

文章编号:2096 - 5389(2020)06 - 0051 - 05

黄山雾凇气候特征及旅游气象指数预报

许剑勇¹, 陈建春¹, 吴永泽²

(1. 安徽省黄山市气象局, 安徽 黄山 245021; 2. 安徽省黄山气象管理处, 安徽 黄山 245800)

摘要:利用 1956—2018 年黄山风景区气象观测资料, 分析了黄山雾凇气候变化特征。结果表明: 黄山年均雾凇日数 63.3 d, 最多年份为 82 d, 最少为 35 d, 年雾凇日数呈减少趋势; 雾凇出现最早月份在 10 月, 最迟在 5 月, 冬季雾凇日数约占全年的 7 成, 最多为 1 月, 最少为 5 月; 黄山雾凇的平均初日为 11 月 7 日, 最早初日为 10 月 8 日, 平均终日为 4 月 7 日, 最迟终日为 5 月 12 日, 连续最长雾凇日数为 32 d; 近 20 a 黄山雾凇出现气温范围为 $-18.7 \sim 1$ °C, 风速范围为 $0 \sim 20.6$ m/s, 任何风向均能出现雾凇; 南北向的雾凇直径、厚度和重量略大于东西向, 最大值出现在 1、2 月份, 最大直径为 230 mm, 最大厚度为 105 mm, 最大重量为 1 138 g/m。气温、湿度和风速均与雾凇强度呈现显著性相关, 最低气温和水汽条件是影响黄山雾凇形成的关键气象因子, 风速主要影响雾凇大小。占绝大多数的微量雾凇日数达不到雾凇景观标准, 能形成雾凇景观的日数年均 20.1 d。利用影响雾凇景观形成的关键气象因子建立了黄山雾凇旅游气象指数, 经实践检验准确率良好, 可为气象业务应用提供预报参考, 提升黄山旅游气象服务品质。

关键词:黄山; 雾凇; 气候特征; 旅游气象; 指数预报

中图分类号: P426.3⁺22 **文献标识码:** B

Climate Characteristics and Forecast of Tourism Meteorological Index of Rime in Huangshan Scenic Area

XU Jianyong¹, CHEN Jianchun¹, WU Yongze²

(1. Huangshan Meteorological Bureau, Huangshan 245021, China; 2. Huangshan Meteorological Management Office, Huangshan 245800, China)

Abstract: The meteorological observation data was used to analyze the characteristics of climate change rime of Huangshan Scenic Area from 1956 to 2018. The results show that: the annual average rime days of Huangshan Mountain is 63.3 days, the maximum number of years is 82 days, the minimum is 35 days, and the number of rime days decreases. The earliest months of rime appear in October, the latest in May, and the rime days in winter months account for about 70% of the whole year, from October tot May; Huangshan rime's average first day is November 7, the earliest first day is October 8, the average day is April 7th, and the latest day is May 12th The longest continuous rime days are 32 days; in the past 20 years, the temperature range of Huangshan rime is $-18.7 \sim 1$ °C, the wind speed range is $0 \sim 20.6$ m/s, rime can occur in any wind direction; the diameter and thickness of rime in north - south direction. The weight is slightly larger than the east - west direction, the maximum value appears in January and February, the maximum diameter is 230 mm, the maximum thickness is 105 mm, and the maximum weight is 1 138 g/m. Temperature, humidity and wind speed are significantly correlated with the intensity of rime. The minimum temperature and water vapor conditions are the key meteorological factors affecting the formation of haze in Huangshan. The wind speed mainly affects the size of haze. The majority of the micro - haze days do not reach the standard of rime landscape, and the number of days that can form a hazy landscape is 20.1 days per year. The tourism meteorological index of Huangshan rime was established by using the key meteorological factors affecting the formation of rime landscape. The accuracy of practice test is good, which can

收稿日期: 2019 - 11 - 04

第一作者简介: 许剑勇 (1982—), 男, 副高, 主要从事天气预报和专业气象服务工作, E-mail: swordpeony@163.com。

provide forecasting reference for meteorological service application and improve the quality of Huangshan tourism meteorological service.

