

东北高空湿度变化特征及其与地面气温和降水的关系

刘玉英¹, 李宇凡², 谢今范², 张红¹

(1. 吉林省气象信息网络中心, 吉林 长春 130062; 2. 吉林省气候中心, 吉林 长春 130062)

摘要: 利用1971~2005年探空和地面观测资料, 详细分析了东北地区高空比湿和相对湿度的时空变化特征, 并探讨了比湿和相对湿度与地面气温、降水量的关系。结果表明: 东北地区比湿空间分布主要受到水汽来源的影响, 地面由东南向西北递减, 高空由南向北递减; 相对湿度受水汽、海拔高度和纬度的共同影响, 地面和对流层下层由南向北先减后增, 对流层中层由南向北递增, 赤峰向通辽延伸的西南-东北向干舌地面最明显, 随高度增加逐渐减弱。1971~2005年, 东北地区比湿从地面到高空均为增加趋势, 对流层中下层的增加趋势更加显著; 相对湿度在地面呈显著减小趋势, 对流层中层呈显著增加趋势。大气比湿与地面气温在年、季尺度上存在一致的显著正相关关系, 大气相对湿度与地面气温在季节尺度上存在显著负相关关系; 对流层中下层相对湿度与降水量相关最显著; 地面气温升高对东北气候趋于干旱化起了重要作用, 高空相对湿度增加有利于降水增加, 气温与比湿的相互消长, 影响了气候的干、湿变化。

关键词: 高空; 比湿; 相对湿度; 地面气温; 降水量; 气候干旱指数

中图分类号: P457.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2016)04-0628-09

在全球气候变暖的背景下, 大气水汽作为气候变化的重要影响因子, 其时空变化特征得到广泛关注。通过不同资料的分析研究得出, 中国夏季的大气水分在近20 a呈增长状态, 增长最多在对流层低层, 增加明显的区域集中在东北、西南和南部沿海^[1-3]。在垂直变化上, 中国对流层中低层大气比湿经历“湿”、“干”、“湿”阶段性变化, 对流层低层比湿呈上升趋势, 对流层中层、高层和平流层下层为下降趋势^[4]。通过区域空间分析得出, 新疆地区地面比湿呈增加趋势, 500 hPa和850 hPa高空比湿在20世纪80年代中后期呈增加趋势^[5-7], 东北、内蒙古东部等地区, 高空水汽含量呈增加趋势^[8]。

东北地区地处东亚季风影响区域的最北端, 是中国气候变化较敏感的地区, 已有研究表明, 20世纪60年代以来增温显著, 降水量呈微弱的减少趋势, 且降水空间分布差异大, 东北地区高空水汽

输送主要集中在夏季, 以西南向和南向为主, 年际间水汽输送量差异很大^[9-11]。上述工作对于了解东北地区地面和高空气象要素的变化具有重要意义, 但是有关东北高空水汽时空变化特征方面的研究工作较少。本文利用东北地区包括辽宁、吉林、黑龙江和内蒙古东部的13个探空站及115个地面气象站观测资料, 分析了地面至高空比湿和相对湿度的时空变化特征, 以期加深对区域气候变化的认识, 通过分析比湿和相对湿度与地面气温和降水量的关系, 提高对陆气相互作用的认识, 为应对气候变化、提高气候干湿年景预测准确率提供依据。

1 资料与方法

1.1 资料及处理

本文所用数据包括: 1961~2012年东北地区13

收稿日期: 2015-02-11; **修订日期:** 2015-05-29

基金项目: 中国气象局气候变化专项(CCSF201003, CSF201317)和国家自然科学基金(41175083, 41125096)资助。[Foundation: Special for Climate Change(CCSF201003, CSF201317), National Nature Science Foundation of China(41175083, 41125096).]

作者简介: 刘玉英(1963-), 女, 辽宁朝阳人, 高级工程师, 主要从事气候、气候变化及气候资源开发利用工作。

E-mail: ccliuyuying@126.com

个探空站地面 850 hPa、700 hPa、600 hPa、500 hPa、400 hPa、300 hPa、200 hPa、150 hPa、100 hPa、70 hPa、50 hPa、30 hPa 各等压面 08 时和 20 时温度、露点温度资料,来源于经过质控的《中国高空规定等压面定时值数据集(V1.0)》,1961~2012 年东北地区 115 个国家基本站和基准站月平均气温和月降水量资料。探空资料日平均值用 08 时和 20 时 2 个时次的平均得到。

1961 年以来高空温湿观测设备出现 2 次更换,第 1 次为 1967~1969 年期间,观测设备由苏式 P3-049 型更换为 59 型探空仪;第 2 次为 2006~2010 年期间,由 59 型探空仪更换为 L 波段数字探空仪。2 次设备更换大多数站缺少对比观测,为便于分析,本文资料选取 1971~2005 年。齐齐哈尔和索伦于 1979 和 1981 年开始探空观测,分别使用 1980~2005 年和 1982~2005 年的资料。

经检查探空数据缺测情况发现,露点温度缺测率较温度高。为了保证分析结果的代表性,统计时若某月某时次缺测 10 次以上,则该月为缺测;若 1 a 中有一个月缺测,则该年缺测。统计 13 站数据缺测率发现,1971~2005 年温度在 100 hPa 高度以下、露点温度在 300 hPa 以下逐年缺测率较低,缺测率在 10%~20% 的年份在 7% 以下。依据统计数据有效率要达到 70% 的要求^[12],本文使用 1976~2005 年(齐齐哈尔和索伦用 1982~2005 年)的数据进行气候平均状况分析,使用 1971~2005 年的数据进行趋势变化分析,高度为地面、850 hPa、700 hPa、600 hPa、500 hPa、400 hPa、300 hPa。因不同时段变化趋势是显著不同的^[13],因此在进行趋势分析时剔除了观测时间较晚的齐齐哈尔和索伦 2 站。

