office, Dongying District, Dongying, Shandong 257085, China)

**Abstract:** Taking Dagujia River basin, located in Jiaodong hilly area, as a case study, the characteristic of runoff was analyzed by using moving-average and  $C_v$  (Variation Coefficient) methods. Results showed that the annual runoff decreased obviously from 1966 to 2004. It was changing from  $0.007 \times 10^8 \text{ m}^3$  to  $8.93 \times 10^8 \text{ m}^3$ , and the  $C_v$  is 0.788. Seasonal runoff centralized in summer and autumn. Cutoff mainly occurred in spring and winter. The  $C_v$  of seasons are all larger. The monthly runoff distribution was very uneventful, it mainly concentrated from June to October, and the largest runoff occurred in August. The decadal analysis of  $C_d$  and  $D$  showed that the  $C_d$  had been increasing from 1966 to 2004, and the maximum  $D$  were all in August. It is important to the design of local sustainable development and provide the useful database for water resource planning.

**Key words:** runoff; variation coefficient; Dagujia River; Shandong Peninsula

水是自然环境中最活跃的因素,也是人类赖以生存和从事生产活动的重要资源,水资源开发利用不仅保障了人民的生活用水,而且促进了社会进步和经济发展<sup>[1-2]</sup>。因此,水资源开发引起的环境变化、水资源的可持续发展、水资源调控以及区域性水资源问题等成为当今资源科学研究领域中的焦点,区域水文水资源对全球变化响应问题也已引起广泛关注<sup>[3-6]</sup>。

目前对流域水资源的研究主要集中在黄、淮河等大型河流流域上<sup>[7-8]</sup>,且研究内容主要集中在年、季平均状况为基础进行,很难揭示径流长期变化特

征及其在演变过程中所表现出的多时间尺度特征<sup>[9]</sup>。而对于河流年内变化特征的研究和对流程较短、流域面积较小的河流研究相对较少,特别是在山东半岛丘陵地区,无过境河流,属半岛边沿水系,在此形成了许多源短流急、涨落急剧的小型流域<sup>[10]</sup>。因此,文章以山东半岛的大沽夹河为例,在年、季、月等时间尺度上,采用滑动平均、变差系数、集中期、集中度等研究方法,对其径流量进行多时间尺度的分析,旨在对流域水资源的可持续开发利用、缓解水资源的供需矛盾及促进区域经济发展等方面提供理论支持。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009-01-04

基金项目: 山东省教育厅科研发展计划项目(j08we67)

作者简介: 韩贻强(1966–),男,山东滨州人,讲师,主要从事地理科学研究工作。E-mail: bzdlxhyq@163.com

## 1 大沽夹河流域概况

大沽夹河流域位于山东半岛典型丘陵地区, 行政区划上隶属于烟台市( $36^{\circ}16' - 38^{\circ}23' \text{ N}$ ,  $119^{\circ}34' - 121^{\circ}67' \text{ E}$ ), 属于暖温带季风气候。年均降水量为 651.9 mm, 年均气温  $11.8^{\circ}\text{C}$ , 年均相对湿度 68%, 年均日照数 2 698.4 h, 太阳辐射总量年均  $5\,224.4 \text{ kJ/m}^2$ , 年平均风速内陆地区  $3 \sim 4 \text{ m/s}$ , 平均无霜期 210 d。

大沽夹河由 2 条主要支流组成, 一条发源于栖霞城南小灵山, 俗称内夹河, 流经栖霞市、福山区; 另一条发源于海阳县郭城镇牧牛山, 俗称外夹河, 流经海阳市、牟平区。2 条河在福山城东北永福园村东汇合, 流经芝罘区, 注入黄海。干流总长 143 km, 流域面积达  $2\,220 \text{ km}^2$ , 占烟台市总面积的 17%, 多年平均径流量可达  $2.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

## 2 研究方法与数据源

文章所用的大沽夹河径流数据来源于流域内福山水文观测站 1966–2004 年逐年逐月径流值。主要从年际、季节、月和年代 4 个时间尺度, 采用多年移动平均、年径流变差系数( $C_v$ )、径流集中度( $C_d$ )和径流集中期( $D$ )等方法, 定性与定量结合分析大沽夹河径流的变化趋势和变化特征<sup>[11–13]</sup>。对于季节的定义: 春、夏、秋、冬四季分别为 3–5 月、6–8 月、9–11 月和 12 月至次年 2 月。