Key words: Huangshan Scenic Area; rime; climatic characteristics; tourism meteorology; index forecast

0 引言

黄山是世界著名的山岳型风景区,随四季而千变万化的美景每年吸引数百万的中外游客。“黄山四季皆胜景,唯有冬季景更佳。”黄山奇丽的冬景被世人所推崇,而冬景之一的雾凇景观也为人们所熟知。晶莹的雾凇非雪非霜,却比雪奇,比霜美,裹嵌在草木之上,结成各式各样美丽的冰凌花,满山遍野一片银装素裹的世界。雾凇,俗称树挂,是低温时空气中水汽凝华或过冷雾滴冻结在细长物体上的由冰粒或冰晶所组成的乳白色凝附物。目前国内学者对雾凇的研究并不多,仅对雾凇多见地区,如大兴安岭、衡山、河北、长白山和浙江等地的雾凇气候特征和形成气象条件做了一些分析研究^[1-11];吴有训等对黄山雾凇进行过气象特征研究^[6],其使用资料截止1996年,但统计有误,本文利用黄山气象站1956—2018年气象资料进行更正更新。目前对雾凇景观预报的研究几乎空白,周丽贤等对平原型和高山型雾凇建立了旅游气象指数^[7],经实践应用发现并不适用黄山雾凇预报,本文依据本地气象资料和预报经验建立了黄山雾凇景观旅游气象指数,有利于开发黄山旅游气候资源,并提升旅游气象服务质量。

1 雾凇的时空分布特征

1.1 雾凇的年际变化

图1为黄山1956—2018年雾凇日数的年际变化曲线和趋势线。黄山年均雾凇日数63.3 d,对比前人统计值^[6](1956—1995年均65.6 d)有所减少,最多年份为82 d(1970年),最少年份为35 d(1963年);线性趋势斜率为负且值很小,说明年雾凇日数略呈减少趋势,1958—1973年雾凇日数总体偏少,1974—1996年偏多,1997—2018年起伏较大,平均偏少。

1.2 雾凇的月际变化

表1统计了黄山雾凇月平均日数及占年平均日数百分比。黄山雾凇最早出现在10月,最迟在5月;雾凇日数出现最多的月份为1月(17.4 d),占全年比为27.4%,其次为2月和12月,以1月为中心,两边对应月份逐渐减少,呈正态分布特征,与月平均气温分布特征一致,可见气温低是雾凇出现的主

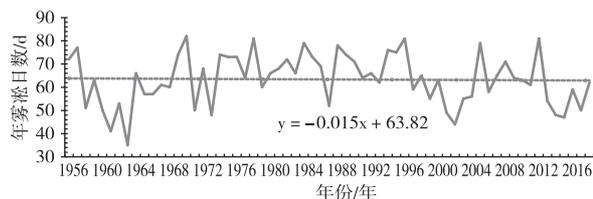


图1 1956—2018年黄山年雾凇日数年际变化

Fig. 1 The interannual variations of rime days in Huangshan scenic area, 1956—2018

导因素。冬季(12月—次年2月)雾凇日数共计44.1 d,约占全年的7成,可见冬季是雾凇出现的主要季节;3月雾凇日数也达到10.9 d,该月冷空气依然频繁,气温较低;11月、4月气温较高,雾凇日数明显较少;10月、5月雾凇日数已较为稀少,尤其是5月,多年才可能出现1 d雾凇日。

表1 黄山雾凇月平均日数及占年平均百分比

Tab. 1 The days - distribution of rime in every month in Huangshan

月份	10	11	12	1	2	3	4	5
月平均日数/d	0.9	5.3	12.3	17.4	14.4	10.9	2.2	0.1
所占比例/%	1.4	8.3	19.5	27.4	22.8	17.1	3.5	0.1
月平均气温/℃	9.6	4.9	0.0	-2.1	-0.5	2.9	8.1	12.4

