

Climate Change of Low Cloud Cover and Its Relationship with Precipitation in Aletai Area of Xinjiang Province

Linmei Zhang, Jianli Li, Xiuqin Xie

Aletai Meteorological Bureau, Aletai Xinjiang
Email: zlmxjalt@sina.com

Received: Mar. 27th, 2015; accepted: Apr. 6th, 2015; published: Apr. 9th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

By selecting average low cloud cover and monthly precipitation during 1961-2010 of 7 stations in Aletai Area of Xinjiang Province, and using variation analysis, Mann-Kendall, sliding t-test method, correlation analysis and so on, the change of low cloud cover and its relationship with precipitation in Aletai Area of Xinjiang Province were analyzed. Our results showed that: 1) for most stations, low cloud cover significantly increased annually and seasonally except winter at the rate of 1.1% - 1.7%/decade; 2) for most stations, the mutation trend of low cloud cover in years, spring and summer was obvious and it occurred from the late 1970s to the early 1980s, while the trend was not significant in winter; 3) the annual low cloud cover of most stations had a good correlation with that of spring, summer and autumn, especially summer. In addition, in most stations, low cloud cover in spring, summer and autumn had good continuity.

Keywords

Low Cloud Cover, Variation Analysis, Mann-Kendall, Sliding t-Test Method, Correlation Analysis

新疆阿勒泰地区低云量的气候变化及其与降水量的关系

张林梅, 李建丽, 谢秀琴

阿勒泰地区气象局, 新疆 阿勒泰
Email: zlmxjalt@sina.com

收稿日期: 2015年3月27日; 录用日期: 2015年4月6日; 发布日期: 2015年4月9日

摘要

选取1961~2010年新疆阿勒泰地区7站月平均低云量, 月降水量, 利用变差分析、Mann-Kendall、滑动t检验法、相关分析等方法来分析该地区低云量的变化及其与降水量的关系。结果表明: 1) 大部分站低云量除冬季外, 年及其它季节呈明显增多趋势, 以1.1%~1.7%/10a的速率显著增加; 2) 大部分站年、春、夏季低云量突变趋势显著, 突变的时间为70年代中后期至80年代前期, 冬季突变趋势不显著; 3) 大部分站年低云量与春、夏、秋季低云量有很好的相关性, 尤其和夏季的相关性最好。除冬季低云量外, 春、夏、秋季低云量有较好的持续性。

关键词

低云量, 变差分析, Mann-Kendall, 滑动t检验法, 相关分析

1. 引言

云在地气交换过程中扮演重要角色, 一方面它通过影响大气和地面接收净辐射, 进而影响当地的温度、降水量等气候因子; 另一方面它还对大气中水循环有重要影响。而低云在地气系统中主要表现为制冷效应, 又是降水量的主要云系[1] [2]。刘引鸽等[3]通过对中国低云量与影响因素研究, 指出低云量与降水量、相对湿度、最大积雪深度之间呈正相关, 与蒸发量和温度之间呈负相关, 赵勇等[4]通过对天山地区低云量与降水量的关系基本大于总降水量, 说明低云对降水量的贡献要大于中高云系。因此, 较多学者对低云量的分布特征、变化趋势及其影响因素都做了大量研究, 如徐兴奎等[5]对中国区域总云量和低云量的分布变化进行了研究, 指出我国总云量处于下降趋势, 低云变化空间分布差异较大, 新疆西部至青藏高原北部区域低云增加趋势, 牛晓瑞等[6]分析了秋季华北地区低云量与500 hPa环流指数的关系, 王亚敏[7]等指出了西北地区低云量空间分布是自东南向西北减少, 且低云量在1997年上升趋势显著, 牛晓瑞[8]等对新疆夏季低云量的长期变化及影响因素也做了分析, 指出了近45 a新疆夏季低云量增加趋势显著, 夏季低云量与副热带高压、极涡及青藏高原高度场指数关系密切。

