

沈晓燕,申燕玲,颜玉倩,等.不同地形高程数据对青海夏季气温和降水模拟准确度的影响[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(4):92-99.

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2021.04.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



不同地形高程数据对青海夏季气温和降水模拟准确度的影响

沈晓燕^{1,2},申燕玲^{1,2},颜玉倩^{1,2},肖宏斌^{1,2},权晨^{1,2}

(1.青海省气象科学研究所,青海 西宁 810001;2.青海省防灾减灾重点实验室,青海 西宁 810001)

摘要: 基于 SRTM 90 m、USGS 30 s 地形高程数据及青海气象台站实际海拔高度数据,分析了采用不同高度数据对青海地区 2014 年夏季气温和降水模拟准确度的影响。采用国家基本观测站的气象观测资料对模拟结果进行检验,结果表明:相对于台站实际海拔高度,模式地形总体偏高,青海南部和祁连山区海拔较高地区及青海东部地形梯度较大地区尤甚。相对于模式自带的原始地形数据,除青海东部外,其余大部分地区 SRTM 高程数据给出的模式地形高度增加。采用 SRTM 高程数据对气温影响较小;模式中引入青海气象台站海拔高程数据对于最高气温的模拟准确率提高显著,青海南部及祁连山区海拔较高地区以及黄南、海南中部地形梯度较大地区模拟和实测数据偏差减少显著,模拟的最低气温改善不如最高气温明显。同时采用 SRTM 高程数据及引入气象台站实际海拔高度数据对青海海西中部及东部地区降水改进较为明显。

关键词: WRF; SRTM; 地形; 气温; 降水

中图分类号: P457

文献标识码: A

文章编号: 1002-0799(2021)04-0092-08

地形与降水、气温等气象要素有着密切关系^[1],地形本身尺度及其与大气相互作用的复杂性,导致地形的动力、热力、微物理效应十分复杂^[2]。智协飞等^[3]得出较大模式地形高度偏差可严重影响 2 m 气温模式预报性能,导致较大预报误差。鲁春霞等^[4]发现东亚季风区大部分降水随着海拔上升而增大。地形的改变会影响降水的落区和强度。陈潜等^[5]发现地形引起的降水变化主要在地形变化的附近,大尺度环流决定降水落区和强度,地形起了改变落区和强度的作用;何光碧等^[6]得出地形的改变通过影响

涡旋活动来影响降水的分布。

国内外已有很多地形影响数值模式试验,主要通过改变地形高度、调整模式分辨率或加入不同地形资料进行敏感性试验^[6-11]。何钰等^[7]通过有、无青藏高原试验以及将高原高度降低到临界值,研究了青藏高原大地形对我国华南地区一次暴雨过程的影响。吕世华等^[8]指出高分辨率模式使得预报质量得到显著的改善,系统的移速和中心位置更接近实况,同时,高分辨率需要更合理的地形与之相匹配。高学杰等^[10]探讨了不同水平分辨率和地形对东亚降水的影响,指出实际地形的模拟效果好于使用平滑地形,使用平滑地形但分辨率较高,与使用实际地形但分辨率较低相比较,会取得更好的模拟结果。何光碧等^[12]提出了通过一些关键点引入实际地形高度,从而改进模式预报效果,特别是降水预报效果的一种地形处理思路,得出引入更真实地形使得降水强度增大,强降水中心位置和发生时间有所改善。

WRF(weather research and forecasting)模式作

收稿日期:2020-04-09;修回日期:2020-07-31

基金项目:青海三江源生态保护和建设二期工程科研和推广项目(2018-S-3-2);青海省重点科技成果转化项目(2018-SF-142);干旱气象科学研究基金(IAM201610)

作者简介:沈晓燕(1992—),女,工程师,主要从事数值模式及检验工作。E-mail: sxygwm@163.com

通信作者:肖宏斌(1966—),男,高级工程师,主要从事高寒生态系统及气候变化研究。E-mail: 985866717@qq.com

为应用较为广泛的天气气候模式，其地形数据长期以来使用的是由美国地质调查局（United States Geological Survey, USGS）提供的 30 s 分辨率（约 1 km）数据，该全球地形资料可以满足大尺度数值模拟分析中对地形分布精度的要求，但在地形分布复杂的小尺度分析应用中则略显不足^[13]。SRTM（Shuttle Radar Topography Mission）高程数据由美国太空总署（NASA）和国防部国家测绘局（NIMA）联合测量。其中 90 m 栅格分辨率的地形高程数据已公开发布，为 WRF 模式中高精度地形数据的应用提供了支持。蒋立辉等^[13]得出 SRTM 数据更真实地反映了北京地区的地形高度特征，尤其是地形复杂区域的高度特征，增强了 WRF 模式在北京地区复杂地形条件下的风场模拟能力。

