北极地区春季降水呈现固态向液态转变的态势

韩微^{1,2}, 效存德^{3*}, 窦挺峰^{4*}, 丁明虎¹

1. 中国气象科学研究院极地气象研究室, 北京 100081;

2. 南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044;

3. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;

4. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049

* 联系人, E-mail: cdxiao@bnu.edu.cn; doutf@ucas.ac.cn

2018-01-22 收稿, 2018-03-20 修回, 2018-03-21 接受, 2018-04-12 网络版发表

国家自然科学基金(41425003, 41771064, 41401079)和中国气象科学研究院基本科研业务项目(2015Z005)资助

摘要 降水形态的变化可以影响地表的温度和反照率, 对下垫面物质和能量平衡、陆地水文及生态系统均产生极大影响. 基于美国阿拉斯加8站和加拿大11站日平均气温和固态、液态降水资料拟合的固-液态降水临界气温, 辨析了1961~2010年环北极地区253个站点的降水形态时空变化特征. 结果表明: 60°N以北地区, 降雨量占总降水量的比值(rainfall to total precipitation ratio, RPR)随纬度升高而减小. RPR气候平均态在夏季最高, 秋季、春季次之, 冬季最小. 在不同季节, RPR变化趋势存在明显的区域差异. 在春季, RPR变化趋势较为一致, 在北极大部分地区(82.46%站点)呈增加趋势, 且有22.37%站点通过显著性检验, 表明北极大部分地区春季降水在过去50多年间呈现由固态向液态转变的趋势. 使用95%置信区间上限和下限临界温度对降水形态进行划分和趋势分析, 其结果与使用最优解的计算结果一致. 在北极冰雪开始消融的春夏季节转换期(3~7月), 阿拉斯加、中西伯利亚和北欧部分地区存在明显的固态降水向液态降水转变的趋势, 这一趋势可能正在对北极地-气相互作用施加着影响.

关键词 北极地区, 临界气温, 固态降水, 液态降水, 春夏季节转换期

北极地区是地球气候系统的重要组成部分和调节器, 是全球变化中最显著、最敏感的区域之一. 该地区大气、冰雪、海洋、陆地和生物等多圈层的相互作用, 在全球气候变化中扮演着重要角色. 在全球变暖的背景下, 北极地区增温是全球平均的两倍以上^[1,2]. 受气候变暖和反照率正反馈效应的影响, 北冰洋开放水域面积更大、持续时间更长, 这是导致北极地区暖湿化的重要原因^[3~5]. 同时, 北极降水也发生了相应的变化. 前人对北极地区降水量和极端降水事件进行过很多研究, 但是对降水形态的研究较少^[6,7].

高纬度地区下垫面多为冰雪所覆盖, 对降水形态变化极为敏感. 降雪可以直接增加地表的反照率, 阻止

或者逆转冰雪-反照率的正反馈作用^[8,9]; 而降雨将热量带到积雪中, 改变雪的形态和反照率, 显著影响冻土区地面温度和积雪的消融, 对冰川和海冰的消融也有一定的促进作用^[10~12]. Ye^[13]利用欧亚大陆北部地区1936~1990年的观测资料研究得出, 降水形态变化与当地气温的变化密切相关; 在气候变暖的背景下, 高纬度地区降水增多带来的利弊取决于降水以何种形态降落到地面. Knowles等人^[14]利用美国西部地区1949~2004年的观测资料研究认为, 近几十年美国西部地区径流提前的主要原因是降水更多地以降雨的形态出现, 并且积雪融化时间提前. 降水形态对气温的变化较为敏感^[12~14], 同时与AO/NAO等大气模态主导的水汽变化

引用格式: 韩微, 效存德, 窦挺峰, 等. 北极地区春季降水呈现固态向液态转变的态势. 科学通报, 2018, 63

Han W, Xiao C D, Dou T F, et al. Arctic has been going through a transition from solid precipitation to liquid precipitation in spring (in Chinese). Chin Sci Bull, 2018, 63, doi: [10.1360/N972018-00088](https://doi.org/10.1360/N972018-00088)

密切相关^[15,16]. Bintanja和Andry^[17]利用CMIP5资料预估未来排放情境下(RCP8.5), 北极地区将变成由降雨主导的地区.