本文对高空按照 3 个垂直厚度层进行划分:地面、对流层下层(850~600 hPa)和对流层中层(500~300 hPa)^[14]。

1.2 方法

在进行吉林省高空温度和湿度的时空变化特征分析过程中,利用线性回归方法和相关法进行趋势变化分析和检验。

利用露点温度计算比湿和相对湿度,计算方法见参考文献[4]:

当温度高于 -40°C 时,

$$\begin{cases} E_s = 1.000071e^{0.0000045p} E \\ E = 6.1094e^{\frac{17.625T}{243.04+T}} \end{cases} \quad (1)$$

温度低于 -40°C 时,

$$\begin{cases} E_s = 0.99882e^{0.000008p} E \\ E = 6.1121e^{\frac{22.587T}{273.86+T}} \end{cases} \quad (2)$$

其中, T 为温度, p 为气压, E 为水汽压, E_s 为饱和水汽压。

$$RH = \frac{E_s(T_d)}{E_s(T)} \quad (3)$$

$$q = 0.622 \frac{E_s(T)RH}{p} \quad (4)$$

其中, T_d 为露点温度, RH 为相对湿度, q 为比湿。

气候干旱指数计算公式^[15]:

$$DI_i = PI_i + TI_i \quad (5)$$

式中, DI_i 为第 i 年的干旱指数, DI_i 值越大表示气候越干旱; PI_i 是第 i 年的降水距平指数, TI_i 为第 i 年的地面气温距平指数。 PI_i 和 TI_i 的计算公式分别为:

$$PI_i = (P - P_i)/P \quad (6)$$

$$TI_i = (T_i - T)/T \quad (7)$$

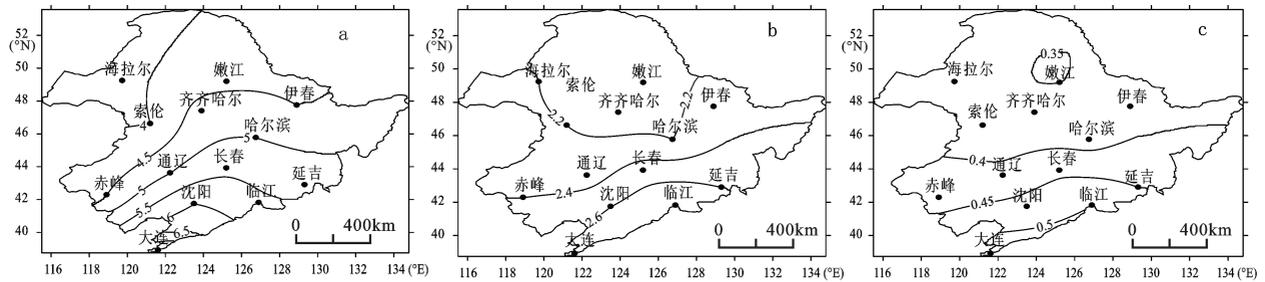
式中, P 、 T 分别为 1971~2000 年年降水量和年平均地面气温的平均值, P_i 、 T_i 分别表示第 i 年的降水量和年平均地面气温。

2 结果与分析

2.1 多年平均气候特征

2.1.1 比湿空间分布特征

地面比湿空间分布呈由东南向西北减小的形势(图 1a),近海的大连最大,达到 6.7 g/kg,其次是沈阳,达到 6.0 g/kg;东北西北部的海拉尔最小,为 3.9 g/kg;比湿最大、最小值差异达到 2.8 g/kg,空间分布差异较大。对流层下层比湿空间分布呈自南向北减小的特征(图 1b),长白山南麓的临江比湿最大,为 2.8 g/kg,其次是大连,为 2.7 g/kg;东北北部的嫩江和齐齐哈尔比湿最小,为 2.1 g/kg;比湿最大、最小值差异为 0.7 g/kg,空间分布差异明显较地面小。对流层中层比湿空间分布特征与对流层下层相似(图 1c),也呈自南向北减小的形势,近海大连比湿最大,为 0.53 g/kg,长白山南麓的临江比湿次大,为 0.50 g/kg;索伦、哈尔滨一线的北部比湿明显偏小,在 0.38 g/kg 以下,嫩江最小为 0.35 g/kg;比湿最大、最小值差异为 0.18 g/kg,空间分布差异最小。综上所述,从地面到高空,东北地区比湿呈现由东南向西北递减到由南向北递减的分布变化,表明尽管东北全年盛行偏西风,但水汽来源以南



注:a.地面; b.对流层下层;c.对流层中层。

图1 东北地区各层比湿空间分布(g/kg)

Fig.1 Spatial distribution of specific humidity on the levels in Northeast China

间为主,这与他人的结论一致^[10],同时说明近地层比湿空间分布不仅受到水汽来向影响,还受到地形起伏的影响;比湿空间分布差异随高度减小,说明近地面层发生的云、雨、雾以及蒸发,造成水汽收支空间差异越接近地面越大。

