

1961—2010年东北农作区春小麦需水量的时空变化特征

姜雨林 尹小刚 王猛 文新亚 田家瑞 胡惠杰 陈阜*

(中国农业大学 农学与生物技术学院/农业部农作制度重点实验室,北京 100193)

摘要 利用东北农作区 58 个气象站点 1961—2010 年的逐日气象数据,基于 Simulation of Evapotranspiration of Applied Water (SIMETAW) 模型分析气候变化背景下东北农作区春小麦生育期内作物需水量 (Crop evapotranspiration, ETc) 和灌溉需要量 (Evapotranspiration of applied water, ETaw), 以及典型站点春小麦的灌溉需求指数 (Irrigation demand index, IDI) 的时空变化特征。结果表明:近 50 年来,东北农作区日平均温度呈显著上升趋势,平均降水量下降趋势不明显,平均太阳辐射及作物蒸散量呈显著下降趋势。春小麦生育期作物需水量和灌溉需要量呈下降趋势,其分布均表现为西多东少。50 年来春小麦作物生育期需水量下降主要集中于松辽及兴安岭南地区,东部地区变化趋势不明显;生育期灌溉需要量下降集中于松辽及兴安岭地区,三江平原地区略有增加,长白山地区多年保持平稳。

关键词 春小麦;东北农作区;气候变化;温度;降雨;太阳辐射;作物需水量;灌溉需要量

中图分类号 S 512 **文章编号** 1007-4333(2015)05-0024-07 **文献标志码** A

Temporal and spatial changes of crop evapotranspiration for spring wheat in the Northeast Farming Region of China during 1961 to 2010

JIANG Yu-lin, YIN Xiao-gang, WANG Meng, WEN Xin-ya, TIAN Jia-rui, HU Hui-jie, CHEN Fu*

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract Northeast Farming Region of China is our main production area of spring wheat. Climate changes have significant impact on spring wheat production in this region. Based on observed daily meteorological data in 1961—2010 of 58 normal meteorological codes in the Northeast Farming Region of China, crop evapotranspiration (ETc), evapotranspiration of applied water (ETaw) and irrigation demand index (IDI) of spring wheat were calculated by Simulation of Evapotranspiration of Applied Water (SIMETAW). The result showed that the temperature significantly increased while precipitation, solar radiation and evapotranspiration (ETo) decreased from 1961—2010. Spring wheat ETc and ETaw decreased from 1961—2010. Its distribution was gradually increased from east to west. The decrease of spring wheat ETc concentrated mainly in Songliao region and the south of Xing'anling region. The change trend of eastern region was not obvious. The decrease of ETaw concentrated mainly in Songliao and Xing'anling region while a slight increase in Sanjiang plain region and a small change in Changbai mountain area.

Key words spring wheat; Northeast Farming Region; climate change; temperature; precipitation; solar radiation; crop evapotranspiration (ETc); evapotranspiration of applied water (ETaw)

小麦是我国第二大粮食作物,其中春小麦占小麦总面积的 15%左右^[1],东北农作区是我国优质春小麦主产区,1980s 该地区春小麦种植面积占全国

春小麦种植面积的 1/2。近 30 年来,东北农作区春小麦面积大幅减少^[2],目前春小麦主要集中在大兴安岭沿麓地区和辽宁西部地区^[3-6]。近几十年来气

收稿日期:2014-07-07

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(201103001)

第一作者:姜雨林,硕士研究生,E-mail:jiangyulin93@163.com

通讯作者:陈阜,教授,主要从事气候变化与农作制度研究,E-mail:chenfu@cau.edu.cn

候变化对我国农业造成明显的影响,东北农作区是我国受气候变化影响最为显著的地区之一^[7-8]。气候变暖背景下东北农作区极端事件频繁发生,使得该地区春小麦生产的气候风险增加;干旱是影响东北农作区春小麦生产的主要极端气候事件,东北农作区水资源的分布不均加剧了春小麦生产风险^[9-10]。灌溉是减轻干旱对春小麦不利影响的有效措施,但是东北农作区水资源比较匮乏,因此制定合理的灌溉制度,提高水资源利用率,是东北春小麦生产中亟需解决的问题^[11-15]。作物需水量(Crop evapotranspiration, ET_c)能够直观地反映作物的水分需求状况,广泛地应用于农业水资源评价^[16-20]。东北农作区春小麦生产的研究相对较少,鲜有关于春小麦作物需水量方面的相关报道,因此分析东北农作区春小麦作物需水量的时空变化特征对于指导该地区春小麦生产具有重要意义。