由于北极地区降水观测站点较少, 且很多站点并未区分降雨或降雪, 导致对北极地区降水形态变化特征的研究鲜见报道. 前人常利用固定气温阈值的方法对降水形态进行划分^[18,19]. Berghuijs等人^[20]的研究以平均气温1℃作为临界值, 将气温高于1℃时的降水判定为降雨, 气温低于1℃时的降水判定为降雪, 针对美国各流域降水形态的变化对径流的影响进行分析. Ding等人^[21]针对中国降水形态变化的研究表明, 不同区域固、液态降水的临界温度存在明显差异, 临界温度还与相对湿度等因素有关. 这就导致在不同纬度、不同季节划分降水形态的临界温度会存在差异. 在北极地区不同季节固态和液态降水的临界温度如何? 有必要根据当地的观测资料进行具体分析. 鉴于此, 本文利用美国阿拉斯加8站和加拿大11站的气温、降雨、降雪观测资料拟合出不同季节和年平均的固-液态降水的临界气温, 用该临界气温对环北极地区253站的降水形态进行划分, 并在此基础上分析了1961~2010年北极地区的季节和年平均降水形态时空变化特征.

1 资料与方法

本文将60°N以北地区作为研究区域来分析北极降水形态的时空变化特征. 首先, 收集了研究区域内1963个站点的气温和降水资料, 其中, 阿拉斯加和加拿大北部地区可获取1961~2015年日平均气温、逐日的降雪和降雨资料, 而北极其他地区的站点仅有1961~2010年日平均气温和未区分降水的形态的日总降水量资料. 阿拉斯加和加拿大北部地区的站点资料来源于阿拉斯加气候研究中心和加拿大环境与气候变化部(http://climate.gi.alaska.edu/acis_data; http://climate.weather.gc.ca/index_e.html). 其他环北极地区站点资料来源于中国国家气象信息中心全球陆地日气温和降水数据集. 根据该研究需要, 对环北极地区已有站点的气温和降水资料进行筛选, 步骤如下:

- (1) 如果一个月中缺测日数大于该月总日数的一半, 则该月判定为缺测;
- (2) 如果一年中研究月份中有1个月及以上的缺测, 则该年判定为缺测;
- (3) 如果研究时段内有5年及以上的缺测, 则将该站点剔除.

针对不同的研究时段进行筛选, 分别筛选出: 春季228站, 夏季225站, 秋季210站, 冬季198站, 春夏转换季(3~7月)218站, 全年167站, 总共253站进行研究. 通常日资料的缺测应不超过5日, 而本文为了选取更多的站点, 缺测标准放宽为不超过该月总日数的一半. 经统计发现: 在筛选出的对全年降水形态变化进行研究的167个站点中, 缺测大于5日小于该月日数一半的数量占总缺测的比例仅为0.71%, 故放宽标准后, 对研究结论的影响可以忽略. 运用1961~2015年美国阿拉斯加8站和加拿大11站的日平均气温、日降水量、日降雨量和日降雪量资料对划分固态和液态降水的临界气温进行拟合.

根据Ding等人^[16]给出的降雪量占总降水量比值随气温的分布公式:

$$Ratio = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{T - T_0}{\Delta S}\right)}, \quad (1)$$

其中 T 代表日平均气温, $Ratio$ 代表降雪量占总降水量的比值, 式中的 T_0 和 ΔS 为常数. 当 T 等于 T_0 值时, $Ratio$ 等于0.5, 温度 T_0 即为临界气温. 当 T 小于 T_0 时, 降雪量占总降水量的比值大于0.5, 降水形态以降雪为主; 当 T 大于 T_0 时, 降雪量占总降水量的比值小于0.5, 降水形态以降雨为主. 因此, 在-10~10℃温度范围内, 利用19个站总的降雪量占总降水量比值在各温度的分布情况, 根据公式拟合出临界气温 T_0 . 将小于 T_0 时的降水量划分为降雪量, 将大于 T_0 时的降水量划分为降雨量. 按照公式拟合, 可以得到临界气温 T_0 的最优解和95%置信区间范围. 同时, 根据拟合函数的确定系数 R^2 (预测数据与原始数据均值之差的平方和/原始数据和均值之差的平方和)来确定拟合效果, R^2 是介于0~1之间的数, 该值越大拟合效果越好.

本文通过分析降雨量占总降水量的百分比(rainfall to total precipitation ratio, RPR)来反映降水形态的变化由固态向液态转变的情况, 该比值越大说明降雨量在总降水量中所占比重越大. RPR增加表明降水固态向液态转变的趋势. 文中线性变化趋势计算使用最小二乘法, 显著性检验采用 T 检验方法.