四季比湿的空间分布特征(图略)总的来说与年平均比湿相近,从地面到高空,比湿呈现由东南向西北递减到由南向北递减的分布变化,比湿空间分布差异随高度减小。不同点在于,夏季地面比湿等值线出现自大连向长春、齐齐哈尔延伸的趋势,比湿南北向差异减小,东西向差异加大,说明夏季南来水汽含量丰沛,在强劲的夏季风作用下可伸展至内陆的松嫩平原。四季中夏季比湿最大,地面为9.34~13.54 g/kg,对流层下层为4.83~5.75 g/kg,对流层上层为0.83~1.18 g/kg;冬季比湿最小,地面为0.53~2.00 g/kg,对流层下层为0.55~0.82 g/kg,对流层上层为0.09~0.16 g/kg;春季和秋季比湿相近,大小介于夏季和冬季之间,秋季略大。

2.1.2 相对湿度空间分布特征

地面相对湿度空间分布呈西小东大的特征(图2a),处于西部丘陵的赤峰相对湿度最小,为48.93%,其次是通辽,为57.48%,由赤峰向通辽延伸一西南-东北向的干舌;其他地方相对湿度在60%以上,临江和伊春因地处山地是东北相对湿度最大的地方,为71.72%~72.70%;相对湿度最大和最小值差异为23.77%。对流层下层相对湿度自西南向东北递增(图2b),大连和赤峰最小,分别为45.38%和45.82%,其次是通辽,为48.04%,西南-东北向的干舌变得平缓;海拉尔和伊春最大,分别为60.27%和60.14%;相对湿度最大和最小值差异为14.89%。对流层上层相对湿度由西南向东北递增的分布更加明显(图2c),等值线变得平直,干舌

消失,最小值在大连和赤峰,分别为38.78%和39.19%;最大值在海拉尔,为50.84%;相对湿度最大和最小值差异为12.06%。综上可见,从地面到高空,相对湿度呈基本一致的自西南向东北递增的分布,由赤峰向通辽延伸的西南-东北向干舌地面最明显,随高度增加逐渐减弱,至对流层中层基本消失,显示出东北-西南走向的长白山脉和大兴安岭山脉对其间的近地层空气的影响;相对湿度空间分布差异随高度减小,但减小幅度明显小于比湿。

四季相对湿度的空间分布特征(图略)与年平均相对湿度相近,从地面到高空,相对湿度呈基本一致的自西南向东北递增的分布,由赤峰向通辽延伸的西南-东北向干舌均出现在四季的近地面层,相对湿度空间分布差异随高度减小。与年平均相对湿度空间分布差异较大的表现在夏季地面相对湿度,空间分布由西向东递增,等值线接近经向分布。

总的来说,比湿空间分布主要受到水汽来源的影响,从而形成由南向北递减的空间分布;相对湿度的空间分布,除了受到水汽条件影响外,还受到海拔高度和纬度的影响,因而空间分布更复杂,在南北方向上,地面和对流层下层由南向北呈先减后增的分布,对流层中层由南向北则呈递增的分布。

2.2 年际变化特征

从1971~2005年东北地区平均比湿年际变化趋势(图3a),可以看出,地面至高空比湿均呈增加趋势,对流层下层增幅最大,为0.040 g/(kg·10a),其次是对流层中层,增加趋势为0.009 g/(kg·10a),二者均达到0.05的显著性检验水平,地面的增加趋势不显著。这一结果与翟盘茂等^[2]、彭艳秋等^[3]得出的1971~2001年东北地区上空水汽含量呈增加趋势是一致的,而且增加幅度与西南地区北部、华

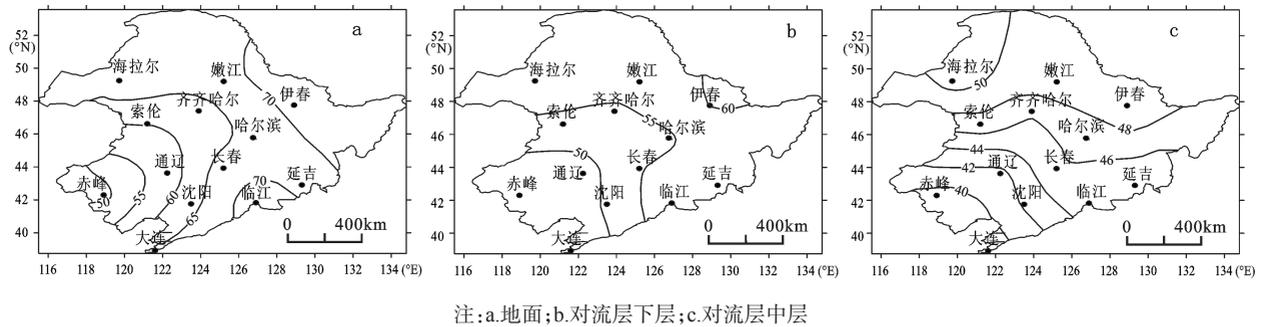


图2 东北地区各层相对湿度空间分布(%)

Fig.2 Spatial distribution of relative humidity on the levels in Northeast China(%)

南沿海、新疆北部相近。在1958~2005年和1979~2005年2个时段^[4],全国大部分地方850~700 hPa比湿呈增加趋势,300~100 hPa比湿呈减小趋势。可见,比湿变化趋势随高度的变化与全国大部分地方存在差异。四季平均比湿在各厚度层的变化趋势特征(图略)与年平均比湿相似,除了秋季地面比湿呈现不显著的减小趋势外,其他均为增加趋势,其中春季对流层中、下层比湿的显著增加,对年平均比湿增加的贡献最大,秋季的对流层中层、冬季的对流层下层比湿呈显著增加趋势。