阿勒泰地区位于新疆最北部, 地形复杂, 有高山丘陵、河流湖泊、沙漠戈壁, 是气候的敏感和脆弱地带。特殊的自然地理条件形成了该地区区域气候特征及对全球气候变暖区域响应的复杂性和特殊性[9]。庄晓翠等人[10]-[16]对本地区降水量、温度方面研究较多, 但对低云量研究较少。阿勒泰地区是以牧业为主的地区, 草场大部分是靠自然降水量供牧草生长所需水分, 夏季自然降水量的多少, 直接影响到草场的长势和质量。2007~2008年阿勒泰地区遭遇了近50 a一遇干旱, 农牧业生产和人民生活遭受了巨大的损失[17]。近几年阿勒泰地区一直在开展科学可行的抗旱增水规划, 适时开展地区生保护人工增水工程建设项目, 充分开发利用空中水资源, 有效增加山区冰雪储量, 增大降水量面积, 有效增加地表河流径流量, 有效缓解水资源不足这一突出矛盾。

2. 资料与方法

选取1961~2010年阿勒泰市、哈巴河、吉木乃、布尔津、福海、富蕴和青河站7个国家级基准、基

本气象站的月平均低云量、月降水量等相关气象要素。定义春季为 3~5 月, 夏季为 6~8 月, 秋季为 9~11 月, 冬季为 12 月~翌年 2 月。气候值取 1961~2010 年的平均。全地区的要素值取 7 个站累加后的平均。

分别采用线性趋势、变差分析[18]、Mann-Kendall(M-K)法[19] [20]和滑动 t 检验法[21]、相关分析对该地区低云量的气候变化特征及其与降水量的关系进行分析。

3. 阿勒泰地区低云量的时空变化特征

3.1. 低云量的空间分布

统计出近 50 a 阿勒泰全地区年及季节低云量的均值, 年均低云量为 12.1%, 各站为 10.0% (青河站)~17.4% (福海站), 图略, 在福海站有一个大值中心, 其分布自西向东呈低-高-低分布。全地区春季低云量的均值为 12.5%, 各站均值为 10.3% (青河站)~15.5% (吉木乃站), 见(图 1(a)), 其分布自西向东呈减少趋势。全地区夏季低云量的均值为 19.5%, 相比春季, 低云量增幅明显, 各站为 15.5% (哈巴河站)~24.6% (吉木乃站), 见图 1(b), 其自西向东呈高-低-高分布, 与年分布(图 1(a))呈相反趋势。全地区秋季低云量的均值为 11.5%, 各站为 8.2%(青河站)~13.6%(吉木乃站), 见图 1(c), 其分布自西向东呈减少趋势。全地区冬季低云量的均值为 1.78%, 相比秋季, 低云量减少幅度明显, 各站为 0.6% (青河站)~2.8% (福海站), 见图 1(d), 其分布自西向东呈低 - 高 - 低分布。

经分析可知, 夏季低云量最多, 其次是春、秋季, 冬季低云量最少。春季(图 1(a))、夏季(图 1(b))西部等值线均较密集, 说明西部的气候变率较大, 这可能与西部复杂的地形有关, 吉木乃站为山麓丘陵区, 哈巴河、布尔津站为河谷峡口区。通过对比分析可知, 全地区低云量年与冬季(图 1(d))分布相似, 春(图 1(a))与秋(图 1(c))分布相似, 青河站除夏季外, 为年、春、秋、冬季的低云量小值区, 福海站为年、冬季低云量大值区, 吉木乃站为春、夏、秋季低云量大值区。

3.2. 低云量变率分析

为了研究全地区年及各季低云量离散程度的大小, 计算了变差系数。变差系数 C_v 可以反映该时段内低云量逐年变化的相对大小。 C_v 值大, 则全地区低云量年际变化不稳定, 反之, C_v 值小, 则全地区低云量年际变化稳定。通过计算可知, 全地区年及各季低云量的变差系数在 0.21~0.56 (表 1), 说明全地区低云量年际变化差异大。相比较而言, 全地区夏季低云量最多, 且年际变化较小; 冬季低云量最少, 且年际变化较大。

对各站年及各季的变差系进行计算(表略), 可知年变差系数在 0.20 (吉木乃站)~0.43 (哈巴河站); 春季变差系数在 0.25 (富蕴站)~0.51 (哈巴河站); 夏季变差系数在 0.20 (福海站)~0.37 (哈巴河站); 秋季变差系数在 0.27 (吉木乃站)~0.58 (哈巴河站); 冬季变差系数在 0.92 (吉木乃站)~1.77 (青河站)。通过对比分析可知, 各站夏季的变差系数最小, 冬季变差系数最大。