### 2.1 年径流变差系数

变差系数是样本系列的标准差与算术平均值的比值, 以  $C_v$  表示。它是水文统计分析中常用的一个重要参数。常用来做年径流分析, 所得的  $C_v$  值, 称为年径流变差系数或不均匀系数, 计算式如(1)、式(2)。

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})^2}{n}} \tag{1}$$

$$C_v = \frac{\sigma_Q}{\bar{Q}} \tag{2}$$

式中:  $s_i$ ——年内每月径流量;  $\bar{s}$ ——年内月平均径流量;  $\sigma_Q$ ——统计年限内年径流的标准差;  $\bar{Q}$ ——统计年限内年径流平均值。

### 2.2 集中度和集中期

集中度和集中期是用逐月径流量反映年内径流量集中程度和最大径流出现时段的重要指标<sup>[12]</sup>。它是将月径流量看作向量, 月径流的大小和所处的月份分别作为向量的长度和方向。向量方向的确定是把一年 365 d 看成一个圆周, 每天近似等于  $0.986^{\circ}$ , 把 1

月径流向量所在位置定为  $0^{\circ}$ , 1–12 月每月的方位角分别为  $0^{\circ}, 30^{\circ}, \dots, 330^{\circ}$ , 将每月径流量分解成  $x$  和  $y$  两个方向上的分量, 则  $x$  和  $y$  方向上的向量合成及各月径流向量的合成总向量可用式(3)表示。

$$\begin{cases} R_x = \sum_{i=1}^{12} r_{xi} = \sum_{i=1}^{12} r_i \sin \theta_i \\ R_y = \sum_{i=1}^{12} r_{yi} = \sum_{i=1}^{12} r_i \cos \theta_i \\ R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{12} r_i \sin \theta_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{12} r_i \cos \theta_i\right)^2} \end{cases} \tag{3}$$

式中:  $r_i$ ——月径流量的大小;  $\theta_i$ ——月径流量的方向;  $R_x$ 、 $R_y$ —— $X$ 、 $Y$  方向合成向量;  $R$ —— $R_x$ 、 $R_y$  的合成总向量。

集中度  $C_d$  和集中期  $D$  可定义为

$$\begin{cases} C_d = \frac{R}{\sum_{i=1}^{12} r_i} \times 100\% \\ D = \arctg\left(\frac{R_x}{R_y}\right) \end{cases} \tag{4}$$

由公式(4)可以看出, 集中度( $C_d$ )反映了集中期径流量占年总径流量的比例, 而集中期( $D$ )则近似表示了 1 年中最大径流出现的时间。

### 2.3 变化幅度

对大沽夹河流域年内分配特征的研究, 采用相对变化幅度和绝对变化幅度两个指标, 分别用式(5)计算。

$$\begin{aligned} C_m &= Q_{\max} / Q_{\min} \\ \Delta Q &= Q_{\max} - Q_{\min} \end{aligned} \tag{5}$$

式中:  $C_m$ ——相对变化幅度;  $\Delta Q$ ——绝对变化幅度;  $Q_{\max}$ ——年内最大月径流量;  $Q_{\min}$ ——年内最小月径流量。

## 3 大沽夹河流域河川径流变化特征

### 3.1 大沽夹河年际变化特征

图 1 为大沽夹河 1966–2004 年的年径流量和 10 a 移动平均变化趋势图, 从图中可看出, 大沽夹河径流年际变化呈波浪式, 没有规律性, 整体变化呈减少趋势。其中, 20 世纪 70 年代径流量较大, 平均径流量为  $5.66 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ , 80 年代径流量减少幅度较大, 平均径流量  $1.62 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ , 90 年代以后径流量有所回升, 平均径流量为  $2.15 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。径流年际变化大, 各年份之间最大相差达  $5.06 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。最大径流量出现在 1976 年, 径流量为  $8.93 \times 10^8 \text{ m}^3$ ; 最小径流量出现在 2000 年, 径流量为  $0.007 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。整个时间段内平均径流量为  $2.91 \times 10^8$

m<sup>3</sup>,有些年份出现断流,特别是在 20 世纪 80 年代后有几年径流量比较小。10 a 的移动平均数据显示,径流量在 1966–2004 年间呈减少趋势,其中 80 年代减少幅度最大,90 年代后较为平稳。