本研究运用由美国加州大学戴维斯分校开发的Simulation of Evapotranspiration of Applied Water (SIMETAW)模型,计算春小麦生育期内的ET_c和灌溉需要量(Evapotranspiration of applied water, ET_{aw}),该模型主要基于联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization, FAO)推荐的Penman-Montieth方程^[21-22]计算逐日ET_c,同时还可模拟作物ET_{aw}等农田水量平衡数据,在模拟ET_c方面具有诸多优势^[23-25]。史金丽等^[26]在东北阜新地区对SIMETAW模型进行参数校正并估算地区的ET_c,结果表明SIMETAW模型在东北地区具有较好的适用性。本研究利用东北农作区58个气象站点1961—2010年逐日气象数据,分析东北农作区不同年代春小麦生育期内ET_c和ET_{aw}的时空变化特征,研究气候变化对典型站点春小麦生产的影响,探讨未来气候变化对该地区春小麦生产的可能影响,以期对东北农作区未来气候变化背景下提高水分利用效率研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

东北农作区是指东北平原及其东部北部山地和山前的丘陵漫岗坡地,土地面积为10 372 hm²,占全国农作区总面积的11%,耕地面积为1 417万hm²,占全国耕地总面积的15%。该区域大部分属于半湿润中温带,年平均气温5~10.6℃,常年>10℃的活动积温1 500~3 600℃,无霜期140~170 d,

年降水量500~800 mm,集中在7—9月份,雨热同期,基本能满足作物生长需要,该地区耕地集中,土地广阔平坦,机械化水平高,是我国主要农业区和优质商品粮基地^[4],玉米、水稻、大豆和春小麦是该地区主要的粮食作物^[27-28]。本研究从南到北依次选取本溪、阜新、四平、哈尔滨、宝清和克山等6个典型站点(图1)来分析气候变化背景下东北农作区春小麦作物需水量的时空变化特征。

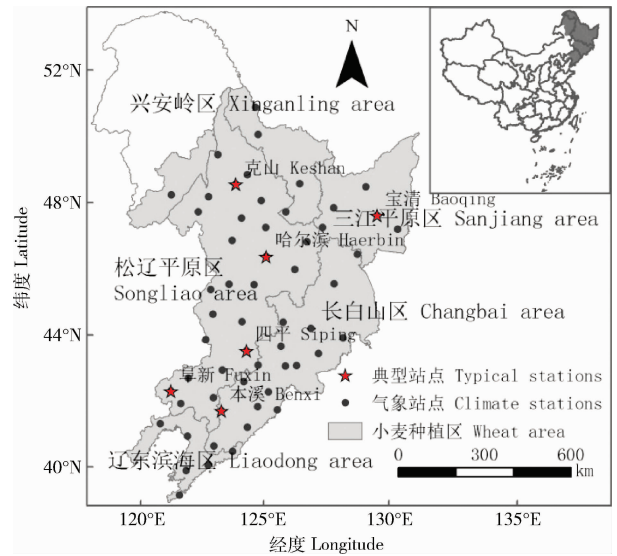


图1 东北农作区典型站点分布情况

Fig. 1 Distribution of selected weather stations in Northeast Farming Region

1.2 数据来源及ET_c模拟

选取东北农作区58个气象站点1961—2010年的逐日气象数据,包含日平均气温、最高气温、最低气温、平均风速、平均相对湿度、日照时数、平均太阳辐射和降水量等,气象数据来自中国气象数据共享网。主要作物参数来自国家气象局1981—2010年东北地区典型站点的记录数据,运用多年平均的方法定义东北农作区春小麦生产的生育期。作物参数包括春小麦的播种日期、收获日期以及种植密度等。