从1971~2005年东北地区平均相对湿度年际变化趋势(图3b),可以看出,自地面至高空,相对湿度呈先减后增的变化,地面减小幅度为1.252%/10a,达到0.001的显著性检验水平,对流层下层呈现不显著的增加趋势,对流层中层的增加趋势为0.734%/10a,也达到0.001显著性检验水平。四季平均相对湿度在各厚度层的变化趋势特征(图略)也与年平均相对湿度相似,除了秋季对流层下层相对湿度呈现不显著的减小趋势外,其他均呈地面减小、对流层下层和上层增加的趋势,其中春季、夏季和秋季地面相对湿度呈极显著(0.001显著性检验水平)减小趋势,春季、秋季和冬季的对流层中层呈显著(0.01以上显著性检验水平)增加趋势。

综上所述,1971~2005年东北地区比湿,从地面到高空均为增加趋势,对流层中下层的增加趋势更加明显,显示了对流层大气水汽含量呈增加的趋势;相对湿度在地面和高空存在相反的变化趋势,地面减小趋势明显,可能与地面升温明显有关。

2.3 与地面气温的关系分析

由于高低空大气的热量和水汽输送、交换及其年际间的不同,造成了雨、雾等天气的复杂多变。已有研究结果表明^[4],大气水汽含量与温度、

降水量有密切关系。本文进一步探讨在年、季尺度上,大气湿度与地面气温、降水的联系。由于地面和高空比湿年际变化特征一致,因此计算了东北地面至对流层中层的年平均比湿,绘出大气年平均比湿与地面年平均气温的年际变化曲线及其线性趋势,见图4a。比较大气比湿与地面气温的年际变化及其线性趋势可见,东北地区大气比湿和地面气温变化有较好的一致性,二者在大部分年份都是同向变化的,并均呈明显的上升趋势,计算二者的相关系数高达0.54,通过0.001的显著性检验。四季大气比湿与地面气温的相关性与年平均比湿存在一致性,相关性以春季、夏季和秋季较好(表1),相关系数分别达到0.67、0.47和0.56,通过0.01以上的显著性检验,而冬季大气比湿与地面气温也呈不显著的正相关关系。东北地区大气水汽含量与地面气温的同向变化表明,温度上升(下降)导致蒸发加强(减弱),导致大气中水汽增加(减少),比湿上升(下降)。同时,水汽是一种温室气体,其增加或减少导致温度上升或下降,两者具有正反馈作用^[4]。

由于对流层下层和中层的年际变化特征一致,因此大气相对湿度与地面气温的年际变化关系按照地面和对流层中下层两个厚度进行分析,结果见图4b。可以看出,大气年平均相对湿度与地面年平均气温的变化联系较弱,地面相对湿度变化趋势与地面气温相反,对流层中下层相对湿度变化趋势与地面气温一致。计算相对湿度和地面气温的相关系数,地面相对湿度与气温呈负相关关系,相关系数为-0.39,通过0.05的显著性检验。而对流层中下层年平均相对湿度与气温相关不显著。四季大气相对湿度与地面气温均呈负相关(见表1),地面平均相对湿度与气温

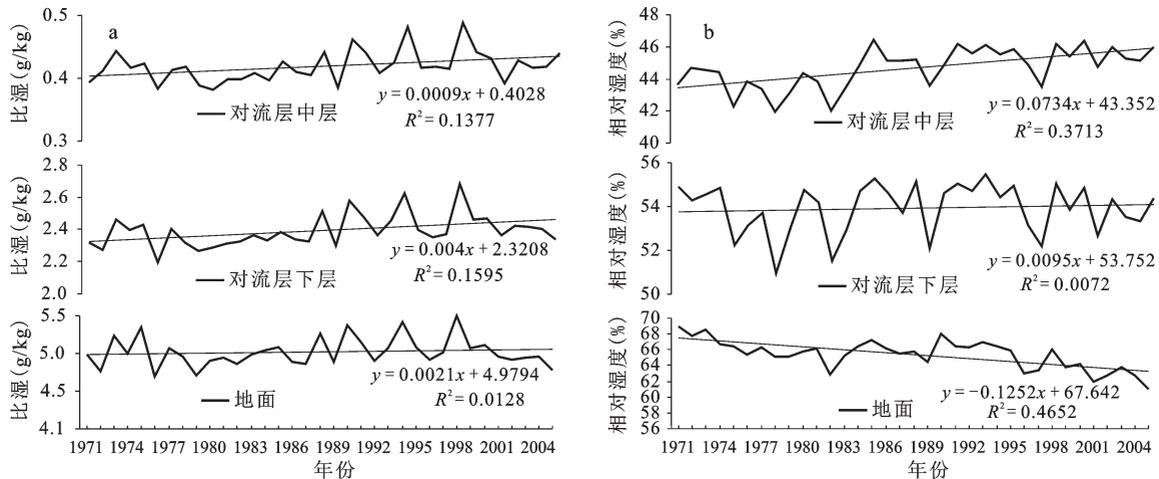


图3 1971~2005年东北地区各高度平均比湿(a)、相对湿度(b)历年变化曲线

Fig.3 The time series of annual specific humidity(a) and relative humidity(b) at different height in Northeast China in 1971-2005

表1 1971~2005年气温、降水与比湿和不同高度相对湿度相关系数

Table 1 Correlation coefficient between temperature, precipitation and relative humidity of different altitude in 1971-2005

	比湿与气温	比湿与降水量	相对湿度与气温 (地面)	相对湿度与降水 量(地面)	相对湿度与气温 (对流层中下层)	相对湿度与降水 (对流层中下层)
春季	0.667*	0.334*	-0.490*	0.419*	-0.256	0.401*
夏季	0.469*	0.544*	-0.511*	0.649*	-0.381*	0.677*
秋季	0.557*	0.564*	-0.343*	0.473*	-0.302	0.764*
冬季	0.214	0.163	-0.369*	0.292	-0.402	0.480*