3.3. 低云量的年际变化

图 2 给出了全地区各季低云量的年际变化, 可看出夏季低云量年际变化较小, 冬季低云量年际变化较大, 这与前面计算的变差系数所得到的结论是一致的。全地区冬季低云量呈减少趋势, 且以 0.2%/10a 的速率减少, 但没有通过显著性检验。除冬季外, 全地区年及其它各季呈明显增多趋势, 基本以 1.1%~1.7%/10a 的速率增加, 且均通过 0.001 的显著性水平检验。还可以看出, 全地区除冬季外, 年及各季低云量均呈明显增多趋势。

还计算了各站年及各季的年际变化趋势(图略), 各站年际变化趋势除福海站呈弱减少趋势外, 其它站均呈明显增多趋势, 并通过了 0.001 或 0.05 的显著性检验, 其中哈巴河、富蕴、青河站以 1.1%~2.3%/10a

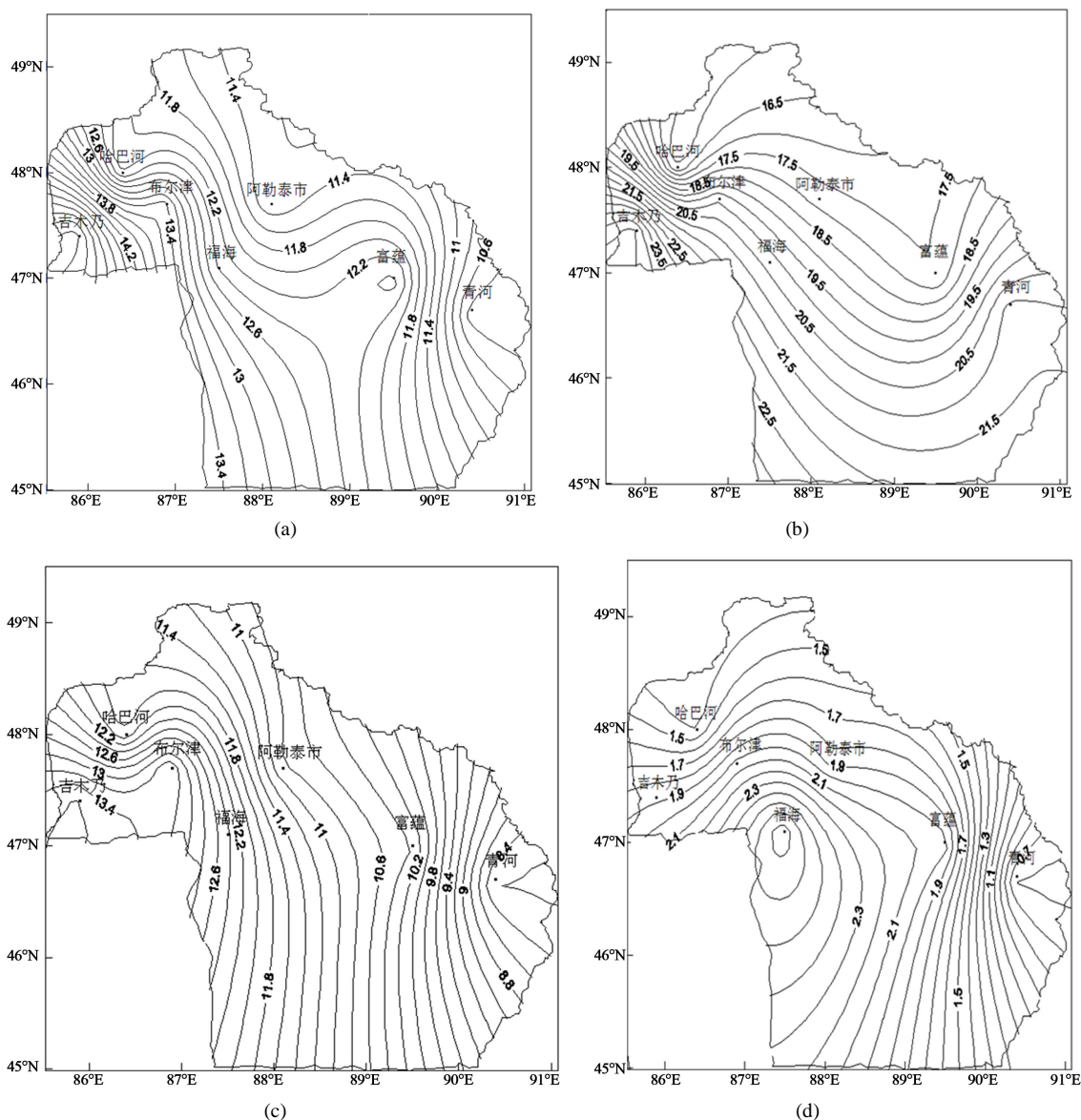


Figure 1. The low cloudiness mean annual and seasonal distribution in Aletai region (%). (a) Spring; (b) Summer; (c) Fall; (d) Winter