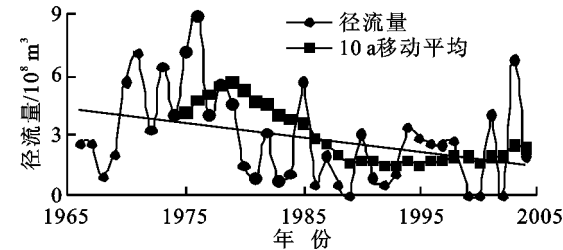


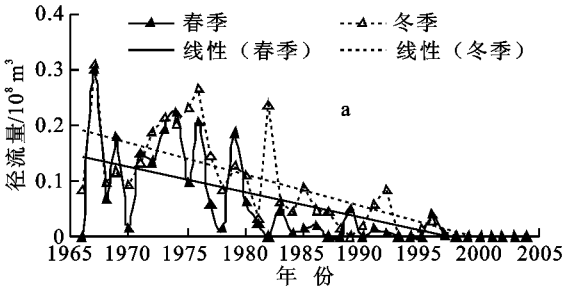
图 1 1966–2004 年大沽夹河径流变化趋势

从径流变差系数( $C_v$ )来看,大沽夹河年径流变差系数值为 0.788,这说明大沽夹河流域年际径流变化幅度较大。中国东部大部分河流  $C_v$  值均在 0.40 以上,最高可达 0.80 左右<sup>[13]</sup>。

3.2 大沽夹河季节变化特征

从各季度的径流数据显示(图 2),各季度的径流量均呈减少趋势。其中,春季和冬季的径流量较小,最大径流量为  $0.3 \times 10^8 \text{ m}^3$  左右,减少趋势较明显;夏季和秋季的径流量较大,减少幅度较小,最大径流量为  $6.51 \times 10^8 \text{ m}^3$  左右,为春、冬季节的最大径流量的 21 倍。夏季径流量最大,春季径流量最小。

分季度来看,春季径流量呈波动减少趋势,平均径流量为  $0.054 \times 10^8 \text{ m}^3$ (图 2)。最大径流量出现在 1967 年,为  $0.301 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,自 1986 年后经常出现断流现象,1998–2004 年的春季径流量均为 0,1966–1997 年的线性递减率为  $-0.0065$ (趋势线



斜率)。从春季径流的变差系数来看,变差系数高达 1.452,说明大沽夹河流域春季径流变化幅度巨大,波动性强。

夏季径流量呈波动变化,减少趋势较弱,平均径流量为  $2.129 \times 10^8 \text{ m}^3$ (图 2)。最大径流量出现在 1976 年,为  $6.512 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,1989 年、1992 年出现过季节性断流。其中,70 年代和 90 年代径流量较大,80 年代径流量较小。从夏季径流的变差系数来看,变差系数为 0.789,虽比年际变化的变差系数大,但比其它季节的变差系数小,说明大沽夹河流域夏季径流变化幅度较大,但较其它季节稳定。

秋季径流量呈波动减小趋势变化,平均径流量为  $0.626 \times 10^8 \text{ m}^3$ (图 3c)。最大径流量出现在 1973 年,为  $3.795 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,1989 年、2001 年和 2002 年出现过季节性断流,波动性较大。1966–2004 年的线性递减率为  $-0.0299$ (趋势线斜率),明显高于春季递减速度。从秋季径流的变差系数来看,变差系数为 1.341,说明大沽夹河流域秋季径流变化幅度巨大,波动性强,但弱于春季的年际变化。

冬季径流量与春季径流量变化趋势较一致,呈波动减少趋势,平均径流量为  $0.082 \times 10^8 \text{ m}^3$ (图 2)。最大径流量出现在 1967 年,为  $0.309 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,自 1988 年后经常出现断流现象,1998–2004 年的春季径流量均为 0,1966–1997 年的线性递减率为  $-0.007$ (趋势线斜率),递减速度高于春季。从冬季径流的变差系数来看,变差系数为 1.037,说明大沽夹河流域冬季径流变化幅度较大,波动性较强。