青海位于青藏高原东北部，境内山脉高耸，地形多样，河流纵横，湖泊棋布，东部多山，海拔较低，西部为高原和盆地，平均海拔>3 000 m^[14]。鉴于 SRTM 数据具有现实性强、精度较高及免费获取等优点，及地形对气温降水的重要性，利用 WRF 模式，比较了使用不同分辨率地形数据及引入真实台站海拔对夏季气温降水模拟的影响。研究结果可以为 WRF 默认地形高度数据集的替换提供一种途径，也可为不同地形资料在青海地区的应用及模式的本地化提供一定的参考。

1 模式、资料和方法

WRF 模式是由美国国家环境预测中心（NCEP）、美国国家大气研究中心（NCAR）等机构研发的中尺度天气预报模式，为完全可压缩非静力模式，采用 F90 语言编写。水平方向采用 Arakawa C

（荒川 C）网格点，垂直方向采用地形跟随质量坐标，时间积分采用 3 阶或 4 阶的 Runge-Kutta 算法^[15]。本文使用的模式是 WRFV3.7.1 版本。

模拟采用 2 层嵌套方案（图 1），其中 D02 包含整个青海省，模式参数设置见表 1。模拟区域中心经纬度和经度分别为 36°N、95°E，垂直层次为 30 层，模式层顶气压为 50 hPa。使用 NCEP/NCAR 的 6 h FNL 全球再分析资料（1°×1°）作为模式的初始场和侧边界条件。模拟积分时间为 2014 年 5 月 20 日 00 时 00 分 00 秒 UTC—9 月 1 日 00 时 00 分 00 秒 UTC，模拟结果输出间隔为 1 h，模式前 11 d 视为模式调整期数据予以舍弃。本文以最内层嵌套区域结果进行分析研究。

表 1 模拟区域基本参数设置

区域	格点数	水平网格距/km	积分步长/s
D01	150×130	27	54
D02	160×130	9	18

参数化方案选取参考了本地化参数化方案优选夏季最优组合^[16]，其中微物理参数化采用 Thompson 方案，积云对流参数化采用 KF 方案，长、短波辐射分别采用 RRTM 方案及 Duhbia 方案，边界层采用 ACM2 方案，近地层采用 Monin-Obukhov 方案，陆面过程采用 Noah 方案。

地形高度数据包括：WRF 自带 USGS 地形高度数据，分辨率为 30 s（约 1 km），SRTM 数据（分辨率为 90 m），青海省 48 个国家级地面气象观测站（图 2）海拔高度资料。其中 SRTM 数字高程数据，利用 Arcgis 遥感软件进行了镶嵌及格式转换，使用 Fortran 处理生成可利用于 WRF 的青海省高分辨率

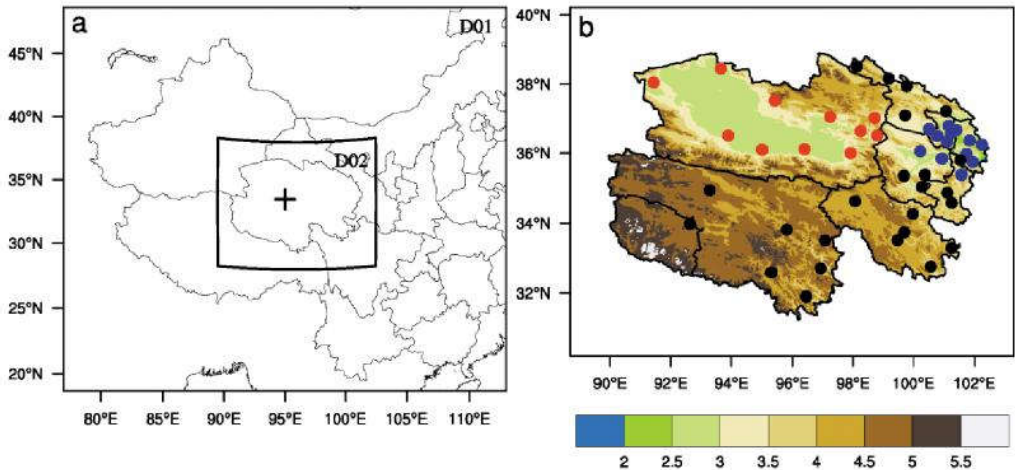


图 1 模式嵌套区域(a)及青海省地形与气象站点(b)分布
(a 中符号“+”为 D01 区域中心点，b 中红色圆点代表柴达木盆地，蓝色代表河湟地区，单位：km)

地形高度数据,数据范围为 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$, $85^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{E}$; 青海省 48 个国家级地面气象观测站海拔高度资料利用最近点赋值法,将海拔高度数据赋值到距离实况站点最近的模式格点。

