

基于湿润指数的中国干湿状况变化趋势

赵俊芳¹, 郭建平¹, 徐精文², 毛飞¹, 杨晓光³, 张艳红⁴

(1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2. 四川农业大学资源环境学院, 雅安 625014;
3. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 4. 国家气象中心, 北京 100081)

摘要: 进行中国未来干湿状况时空变化趋势的预测可对未来应对气候变化及调整农业生产布局提供重要理论依据。选取区域气候模式 PRECIS 输出的未来 A2 气候情景 (2011—2050 年) 以及基准气候条件 (1961—1990 年) 逐日资料, 利用世界粮农组织推荐的 Penman—Monteith 方法, 计算了参考作物蒸散和湿润指数, 按照中国气候区划中的干湿指标把中国分为极干旱、干旱、半干旱、半湿润、湿润 5 个气候区, 从农业角度分析了中国 2011—2050 年干湿状况时空变化趋势。结果表明: 与基准气候条件相比, 2011—2050 年, 除零星地区外, 全国各地降水量、参考作物蒸散均呈增加趋势, 但是地区间差异都很显著; 未来 40 a 中国气候总体上呈暖干趋势; 2011—2050 年, 干旱、极干旱地区缩小趋势以及半干旱地区的扩大趋势都很明显。新疆西北部地区、内蒙古及长城沿线地区的西北部湿润趋势显著增加, 而黄土高原地区的东南部、青藏地区中部的部分地区干旱化程度在逐步加大。

关键词: 蒸散, 土壤湿度, 气候变化, 湿润指数, 参考作物, 干湿状况, 未来气候情景

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.08.003

中图分类号: S161

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-08-0018-07

赵俊芳, 郭建平, 徐精文, 等. 基于湿润指数的中国干湿状况变化趋势[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 18—24.

Zhao Junfang, Guo Jianping, Xu Jingwen, et al. Trends of Chinese dry-wet condition based on wetness index[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(8): 18—24. (in Chinese with English abstract)

0 引言

农业生产类型和作物布局直接受气候干湿状况的影响。随着全球气候变暖, 全球及区域性水分平衡、干湿状况及其时空分布特征将发生变化, 而由气候异常所引起地表干湿状况的变化将对国民经济特别是农业生产产生巨大影响。因此, 对干湿问题的研究, 一直是农业气象界和其他学科的一个重要研究课题^[1-4]。

干湿状况的表征, 其核心是水分的盈亏及收支的变化, 要客观表征干湿状况需要综合考虑地气系统水分收支的状况及变化。在气候变化背景下, 单一的分析降水量变化不足以说明干湿状况的范围和强度, 特别是在降水量减少而温度升高的气候背景下, 增暖已经成为加剧干旱过程的重要因子之一^[1,5]。因此, 对干湿状况的客观表征需要综合降水和气温变化的共同影响。土壤湿度是表征地表干湿变化的客观指标, 但由于缺乏长时间大范围尺度的观测数据, 用土壤湿度进行干湿变化的分析具有局限性^[6]。所以, 目前还无法用土壤湿度来分析区域或全球尺度干湿变化的特征, 但建立干湿指标不失为一种理想的途径。表征干湿状况的指标有很多, 其中以干燥度指数和湿润指数最为常见。湿润指数是一个理想的能

够表征地表干湿状况的物理量, 它的物理基础在于体现了两个最重要的地表水分收支分量: 大气降水和最大参考作物蒸散, 而这两个量正是地表热能和水分变化的关键参量。湿润指数由前苏联 B.B.多库恰耶夫和 Г.Н.维索茨基在 20 世纪初提出, 用降水量与蒸发力之比描述气候相对干湿程度^[4], 目前被大家公认为是检测干湿状况及研究增暖对干旱化过程作用的一个较为理想的工具^[7]。蒸发力的计算方法各异, 但从农业的角度分析气候干湿状况应当考虑农作物生长季的降水量和蒸散量, 其中, 彭曼在空气动力学和能量平衡法基础上创建的用于计算蒸发能力的 Penman—Monteith 模式, 由于其具有严谨可靠的物理意义且对农业具有更大的现实意义而得到国内外农业相关研究人员的广泛采用。

目前, 对中国干湿状况的研究已经取得了大量的研究成果^[1-4], 揭示了中国部分地区尤其是北方半干旱地区近半个世纪以来干旱化趋势加剧的重要证据, 对研究农业对气候变化的响应及适应等方面都有着积极的贡献作用, 然而以区域性的研究工作较多, 主要集中在北方干旱地区^[5-11]和南方的部分地区^[12-14]。从国家尺度上进行干湿状况的研究较少, 且主要是基于历史资料对中国干湿状况的形成机理、分布特征、变化趋势等方面进行的分析, 如马柱国和任小波^[15]对中国区域 1951—2006 年气候要素的变化及其与干旱化联系的事实进行了分析, 指出中国西北东部、华北、东北及西南地区当前正处于一个干旱化过程, 但不同地区干湿变化特征及干旱化的持续时间和位相却有差别。申双和等^[4]依据中国 616 个地面气象台站 1975—2004 年的日气象资料, 对中国近 30 a 干湿状况进行了时空分析。但从目前国内的研究情况来看,