图 1. 阿勒泰全地区年及各季低云量的均值分布(单位%)。(a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季

Table 1. The low cloud cover and seasonal variation coefficient in Aletai region

表 1. 阿勒泰全地区年及各季低云量的变差系数

	年	春	夏	秋	冬
变差系数	0.206	0.311	0.205	0.303	0.559

的速率增加,阿勒泰市、吉木乃、布尔津站以 0.69%~0.81%/10a 的速率增加。各站春季低云量、秋季低云量均呈一致显著增加趋势,以 0.80%~2.43%/10a 速率增加;各站夏季低云量除布尔津外,其它站以 1.6%~2.43%/10a 速率增加,并通过了显著性检验;冬季低云量变化趋势复杂,阿勒泰市、吉木乃、布尔津、青河站以-0.16%~-0.85%的速率显著减少,但哈巴河站以 0.40%/10a 速率显著增加,这些站通过了显

著性检验。

3.4. 低云量的年代际变化

计算了全地区年及各季低云量及距平(表 2), 可知全地区年低云量 60、70 年代变化不大, 且低云量偏少, 但 80 年代至 21 世纪 00 年代低云量呈明显偏多, 且在 21 世纪 00 年代低云量达到年代际最大值(图略), 春、夏、秋均有相同的变化的年代际变化趋势, 但冬季与之相反, 60~80 年代呈偏多趋势, 90 年代至 21 世纪 00 年代呈偏少趋势, 年代际最大值出现于 60 年代。

还计算了各站年及各季年代际变化, 可发现年、春、夏、秋大部分站都有相同的变化趋势(表略), 大部分站年及春季低云量具有相同的变化趋势, 即 60~80 年代低云量呈偏少趋势, 90 年代至 21 世纪 00 年代呈偏多趋势; 大部分站夏、秋、冬季低云量具有相同的变化趋势, 即 60~70 年代偏少, 80 年代至 21 世纪 00 年代偏多。总的来说, 阿勒泰地区大部分站 60~70 年代低云量偏少, 而 90 年代至 21 世纪 00 年代增多。

3.5. 低云量的突变变化

气候突变是指在短时期内由一种相对稳定的气候状态过渡到另一种气候状态的变化, 它是气候系统非线性的一种表现。目前对气候突变常用的方法是 MK 法, 该方法具有检验范围宽、定量化程度高、人为性小等特点, 是目前突变性检验方法中应用较多且理论意义最为明显的一种。滑动 t 检验方法用来检验两随机样本平均值的显著性差异, 有直观、简便的特点。经 Mann-Kendall 法检验后, 如某序列存在突变点, 再利用滑动 t 检验法对突变点进行信度检验, 从而验证突变点的真伪, 增强突变分析结果的可信度。

