

度日模型与简化型能量平衡模型的时空推广性分析

——以乌鲁木齐河源 1 号冰川为例

李汶峰¹, 李忠勤^{1,2}, 李慧林² (1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃兰州 730070; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冰冻圈科学国家重点实验室/天山冰川观测试验站, 甘肃兰州 730000)

摘要 以乌鲁木齐河源 1 号冰川为试验对象, 对目前在区域尺度广为应用的 2 种物质平衡模型度日模型 (DDM) 与简化型能量平衡模型 (sEBM) 在时间与空间上的推广性进行分析。结果表明, 在试验设定的条件下, sEBM 唯有时间推广性较好, 而 DDM 的时空推广性皆较差。通过理论分析得到相同的结论, 且发现冰川表面气温直减率与降水垂直梯度取值的准确性, 对提升 2 种模型的空间推广性具有重要意义。

关键词 度日模型; 简化型能量平衡模型; 模型推广性; 乌鲁木齐河源 1 号冰川
中图分类号 X83 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)02-0047-06

Analyses on Transferability of Degree-Day Model and Simple Energy Balance Model— in Case of Urumqi Glacier No. 1
LI Wen-feng¹, LI Zhong-qin^{1,2}, LI Hui-lin² (1. College of Geograph and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070; 2. The State Key Laboratory of Cryospheric Sciences/Tianshan Glaciological Station, Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000)

Abstract With Urumqi Glacier No. 1 (UG1) as the experimental object, the transferability in space and time of Degree-Day Model (DDM) and simple Energy Balance Model (sEBM), was analyzed respectively. The results indicated that the temporal transferability of sEBM is satisfying, while its spatial transferability is bad; for DDM, transferability is bad both in space and time. The similar conclusions were obtained by theoretical analysis, the accuracy of the glacier surface temperature lapse rate and precipitation vertical gradient value was also found. It is of great significance to improve the spatial transferability of the two models.

Key words Degree Day Model; Simple Energy Balance Model; Transferability of models; Urumqi Glacier No. 1

冰川物质平衡是冰川表面积累与消融的净差, 是冰川对气候变化最直接的响应, 也是冰川前进与后退的主要影响因素之一。获取区域尺度冰川物质平衡动态变化结果, 对于了解水资源时空分布和水循环过程具有重要意义。在区域尺度内, 模型模拟是冰川物质平衡的主要获取手段之一。目前, 应用较多的冰川物质平衡模型有 3 种, 从极简至极繁分别为 DDM、sEBM 与全分量能量平衡模型。因全分量能量平衡模型具有输入参数众多、计算复杂、耗时长等特点, 仅被用于单条冰川或冰川上单点的物质平衡模拟与能质变化分析^[1-2]。DDM 与 sEBM 已在流/区域甚至更大空间尺度内有广泛的应用^[3-5]。

模型的时空推广性是指模型于某一时段在某一对象上完成参数率定后, 将该模型与率定所得参数直接运用于不同时段及(或)不同对象, 并最终获取可靠模拟结果的几率。对物质平衡模型而言, 时空推广性是模拟计算由“点”至“面”(由“单条冰川”到“流/区域尺度”)及由“已知”到“未知”(由“当前”至“未来”)拓展时需考察的一项重要指标。DDM 与 sEBM 虽具备流/区域尺度应用潜力, 然而 2 种模型均包含经验参数, 增加了模拟结果在向不同时空推广时偏离真实值的可能。已有研究对这 2 种模型推广性的讨论有限, 且仅限于加拿大亚北极环境^[6]。笔者以我国观测资料最为丰富与

系统的 1 号冰川为试验对象, 设定 4 种试验, 分别采用 DDM 与 sEBM 对 1 号冰川东支与西支的物质平衡进行模拟, 分析 2 种模型在我国大陆性/亚大陆性冰川的时空推广性, 及在推广应用时可能出现的问题, 并对提高模型推广性提出建议, 以期为我国冰川物质平衡尺度模拟研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 1 号冰川(86°49' E, 43°06' N)位于我国天山中部喀拉乌成山脉主脉北坡乌鲁木齐河(大西沟)河源上游, 距乌鲁木齐市 120 km。该冰川为典型的冰斗山谷冰川, 朝向东北。据 2012 年测绘资料显示, 1 号冰川东、西支面积分别为 1.02、0.57 km², 最高与最低海拔分别为 4 484、3 760 m(图 1)。冰川表面有冰面河发育, 上部有裂隙群, 下部表面有较为明显的冰尘沉积, 整体无表碛覆盖。1 号冰川是夏季补给型冰川, 5—9 月是主要降水期, 集中了全年 90% 的降水。其他月份的降水量很少, 仅占全年总降水量的 12% 左右^[7]。5—9 月也是全年降水频次最高的时期。降水的主要形式是湿雪、雹和霰。而这段时间亦是冰川的强烈消融期, 这种积累与消融同期的特点, 使 1 号冰川表面物质难于积累而更趋于亏损。据多年观测资料显示, 2000 年以来, 1 号冰川平衡线在 4 050~4 250 m, 末端消融强烈, 物质平衡可达 -4 000 mm w. e/a。

1.2 数据来源 由于 2001—2010 年 1 号冰川物质平衡观测网络布设相对固定(2011 年后花杆剖面海拔及同名花杆点位置有明显改动), 笔者选择该时段实测物质平衡数据进行模型参数率定与模拟结果验证。所有物质平衡数据均采用花杆-雪坑法^[8]获得。平均状况下, 东支布设花杆/雪坑 23 根(个), 西支 18 根(个), 以尽量均匀分布于冰川表面为布设原

基金项目 国家重大科学研究计划项目(2013CBAD1801); 中科院重点部署项目(KJZD-EW-G03-01); 中科院西部之光博士项目; 中科院前沿科学研究重点计划项目(QYZDB-SSW-SYS024)。
作者简介 李汶峰(1986—), 男, 甘肃兰州人, 硕士研究生, 研究方向: 冰川物质平衡。
收稿日期 2016-11-09