收稿日期: 2009-12-01 修订日期: 2010-01-07

基金项目: 中国气象局气候变化专项(CCSF-09-12); “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD04B02); 公益性行业(农业)科研专项(GYHY200803028); 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2009CB118608)

作者简介: 赵俊芳 (1977—), 女, 内蒙凉城人, 博士, 主要从事农业气象和碳循环方面的研究。北京 中国气象科学研究院, 100081。

Email: zhaojf@cma.gov.cn

气候变化背景下，从农业角度出发对中国未来干湿状况的预测研究相对很少且不够深入。鉴于此，本文拟采用区域气候模式 PRECIS（分辨率 50 km×50 km）输出的未来 A2 气候情景（2011—2050 年）以及基准气候条件（1961—1990 年）逐日资料，以 Penman—Monteith 公式计算的参考作物蒸散为基础来确定湿润指数，就中国未来 2011—2050 年干湿状况时空变化特征进行预测，以期对未来应对气候变化、合理开发利用气候资源、调整种植区划和农业生产布局提供重要理论依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源与区域气候模式 PRECIS 简介

本文使用区域气候模式 PRECIS（分辨率 50 km×50 km）输出的未来 A2 气候情景（2011—2050 年）逐日资料以及基准气候条件（1961—1990 年）逐日资料，由中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所许吟隆研究员提供，包括逐日降水、太阳总辐射、平均温度、最低温度、最高温度、相对湿度、风速。以计算日值为基础累积得到年值，利用 FORTRAN 程序进行计算，并通过 GIS 技术进行空间表达。

PRECIS（providing regional climates for impacts studies）是英国 Hadley 气候预测与研究中心发展的区域气候模式，由中国科学家于 2003 年引进，用以构建中国区域高分辨率的 SRES 未来气候变化情景，并已经应用在中国区域气候变化的影响评估工作中^[2]。PRECIS 由该中心最新版本的 GCM 模式 HadCM3 提供其初始边界条件，其水平分辨率分别有 50 km×50 km 和 25 km×25 km 两种，积分时间步长分别为 5 min 和 2.5 min，垂直分辨率地上部分分为 19 层（地面以上 30 km），地下部分（土壤）为 4 层。其中分辨率为 50 km×50 km 的模拟区域左顶点位于 53.0°N、55.6°E，纬度方向 112 个格点，经度方向 145 个格点。它除了涵盖大气和陆地表面中的所有重要的大气物理过程外，还考虑了 SO₂ 的制冷效应。

1.2 未来 A2 气候情景的选择

为了估计大气温室气体浓度变化对全球气候、社会经济的影响，政府间气候变化专门委员会（IPCC）组织各国专家在大量模型分析的基础上，提出了未来 100 a 全球温室气体的排放情景，即 SRES 情景^[16]。SRES 设计了 4 种世界发展模式：A1，为高经济发展情景，在这种发展情景下世界人口趋于稳定，高新技术广泛应用，全球合作、经济快速发展；A2，为国内或区域资源情景，在这种情景下人口持续增长，新技术发展缓慢，注重区域性合作；B1，为全球可持续发展情景，在这种情景下世界人口趋于稳定，清洁能源的引用，生态环境得到改善；B2，为区域可持续发展情景，在这种情景下人口以略低 A2 的速度增长，世界体现出区域化倾向，并注重区域生态改善。

本研究采用 IPCC 温室气体未来排放情景 A2，即国内或区域资源情景，其输出结果作为预测未来 2011—2050 年中国干湿状况的输入数据。根据各耦合模式的预测结果，未来 A2 排放情景下，到 21 世纪中叶（2021—

2050 年）全球 30 a 平均气温相对 1961—1990 年增加 0.5~1.4℃，降水平均增加 1.2%^[16]。

1.3 湿润指数的计算

湿润指数（ M ）通过下式计算

$$M = \frac{R}{ET_0} \quad (1)$$

式中： R ——降水量，mm/d； ET_0 ——参考作物蒸散量，mm/d，利用世界粮农组织推荐的 FAO Penman—Monteith 方程计算^[17]，即

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma U_2 (e_a - e_d) \frac{900}{T + 273}}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (2)$$