1.3 雾凇的初终期及连续最长日数

见表2,黄山雾凇的平均初日为11月7日,平均终日为4月7日,对比前人统计的11月4日和4月8日^[6],初日有所推迟而终日有所提前,对应了近20 a年平均气温均高于历史均值,年平均气温逐年升高的趋势。近63 a来黄山雾凇最早初日为10月8日(1981年),每年初日最多出现在11月,占比62%,其次为10月(35%),少数年份出现在12月(3%);最迟终日为5月12日(1958年),每年终日最多在4月(68%),其次为3月(27%),偶尔出现在5月(5%)。连续最长雾凇日数为32 d,出现在1995年1月10日—2月10日。

1.4 雾凇出现的气温和风向风速

统计2000—2018年黄山雾凇出现的气温和风向风速分布情况,见图2。从图2a可以看出,近20 a黄山雾凇出现的气温范围为 $-18.7 \sim 1^{\circ}\text{C}$,故黄山雾凇出现的气温上限为 1°C ;呈向低温方向阶梯式减少的分布特征,平均气温在零上次数占比仅为4.4%, $-1.7 \sim 0^{\circ}\text{C}$ 为峰值区间,次数占比最多,达

31.6%,其次为-3.4~-1.7℃,占比为16.9%。从图2b可见任何风向均能出现雾凇,包括静风;西北(NW)风向出现次数最多(109次),占统计总数比为20.8%,其次为西北偏北(NNW)和北(N)风,占比分别为15.5%和12.2%,黄山受西风槽带来的冷空气影响居多,风向多为西北和偏北风;以西北风向为中心,风向次数向两边呈明显下降趋势,东南(SE)风向最少,仅8次,另静风(C)有2次。风速范围为0~20.6 m/s,即0~8级风;风速主要集中在1.5~9.0 m/s,即2~5级风,达399次,占比72.3%。

1.5 雾凇的强度分析

按月份统计了1958—2018年黄山雾凇南北向和东西向的平均直径、厚度和重量,见表2。从表2可见,南北向的雾凇直径、厚度和重量一般略大于东西向;平均最大直径和厚度均出现在1月份,最大重量出现在2月份,均呈现向两边月份递减的趋势;5月份各量值最小,近乎为0,由于5月雾凇出现次数极少,且强度很弱;南北向和东西向的量值分布特征基本一致,且与雾凇月平均日数分布特征也基本一致。

表2 1958—2018年各月黄山雾凇平均直径、厚度和重量

Tab.2 The average diameter, thickness and weight of rime in Huangshan,1958—2018

月份	南北向			东西向		
	直径/mm	厚度/mm	重量/(g·m ⁻¹)	直径/mm	厚度/mm	重量/(g·m ⁻¹)
10月	27.3	20.3	15.6	41.3	11.0	32.8
11月	97.3	42.0	78.1	86.4	40.9	70.5
12月	129.7	66.5	94.9	121.8	64.5	79.3
1月	194.0	108.2	200.0	184.7	113.9	157.3
2月	151.3	81.8	209.9	146.3	80.8	203.1
3月	119.8	58.2	101.2	111.3	56.7	74.6
4月	49.4	23.9	86.4	47.5	21.2	75.9
5月	微量	微量	微量	微量	微量	微量

1956—2018年黄山雾凇最大直径为230 mm(南北向),出现在2006年1月21日;最大厚度为105 mm(东西向),出现在1964年12月13日;最大重量为1 138 g/m(南北向),出现在1988年1月5日。与吴有训统计的雾凇极值有很大出入^[6],其统计的黄山雾凇最大直径为248 mm(1979年4月2日),最大厚度为5 600 mm(1956年1月8日),最大重量4 820 g/m(1979年4月2日)。该统计值错误明显:其厚度远大于直径值,而观测规范规定直径值≥厚度值^[12];厚度值达到5.6 m,观测用电线积冰架2.2 m高,既容不下也支撑不住。认为其统计时出现数据错位,将雨凇观测代码5600误做观测数据,经复查,1956年1月8日和1979年4月2日均无雾凇。