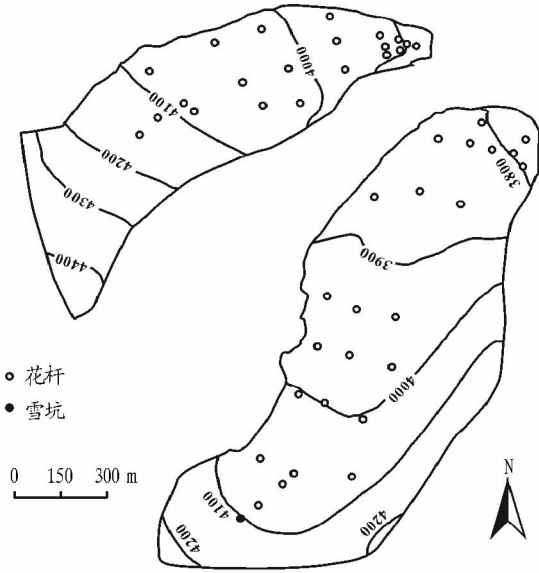


图1 1号冰川地形及物质平衡观测网设置

Fig.1 Topography and mass balance observational network of Urumqi Glacier No.1

则(图1)。观测结果显示,2001—2010年冰川末端物质平衡均在 $-4\,000 \sim -2\,000$ mm w. e/a,表明存在强烈消融。模型边界约束条件选用2006年实地GPS测绘获取的冰川边界与DEM。另外,选择2001—2010年大西沟气象站(距1号冰川末端直线距离3 km)气温、降水数据作为模型输入。

1.3 研究方法

1.3.1 DDM。DDM是温度指标模型的一种,属于半物理半经验模型。模型由2个简单模块[式(1)、(3)]组成,分别计算冰雪消融与积累量^[9-10],对应的输入参数仅为温度与降水。

$$m = DDF \cdot PDD \quad (1)$$

式中, m 为冰雪消融量; DDF 是冰川冰或雪的度日因子[mm w. e/(d·°C)]; PDD 是正积温,计算公式如下^[10-12]:

$$PDD = \frac{365/12}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} T_a e^{-\frac{(T_a - T_m)^2}{2\sigma^2}} dT \quad (2)$$

式中,假设月内日均气温 T_a (°C)呈正态分布, T_m 为月均温,标准偏差为 σ 。计算冰川积累量 $\bar{C}$ 时仅考虑固态降水的贡献,该研究以0°C为临界温度区分固液态降水^[10]:

$$\bar{C} = f(x) = \begin{cases} 0, & T_a < 0^\circ\text{C} \\ \rho_{\text{snow}} P, & T_a \geq 0^\circ\text{C} \end{cases} \quad (3)$$

式中, ρ_{snow} 为新雪密度, P 为降水量。综合式(1)、(3)及考虑融水再冻结量(r)计算冰川物质平衡^[13]:

$$\bar{B} = \bar{C} - m + r \quad (4)$$

1.3.2 sEBM。能量平衡方程中除短波辐射外,其他分量(长波辐射、感热及潜热)都与气(冰)温或其梯度有关,因此,可将能量平衡方程简化为如下形式:

$$Q_M + Q_G = G(1 - \alpha) + Q_T \quad (5)$$

式中, Q_M 表示用于消融(这里指产生径流)的能量部分; Q_G 表示导入冰川内部能量; G 为总日辐射; α 为冰雪表面反照率。式(5)中 $Q_M + Q_G$ 为冰川接收能量总和; $G(1 - \alpha)$ 为短

波辐射能量^[14]; Q_T 为所有与温度相关的能量收支,可以表达为函数 $f(T_a)$:

$$Q_T = f(T_a) = c_0 + c_1 T_a + c_2 T_a^2 \quad (6)$$

式中, c_0 与海拔有关,可以表达为如下形式:

$$c_0 = c_{01} + c_{02} \Gamma \quad (7)$$

式(6)、(7)中, c_{01} 、 c_{02} 、 c_1 与 c_2 为待定系数,由于仅与温度相关能量相关,简称“温参”。 $T_a = 0$ 时, $c_1 = c_2 = 0$ 。导入冰川的能量部分可通过下式计算:

$$Q_G = Q_{\text{tot}} [1 - \exp(-c_r T_{sn})] \quad (8)$$

式中, Q_{tot} 为收入总能量 $[= G(1 - \alpha) + Q_T]$, T_{sn} 为冰川表层平均温度, c_r 为描述产流速度的参数。通过式(5)~(8)可求得 Q_M ,而后求得消融量 m :

$$m = Q_M / L \quad (9)$$

式中, L 为冰的相变潜热。冰川积累与物质平衡的计算方法与度日模型中相应部分相同,见式(3)、(4)。

1.3.3 模型推广性分析试验设计。

1.3.3.1 分析DDM的时空推广性。试验1:利用2001—2005年1号冰川东支实测数据率定模型参数,将率定所得参数引入DDM,模拟2001—2005年西支物质平衡。若模拟效果较好,说明东西2支的度日因子值较接近,DDM在一定空间范围内具备推广性。

试验2:用来率定模型参数的数据与试验1相同,而后模拟2006—2010年东支物质平衡。若模拟效果较好,说明度日因子值不随时间发生显著变化,DDM在时间上具有推广性。

1.3.3.2 分析sEBM的时空推广性。试验3:采用2001—2005年1号冰川东支实测数据率定模型参数,将率定所得参数引入sEBM,模拟2006—2010年东支物质平衡。若模拟效果较好,说明sEBM具有较好的时间推广性。

试验4:采用2001—2005年1号冰川西支实测数据率定模型参数,将率定所得参数引入sEBM,模拟2006—2010年东支物质平衡。若模拟效果较好,说明sEBM不仅具有较好的时间推广性,且亦可在空间上推广应用。