式中： R_n ——太阳净辐射，MJ/(m²·d)； G ——增热土壤消耗的热量，MJ/(m²·d)； e_a ——饱和水汽压，kPa； e_d ——实际水汽压，kPa； U_2 ——离地面 2 m 高的风速，m/s； Δ ——饱和水汽压随温度变化的斜率，kPa/℃； γ ——温度计常数，kPa/℃； T ——平均温度，℃。

1.4 湿润指数距平百分率的计算

距平百分率指距平值与多年平均值的百分比值。本文中计算湿润指数距平百分率所用的多年平均值采用基准气候条件（1961—1990 年）30 a 的平均值。

1.5 干湿气候划分标准的选择

采用中国气候区划及申双和先生等^[4]所应用的干湿指标，即中国干湿分区如表 1 所示。

表 1 湿润指数的干湿气候划分标准

Table 1 Grades of wetness index based on Chinese climate classification criterion

湿润指数	干湿气候区
<0.03	极干旱区
0.03~<0.2	干旱区
0.2~<0.5	半干旱区
0.5~1.0	半湿润区
>1.0	湿润区

2 结果与分析

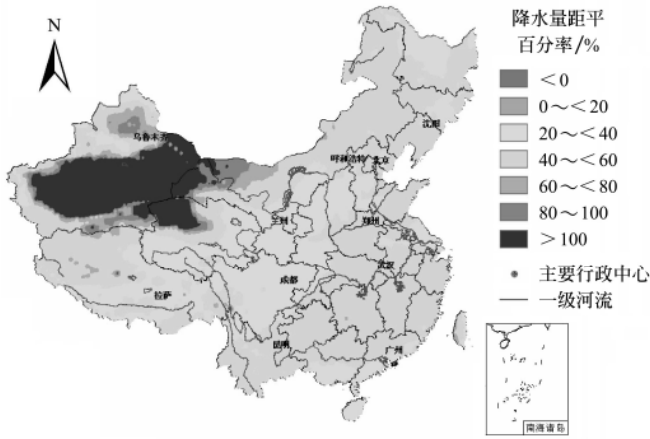
2.1 未来 A2 气候情景下中国降水量及参考作物蒸散变化特征

与基准气候条件（1961—1990 年）相比，未来 A2 气候情景下，2011—2050 年中国降水量及参考作物蒸散距平百分率平均空间分布如图 1 所示。

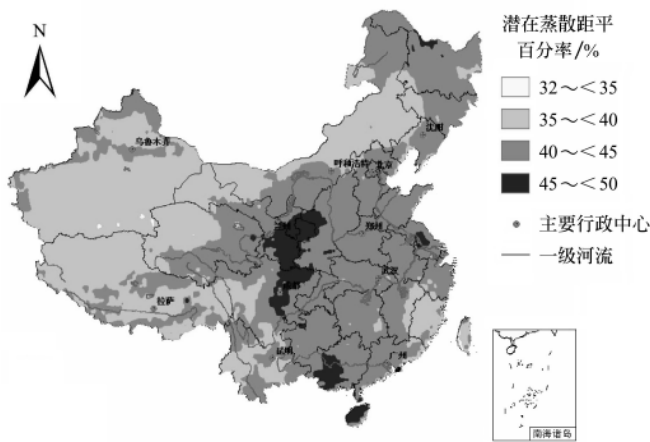
与基准气候条件相比，未来 2011—2050 年，除零星地区外，全国各地降水量普遍呈增加趋势（图 1a），但是地区间差异显著，最大增加量出现在甘新地区的中部和青藏地区的北部，这些地区距平百分率都超过 100%；青藏地区中部和东部的大部分地区及西南地区的北部、黄土高原区的大部分地区、东北地区的中部和东南部的部分地区以及华南地区的中东部，降水距平百分率 20%~40%之间；东北地区中部和东南部、黄淮海地区的大部分地区、长江中下游地区、西南地区的南部、华南地区的西部、青藏高原的西北部和甘新地区的周边地区降水

距平百分率在 40%~60%之间。

未来 2011—2050 年, 与基准气候条件相比, 全国参考作物蒸散增加趋势明显(图 1b), 各地区参考作物蒸散距平百分率主要集中在 35%~50%之间; 地区间差异也较大, 黄土高原区的中部和西南部、西南地区的北部和中部、华南地区的中部和南部参考作物蒸散距平百分率主要集中在 45%~50%之间; 甘新地区的大部、青藏地区的西北部、内蒙及长城沿线区的大部参考作物蒸散距平百分率均在 40%以下; 其他地区参考作物蒸散距平百分率集中在 45%~50%之间。



a. 降水量



b. 参考作物蒸散

图 1 与基准气候条件(1961-1990 年)相比, 未来 A2 情景下 2011-2050 年中国降水量及参考作物蒸散距平百分率空间分布状况

Fig.1 Spatial distributions of anomaly percentage of precipitation and reference crop evapotranspiration of China from 2011 to 2050 under future A2 scenario, compared with the baseline climate conditions (1961-1990)