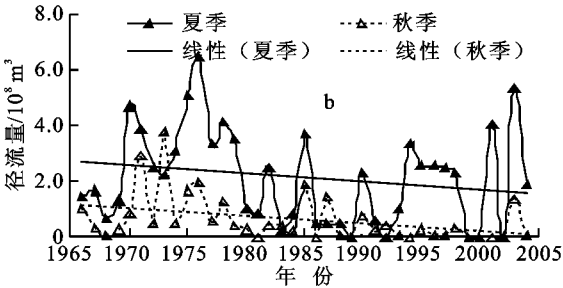


图 2 1966–2004 年大沽夹河季节径流量变化趋势

综合各季节内的径流变化趋势,夏季径流量最大,其次为秋季,春季和冬季径流量最小。断流情况为夏、秋季节较少,分别为 2,3 个年份,春、冬季节较多,分别为 13,10 个年份,且在 1998 年后连续出现断流现象;从变异系数看,夏季径流变化幅度最小,秋、冬季节变化大。这些季节性变化均与当地自然和人文环境相关,如无外境水源补给,从而使得境内水资源呈现季节性变化。

3.3 大沽夹河年代及年内变化特征

将 1966–2004 年分为 5 个年代段,分别为

1966–1969 年、1970–1979 年、1980–1989 年、1990–1999 年和 2000–2004 年,分别称为 1960s、1970s、1980s、1990s、2000s。各年代的季节径流数据来看(表 1),随年代变化,年平均径流量呈波动变化,最高出现在 1970s,最低为 1980s。其中,春、秋季平均径流量呈线性减少趋势;夏、秋季径流量呈波动变化,径流量最高均出现在 1970s 内。各年代内的平均径流量夏季最高,春季最低。各季节的变差系数随年代变化而呈增加趋势(由于 2000s 内的春、冬季节河流断流,出现变差系数为 0),最高变差系

数为 1. 877, 出现在 1990s 内的春季。

各年代段的年内平均径流量显示(图 3), 年内径流均集中在 6– 10 月, 11 月至次年 4 月径流量很少, 最高径流量均为 8 月。这主要体现了河川径流的年

内分配主要受径流补给条件的影响, 山东半岛降水大多集中在夏秋季节。其中, 1970s 和 2000s 的 8 月径流量高于整个时间段内的 8 月平均径流量, 1960s、1980s 和 1990s 内的 8 月径流量低于平均值。

表 1 1966– 2004 年大沽夹河径流量年代特征

季节	1960s		1970s		1980s		1990s		2000s	
	平均径流量/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	变差 系数	平均径流量/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	变差 系数	平均径流量/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	变差 系数	平均径流量/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	变差 系数	平均径流量/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	变差 系数
春	0. 138	0. 829	0. 128	0. 579	0. 023	0. 969	0. 006	1. 877	0. 000	0. 000
夏	1. 286	0. 288	3. 901	0. 312	1. 059	1. 024	1. 706	0. 660	2. 244	0. 949
秋	0. 429	0. 844	1. 428	0. 768	0. 471	1. 307	0. 224	1. 066	0. 293	1. 874
冬	0. 152	0. 603	0. 169	0. 338	0. 068	0. 944	0. 022	1. 270	0. 000	0. 000
平均	0. 467	0. 434	1. 375	0. 355	0. 400	0. 819	0. 488	0. 749	0. 634	0. 706

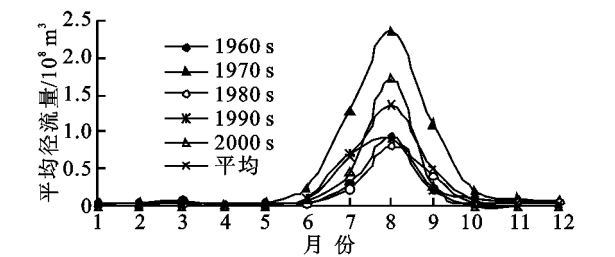


图 3 大沽夹河径流量年内特征趋势

同时, 从图中可大略看出各年代的径流集中程度。1970s 的径流量最为集中, 6– 10 月的径流量为  $5. 223 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 占到总径流量的 92. 28%。通过统计计算知, 1990s 的 6– 10 月的径流量更为集中, 虽其径流量仅为  $1. 919 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 但占到总径流量的 98. 12%。所以说, 仅从各年代的年内径流变化图来分析其径流量变化特征显得过于牵强。因此, 选用年内分配不均匀系数、集中度、集中期以及变化幅度等指标进行量化研究。