2 结果与分析

2.1 DDM物质平衡模拟结果 采用2001—2005年1号冰川东支单点年物质平衡观测数据进行参数率定,DDM参数率定结果:冰的度日因子 9.0 mm w. e/(d·°C),雪的度日因子 1.2 mm w. e/(d·°C),气温直减率 0.0047 °C/m,降水垂直梯度 0.036×10^{-2} m⁻¹。

2.1.1 1号冰川西支单点物质平衡模拟(试验1)。将DDM参数引入DDM模拟2001—2005年1号冰川西支单点物质平衡(图2)。从实测数据来看,零平衡线在海拔 $4\,100 \sim 4\,200$ m波动。零平衡线以下,物质平衡随海拔上升快速增加(趋于正值),零平衡线以上较为稳定。物质平衡模拟结果基本可以重现以上特征,但其量值与实测值相比偏大(更趋于正值),这种误差在冰川末端表现尤其明显。如2003年末端实测物质平衡为 $-3\,063$ mm w. e/a,而模拟值为 $-1\,258$ mm w. e/a,模拟值较实测值高出 $1\,805$ mm w. e/a。2002、

2005 年的模拟效果较好,模拟值与实测值在冰川末端仍表现出较大差异,误差分别为 753、1 339 mm w. e/a。2001—2005 年,模拟值与实测值绝对误差的平均值分别为 893、409、849、623、396 mm w. e/a,平均为 634 mm w. e/a。

由于笔者所设定的 4 种试验用来验证模拟效果的冰川与时段皆不固定,而不同冰川在不同时段中物质平衡量值本身有较大差别,因此相同的误差绝对值所对应的模拟效果可

能完全不同(若以误差占真实值比例为模拟效果的量度指标)。为使分析结果更为合理,除考察绝对误差,主要利用相关性分析评价模型模拟效果。从相关性分析(图 3)可以看到,试验 1 的模拟结果可以解释实测物质平衡 68% 的变化($R^2 = 0.6849, P < 0.01$)。趋势线斜率为 0.597,同时截距较小(+110),说明平均状况下模拟物质平衡约为实测值的 60%。

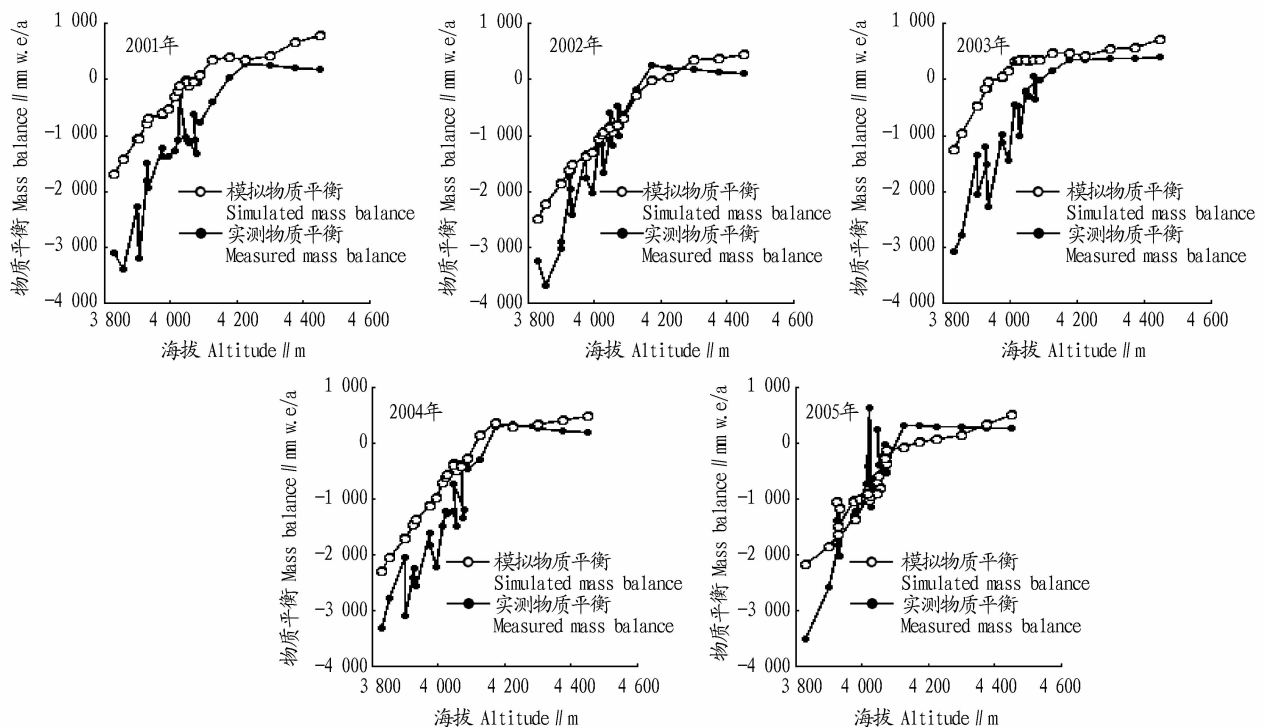


图 2 2001—2005 年 1 号冰川西支单点 DDM 物质平衡观测值与模拟值对比

Fig. 2 Comparison between observed and simulated mass balance at specific points of west branch of Urumqi Glacier No. 1 during 2001–2005

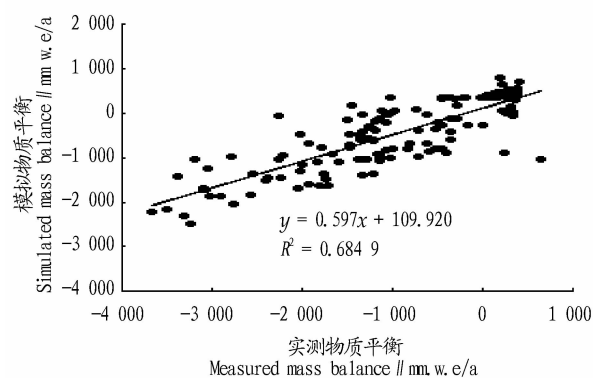


图 3 2001—2005 年 1 号冰川西支单点 DDM 物质平衡实测值与模拟值的相关性分析

Fig. 3 DDM mass balance at specific points of west branch of Urumqi Glacier No. 1 during 2001–2005