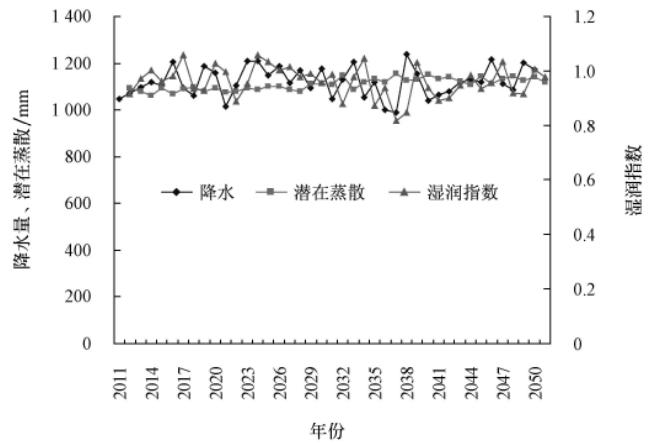
2.2 未来 A2 气候情景下中国干湿状况变化趋势

2.2.1 未来 A2 气候情景下中国干湿状况时间变化特征

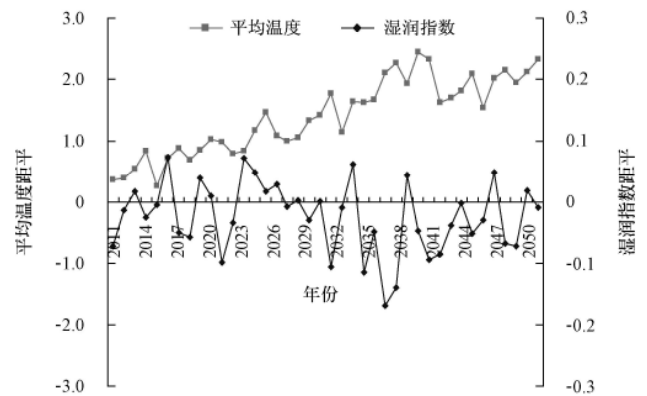
全国平均年降水量的多年(2011—2050 年)平均值为(1 121.5±64.2)mm。未来 A2 气候情景下, 2011—2050 年中国平均降水总量没有显著的线性增加或减少趋势, 但存在较大的年际波动。受其影响, 湿润指数年际波动也较为显著(图 2a)。全国平均年参考作物蒸散(潜在蒸

散)总量的多年平均值为 1 110.0 mm, 年际间波动不显著。

通过分析未来 A2 气候情景下, 2011—2050 年中国湿润指数与平均温度的距平, 即 2011—2050 年中国湿润指数、平均温度与 1961—1990 年基准气候条件下湿润指数、平均温度的差值(图 2b), 结果表明: 2011—2050 年的 40 a 间, 中国气候总体上呈暖干趋势。与基准气候条件相比, 未来 40 a 中, 变暖的年份占 100%; 变湿的年份占 32.5%, 而变干的年份占 67.5%。



a. 降水量、参考作物蒸散与湿润指数



b. 平均温度距平、湿润指数距平

图 2 中国降水量、参考作物蒸散与湿润指数及平均温度距平、湿润指数距平年际变化(2011-2050 年)

Fig.2 Changes of Chinese precipitation, reference crop evapotranspiration and wetness index and the anomaly interannual variability of average temperature anomaly and wetness index (2011-2050)

2.2.2 未来 A2 气候情景下中国干湿状况空间分布格局

图 3 是基准气候条件下, 基于湿润指数进行的中国干湿气候分区。湿润指数>1.0 的湿润气候区, 主要分布在长江中下游地区、西南地区的东部、华南地区以及青藏地区南部狭长区。湿润指数在>0.5~1.0 间的半湿润气候区, 主要分布在青藏地区的中部、西南地区的西北部、黄土高原区的东南部、黄淮海地区的大部。湿润指数在 0.2~0.5 间的半干旱气候区主要包括青藏地区的北部、黄土高原区的北部、内蒙古及长城沿线区。湿润指数<0.2 的干旱区, 主要包括甘新地区的大部和青藏地区的北部,