SIMETAW模型的输入数据除上述逐日气象数据外,还需要输入各个站点的纬度、海拔和春小麦生育期的起止日期。模型的校正与使用方法见参考文献^[23-24]。结合李玉霖等^[29]在奈曼地区的研究结果,用“试错法”调整SIMETAW模型的作物参数,校正后的SIMETAW模型能够较好地模拟东北农作区春小麦逐日的ET_c。

1.3 气候倾向率

气候倾向率用一元线性回归方程表示:

$$X = at_i + b, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

式中: X 为要素值; t_i 为年份; n 代表具体年份; 以线性回归系数 a 的 10 倍作为气候倾向率^[17-18, 30]。

1.4 作物 ETaw 及 IDI 的计算方法

ETaw 计算方法如下:

$$ETaw = ETc - P \quad (2)$$

式中: P 为有效降雨量, P 值为运算过程值, 模型最终直接输出 ETaw 值。

IDI 是指灌溉需水量与需水量的比值, 能够较好地反映作物生长对灌溉的依赖程度^[19], 其计算公式如下:

$$IDI = ETaw / ETc \quad (3)$$

式中: IDI 取值范围为 0~1, IDI 值越小表明作物对灌溉的需求程度越低。

1.5 统计方法

利用 Excel 2010 进行数据分析处理, 利用 R 语言进行相关回归的分析研究, 利用 ArcGIS10.2 的反距离权重插值法 (Inverse Distance Weighted, IDW) 分析春小麦 ETc 的空间变化特征。

2 结果与分析

2.1 春小麦生育期气候资源变化特征

1961—2010 年东北农作区春小麦生育期内日平均温度呈显著上升趋势 (表 1), 多年平均值为 17.9 °C, 气候倾向率为 0.26 °C/10 a。生育期降水量多年总体呈不显著下降趋势, 多年平均值为 335 mm, 其气候趋向率为 1.19 mm/10 a。生育期内日平均太阳辐射多年总体呈显著下降趋势, 平均太阳辐射值为 20.3 MJ/m², 气候趋向率为 0.26 MJ/(m² · 10 a)。参考作物蒸散量 (Evapotranspiration, ET_o) 呈显著减少趋势, 多年平均值为 446 mm, 气候倾向率为 4.58 mm/10 a。

春小麦生育期内日平均温度除本溪地区外均呈显著增加趋势; 降水量变化不一, 北部克山和哈尔滨地区降水量呈增加趋势, 其他地区降雨均呈减少趋势, 但变化趋势均不显著; 太阳辐射呈下降趋势, 其中哈尔滨、四平和阜新地区太阳辐射呈显著下降趋势; 各地区潜在 ET_o 均呈减少趋势, 其中哈尔滨和本溪地区的 ET_o 下降趋势显著 (表 1)。

表 1 1961—2010 年东北农作区典型站点气候资源的变化特征

Table 1 Spatial variations of climate factors in typical stations of Northeast Farming Region from 1961—2010

| 区域 Area | 多年平均值 Average | | | | 10 年气候趋向率 Climate tendency | | | |
|-------------------------|----------------------|-------------------------|---|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|---|---------------------------------|
| | 温度/°C Temperature | 降水量/mm Precipitation | 辐射量/ (MJ/m ²) Radiation | 作物蒸 散量/mm ET _o | 温度/°C Temperature | 降水量/mm Precipitation | 辐射量/ (MJ/m ²) Radiation | 作物蒸 散量/mm ET _o |
| 宝清 Baoqing | 17.1 | 261 | 20.1 | 447 | 0.26** | -0.60 | -0.09 | -2.59 |
| 克山 Keshan | 16.7 | 294 | 20.9 | 456 | 0.34** | 5.46 | -0.09 | -3.69 |
| 哈尔滨 Haerbin | 18.2 | 294 | 20.7 | 481 | 0.34** | 1.40 | -0.32** | -10.34** |
| 四平 Siping | 19.3 | 348 | 20.7 | 481 | 0.24** | -6.16 | -0.58** | -9.60 |
| 阜新 Fuxin | 20.1 | 285 | 21.4 | 501 | 0.17* | -5.81 | -0.36** | -4.41 |
| 本溪 Benxi | 19.7 | 417 | 19.9 | 456 | 0.05 | -1.03 | -0.07 | -10.36** |
| 东北农作区 Farming Region | 17.9 | 335 | 20.3 | 446 | 0.26** | -1.19 | -0.26** | -4.58* |

