

1957—2015 年山西省春季气候变化时空演变特征

孔 锋^{1,2,3,4}, 王一飞¹, 方 建⁵, 林 霖^{1,2}, 吕丽莉^{1,2}

(1. 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081; 2. 中国气象局发展研究中心, 北京 100081; 3. 北京师范大学, 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 4. 民政部/教育部, 减灾与应急管理研究院, 北京 100875; 5. 武汉大学资源与环境科学学院, 湖北武汉 430079)

摘要 采用 1957—2015 年气象资料, 对山西省春季降水、温度及降水温度变化趋势比的时空分布及变化趋势进行了研究。结果表明, 山西省春季降水变化趋势存在空间上的差异, 其中晋南主要表现为减少趋势, 晋西北和晋中部分地区表现为增多趋势, 并且这种趋势会随着气候变暖逐渐加强。全省范围内的温度变化均表现为升高的趋势, 其中温度升高幅度最大的 2 个区域分别为五台山区和晋南的临汾、运城、晋城; 晋西北的朔州、忻州、吕梁一带与晋中的太原及其他部分地区温度升幅相对较小。能够反映春季气候变化异常的降水温度变化趋势比的时空分布与降水的时空分布基本一致, 仍为五台山区和晋南最小, 晋西北最大, 说明未来山西地区气候变化将会变得更加不稳定。

关键词 气候变化; 降水; 温度; 时空分布; 春季; 山西省
中图分类号 S162 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)18-0151-03

Research on Spatio-temporal Evolution of Climate Change in Spring in Shanxi Province from 1957 to 2015

KONG Feng^{1,2,3,4}, WANG Yi-fei¹, FANG Jian⁵ et al (1. China Meteorological Administration Training Center, Beijing 100875; 2. Research Centre for Strategic Development, China Meteorological Administration, Beijing 100081; 3. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875; 4. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, Beijing 100875; 5. School of Resources and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430079)

Abstract Based on the meteorological data from 1957 to 2015, the trend and temporal-spatial distribution of the precipitation and temperature change in springs of Shanxi Province were analyzed. The results showed that the spring precipitation trends of Shanxi Province were significant spatial differences. The trends in south of Shanxi Province were declining as well as the trend of northwest in Shanxi Province and parts of center in Shanxi Province were increasing, and this trend would gradually be strengthened as the climate were getting warm. The tendency of temperature were manifested as increasing in province-wide range. The temperature were increasing significantly in the two regions; Wutai Mountain area and Linfen, Yuncheng as well as Jincheng in southern Shanxi. The temperature of Shuozhou, Xinzhou and Luliang in northwest Shanxi as well as Taiyuan and parts of Jinzhong rised relatively small. The temporal and spatial distribution of abnormal precipitation and temperature in spring was almost same with the temporal-spatial distribution of the precipitation; the Wutai Mountain area and southern Shanxi minimum, northwest in Shanxi maximum. This showed that the future climate change in Shanxi would become more unpredictable.

Key words Climate change; Precipitation; Temperature; Spatio-temporal distribution; Spring; Shanxi Province

山西省地处黄土高原与华北平原过渡带, 气象灾害种类多、强度大、频率高, 是我国气象灾害频繁发生的省份之一^[1], 经常发生的气象灾害主要有干旱、暴雨雪、大风、雷电、冰雹、霜冻等, 每年因气象灾害造成的经济损失占全省生产总值的 1%~3%, 全省平均每年由各种灾害造成的农作物受灾面积 200 多万 hm^2 , 影响人口近 700 万人, 直接经济损失 70 多亿元^[2]。随着经济的发展, 气象灾害已经成为制约山西省经济社会发展、危及人民群众生命财产安全的重要因素^[3-4]。春旱作为一种自然灾害, 严重影响山西省粮食作物小麦的生长发育, 它的发生程度主要由 3—5 月的降水与温度决定^[5], 它的形成是一个渐近和累积的过程, 发生缓慢而不易被察觉。干旱通常是水分的收支平衡被打破而形成的水分短缺现象^[6], 它是一种综合自然灾害, 它的发生和发展与降水、气温、底墒、灌溉及种植结构等因素有关^[7]。干旱一旦发生将是大规模的, 无论对农业、工业都将造成严重的影