而位于新疆塔里木盆地周边地区，这些地区主要以沙漠为主，气候干旱少雨多风沙，湿润指数在 0.03 以下，为极干旱区。

未来 2011—2020、2021—2030、2031—2040、2041—2050 年中国干湿状况如图 4 所示。通过对比分析未来不同年代间干湿分布状况，结果表明：1) 未来 2011—2050 年，与基准气候条件相比，干旱、极干旱地区缩小趋势以及半干旱地区的扩大趋势都很明显。新疆西北部地区、内蒙古及长城沿线地区的西北部湿润趋势显著增加，而黄土高原地区的东南部、青藏地区中部的部分地区干旱化程度在逐步加大。这和未来 40 a 中国降水及参考作物蒸散的变化速率有关，如图 1 所示，未来 40 a 干旱及干旱地区降水的增加速率远远大于参考作物蒸散的增加速率，因而这些地区的湿润趋势明显，而处于黄河以南的黄土高原东南部地区降水的增加速率则小于参考作物蒸散的增加速率，因而使得该区附近的干旱化程度在逐渐加大。以上研究结果与有关学者^[1,5,18]对中国气候干湿状况的时空分布规律研究结果较为一致。这种情况对中国脆弱的生态环境和日益严重的水资源问题带来更严峻的考验。2) 个别地区在不同时期干旱化程度呈增加趋势。2021—2030 年，新疆塔里木盆地附近地区干旱程度较

2011—2020 年严重，但在 2030 年后逐步减轻。这也说明，在气候变化背景下，极端天气气候事件增加，干旱仍是影响中国农业生产最重要的农业气象灾害之一，尤其对于中国水资源短缺的西北干旱、半干旱地区，该区降水量明显不足，地表蒸发散失的水分较多，干旱威胁尤为严重。

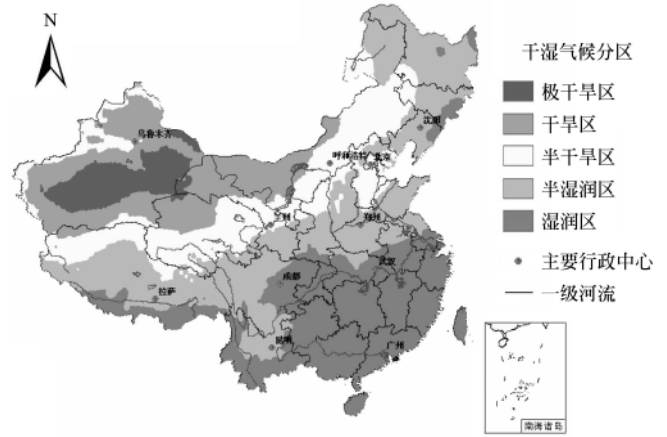


图 3 基准气候条件 (1961 - 1990 年) 下中国干湿平均分布状况
Fig.3 Average distribution of Chinese wetness and drought (1961-1990)