2.1.2 1 号冰川东支单点物质平衡模拟(试验 2)。从图 4 可知,东支的模拟结果与西支相比更为贴近观测值。2006—2010 年东支零平衡线波动幅度较大,从 2009 年的 3 950 m 增大到 2008、2010 年的 4 050 m;末端物质平衡最高为 2009 年的 -2 013 mm w. e/a,最低为 2010 年的 -3 699 mm w. e/a。

模拟物质平衡能够较好地重现实测值的变化趋势。2001—2005 年模拟与实测值平均误差分别为 324、352、377、266、336 mm w. e/a,平均误差为 331 mm w. e/a。二者存在较好相关关系(图 5), $R^2 = 0.8065 (P < 0.01)$,斜率为 0.76,截距较小(-230.95),说明平均状况下模拟值约为实测值的 76%,模拟效果虽优于西支,但模拟值与实测值之间的系统偏差较大。

2.2 sEBM 物质平衡模拟

2.2.1 模型参数率定。检验 sEBM 的模拟效果时,选用 2 套实测数据来进行参数率定:① 2001—2005 年东支各花杆点实测数据(试验 3);② 2001—2005 年西支各花杆点实测数据(试验 4)。率定结果见表 1。由表 1 可知,除冰雪反照率外,2 种试验对应的各项参数均有差异。气象数据采用大西沟气象站观测数据。

2.2.2 1 号冰川东支物质平衡模拟。将表 1 中 2 套参数分别引入 sEBM,对 2006—2010 年 1 号冰川东支物质平衡进行模拟,模拟结果见图 6。从图 6 可以看出,2 种试验都基本可以重现东支的物质平衡分布趋势。试验 3 与试验 4 所对应的平均模拟误差为 505、821 mm w. e/a(表 2),前者对应的

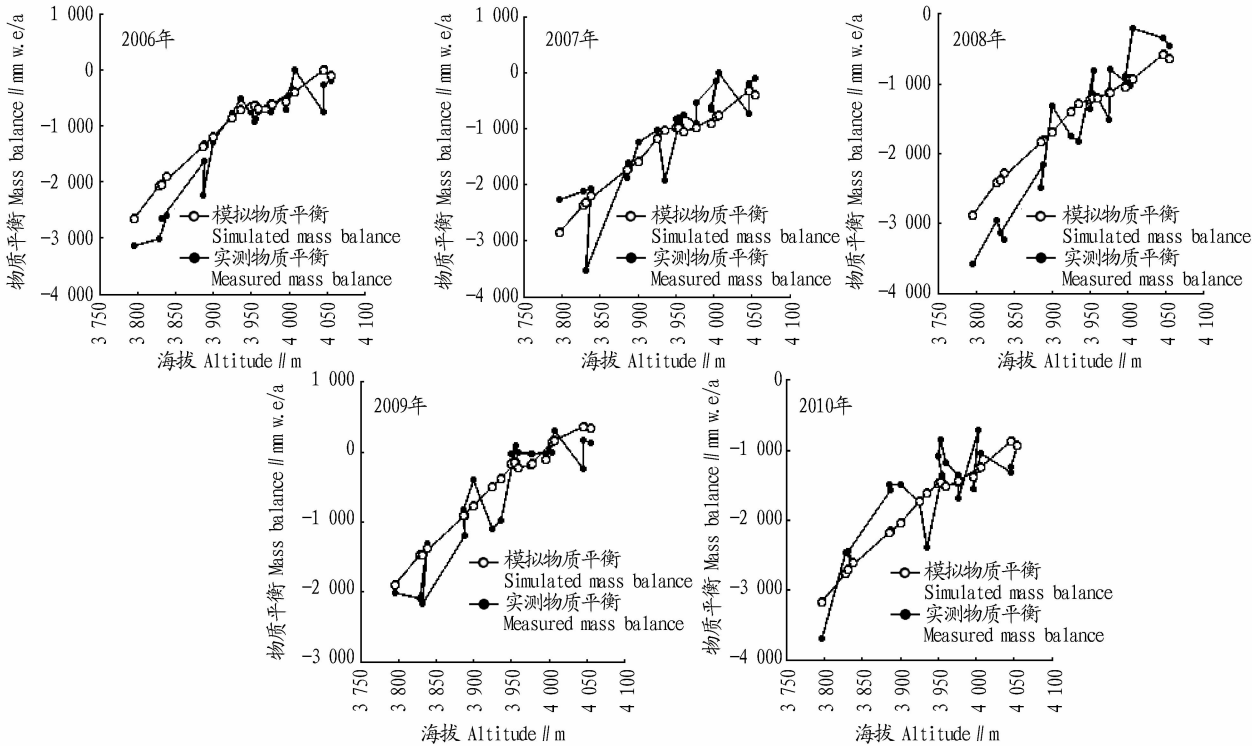


图4 2006—2010年1号冰川东支单点DDM物质平衡观测值与模拟值对比

Fig. 4 Comparison between observed and simulated mass balance at specific points of west branch of Urumqi Glacier No. 1 during 2006–2010