用于模拟结果验证的资料包括:青海省 48 个国家级地面气象观测站同期逐日降水、气温资料,全球范围内 0.1° 的半小时多源卫星融合降水产品 (IMERG)。全球降水观测 (Global Precipitation Measurement, 简称 GPM) 计划是一个包含全球多个国家不同卫星的卫星群,该计划提供下一代全球降水和雪的观测,GPM 能够提供全球范围内 0.1° 的半小时多源卫星融合降水产品 (IMERG)^[17-18]。

青海降水夏季较多^[14],模拟时段选择 2014 年 6—8 月,进行了 Case1、Case2、Case3 及 Case4 共 4 组模拟,地形高度数据设置为:Case1 是 WRF 模式自带的 USGS 地形高度数据,分辨率为 30 s (约 1 km); Case2 是 SRTM3 90 m 分辨率数据;Case3 是在 Case1 地形数据的基础上,引入青海 48 个台站海拔高度改变模式局地地形;Case4 是在 Case2 的基础上,引入青海 48 个台站海拔高度改变模式局地地形。4 组试验大气强迫场数据均相同,用以分析不同地形数据对 2014 年青海夏季 (6—8 月,下同) 降水模拟的影响。

气温检验采用平均误差 (Mean Error, ME)、气温预报 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 预报准确率 (T_{r2}) 检验差异性。降水检验采用标准化均方根误差 (E)、晴雨预报准确率 (P_c)、风险评分 (Threst Score, T_s) 及预报偏差 (BIAS) 作为检验指标。选用青海省 48 个地面气象观测站作为检验站点,利用最近点赋值法,采用距离检验站点最近的模式输出格点与相应站点进行对比,计算相应检验指标。

公式如下:

$$M_E = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (F_i - O_i), \quad (1)$$

$$T_{r2} = \frac{N_r}{N_f}, \quad (2)$$

$$E = \frac{1}{\delta_{\text{obs}}} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (F_i - O_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

$$\delta_{\text{obs}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (O_i - \bar{O})^2}{N-1}}, \quad (4)$$

$$P_c = \frac{N_A + N_D}{N_A + N_B + N_C + N_D}, \quad (5)$$

$$T_{SK} = \frac{N_{AK}}{N_{AK} + N_{BK} + N_{CK}}, \quad (6)$$

式中, N_A 为有降水预报正确站 (次) 数, N_B 为空报站 (次) 数, N_C 为漏报站 (次) 数, N_D 为无降水预报正确的站 (次) 数, K 为降水检验级别, N_{AK} 为 K 级别降水预报正确的站点样本数, N_{BK} 为 K 级别降水空报的站点样本数, N_{CK} 为 K 级别降水漏报的站点样本数, N_{DK} 为无降水预报正确的站点样本数, N 为站点样本总数, F_i 为第 i 个站点样本预报值, O_i 为第 i 个站点样本实况观测值, $\bar{O}$ 为观测值时间平均, N_r 为 $|F_i - O_i| \leq 2^{\circ}\text{C}$ 的站点样本数, N_f 为样本总数。

2 结果分析

2.1 不同地形资料比较

比较模式台站海拔高度与实际测站海拔高度之间的差值 (图 2a), 模式地形高度总体高于实际台站地形高度。其中玉树、同仁、祁连模式海拔高度与实际高度之间相差最大, 模式高度比实际高度分别高 580、502 和 402 m, 相差较大的站主要位于果洛、玉树南部, 海北北部等海拔高度较高的地区, 以及河湟

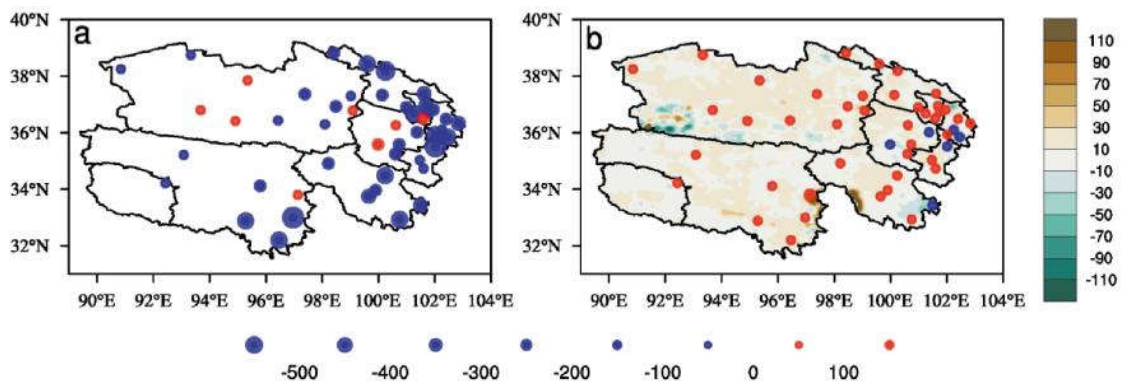


图 2 地形高度差值
(a 为 Case3-Case1, b 为 Case2-Case1; 单位: m)