2 结果与讨论

首先对加拿大和北美地区的降水形态变化进行分析, 结果显示, 1961~2015年间, 阿拉斯加和加拿大北部地区降雨量和总降水量的变化趋势比较一致, 但降雨量增加趋势比总降水量大, 使得RPR呈现比较一致的

增加趋势。之后,利用现有的区分降水形态的观测资料拟合出划分固液态降水的临界温度,外推到北极其他地区,对北极地区降水形态的变化特征进行研究。

2.1 划分固液态降水的临界气温

对阿拉斯加和加拿大北部地区气温和降水观测资料的分析显示,随着气温升高,降雪逐渐减少,降雨增多,而该分布规律符合指数函数公式。根据公式(1)对观测资料进行拟合,得出春季划分固液态降水的临界气温 T_0 约为 2.01°C [1.82°C , 2.21°C],拟合出的曲线与散点图的确定系数 R^2 可达到0.94(图1(a))。在春季,当日平均气温小于 2.01°C 时,降雪量占总降水量的比值大于0.5,可认为降水都以降雪的形式落地;当日平均气温大于 2.01°C 时,降雪量占总降水量的比值小于0.5,可认为降水都以降雨的形式落地。因此,将春季日平均气温 2.01°C 作为临界值,划分北极地区春季的固态和液态降水。进一步分析得出夏季的临界气温 T_0 约为 0.54°C [0.39°C , 0.69°C], R^2 为0.96(图1(b));秋季的临界气温 T_0 约为 1.14°C [1.01°C , 1.28°C], R^2 为0.97(图1(c));年平均临界气温 T_0 约为 1.17°C [1.04°C , 1.30°C], R^2 为0.97(图1(d))。冬季由于气温低,降雨极少,降雪量占总降水量的比值随气温变化的分布高度离散,因此,本研究未对冬季进行详细的分析(图略)。

2.2 北极地区降水形态变化特征

根据阿拉斯加和加拿大北部19站观测资料得出的临界温度对环北极站点的日降水形态进行划分,在此基础上分析了1961~2010年春季、夏季、秋季和全年北极地区降水形态的变化情况。从RPR的气候平均态可知,随着纬度的升高,RPR减小。春季RPR在0~87.33%范围内,气温较高的南部地区降水多以降雨形态发生,而气温较低的北部地区降雨相对较少,研究区域春季平均RPR为34.43%(图2(a))。夏季,除了北地群岛和加拿大群岛地区,大部分站点以降雨为主,RPR在39.18%~100%之间,研究区域夏季平均RPR为96.92%,降水多以降雨形式发生(图2(b))。秋季不同地区降水形态的差异最大,在欧洲和阿拉斯加南部地区降雨较多,而在加拿大群岛和亚洲沿岸地区降雨较少;RPR在0.83%~99.03%之间,研究区域平均为52.00%(图2(c))。全年平均而言,斯堪的纳维亚半岛和阿拉斯加州南部地区的液态降水较多,而北部群岛地区的降雨较少。整体上,北极地区夏季降水量最多,其中降雨主要发生在

夏季,导致年RPR在4.61%~94.53%之间,研究区域年平均为59.58%(图2(d))。

对1961~2010年间研究区域内液态降水占总降水比例的变化情况的分析结果显示,北极地区RPR变化趋势表现出一定的季节性差异和区域性差异。具体地,春季北极大部分地区RPR呈增加趋势,呈增加趋势的站点占站点总数的比例为82.46%,其中有22.37%站点通过显著性检验,表明过去五十年间北极大部分地区春季降水存在由固态向液态转变的趋势。其中,北欧部分地区、中西伯利亚地区和阿拉斯加地区RPR的增加趋势较为显著(图3(a))。在夏季和秋季,RPR变化趋势表现出更多的区域差异。除 70°N 以北大部分地区呈现一致增加趋势外, 70°N 以南呈现显著的区域差异,特别是夏季,在东欧平原、西西伯利亚平原和北美部分地区RPR呈增加趋势,在斯堪的纳维亚半岛和亚洲中东部地区RPR呈减小趋势(图3(b))。秋季RPR在波罗的海附近半岛、西西伯利亚和阿拉斯加南部地区减小,其余大部分地区增加,但只有约8.10%的站点通过显著性检验(图3(c))。全年来看,北欧和西欧西伯利亚地区RPR变化趋势差异较大,俄罗斯中东部和北美大部分地区RPR有显著的增加趋势,在白令海峡附近站点有减少的趋势(图3(d))。