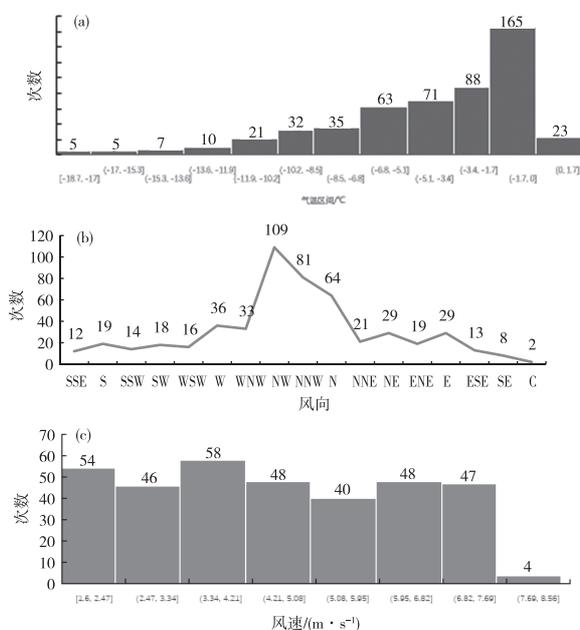


图2 2000—2018年黄山雾凇次数的平均气温(a)、风向(b)和风速(c)

Fig.2 The times - distribution of rime in mean temperature and wind in Huangshan,2000—2018

2 雾凇景观形成的气象条件

为做出准确的雾凇景观预报,需要了解黄山雾凇出现的气象条件。国内各地雾凇相关研究较为一致认为低温和充足的水汽条件是雾凇形成的关键条件^[1-11],另外风也是一个重要因子。黄山年均雾凇日数63.3 d,但并非都能达到景观标准,较多为微量,不易看见且出现范围小,观赏性差,故剔除微量雾凇日数。2000—2018年黄山雾凇日数共计1 110 d,微量雾凇日数728 d,剔除后剩余382 d(雾凇直径均≥4 mm),年均20.1 d有雾凇景观。预报高山型雾凇景观,第一天的气象条件最为重要,之后数日往往处于保持或者消融阶段,故连续出现雾凇景观的日数只取首日,筛选之后共计340 d。表3

统计了2000—2018年近20 a 黄山雾凇景观出现时的气象条件及与雾凇强度的相关分析。

表3可见,日温差与雾凇强度的相关系数为-0.023,没有通过显著性水平检验,说明黄山雾凇景观的形成与昼夜温差的变化关系不大;最低气温、相对湿度和平均风速的相关系数分别为-0.252、0.240和-0.196($n=340, \alpha=0.01$),均与雾凇强度呈极显著相关,其中最低气温和平均风速为负相关,相对湿度为正相关,说明最低气温越低、风速越小、湿度越高,形成的雾凇越厚实。最低气温数值上限为-0.7℃,比上文统计的雾凇出现上限气温(1℃)要低,说明雾凇达到景观级别需要更低的气温;出现雾的概率为99.7%,近乎100%,黄山为高山站,只要有雨雪天气过程就处在降雨云中,几乎都会出现大雾;相对湿度范围为24%~100%,黄山形成雾凇时的相对湿度往往接近100%,然而冷空

气过后湿度下降明显,计算日平均相对湿度时数值会降低,但其接近一半雾凇日数的相对湿度仍 $\geq 90\%$;当天有降水的概率为36.7%,前一天有降水的概率为58.1%,前一天有降水的概率明显高于当天,黄山雾凇的形成往往伴随着降雨过程,降雨停止后气温足够低才能形成雾凇,而气温的下降需要滞后一段时间。

综上所述,黄山雾凇景观的形成必要条件是足够低的气温和足够高的湿度条件,在微风和强风情况下均能形成雾凇,风速不是雾凇形成的决定性条件,但对雾凇大小有明显影响。黄山雾凇景观形成的天气形势大多为冷空气南下与西南气流共同影响的降雨天气,其次为无降雨天气,仅有冷空气影响降温,配合较好的湿度条件,也能形成雾凇,但雾凇强度偏小,观赏性一般。