地区地形梯度较大的地区。海西部分地区、海南中部地区模式地形高度低于实际地形高度,约为 100 m。比较不同分辨率地形高度数据(图 2b)可知,相对于模式自带 USGS 地形高度资料,更高分辨率的 SRTM 数据青海大部分地区地形高度增加,增加幅度约为 10~40 m。青海东部部分站点地形高度减小,减少幅度为 20~50 m。

2.2 对气温模拟的影响

通过控制试验 (Case1) 验证了 WRF 模式对 2014 年青海省夏季 24 h 最高 (低) 气温的模拟效果,2014 年青海省夏季 24 h 最高 (低) 气温 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 准确率平均为 47.04%(54.74%)(表 2),最低气温较最高气温模拟效果好。最高气温最高准确率出现在海北、海东地区,其中海北刚察超过 83.7%;海西西部和中部、玉树、果洛南部最高气温模拟较差,玉树站准确率仅为 13%。青海省大部分地区最低气温比最高气温模拟较好,最高准确率同样出现在刚察(83.7%),海西小灶火最低(26.7%)。

从 Case1 平均偏差来看,WRF 对最高气温模拟普遍偏低,平均偏低 1.3 $^{\circ}\text{C}$ 。海西、果洛、玉树地区最

高气温模拟偏低,其中玉树偏低最为明显(-4.7 $^{\circ}\text{C}$),青海东部部分站点最高气温模拟略高,其中湟中最高气温偏高最为明显(2.4 $^{\circ}\text{C}$)。最低气温,青海北部模拟偏高,南部地区模拟偏低。兴海(3.3 $^{\circ}\text{C}$)、小灶火(3 $^{\circ}\text{C}$)偏高最为明显,玉树(-3.1 $^{\circ}\text{C}$)、杂多(-2.8 $^{\circ}\text{C}$)偏低最为明显。

使用不同模式地形数据,从气温平均偏差来看(图 3),4 组试验对最高气温模拟均普遍偏低,青海东部部分站点最高气温模拟略高。Case1、Case2 青海北部地区最低气温模拟偏高,南部地区最低气温模拟偏低,Case3、Case4 青海整体最低气温模拟偏高。

比较不同试验对最高、最低气温偏差的影响可看出,相对于控制试验 (Case1),使用 SRTM 90 m 分辨率地形资料 (Case2) 最高气温 20 个台站偏差减小,减小的站点主要分布在青海东部(图 3a),其中茶卡(0.56 $^{\circ}\text{C}$)和天峻(0.43 $^{\circ}\text{C}$)偏差减小最多。10 个站点的准确率增加,增加站点零散分布(图 4a),较为显著的站点有互助(6.5%)和兴海(5.4%)。在 USGS 地形资料基础上引入台站海拔 (Case3) 和在 SRTM 地形资料基础上引入台站海拔 (Case4)对最高气温模拟改进较为显著,分别有 31、30 个站点偏差减小,其中 20、19 个站点的偏差减小超过 1 $^{\circ}\text{C}$,这些站点分布于玉树、果洛南部、海北北部、黄南及海南中部地区(图 3b、3c)。Case3、Case4 偏差减小最显著的站点为玉树(4.42 $^{\circ}\text{C}$),其次为黄南(3.9、3.8 $^{\circ}\text{C}$)、杂多(3.3、3.3 $^{\circ}\text{C}$)。分别有 25、26 个站点的准确率增加,海北、海西、玉树、果洛的准确率增加明显,其中玉树、果洛南部,海北北部站点及海西、黄南、湟中准

表 2 最高、最低气温预报 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的准确率(T_{12})及平均误差(M_E)

	$T_{\max}$		$T_{\min}$	
	$T_{12}/\%$	$M_E/^{\circ}\text{C}$	$T_{12}/\%$	$M_E/^{\circ}\text{C}$
Case1	47.04	-1.30	54.74	0.54
Case2	44.89	-1.45	56.29	0.47
Case3	51.64	0.03	51.41	1.78
Case4	53.14	-0.03	52.48	1.73