注:*代表通过0.05显著性水平检验。

的关系以春季、夏季和秋季较好,相关系数分别达到-0.49、-0.51和-0.34,通过0.05以上的显著性检验,对流层中下层平均相对湿度与气温的关系以夏季和冬季较好,相关系数分别为-0.38和-0.40。可见地面相对湿度与地面气温的关系在年、季时间尺度上均存在较密切联系,而对流层中下层相对湿度与地面气温的关系在季节尺度上更密切。东北地区相对湿度与地面气温的反向变化表明,地面气温增加,增加了地面和高空大气的干燥程度。

综上所述,比湿与地面气温在年、季尺度上存在一致的显著正相关关系,相对湿度与地面气温在季节尺度上存在显著负相关关系,地面相对湿度与地面气温相关更密切。这表明,陆面和大气之间通过热力和动力相互作用,建立了大气湿度与地面气温的联系,形成地面气温与大气水汽含量正反馈、与大气相对湿度负反馈的过程,这也是在全球变暖的气候背景下,大气水分和湿度在年

季尺度上对陆面热量条件的响应。

2.4 与降水的关系分析

降水是大气水分平衡的重要因子,大气水分条件的改变,会对降水变化产生重要影响。1971~2005年期间,东北地区降水量呈微弱的增加趋势。可以看出,东北地区大气比湿和降水量变化有较好的一致性(图5a),二者在大部分年份都是同向变化的,并均呈上升趋势,计算二者的相关系数高达0.52,通过0.001的显著性检验。同时可以看到,比湿与降水量在年际间的变率也存在着一致性,年际变率在20世纪70年代和21世纪初偏小,20世纪80年代中期至90年代偏大,年际变率加大,容易造成旱涝频率加大^[16]。四季大气比湿与降水量的相关性以春季、夏季和秋季较好(表1),相关系数分别达到0.33、0.54和0.56,通过0.05以上的显著性检验,冬季大气比湿与降水量呈不显著的正相关关系。

大气年平均相对湿度与降水量也呈同向的年

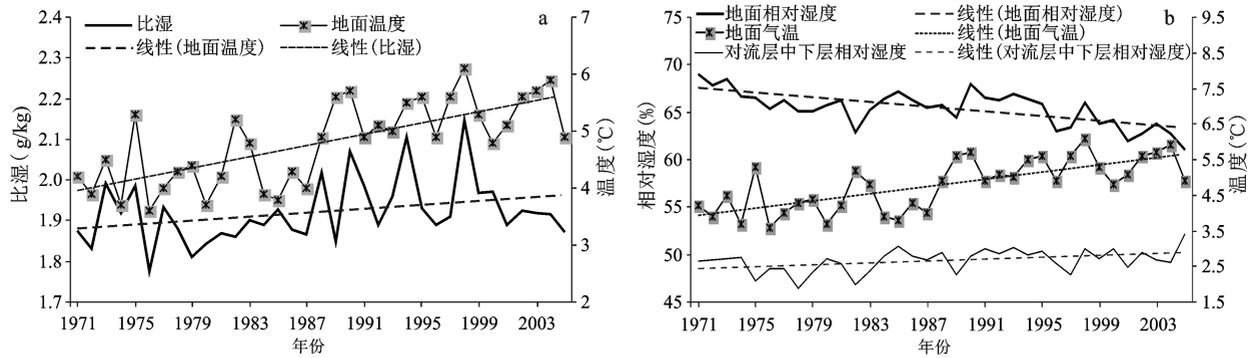


图4 东北地区大气比湿(a)、相对湿度(b)与地面气温的年际变化对比

Fig.4 Intercomparison of inter-annual variation between free atmospheric specific humidity(a), relative humidity(b) and surface temperature

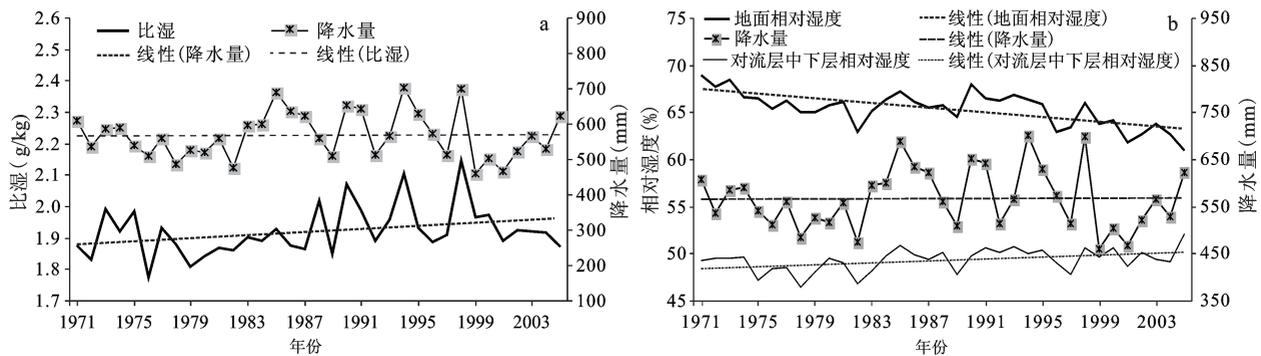


图5 东北地区大气比湿(a)、相对湿度(b)与降水量的年际变化对比

Fig.5 Intercomparison of inter-annual variation between free atmospheric specific humidity(a), relative humidity(b) and precipitation

