

沈志强, 卢杰, 华敏, 等. 西藏拉萨灌草区的气象要素特征[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(23): 278–282.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.23.070

西藏拉萨灌草区的气象要素特征

沈志强^{1,2}, 卢杰¹, 华敏³, 李照青¹, 屈兴乐¹, 方江平¹

(1. 西藏农牧学院西藏高原生态研究所, 西藏林芝 860000; 2. 中山大学生命科学学院, 广东广州 510275;

3. 武汉大学资源与环境科学学院, 湖北武汉 430079)

摘要:为掌握西藏拉萨达孜县山地气候的特点, 以西藏拉萨达孜县巴嘎雪村西南河谷山地灌草区为研究对象, 分析 2014—2015 年不同海拔梯度下主要气象要素(降水量、气温、风速)特征, 结果表明: (1) 随着海拔梯度的升高, 降水量逐渐增加, 平均气温逐渐降低, 风速逐渐增大。 (2) 降水主要集中在 6—9 月份, 其中 8 月份降水量最大, 7 月份次之, 其他月份降水量较少。降水时段主要分布在晚上, 特别是 01:00—07:00 降水量较多, 白天降水量相对较少。最大降水量时间为 04:00, 最小降水量时间为 13:00。 (3) 6 月份平均气温最高, 7、8 月份平均气温次之, 1 月平均气温最低。最高气温日(2015 年 6 月 7 日)各时间段内气温均在 10℃以上, 日平均气温为 20.1℃, 从 08:00 开始气温持续上升, 17:00 气温最高, 为 27.6℃。最低气温日(2015 年 1 月 10 日)气温均在 0℃以下, 日平均气温为 -11.3℃, 16:00 气温最高, 为 -4.3℃, 09:00 的气温最低, 为 -17.5℃。 (4) 冬、春季节风速最大, 秋季风速次之, 夏季风速最小。白天(08:00—18:00)的风速明显高于晚上, 最大风速出现在 18:00; 凌晨(03:00—07:00)的平均风速最小, 最小风速出现在 07:00。

关键词:拉萨; 不同海拔山地; 灌草区; 气象要素; 特征; 气候变化; 发展趋势

中图分类号: P42; S161 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)23-0278-04

气候特征是自然环境的最主要组成部分之一, 其变化能够对人类生存与发展等产生巨大影响。全球气候变化特征以变暖为主, 联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, 简称 IPCC)第 5 次评估报告指出, 1880—2012 年, 全球海陆表面平均温度呈线性上升趋势, 升高了 0.85℃; 1951—2012 年, 全球平均地表温度的升温速率几乎是 1880 年以来升温速率的 2 倍; 21 世纪末全球平均地表温度在 1986—2005 年的基础上将升高 0.3~4.8℃^[1]。全球降水在气温变化的影响下, 其时空分布格局亦发生了显著的变化, 比如热带地区与高纬度地区降水量可能会增加, 副热带地区降水量可能会减少^[2]。

青藏高原被称为世界的“第三极”^[3], 由于其特殊的自然地理环境, 被认为是对全球气候变化响应最为敏感的区域, 是研究全球气候变化的“天然实验室”, 因此青藏高原成为全球气候变化研究的热点地区之一。游庆龙等对青藏高原纳木错地区气象要素(包括气温、气压、降水量、风速、风向等)的季节和日变化进行了研究^[4]。郑然等对青藏高原 1971—2011 年的气温变化进行了研究^[5]。杨玮等对青藏高原 1967—2008 年降水时空的不均匀特性进行了分析^[6]。虽然部分学者已对青藏高原的气象要素进行了研究, 但对拉萨地区气象要素的研究相对较少。本试验以西藏拉萨达孜县巴嘎雪村西