响^[8]。2013 年春季, 山西运城、长治、临汾部分地区缺少有效降水, 造成运城、临汾、长治、晋城、晋中 5 市 39 个县(区) 359 万人受灾, 5.4 万人饮水困难, 约 2.8 万人需生活救助, 农作物受灾面积 38.95 万 hm^2 , 其中绝收 4.01 万 hm^2 ; 直接经济损失 11 亿元。2015 年以来, 山西多地遭受多年未遇的严重干旱, 直接经济损失达 67.5 亿元, 造成山西 604.3 万人受灾, 农作物受灾面积 126.79 万 hm^2 , 绝收面积 22.36 万 hm^2 。山西省以小麦为主要农作物, 小麦产量的高低受干旱影响较大, 春旱由于发生在小麦的生长旺盛期, 严重时会造成土地干裂, 麦苗枯死现象。同时, 干旱还造成小麦根系不发达, 对小麦抵御春季寒潮的袭击十分不利, 小麦越冬死亡率将会增加, 严重影响小麦的营养物质积累和后期产量^[9]。同时春旱的发生机率在所有干旱中发生机率也最高, 危害也最严重^[10]。春旱的时空分布随着全球气候变暖的加剧而呈现出显著的频发性和变异性。对春季干旱进行监测、研究, 了解和掌握春旱发生、发展的变化规律, 有效应对气候变化对山西省农业和国民经济的影响, 在未来的政府决策中将会起到越来越重要的作用。笔者从山西省春季气温和降水的变化趋势入手, 以降水和气温变化趋势比来量化气候变化程度, 揭示该省长期气候干湿趋势变化特征。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 山西省地理坐标为 34°36′~40°44′N、

基金项目 国家自然科学基金项目(41601561); 国家重点研发计划全球变化及应对重点专项项目(2016YFA0602404); 国家自然科学基金创新研究群体项目(41321001); 中国博士后科学基金面上资助项目(2015M582263); 中央高校基本科研业务费专项资金课题(2042016k0067)。

作者简介 孔锋(1986—), 男, 山西临汾人, 工程师, 博士, 从事气候变化风险、自然灾害与环境演变研究。

收稿日期 2017-04-19

110°15′~14°32′E,地处我国黄河中游、华北西部的黄土高原地带,东邻河北,西接陕西,南连山西,北临内蒙古自治区。南北约长 680 km,东西约宽 380 km,总面积 15.63 万 km²。从地图上看,其轮廓呈由东北倾向西南的平行四边形。山西省地形较为复杂,境内有山地、丘陵、高原、盆地、台地等多种地貌类型,整个地貌是被黄土广泛覆盖的山地型高原,大部分在海拔 1 000~2 000 m(图 1)。由于地形多样,高差悬殊,既有纬度地带性气候,又有明显的垂直变化。山西地处中纬度,距海不远,但因山脉屏障,夏季风影响不大,属于暖温带、温带大陆性气候。年平均气温在 -4~14℃,气温地区分布总趋向是自南向北、自平川向山地递减;无霜期南长北短,平川长山地短,全省年降水量 400~650 mm。山西北部由于受内蒙古冬季冷气团的袭击,比较寒冷;南部受到从河南黄淮海平原和豫北平原北上的夏季暖湿气团的滋润,比较温和;南北气候差异明显。气候特征是:冬季漫长,寒冷干燥;夏季南长北短,雨水集中;春季气候多变,风沙较多;秋季短暂,天气温和。全境日照充足,热量资源较丰富;灾害性天气较多,“十年九旱”;昼夜温差较大。