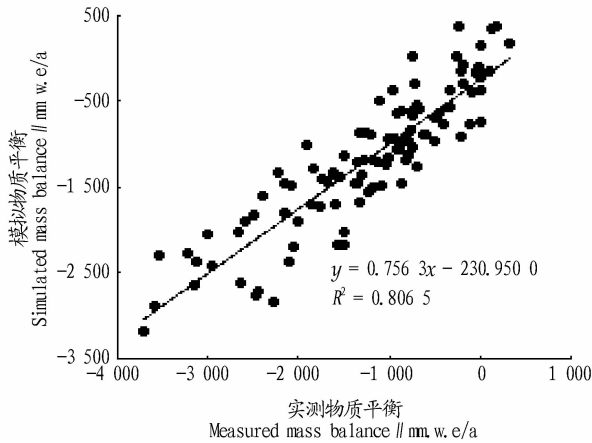


图5 2006—2010年1号冰川东支单点DDM物质实测值与模拟值的相关性分析

Fig. 5 Correlation analysis of DDM measured and simulated mass balance at specific points of west branch of Urumqi Glacier No. 1 during 2006–2010

模拟效果更优(这是可以预见的结果,试验3中用来率定参数与验证模拟效果的数据都来自东支)。图7显示实测与模拟数据的相关性。2种试验对应的拟合优度 R^2 值非常接近,分别为0.72与0.76,而试验3对应的趋势线斜率(0.97)与1.00十分接近。

2.3 2种模型时空推广性评价 评价模型的时空推广性,事实上是评估当时空发生改变,模拟误差的可控性。由于DDM在西支的模拟结果及试验4对应的模拟结果均较差,可以初步推断2种模型的空间推广性较弱。从相关性分析结果可知,各模拟试验中实测数据与模拟数据一一对应,图8为依据其关系作出的误差评估。利用图8不仅可进一步评价模型的空间推广性,还可对其时间推广性作出评估。在现实物质平衡较可能出现的范围内(−5 000~1 000 mm w. e/a),唯有试验3对应的模拟结果误差较小(−400~−200 mm w. e/a);其他3种模拟对应的绝对误差均随实测物质平衡绝对值增大而迅速增大。即唯有sEBM的时间推广性较好,而DDM的时空推广性及sEBM的空间推广性均较弱。

表1 sEBM参数率定结果
Table 1 sEBM parameter setting results

试验号 Test No.	* c_{01} W/m ²	* c_{02} W/m ³	* c_1 W/(m ² ·K)	* c_2 W/(m ² ·K)	新降雪反照率 New snow albedo	# (污化)冰反照率 Ice albedo (stain)	气温直减率 Temperature lapse rate//℃/m	降水垂直梯度 Rainfall vertical gradient//%
试验3 Experiment 3	−74	−0.026	24	0	0.85	0.1	0.005 1	4.30
试验4 Experiment 4	−78	−0.021	26	0	0.85	0.1	0.006 5	7.20

注: * 计算与温度相关能量所引入系数; # 实质为冰川上可能出现的最低反照率。试验3:2001—2005年采用东支各花杆点实测数据率定;试验4:采用2001—2005年西支各花杆点实测数据率定
Note: * calculation of the coefficient of temperature dependent energy; # The lowest possible albedo value on the glacier. Experiment 3:calibrate parameters by observed mass balance on east branch of Urumqi Glacier No. 1 during 2001–2005; Experiment 4:calibrate parameters by observed mass balance on west branch of Urumqi Glacier No. 1 during 2001–2005