南河谷山地为研究对象, 对不同海拔山地气象要素进行系统分析, 旨在掌握该区域山地气候的特点, 了解气候变化及发展趋势。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于西藏拉萨达孜县巴嘎雪村西南部山坡上, 坐标为 29°40′N, 91°25′E, 海拔 3 780~4 170 m。属于典型的青藏高原半干旱季风气候区, 空气稀薄, 白天太阳辐射强, 昼夜温差较大; 干湿季分明, 降水主要集中在每年的 6—9 月份, 年平均降水量在 450 mm 左右, 且该区域多夜雨, 冬春季节干燥并且多大风; 年平均气温为 7.5℃左右, 年平均日照时数为 3 065 h, 无霜期为 130 d 左右^[7]。该山坡坡度在 20°~30°之间, 土壤类型主要有亚高山灌丛草甸土、山地灰褐土和山地草原栗钙土, 以粉沙块为主, 土层较薄, 平均土壤厚度为 0.5~2.1 m, pH 值为 7.0~8.0^[8]。

研究区内植被垂直变化十分明显, 没有乔木分布, 从高海拔到低海拔主要有草地群落、灌草交错群落、灌草混合群落。灌丛高度较低, 一般不超过 0.5 m, 同时盖度较小; 草本群落盖度约为 60%~80%, 高度不超过 0.1 m^[9]。研究区内的主要灌木包括小叶野丁香(*Leptodermis pilosa*)、砂生槐(*Sophora moorcroftiana*)、架棚(*Ceratostigma minus*)等; 主要的草本植物包括紫花点地梅(*Androsace selago*)、早熟禾(*Poa annua*)、高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)、海韭菜(*Triglochin maritimum*)等^[10]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与调查 在西藏拉萨达孜县巴嘎雪村西南方向的山地上按照不同海拔不同植被类型(灌草混合群落、

收稿日期: 2017-08-24

基金项目: 国家重点研发计划(编号: 2016YFC0502006)。

作者简介: 沈志强(1989—), 男, 安徽宿州人, 博士研究生, 主要从事物种共存与生物多样性研究。E-mail: syg521hm@163.com。

通信作者: 卢杰, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事高山植物生态与植物保护的教学与研究工作。E-mail: tibetlj@163.com。

灌草交错群落、草地群落)布设 3 块样地(表 1),在样地内分别架设小型气象站,实时监测多种气象要素,包括降水量、气温、风速等。气象站自动记录瞬时数据的步长为 5 min,每 3 个月进行 1 次数据收取,在此期间有专人对仪器设备进行日常维护与保养^[10]。2014 年夏季对样地内的植物进行调查,包括植物种类、密度等。

表 1 监测站基本情况

站点	海拔 (m)	坡度 (°)	坡向	纬度	经度	植被群落类型
1	3 831	20	EN85	29°40′53″N	91°25′37″E	灌草混合群落
2	3 918	25	EN80	29°40′46″N	91°25′43″E	灌草交错群落
3	4 034	26	EN86	29°40′38″N	91°25′54″E	草地群落

注:EN 表示东偏北。

1.2.2 数据的收集与处理 由于本研究是从 2013 年 9 月开始建站并进行实时观测,且冬季拉萨地区基本无降水,降水主要集中在夏季,建站时雨季即将结束,同时仪器在高原恶劣气候条件下的运行过程中出现部分技术问题,特别是 2016 年部分数据出现明显异常,考虑到观测数据的科学性,因此选择数据较好的 2 年(2014、2015 年,降水选取夏季)进行科学研究,以保证野外观测试验的科学性。

2 结果与分析

2.1 降水量变化特征

2.1.1 不同海拔降水量年变化特征 从图 1 可以看出,2014 年站点 1 的降水量为 700.8 mm,站点 2 的降水量为 705.1 mm,站点 3 的降水量为 719.1 mm,年降水量排序为站点 3 > 站点 2 > 站点 1,3 个站点的年平均降水量为 708.3 mm。2015 年 3 个站点的降水量从低海拔到高海拔依次为 315.1、336.1、350.1 mm,年降水量排序为站点 3 > 站点 2 > 站点 1,3 个站点降水量的平均值为 333.7 mm。2014 年 3 个站点的年平均降水量远远高于 2015 年,约是 2015 年的 2.1 倍。2014 年、2015 年从站点 1 到站点 3,年降水量变化幅度不大,整体表现为随着海拔梯度的升高,降水量逐渐递增的趋势。