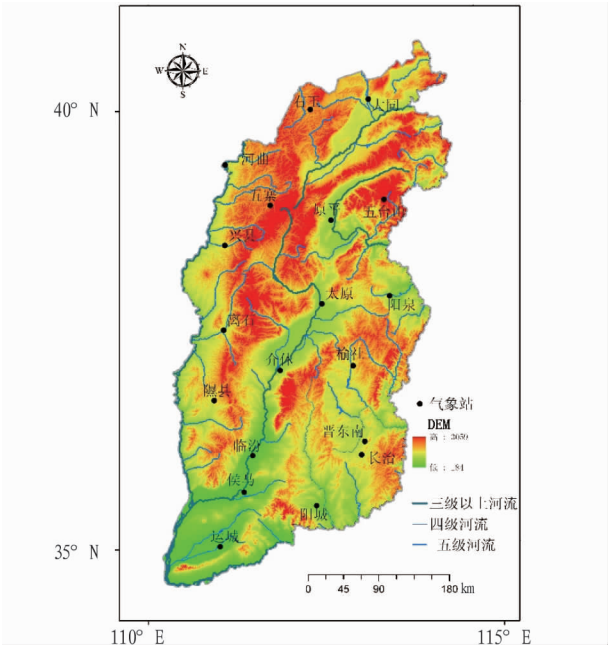


图 1 山西省高程 DEM 及河流分布

Fig. 1 Distribution of elevation DEM and rivers in Shanxi Province

1.2 数据来源 选取山西省 19 个气象站 1957—2015 年春季(3—5 月)的降水量、平均气温序列,数据来源于中国气象科学数据共享服务网。站点分布状况见图 1。

1.3 分析方法 基于山西省 19 个气象观测站 1957—2015 年的降水、温度数据,对每个气象站的温度、降水数据进行趋势拟合,在取得各县的降水、温度趋势之后,利用 ArcGIS 系统分别对山西省春季的降水、温度趋势分布进行分析。春季干旱发生时,降水偏少的同时往往伴随着温度的升高,降水温度变化趋势比可以较好地反映一个地区的春季气候异常变化情况,在此采用该方法对山西省境内春季降水温度变化

趋势比变化的时空分布进行分析,研究其变化特征与其他单个气候因子(降水、温度)之间的相关性。

2 结果与分析

2.1 春季降水变化趋势的时空分布 在统计山西省各气象站点春季总降水量的基础上,进行趋势拟合,然后采用 ArcGIS 进行趋势分布制图(图 2)。从图 2 可以看出,晋南的长治、运城及临汾、晋城的部分地区为降水减少较多区域,该区域降水变化趋势空间呈现“V”型结构分布特征,减少最多达 0.719 7 mm/a。山西中部及南部部分地区降水变化相对较小,降水变化趋势空间呈现“+”型结构分布特征;山西西北部、晋中东部等地春季降水为增多趋势,降水变化趋势空间呈现“T”型结构分布特征,增多最高达 0.277 7 mm/a。五台山地区由于其特殊的地理位置和地形,降水变化异于其周围其他地区,表现为减少的变化趋势,降水变化趋势空间呈现“∩”型结构分布特征。