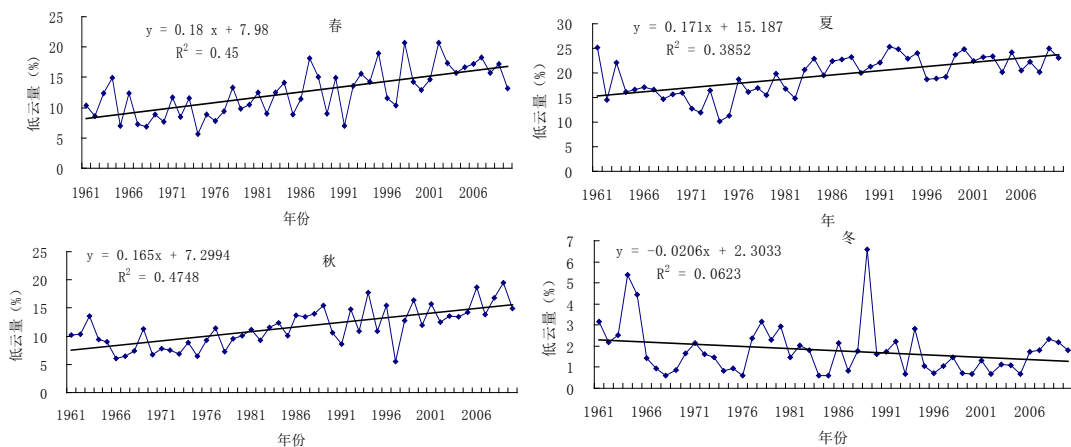


Figure 2. The interannual variability of low cloud amount each season in Aletai region

图 2. 阿勒泰全地区各季低云量的年际变化

Table 2. The low cloud cover and seasonal anomalies in the Aletai region (%)

表 2. 阿勒泰全地区年及各季低云量及距平(%)

年代	年	春	夏	秋	冬
1961~1970	10.5/-	9.6/-	17.4/-	9.0/-	2.3/+
1971~1980	10.2/-	9.7/-	15.0/-	8.5/-	1.8/+
1981~1990	13.2/+	12.5/0	20.4/+	12.2/+	1.9/+
1991~2000	13.6/+	13.9/+	22.5/+	12.5/+	1.3/-
2001~2010	14.4/+	16.7/+	22.4/+	15.3/+	1.5/-

突变检验中, UF 是按时间顺序列的统计量, UB 是时间逆序列的统计量, 若两条曲线出现交点, 且交点在临界线(± 1.96 之间), 表明交点对应的时刻便是突变开始时间。本文给出了全地区年低云量的 M-K 的统计量曲线(图略), UF 与 UB 存在 2 个交点, 分别为 1974、1979 年, 但只有 1979 年在 ± 1.96 之间。利用滑动 t 检验对 1979 年这个突变点进行信度检验, 通过了显著性检验, 表明 1979 年的突变年是可信的。即全地区年低云量 1961~1979 年低云量均值为 10.2%, 1979~2010 年均值为 13.7%, 呈明显增加趋势。由全地区春季低云量的 M-K 的统计量曲线(图 3), UF 与 UB 存在 2 个交点, 分别为 1974、1976 年。利用滑动 t 检验对这两个突变点进行信度检验, 只有 1976 年通过了显著性检验, 即 1976 年为突变年是可信的。即全地区春季低云量 1961~1979 年年低云量均值为 9.4%, 1979~2010 年均值为 13.9%, 呈明显增加趋势。由全地区夏季低云量的 M-K 统计量曲线(图 3), UF 与 UB 存在 2 个交点, 为 1966、1982 年, 显然 1966 年并非为突变年。利用滑动 t 检验对 1982 年这个突变点进行检验后可发现该年为突变年是可信的。即夏季低云量 1961~1982 为 15.5%, 1983~2010 为 21.5%, 呈明显增多趋势。由全地区秋季低云量的 M-K 的统计量曲线(图 3), UF 与 UB 存在 2 个交点, 分别为 1965、1968 年, 但位于 ± 1.96 之间只有 1965 年, 显然该年并非突变年, 故全地区秋季低云量不存在突变。由全地区冬季低云量的 M-K 的统计量曲线(图 3), 位于 ± 1.96 之间只有 1980 年, 但该年并没有通过滑动 t 检验, 故全地区冬季低云量也没有发生显著性突变。

对各站年及各季低云量运用上述方法进行了突变检验, 可发现各站突变年均与全地区有一定的相关性, 具体表现为: 对年低云量而言, 阿勒泰市、吉木乃、布尔津、富蕴站分别在 1987、1978、1985、1979 年发生显著性突变; 对春季低云量而言, 阿勒泰市、吉木乃、布尔津、富蕴站分别在 1979、1978、1982、1979 年发生显著性突变; 对夏季低云量而言, 吉木乃、哈巴河、布尔津、福海、富蕴站分别在 1976、1985、1988、1975、1983 年发生显著性突变; 对冬季低云量而言, 吉木乃、布尔津站低云量分别在 1984、1978 年发生显著性突变; 对冬季低云量而言, 各站均未发生显著性突变。总的来说, 大部分站的年、春、夏低云量的突变趋势显著, 突变的时间为 70 年代中后期至 80 年代前期, 突变年之前低云量以偏少为主, 突变年之后低云量以偏多为主, 冬季突变趋势不显著。