表3 黄山雾凇景观出现时的气象条件及与雾凇强度的相关性

Tab.3 The meteorological conditions and correlation with rime in Huangshan

	最低气温/℃	日温差/℃	相对湿度/%	平均风速/ ($m \cdot s^{-1}$)	出现雾的概率	当天有降水 的概率	前一天有降 水的概率
数值	-19.0 ~ -0.7	1.2 ~ 15.5	24 ~ 100	0.6 ~ 13.5	99.7%	36.7%	58.1%
相关系数	-0.252**	-0.023	0.240**	-0.196**			

注:**表示通过0.01显著性水平检验。

3 雾凇旅游气象指数

3.1 雾凇旅游指数的建立

针对黄山雾凇景观预报,依据以上数据统计和预报经验,选取对黄山雾凇景观形成影响较大的关键因子,建立黄山雾凇旅游气象指数,既为雾凇景观预报提供参考指标,也为游客观景需求起到指导作用。见表4,黄山雾凇景观旅游气象指数分为1~5级,分别表示非常容易形成雾凇、较容易形成雾凇、可以形成雾凇、不易形成雾凇和无雾凇,预报概

率分别代表80%、60%、40%、20%和不预报概率。雾凇指数1级对应的气象条件为样本中最有利出现雾凇景观的气象条件中30%的临界值;雾凇指数2级对应的气象条件为样本中最有利出现雾凇景观的气象条件中60%的临界值;雾凇指数3级对应的气象条件为所有样本中雾凇景观出现气象条件的临界值;雾凇指数4级对应的气象条件为不完全满足雾凇景观出现的气象条件;雾凇指数5级代表最低气温不满足雾凇出现的上限,其他气象条件则关联不大,无概率预报,表示无雾凇。

表4 黄山雾凇景观旅游气象指数

Tab.4 Tourism meteorological index of rime in Huangshan

旅游指数等级	雾凇景观概率/%	最低气温/℃	降雨或相对湿度/%	风速/($m \cdot s^{-1}$)	服务用语
1	80	≤ -7.8	前天有降水或当日湿度 ≥ 90	≤ 4.2	非常容易形成雾凇
2	60	≤ -4.6	前天有降水或当日湿度 ≥ 90	≤ 6.0	较易形成雾凇
3	40	≤ -0.7	前天有降水或当日湿度 ≥ 90	≤ 13.5	可以形成雾凇
4	20	≤ 1	前天有降水或当日湿度 ≥ 90	> 13.5	不易形成雾凇
5	无	> 1	无关	无关	无雾凇

预报黄山雾凇景观的关键是水汽和最低气温,首先水汽条件必须得到满足,前天有降水可以保证地面湿度较大,或者预报当日湿度较高,接近饱和,之后再确定最低气温,气温越低,越容易结晶出更

多的冰晶,形成更壮丽的雾凇景观。3级雾凇指数的-0.7℃是雾凇景观出现的最低气温上限,4级雾凇指数的1℃是保持雾凇的最低气温上限,在两者气温之间有可能形成雾凇(多为微量),大于1℃不

形成雾凇,水汽和风速条件无需考虑。风速为非必要条件,只作为影响雾凇强度的参考,在实际应用中可加权雾凇景观概率的确定。

3.2 雾凇旅游指数的检验

利用黄山气象站 2019 年 1—3 月的雾凇观测数据和相关气象资料进行检验。见表 5,预报雾凇指数等级 2~5 级,因最低气温不够低,1 级未出现;2~5 级雾凇旅游气象指数的预报准确率分别为 100%、65%、80% 和 97%,呈现中间低、两头高的特点,处于中间的 3~4 级因判定条件处于临界值,准确率相对偏低,且雾凇保持的气象条件不在判定条件范围内的情况较多,也会拉低准确率,如出现雾凇的第二天,气温升高,湿度降低,判定为无雾凇,但因残留雾凇还未完全融化,观测为有雾凇。