注: * 和 ** 分别表示相关达 0.05 和 0.01 显著水平。

Note: * and ** show correlation significant at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.2 东北农作区春小麦生育期 ETc 的变化特征

近 50 年来东北农作区春小麦生育期 ETc 呈下降趋势, 多年平均值为 358.65 mm (图 2)。宝清和克山 2 个站点所代表的北方地区, 基本保持平稳或略有下降, 多年平均 ETc 分别为 361 和 369 mm, 多

年变化不显著; 松辽中北部地区下降趋势最为明显, 哈尔滨地区和四平地区呈显著下降水平; 松辽西南部地区 ETc 下降趋势明显, 阜新地区多年平均 ETc 为 387.13 mm; 辽东地区下降显著, 多年波动较大, 本溪地区多年平均需水量为 367.89 mm。

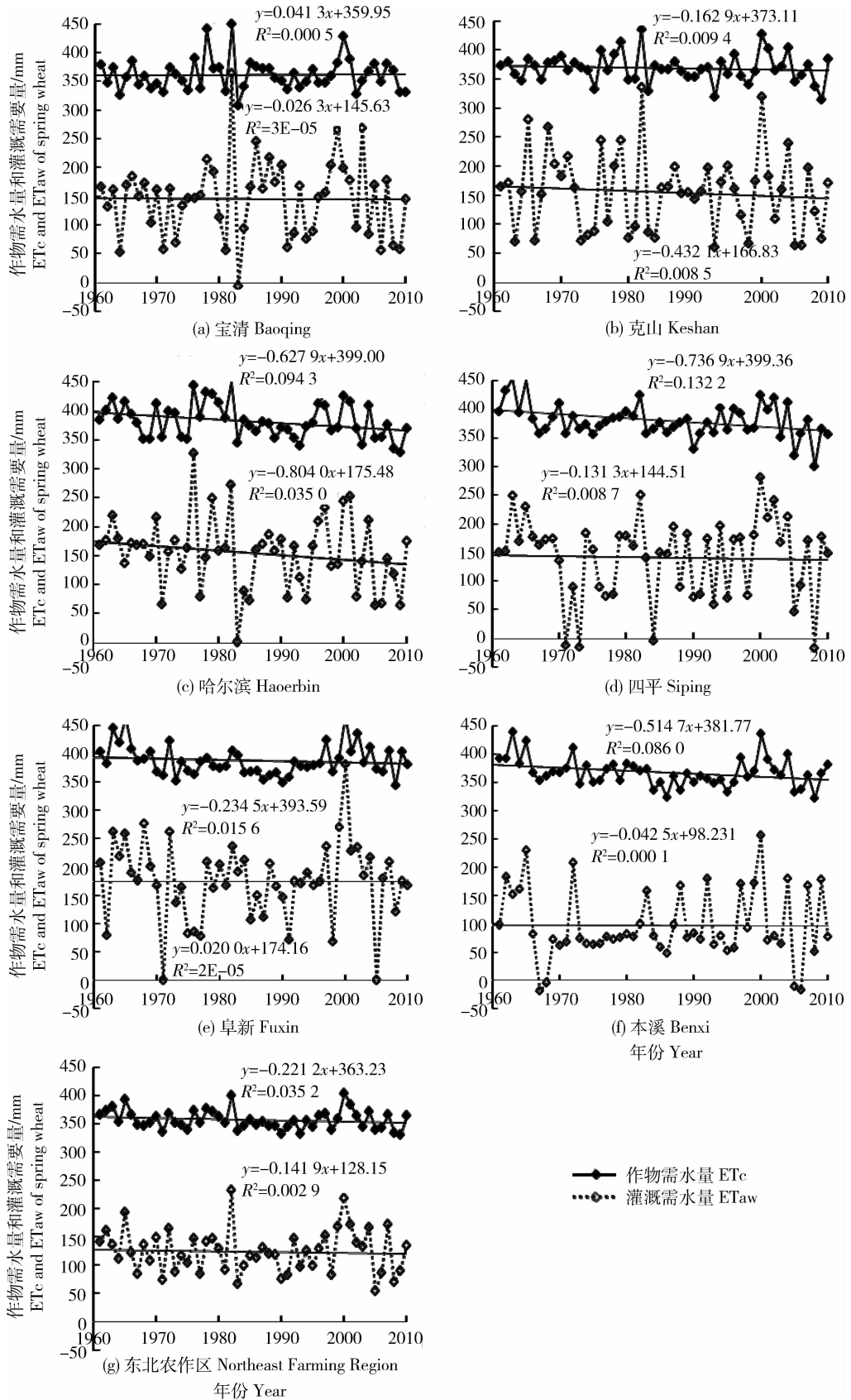


图 2 春小麦生育期作物需水量及灌溉需要量常年变化曲线

Fig. 2 Inter-annual variations of ETc and ETaw during growth period of spring wheat in typical stations from 1961—2010