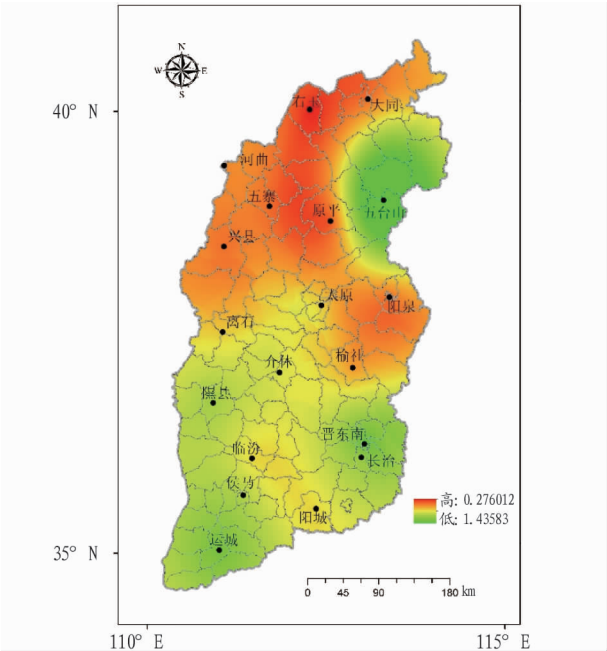


图 2 1957—2015 年山西省春季降水变化趋势分布(单位:mm/a)

Fig. 2 Distribution of change trend of precipitation in Shanxi Province in spring during 1957-2015

2.2 春季温度变化趋势的时空分布 在统计山西省各气象站点春季平均温度的基础上,进行趋势拟合,然后采用 ArcGIS 进行趋势分布制图(图 3)。由图 3 可知,山西全省范围内温度变化均表现为升高的趋势,温度升高趋势空间呈现“Z”型结构分布特征,其中,温度升高的最小幅度为 0.008 5℃/a,温度升高的最大幅度为 0.125 8℃/a;温度升高幅度最大的 2 个区域分别为晋东北五台山一带与晋南的运城及临汾、晋城的部分地区;晋西北及晋中地区温度升幅相对较小,温度升高趋势空间呈现“T”型结构分布特征。温度的升高表明该地区农田蒸散量的增多,可能导致旱情加剧。

2.3 春季降水温度变化趋势比的时空分布 在统计山西省各县气象站点春季总降水量与春季平均温度的基础上,进行趋势拟合,然后采用 ArcGIS 进行趋势分布制图(图 4)。从图

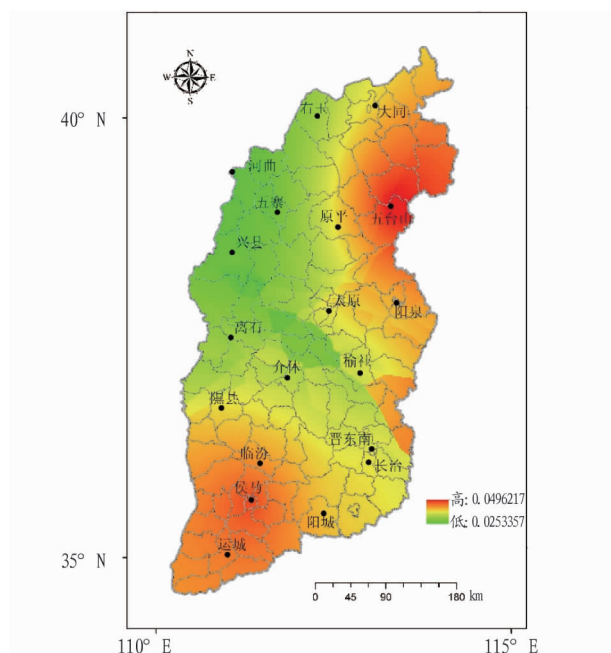


图 3 1957—2015 年山西省春季温度变化趋势分布 (单位: $^{\circ}\text{C}/\text{a}$)

Fig.3 Distribution of change trend of temperature in Shanxi

Province in spring during 1957–2015

4 可以看出,晋西北的朔州、忻州、吕梁及晋中部分地区为降水温度变化趋势比的较大区域,降水温度变化趋势比空间呈现“T”型结构,最大达 $12.92 \text{ mm}/^{\circ}\text{C}$;山西中部、东北部及临汾盆地局部地区降水温度变化趋势比变化相对较小;晋南的晋城、运城、临汾等地春季为降水温度变化趋势比的较小区域,降水温度变化趋势比空间呈现“ Δ ”型结构分布特征,最低达 $-18.397 \text{ mm}/^{\circ}\text{C}$ 。五台山地区由于其特殊的地理位置和地形,降水温度变化趋势比变化异于其周围其他地区,表现为减少的变化趋势。降水温度变化趋势比的时空分布与降水的时空分布基本一致,空间呈现“ $\cap$ ”型结构分布特征。可见,全球温室效应已造成了山西区域内的气候变异性增大。

