

# 三江平原土壤湿度变化及其对气象条件的响应

王芳<sup>1</sup>, 张宇<sup>1</sup>, 梁静<sup>2</sup>

(1.佳木斯市气象局, 黑龙江 佳木斯 154004; 2.成都信息工程大学, 成都 610000)

**摘要:**了解土壤湿度的时空变化特征与规律,对充分利用土壤水分资源及应对气候变化有重要意义。基于三江平原 23 个农业气象站 1982—2017 年土壤湿度、同期气温、降水等数据,采用统计分析、M-K 突变检验等方法,分析了 0—50 cm 土壤湿度的趋势变化特征及其与气温、降水气候因子的关系。结果表明:(1)近 37 年来三江平原地中 0—30 cm,40—50 cm 土壤相对湿度呈显著降低趋势,并呈阶段性变化,突变年在 1997 年;30—40 cm 土壤相对湿度无显著变化;各层土壤相对湿度垂直方向呈现中间层(30—40 cm)土壤相对湿度最大,上下层递减的趋势。土壤相对湿度的空间分布存在差异,土壤相对湿度由北到南、由东到西递减趋势。(2)三江平原气温、降水量对各层土壤相对湿度影响程度不同。0—20 cm 土壤相对湿度主要受 4—9 月生长季气温、降水量的协同作用影响,20—30 cm 和 40—50 cm 土壤相对湿度分别受 4—9 月生长季的气温和降水作用的影响;而 30—40 cm 土壤相对湿度受气温和降水作用的影响不大。总之近 37 年来三江平原土壤相对湿度的变化存有差异,1982—1996 年、1997—2013 年、2014 年后各层土壤相对湿度分别处于相对较高(偏湿)、较低(正常)、较高(偏湿)阶段。4—9 月生长季的气温和降水是影响三江平原土壤相对湿度变化的主要气象因子。

**关键词:**气候变化;土壤;相对湿度;三江平原;M-K 突变检验

中图分类号:P467

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)05-0173-04

## Changes of Soil Moisture in Sanjiang Plain and Its Response to Meteorological Condition

WANG Fang<sup>1</sup>, ZHANG Yu<sup>1</sup>, LIANG Jing<sup>2</sup>

(1.Jiamusi Meteorological Bureau, Jiamusi, Heilongjiang 154004, China;

2.Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610000, China)

**Abstract:** It is of great significance to make full use of soil moisture resources and cope with climate change to understand the spatiotemporal variation characteristics and rules of soil moisture. Based on the data of soil moisture, temperature and precipitation of 23 agricultural weather stations in Sanjiang Plain during the period from 1982 to 2017, the trend variation characteristics of soil moisture in the land (0—50 cm) and its relationship with temperature and precipitation climate factors were analyzed by using statistical analysis, M-K mutation test and other methods. The results showed that: (1) in the past 37 years, the relative humidity of 0—30 cm and 40—50 cm soil in Sanjiang Plain presented a significant trend of decrease and stage change, and the mutation occurred in the year of 1997, but there was no significant change in the layer of 30—40 cm; in the vertical direction, the soil relative humidity in the middle layer (30—40 cm) was the largest, and soil relative humidity in the upper and lower layers presented the decreasing trend; the spatial distribution of soil relative humidity was different, and the soil relative humidity decreased from north to south and from east to west; (2) the degree of influence of temperature and precipitation on soil relative humidity in Sanjiang Plain was different; the relative humidity of 0—20 cm soil in the shallow layer was mainly affected by temperature and precipitation from April to September growing season, while the relative humidity of layer (20—30 cm) and the layer (40—50 cm) were affected by temperature and precipitation, respectively, in the growing season from April to September; however, the relative humidity

收稿日期:2020-03-30

修回日期:2020-04-13

资助项目:2020 年黑龙江省气象科学技术研究项目“三江平原土壤湿度变化及其对气象条件的响应”(HQ2020019)

第一作者:王芳(1968—),女,河南上蔡人,高级工程师,主要从事农业气象、林业生态研究。E-Mail:huiruiwf@163.com

通信作者:梁静(1990—),女,黑龙江佳木斯人,硕士生,工程师,主要从事气候变化研究。E-Mail:lj316952778@163.com

of the layer (30—40 cm) was not affected by air and precipitation. All in all, there are differences in soil relative humidity in Sanjiang Plain in recent 37 years. The relative humidity of each layer was in relatively high (wet), lower (normal) and higher (wet) stages after 1982—1996, 1997—2013 and 2014, respectively. The temperature and precipitation in the growing season from April to September are the main meteorological factors affecting the soil relative humidity in Sanjiang Plain.