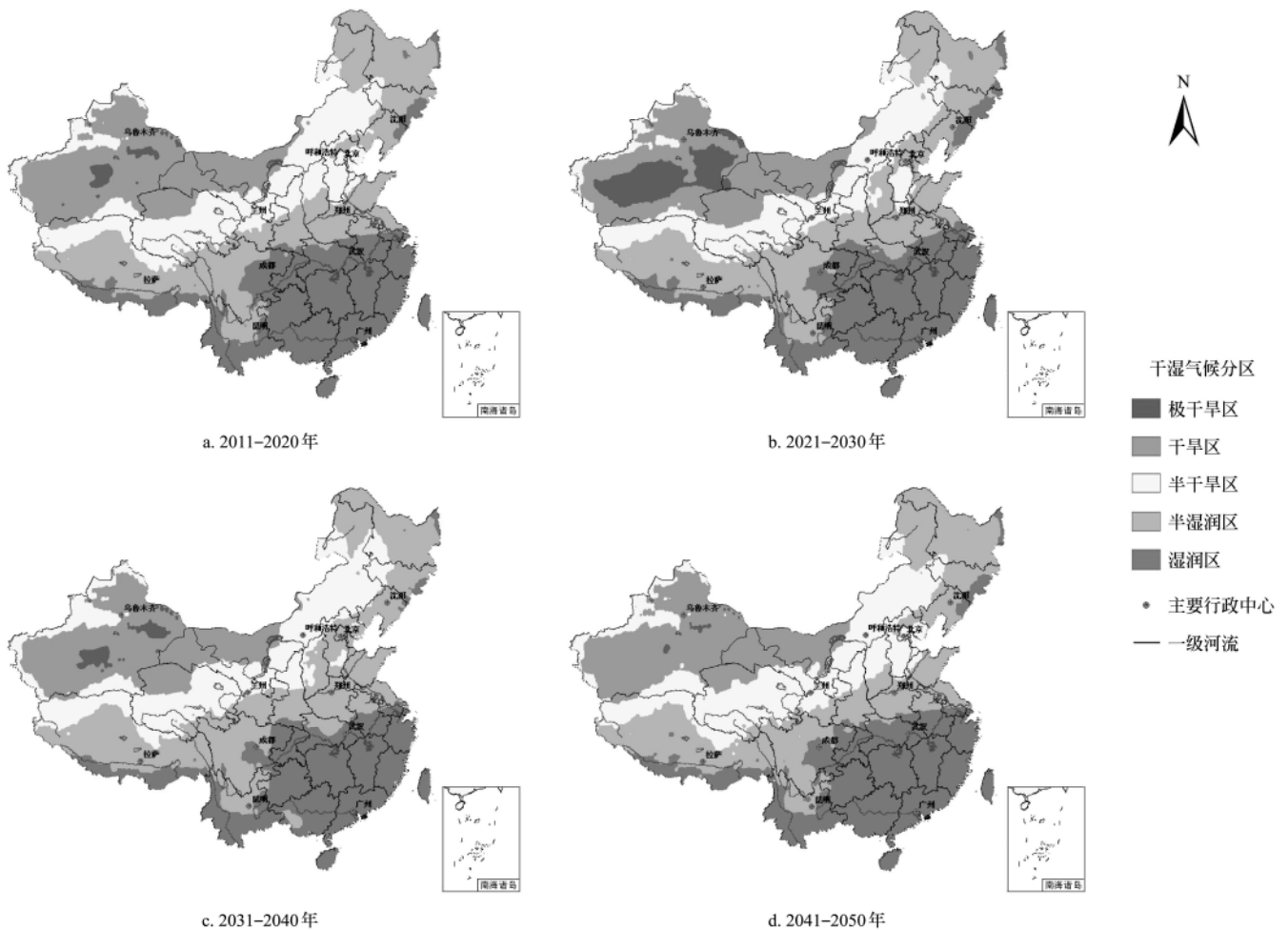


图 4 未来 2011 - 2020、2021 - 2030、2031 - 2040、2041 - 2050 年中国干湿平均分布状况
Fig.4 Average distributions of Chinese wetness and drought during 2011-2020, 2021-2030, 2031-2040 and 2041-2050

3 讨论

本文选取实用性和精确性较高的干湿指标地表湿润指数对中国未来 40 a 的干湿状况进行预测研究, 该指标从地表水分收支平衡出发, 其使用比单纯用降水量变化分析干湿变化有较大的改善, 特别是在分析气候增暖背景下干旱和半干旱区干湿趋势的变化。在计算蒸发力时, 本文从农业角度出发采用 Penman-Monteith 方法计算参考作物蒸散, 该方法综合考虑了温度、湿度、气压、风速及太阳辐射等因素的影响, 具有明确的物理意义, 是相对误差较小的计算方法^[19], 为学术界公认并在实践中得到广泛应用^[14], 能够更加客观真实地反映农作物生长期间实际气候的干湿状况, 但该方法在一定的区域还存在参数估计的误差^[4], 因此可能会造成湿润指数与实际干湿状况的地区性偏差, 所以对参考作物蒸散的计算还需要在接下来的工作中进行进一步的验证, 且实际蒸发力会因不同气候区、经纬度、地形、土壤等而有所差异。

此外, 本文使用的是未来气候情景数据, 这将是造成最后研究结果较大不确定性的主要原因之一。气候变化情景的不确定性主要来源于气候模式的不完善和未来温室气体排放情景的不确定, 前者主要来源于气候模型中考虑的因素不全面、对极端天气事件模拟能力差等方面, 后者主要来源于不能准确地描述未来几十、上百年社会经济、环境变化、土地利用变化和技术进步等非气候情景^[20]。但必须看到, 干湿状况的变化是一个综合因素影响的结果, 所涉及到的土壤-植被-大气系统中 (SPAC) 水分循环过程是一个比较复杂的科学问题, 要从根本上全面客观准确地回答这一科学问题, 还需要深刻认识和把握 SPAC 系统水分循环过程和机制。因此, 从这一点来说, 本研究也只是提供一个框架式的分析结果, 但作为一项预测试验研究, 此类研究仍可给出中国未来 40 a 干湿状况的大致趋势和变化范围, 对今后指导农业生产具有一定的现实意义, 今后随着资料的不断完善, 分析结果将不断深入。

4 结论

本文采用区域气候模式 PRECIS (分辨率 50 km × 50 km) 输出的未来 A2 气候情景 (2011—2050 年) 以及基准气候条件 (1961—1990 年) 逐日资料, 以 Penman-Monteith 公式计算的参考作物蒸散为基础来确定湿润指数, 对中国未来 2011—2050 年干湿状况时空变化特征进行了分析, 结果表明:

1) 与基准气候条件 (1961—1990 年) 相比, 未来 2011—2050 年, 除零星地区外, 全国各地区降水量、参考作物蒸散均呈增加趋势, 但是地区间差异都很显著。其中, 降水最大增加量出现在甘新地区的中部和青藏地区的北部 (距平百分率超过 100%), 而参考作物蒸散最大增加量则出现在黄土高原区的中部和西南部、西南地区的北部和中部、华南地区的中部和南部 (距平百分率在 45%~50% 间)。

2) 未来 A2 气候变化背景 (国内或区域资源情景)