4. 低云量与降水量的关系

4.1. 不同季节低云量的关系

文献[4]指出了天山区域低云量具有较好的持续性, 特别是春、夏季低云量相关性最好, 那么阿勒泰全地区不同季节低云量是否也存在如此的持续性? 通过计算全地区年及各季低云量的相关系数, 见(表 3), 可知全地区年低云量与春、夏、秋季低云量有很好的相关性, 尤其和夏季相关性最好, 相关系数高达 0.839。除冬季低云量外, 春、夏、秋季低云量也有较好的持续性, 春季与夏季低云量的相关系数为 0.621, 夏季

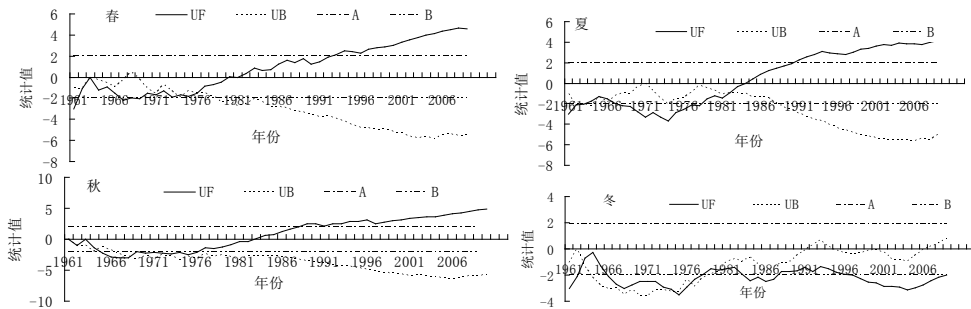


Figure 3. The each season low cloudiness abrupt climate change curve in Aletai region

图 3. 阿勒泰全地区各季低云量气候突变曲线

与秋季低云量的相关系数为 0.639。

本文对各站年、各季的低云量也进行了相关分析(表略),与全地区有相同之处与不同之处。相同之处为:各站年低云量与春、夏、秋季低云量有显著的相关性,相关系数在 0.359~0.935;春季与夏、秋季低云量也存在显著的相关性,相关系数为 0.343~0.736;各站夏、秋季低云量也存在显著的相关性,相关系数为 0.273~0.70。不同之处为:吉木乃、哈巴河、福海、富蕴站的年与冬季低云量也存在一致的正相关,相关系数为 0.281~0.517,且 4 站秋、冬季低云量存在显著的正相关,相关系数为 0.289~0.556。总的来说,阿勒泰全地区及各站的不同季节之间的低云量均存在较好的相关性。

4.2. 同期低云量与降水量的关系

文献[3]指出了干旱区、半干旱区、湿润区、东北区和西南区低云量与降水量的关系显著。那么由于阿勒泰特殊的自然地理条件,以致形成了该地区候特征及对全球气候变暖区域响应的复杂性和特殊性[9],同期低云量与降水量是否也存在显著的相关性?

计算了全地区及各站的年、季低云量与同期的降水量之间的相关系数,见表 4,对全地区及各站同期的年、春、夏而言,各站基本呈显著的正相关;对秋季低云量与同期的降水量而言,全地区、阿勒泰市、哈巴河、布尔津、青河站呈显著正相关,其它站虽呈正相关,但没有通过显著性检验;对冬季低云量与同期的降水量而言,部分站呈正相关,部分站呈负相关,但都没有通过显著性检验。总的来说,除冬季外,全地区年及各季低云量及同期降水量之间存在较好的相关性。

4.3. 不同期低云量与降水量之间

赵勇等[4]指出低云量和降水量的相关性要优于总降水量,对降水的贡献要大于中、高云量,并且也指出天山区域春季低云量与夏季降水量存在较好的相关性,并指出了该相关性与春季和夏季的低云量

Table 3. The correlation coefficient between the low cloud cover and seasonal in Aletai region

表 3. 阿勒泰全地区年及各季低云量之间的相关系数

	年	春	夏	秋	冬
年	1	0.811*	0.839*	0.771*	0.095
春	0.811*	1	0.621*	0.577*	0.134
夏	0.839*	0.621*	1	0.639*	-0.075
秋	0.771*	0.577*	0.639*	1	0.083
冬	0.095	-0.134	-0.075	0.083	1