**Keywords:** climate change; soil; relative humidity; Sanjiang Plain; M-K Mutation test

土壤湿度作为地表水文过程的一个综合指标,积累了地表水文过程的大量信息,是气候系统中关键变量之一。土壤水分对植物的生长发育、土壤生产力起着十分重要的作用,也会通过与植被、大气之间的传输改变能量收支平衡,影响气候和生态系统的分布<sup>[1-2]</sup>。土壤湿度作为对气候较敏感的因子,与气候变化相互作用、相互影响,土壤湿度能通过热量传输改变气候,气候变化又在长期时间内反馈影响土壤湿度的变化<sup>[3-5]</sup>。因此,分析土壤湿度的时空变化特征,认识土壤水分变化规律,对土壤水分资源的合理利用及应对气候变化显得尤为重要。

对土壤湿度与气候变化之间关系和规律的研究得到众多学者的关注和研究。马柱国等<sup>[3]</sup>研究表明,40°N 以北的地区深层土壤变湿,而浅层则变干;李琛等<sup>[6]</sup>研究指出,东北地区表层的土壤湿度有下降的趋势,而深层以下则有上升的趋势。郭维栋等<sup>[7]</sup>认为东北地区到 20 世纪 90 年代以后土壤湿度仍比较低;左志燕等<sup>[8]</sup>指出整个中国东部地区的春季土壤在不同程度上有干旱化的现象。在土壤湿度与相关气候因子关系方面,张秀芝等<sup>[9]</sup>、姜丽霞等<sup>[10]</sup>、韩俊杰等<sup>[11]</sup>指出,土壤湿度和降水之间呈正相关,而与气温之间则呈负相关;邱扬等<sup>[12]</sup>研究指出,土壤水分的时空变异由多重尺度的土地利用、气象、土壤、地形、人类活动等多种因子共同作用的结果,但单就某一地区而言,存在主控因子和重点尺度。

三江平原(43°49′—48°27′N, 129°11′—135°05′E)位于黑龙江省东北部,西起小兴安岭,东至乌苏里江,北起黑龙江,南抵兴凯湖<sup>[13]</sup>,总面积约 10.89 万 km<sup>2</sup>,占全省总面积的 23.9%。三江平原由 23 个县(市)组成,是我国重要的商品粮生产基地和粮食战略后备基地<sup>[14]</sup>。然而,三江平原由于水资源丰富,土壤湿度过高,春、夏渍涝等农业灾害频发,对农业生产造成了一定的影响。在全球气候变暖背景下,黑龙江省气候变暖尤为剧烈<sup>[15]</sup>,三江平原土壤湿度也相应发生了变化。因此,有必要从气象角度进一步研究近年来三江平原土壤湿度时空变化特征和规律,为农业(尤其旱作农业)生产及决策提供气候数据。

## 1 材料与方法

资料为 1982—2017 年黑龙江省三江平原 23 个农业气象站的土壤湿度观测资料(地中 0—50 cm),观测资料为每旬逢 8;气温降水数据为同期 23 个国家气象站的日常观测数据。采用 Microsoft Excel 2007 工具绘制曲线图, ArcGIS 工具绘制空间图, DPS 7.05 统计软件进行相关统计及 M-K 突变检验分析等。黑龙江省土壤湿度旱涝参照指标值为<sup>[10]</sup>:土壤相对湿度 $\leq 70\%$ ,土壤为偏干;在  $70\% \sim 90\%$ ,土壤湿度为正常; $>90\%$ ,土壤为偏湿。