拟合出的临界气温有一个最优解和95%置信区间范围,上文采用了临界温度最优解对固态降水和液态降水进行划分。为了检验最优临界温度对北极地区降水形态划分的稳定性,进一步用置信区间下限临界气温和置信区间上限临界气温对降水形态进行划分,并对比了下限、上限、最优临界温度在降水形态划分及其趋势分析中可能带来的差异。从图4可以看出:除了极个别站点RPR趋势存在差异外,研究区域内其他站点RPR的变化趋势和显著性均高度一致。与图3的对比可以看出,与最优临界温度划分得到的结果也高度一致。因此,认为运用公式(1)拟合得到的临界气温用于划分北极地区降水形态得到的结果较为稳定,对降水形态变化趋势的分析结果不确定性较小。

春夏季节转换期(3~7月)为北极冰冻圈开始消融的时期,这一时期降水形态转变对冰雪下垫面的影响最为显著。鉴于此,本文也分析了1961~2010年春夏季节转换期北极地区RPR的气候平均态和变化趋势。利用阿拉斯加和加拿大北部地区19站降水资料拟合出这一时期划分固液态降水的临界气温 T_0 为 0.74°C [0.62°C , 0.87°C],确定系数 R^2 等于0.97(图5(a))。对研究区域降水

图1 阿拉斯加和加拿大北部地区19站1961~2015年降雪量-总降水量比值随气温变化的分布图。(a) 19站空间分布图; (b) 春季; (c) 夏季; (d) 秋季; (e) 年平均

Figure 1 Variations of snowfall-to-precipitation ratio with daily mean surface air temperature based on the observations at 19 stations in Alaska and northern Canada. (a) Distribution of station sites; (b) spring; (c) summer; (d) autumn; (e) annual average

量的划分结果显示, 北极春夏季节转换期RPR分布范围为13.73%~96.43%, 研究区域平均为73.18%(图5(b)). 在北极大部分地区, RPR呈增加趋势, 呈增加趋势的站点占站点总数的比例为71.10%. 其中, 阿拉斯加地区、中西伯利亚地区和北欧部分地区RPR的增加趋势较为显著(图5(c)). 这些地区液态降水的增加将对北极地区

冰雪下垫面的物质和能量平衡、水文循环和陆地生态环境等产生深远的影响.

3 结论

本文通过分析阿拉斯加和加拿大北部地区19站气温和降水观测资料, 发现1961~2010年间该地区RPR呈

图 2 1961~2010年北极地区降雨量-总降水量比值(%)的气候平均态。(a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 年平均

Figure 2 Climatology of rainfall-to-total precipitation ratio (%) over the Arctic during 1961–2010. (a) Spring; (b) summer; (c) autumn; (d) annual average

图 3 1961~2010年RPR的变化趋势(%/10 a)。(a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 年。×: 表示该站变化趋势通过了95%的显著性检验

Figure 3 Trends of the rainfall-to-precipitation ratio (%/decade) from 1961 to 2010 in Arctic. (a) Spring; (b) summer; (c) autumn; (d) annual. ×: Significant confidence level above 95%

图4 置信区间下限气温(a, c, e, g)和置信区间上限气温(b, d, f, h)划分下北极地区RPR的变化趋势(%/10 a). (a, b) 春季; (c, d) 夏季; (e, f) 秋季; (g, h) 年. ×: 表示该站变化趋势通过了95%的显著性检验

Figure 4 Trends of RPR in the Arctic regions (%/decade). The solid and liquid precipitation were divided by the confidence interval lower limit temperature (a, c, e, g) and those were divided by the confidence interval upper limit temperature (b, d, f, h). (a, b) Spring; (c, d) summer; (e, f) autumn; (g, h) annual. ×: Significant confidence level above 95%

图5 北极地区1961~2010年3~7月降水形态变化特征。(a) 北极地区1961~2010年3~7月降雪量占总降水量的比值随气温变化的分布图;(b) 降雨量占总降水量比值的气候平均态(%);(c) 降雨量占总降水量比值的变化趋势(%/10 a)。×: 表示该站变化趋势通过95%的显著性检验

Figure 5 Changes of precipitation form in Arctic during March–July from 1961 to 2000. Snowfall-to-precipitation ratio vs surface air daily mean temperature (a); average (%) (b) and trend (c) (%/decade) of the rainfall-to-precipitation ratio in Arctic during March–July from 1961 to 2010. ×: Significant confidence level above 95%