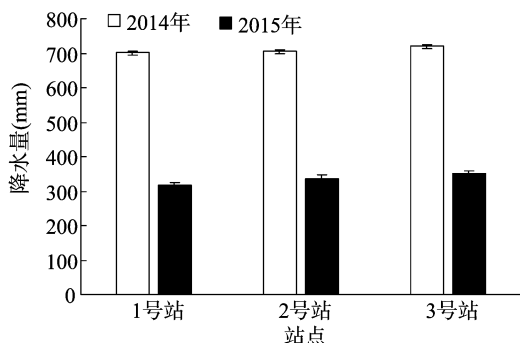


图1 不同海拔降水年变化特征

2.1.2 降水量月变化特征 从图 2 可以看出,3 个站点的降水量均从 3 月份开始上升,到 6 月份开始急速上升,8 月份达到最大值,8 月份后呈下降趋势,11 月份降水基本结束。降水量较大的月份主要为 6—9 月,其中 8 月份降水量最大,3 个站点的平均降水量达到 204.8 mm;其次为 7 月份,3 个站点的平均降水为 128.2 mm。其他月份降水量较少,基本无降

水。站点 1、站点 2、站点 3 的月平均降水量分别为 41.0、41.9、44.5 mm,月平均降水量排序为站点 3 > 站点 2 > 站点 1,它们 8 月份的降水量分别为 193.0、209.8、211.7 mm,排序为站点 3 > 站点 2 > 站点 1。由此说明,各站点的月平均降水量随着海拔梯度的升高而增大。

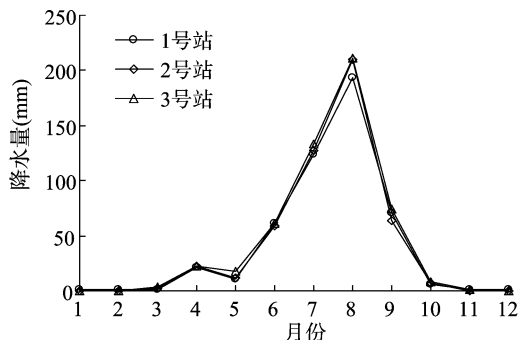


图2 降水月变化特征

2.1.3 降水量日变化特征 研究区的降水主要集中在 4—10 月份,特别是夏季降水量最大,因此对该区域 6—8 月降水量日变化进行研究。从图 3 可以看出,研究区降水量日变化具有明显的波动性。最大降水量出现在 04:00,为 78.42 mm;其次为 22:00,其降水量为 58.52 mm;最小降水量出现在 13:00,仅为 1.60 mm。研究区降水量日变化存在明显的 2 个高值降水时段和 1 个低值降水时段,其中 01:00—07:00 为降水量最多的时段,该时段降水量占全天总降水量的 53.11%;其次为 19:00—23:00,降水量占全天总降水量的 25.83%;12:00—18:00 为降水量最少的时段,降水量仅占全天总降水量的 4.95%。通过对研究区夏季降水量日变化进行研究发现,6—8 月份降水量日变化具有明显的波动性,有效降水主要发生在晚上,特别是 01:00—07:00,白天的降水量较少,特别是 12:00—18:00 降水量更少。而 6 月份降水量比 7、8 月份降水量少,其最大降水量时间段为 21:00—23:00。通过对西藏拉萨达孜县山地 2014、2015 年夏季降水量日变化特征进行研究发现,该区域降水主要集中于晚上,尤其是 01:00—07:00,白天降水量较少,特别是 12:00—18:00 降水更少,其中 04:00 降水量最多,13:00 降水量最少。