东北农作区春小麦生育期内 ETc 从东向西增加,松辽平原西部地区春小麦 ETc 最大,长白山南部及辽东滨海地区春小麦 ETc 最低,兴安岭、三江平原及长白山地区基本处于东北农作区平均水平。

松辽西部地区 1960s 春小麦生育期 ETc 达到 400 mm,多年呈显著下降趋势,1990s 有所增加,2000s 下降为 380 mm,其余地区多年基本保持平稳(图 3)。

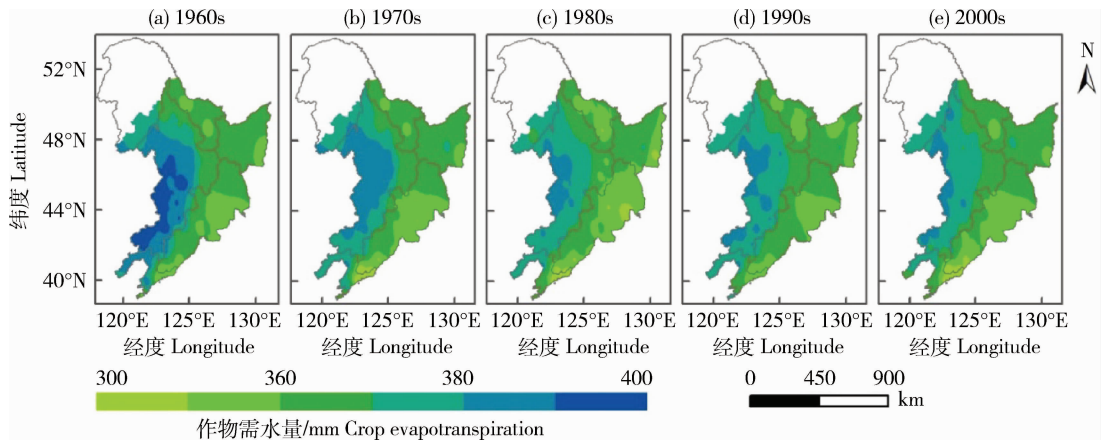


图 3 1961—2010 年东北农作区春小麦生育期作物需水量空间变化比较

Fig. 3 Spatial variations of ETc during growth period of spring wheat in Northeast Farming Reigon from 1961 to 2010

2.3 春小麦生育期内 ETaw 变化特征

东北农作区春小麦 ETaw 呈下降趋势,年际波动较大,其多年平均值为 126.58 mm(图 2)。宝清地区平均 ETaw 为 144.94 mm,多年基本无变化;克山和哈尔滨地区下降趋势明显,但依然处于东北农作区较高水平,平均 ETaw 分别为 155.38 和 154.18 mm;松辽东南部的四平地区,多年基本无变化,ETaw 低于松辽北部地区,均值为 141.04 mm,处于东北平均水平;松辽西南部阜新地区,年平均 ETaw 保持在较高水平,达到 174.69 mm。长白山本溪地区平均 ETaw

