应用生态学报 2020年4月 第31卷 第4期 http://www.cjae.net
Chinese Journal of Applied Ecology, Apr. 2020, 31(4): 1259-1266 DOI: 10.13287/j.1001-9332.202004.013

理论雪期和滑雪气候适宜度评价——以长白山滑雪场为例

王秀荣[1*] 赵 嵘[1] 于 涵[1] 王立声[1] 王 琼[2]
([1]中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081; [2]沧州市气象局, 河北沧州 061001)

摘 要 为科学分析雪资源气候属性,定量评价滑雪运动气候适宜度概况,本研究基于天气学原理,从气候角度设定了理论雪期概念;设定与滑雪运动密切相关的气温、风速、雪期降雪量3个指标的不同适宜度等级阈值,对各指标进行归一化处理并设计其转换函数;运用灰色关联度理论,结合欧氏距离法,构建滑雪气候适宜度指数评价模型,并以长白山滑雪场为例进行评价。结果表明:长白山地区雪资源丰富,1981—2018年,理论雪期内的平均降雪量为64.6 mm;气候变暖背景下,平均雪期日数及降雪量随年代呈略有减少趋势,雪期开始时间随年代变化呈现延后趋势,结束时间呈提前趋势,且前冬(当年雪期开始至12月底)雪期日数明显少于后冬(次年1月初至雪期结束)雪期日数;长白山滑雪场雪期内滑雪气候适宜性高,气温、风速和降雪条件的最适宜和较适宜日数累计分别占91.9%、91.8%和94.6%;滑雪综合气候适宜度日数累计占比达99.7%,绝大多数时间适宜滑雪运动的开展。理论雪期概念的提出弥补了因初、终雪气象观测资料缺乏对雪资源研究等造成的困扰;滑雪运动气候适宜度评价模型可为滑雪场地开发和经营提供管理决策,为滑雪爱好者提供出行的科学支撑。

关键词 理论雪期; 滑雪适宜度; 综合评价指数模型; 长白山地区

Theoretical snow period and assessment of skiing climate suitability: With Changbai Mountain Ski Resort as an example.

WANG Xiu-rong[1*], ZHAO Rong[1], YU Han[1], WANG Li-sheng[1], WANG Qiong[2] ([1]*Public Meteorological Service Center, China Meteorological Administration, Beijing* 100081, *China*; [2]*Cangzhou Meteorological Bureau, Cangzhou* 061001, *Hebei, China*).

Abstract: To analyze the climatic characteristics of snow resources and quantitatively evaluate the climatic suitability of skiing, we proposed the concept of theoretical snow period from the perspective of climate based on the synoptic principle. We set threshold values of different suitability degrees of three indices closely related to skiing, including air temperature, wind speed, and precipitation. The conversion function of each index was designed after normalization. Based on grey relational theory and Euclidean distance method, we established evaluation model of ski sports climate suitability index, with Changbai Mountain Ski Resort as an example. The results showed that snow resource in Changbai Mountain area was rich. From 1981 to 2018, the average snowfall during the theoretical snow period was 64.6 mm. Under the background of climate change, the average number of snow days and snowfall decreased slightly over the years, with the starting time of snow season being delayed and the ending time being advanced. The number of snow days in the early winter (from the starting time of snow season to the end of December) was significantly less than that in the later winter (from the next January to the end of snow season). Climate in Changbai Mountain was highly suitable for skiing during the snow period. The most suitable and relatively suitable days with respect to air temperature, wind speed and precipitation accounted for 91.9%, 91.8%, and 94.6% of the total, respectively. The cumulative number of days for ski comprehensive weather suitability accounted for 99.7%, indicating that most days were suitable for skiing. The concept of theo-

本文由国家重点研发计划项目(2018YFC1507802)资助 This work was supported by the National Key Research and Development Program (2018YFC1507802).
2019-09-03 Received, 2020-02-08 Accepted.
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangxr@cma.gov.cn

retical snow period in this study had made up for the problems caused by the lack of meteorological observation data of the first and last snow event on the study of snow resources. The climate suitability evaluation model of skiing could help make management decision for the development and operation of ski resorts and scientific support for skiing enthusiasts.

Key words: theoretical snow period; skiing suitability; comprehensive evaluation index model; Changbai Mountain area.