增加趋势。进而对环北极地区降水形态变化开展研究。运用阿拉斯加和加拿大北部区分固液态降水的站点观测资料拟合出各季节和年平均划分北极固态和液态降水的临界温度值。结果显示, 春季的临界气温为2.01℃, 夏季的临界气温为0.54℃, 秋季的临界气温为1.14℃, 年平均的临界气温为1.17℃。在此基础上, 收集了北极陆地上其他地区的站点气温和降水观测资料(这些站点资料只有总降水量), 用计算出的临界温度值对这些站点降水进行了固/液态划分。结果显示: 研究区域内的RPR随纬度升高逐渐减小。RPR夏季最高, 秋季和春季次之, 冬季最小。表明: 北极地区夏季多为液态降水, 冬季液态降水极少发生。对研究区域1961~2010年年平均和季节降水形态变化趋势的分析结果显示: 北极地区降水形态变化呈现出一定的季节差异和区域差异。其中, 春季北极大部分地区RPR呈增加趋势, 表明降水

形态有从固态向液态转变的趋势。夏季和秋季, 除北冰洋沿岸站点有一致增加趋势外, 南部地区呈现显著的区域差异。在置信区间下限和上限临界温度范围内, RPR的时空分布与本文所取最优临界值得到的结果高度一致, 表明: 对北极地区降水形态划分及趋势变化的研究成果具有稳定性, 具有较高的可信度。

此外, 对春夏季节转换期降水形态变化特征的分析结果表明, 在北极冰冻圈开始消融的关键时期大部分地区的降水形态有从固态向液态转变的趋势。液态降水的增加将会促进冰雪的消融, 并将对北极生态系统和水文循环产生深远影响。

需要指出的是, 高纬度地区的降水观测资料存在一定的不确定性, 且由于区分固液态降水的站点主要集中在加拿大和阿拉斯加地区, 本文仅使用这些有限的站点观测资料统计得出整个北极地区不同季节的

固-液态降水临界气温, 会为研究结果带来一定的不确定性。此外, 利用日平均气温对固、液态降水进行划分, 降水发生的时间不同, 对结果的影响可能会较大。鉴于此, 未来需要进一步加强北极降水观测, 增设更多

区分固液态降水的观测站点, 并开展高时间分辨率降水观测。同时, 需要发展新的方法, 结合高分辨率区域气候模式更好地对现有的台站降水数据进行形态划分, 进一步减小当前研究结果的不确定性。

致谢 感谢中国科学院青藏高原研究所丁宝弘对降水形态划分方法有益的讨论。

参考文献

- 1 Bekryaev R V, Polyakov I V, Alexeev V A. Role of polar amplification in long-term surface air temperature variations and modern arctic warming. *J Clim*, 2010, 23: 3888–3906
- 2 Miller G H, Alley R B, Brigham-Grette J, et al. Arctic amplification: Can the past constrain the future? *Quat Sci Rev*, 2010, 29: 1779–1790
- 3 Cavalieri D J, Parkinson C L. Arctic sea ice variability and trends, 1979–2010. *Cryosphere*, 1979, 6: 881–889
- 4 Boisvert L N, Stroeve J C. The Arctic is becoming warmer and wetter as revealed by the Atmospheric Infrared Sounder. *Geophys Res Lett*, 2015, 42: 4439–4446
- 5 Zhang X, Zwiers F W, Hegerl G C, et al. Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature*, 2007, 448: 461–465
- 6 Serreze M C, Walsh J E, Chapin III F S, et al. Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment. *Clim Change*, 2000, 46: 159–207
- 7 Irannezhad M, Marttila H, Chen D, et al. Century-long variability and trends in daily precipitation characteristics at three Finnish stations. *Adv Clim Change Res*, 2016, 7: 54–69
- 8 Picard G, Domine F, Krinner G, et al. Inhibition of the positive snow-albedo feedback by precipitation in interior Antarctica. *Nat Clim Change*, 2012, 2: 795–798
- 9 Perovich D, Polashenski C, Arntsen A, et al. Anatomy of a late spring snowfall on sea ice. *Geophys Res Lett*, 2017, 44: 2802–2809
- 10 Putkonen J, Roe G. Rain-on-snow events impact soil temperatures and affect ungulate survival. *Geophys Res Lett*, 2003, 30: 1188
- 11 Rennert K J, Roe G, Putkonen J, et al. Soil thermal and ecological impacts of rain on snow events in the circumpolar arctic. *J Clim*, 2009, 22: 2302–2315
- 12 Screen J A, Simmonds I. Declining summer snowfall in the Arctic: causes, impacts and feedbacks. *Clim Dyn*, 2012, 38: 2243–2256
- 13 Ye H. Changes in frequency of precipitation types associated with surface air temperature over northern Eurasia during 1936–1990. *J Clim*, 2008, 21: 5807–5819
- 14 Knowles N, Dettinger M D, Cayan D R. Trends in snowfall versus rainfall in the western United States. *J Clim*, 2006, 19: 4545–4559
- 15 Cohen J, Ye H, Jones J. Trends and variability in rain-on-snow events. *Geophys Res Lett*, 2015, 42: 7115–7122
- 16 Han W, Xiao C, Dou T, et al. Changes in the proportion of precipitation occurring as rain in northern Canada during spring-summer from 1979–2015. *Adv Atmos Sci*, 2018, doi: 10.1007/s00376-018-7226-3
- 17 Bintanja R, Andry O. Towards a rain-dominated Arctic. *Nat Clim Change*, 2017, 7: 263–267
- 18 Gao X, Ye B S, Zhang S Q, et al. Glacier runoff variation and its influence on river runoff during 1961–2006 in the Tarim River Basin, China. *Sci China Earth Sci*, 1961, 53: 880–891
- 19 Dai A. Temperature and pressure dependence of the rain-snow phase transition over land and ocean. *Geophys Res Lett*, 2008, 35: L12802
- 20 Berghuijs W R, Woods R A, Hrachowitz M. A precipitation shift from snow towards rain leads to a decrease in streamflow. *Nat Clim Change*, 2014, 4: 583–586
- 21 Ding B, Yang K, Qin J, et al. The dependence of precipitation types on surface elevation and meteorological conditions and its parameterization. *J Hydrol*, 2014, 513: 154–163