多年保持稳定,为 97.11 mm,显著低于其他各区。

东北农作区春小麦生育期 ETaw 从东向西增加,松辽地区灌溉需要量处于东北最高水平,长白山地区 ETaw 多年保持较低水平。三江地区、兴安岭地区及辽东地区多年基本保持平稳。1960s 松辽西部地区春小麦生育期 ETaw 为 220 mm,后 20 年呈下降趋势,1980s 达到近 50 年最低水平,1990s ETaw 显著增加,达到 200 mm,2000s 又呈下降趋势;三江地区 1970s 春小麦 ETaw 显著增加,后呈下降趋势,近 30 年基本保持稳定(图 4)。

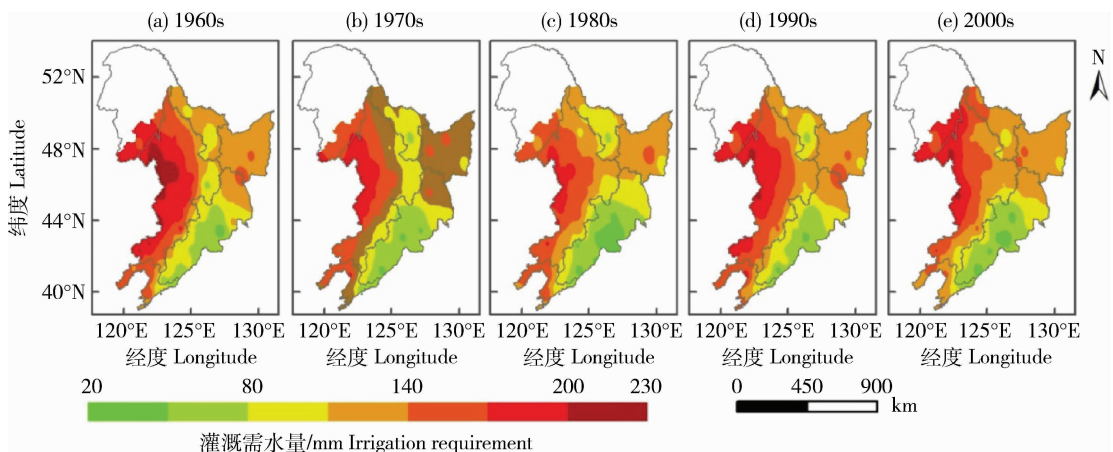


图 4 东北农作区不同年代春小麦生育期作物灌溉需水量空间分布特征

Fig. 4 Spatial variations of ETaw during growth period of spring wheat in Northeast Farming Reigon from 1961 to 2010

2.4 春小麦生育期内 IDI 变化特征

近 50 年来东北农作区春小麦生育期 IDI 年代际波动较大(表 2), 平均水平在 0.35 左右, 空间上大体呈现北多南少的分布格局。其中宝清、克山及哈尔滨地区分别为 0.39、0.41 和 0.40, 高于东北平均水平, 但近 30 年来呈不断下降趋势, 近 10 年基本

和东北平均水平持平; 四平地区多年均值为 0.36, 基本处于东北平均水平, 近 30 年有逐渐上升趋势; 阜新地区 IDI 达到 0.44, 多年变化趋势不明显, 一直处于东北农作区较高水平; 本溪地区春小麦 IDI 显著低于平均水平, 为 0.26, 1990s 达到峰值, 近 10 年又回到平均水平。

表 2 典型站点春小麦生育期灌溉需求指数年际变化情况

Table 2 Spatial variations of IDI during growth period of spring wheat in Northeast Farming Region

| 年代 Decade | 宝清 Baoqing | 克山 Keshan | 哈尔滨 Haerbin | 四平 Siping | 阜新 Fuxin | 本溪 Benxi | 东北地区 Northeast Farming Region |
|--------------|---------------|--------------|----------------|--------------|-------------|-------------|----------------------------------|
| 1960s | 0.40 | 0.46 | 0.45 | 0.44 | 0.50 | 0.25 | 0.37 |
| 1970s | 0.37 | 0.39 | 0.41 | 0.26 | 0.36 | 0.23 | 0.33 |
| 1980s | 0.44 | 0.42 | 0.38 | 0.36 | 0.45 | 0.27 | 0.32 |
| 1990s | 0.40 | 0.43 | 0.40 | 0.37 | 0.48 | 0.32 | 0.36 |
| 2000s | 0.36 | 0.37 | 0.35 | 0.38 | 0.43 | 0.22 | 0.34 |