下, 2011—2050 年中国气候总体上呈暖干趋势。与基准气候条件相比, 未来 40 a 中, 变暖的年份占 100%; 变湿的年份占 32.5%, 而变干的年份占 67.5%。

3) 未来 2011—2050 年, 与基准气候条件相比, 干旱、极干旱地区缩小趋势以及半干旱地区的扩大趋势都很明显。新疆西北部地区、内蒙古及长城沿线地区的西北部湿润趋势显著增加, 而黄土高原地区的东南部、青藏地区中部的部分地区干旱化程度在逐步加大。

志谢: 衷心感谢中国农业科学院许吟隆研究员提供的未来气候情景数据以及诸位审稿人提出的宝贵意见。

[参 考 文 献]

- [1] Fu C B. An aridity trend in China in association with global warming[C]//Richard Zeep G, ed. Climate Biosphere Interaction: Biogenic Emissions and Environmental Effects of Climate Change. New York: John Wiley and Sons, 1994: 1—17.
- [2] 许吟隆, Richard J. 利用 ECMWF 再分析数据验证 PRECIS 对中国区域气候的模拟能力[J]. 中国农业气象, 2004, 25(1): 5—9.
Xu Yinlong, Richard J. Validating PRECIS with ECMWF reanalysis data over China[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2004, 25(1): 5—9. (in Chinese with English abstract)
- [3] 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.
Zhai Panmao, Zou Xukai. Changes in temperature and precipitation and their impacts on drought in China during 1951—2003[J]. Advances in Climate Change Research, 2005, 1(1): 16—18. (in Chinese with English abstract)
- [4] 申双和, 张方敏, 盛琼. 1975—2004 年中国湿润指数时空变化特征[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 11—15.
Shen Shuanghe, Zhang Fangmin, Sheng Qiong. Spatio-temporal changes of wetness index in China from 1975 to 2004[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(1): 11—15. (in Chinese with English abstract)
- [5] 马柱国. 华北干旱化趋势及转折性变化与太平洋年代际振荡的关系[J]. 科学通报, 2007, 52(10): 1199—1206.
Ma Zhuguo. Drought trend and the relationship of turning point of change and the Pacific decadal oscillation in north China[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(10): 1199—1206. (in Chinese with English abstract)
- [6] 马柱国. 中国北方干湿演变规律及其与区域增暖的可能联系[J]. 地球物理学报, 2005, 48(5): 1011—1018.
Ma Zhuguo. Dry/wet variation and its relationship with regional warming in arid-regions of northern China[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2005, 48(5): 1011—1018. (in Chinese with English abstract)
- [7] 马柱国, 黄刚, 甘文强, 等. 近代中国北方干湿变化趋势的多时段特征[J]. 大气科学, 2005, 29(5): 671—681.
Ma Zhuguo, Huang Gang, Gan Wenqiang, et al. Multi-scale temporal characteristics of the dryness/wetness over northern China during the last century[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2005, 29(5): 671—681. (in Chinese with English abstract)