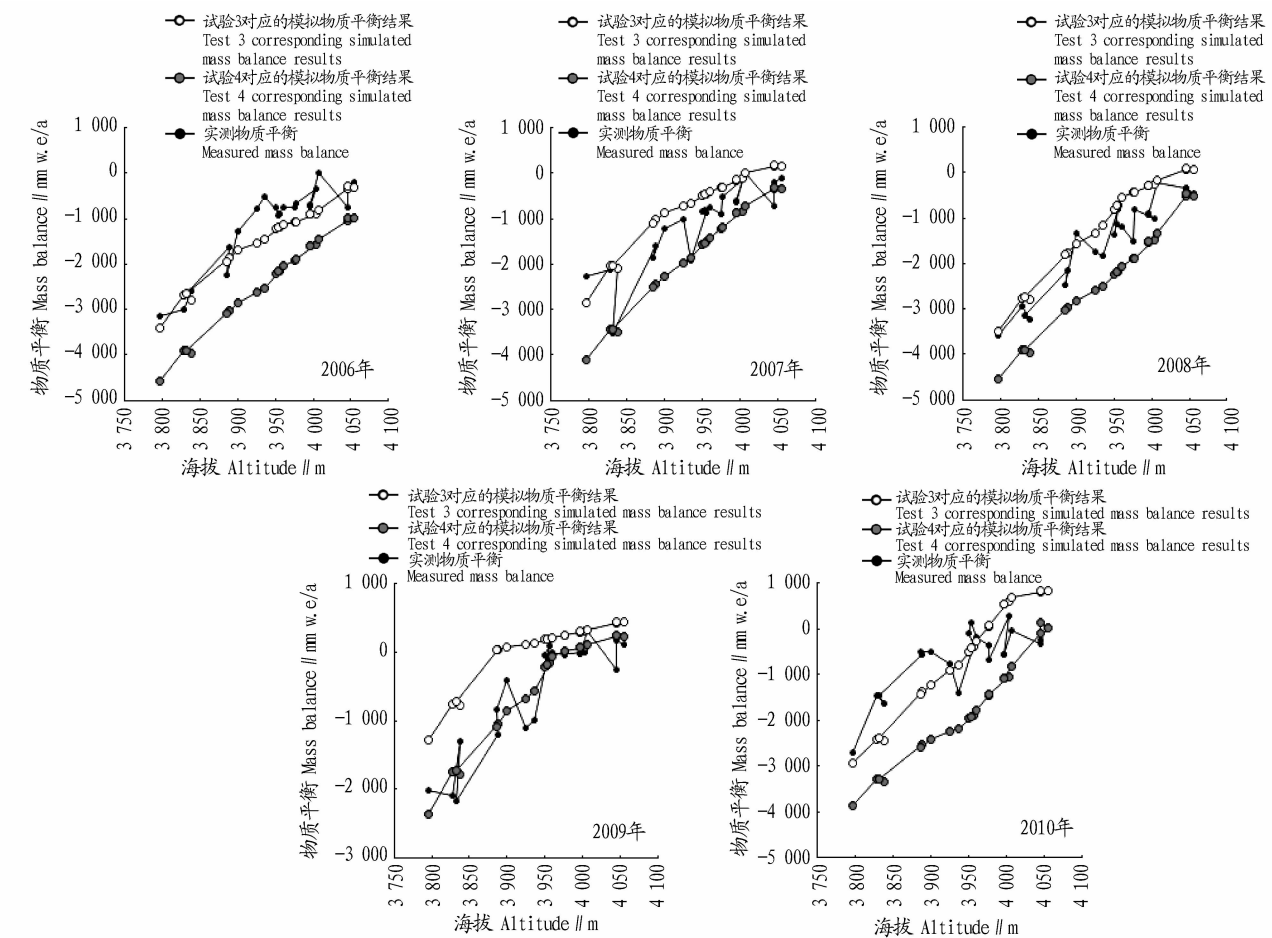


图 6 2006—2010 年 1 号冰川东支单点 sEBM 物质平衡观测值与模拟值对比

Fig. 6 Comparison between observed and simulated mass balance at specific points of west branch of Urumqi Glacier No.1 during 2006–2010

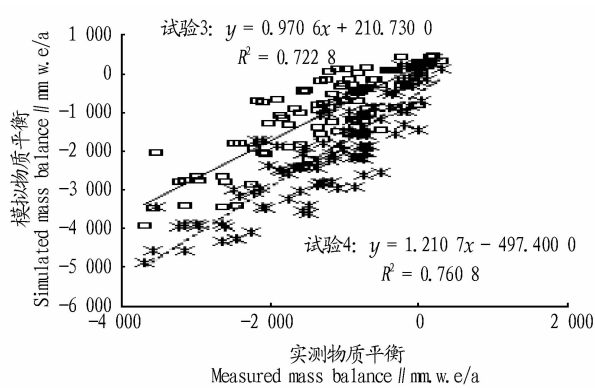


图 7 2006—2010 年 1 号冰川东支单点 sEBM 物质平衡实测值与模拟值的相关性分析

Fig. 7 Correlation analysis of DDM measured and simulated mass balance at specific points of west branch of Urumqi Glacier No.1 during 2006–2010

3 讨论

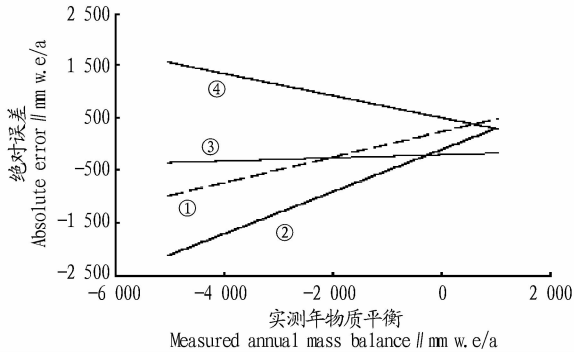
对 DDM 来说,模型本身对气候背景及冰川种类等并无特别要求,理论上具备在各种时空模拟冰川物质平衡的能力。模型中有 4 项经验参数(冰与雪的度日因子、气温直减率及降水垂直梯度)需利用实测资料进行率定后推广应用。

表 2 2006—2010 年 1 号冰川东支单点物质平衡观测与模拟误差值
Table 2 The discrepancy between observed and simulated mass balance
of the east branch of Urumqi Glacier No.1 during 2006–2010
mm w. e/a

年份 Year	试验 3 Experiment 3	试验 4 Experiment 4
2006	356	1 206
2007	466	665
2008	460	754
2009	579	231
2010	665	1 251
平均 Mean	505	821

其中,度日因子反映冰川表面能量平衡中各种分量的配比关系,任何一项气象要素的变化都会导致其发生改变,因此较难评价同一套度日因子能否向不同时空推广。若以年为时间精度(忽略度日因子的日变化与季节变化),且仅考虑短波辐射及气温的影响,可认为若待模拟冰川在待模拟时段中,表面气温变化范围不超出用来率定参数的实测数据所对应的冰川表面温度变化范围,则利用同一套度日因子不会引入显著误差,即度日因子变化不影响模型的时空推广性。关于其他 2 项经验参数(气温直减率及降水垂直梯度),局地地形

是其重要影响因素。由于同一条冰川在较短时间内局地地形改变甚微,因此仅在做空间推广时考虑这 2 项参数的变化



注:①为试验 2;②为试验 1;③为试验 3;④为试验 4

Note:①Experiment 2;②Experiment 1;③Experiment 3;④ Experiment 4

情况。

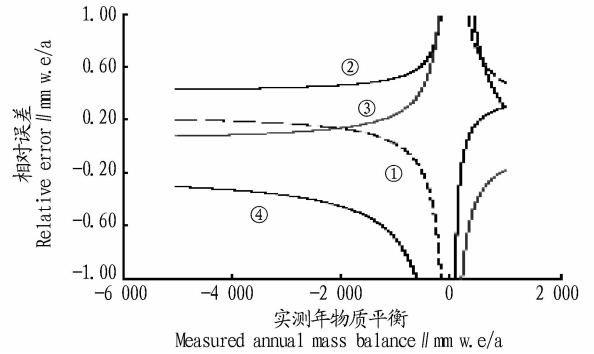


图 8 4 种模拟试验的误差分析

Fig. 8 Error analyses for four simulation experiments

同样,理论上 sEBM 适用于各种时空条件。该模型与 DDM 相比物理意义更为明晰,其中需要率定的参数包括温参、反照率、气温直减率及降水垂直梯度。由于 sEBM 分别计算短波辐射与气温相关分量贡献的能量,避免了温参受太阳辐射及反照率变化的影响。温参表达的是长波辐射、感热与潜热 3 项能量分量之和与气温的关系,其中长波辐射的贡献占主导。冰川表面一旦发生消融,冰面温度则恒为零度,长波的出射部分相对稳定;入射部分则与大气及周遭环境温度有关。因此,可以认为消融季中长波辐射、感热与潜热 3 项能量分量之和与气温间关系相对稳定,即温参值不受气温影响且相对稳定。与分析 DDM 的空间推广性时原因相同,气温直减率及降水垂直梯度对 sEBM 的空间推广性有重要影响。