注: *表示通过 0.001 的显著水平检验。

Table 4. The relationships and seasonal low cloudiness and precipitation over the same period in Aletai region

表 4. 阿勒泰全地区年及各季低云量及同期降水量之间的关系

地区	阿勒泰市	吉木乃	哈巴河	布尔津	福海	富蕴	青河	
年	0.508**	0.328*	0.262*	0.463**	0.469**	0.282*	0.494**	0.467**
春	0.518**	0.322*	0.361*	0.335*	0.401*	0.427*	0.410*	0.370*
夏	0.539**	0.401*	0.233	0.330*	0.569**	0.297*	0.530**	0.340*
秋	0.378*	0.307*	0.123	0.369*	0.287*	0.182	0.228	0.299*
冬	-0.002	-0.102	-0.046	0.153	-0.09	0.102	0.187	0.053

注: *表示通过 0.05 的显著水平检验, **表示通过 0.001 的显著水平检验。

存在较好的持续性有关。通过不同季节低云量的相关分析,可知全地区不同季节的低云量也存在较好的持续性,那么前期低云量与后期降水量是否也存在较好的相关性呢?

为此,计算了全地区年、季不同期的低云量和降水量的关系,见表 5,可知各季低云量均和年降水量存在显著的相关性,冬季低云量与之呈显著的负相关,其它季节与年降水量存在显著的正相关。夏季降水量与春季低云量、秋季降水量与夏季低云量、冬季降水量与秋季低云量均存在显著的正相关,这表明对阿勒泰全地区而言,前季低云量是可以用来预测后季降水量,这主要是因为季节之间的低云量存在较好的持续性。

为了深入研究低云量与降水量的不同关系,本文还计算了各站的相关系数(表略),对年降水量与各季云量而言,哈巴河、布尔津、富蕴站年降水量与春、夏、秋季低云量呈显著的正相关,阿勒泰市年降水量与春季、冬季分别呈显著正、负相关,吉木乃站与春季低云量呈正相关,福海、富蕴站降水量与夏季低云量呈正相关,正相关系数为 0.325~0.585。对夏季降水量与春季低云量而言,阿勒泰市、布尔津、富蕴站存在显著的正相关,相关系数为 0.422~0.569;对秋季降水量与前季低云量而言,只有哈巴河站与夏季降水量存在显著的正相关,相关系数为 0.308,其它站虽呈正相关,但没有通过显著性检验;对冬季降水量与前季低云量而言,吉木乃、哈巴河站均与春、夏、秋存在显著的正相关,福海站与春、夏季存在显著的正相关,青河站与夏、秋季存在显著的正相关,相关系数为 0.311~0.504。

由此可知,前期的低云量可以用来作为降水量预报因子之一,但全地区及各站的情况不尽相同,在做降水量的长期预报是要根据各地情况挑选合适的季节低云量。

5. 结论

1) 阿勒泰地区夏季低云量最多,其次是春、秋季,冬季低云量最少。阿勒泰全地区年与冬季低云量分布相似,春与秋季低云量分布相似。青河站除夏季外,为年、春、秋、冬季的低云量小值区,福海站为年、冬季低云量大值区,吉木乃站为春、夏、秋季低云量大值区。

2) 阿勒泰地区各站夏季的变差系数较小,冬季的变差系数较大。说明夏季的低云量最多,且年际变化较小;冬季低云量最少,且年际变化较大。阿勒泰全地区冬季低云量呈减少趋势,且以 0.2%/10a 的速率减少,但没有通过显著性检验。除冬季外,年及其它各季呈明显增多趋势,基本以 1.1%~1.7%/10a 的速率增加,且均通过 0.001 的显著性水平检验。各站年变化趋势除福海站呈弱减少趋势外,其它站均呈明显增多趋势。

3) 阿勒泰地区大部分站年、春、夏季低云量的突变趋势显著,突变的时间为 70 年代中后期至 80 年代前期,突变年之前低云量以偏少为主,突变年之后低云量以偏多为主,冬季突变趋势不显著。

4) 阿勒泰地区大部分站年低云量与春、夏、秋季低云量有很好的相关性,尤其与夏季相关性最好。

Table 5. The relationshi between the annual and seasonal low cloud cover and precipitation in different period in Aletai region
表 5. 阿勒泰全地区年及各季低云量及不同期降水量之间的关系