际变化(图5b),但趋势有差异。地面和对流层中下层相对湿度与降水量均呈显著的正相关关系,相关系数分别为0.45和0.55,分别通过0.01和0.001的显著性检验。同时可以看到,对流层中下层与降水量在年际间的变率也存在着一致性,年际变率在20世纪70年代和21世纪初偏小,80年代中期至90年代偏大,年际变率加大,容易造成旱涝频率加大。四季大气相对湿度与降水量均呈正相关(见表1),地面平均相对湿度与降水量的关系以春季、夏季和秋季较好,相关系数分别达到0.42、0.65和0.47,通过0.01以上的显著性检验,对流层中下层平均相对湿度与降水量的关系四季均显著,相关系数在0.40以上,秋季相关系数最大,达0.76。

综合来看,比湿和相对湿度与降水量的关系,以对流层中下层相对湿度与降水量相关性最好,1971~2005年东北降水的微弱增加源于对流层中低层相对湿度的增加,地面至对流层中低层比湿增加主要由于大气水分条件的增加;比湿

与降水量在年际间的变率存在着一致性,20世纪80年代中期至90年代比湿年际变率加大是旱涝频发的原因。

2.5 与气候干湿程度的关系分析

大气作为气候系统的重要组成部分,天气现象的绝大部分是大气中水分变化的结果,因此大气水分条件发生的变化,对温度、降水的变化具有重要影响,比湿和相对湿度与地面气温和降水的相关关系明显也说明了这一点。气温、降水的异常组合,往往形成异常气候年型,如高温少雨年、低温多雨年等,这样的年份更易致灾。综合考虑温度和降水2个因素,构建气候干旱指数时间序列。

1971~2005年气候干旱指数呈现增加的趋势(表2),表明东北地区20世纪70年代以来气候趋于干旱,显然,从地面气温与降水量的趋势看到,地面气温的增加对干旱的贡献率更大,反映了气候变暖对东北气候干湿程度的影响。计算大气比湿和相对湿度与干旱指数的相关系数,结果见表2,可见地面相对湿度与干旱指数相关系数达-0.589,呈显著

表2 气候干旱指数变化趋势及与比湿、相对湿度的相关
 Table 2 Linear trend for climate drought index and the correlation coefficient with specific humidity, relative humidity

项目	变化趋势 (/10a)	与比湿相 关系数	与地面相对湿 度相关系数	与对流层中下层 比湿相关系数
干旱指数	0.0105***	0.129	-0.589***	-0.295

注:***表示通过 $\alpha=0.001$ 的显著性水平检验。

负相关,即相对湿度越小,气候越干燥;地面至对流层中下层大气平均比湿和对流层中下层相对湿度与干旱指数相关较弱。上述分析说明,地面相对湿度更能反映区域气候的干湿程度。

为了进一步掌握气候干湿年份比湿和相对湿度月际分布,从全区平均气候干旱指数序列中选出距平值大于1.2倍标准差和低于-1.2倍标准差的年份分别定义为干旱年和湿润年。符合干旱标准的年份有7个:1982年、1989年、1997年、1999年、2001年、2002年和2004年;湿润年份有5个:1974年、1984年、1985年、1986年和1987年。分别对干旱年和湿润年的月平均比湿和相对湿度距平进行平均,可以看到,在干旱年(图6a),地面相对湿度各月均为负距平,6~9月相对湿度明显偏小;对流层中下层相对湿度大多数月份为负距平,仅5月和7月相对湿度略偏大;比湿全年负距平月份略多,夏季比湿偏小。在湿润年(图6b),地面相对湿度月际变化与干旱年相反,仅5月为负距平,其他各月均为正距平,3月和7~10月相对湿度明显偏大;对流层中下层相对湿度正距平月份表现在2~4月和7~11月;比湿全年负距平月份多,但月际间变化较平稳,8月和9月为正距平。综上分析可见,在雨季集中的东北地区,夏季相对湿度偏低和大

气水分偏少容易出现干旱年,反之,则容易出现湿润年。地面相对湿度在干旱年与湿润年的差异尤其明显。上述干湿年的相对湿度和大气水分变化特征,可以为干湿年景趋势预测提供气候背景。

总之,对于地面来说,比湿与气温的同步增加并没有使地面气候变得湿润,反而变得干燥,说明地面气温升高对东北气候区域干旱化起了重要作用;对于对流层,相对湿度的增加表明大气趋于湿润,大气比湿增加是贡献者之一,根据已有研究结果^[17,18],对流层大气温度增加幅度明显小于地面,说明高空水汽含量增加对大气趋于湿润起了重要作用,这也是降水趋于不显著增加的原因。大气温度与比湿的相互消长,是影响气候的干、湿变化的重要因素。相对湿度较比湿能够更客观地反映大气的干湿程度,可以用作干湿年气候趋势预测因子。

3 结论

1) 从地面到高空,东北地区比湿呈现由东南向西北递减到由南向北递减的分布变化,空间分布主要受到水汽来源的影响;相对湿度受水汽、海拔高度和纬度的共同影响,在南北方向上,地面和对流层下层由南向北呈先减后增的分布,对流层中层由南向北则呈递增的分布,由赤峰向通辽延伸的西南-东北向干舌地面最明显,随高度增加逐渐减弱,至对流层中层基本消失,显示出东北-西南走向的长白山脉和大兴安岭山脉对其间的近地层空气的影响;比湿和相对湿度空间分布差异均随高度增加而减小,但减小幅度比湿更大。