总体而言,DDM 时间推广性的优劣取决于待模拟冰川在待模拟时段中表面温度的变化范围;而空间推广性的优劣不仅取决于待模拟对象与时段的气温状况,同时受到气温直减率及降水垂直梯度取值准确性的显著影响。sEBM 的时间推广性几乎不受参数变化的影响,因此理论上可以不加分析地利用该模型进行单条冰川的物质平衡重建或模拟预测;其空间推广性的优劣则只与气温直减率及降水垂直梯度的取值有关。不单纯利用率定所得值,改进冰川表面气温直减率与降水垂直梯度的取值方法,将显著提升 2 种模型的空间推广性。

4 结论

该研究以 1 号冰川为试验对象,以 2001—2010 年为研究时段,通过 4 个模拟试验,分别验证 DDM 与 sEBM 的时间与空间推广性,得到如下结论:

(1) 对所设定的研究对象及研究时段来说,DDM 的时空推广性皆较弱,sEBM 的时间推广性较强,而空间推广性较弱。

(2) 在现实物质平衡较可能出现的范围内 ($-5\ 000 \sim -1\ 000\ \text{mm w.e/a}$),唯有体试验 3 的模拟结果误差较小 ($-400 \sim -200\ \text{mm w.e/a}$);其他 3 种模拟对应的绝对误差均随实测物质平衡绝对值的增大而迅速增大。

(3) DDM 时间推广性的优劣取决于待模拟冰川在待模拟时段中表面气温的变化范围是否超出率定参数所用数据

所对应气温范围;而空间推广性的优劣不仅取决于气温变化范围,同时受到气温直减率与降水垂直梯度取值是否准确的显著影响。sEBM 的时间推广性较好,理论上不受参数变化的影响;其空间推广性的优劣只与气温直减率与降水垂直梯度的取值准确度有关。因此,改进冰川表面气温直减率与降水垂直梯度的取值方法,将显著提升 2 种模型的空间推广性。

参考文献

- [1] GIESEN R H, ANDREASSEN L M, OERLEMANS J, et al. Surface energy balance in the ablation zone of Langfjordj kelen, an arctic, maritime glacier in northern Norway [J]. *Journal of glaciology*, 2014, 60(219): 57–70.
- [2] AZAM M F, WAGNON P, VINCENT C, et al. Processes governing the mass balance of Chhota Shigri Glacier (western Himalaya, India) assessed by point-scale surface energy balance measurements [J]. *The cryosphere*, 2014, 8(6): 2195–2217.
- [3] GIESEN R H, OERLEMANS J. Calibration of a surface mass balance model for global-scale applications [J]. *The cryosphere*, 2012, 6(6): 1463–1481.
- [4] 高鑫, 张世强, 叶柏生, 等. 1961—2006 年叶尔羌河上游流域冰川融水变化及其对径流的影响[J]. *冰川冻土*, 2010, 32(3): 445–453.
- [5] 高红凯, 何晓波, 叶柏生, 等. 1955—2008 年冬克玛底河流域冰川径流模拟研究[J]. *冰川冻土*, 2011, 33(1): 171–181.
- [6] MACDOUGALL A H, WHEELER B A, FLOWERS G E. A preliminary assessment of glacier melt-model parameter sensitivity and transferability in a dry subarctic environment [J]. *The cryosphere*, 2011, 5(4): 1011–1028.
- [7] 王德辉, 张丕远. 天山乌鲁木齐河谷气候特征[J]. *冰川冻土*, 1985, 7(3): 239–248.
- [8] 谢白楚, 刘潮海. 冰川学导论[M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2010: 1–490.
- [9] BRAITHWAITE R J, OLESEN O B. Calculation of glacier ablation from air temperature, West Greenland [M]//OERLEMANS J. *Glacier fluctuations and climatic change*. New York: Kluwer Academic Publishers, 1989.
- [10] BRAITHWAITE R J, ZHANG Y. Sensitivity of mass balance of five Swiss glaciers to temperature changes assessed by tuning a degree-day model [J]. *Journal of glaciology*, 2000, 46(152): 7–14.
- [11] BRAITHWAITE R J. Calculation of degree-days for glacier-climate research [J]. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 1984, 20: 1–8.
- [12] JÓHANNESSON T, SIGURÁSSON O, LAUMANN T, et al. Degree-day glacier mass-balance modelling with applications to glaciers in Iceland, Norway and Greenland [J]. *Journal of glaciology*, 1995, 41(138): 345–358.

(下转第 130 页)

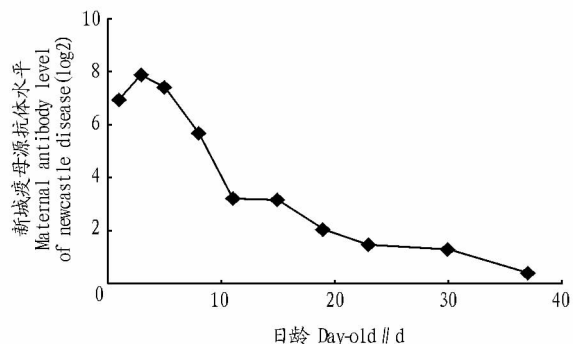


图1 不同日龄农凤雏鸡新城疫母源抗体的衰减规律

Fig.1 The decay laws of newcastile disease maternal antibody in different day-old Xinfeng Chicken