气候变化对冰雪旅游资源的开发利用(如冰雪运动的开展和场地经营、冰雪旅游业的发展等)会产生巨大影响。随着 2022 年冬奥会临近,冰雪旅游经济正在逐渐成为拉动经济发展的一个新的增长点。由于滑雪运动对气候具有较高的敏感性,在气候变化大背景下,如何挖掘滑雪气候资源、发展滑雪旅游成为不少学者研究的课题。如有学者指出,全球气候变暖使冰雪期缩短、降雪量减少,进而滑雪场地减少,比赛费用和运动成本增加[1-4]。杨建明等[5]通过查阅文献,综述了气候变化对滑雪场积雪可靠性、滑雪季长短、滑雪客流量和经济效益的影响,以及滑雪旅游利益相关者对气候变化的感知、滑雪旅游业对气候变化的适应措施等。郭俊清等[6]对黑龙江滑雪旅游资源进行了分析。高峰等[7]利用长白山滑雪景区滑雪人数数据及同期气象观测数据,运用回归分析方法研究了滑雪运动与气象条件的关系。中国气象局[8]发布了"滑雪气象指数"气象行业标准,该标准选取了与滑雪运动相关性较大的日最高气温、日降水量、日平均风速 3 个指标,对滑雪运动的不同影响区间阈值进行界定,最终以影响最大的单项指标等级作为滑雪运动综合影响等级。刘耀龙等[9]通过构建冰雪运动气候指数对山西冰雪运动气候适宜性进行评价。吕婵等[10]对中国滑雪场发展现状和对策进行研究。国家体育局[11]和国家旅游局[12]先后对滑雪场所开放条件和质量等级进行标准化。根据市场和上述研究可见,目前国内外少有专门针对冰雪气候资源评价方面的研究,同时还缺乏统一适用的相关冰雪运动气候适宜度定量评价标准,而且很多地区的冰雪场地处于盲目开发状态,经过气候可行性论证的不多,迄今只有许启慧等[13]对河北承德围场滑雪场建设的气候条件进行分析,论述了滑雪场建设的气候适宜性、发展的可持续性和气候风险性。

本研究结合前人研究成果,首次提出理论雪期概念,用于判定雪期开始时间和结束时间及雪资源丰富度;在气象行标"滑雪气象指数"基础上,构建了滑雪运动气候适宜度指数综合等级评价模型,并以长白山滑雪场为例,评价了长白山滑雪场雪资源气候特征以及滑雪气候适宜度指数特征,以期为合理开发利用冰雪资源及冰雪经济发展等提供参考。

1 理论雪期概念的提出和滑雪气候适宜度评价指数模型的构建

1.1 理论雪期定义

形成降雪的必备条件有 2 个:一是饱和的水汽,另一个是地面气温一般处在 0 ℃以下[14]。由于气象历史观测数据中,很多观测站对于初雪日和终雪日观测记录参差不齐,有些观测站甚至没有该观测记录,给判定雪期长短造成了一定困难。因此,本研究中,根据天气学原理及实际预报经验,以日最高气温作为评定因子,当连续 5 d 滑动日最高气温低于 0 ℃时,则定义第一天为该地区当年度理论上的雪期开始日;当连续 5 d 滑动日最高气温高于 0 ℃时,则视第一天为当年度理论上的雪期结束日。期间累计天数则为当年度内雪期长度。

1.2 单项指标适宜性等级划分标准

谢勇等[15]研究表明,影响滑雪运动人数多少的主要气象因子为降水量、气温(包括日平均气温、日最高气温、日最低气温)和风速,其中,日最高气温是对滑雪人数最具代表性的气温影响因子。气温高于 0 ℃时不利于积雪的保存,且雪场的积雪会过于松软,过低的气温会使滑雪者肌肉僵硬,甚至导致人冻伤;地表雪温为-5 ℃时,最适宜滑雪运动开展。王秀琴等[16]研究表明,在积雪期,地表雪温变化趋势与气温变化趋势一致,且受云量及日照时数影响,平均雪温一般低于气温 2 ℃左右。从气候角度来讲,最适宜滑雪的气温值应在-3 ℃左右。降水和风速越小,越适宜滑雪运动。本研究对于降雪和风力的滑雪适宜度等级参照行业标准《滑雪气象指数》[8]中的阈值区间来设定。对于日最高气温,由于气温较高不利于积雪保存,将较适宜滑雪的最高气温最高阈值从行业标准中的 10 ℃降为 5 ℃,将 5~10 ℃归为不太适宜区间;同时,设置上述各要素适宜度阈值区间时,充分考虑了各个等级阈值之间

表 1　滑雪适宜度等级及日降雪量、平均风速、日最高气温阈值区间

Table 1　Threshold of skiing suitability grade and daily snowfall, average wind speed and daily maximum temperature

滑雪适宜度等级 Skiing suitability grade	日降雪量 Daily snowfall (r, mm)	日平均风速 Daily mean wind speed (v, m·s^{-1})	日最高气温 Daily maximum temperature (T_{max}, ℃)
最适宜 The most suitable	$r<0.1$	$0\leqslant v<3.5$	$-12\leqslant T_{max}<2$
较适宜 Relatively suitable	$0.1\leqslant r<2.5$	$3.5\leqslant v<5$	$2\leqslant T_{max}<5$, $-16\leqslant T_{max}<-12$
不太适宜 Not too suitable	$2.5\leqslant r<5$	$5\leqslant v<7$	$5\leqslant T_{max}<10$, $-20\leqslant T_{max}<-16$
不适宜 Not suitable	$5\leqslant r<7.5$	$7\leqslant v<10$	$10\leqslant T_{max}<15$, $-30\leqslant T_{max}<-20$
极不适宜 Very not suitable	$r\geqslant 7.5$	$v\geqslant 10$	$T_{max}\geqslant 15$, $T_{max}<-30$