2) 1971~2005年期间,相对湿度在地面和高空存在相反的变化趋势,地面减小趋势明显;四季平均相对湿度在各厚度层的变化趋势特征与年平均

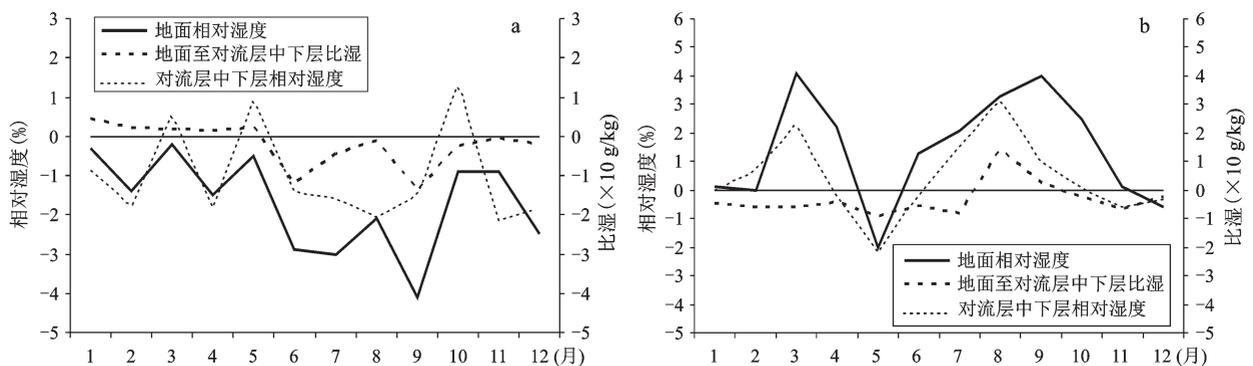


图6 干旱年(a)、湿润年(b)的相对湿度和比湿距平

Fig.6 Anomalies of specific humidity and relative humidity between drought years(a) and wet years(b)

相对湿度相似;各地地面相对湿度呈一致的减小趋势,对流层中层相对湿度呈一致性的增加趋势。

3) 比湿与地面气温在年、季尺度上存在一致的显著正相关关系,相对湿度与地面气温在季节尺度上存在显著负相关关系,地面相对湿度与地面气温相关更密切,反映了地面气温与大气水汽含量正反馈、与大气相对湿度负反馈的过程。

4) 比湿和相对湿度与降水量的关系比较,以对流层中下层相对湿度与降水量相关最密切,1971~2005年东北降水的微弱增加源于对流层中低层相对湿度的增加,地面至对流层中低层比湿增加主要由于大气水分条件的增加;比湿与降水量在年际间的变率存在着一致性,20世纪80年代中期至90年代比湿年际变率加大是旱涝频发的原因。

5) 地面比湿与气温的同步增加使地面气候趋于干旱,说明地面气温升高对东北气候区域干旱化起了重要作用;对于对流层,相对湿度的增加表明大气趋于湿润,高空水汽含量增加对大气趋于湿润起了重要作用,致使东北降水趋于不显著的增加趋势;大气温度与比湿的相互消长,是影响气候干、湿变化的重要因素;相对湿度较比湿能够更客观地反映大气的干湿程度,可以用作干湿年气候趋势预测因子。

参考文献(References):

- [1] 陆渝蓉,高国栋.我国大气中平均水汽含量与水分平衡的特征[J].气象学报,1984,31(3):301-310.[Lu Yurong, Gao Guodong. The water vapour content and the water budget in the atmosphere over China. Acta Meteorologica Sinica, 1984, 31(3): 301-310.]
- [2] 翟盘茂,周琴芳.中国大气水分气候变化研究[J].应用气象学报,1997,8(3):87-91,93-96.[Zhai Panmao, Zhou Qinfang. Study on climate change of atmospheric water in China. Journal of Applied Meteorological Science, 1997, 8(3): 87-91, 93-96.]
- [3] 彭艳秋,王卫国,刘煜,等.利用不同资料研究我国大陆上空柱水汽含量[J].应用气象学报,2012,23(1):59-68.[Peng Yanqiu, Wang Weiguo, Liu Yu et al. Using different data to study the water vapor content of the column over the mainland of China. Journal of Applied Meteorological Science, 2012, 23(1): 59-68.]
- [4] 郭艳君,丁一汇.1958~2005年中国高空大气比湿变化[J].大气科学,2014,38(1):1-12.[Guo Yanjun, Ding Yihui. Upper-Air specific humidity change over China during 1958-2005. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2014, 38(1): 1-12.]
- [5] 高慧,翁宁泉,孙刚,等.我国不同区域高空温度和相对湿度
- 的分布特征[J].大气与环境光学学报,2012,7(2):101-107.[Gao Hui, Weng Ningquan, Sun Gang et al. Distribution feature of meteorology parameter of upper air of different areas in China. Journal of Atmospheric and Environmental Optics, 2012, 7(2): 101-107.]
- [6] 张元,巩远发,蒋贤玲.新疆地区对流层中下层及地面温湿变化特征[J].成都信息工程学院学报,2011,26(6):608-616.[Zhang Yuan, Gong Yuanfa, Jiang Xianling. Characteristics of the upper and ground temperature and humidity variations over Xinjiang region. Journal of Chengdu University of Information Technology, 2011, 26(6): 608-616.]
- [7] 周长艳,蒋兴文,李跃清,等.高原东部及邻近地区空中水汽资源的气候变化特征[J].高原气象,2009,28(1):55-63.[Zhou Changyan, Jiang Xingwen, Li Yueqing et al. Features of climate change of water vapor resource over eastern region of the tibetan plateau and its surroundings. Plateau Meteorology, 2009, 28(1): 55-63.]
- [8] 李江林,李照荣,杨建才,等.近10年夏季西北地区水汽空间分布和时间变化分析[J].高原气象,2012,31(6):1574-1581.[Li Jianglin, Li Zhaorong, Yang Jiancai et al. Analyses on spatial distribution and temporal variation of atmosphere water vapor over northwest China in summer of later 10 years. Plateau Meteorology, 2012, 31(6): 1574-1581.]
- [9] 任国玉,初子莹,周雅清,等.中国气温变化研究最新进展[J].气候与环境研究,2005,10(4):701-716.[Ren Guoyu, Chu Ziyi, Zhou Yaqing et al. Recent progresses in studies of regional temperature changes in China. Climatic and Environmental Research, 2005, 10(4): 701-716.]
- [10] 高枫亭.东北地区大气水汽输送和收支[J].地理科学,2007,27(z1):28-38.[Gao Congting. Moisture transportation and budget over Northeast China. Scientia Geographica Sinica, 2007, 27(z1): 28-38.]
- [11] 张雪梅,江志红,刘晓东,等.东亚地区水汽输送强、弱年水汽输送的异同[J].气象学报,2009,67(4):561-568.[Zhang Xue-mei, Jiang Zhihong, Liu Xiaodong et al. Comparison of atmospheric moisture transport between strong and weak transport years over East Asia. Acta Meteorologica Sinica, 2009, 67(4): 561-568.]
- [12] 郭艳君.高空大气温度变化趋势不确定性的研究进展[J].地球科学进展,2008,23(1):24-30.[Guo Yanjun. Advances in uncertainties in upper air temperature trends. Advances in Earth Science, 2008, 23(1): 24-30.]
- [13] 马柱国,黄刚,甘文强,等.近代中国北方干湿变化趋势的多时段特征[J].大气科学,2005,29(5):671-681.[Ma Zhuguo, Huang Gang, Gan Wenqiang et al. Multi-Scale Temporal Characteristics of the Dryness Wetness over Northern China During the Last Century. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2005, 29(5): 671-681.]
- [14] 刘慧,韦志刚,魏红,等.近51年我国对流层顶高度的变化特征[J].高原气象,2012,31(2):351-358.[Liu Hui, Wei Zhigang, Wei Hong et al. Characteristic of tropopause height over China