## 2 结果与分析

### 2.1 三江平原土壤湿度的年际变化特征

由图 1 可以看出,近 37 a 来三江平原地中 0—50 cm 土壤相对湿度呈阶段性变化,变化趋势存有较好的一致性,但各层土壤相对湿度存在差异,呈现中间层(30—40 cm)土壤相对湿度最大,上下层递减的趋势。1982—1996 年阶段 10—50 cm 土壤相对湿度在 90% 左右,相对较高,处于偏湿状态;1997—2013 年阶段土壤相对湿度基本处于  $70\% \sim 90\%$ ,相对较低,处于正常状态;2014 年后 20—40 cm 土壤相对湿度增高,处于偏湿状态,与该时期降水量偏多有关。而 0—10 cm 土壤相对湿度时间变化趋势与 10—50 cm 变化趋势基本相同,但其湿度处于正常范围内,这是土壤表层水分散失较快之故。

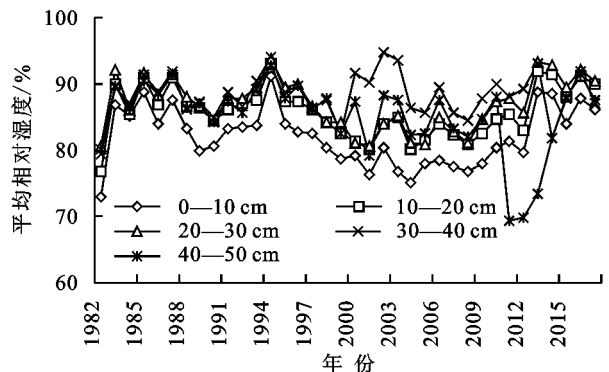


图 1 三江平原 0—50 cm 土壤相对湿度年际变化

### 2.2 土壤湿度趋势检验及突变分析

采用 M-K 突变检验法分别对三江平原地中(0—50

cm)的土壤相对湿度进行趋势检验(图 2)和突变分析(图 3)。可见看出:三江平原地中 0—30 cm,40—50 cm 土壤相对湿度总体呈降低趋势。0—30 cm 土壤相对湿度减少趋势极显著(UF 超过信度线范围,甚至超过 0.001 显著性水平( $U=\pm 2.56$ )). 40—50 cm 土层的土壤相对湿度 UF 曲线 1997 年后呈减小的趋势,并且 UF 值出现超过  $\alpha=0.05$  的信度线( $U_{\alpha}=\pm 1.96$ ),表明地中 40—50 cm 的土壤相对湿度减少的趋势显著。UF 曲线和 UB 曲线交点在 1997 年,交点位置在信度线之间,地中 40—50 cm 的土壤相对湿度突变年为 1997 年。经统计分析,40—50 cm 土壤相对湿度呈显著线性变化,线性倾向率为 $-1.96\%/10\text{ a}$ ,通过了  $p<0.05$  的显