的闭合性。具体设定的日最高气温、日平均风速、日降水量的适宜性等级阈值如表 1 所示。

1.3　指标归一化转换函数构建

为将上述各单项指标阈值进行量化分析，并将各个指标综合考虑来确定综合适宜度等级评价标准，需要将上述指标进行归一化和无量纲化处理。首先设置每单项指标的归一化函数，上述指标各等级阈值区间如下：最适宜、较适宜、不太适宜和不适宜分别为[0,0.25)、[0.25,0.5)、[0.5,0.75)、[0.75,1]。然后，分别设计最高气温、日平均风速、日降水量的归一化转换函数 TID、VID、RID，称为滑雪适宜度气温指数、风速指数、降水指数，计算公式如下：

$$TID=\begin{cases}\dfrac{|T_{max}|}{8} & 0<T_{max}<2\\ \dfrac{|-3-T_{max}|}{60} & -12\leqslant T_{max}\leqslant 0\\ 0.25+\dfrac{|2-T_{max}|}{32} & 2\leqslant T_{max}<5\\ 0.25+\dfrac{|-12-T_{max}|}{16} & -16\leqslant T_{max}<-12\\ 0.5+\dfrac{|5-T_{max}|}{20} & 5\leqslant T_{max}<10\\ 0.5+\dfrac{|-16-T_{max}|}{16} & -20\leqslant T_{max}<-16\\ 0.75+\dfrac{|10-T_{max}|}{20} & 10\leqslant T_{max}<15\\ 0.75+\dfrac{|-20-T_{max}|}{40} & -30\leqslant T_{max}<-20\\ 1 & T_{max}<-30,\ T_{max}\geqslant 15\end{cases}\quad(1)$$

$$VID=\begin{cases}\dfrac{v}{16} & 0\leqslant v<3.5\\ 0.25+\dfrac{v-3.5}{6} & 3.5\leqslant v<5\\ 0.5+\dfrac{v-5}{8} & 5\leqslant v<7\\ 0.75+\dfrac{v-7}{14} & 7\leqslant v<10\\ 1 & v\geqslant 10\end{cases}\quad(2)$$

$$RID=\begin{cases}\dfrac{5\cdot r}{2} & 0\leqslant r<0.1\\ 0.25+\dfrac{5\cdot(r-0.1)}{48} & 0.1\leqslant r<2.5\\ 0.5+\dfrac{r-2.5}{10} & 2.5\leqslant r<5\\ 0.75+\dfrac{r-5}{10} & 5\leqslant r<7.5\\ 1 & r\geqslant 7.5\end{cases}\quad(3)$$

式中：TID、VID、RID 分别代表气温指数、风速指数、降水指数；T_{max}、v、r 分别代表日最高气温、日平均风速、日降水量。

1.4　滑雪运动综合气候适宜度评价模型

参照灰色关联度理论[17-19]，设置滑雪运动极端最不适宜气象因子参考序列为 U_m（m 代表指标个数，本研究中为 3），$U_m=(1,1,1)$；计算归一化后指标序列 $X_m(TID,VID,RID)$ 与最不适宜参考序列 U_m 之间的欧氏距离数值（Δ_m），$\Delta_m=U_m-X_m$；设置 $\lambda_m=1/(1+\Delta_m)$，称之为关联度，λ_m 越大，表明各指标的不适宜程度越高；反之，越低。

各项指标距离参考序列的综合关联度计算公式如下：

$$snowid=\frac{1}{3}\sum_{m=1}^{3}K_m\cdot\lambda_m\quad(4)$$

式中：snowid 为综合关联度，代表滑雪综合适宜度指数；K_m 为各指标的权重系数，根据专家打分法，气温、风速和降水的权重系数分别为 0.4、0.4、0.2。按照等间距法设置滑雪综合适宜度等级阈值区间如下：最适宜、较适宜、不太适宜、不适宜分别在[0.5,0.625)、[0.625,0.75)、[0.75,0.875)、[0.875,1]。

2　研究区概况

长白山位于吉林省东南部，是欧亚大陆东缘的最高山系，也是我国自然生态系统保存最为完整的地区之一[20]。该区属于温带大陆性山地气候，冬季漫长且寒冷，有利于开展滑雪运动，长白山滑雪场为

东北地区著名滑雪场之一。为检验本研究中提出的理论雪期概念及研发的滑雪气候适宜度评价模型应用效果,本研究选取最临近长白山滑雪场的国家基本气象站——长白山地区的长白站(站号 54386,地处 41°21′ N、128°10′12″ E,海拔 1016.7 m)1981—2018 年间的气象资料,分析长白山地区雪资源及其滑雪运动适宜性的气候属性。

3 结果与分析

3.1 长白山雪期气候特征

本研究中由于每个年度雪期统计都是在当年进入雪期、第二年雪期结束为一个统计周期,因此,将雪期年份以雪期开始的年份代表,如 1981—1982 年度雪期写为 1981、1982—1983 年度雪期写为 1982,以此类推。

由图 1 可以看出,1981—2018 年间,长白山地区雪期年均日数为 123.2 d,雪期日数随年代呈略有减少趋势。该研究结果从侧面验证了在全球气候变暖的大背景下,长白山地区冬季最高气温低于 0 ℃的天数有减少趋势。雪期日数最少为 88 d,出现在 2001 年,也是常年雪期日数唯一不足 100 d 的一年;雪期日数最多达 151 d,出现在 1986 年。