对年内分配特征数据分析(表 2), 年内各月份的径流存在极大的不均匀性, 随着年代变迁, 径流不均匀系数和相对变化幅度均呈增大趋势, 最低出现在 1960s, 分别为 1. 464 和 39. 314, 最高出现在 2000s, 分别为 2. 248 和 + ∞。其中, 相对变化幅度在 1980 年后突然变大, 1980s 为 1970s 的 7. 3 倍;

表 2 大沽夹河径流年内分配特征

年代	不均匀系数	集中度	集中期		相对变幅/ %	绝对变化幅度/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>
			D	最大径流出现时间		
1960s	1. 464	64. 995	212. 310	8 月 17 日	39. 314	0. 902
1970s	1. 509	79. 819	209. 700	8 月 15 日	86. 796	2. 341
1980s	1. 712	81. 631	217. 125	8 月 22 日	633. 037	0. 801
1990s	1. 811	89. 335	200. 010	8 月 5 日	722. 067	0. 911
2000s	2. 248	94. 656	206. 623	8 月 12 日	+ ∞	1. 720

2000s 的相对变化幅度为 + ∞, 这主要是由于有些月份出现断流导致, 也体现了径流在年内分配的不均匀性有增大趋势。绝对变化幅度具波动性, 最大分布在 1970s, 为  $2. 341 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

从径流年内分配的集中度来看(图 4), 径流较为集中, 集中度呈增大趋势, 最大为 2000s 时段, 为 94. 656%; 最小为 1960s 时段, 为 64. 995%。同时, 不均匀系数和集中度的变化趋势一致, 这说明随年代的变化, 河流径流集中程度增强。

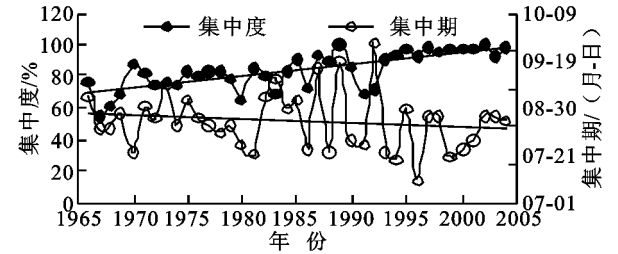


图 4 大沽夹河径流集中度与集中期

就集中期而言, 各年代的最大径流量均出现在 8 月, 这与图 3 中 1960s、1970s、1980s 和 2000s 各年代内的径流量集中于 8 月份相一致。通过计算, 可知 1960s、1970s、1980s、1990s、2000s 的最大径流量分别出现在 8 月 17 日、8 月 15 日、8 月 22 日、8 月 5 日、8 月 12 日前后, 各年代的时间前后相差不大。

4 结 论

(1) 研究结果表明: 大沽夹河的年际变化特征表现为减少趋势, 变化过程呈波浪式, 平均径流量为  $2.91 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 有些年份出现断流, 特别是在 20 世纪 80 年代后有几年径流量比较小。年径流变差系数值为 0.788, 这说明大沽夹河流域年际径流变化幅度较大。季节变化特征表现为径流量主要集中在夏秋季节, 各季节内变差系数均较大。春冬季径流量波动性大, 经常出现断流现象; 夏秋季径流量波动性小。各年代的径流量呈波动变化, 年内平均径流量均集中在 6–10 月, 11 月至次年 4 月径流量很少, 最高径流量均为 8 月。通过计算, 可知 1960s、1970s、1980s、1990s、2000s 的最大径流量分别出现在 8 月 4 日、8 月 7 日、8 月 21 日、7 月 20 日、8 月 9 日前后, 各年代的时间前后相差不大。