- in recent 51 years. Plateau Meteorology, 2012, 31(2): 351-358.]
- [15] 刘明春.石羊河流域气候干湿状况分析及评价[J].生态学杂志, 2006,25(8): 880-884.[Liu Mingchun. Analysis and assessment of climatic dry and wet conditions in Shiyang River Basin.Chinese Journal of Ecology, 2006,25(8):880-884.]
- [16] 孙力,安刚,丁立,等.中国东北地区夏季降水异常的气候分析[J].气象学报,2000,58(1):70-82.[Sun Li, An Gang, Ding Li et al. A climatic analysis of summer precipitation features and anomaly in northeast china.acta meteorologica sinica. Acta Meteorologica Sinica, 2000, 58(1): 70-82.]
- [17] 薛德强,谈哲敏,龚佃利,等.近40年中国高空温度变化的初步分析[J].高原气象,2007,26(1):141-149.[Xue Deqiang, Tan Zhemin, Gong Dianli et al. Primary analyses of Upper-Air temperature changes in China in past 40 years. Plateau Meteorology, 2007, 26(1): 141-149.]
- [18] 王颖,任国玉.中国高空温度变化初步分析[J].气候与环境研究,2005,10(4):780-790.[Wang Ying, Ren Guoyu. Change in free atmospheric temperature over China during 1961-2004. Climatic and Environmental Research, 2005, 10(4): 780-790.]

Climate Change Characteristics of Free Atmospheric Humidity and Its Relationship with Temperature and Precipitation in Northeast China

Liu Yuying¹, Li Yufan², Xie Jinfan², Zhang Hong¹

(1. Meteorological Information Network Center of Jilin Province, Changchun 130062, Jilin, China;

2. Climate Center of Jilin Province, Changchun 130062, Jilin, China)

Abstract: In accordance with the data of radio sounding data and the data of surface temperature and precipitation in Northeast China in 1971-2005, the temporal and spatial change characteristics of free atmospheric specific humidity and relative humidity as well as the relationship between humidity and surface temperature and precipitation are analyzed. The results indicate that, the spatial distribution of specific humidity is impacted by water vapor source in Northeast China, decreased from the southeast to the northwest on the ground, and decreasing from the south to the north at upper air. The spatial distribution of relative humidity is impacted by water vapor, altitude and latitude, decreased firstly and then increased from the south to the north from the ground to lower layer of troposphere, increased from the south to the north in the mid layer of troposphere, and the southwest-northeast drought tongue from Chifeng to Tongliao is the most obvious, and gradually weakened with height increased. In 1971-2005, annual and seasonal specific humidity exhibited increasing trends from the ground to upper air, the increasing trends in the mid to lower layer of troposphere. The annual and seasonal relative humidity decreases significantly on the ground, and increases significantly in the mid layer of troposphere. The positive correlation between free atmospheric specific humidity and surface temperature is significant on annual and seasonal time scales. The negative correlation between free atmospheric relative humidity and surface temperature is significant on seasonal time scales. The correlation between relative humidity in the mid and lower layer of troposphere and precipitation is significant. The increased temperature is played an important role in climate changing to aridity of Northeast China. The increase of upper relative humidity helps add precipitation. The changes of surface temperature and water vapor content have impact the change of drought and humid climate.

Key words: upper-air; specific humidity; relative humidity; surface temperature; precipitation; climate drought index