1981—2018 年,长白山雪场的每年雪期时段随年代变化呈现减少趋势,其中,开始时间随年代变化呈现延后趋势,结束时间呈提前趋势。平均雪期开始时间为当年 11 月 8 日,平均结束时间为第二年 3 月 14 日。长白山地区前冬(当年雪期开始至 12 月底)内雪期日数明显少于后冬(第二年年初至雪期结束)内雪期日数(图 2)。雪期开始最早时间是 1997 和 2002 年的 10 月 25 日,开始最晚时间是 2004 年 11 月 25 日;雪期结束最晚是 2011 年 4 月 2 日,其次是 1995 年 4 月 1 日,结束最早日期是 2001 年 2 月 18 日。

3.2 各单项指标的滑雪适宜度

3.2.1 气温的气候适宜度　研究期间,长白山地区雪期内日最高气温的平均值为-5.85 ℃,日最高气

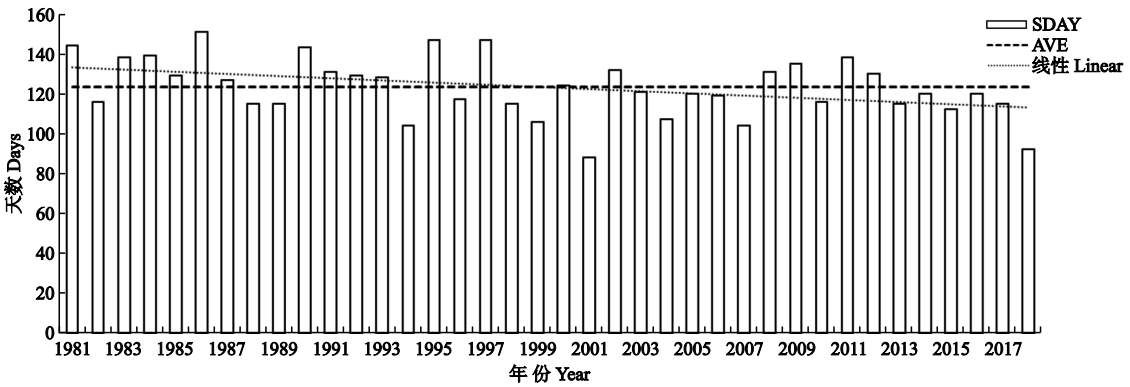


图 1 历年雪期日数分布

Fig.1 Distribution of days in annual snow period.

SDAY: 雪期日数 Snow days; AVE: 雪期日数平均值 Average value of snow days.

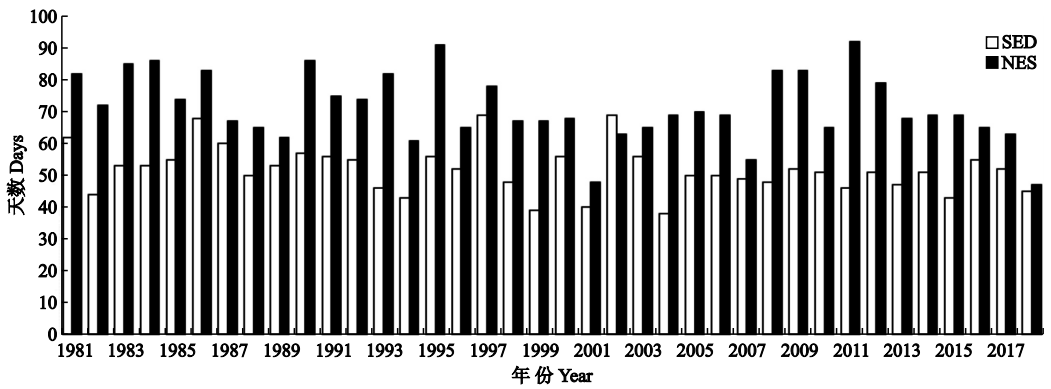


图 2 1981—2018 年雪期内前冬(SED)和后冬(NES)天数的统计分析

Fig.2 Statistical analysis of pre-winter (SED) and post-winter (NES) days in snow period (1981-2018).

前冬统计时间: 当年雪期开始至 12 月底; 后冬统计时间: 次年至雪期结束 Statistics of pre-winter days: From the starting of snow period to the end of December; statistics of later winter days: From the next January to the end of the snow period.

温的年均最高值为-3.1 ℃(2006 年),日最高气温的年均最低值为-8.6 ℃(1985 年)(图 3a);雪期内日最高气温的最低极值为-26.1 ℃,出现在 1986 年 1 月 5 日,日最高气温的最高极值为 19.4 ℃,出现在 2009 年 3 月 18 日。按照表 1 划分的等级阈值标准,长白山地区雪期内平均最高气温均处于最适宜滑雪的适宜度等级内;雪期内平均最高气温总体随年代变化略有增高趋势,进入 21 世纪 10 年代后,雪期内平均最高气温呈降低趋势。分析不同适宜度等级的气温指数在雪期累计日数内的占比可见,雪期内长白山地区气温最适宜冰雪旅游天数累计占比 74.3%;较适宜天数累计占比 17.6%;不太适宜和不适宜分别仅占总天数的 7.2%和 0.9%(图 3b)。在气温条件上,雪期期间长白山地区适宜和较适宜冰雪旅游的天数累计占比约 91.9%,绝大多数时间气温条件都适宜滑雪运动的开展。