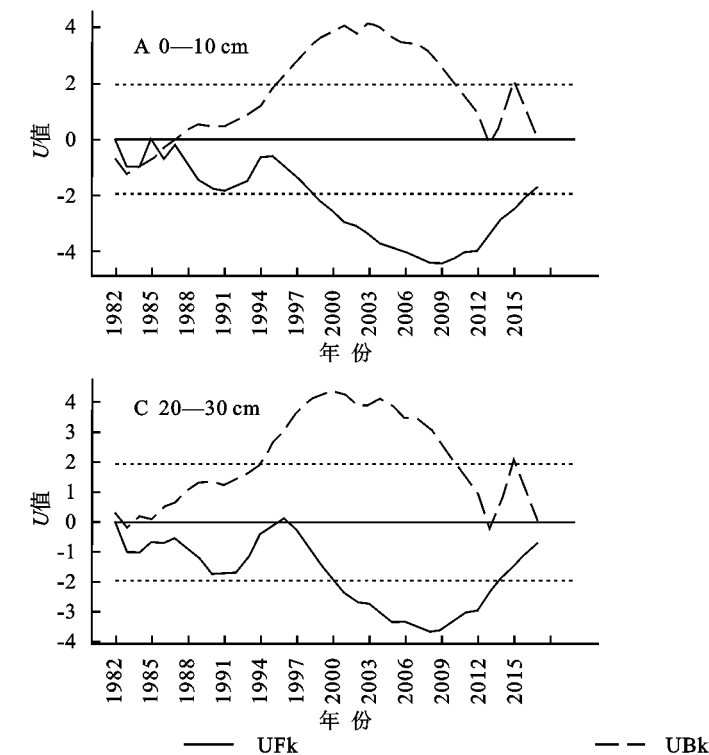


图 3 三江平原 0—50 cm 土壤相对湿度 M-K 突变检验曲线

### 2.3 三江平原土壤湿度空间分布特征

为研究三江平原土壤相对湿度的空间差异,因而分析了三江平原 1982—2017 年各层土壤平均相对湿度的空间分布由图 4 可见,从总体上看,北部地区土壤相对湿度高于南部地区、东部略高于西部,土壤相对湿度由北到南、由东到西递减。其中,三江平原北部和东北部 20—50 cm 土壤相对湿度处于偏湿状态,除南部局部区域外,其他区域土壤相对湿度处于正常状态;0—10 cm 土壤相对湿度处于正常状态。比较各土层土壤相对湿度空间分布,亦呈现 30—40 cm 土壤相对湿度最大,上下层递减的趋势。

在土壤干湿状况的具体地理位置上,三江平原东部的同江、抚远平均土壤相对湿度高于 90%,属湿润

著性统计检验;其他深度土壤相对湿度线性变化不显著,呈非线性变化。

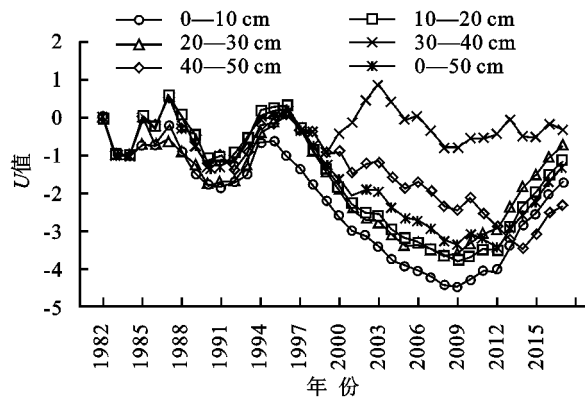
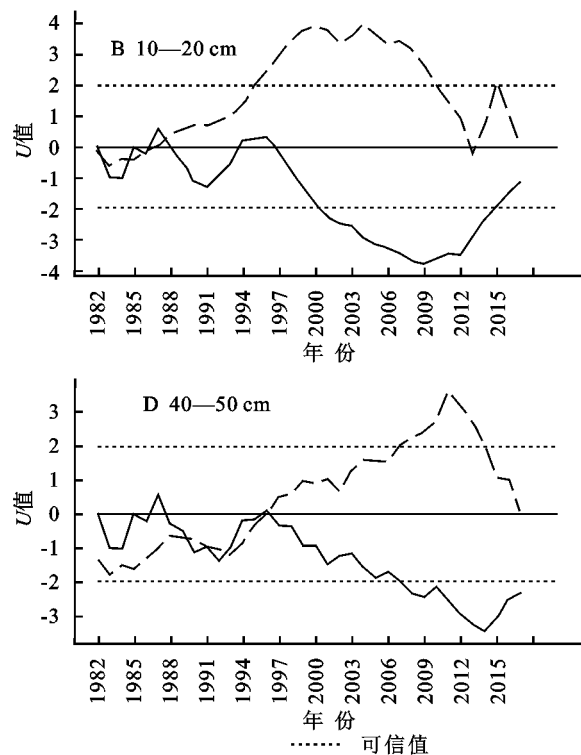