3 结论与讨论

(1) 山西省春季降水变化趋势存在着地理上的差异,其中,晋南主要表现为减少趋势,晋西北和晋中部分地区表现为增多趋势,并且这种趋势会随着气候变暖逐渐加强。

(2) 全省范围内温度变化均表现为升高的趋势。其中温度升高幅度最大的 2 个区域分别为五台山地区和晋南的临汾、运城、晋城。晋西北的朔州、忻州、吕梁一带与山西中的太原及晋中的部分地区温度升幅相对较小。

(3) 反映春季气候变化异常的降水温度变化趋势比的时空分布与降水的时空分布基本一致,仍为五台山地区和晋南最小,晋西北最大,说明未来山西地区气候变化都将会变得更加不稳定。

(4) 全球环境变化引致全球环境风险在增加,气候变化将导致天气和气候异常频率增加,进而加剧灾害风险,特别是巨灾灾害的发生^[11–14]。全球变暖对人类的影响不仅是广泛的,而且也是很深刻的,所产生诸如气候异常、灾害性天气

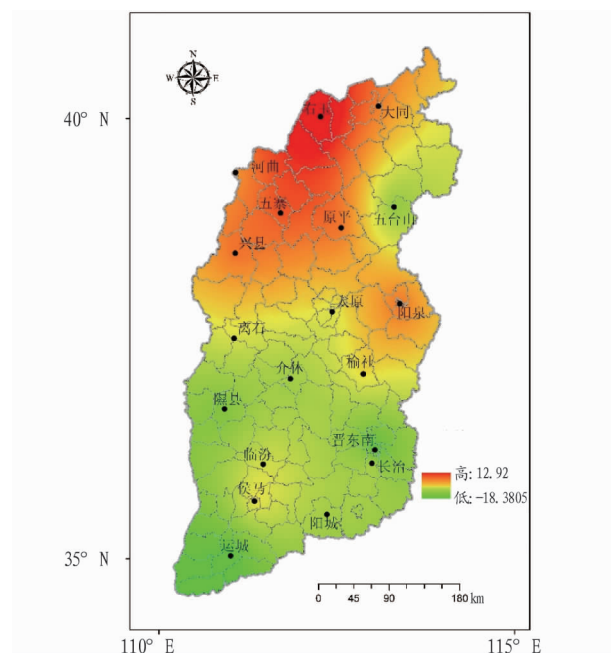


图 4 1957—2015 年山西省春季降水温度变化趋势比分布 (单位: $\text{mm}/^{\circ}\text{C}$)

mm/ $^{\circ}\text{C}$)

Fig.4 Distribution of change trend of ratio between precipitation and temperature in Shanxi Province in spring during 1957–2015

现象频发等影响,足以对人类的可持续发展及整个地球生命系统造成巨大的环境风险。气候变化的异常亦成为灾害造成损失增加的重要原因。全球温室气体排放和气候系统的很多方面都在发生变化,并处于 IPCC 预估范围的较高上限^[15]。气候系统许多关键指标的变化正在超过当代社会和经济所经历的自然变率范围,这些指标包括全球地表平均温度、平均海平面、全球海洋温度、北极海冰范围、海洋酸化以及极端气候事件。随着不加控制的温室气体的排放,气候的很多趋势将有可能加速,这将导致气候转型的突变或不可逆转的环境风险增加^[16]。如何评估气候变化不确定性对山西乃至我国的影响,是目前学界关注的焦点问题,亟待研究“气候变化不确定性导致更大气候灾害风险”的问题。