3.2.2 风速的气候适宜度　研究期间,长白山雪期内日平均风速的平均值为 2.3 m·s^{-1}。其中,逐年雪期内日平均风速的年均最高值为 3.2 m·s^{-1}(1983 年),最小年平均风速为 1.6 m·s^{-1}(1999 年)(图 4a)。雪期内年均风速在 1981—1997 年间趋于平稳,风速较大(约为 2.8 m·s^{-1}),1997 年以后(1998—2018 年)也趋于平稳,平均风速明显减少(约为 2.0 m·s^{-1}),说明小风日数有增多趋势。

由图 4b 可以看出,风速指数最适宜情况占比 81.2%,将近 8 成,较适宜占比 10.6%,适宜等级以上的情况占比约 9 成;不太适宜占比 5.7%,不适宜占比 2.4%。在风速条件上,雪期期间长白山地区很适宜滑雪。其中,1998 年以后雪期内的小风日数明显增多,风速适宜天数较之前有较大增长,说明风速条件变化趋势更加适合滑雪运动的开展。

3.2.3 降水量的气候适宜度　长白山地区雪期累计降水量平均值为 64.6 mm,这些降水可保障长白山雪期内有较为充足的地面自然积雪(图 5a),可有效

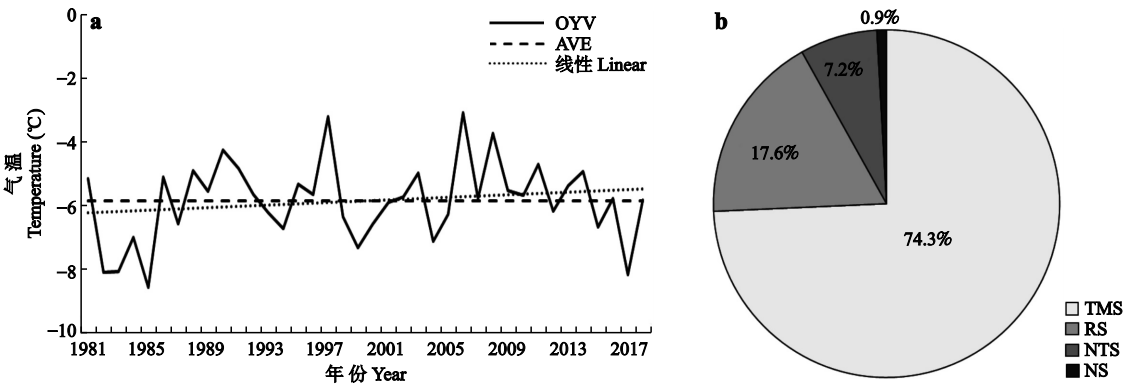


图 3　1981—2018 年雪期内平均最高气温趋势(a)和气温指数(TID)不同等级适宜度占比(b)

Fig.3　Average maximum temperature trend in 1981-2018 snow period (a) and the skiing suitability ratios of different grades for the temperature index (TID, b).

OYV: 历年值 Anuual value; AVE: 平均值 Average value. TMS: 最适宜 The most suitable; RS: 较适宜 Relatively suitable; NTS: 不太适宜 Not too suitable; NS: 不适宜 Not suitable. 下同 The same below.

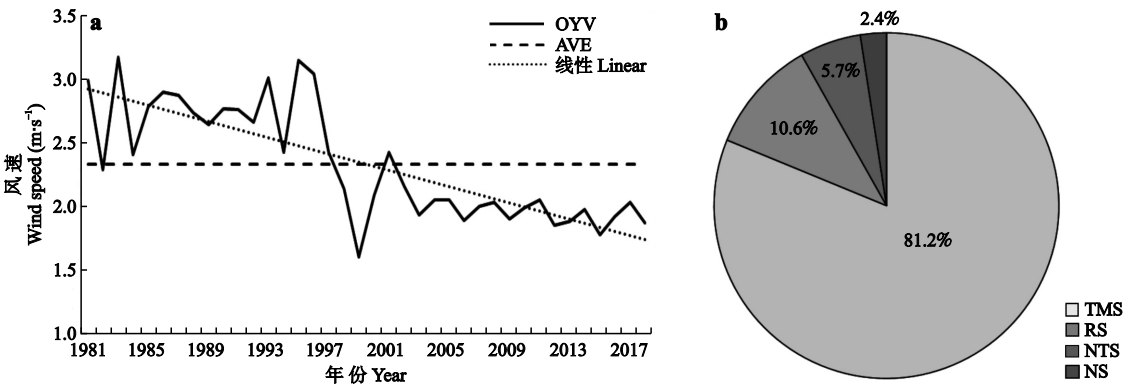


图 4　1981—2018 年雪期内平均风速分布趋势(a)和风速指标(VID)不同等级适宜度占比(b)

Fig.4　Average wind speed distribution trend in 1981-2018 snow period (a) and the skiing suitability ratios of different grades for wind speed index (VID, b).