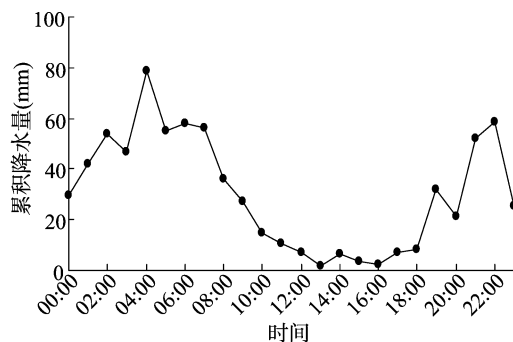


图3 夏季降水日变化特征

2.2 气温变化特征

2.2.1 不同海拔气温月变化特征 从图 4 可以看到,站点 1、站点 2、站点 3 的年平均气温分别为 8.1、7.6、6.7 °C,站点 1 的年平均气温最高,站点 3 的年平均气温最低。3 个站点的气温均从 1 月份开始上升,4 月份开始迅速上升,6 月份达到

最高值,此时站点1、站点2、站点3的月平均气温分别为16.5、15.8、14.8℃,7、8月份平均气温开始下降,9月份以后迅速下降。其中,1月份平均气温最低,站点1、站点2、站点3的分别为-1.7、-2.0、-2.2℃,12月份平均气温为次低,分别为0.4、0.1、-0.4℃。说明海拔梯度越高,平均气温越低。

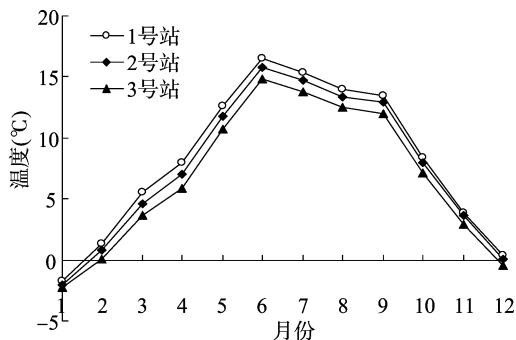


图4 不同海拔月平均气温变化

2.2.2 气温年内变化特征 统计站点2气象站实时观测到的各月平均气温,并分析年内平均气温变化特征。从图5可以看出,2014年年内平均气温大于2015年,2014年年内平均气温约为7.6℃,2015年年内平均气温约为7.5℃。1—6月份平均气温呈上升趋势,6—12月份的平均气温整体呈下降趋势,2014、2015年均以6月份的平均气温最高,分别为16.0、15.7℃,1月份平均气温最低,分别为-1.4、-2.7℃。

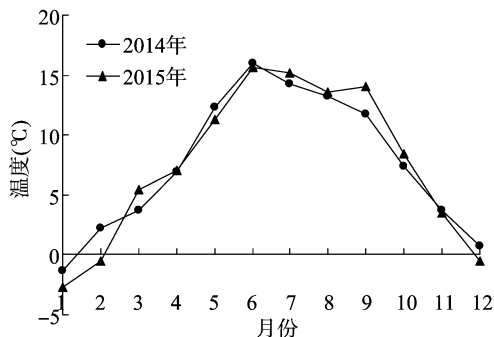


图5 气温年内变化

2.2.3 气温日变化特征 分析2014—2015年站点2气象站实时观测到的平均气温最高日(2015年6月7日)的气温日变化特征。从图6可以看出,气温日变化存在明显的波动,各时间段内气温均在10℃以上,日平均气温为20.1℃,08:00—17:00气温处于上升阶段,升温时长达到10h,00:00—08:00、18:00—23:00气温持续下降,降温时长为14h。00:00—07:00气温持续下降,07:00气温最低,为13.5℃;从08:00开始气温持续上升,14:00—15:00时气温上升缓慢,15:00—16:00时气温继续上升,17:00气温达到最高值,为27.6℃,日最大温差为14.1℃,16:00气温次之,为27.1℃,18:00气温第3高,为27.0℃,18:00以后气温开始逐渐下降,20:00—21:00气温下降较快,21:00以后气温持续缓慢下降。

图7为2014—2015年最低气温日(2015年1月10日)的气温变化特征,可以看出,该日各时间段内气温均在0℃以下,日平均气温为-11.3℃,日最大温差为13.2℃。00:00—09:00与17:00—23:00气温均呈下降的趋势,其中

17:00—23:00时间段内的平均气温相对较高,为-8.9℃,00:00—09:00时间段内的平均气温相对较低,为-15.0℃,其中09:00的气温最低,仅为-17.5℃。09:00—16:00气温呈不断上升趋势,16:00气温最高,为-4.3℃,其次为15:00,为-4.8℃。