参考文献

- [1] 李芬,张建新,郝智文,等. 山西降水与 ENSO 的相关性研究[J]. 地理学报,2015,70(3):420–430.
- [2] 王佳,韩军青. 山西明清时期旱灾统计及区域特征分析[J]. 宁夏大学学报(自然科学版),2015,36(1):87–91.
- [3] IPCC SREX. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [R]. Cambridge: Cambridge University Press,2012.
- [4] IPCC AR5. Intergovernmental Panel on Climate Change Climate Change 2013 Fifth Assessment Report (AR5) [R]. Cambridge: Cambridge University Press,2013.
- [5] 张红卫,陈怀亮,张弘. 河南省春季降水与温度变化的时空分布:基于地理信息的分析[J]. 自然灾害学报,2012(1):170–173.
- [6] 冉津江. 我国干旱半干旱区温度和降水的时空分布特征[D]. 兰州:兰州大学,2014.
- [7] 张丽花,延军平,刘标杉. 山西气候变化特征与旱涝灾害趋势判断[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(5):120–125.
- [8] 孟万忠,王尚义,赵景波. ENSO 事件与山西气候的关系[J]. 中国沙漠,2013,33(1):258–264.

(下转第 190 页)

计算,可以得出不同阶段和不同时期甘肃省南部地区 CDM 小水电项目的减排效益(表 3)。

表 3 CDM 小水电项目减排效益
Table 3 Effective from emission reduction of hydropower CDM

建设状况 Construction status	装机容量 Installed capacity 万 kW	水电站数量 Number of hydropower stations	总投资 Total investment 亿元	发电时数 Power generation hours //h	签发减排量 Issue emission reductions 万 t	估计年减排量 Estimated annual emission reductions 万 t	协同效应减排量 Synergistic emission reduction 万 t	减排效益 Efficiency of emission reduction 万美元
已签发 Has been issued	140.52	33	26.4	—	865.5	—	—	13 951.86
已注册 Registered	153.76	53	31.9	7 200	—	920.14	132.59	16 970.10
已批准 Approved	168.29	56	33.5	7 200	—	1 007.09	145.12	18 573.73
已建成 Has been completed	279.76	297	117.3	7 200	—	1 674.16	241.25	30 876.39
考察论证 Study the argument	324.97	353	148.2	7 200	—	1 944.71	280.23	35 866.10

随着国家持续推进民生改善和社会建设,打好节能减排和环境治理攻坚战略的实施,在“需要大力发展风电、积极发展水电、安全发展核电”方针政策的引导下,甘肃省南部地区越来越多的小水电项目有望纳入 CDM 项目运行发展管理体制。CDM 项目污染物协同减排量存在着巨大的发展潜力,随着区域电网的建设以及未来国际碳减排价格的增长,甘肃省南部地区小水电项目减排效益收入将会越来越高。

4 结论

甘肃省南部地区水力资源丰富,适合开展小水电 CDM 项目,通过发达国家(碳减排买方)全部或部分经核证后的碳减排量(CERs)的购买和合作,甘肃省南部地区可以从荷兰、日本、德国等发达国家获得先进的环境友好技术和额外的资金,是一个双赢的清洁生产机制。通过基准线情景的识别,甘肃省南部地区发展小水电项目可以利用西北电网数量相当的电量方案来进行替代,计算得出西北区域电网电量 OM 为 0.957 8 t·MWh⁻¹,BM 为 0.451 2 t·MWh⁻¹,CM 为 0.831 15 t·MWh⁻¹。CDM 项目减排协同效应的计算,不仅有助于 CDM 项目额外性的识别,而且有助于促进当地的企业或者政府更多地发展 CDM 项目。甘肃省南部地区的小水电站截至 2014 年底共建立了 297 座,其中纳入 CDM 项目运行的仅有 56 座,在未来的发展过程中,存在着较大的 CDM 开发潜力,已签发的 CDM 项目签发量为 8 454 899 t CO₂,可获得减排收益 13 951.86 万美元;已注册和已批准的 CDM 项目则每年可以收益 16 970.10 万和 18 573.73 万美元。甘肃省南部地区在借助本土优势的情况下,要想更好地开展 CDM 项目,需求最大化地获取减排效益,推进市场化减排,应当在国家发展和改革委员会 CDM 项目机构的支持下,从有利于