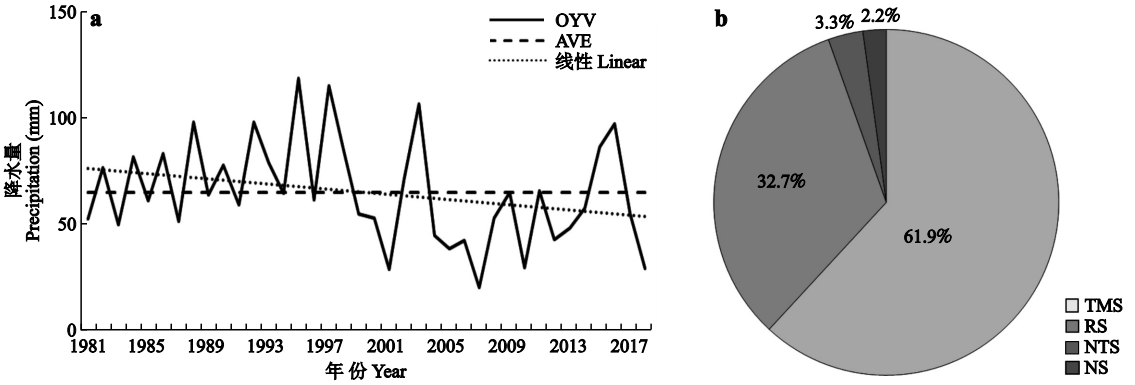


图 5 1981—2018 年雪期内累计降水分布趋势(a)和降水指数(RID)不同等级适宜度占比(b)

Fig.5 Cumulative precipitation distribution trend in 1981-2018 snow period (a) and the skiing suitability ratios of different grades for precipitation index (RID, b).

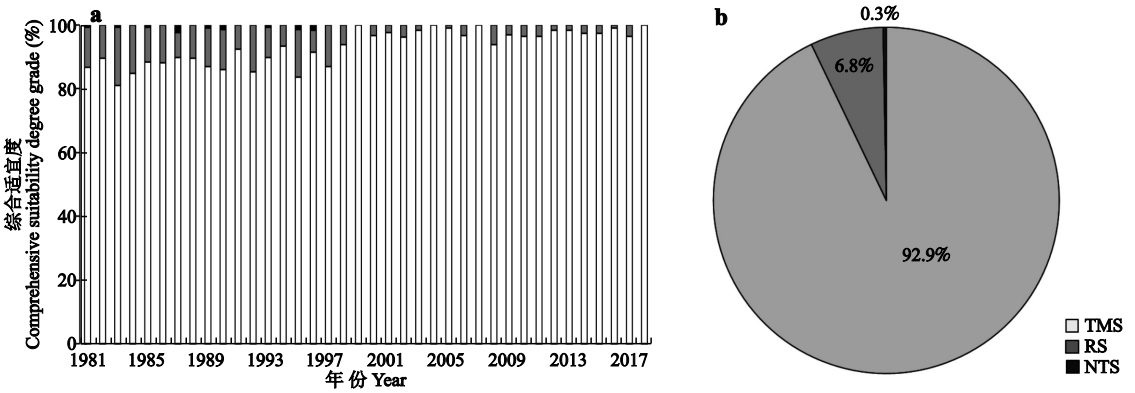


图 6 1981—2018 年雪期内不同等级综合适宜度年代变化(a)和不同等级综合适宜度占比(b)

Fig.6 Annual changes of comprehensive suitability of different grades in 1981-2018 snow period (a) and the comprehensive skiing suitability ratios of different grades (b).

降低人工造雪的成本;长白山雪期内累计降水量最大值为 118.1 mm(1995 年),累计降水最小值为 20.0 mm(2007 年)。累计降水量在 20 世纪末期有较明显的年代际变化,之前的累计降水量相对较多,之后的累计降水量相对较少。

由图 5b 可以看出,雪期内,降水最适宜天数占比 61.9%,较适宜天数占比 32.7%。在降水条件上,雪期内长白山地区有 94.6%的时段处于滑雪较适宜以上等级。其中,降水最适宜以及较适宜日数最长的年份为 1986 年,是 144 d,说明当年出现较大降雪的日数偏少;降水不适宜以及最不适宜日数最长的年份为 1992 年,是 13 d,说明在该年度雪期内单日降水量不适宜滑雪运动的日数偏多。

3.3 综合气候适宜度

由图 6 可以看出,雪期内,研究区综合最适宜滑雪日数占比超过 80%,且最适宜日数在雪期内占比随年代变化呈增多趋势,尤其在 20 世纪末期最适宜占比有较明显提高;较适宜、不适宜和最不适宜天数占比呈减少趋势。从不同综合适宜度累计日数占比来看,最适宜及较适宜日数累计占比高达 99.7%,绝大部分时间内都适宜滑雪运动开展。

4 讨 论

利用天气学原理,从气候角度设定的理论雪期概念,可用于判定雪期开始时间和雪期结束时间、雪期长短及其偏早、偏晚和雪资源丰富度等特征。“冰天雪地也是金山银山”,做好冰雪资源的开发和评估是发展冰雪经济的前提条件。本研究中理论雪期概念的提出,解决了历史气象观测中由于缺乏完备的初雪日或终雪日记录对雪资源评价等相关研究造成的困扰,也为冰雪资源气候特征定量评价和分析提供了便捷的技术支撑。应用此理论对长白山地区雪期分析得到,长白山地区雪期年均日数为 123.2 d,并且雪期日数随年代呈略有减少趋势;雪期开始时间随年代变化呈现延后趋势,结束时间呈提前趋势;前冬内雪期日数明显少于后冬内雪期日数。