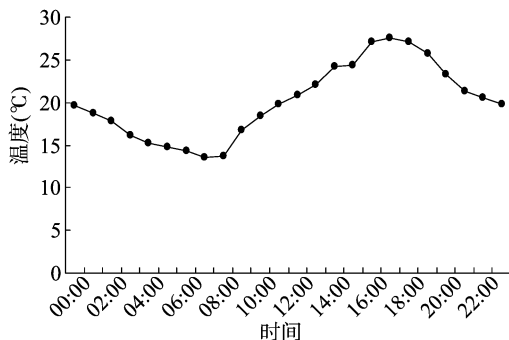


图6 最高气温日气温变化

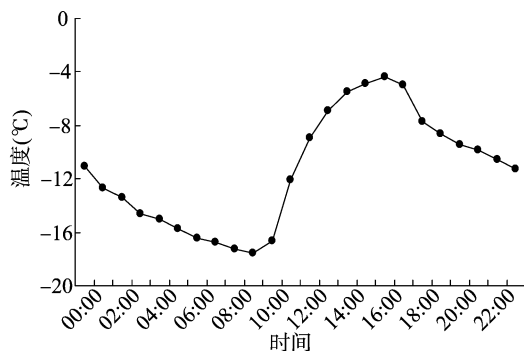


图7 最低气温日气温变化

2.3 风速变化特征

2.3.1 不同海拔风速变化特征 统计研究区2014—2015年各月平均风速的平均值,从图8可以看出,3个气象站风速分别为1.2、1.3、1.5 m/s,平均风速排序为站点3>站点2>站点1。1—6月份与8—12月份,3个站点的平均风速整体呈上升趋势,其中1—6月份平均风速平均值远大于8—12月份,3个站点均为4月份风速最大,分别达到1.6、1.7、2.0 m/s,6—8月份平均风速不断下降,其中8月份风速最小,分别仅为0.8、0.9、1.0 m/s,站点1与站点3平均最大风速是最小风速的2倍,而站点2的平均最大风速与最小风速之比也达到了1.9倍,说明研究区内冬春季节风速最大,秋季次之,而夏季最小。

2.3.2 风速年内变化特征 利用2014—2015年站点2实时

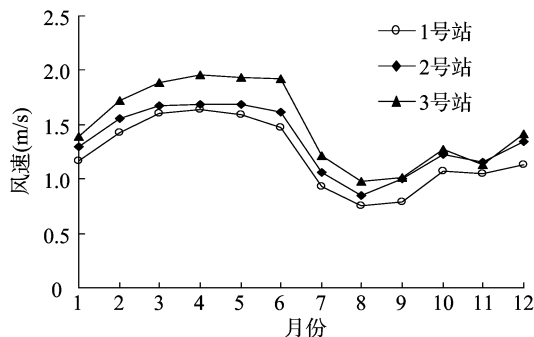


图8 不同海拔风速变化

观测到的各月平均风速来分析年内平均风速变化特征。由图 9 可知,2015 年年内平均风速大于 2014 年,2014 年年内平均风速约为 1.3 m/s,2015 年平均风速约为 1.4 m/s。1—6 月份与 8—12 月份平均风速整体呈上升趋势,6—8 月份平均风速整体呈下降趋势,其中 2—6 月份平均风速明显大于其他月份。2014 年最大平均风速发生在 2 月份,为 1.8 m/s,最小平均风速发生在 8 月份,为 0.8 m/s,2015 年最大平均风速发生在 3 月份,为 1.8 m/s,最小平均风速发生在 8 月份,为 1.0 m/s。