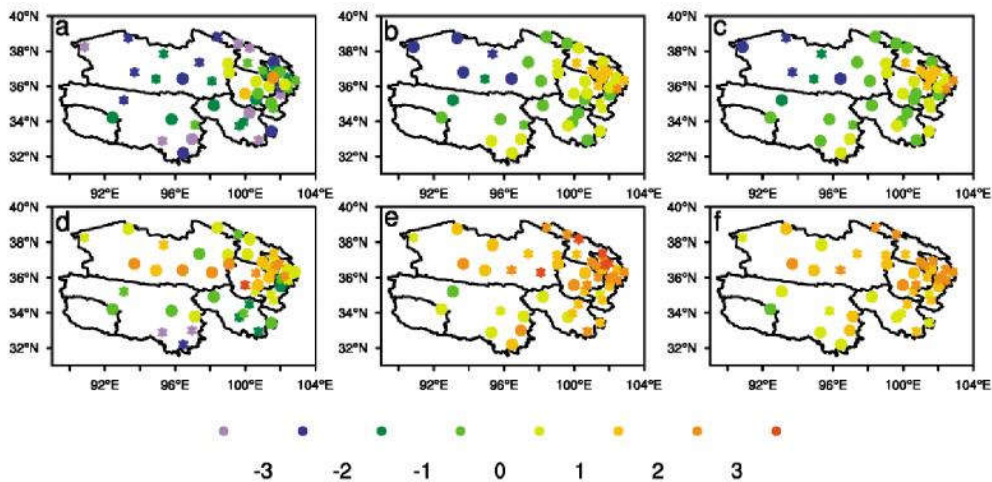


图 3 最高(a、b、c)及最低(d、e、f)气温平均误差
(a、d 为 Case2, b、e 为 Case3, c、f 为 Case4; 圆点代表偏差绝对值相对 Case1 减小, 星号代表偏差绝对值相对 Case1 增大; 单位: $^{\circ}\text{C}$)

准确率增加超过10%。Case3较为显著的站点有玉树(47.9%)和野牛沟(41.3%)(图4b),Case4较为显著的站点有玉树(44.6%)和祁连(41.3%)(图4c)。Case3、Case4偏差减小超过1℃及准确率超过10%的地区与模式海拔与台站海拔高度差值较大地区吻合,玉树、黄南、杂多Case1温度偏低明显,分别为-4.69、-3.9、-3.5℃,引入真实台站海拔之后,海拔高度分别降低580.4、502.2、386.6m,从而温度升高,偏差减小,准确率增加。

使用不同地形资料对最低气温的改变并不明显,相对于Case1,Case2 23个台站最低气温偏差减小,除青海南部、北部零星站点外,大部分偏差改变在0.2℃以内,其中清水河(1.1℃)和冷湖(0.39℃)偏差减小最多(图3d)。32个站点的准确率增加,较为显著的站点有清水河(13%)和黄南(7.6%)(图4d)。Case3、Case4对最低气温模拟改进较小(图3e、3f),分别有16、17个站点偏差减小,分别有2、4个站点的偏差减小超过1℃,偏差减小最显著的站点为杂多,分别为2.1、2.4℃,其次为玉树,分别为1.1、1.5℃。分别有21、22个站点的准确率增加,青海西部和南部站点的准确率增加明显,其中玉树南部站点、茶卡、黄南、湟中准确率增加超过10%。Case3较为显著的站点有杂多(29.3%)和玉树(21.7%)(图4e),Case4较为显著的站点有杂多(34.8%)和玉树(27.2%)(图4f)。

综合温度偏差(M_E)和气温预报 $\leq 2^\circ\text{C}$ 预报准确率(T_{12})来看:对于最高气温,引入青海气象台站海拔(Case3、Case4)对于准确率提高较大,分别提高4.6%、6.1%;偏差减小显著地区分布于青海南部、祁连山区海拔较高地区以及黄南、海南中部地形梯度较大地区。对于最低气温改变不如最高气温明显,

相对而言,使用更高分辨率地形资料(Case2)准确率提高站点数较多,但提高幅度较低(1.55%)。

2.3 对降水模拟的影响

从GPM多源卫星融合降水产品(IMERG)2014年青海省夏季累积降水量可知,2014年夏季青海省累积降水量由南到北递减,玉树、果洛南部地区降水量最多,超过450mm,祁连山区、青海东部降水量次之,约为300mm,海西州降水量最少(50mm以内)。通过控制试验(Case1)得出,WRF模式能较为准确地模拟出降水量从南至北递减的空间分布。

WRF模式(Case1)模拟青海省2014年夏季24h累积降水量平均晴雨预报准确率为71.8%,其中玉树预报准确率最高,超过81.5%,最低在循化,为51.7%。从空间分布上来看,青海海西北部、玉树、果洛南部预报准确率最高,达80%左右,青海东部地区预报准确率较低,约为60%。青海省2014年夏季24h累积降水量平均 T_s 评分为58.4%,空报率为29.8%,漏报率为11.8%。从空间分布上来看,玉树、果洛南部、海北大部 T_s 评分较高(约80%),除海西大部、海东部分站点外, T_s 评分都超过50%。 T_s 评分分布与青海降水次数分布较为一致,玉树东南部、果洛南部、祁连山区降水次数较多,海西大部降水次数少。海西大部地区 T_s 评分低与该地区降水次数较少有关。

从分量级评分来看,小雨平均 T_s 评分为54.4%,玉树、果洛南部、祁连山区小雨预报准确率较高,超过70%。中雨平均 T_s 评分为8.3%,海西中北部、祁连山区、海南中部、玉树大部地区中雨预报准确率较高。WRF模式模拟青海2014年夏季整体小雨预报偏多,尤其是海西西部,海西和唐古拉山区中雨预报偏少,玉树北部、果洛、海南、黄南地区中雨预报偏多。