样本数为 3 个月共计 90 d,综合准确率为 83%,明显雾凇景观天数 18 d,预报指数等级均在 2~3 级,壮观雾凇天数 5 d,预报指数等级均在 2 级,说明黄山雾凇旅游气象指数准确性很高,有很好的业务实用价值。

表 5 2019 年 1—3 月黄山雾凇旅游气象指数检验表

Tab. 5 Inspection of tourism meteorological index of rime in Huangshan, January - March 2019

雾凇指数等级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	总计
预报日数/d	0	13	31	15	31	90
准确日数/d	0	13	20	12	30	75
准确率/%	-	100	65	80	97	83

4 结论

①黄山年均雾凇日数 63.3 d,最多年份为 82 d,最少为 35 d,年雾凇日数呈减少趋势;雾凇出现最早月份在 10 月,最迟在 5 月,冬季月份雾凇日数占全年约为 7 成,最多为 1 月,最少为 5 月;黄山雾凇的平均初日为 11 月 7 日,最早初日为 10 月 8 日,平均终日为 4 月 7 日,最迟终日为 5 月 12 日,连续最长雾凇日数为 32 d;近 20 a 黄山雾凇出现气温范围为 $-18.7 \sim 1$ °C,风速范围为 $0 \sim 20.6$ m/s,任何风向均能出现雾凇;南北向的雾凇直径、厚度和重量略大于东西向,最大值出现在 1、2 月份,最大直径为 230 mm,

最大厚度为 105 mm,最大重量为 1 138 g/m。

②气温、湿度和风速均与雾凇强度呈现显著性相关,最低气温和水汽条件是影响黄山雾凇形成的关键气象因子,风速主要影响雾凇大小。占绝大多数的微量雾凇日数达不到雾凇景观标准,能形成雾凇景观的日数年均 20.1 d。

③利用影响雾凇景观形成的关键气象因子建立了黄山雾凇旅游气象指数,经实践检验准确率良好,可为气象业务应用提供预报参考指标,丰富黄山旅游气象服务产品。

④更新更正了前人对黄山雾凇气候特征的统计结果,建立了可实际业务应用的雾凇旅游气象指数预报模型;未来可对雾凇景观程度分级和分类做进一步研究,完善雾凇景观预报模型。

参考文献

- [1] 顾光芹,田国强,梁秀慧,等. 河北省雾凇和雨凇气候特征及气象条件分析[J]. 气象,2012,38(5):561-568.
- [2] 周明丽,姜雅凡. 大兴安岭地区雾凇特征分析[J]. 黑龙江气象,2010,27(1):34-34.
- [3] 王遵娅. 中国冰冻日数的气候及变化特征分析[J]. 大气科学,2011,35(3):411-421.
- [4] 陈燕娟. 南岳衡山雾凇冰雪旅游资源及其开发研究[J]. 生产力研究,2005(5):122-124.
- [5] 康丽莉. 浙江省雪、雨凇、雾凇的气候特征分析[C]//中国气象学会. 中国气象学会年会气候变化分会场论文集,2009.
- [6] 吴有训,王进宝,王克勤,等. 黄山光明顶雪、雨凇和雾凇的气候特征研究[J]. 气象科学,1999,19(3):309-316.
- [7] 周丽贤,黄蔚薇,章芳,等. 平原与高山雾凇景观的旅游气象指数预报[C]//中国气象学会. 中国气象学会年会应对气候变化、低碳发展与生态文明建设分会场论文集,2016.
- [8] 王焱,郝兰春,康桂红,等. 泰山雾凇形成的气象条件[J]. 河北农业科学,2009,13(11):161-163.
- [9] 周宏飞,周宝佳,代琼. 古尔班通古特沙漠植物雾凇凝结特征[J]. 水科学进展,2010,21(1):56-62.
- [10] 金顺梅,矫祥肇,成坤,等. 吉林省长白山天池冬半年旅游气象条件分析[J]. 吉林气象,2014(2):36-39.
- [11] 谢莉. 南岳衡山雾凇冰雪旅游开发新探[J]. 国土与自然资源研究,2003(2):70-71.
- [12] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社,2003,94.