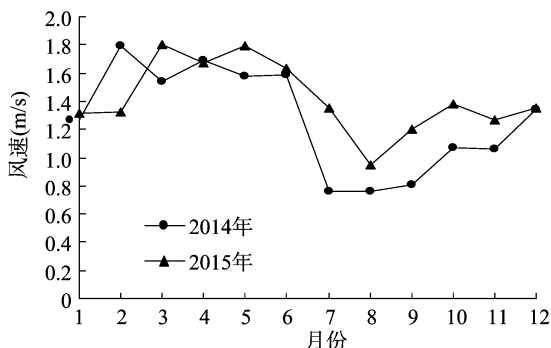


图9 风速年内变化

2.3.3 风速日变化特征 分析 2014—2015 年站点 2 实时观测到的平均最高风速日(2014 年 4 月 25 日)的风速日变化特征。从图 10 可以看出,风速日变化存在明显的波动,各时间段内风速均在 0 m/s 以上,最大风速发生在 18:00,为 3.8 m/s,其次为 15:00,风速为 3.7 m/s,最小风速发生在 07:00,风速仅为 0.1 m/s。08:00—18:00 平均风速最大,达到 1.9 m/s,03:00—07:00 平均风速最小,仅为 0.1 m/s。白天(08:00—18:00)的风速(特别是 12:00—18:00)要明显高于晚上,凌晨(03:00—07:00)的平均风速最小。

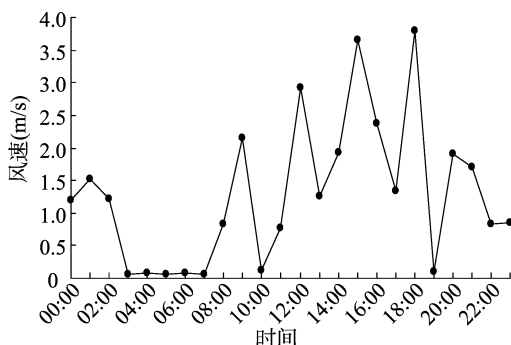


图10 风速日变化

3 讨论

西藏拉萨达孜县灌草区晚上降水量较多,白天降水量较少的主要原因可能有以下 2 个方面:(1)研究区白天太阳辐射强烈,导致云层蒸发,而夜晚气温降低,云层冷却,产生对流,容易形成降水过程;(2)可能与拉萨达孜县复杂的河谷山地地形有关,该区夏季降水次数与降水量较多,容易产生地表径流,导致对流天气,尤其是晚上,山谷风盛行,致使气流不断上升,增加了降水发生的可能。

气温最高日 07:00 气温最低,主要是由于此时太阳还没有升起,晚上地表持续放热,且得不到太阳辐射的热量补给,导致地表温度持续下降;08:00 以后气温开始上升,主要是由

于夏季太阳升起,气温随着太阳辐射的增强而上升,在 17:00 达到最高值;拉萨地区夏季日照时间较长,地面温度随着太阳辐射的增强而不断上升,一直等到地面释放出的热量等于太阳辐射所提供热量时,地面温度才能达到最高。18:00 以后气温逐渐下降,是由于太阳辐射变弱,气温逐渐下降。气温最低日的气温变化原因与最高日基本一致。

冬春季风速最大,秋季次之,夏季最小,主要原因是该地区冬季与春秋季节昼夜温差大,气压变化剧烈,因此大风频繁;而夏季昼夜温差相对较小,气压变化剧烈程度较小,因此风速不大。随着海拔梯度的升高,风速呈不断增大的趋势,主要原因是随着海拔梯度的升高由于地形与植被的因素,高海拔地区被遮挡的比较少,风速较大,低海拔地区反之。

白天(特别是下午),近地面的空气气温很高,上下空气交流激烈,所以风速较大。在傍晚,当太阳下山后,地面逐渐变冷,使近地面气温降低,上下空气交流会减弱,风速逐渐变小。夜间,近地面空气温度降低较快,形成了上层气温较高,下层气温较低的情况,空气上交流停止,所以风速减弱。