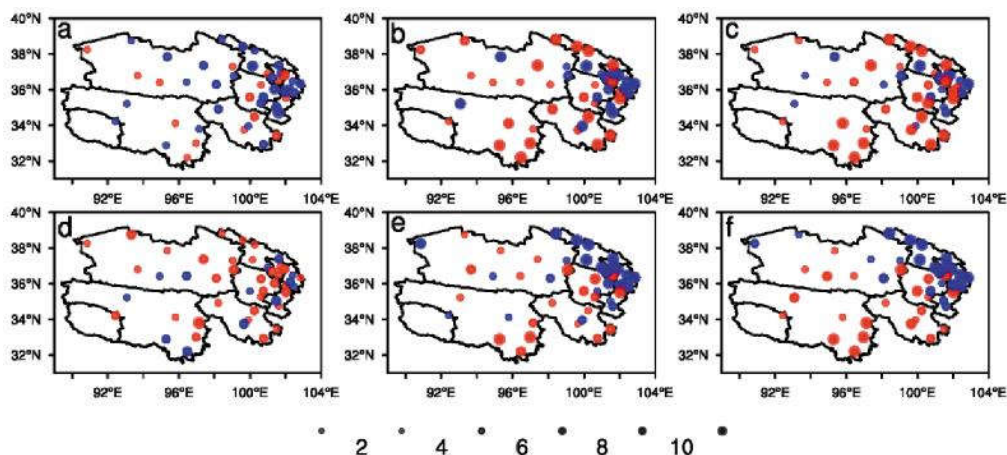


图4 最高(a、b、c)、最低气温(d、e、f)预报 $\leq 2^\circ\text{C}$ 的准确率差值

(a、d为Case2-Case1, b、e为Case3-Case1, c、f为Case4-Case1;红色代表准确率增加,蓝色代表准确率减小;单位:%)

综合来看,青海平均降水次数较少的地区,如海西大部,晴雨预报准确率较高, T_s 评分较低;平均降水次数较多的地方,如玉树南部、果洛南部、祁连山区,晴雨预报准确率和 T_s 评分均较高;海南中部、海东大部地形较为复杂, T_s 评分均较差。

图5和图6分别给出了使用不同模式地形数据对2014年青海省夏季降水标准化均方根误差(E)及降水 T_s 评分(T_s)的影响。

使用SRTM 90 m分辨率地形资料(Case2)48个站点中19个站点的E减小,这些站点位于海西大部、玉树、果洛南部、及青海东部(图5a)。有10个站点减小幅度超过10%,其中6个站点位于海西,4个位于青海东部,较为显著的站点有格尔木(57.2%)和小灶火(40.5%)。17个站点的 T_s 评分增加,位于海西中部、果洛北部及青海东部(图6a),增加较为显著的站点有都兰(11.1%)和大柴旦(7.2%)。

在USGS地形资料基础上引入台站海拔(Case3)24个站点的E减小。减小幅度较大的站点

大部分位于海西,较为显著的站点有小灶火(51.5%)和茶卡(26.5%)(图5b)。18个站点的 T_s 评分增加,增加站点分布在海西、玉树、果洛、青海东部地区(图6b)。

在SRTM地形资料基础上引入台站海拔(Case4)26个站点的E减小。减小幅度较大的站点分布在海西及青海东部,较为显著的站点有小灶火(51.3%)和诺木洪(29.8%)(图5c)。23个站点的 T_s 评分增加,增加站点位于海西大部、青海东部地区,较为显著的站点为循化,增加了9%(图6c)。其中Case4青海东部站点的E减小显著,有16个站点减小,平均减小幅度为9.31%,而Case2、Case3仅有10个站点,平均减小幅度分别为7.96%、8.88%。

使用不同地形数据对青海整体 T_s 评分及E值影响较小,相对而言,Case4平均 T_s 评分略有提高(0.3%),平均E值略有减小(0.05)。根据不同试验 T_s 评分增加及E值减小站点分布,计算了青海海西柴达木盆地及东部河湟地区平均降水 T_s 评分及标准