本研究在参照气象行业标准《滑雪气象指数》(QX/T 386—2017)[8]的基础上，进一步设计了与滑雪运动密切相关的气温、降水量、风速等要素不同适宜度等级的闭合区间阈值；并通过对各个指标归一化和无量纲化处理，建立了滑雪运动气候适宜度指数的综合等级评价模型，实现了滑雪气候适宜度等级的定量综合判定。

应用本研究构建模型分析长白山滑雪场各单项指标滑雪适宜度和综合气候适宜度的气候特征。结果表明：雪期内平均最高气温均处于最适宜滑雪的适宜度等级内，且气温条件适宜和较适宜冰雪旅游的天数累计占比约 91.9%，绝大多数时间适宜滑雪运动的开展；雪期内风速指数最适宜情况占比 81.2%，较适宜占比 10.6%，适宜等级以上占比约 9 成，风速条件很适宜滑雪运动开展；雪期内累计平均降雪量 64.6 mm，雪资源丰富，降雪最适宜天数占比 61.9%，较适宜天数占比 32.7%，94.6%的绝大多数时段内降雪条件处于滑雪较适宜以上等级；雪期内，综合最适宜滑雪日数占比均在 80.0%以上，且最适宜日数在雪期内占比随年代变化呈增多趋势，而较适宜、不适宜和最不适宜天数占比呈减少趋势，最适宜和较适宜日数累计占比高达 99.7%，雪期内绝大部分时间都适宜滑雪运动开展。

本研究成果已在 2019 年 3 月长白山地区召开的国际寒地冰雪经济峰会上被推广应用。本研究结论与程志会等[21]研究中所表明东北地区冰雪旅游资源丰富的结论相吻合。程志会等[21]通过层次分析法，选取冰雪旅游基地的旅游基础资源(冬季气温、雪线高程、积雪天数)、旅游发展现状和发展潜力 3 个指标层进行综合分析，然后评价是否适宜创建冰雪旅游基地；而本研究则侧重于从气候角度来分析雪资源丰富度以及滑雪适宜度的历史演变特征。本研究采取理论雪期概念以及运用气温、降水、风速三要素指标建立的滑雪运动气候适宜度综合等级评价模型在分析冰雪旅游基础资源时更具象化，且数据获取更便捷、分析结果定量化程度更高；另外，本研究建立的模型不仅可以对滑雪适宜度进行气候评价，也可以结合气候预测产品进行短期的滑雪适宜度预测。刘耀龙等[9]构建的冰雪运动气候指数评价模型，选取的指标主要为气温、风力和年累计降雪量等，模型主要关注于对某一固定地区是否适宜开展冰雪运动进行长期气候属性的评价，不适宜进行短期的滑雪适宜度预测；而本研究构建的滑雪适宜度气候综合评价指数模型则没有地域和时间限制，既可以提供单气象要素滑雪适宜度评价，也可以提供多气象要素综合滑雪适宜度的定量评价结果和适宜度排序，评价结论可为滑雪运动场地开发、滑雪运动经营管理和滑雪爱好者等提供运营决策或出行的参考依据。另外，该模型的构建方法还可以拓展到避寒、避暑、康养等气候适宜度等级评价模型的构建中去，为生态旅游资源开发利用和相关气象服务保驾护航。

参考文献

[1] Maximilian W, Jürgen S. Impacts of climate and demographic change on future skier demand and its economic consequences: Evidence from a ski resort in the German Alps. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 2019, **26**, DOI: 10.1016/j.jort.2019.03.002

[2] Gilaberte-Búrdalo M, López-Martín F, Pino-Otín MR, *et al*. Impacts of climate change on ski industry. *Environmental Science & Policy*, 2014, **44**: 51-61

[3] Schrot OG, Christensen JH, Formayer H. Greenland winter tourism in a changing climate. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 2019, **27**, DOI: 10.1016/j.jort.2019.100224

[4] 王永芳. 全球变暖对冰雪运动的影响. 和田师范专科学校学报, 2009, **28**(2): 247 [Wang Y-F. The impact of global warming on snow and ice sports. *Journal of Hotan Normal College*, 2009, **28**(2): 247]

[5] 杨建明, 万春燕. 全球气候变化对冬季滑雪旅游的影响. 气候变化研究进展, 2010, **6**(5): 356-361 [Yang J-M, Wan C-Y. Progress in research on impacts of global climate change on winter ski tourism. *Advances in Climate Change Research*, 2010, **6**(5): 356-361]

[6] 郭俊清, 熊健, 房英杰. 黑龙江省滑雪旅游资源开发研究. 沈阳体育学院学报, 2008, **27**(1): 14-15 [Guo J-Q, Xiong J, Fang Y-J. Study on the development of ice and snow tourism resource in Heilongjiang Province. *Journal of Shenyang Sport University*, 2008, **27**(1): 14-15]

[7] 高锋, 谢勇, 朴美花, 等. 气象条件与滑雪运动的关系研究. 气象灾害防御, 2017, **24**(1): 21-25 [Gao F, Xie Y, Piao M-H, *et al*. Study on the relationship between meteorological conditions and skiing. *Meteorological Disaster Prevention*, 2017, **24**(1): 21-25]