Summary for “北极地区春季降水呈现固态向液态转变的态势”

Arctic has been going through a transition from solid precipitation to liquid precipitation in spring

Wei Han^{1,2}, Cunde Xiao^{3*}, Tingfeng Dou^{4*} & Minghu Ding¹

¹ Institute of Polar Meteorology, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China;

² College of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;

³ State Key Laboratory of Earth Surface and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

⁴ College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

* Corresponding authors, E-mail: cdxiao@bnu.edu.cn; doutf@ucas.ac.cn

The changes of precipitation form have important impacts on mass balance and energy flux of the underlying Cryosphere that closely related to hydrological cycles and the health of the ecosystem over the Arctic. So far, most of land stations around Arctic record the total precipitation amount only, except for dozens of stations in Alaska and northern Canada, where the solid and liquid precipitation are recorded respectively. Based on these different precipitation form records and daily mean air temperature observations during 1961–2015, we developed a special standard of optimum temperature threshold to separate rainfall from the total precipitation. That is, if the air temperature is greater than the temperature threshold, the probability of precipitation occurring as rain is larger than 0.5, then we assume the precipitation falls in liquid form. We derived the seasonal optimum temperature threshold of 2.01°C (spring), 0.54°C (summer), 1.14°C (fall) and 1.17°C (mean annual), respectively. We did not discuss the situation in winter because of rare liquid precipitation observations. By using these temperature thresholds, we distinguished the solid and liquid phase from total precipitation archived at 253 stations over the northern Eurasia region and investigated their variation trend during 1961–2010. Results showed that the proportion of rainfall in total precipitation decreased with latitudes in the region north of 60°N. In general, we found the maximum and minimum of the rainfall to total precipitation ratio (RPR) in summer and winter. Further analysis demonstrated that the precipitation forms showed obvious seasonal and interannual variability. Specially, the spring RPR increased over most of the terrestrial Arctic (82.46% stations), 22.37% of which passed 95% statistical significance test, indicating that there was a general transition trend from solid precipitation to liquid precipitation in the spring Arctic continents over the past decades. In summer and autumn, there was obvious regional variability in the south of the research area, but in the arctic coastal stations the increasing trend appeared uniform. The RPR trends, respectively derived from the lower and upper limits of 95% confidence interval of temperature threshold, were highly consistent with the trend in the spatial distribution that derived from the optimum temperature threshold. Additionally, more precipitation had fallen as rainfall instead of snowfall in Alaska, Siberia and Northern Europe during the ablation season (March–July), which would make profound impacts on the Arctic land-atmosphere interaction.

Arctic, temperature threshold, solid precipitation, liquid precipitation, spring-summer transition period

doi: [10.1360/N972018-00088](https://doi.org/10.1360/N972018-00088)