- [8] 郑广芬, 陈晓光, 纳丽, 等. 宁夏地表湿润状况演变规律研究[J]. 气象科学, 2008, 28(5): 533—538.
Zheng Guangfen, Chen Xiaoguang, Na Li, et al. The research on the change of surface humid index in Ningxia[J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2008, 28(5): 533—538. (in Chinese with English abstract)
- [9] 孙力, 沈柏竹, 安刚. 中国东北地区地表干湿状况的变化及趋势分析[J]. 应用气象学报, 2003, 14(5): 542—552.
Sun Li, Shen Baizhu, An Gang. A study of the variation and tendency of surface dry-and-wet state of northeast area in China[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2003, 14(5): 542—552. (in Chinese with English abstract)
- [10] 史津梅, 唐红玉, 许维俊, 等. 1959—2003 年青海省干湿变化分析[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(6): 356—361.
Shi Jinmei, Tang Hongyu, Xu Weijun, et al. Dryness/wetness changes in Qinghai province during 1959—2003[J]. Advances in Climate Change Research, 2007, 3(6): 356—361. (in Chinese with English abstract)
- [11] 孙凤华, 吴志坚, 李丽光. 辽宁西部地区的气候变化及干湿状况年代际变化特征[J]. 中国沙漠, 2006, 26(6): 969—975.
Sun Fenghua, Wu Zhijian, Li Liguang. Climate change and inter-decadal fluctuation of dry and wet climate in western Liaoning province[J]. Journal of Desert Research, 2006, 26(6): 969—975. (in Chinese with English abstract)
- [12] 杜筱玲, 魏丽, 黄少平, 等. 蒸发力估算及其在江西省农业水资源评估中的应用[J]. 中国农业气象, 2005, 26(3): 161—164.
Du Xiaoling, Wei Li, Huang Shaoping, et al. Calculation of evaporation and its application on evaluating water resources of agriculture in Jiangxi province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2005, 26(3): 161—164. (in Chinese with English abstract)
- [13] 王春林, 董永春, 李春梅, 等. 基于 GIS 的广东干旱逐日动态模拟与评估[J]. 华南农业大学学报, 2006, 27(2): 20—24.
Wang Chunlin, Dong Yongchun, Li Chunmei, et al. Guangdong drought daily dynamic simulation and evaluation based on GIS[J]. Journal of South China Agricultural University, 2006, 27(2): 20—24. (in Chinese with English abstract)
- [14] 郭晶, 吴举开, 李远辉, 等. 广东省气候干湿状况及其变化特征[J]. 中国农业气象, 2008, 29(2): 157—161.
Guo Jing, Wu Jukai, Li Yuanhui, et al. Climate dryness/wetness status and its variation characteristics in Guangdong province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2008, 29(2): 157—161. (in Chinese with English abstract)
- [15] 马柱国, 任小波. 1951—2006 年中国区域干旱化特征[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(4): 195—201.
Ma Zhuguo, Ren Xiaobo. Drying trend over China from 1951 to 2006[J]. Advances in Climate Change Research, 2007, 3(4): 195—201. (in Chinese with English abstract)
- [16] 《气候变化国家评估报告》编写委员会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [17] 徐新良, 刘纪远, 庄大方. GIS 环境下 1999—2000 年中国东北参考作物蒸散量时空变化特征分析[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 10—14.
Xu Xinliang, Liu Jiyuan, Zhuang Dafang. Analysis of temporal-spatial characteristics of reference evapotranspiration based on GIS technology in Northeast China during 1991—2000[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(2): 10—14. (in Chinese with English abstract)
- [18] 刘波, 马柱国. 过去 45 年中国干湿气候区域变化特征[J]. 干旱区地理, 2007, 30(1): 7—15.
Liu Bo, Ma Zhuguo. Area change of dry and wet regions in China in the past 45 years[J]. Arid Land Geography, 2007, 30(1): 7—15. (in Chinese with English abstract)
- [19] 张建平, 王春乙, 杨晓光, 等. 未来气候变化对中国东北三省玉米需水量的影响预测[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 50—55.
Zhang Jianping, Wang Chunyi, Yang Xiaoguang, et al. Impact forecast of future climate change on maize water requirement in three provinces of Northeast China[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 50—55. (in Chinese with English abstract)
- [20] 赵俊芳, 延晓冬, 贾根锁. 未来气候情景下中国东北森林生态系统碳收支变化[J]. 生态学杂志, 2009, 28(5): 781—787.
Zhao Junfang, Yan Xiaodong, Jia Gensuo. Changes in carbon budget of Northeast China forest ecosystems under future climatic scenario[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(5): 781—787. (in Chinese with English abstract)

Trends of Chinese dry-wet condition based on wetness index

Zhao Junfang¹, Guo Jianping¹, Xu Jingwen², Mao Fei¹, Yang Xiaoguang³, Zhang Yanhong⁴

(1. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China;

2. College of Resource and Environment, Sichuan Agricultural University, Yaan 625014, China;

3. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

4. National Meteorological Center, Beijing 100081, China)

Abstract: Predicting the temporal and spatial change of Chinese dry-wet condition in the future can provide important

theoretical support for developing the national response strategy on climate change, and adjusting the distribution of agricultural production layout. Based on the daily data of A2 climate scenario (2011-2050) and baseline climate condition (1961-1990) from the regional climate model PRECIS with resolution of 50 km×50 km, reference crop evapotranspiration and the wetness index were both calculated and analyzed according to Penman-Monteith equation recommended by FAO. In terms of grades of wetness index from Chinese Climate Classification Criterion, China is classified into severe arid, arid, semi-arid, semi-humid and humid zones, respectively. The possible temporal-spatial changes of dry-wet condition over the country from 2011 to 2050 were analyzed from an agricultural view. The results showed that: the amount of precipitation and reference crop evapotranspiration in the most regions would increase from 2011 to 2050 compared with the baseline climate conditions from 1961 to 1990. However, the inter-regional difference was significant; In the next 40 years, Chinese climate showed a warming and drying trend in general; The area's reducing trend in the arid and extreme arid region and the expanding trend in the semi-arid region during 2011 to 2050 would be obvious compared with the baseline climatic conditions. Climate would turn wetter in the northwest part of Xinjiang and the areas along the Great Wall and Inner Mongolia; while part of the semi-arid region e.g. southeast Loess Plateau and the central part of Qinghai-Tibet Plateau would become drier.

Key words: evapotranspiration, soil moisture, climate change, wetness index, reference crop, dry-wet condition, future climatic scenario