图 2 M-K 法计算的土壤相对湿度的  $U(qk)$  分布曲线



区;中部的宝清、勃利平均土壤相对湿度接近 90%,属较湿润区;南部的鸡西、鸡东、穆棱土壤湿度相对偏干;其他区域土壤相对湿度处于正常状态。

### 2.4 土壤湿度对气温、降水等的响应

由于土壤湿度受土壤类型、土地利用、气候、人类活动干扰等多种因素的影响,土壤湿度变化过程较为复杂,本文仅考虑气温、降水等气候因素对土壤湿度的影响。三江平原 1982—2016 年土壤相对湿度、平均气温和降水量的相关关系见表 1。由表 1 可知,1982—2016 年三江平原 4—9 月生长季平均气温与 0—30 cm 土层土壤相对湿度呈显著负相关;4—9 月生长季降水量与 0—20 cm,40—50 cm 土层土壤相对湿度分别呈显著和极显著正相关。说明三江平原

4—9 月生长季气温、降水量的协同作用影响 0—20 cm 土层土壤相对湿度,这是因 0—20 cm 土层土壤常年耕作,土壤孔隙良好,降水入渗和气温蒸发与蒸散

较快之故;20—30 cm 和 40—50 cm 土壤相对湿度分别受气温和降水作用的影响;而地中 30—40 cm 土壤相对湿度受气温和降水作用的影响不大。

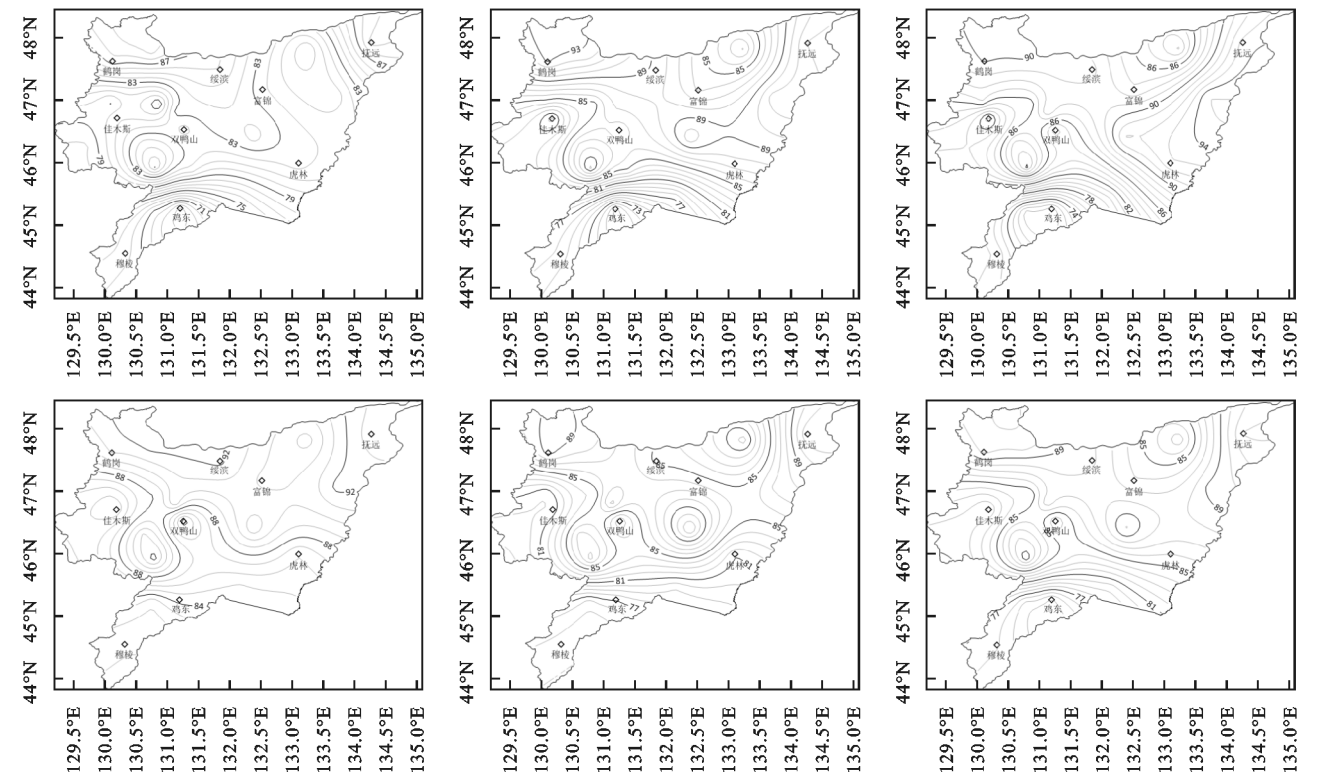


图 4 三江平原 0—50 cm 土壤相对湿度空间分布

表 1 地中土壤相对湿度与平均气温、降水量相关系数					
物候期	0—10 cm	10—20 cm	20—30 cm	30—40 cm	40—50 cm
4—9 月平均气温	−0.352 *	−0.372 *	−0.387 *	−0.175	−0.307
4—9 月降水量	0.409 *	0.386 *	0.305	0.135	0.494 *

注: \* \*, \* 表示通过了 0.01, 0.05 水平的显著性检验,

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