3 讨论与结论

近 50 年来, 东北农作区春小麦生育期内日平均温度呈显著升高趋势, 太阳辐射下降, 降水量也呈下降趋势, 结果与他人研究相一致^[12-13]。张淑杰等^[6]和董秋婷等^[31]研究表明东北农作区作物生育期内干旱从东向西呈增加趋势, 东北农作区西部地区干旱风险最高。本研究发现东北农作区西部地区春小麦 ET_c 明显大于其他地区, 而西部地区的降水量相对较小^[13], 加之温度升高加剧该地区的土壤蒸散, 使得该地区的春小麦生产干旱风险加大。ET_{aw} 西高东低的分布特点也证实西部地区发生干旱的风险高, 需要更多的灌溉来降低干旱的风险。研究发现, 未来东北农作区温度将继续升高, 降雨分布不均将加大该地区作物生产的干旱风险^[32]。加之春小麦是喜凉作物, 东北农作区南部地区的春小麦将进一步减小, 春小麦的种植重心北移。培育耐旱的春小麦品种, 加强栽培管理措施, 结合合理的灌溉是未来该地区春小麦应对干旱的有效措施。此外, 应优化东北农作区种植结构, 减少干旱地区的春小麦面积, 增加耐旱作物面积, 构建防灾减灾农作制, 以降低未来气候变化背景下干旱对东北农作区作物生产的影响。

本研究利用 SIMETAW 模型理论计算 ET_c、ET_{aw} 及 IDI, 研究气候因素对它们的影响, 由于春

小麦播种、收获日期历史数据资料库不完备, 故近 50 年春小麦生育期长度采用固定值, 这可能导致春小麦生育期理论需水量与实际值存在差异, 还需深入研究。

通过以上研究, 得出如下结论:

1) 近 50 年来东北农作区春小麦生育期内日平均气温显著上升, 太阳辐射量显著下降, 降水量和 ET_o 均呈下降趋势。

2) 近 50 年东北农作区春小麦生育期 ET_c 及 ET_{aw} 呈下降趋势, 空间上呈现西多东少, 北多南少的分布, 多年来松辽地区下降趋势显著, 1960s 松辽西部地区春小麦生育期 ET_c 和 ET_{aw} 为近 50 年最高水平, 后 20 年保持下降趋势, 1990s 显著增加, 2000s 又呈下降趋势; 长白山区一直处于东北最低水平, 多年保持稳定。

3) 东北农作区春小麦生育期 IDI 近 50 年呈下降趋势, 空间上呈现北多南少分布, 平均水平为 0.35, 其中 1980s 为近 50 年最低水平, 1990s 显著增加, 2000s 又下降至平均水平。

参 考 文 献

- [1] 邱斌, 刘欣. 我国未来粮食安全政策研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(5): 2069-2071
- [2] 毛良祥, 方敏. 近 10 年来我国区域耕地面积变化比较研究[J]. 中国国土资源经济, 2008, 21(4): 13-15