4 结论

通过对西藏拉萨重要气象要素(降水量、气温、风速)变化特征的研究,得出如下结论,(1)2014 年 3 个站点的年平均降水量远高于 2015 年,约是 2015 年降水量的 2.1 倍,年降水量排序为站点 3 > 站点 2 > 站点 1,整体表现为随着海拔梯度的升高,降水量递增的趋势。3 个站点的降水主要集中在 6—9 月份,其中 8 月份降水量最大,7 月次之,其他月份降水量较少。降水时段主要分布在晚上,特别是 01:00—07:00 降水量较多,白天降水量相对较少。01:00—07:00 为降水量最多的时段,其次为 19:00—23:00,12:00—18:00 为全天降水量最少的时段。最大降水量时间为 04:00,最小降水量为 13:00。(2)拉萨灌草区海拔梯度越高,年平均气温越低,2014 年年内平均气温大于 2015 年。3 个站点的气温均从 1 月份开始上升,4 月份开始迅速上升,6 月份达到最高,7、8 月份平均气温略微降低,1 月份平均气温最低。最高气温日(2015 年 6 月 7 日)各时间段内气温均在 10℃ 以上,08:00—17:00 气温处于上升阶段,18:00 以后气温持续下降。07:00 气温最低,为 13.5℃,17:00 气温最高,达到 27.6℃,18:00 以后气温逐渐下降。最低气温日气温均在 0℃ 以下,00:00—09:00 与 17:00—24:00 气温均呈下降趋势,其中 09:00 的气温最低,仅为 -17.5℃,16:00 气温最高,为 -4.3℃。(3)拉萨灌草区冬春季风速最大,秋季风速次之,夏季风速最小。海拔越高,风速越大。3 个站点 4 月份风速最大,8 月份风速最小。日最大风速发生在 18:00,为 3.8 m/s,其次为 15:00,风速为 3.7 m/s,最小风速发生在 07:00,风速仅为 0.1 m/s。白天(08:00—18:00)的风速明显高于晚上,最大风速出现在 18:00;凌晨(03:00—07:00)的平均风速最小,最小风速出现在 07:00。

参考文献:

- [1] 秦大河, Stocker T, 259 名作者和 TSU(驻伯尔尼和北京). IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(1): 1-6.

赵彦茜, 安 塞, 齐永青, 等. APSIM 模型在河北山前平原农业耗水研究中的应用[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(23): 282–286.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.23.071

APSIM 模型在河北山前平原农业耗水研究中的应用

赵彦茜¹, 安 塞², 齐永青³, 朱 骥¹

(1. 河北地质大学, 河北石家庄 050031; 2. 河北科技大学, 河北石家庄 050018;

3. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心/中国科学院农业水资源重点实验室, 河北石家庄 050021)

摘要:为将 APSIM 模型应用于河北山前平原农业耗水研究中, 利用中国科学院栾城农业生态系统试验站 2009—2013 年的数据对 APSIM 模型参数进行调试与验证, 并对河北山前平原 1986—2015 年不同降水年型情况下的作物生产和水分消耗状况进行研究。模拟结果表明, APSIM 模型可以较好地模拟河北山前平原冬小麦和夏玉米的产量、蒸散量 (evapotranspiration, 简称 ET) 以及土壤水储量的动态变化, 适用于研究分析河北山前平原水资源消耗和产量水平的综合效应。产量模拟结果的均方根误差 (root mean square error, 简称 RMSE) 和确定系数 (R^2) 分别为 502 kg/hm² 和 0.83, 蒸散量 ET 模拟结果的均方根误差和决定系数分别为 30.8 mm 和 0.91, 每月蒸散量 ET 模拟结果的均方根误差和决定系数分别为 13.2 mm 和 0.89, 模拟效果良好。根据验证结果, 然后利用调整之后的参数模拟 1986—2015 年河北山前平原不同降水年型下的作物生产耗水状况, 研究说明传统的一年两熟种植制度耗水量较大, 不适于在河北山前平原继续推行下去, 应该予以调整。