(2) 针对流域内水资源呈减少趋势, 且无客水入境, 水资源补充完全依赖于大气降水, 本区可通过拦蓄大气降水、增加水资源的补给量。尽管在大沽夹河上有门楼水库、桃源水库等大型水库, 但大沽夹河流域平均每年仍有  $2.9 \times 10^8 \text{ m}^3$  水白白流入大海。同时, 根据丘陵区地势、地质等特点, 可合理调整土地利用方式, 强化生态农业综合节水措施, 尽量采用国内外新型节水技术以及新设备, 达到生态效益与节约水资源的双重效果。

参考文献:

[1] 孙凡, 邱方, 孟令彬. 重庆市地区可持续发展的水资源问题探讨[J]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2004,

26(4): 501–505.

[2] 牟海省. 我国水资源持续开发的零增长模式初探[J]. 地理研究, 1995, 14(1): 80–84.

[3] 吴凯, 许越先. 黄淮海平原水资源开发的环境效应及其调控对策[J]. 地理学报, 1997, 52(2): 114–122.

[4] Gao Ge, Huang Chaoying. Climate change and its impact on water resources in north China [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2001, 18(5): 718–732.

[5] Mimikou M A, Baltas E, Varanou E, et al. Regional impacts of climate change on water resources quantity and quality indicators[J]. Journal of hydrology, 2000, 234: 95–109.

[6] Wolfgang L, Pierre S, Ludovic C. Evaluating the impact of the recent temperature increase on the hydrology of Ted River (southern France) [J]. Journal of hydrology, 2004, 289: 204–221.

[7] 朱九龙, 陶晓燕, 王世军, 等. 淮河流域水资源价值测算与分析[J]. 自然资源学报, 2005, 20(1): 126–131.

[8] 郑红星, 刘昌明. 黄河流域水资源演化模式分析[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 267–273.

[9] 郭敬辉. 川西滇北地区河流分类的初步研究[J]. 地理学报, 1965, 31(3): 212–225.

[10] 李世泰, 隋干城. 烟台市经济持续发展的水资源问题与对策[J]. 烟台师范学院学报: 自然科学版, 2000, 16(4): 297–301.

[11] 冯光扬. 水文年内不均匀系数的探讨[J]. 山地研究, 1991, 9(1): 27–32.

[12] 杨远东. 河川径流年内分配的计算方法[J]. 地理学报, 1984, 39(2): 218–227.

[13] 蒋艳, 周成虎, 程维明. 阿克苏河流域径流补给及径流变化特征分析[J]. 自然资源学报, 2005, 20(1): 27–34.

(上接第 219 页)

沙区并不是传统认识中的“漫漫黄沙, 一无是处”, 而是蕴藏着丰富资源的大宝库, 大有开发利用的前景。其次, 对沙区资源的开发利用由动植物资源扩展到石油业、建材业、煤炭业和化工业等方面。最后, 对沙产业的研究不再仅仅是治沙工作者, 许多有识之士对沙产业的关注表现出极大的兴趣。总之, “沙产业”的开发和发展, 必将给榆林沙区带来比较好的社会效益, 促进生态环境的改善。

参考文献:

[1] 钱学森. 钱学森论第六产业革命通信集[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001: 130.

[2] 刘恕. 对沙产业科学内涵的认识: 纪念钱学森沙产业论述发表 20 周年[J]. 西安交通大学学报, 2005, 25(1):

57–61.

[3] 王力. 沙产业发展现状及前景展望[J]. 中国水土保持, 2000(3): 26–28.

[4] 山丹, 包庆丰. 关于科尔沁沙地沙产业发展的思考[J]. 内蒙古农业大学学报, 2007, 32(2): 106–110.

[5] 常兆丰. 沙产业的属性、发展条件及其必然性[J]. 科技创新导报, 2007(36): 52–54.

[6] 潘红星, 尹俊珍. 我国沙产业发展现状分析及对策探讨[J]. 林业资源管理, 2007(3): 37–41.

[7] 漆建忠, 麻保林, 周心澄, 等. 榆林毛乌素沙地荒漠化土地的综合治理[J]. 西北林学院学报, 2000, 15(增刊): 1–4.

[8] 任小婵. 对榆林市沙产业开发的思考[J]. 价格与市场, 2001(8): 21.