[8] 中国气象局. 滑雪气象指数 (QX/T 386—2017). 北京: 中国气象局, 2017 [China Meteorological Administration. Meteorological Index of Skiing (QX/T 386-2017). Beijing: China Meteorological Administration, 2017]

[9] 刘耀龙, 张华明, 黄晓丽, 等. 山西省冰雪运动气候适宜性评价. 干旱气象, 2019, **37**(1): 173-179 [Liu Y-L, Zhang H-M, Huang X-L, *et al*. Evaluation of the ice-snow sports climate suitability in Shanxi Province. *Journal of Arid Meteorology*, 2019, **37**(1): 173-179]

[10] 吕婵, 麻冬梅, 姚世庆, 等. 我国部分地区滑雪场发展现状及对策研究. 哈尔滨体育学院学报, 2012, **30**

(4): 35-39 [Lyu C, Ma D-M, Yao S-Q, *et al*. Investigation on present situation and countermeasure of part of our country skiing resort. *Journal of Harbin Institute of Physical Education*, 2012, **30**(4): 35-39]

[11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会. 体育场所开放条件与技术要求 第6部分:滑雪场所 (GB 19079.6—2013). 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会 [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, National Standardization Administration of China. Open Conditions and Technical Requirements for Sports Venues-Part 6: Ski Area (GB 19079.6-2013). Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, National Standardization Administration of China]

[12] 中华人民共和国旅游局. 旅游滑雪场质量等级划分 (LB/T 037—2014). 北京: 中华人民共和国旅游局, 2014 [Tourism Administration of the people's Republic of China. Rank Division for the Quality of Mountain Ski Resorts (LB/T 037-2014). Beijing: Tourism Administration of the People's Republic of China, 2014]

[13] 许启慧, 范引琪, 于长文, 等. 滑雪场建设气候条件分析. 气象科技, 2014, **42**(5): 938-944 [Xu Q-H, Fan Y-Q, Yu C-W, *et al*. Analysis of climatic conditions for constructing ski resort. *Meteorological Science and Technology*, 2014, **42**(5): 938-944]

[14] 姚学祥. 天气预报技术与方法. 北京: 气象出版社, 2016 [Yao X-X. Weather Forecasting Techniques and Methods. Beijing: China Meteorological Press, 2016]

[15] 谢勇, 高锋, 朴美花. 吉林省滑雪运动气象指数的探讨. 第32届中国气象学会年会, 天津, 2015: 16 [Xie Y, Gao F, Piao M-H. Discussion on the meteorological index of skiing in Jilin Province. 32nd Annual Meeting of China Meteorological Society, Tianjin, 2015: 16]

[16] 王秀琴, 马玲霞, 卢新玉, 等. 基于不同雪深的地面温度、雪(草)面温度与气温的关系. 沙漠与绿洲气象, 2012, **6**(4): 64-67 [Wang X-Q, Ma L-X, Lu X-Y, *et al*. The relationship between air temperature and ground, snow or grass temperature under the conditions of different snow depth. *Desert and Oasis Meteorology*, 2012, **6**(4): 64-67]

[17] 傅立. 灰色系统理论及其应用. 北京: 科学技术文献出版社, 1992 [Fu L. Grey System Theory and Its Application. Beijing: Science and Technology Press, 1992]

[18] 荣光旭, 陈墨. 基于灰色关联度重庆万州区边坡稳定影响因素分析. 安庆师范大学学报: 自然科学版, 2019: **25**(3): 89-92 [Rong G-X, Chen M. Analysis of influencing factors of slope stability in Wanzhou area of Chongqing based grey relational degree. *Journal of Anqing Normal University*: Natural Science, 2019, **25**(3): 89-92]

[19] 王秀荣. 全国气象服务规范技术手册. 北京: 气象出版社, 2012 [Wang X-R. Technical Manual of National Meteorological Service Specification. Beijing: China Meteorological Press, 2012]

[20] 刘雅各, 张茂亮, 关德新, 等. 长白山地区自然科学研究综述. 应用生态学报, 2019, **30**(5): 1783-1796 [Liu Y-G, Zhang M-L, Guan D-X, *et al*. Natural science research in Changbai Mountain during 1956-2018: A review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, **30**(5): 1783-1796]

[21] 程志会, 刘锴, 孙静, 等. 中国冰雪旅游基地适宜性综合评价研究. 资源科学, 2016, **38**(12): 2233-2243 [Cheng Z-H, Liu K, Sun J, *et al*. The comprehensive evaluation of suitability of ice-snow tourism base in China. *Resources Science*, 2016, **38**(12): 2233-2243]

作者简介 王秀荣, 女, 1969年生, 博士, 正研高工。主要从事生态旅游气象服务及气象灾害风险评估等技术研发。E-mail: wangxr@cma.gov.cn

责任编辑 杨 弘

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

王秀荣, 赵嵘, 于涵, 等. 理论雪期和滑雪气候适宜度评价——以长白山滑雪场为例. 应用生态学报, 2020, **31**(4): 1259-1266

Wang X-R, Zhao R, Yu H, *et al*. Theoretical snow period and assessment of skiing climate suitability: With Changbai Mountain Ski Resort as an example. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, **31**(4): 1259-1266