地区	年低云	春季低云	夏季低云	秋季低云	冬季低云
年降水量	0.508**	0.457**	0.554**	0.394*	-0.281*
春季降水量	0.370*	0.518**	0.204	0.280*	-0.274
夏季降水量	0.397*	0.311*	0.539**	0.108	-0.202
秋季降水量	0.244	0.072	0.302*	0.378*	-0.126
冬季降水量	0.292*	0.292*	0.364*	0.373*	-0.002

注: *表示通过 0.05 的显著水平检验, **表示通过 0.001 的显著水平检验。

除冬季低云量外,春、夏、秋季低云量也有较好的持续性。全地区及各站低云量与同期的降水量相关性较好,年、春季最好,其次是夏季,冬季最差。

参考文献 (References)

- [1] IPCC Working Group I (2007) Climate Chang 2007: The Physical Science Basis.
- [2] 牛晓瑞,王淑瑜 (2012) 华北地区低云量的变化特征及其影响因子分析. *高原气象*, **5**, 1340-1347.
- [3] 刘引鸽,王宁练,武小波,等 (2013) 1951-2009年中国低云量的时空特征及影响因素. *高原气象*, **6**, 1608-1616.
- [4] 赵勇,崔彩霞,贾丽红,等 (2013) 中国天山区域云量的变化及其与降水量的关系. *沙漠绿洲气象*, **6**, 1-7.
- [5] 徐兴奎 (2012) 中国区域总云量和低云量的分布变化. *气象*, **1**, 90-95.
- [6] 牛晓瑞,王淑瑜 (2012) 华北地区低云量的变化特征及其影响因子分析. *高原气象*, **5**, 1340-1347.
- [7] 王亚敏,冯起,李宗省 (2014) 1960-2005年西北地区低云量的时空变化及成因分析. *地理科学*, **5**, 635-640.
- [8] 牛晓瑞,王淑瑜,李杉 (2012) 1961-2005年新疆夏季低云量长期变化特征及影响因素分析. *气候与环境研究*, **1**, 59-67.
- [9] 庄晓翠,郭城,张林梅 (2010) 西北干旱区阿勒泰地区气温日较差的变化特征及 R/S 分析. *干旱区资源与环境*, **12**, 85-92.
- [10] 庄晓翠,田忠锋,李博渊 (2014) 新疆阿勒泰地区冬季日降雪特性指标变化分析. *干旱区研究*, **3**, 463-471.
- [11] 白松竹,李焕,张林梅 (2014) 阿勒泰地区冬季降水变化特征分析. *沙漠与绿洲气象*, **1**, 17-22.
- [12] 白松竹,李春芳,王磊 (2009) 近45年5-9月阿勒泰地区强降水量气候变化趋势与突变特征. *暴雨灾害*, **1**, 84-87.
- [13] 张林梅,庄晓翠 (2009) 新疆阿勒泰地区汛期降水量集中度和集中期的时空变化特征. *中国农业气象*, **4**, 501-508.
- [14] 李春芳,白松竹 (2008) 1961-2005年阿勒泰地区5-9月分级降水的气候特征. *沙漠与绿洲气象*, **4**, 25.
- [15] 李焕,白松竹,王干成 (2014) 阿勒泰地区1961-2007年夏季平均最高气温及高温日数变化特征. *沙漠与绿洲气象*, **3**, 56-60.
- [16] 齐贵英,潘雪梅 (2011) 福海、富蕴高温天气气候特征及环流对比分析. *沙漠与绿洲气象*, **5**, 51-54.
- [17] 齐贵英 (2013) 阿勒泰地区夏季高温天气概念模型及典型个例分析. *干旱气象*, **2**, 390-395.
- [18] 王建兵,王振国,汪志桂 (2007) 青海高原东部边坡地带降水量变化特征及突变分析. *干旱区资源与环境*, **5**, 18-22.
- [19] 候书贵 (2001) 乌鲁木齐河源区大气降水量的化学特征. *冰川冻土*, **1**, 80-84.
- [20] 魏凤英 (1999) 现代气候统计诊断与预测技术. 气象出版社,北京.
- [21] 符淙斌,王强 (1992) 气候突变的定义与检测方法. *大气科学*, **4**, 482-492.