- [3] 祈适雨,肖步阳,王进先,等.东北春小麦育种50年. I:小麦育种工作情况及主要成果[J]. 黑龙江农业科学,2003(2):26-29
- [4] 李奇峰,张海林.东北农作区粮食作物种植格局变化的特征分析[J]. 中国农业大学学报,2008,13(3):74-79
- [5] 翟盘茂,邹旭恺.1951—2003年中国气温和降水变化及其对干旱的影响[J]. 气候变化研究进展,2005,1(1):16-18
- [6] 张淑杰,张玉书.东北地区玉米干旱时空特征分析[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(1):231-236
- [7] 赵俊芳,郭建平,张艳红,等.气候变化对农业影响研究综述[J]. 中国农业气象,2010,31(2):200-205
- [8] 赵秀兰.近50年中国东北地区气候变化对农业的影响[J]. 东北农业大学学报,2010,41(9):144-149
- [9] 魏凤英,张婷.东北地区干旱强度频率分布特征及其环流背景[J]. 自然灾害学报,2009,18(3):1-7
- [10] 谢安,孙永罡,白人海,等.中国东北近50年干旱发展及对全球气候变暖的响应[J]. 地理学报,2003,58(S):75-82
- [11] 董莉霞,李广,刘强,等.旱地春小麦产量逐日最低气温和最高气温变化响应的模拟与分析[J]. 中国生态农业学报,2013,21(8):1016-1022
- [12] 贾建英,郭建平.东北地区近46a气候变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(10):109-115
- [13] 刘志娟,杨晓光,王文峰,等.气候变化背景下我国东北三省农业气候资源变化特征[J]. 应用生态学报,2009,20(9):2199-2206
- [14] 秦大河,罗勇,陈振林,等.气候变化科学的最新进展:IPCC第四次评估综合报告解析[J]. 气候变化研究进展,2007,3(6):311-314
- [15] 刘强,严登华.东北地区农业用水安全预警研究[J]. 水土保持通报,2003,23(5):53-57
- [16] 杨晓琳,宋振伟,王宏,等.黄淮海农作区冬小麦需水量时空变化特征及气候影响因素分析[J]. 中国生态农业学报,2012,20(3):356-362
- [17] 李勇,叶清,黄晚华,等.1961—2007年长江中下游地区水稻需水量变化特征[J]. 农业工程学报,2011,27(9):175-183
- [18] 孙爽,李克南,赵锦,等.中国冬小麦需水量时空特征分析[J]. 农业工程学报,2013,29(15):72-82
- [19] 刘钰,汪林,倪广恒,等.中国主要作物灌溉需水量空间分布特征[J]. 农业工程学报,2009,25(12):6-12
- [20] 李凤霞,王连喜,刘静,等.宁夏引黄灌区春小麦需水规律及水分指标的研究[J]. 中国生态农业学报,2003,11(4):108-110
- [21] Allen R G, Smith M, Perrier A, et al. An update for the definition of reference evapotranspiration[J]. ICID Bulletin, 1994,43(2):64-92
- [22] 刘钰,Pereira L S.对FAO推荐的作物系数计算方法的验证[J]. 农业工程学报,2000,16(5):26-30
- [23] 宋振伟.基于模型与情景分析的节水型种植模式构建:以北京市为例[D].北京:中国农业大学,2009
- [24] 孔箐铤,张海林,陈阜,等.基于SIMETAW模型的北京地区主要作物需水量估算[J]. 中国农业大学学报,2009,14(5):109-115
- [25] 刘洋,杨宁,白伟,等.基于SIMETAW模型阜新地区花生的验证模拟与应用[J]. 辽宁农业科学,2012(2):1-4
- [26] 史金丽,王立刚,邱建军,等.SIMETAW模型在辽西北地区的验证与应用[J]. 中国农业科学,2009,42(10):3726-3733
- [27] 刘巽浩,陈阜.中国农作制[M].北京:中国农业出版社,2003:58-72
- [28] 刘巽浩,陈阜,高旺盛.我国东中西片农作制特征与战略优先序[J]. 农业现代化研究,2004,25(5):321-329
- [29] 李玉霖,崔建恒.奈曼地区灌溉麦田蒸散量及作物系数的确定[J]. 应用生态学报,2003,14(6):930-934
- [30] 尹小刚,刘武仁,郑洪兵,等.松辽平原中部地区应对气候干旱变化的土壤耕作技术[J]. 农业工程学报,2012,28(22):123-131
- [31] 董秋婷,李茂松,王春艳,等.近50年东北地区春玉米干旱的时空演变特征[J]. 自然灾害学报,2011,20(4):52-59
- [32] 丁一汇,任国玉,石广玉,等.中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展,2006,2(1):3-8

责任编辑:袁文业