2.3 不同日龄农凤雏鸡禽流感 H9 母源抗体 从图2可以看出,农凤雏鸡禽流感 H9 母源抗体水平在5日龄达到最高(9.13log₂),此后随着日龄的增长,抗体水平逐渐下降,15日

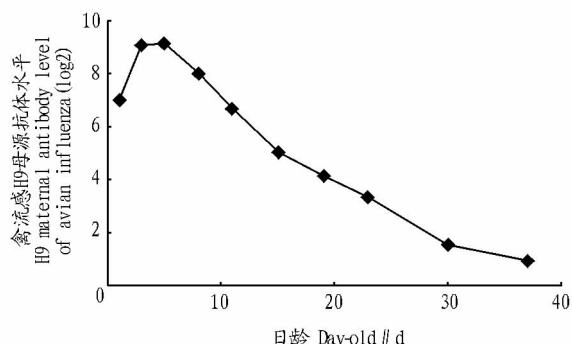


图2 不同日龄农凤雏鸡禽流感 H9 母源抗体的衰减规律

Fig.2 The decay laws of avian influenza H9 maternal antibody in different day-old Xinfeng Chicken

2.4 不同日龄农凤雏鸡禽流感 H5 母源抗体 从图3可以

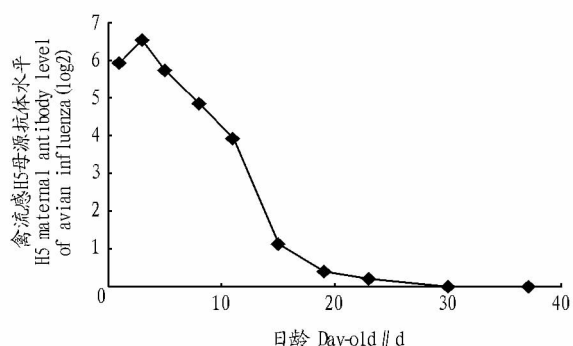


图3 不同日龄农凤雏鸡禽流感 H5 母源抗体的衰减曲线

Fig.3 The decay laws of avian influenza H5 maternal antibody in different day-old Xinfeng Chicken

龄后抗体水平已下降到临界值(6.00log₂)以下,37日龄抗体水平为0.93log₂。看出,农凤雏鸡禽流感 H5 母源抗体水平在3日龄较高(6.53log₂),此后随着日龄的增长,抗体水平逐渐下降,5日龄后抗体水平已降至临界值(6.00log₂)以下,30日龄抗体水平基本消失。

3 讨论与结论

预防接种是防控禽流感和新城疫两大疫病的重要措施,因此确定符合四川农凤鸡实际、科学的免疫程序十分重要。若首免时间过早,来自疫苗的抗原被高母源抗体中和,使免疫达不到理想效果;若首免时间过晚,母源抗体消退,雏鸡在免疫前就可能感染强毒,风险大大增加^[3]。一般认为,ND和AI的母源抗体滴度低于6.00log₂时就应当进行免疫。

该试验中农凤雏鸡在出壳时通过父母代种鸡获得了母源抗体,足以抵抗禽流感 H5 (Re-6型)、H9亚型和新城疫病毒的侵袭^[4-6],并在3~5日龄母源抗体水平出现高峰值,均在6.00log₂以上。H5 (Re-6)亚型及ND均在3日龄达到高峰,H9则在5日龄达到高峰。

该试验结果表明,农凤雏鸡 AI H5 (Re-6型)母源抗体水平不高,且在8日龄已降至6.00log₂左右,因此认为在该种母源抗体水平下农凤雏鸡在5~8日龄进行禽流感病毒(AIV) H5 (Re-6)亚型疫苗首次免疫较为合理。此外,推荐农凤雏鸡 AI H9和ND的首免日龄为7~12日龄。条件较好的鸡场,最好根据抗体效价的监测情况来确定最佳的首免日龄。

为保证试验结果的准确度与代表性,试验前对农凤种鸡群的ND和AI抗体水平进行了检测,在此基础上选取抗体水平较高的种鸡群及其雏鸡进行试验。采用组内循环法采血,避免因单一个体在短时间内采血过多而对雏鸡造成不良影响。此外,为了减少人为误差,对同一样品、同一时间采集的红细胞及同一批抗原,由3人独立进行3次重复试验^[3]。

该检测结果为农凤鸡免疫程序的制订提供了技术支持,同时也可作为矮小型品种鸡在新城疫、禽流感的免疫防制中首免日龄的确定提供参考。

参考文献

- [1] 刁有祥. 禽病学[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2012.
- [2] 卡尔尼克 B W. 禽病学[M]. 高福,苏敬良,译. 12版. 北京:中国农业出版社,2012:171.
- [3] 潘孝成,赵瑞宏,余丽萍,等. 青脚麻鸡新城疫和禽流感母源抗体的衰减规律研究[J]. 安徽农业科学,2012,40(25):12549-12550.
- [4] 顾洪娟. 海兰褐蛋鸡新城疫母源抗体消长规律的研究[J]. 黑龙江畜牧兽医,2013(3):85-86.
- [5] 刘方娜,赵全兴,李梅,等. 海兰褐蛋鸡新城疫、禽流感母源抗体消长规律的研究[J]. 山东畜牧兽医,2010,31(12):5-6.
- [6] 王延树,李建丽,邹丽红,等. 禽流感(H9)和新城疫母源抗体消长规律及其免疫效果[J]. 兽医导刊,2011(6):67-68.

(上接第52页)

- [13] AðALGEIRSDÓTTIR G, J HANNESSON T, BJÖRNSSON H, et al. Response of Hofsí kull and southern Vatnaj kull, Iceland, to climate change

[J]. Journal of geophysical research, 2006, 111(F3): F03001.

- [14] OERLEMANS J. The microclimate of valley glaciers [M]. Utrecht: Igitur, Utrecht Publishing, 2010: 1-138.