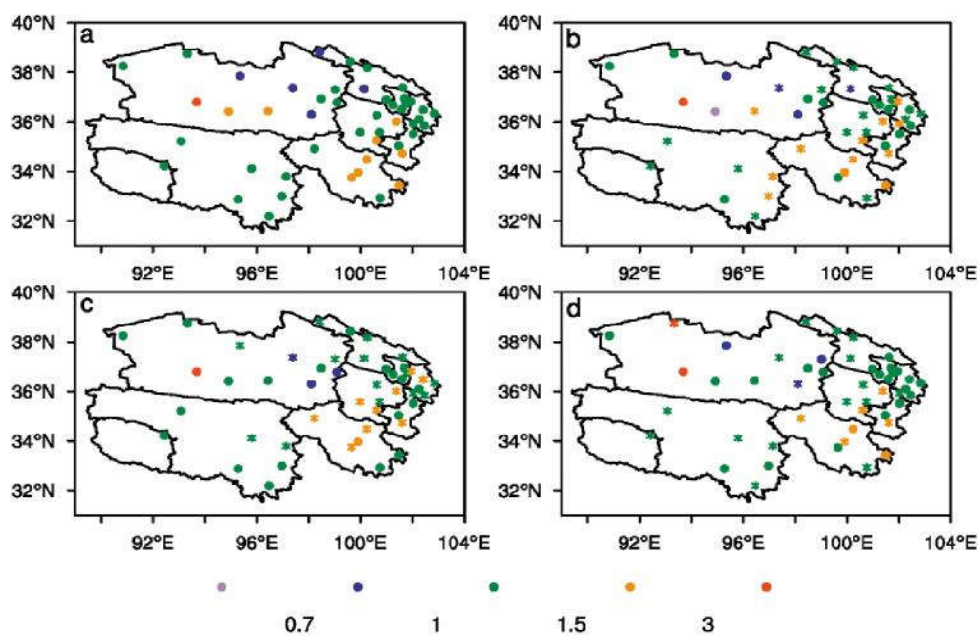


图5 降水标准化均方根误差

(a为Case1,b为Case2,c为Case3,d为Case4;b~d图中圆点代表E相对Case1减小,星号代表E相对Case1增大;单位:mm)

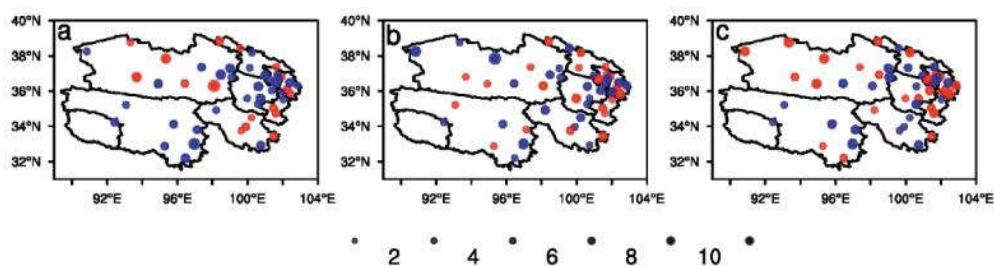


图6 T_s 评分差值

(a为Case2-Case1,b为Case3-Case1,c为Case4-Case1;红色代表 T_s 评分增加,蓝色代表 T_s 评分减小;单位:%)

化均方根误差(E)(表3)。使用较高分辨率地形高度资料(Case2、Case4),柴达木盆地 T_s 评分增加,偏差减小;在 SRTM 地形资料基础上引入气象台站海拔高度(Case4)河湟地区 T_s 评分增加(1.2%),偏差减小(-0.14)。

表3 青海省、柴达木盆地及河湟地区平均降水 T_s 评分(T_s)及平均标准化均方根误差(E)

	青海省		柴达木盆地		河湟地区	
	T_s /%	E/mm	T_s /%	E/mm	T_s /%	E/mm
Case1	60.1	6.01	37	2.08	61.1	1.30
Case2	59.4	6.19	37.6	1.57	59.6	1.34
Case3	59.4	6.03	35	1.47	60.9	1.35
Case4	60.3	5.96	37.8	1.68	62.3	1.16

3 结论

在评估 WRF 模式对青海 2014 年夏季气温、降水模拟效果的基础上,分别评估了使用不同地形数据及引入真实测站海拔的优劣,得出主要结论如下:

(1) WRF 模式对青海省 2014 年夏季最低气温模拟优于最高气温。最高气温除东部站点外,其余普遍偏低,海东、海北准确率较高。最低气温北部偏高,南部偏低,青海省大部分地区模拟较好。WRF 模式能较好地模拟出夏季累积降水量从南至北递减的空间分布,对降水低值区模拟较好,东南部及祁连山区降水模拟偏多。

(2) 与台站实际地形相比,模式地形总体偏高,相差较大的站点分布于青海南部及祁连山区海拔较高地区及地形梯度较大地区。与模式自带地形数据相比,采用 SRTM 高程数据产生的模式地形数据除青海东部外,其余大部地形高度增加,但总体变化幅度不大。

(3) 使用不同分辨率地形数据对于最高气温影响较小,引入台站海拔后对于最高气温的模拟准确率提高较大,模拟与实况偏差减小显著地区分布于海拔较高地区及地形梯度较大区域。对于最低气温,引入台站海拔改变并不显著,相对而言,使用更高分辨率地形数据最低气温准确率提高站点数较多,但提高幅度相对较低。