分析表明,近 36 年来三江平原地中 0—30 cm, 40—50 cm 土壤相对湿度呈显著降低趋势,30—40 cm 土壤相对湿度无显著变化。0—30 cm 土壤相对湿度下降的趋势与马柱国<sup>[3]</sup>、李琛<sup>[6]</sup>等观点一致,但 30—40 cm 土层、40—50 cm 土壤相对湿度变化情况与马柱国<sup>[3]</sup>、李琛<sup>[6]</sup>等观点存在差异,马柱国等<sup>[3]</sup>指出 40°N 以北的地区深层土壤变湿,李琛等<sup>[6]</sup>认为东北地区深层土壤湿度有上升的趋势,分析结果差异的原因可能与土壤、地形、尺度等有关。

张秀芝<sup>[9]</sup>、姜丽霞<sup>[10]</sup>、韩俊杰<sup>[11]</sup>等研究指出,土壤湿度和降水之间呈正相关,而与气温之间则呈负相关,与本文分析结果基本一致,但本文进一步分析了气温、降水量对各层土壤相对湿度影响差异。本文分析认为,三江平原 0—20 cm 土壤相对湿度主要受

4—9 月生长季气温、降水量的协同作用影响,20—30 cm 和 40—50 cm 土壤相对湿度分别受 4—9 月生长季的气温和降水作用的影响;而 30—40 cm 土壤相对湿度受气温和降水作用的影响不大。

#### 3.2 结论

(1) 近 36 年来三江平原地中 0—30 cm, 40—50 cm 土壤相对湿度呈显著降低趋势,并呈阶段性变化,突变年在 1997 年;30—40 cm 土壤相对湿度无显著变化;各层土壤相对湿度垂直方向呈现中间层(30—40 cm)土壤相对湿度最大,上下层递减的趋势。1982—1996 年、1997—2013 年、2014 年后各层土壤相对湿度分别处于相对较高(偏湿)、较低(正常)、较高(偏湿)阶段。40—50 cm 土壤相对湿度呈显著线性变化,线性倾向率为−1.96%/10 a,其他各层土壤相对湿度呈非线性变化。

(2) 三江平原土壤相对湿度的空间分布存在差异,土壤相对湿度由北到南、由东到西递减趋势。其中,三江平原北部和东北部 20—50 cm 土层土壤相对湿度处于偏湿状态,除南部局部区域外,其他区域土壤相对湿度处于正常状态;0—10 cm 土层土壤相对湿度处于正常状态。



(3) 三江平原气温、降水量对各层土壤相对湿度影响程度不同。0—20 cm 土壤相对湿度主要受 4—9 月生长季气温、降水量的协同作用影响, 20—30 cm 和 40—50 cm 土壤相对湿度分别受 4—9 月生长季的气温和降水作用的影响; 而 30—40 cm 土壤相对湿度受气温和降水作用的影响不大。