碳交易市场健康发展的角度考量,优化市场布局,健全和发展保障体系,保护生态环境,合理开发利用水电资源。

参考文献

[1] METZ B,DAVIDSON O R,BOSCH P R,et al. Climate Change 2007:Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. New York:Cambridge University Press,2007.

[2] CLEMENS J,TRIMBORN M,WEILAND P,et al. Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry[J]. Agriculture,ecosystems and environment,2006,112(2/3):171-177.

[3] PAUSTIAN K,RAVINDRANATH N H,AMSTEL A V. 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 4:Agriculture,Forestry and Other Land Use[M]. Kanagawa,Japan:Institute of Global Environmental Strategies(IGES),2006.

[4] CDM-Executive Board. EB 35 Report Annex 12:Tool to calculate the emission factor for an electricity system[EB/OL]. (2007-10-19)[2017-01-21]. <http://cdm.unfccc.int/goto/MPappmeth>.

[5] SNEATH R W,BELINE F,HILHORST M A. Monitoring GHG from manure stores on organic and conventional dairy farms[J]. Agriculture,ecosystems and environment,2006,112(2/3):122-128.

[6] 宣晓伟,张浩. 碳排放权配额分配的国际经验及启示[J]. 中国人口·资源与环境,2013,23(12):10-15.

[7] ZHAO Y,WANG S X,DUAN L,et al. Primary air pollutant emissions of coal-fired power plants in China:Current status and future prediction[J]. Atmospheric environment,2008,42(36):8442-8452.

[8] LANTZ M,SVENSSON M,BJÖRNSSON L,et al. The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden:Incentives,barriers and potentials [J]. Energy policy,2003,35(3):1830-1843.

[9] AMON B,KRYVORUCHKO V,AMON T,et al. Methane,nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment[J]. Agriculture,ecosystems & environment,2006,112(2/3):153-162.

[10] FRIEDL B,GETZNER M. Determinants of CO₂ emissions in a small open economy[J]. Ecological economics,2003,45(1):133-148.

[11] HOLM-NIELSEN J B,AL SEADI T,OLESKOWICZ-POPIEL P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization[J]. Bioresource technology,2009,100:5478-5484.

[13] 方建,杜鹃,徐伟,等. 气候变化对洪水灾害影响研究进展[J]. 地球科学进展,2014,29(9):1085-1093.

[14] 方修琦,郑景云,葛全胜. 粮食安全视角下中国历史气候变化影响与响应的过程与机理[J]. 地理科学,2014,34(11):1291-1298.

[15] 王宁,张利权,袁琳,等. 气候变化影响下海岸带脆弱性评估研究进展[J]. 生态学报,2012,32(7):2248-2258.

[16] 刘洋. 全球气候变化对长三角河口海岸地区社会经济影响研究[D]. 上海:华东师范大学,2014.

(上接第 153 页)

[9] 王闰平. 基于能值的山西省农业生态系统动态分析[D]. 长沙:湖南农业大学,2009.

[10] 何磊. 气候变化对北方农牧交错带农业生产脆弱性的影响研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2007.

[11] 葛全胜,方修琦,郑景云. 中国历史时期气候变化影响及其应对的启示[J]. 地球科学进展,2014,29(1):23-29.

[12] 吴绍洪,黄季焜,刘燕华,等. 气候变化对中国的影响利弊[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(1):7-13.