关键词:河北山前平原; APSIM 模型; 小麦; 玉米; 农业耗水; 产量; 蒸散量

中图分类号: S274.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)23-0282-05

河北山前平原主要是指河北省境内京津以南的河北山前平原, 属暖温带半干旱半湿润大陆性季风气候, 雨热同期, 降水主要集中于夏季, 适合多种作物生长。

冬小麦—夏玉米一年两熟制是河北山前平原主要的种植制度^[1], 但该地区大部分区域的降水量无法满足一年两熟制下作物对水分的要求, 原因在于冬小麦生育期内水分亏缺非常严重^[2]。通常情况下, 该地区多年平均降水量为 400 ~ 550 mm, 冬小麦生育期内降水量为 90 ~ 130 mm, 夏玉米生育期内降水量为 300 ~ 360 mm, 而冬小麦年平均耗水量为 380 ~ 450 mm, 夏玉米年平均耗水量则为 270 ~ 330 mm^[3-5], 冬小麦生育期水分亏缺为 250 ~ 320 mm, 须要进行多次灌溉来保证

产量, 而夏玉米只要适时播种, 自然降水可满足其对水分的要求, 生育期内基本不须要灌溉或者仅须要灌溉 1 次出苗水, 只有在极少的尤其干旱的年份须要进行二次灌溉, 以缓解“卡脖子”的影响。河北山前平原作物高产主要是靠提取地下水灌溉来保证, 而长期的灌溉已经造成河北山前平原地下水资源的严重亏损, 导致河北山前平原地下水位持续下降^[6]。所以, 农业生产耗水研究对于供水问题突出的河北山前平原来说十分重要, 而应用于这一研究的主要就是进行田间定位试验和利用作物模型模拟这 2 种方法, 本研究主要是在已有田间试验资料的基础上应用 APSIM 模型对河北山前平原的农业耗水状况进行研究分析。

作物模型可以在已有研究资料基础上对在多种模拟条件下的作物生长情况进行模拟, 预测未知风险, 优化农业资源管理措施, 为农业生产的管理经营提供科学指导, APSIM 模型就是作物模型中的典型代表。APSIM 模型是一种可用于模拟农业生产系统中各主要组成部分的机制模型, 它是由澳大利亚的联邦科工组织以及昆士兰州政府的农业生产系统组 (agricultural production systems research unit, 简称 APSRU) 所开发建立的优秀作物模型^[7-8]。APSIM 模型建立最初的目的是在农业系统里进行长期资源管理试验时, 对在气候变化、作

收稿日期: 2017-08-14

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 41001060); 国家重点研发计划课题 (编号: 2016YFC0401403)。

作者简介: 赵彦茜 (1992—), 男, 河北南和人, 硕士研究生, 主要从事资源环境综合信息勘查。E-mail: 1014236494@qq.com。

通信作者: 齐永青, 博士研究生, 副研究员, 主要从事水资源与农业可持续发展。Tel: (0311) 85812827; E-mail: 18233181223@163.com。

[2] 施 能, 黄先香, 杨 扬. 1948—2000 年全球陆地年降水量趋势变化的时、空特征[J]. 大气科学, 2003, 27(6): 971–982.

[3] 徐 影, 丁一汇, 李栋梁. 青藏地区未来百年气候变化[J]. 高原气象, 2003, 22(5): 451–457.

[4] 游庆龙, 康世昌, 李潮流, 等. 青藏高原纳木错气象要素变化特征[J]. 气象, 2007, 33(3): 54–60.

[5] 郑 然, 李栋梁, 蒋元春. 全球变暖背景下青藏高原气温变化的新特征[J]. 高原气象, 2015, 34(6): 1531–1539.

[6] 杨 玮, 何金海, 王盘兴, 等. 近 42 年来青藏高原年内降水时空

不均匀性特征分析[J]. 地理学报, 2011, 66(3): 376–384.

[7] 赵海珍, 李文华, 黄瑞玲, 等. 拉萨达孜县北京杨人工林生态系统服务功能评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(5): 104–106.

[8] 沈志强, 卢 杰, 华 敏, 等. 西藏拉萨达孜夏季降水日变化特征[J]. 山地学报, 2016, 34(4): 409–414.

[9] 屈兴乐, 殷文杰, 周尧治, 等. 拉萨河谷高山灌丛草甸区系组成及其特征[J]. 干旱区研究, 2016, 33(3): 548–553.

[10] 沈志强, 华 敏, 卢 杰, 等. 西藏拉萨河谷山地土壤水分对降雨的响应[J]. 中国农村水利水电, 2016(10): 104–107, 115.