#### 参考文献:

- [1] Koster R D, Dirmeyer P A, Guo Z C, et al. Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation [J]. Science, 2004, 305: 138-144. doi:10.1126/science.1100217 pmid:15326351.
- [2] 林洁, 陈效民, 张勇. 气候变化与土壤湿度关系的研究进展[J]. 土壤通报, 2012, 43(5): 1271-1276.
- [3] 马柱国, 魏和林, 符涂斌. 中国东部区域土壤湿度的变化及其与气候变率的关系[J]. 气象学报, 2000, 58(3): 278-287.
- [4] 杨永辉, 渡边正孝, 王智平, 等. 气候变化对太行山土壤水分及植被的影响[J]. 地理学报, 2004, 59(1): 56-63.
- [5] 李巧萍, 丁一汇, 董文杰. 土壤湿度异常对区域短期气候影响的数值模拟试验[J]. 应用气象学报, 2007, 18(1): 1-11.
- [6] 李琛, 沈新勇, 李伟平. 东北地区土壤湿度的诊断分析[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(9): 4696-4700.
- [7] 郭维栋, 马柱国, 姚永红. 近 50 年中国北方土壤湿度的区域演变特征[J]. 地理学报, 2003, 58(S1): 83-90.
- [8] 左志燕, 张人禾. 中国东部夏季降水与春季土壤湿度的联系[J]. 科学通报, 2007, 52(14): 1722-1724.
- [9] 张秀芝, 吴迅英, 何金海. 中国土壤湿度的垂直变化特征[J]. 气象学报, 2004, 62(1): 51-61.
- [10] 姜丽霞, 李帅, 纪仰慧, 等. 1980—2005 年松嫩平原土壤湿度对气候变化的响应[J]. 应用生态学报, 2009, 20(1): 91-97.
- [11] 韩俊杰, 高永刚, 南瑞, 等. 1984—2005 年黑龙江省主要农区土壤湿度的变化特征[J]. 中国农业气象, 2009, 30(1): 41-44.
- [12] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 土壤水分时空变异及其与环境因子的关系[J]. 生态学杂志, 2007, 26(1): 100-107.
- [13] 闫敏华, 邓伟, 马学慧. 大面积开荒扰动下的三江平原近 45 年气候变化[J]. 地理学报, 2001, 56(2): 159-170.
- [14] 马向东, 于建国, 李宝林. 三江平原水利建设中的环境问题分析[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2006, 18(2): 104-107.
- [15] 高永刚, 那济海, 顾红, 等. 黑龙江省气候变化特征分析[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(5): 47-50.
- ~~~~~
- (上接第 171 页)
- [22] 郝振纯, 闫龙增, 鞠琴, 等. 山西省盆地 2006—2010 年地下水动态分析[J]. 人民黄河, 2014, 36(6): 90-92.
- [23] 宋扬, 李慧, 周维博, 等. 泾惠渠灌区作物需水量特征及影响因素分析[J]. 排灌机械工程学报, 2016, 34(8): 703-708.
- [24] 魏新光, 王铁良, 李波, 等. 辽宁省玉米地水分盈亏时空分布特征及灌溉模式分区研究[J]. 农业工程学报, 2018, 34(23): 127-134.
- [25] 庞艳梅, 陈超, 潘学标. 1961—2010 年四川盆地玉米有效降水和需水量的变化特征[J]. 农业工程学报, 2015, 31(S1): 133-141.
- [26] 黄晚华, 杨晓光, 曲辉辉, 等. 基于作物水分亏缺指数的春玉米季节性干旱时空特征分析[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 28-34.
- [27] 李闯, 刘艳伟, 符娜, 等. 基于作物水分盈亏指数的昆明水稻生长季干旱特征及成因分析[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(3): 186-192.
- [28] 刘涛, 杨晓光, 高继卿. 吉林省梨树县不同作物产能及产能水分利用效率研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(7): 97-104.
- [29] 曹昌林, 白文斌, 张建华, 等. 粒用高粱需水量及耗水特性的研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(21): 86-91.
- [30] 张祖光, 郝卫平, 李昊儒, 等. 山西省春玉米生育期干旱特征分析[J]. 中国农业气象, 2015, 36(6): 754-761.