(4) 使用不同地形数据对青海整体降水模拟的影响较小,同时使用较高分辨率地形高度资料及引入气象台站海拔高度对青海海西中部及东部地区降水改进略为明显。

参考文献:

- [1] 智协飞,吴佩,俞剑蔚,等.GFS 模式地形高度偏差对地面 2 m 气温预报的影响 [J]. 大气科学学报,2019,42(5): 652-659.
- [2] 廖菲,洪延超,郑国光.地形对降水的影响研究概述[J].气象科技,2007,35(3):309-316.
- [3] 鲁春霞,王菱,谢高地,等.青藏高原降水的梯度效应及其空间分布模拟[J].山地学报,2007,25(6):19-27.
- [4] 陈潜,赵鸣.地形对降水影响的数值试验[J].气象科学,2006,26(5):16-25.
- [5] 何光碧.高原东侧陡峭地形对一次盆地中尺度涡旋及暴雨的数值试验[J].高原气象,2006,25(3):430-441.
- [6] WANG D, MIAO J F, TAN Z M. Impacts of topography and land cover change on thunderstorm over the Huangshan (Yellow Mountain) area of China[J], 2013, 67(5): 675-699.
- [7] 何钰,李国平.青藏高原大地形对华南持续性暴雨影响的数值试验[J].大气科学,2013,37(4):163-174.
- [8] 徐浩然.地形数据精细化对数值预报的影响[D].中国民航大学,2014.
- [9] 吕世华,钱永甫.有地形数值模式中水平分辨率对预报质量的影响[J].高原气象,1985,1(1):25-35.
- [10] 高学杰,徐影,赵宗慈,等.数值模式不同分辨率和地形对东亚降水模拟影响的试验[J].大气科学,2006,30(2): 185-192.
- [11] 卢晶晶,徐迪峰.地形对中小尺度低涡活动影响的数值试验研究[J].暴雨灾害,2011,30(1):19-27.
- [12] 何光碧,屠妮妮,张利红,等.青藏高原东侧一次低涡暴雨过程地形影响的数值试验[J].高原气象,2013,32(6): 1546-1556.
- [13] 蒋立辉,徐浩然,庄子波,等.基于 SRTM 数字高程模型的 WRF 低空风场模拟研究[J].中国民航飞行学院学报,2015,27(2):13-17.
- [14] 王江山,李锡福.青海天气气候[M].北京:气象出版社,2004.
- [15] 杜娟,李曼,于晓晶,等.基于不同分辨率和参数化方案的新疆区域数值模式性能初步评估 [J]. 沙漠与绿洲气象,2019,13(3):57-65.
- [16] 沈晓燕,颜玉倩,肖宏斌,等.WRF 模式不同参数化方案组合对青海气温、降水及风速模拟的影响[J].干旱气象,2018,36(3):423-430.
- [17] 唐国强,万玮,曾子悦,等.全球降水测量(GPM)计划及其最新进展综述[J].遥感技术与应用,2015,30(4):607-615.
- [18] 张昇祺,傅云飞.GPM 卫星双频测雨雷达探测降水结构的个例特征分析[J].大气科学,2018,42(1):36-54.

Influence of Different Terrain Elevation Data on Simulation Accuracy of Summer Temperature and Precipitation in Qinghai Province

SHEN Xiaoyan^{1,2}, SHEN Yanling^{1,2}, YAN Yuqian^{1,2}, XIAO Hongbin^{1,2}, QUAN Chen^{1,2}

(1.Qinghai Institute of Meteorological Science, Xining 810001, China;

2.Key Laboratory for Disaster Prevention and Mitigation in Qinghai Province, Xining 810001, China)

Abstract Based on the SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 90 m, USGS (United States Geological Survey) 30 s terrain elevation data and the actual altitude data of Qinghai meteorological station, the influence of different altitude data on the simulation accuracy of summer temperature and precipitation in Qinghai in 2014 was analyzed. The simulation results were tested by the meteorological observation data of the national basic observation data and mainly results indicated that: Compared with the actual station altitude data, the topographic data in model was generally on the high side, especially in the areas with higher altitude and larger terrain gradient. Compared with the original terrain data in model, except for the eastern part of Qinghai, the terrain data given by SRTM in most areas was increased. The use of SRTM data had little effect on the temperature, the introduction of meteorological station altitude data of Qinghai had a greater effect on the accuracy of the maximum temperature, the deviation of the simulated and measured data was significantly reduced in the areas with higher elevation in southern Qinghai and Qilian Mountains, as well as in the areas with larger terrain gradient in Huangnan and Hainan, the improvement of the simulated minimum temperature was not so obvious as the maximum temperature. Using of SRTM elevation data and actual meteorological station altitude data of Qinghai had comparatively improved the precipitation in the west central part of Qinghai and the eastern Qinghai.

Key words WRF; SRTM; terrain; temperature; precipitation