

上海地区百年农业气候资源变化特征

周伟东¹ 朱洁华² 王艳琴³ 李 军¹

(1. 上海市气候中心, 上海 200030; 2. 上海市气象科技服务中心, 上海 200030;
3. 上海中心气象台, 上海 200030)

摘要 本文应用滑动 t 检验、Yamamoto's 检验、功率谱等数理统计方法分析了上海 1873 年~2006 年气温、降水、辐射、日照等资料, 结果表明: 上海地区年平均气温有明显升高趋势, 平均每 10 年增加 0.14°C , 冬季和秋季的增温最为显著, 平均每 10 年增加 0.16°C ; 日平均气温 5 日滑动平均稳定通过 0°C 、 10°C 活动积温呈明显的上升趋势, 平均每 10 年分别增加 $52.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 和 $49.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 无霜冻期每 10 年增加 8.7 天。年降水量略有增加, 其中春季降水增加显著, 平均每 10 年增加 31.8mm, 秋季则略有下降。通过正态检验及概率估算, 上海出现春涝的概率为 20.43%, 出现秋旱的概率为 50.72%, 年内降水分布不均, 降水集中, 暴雨日数增多。上海地区总辐射、水平面直接辐射呈显著的下降趋势, 平均每 10 年分别减少 $102.1\text{MJ}/\text{m}^2$ 和 $156.2\text{MJ}/\text{m}^2$, 散射辐射有明显的增加趋势, 平均每 10 年增加 $47.6\text{MJ}/\text{m}^2$, 日照时数略有减少。

关键词: 气候变暖; 农业气候资源; 变化特征

1 引言

近 100 年来, 中国年平均地表气温明显增加, 升温幅度约为 $0.5^{\circ}\text{C} \sim 0.8^{\circ}\text{C}$, 略高于全球气温的平均升幅^[1]。上海濒临东海, 地处长江三角洲东端, 属北亚热带东亚季风气候, 温和湿润, 四季分明。在全球气候变暖的背景下, 上海地区农业气候资源也在发生变化。

研究表明^[2], 气候变暖将缩短农作物的生育期, 气温每升高 1°C , 水稻、小麦的产量将减少 10%~17%。但在部分地区, 气候变暖对农业生产的影响则利大于弊^[3]。气候变化对区域农业的影响已有一些研究^[4-6], 赵峰等^[7]对农作物气候适宜度模型进行了研究, 唐国平等^[8]利用大气环流模型和农业生态地带模型分析气候变化对中国农业生产的影响, 张润杰等^[9]认为气候变暖, 特别是冬季温度的升高, 使越冬害虫的存活率上升, 越冬北界北移, 对农业生产带来不利影响。

上海保存了从 1873 年开始比较完整的气温、降水等气象要素资料, 这些资料为研究上海的气候变化特点提供了依据。陈红梅等^[10]对上海冬夏季降水与太平洋海温的相关关系及其年代际差异进行了

研究, 周丽英等^[11]分析了上海降水百年变化趋势及城市对降水分布的影响, 江志红等^[12]认为上海近百年 3 次突然增暖的特征有所不同, 徐家良^[13]对上海气温日较差变化的成因进行了深入的分析。本文进而对上海百年气温、降水、辐射、日照等资料进行分析, 阐述了气候变暖对上海地区农业气候资源(主要是光、热、降水)的影响, 为合理利用农业气候资源, 提高农业产量及作物的品质提供参考依据。

2 资料和方法

选用上海徐家汇气象站 1873 年~2006 年气温、1874 年~2006 年降水资料、1945 年~2006 年地温资料、1903 年~2006 年日照资料、1961 年~2006 年辐射资料, 利用数理统计方法, 进行上海地区百年农业气候资源的研究。在 134 年中, 徐家汇气象站共进行了 3 次迁站, 由于每次迁站直线距离均未超过 2 km, 故数据按同一序列处理。1991 年后, 徐家汇站取消了辐射观测, 资料使用宝山气象站资料代替。

1911 年 11 月~1912 年 6 月, 1942 年 1 月~12 月, 1945 年 1 月~3 月徐家汇站日照资料缺测, 使用上年同月和下年同月的资料进行线性内插。2001 年 3 月~2003 年 12 月, 自动气象站日照仪器受建筑

收稿日期: 2007-08-09; 修订日期: 2007-11-02

基金项目: 中国气象局气候变化专项(编号: CCSF2006-37)

作者简介: 周伟东, 男, 上海金山人, 高级工程师, 主要从事气候资料分析处理工作。

E-mail: wd_zhou@sohu.com

物遮挡,日照时数明显小于实际值,故该时段资料用人工观测资料代替。

线性趋势和相关系数的显著性检验方法参考了文献^[14]的有关内容。

3 热量资源的变化

上海地区热量资源一般能满足农作物三熟制需要,但年际差别大,在冷年三熟制仍存在风险。1980年代中期开始,上海地区单季晚稻种植面积稳步增加,从而逐步由三熟制转变为二熟制,热量资源虽然完全满足二熟制作物的生长需求,但热量资源的年际变化仍会影响到作物的产量和品质。

3.1 上海地区百年气温变化特征

上海地区 1873 年 ~ 2006 年年平均气温为 15.7℃,最高为 18.3℃(2006 年),最低为 14.5℃(1917 年)。年平均气温有明显的上升趋势,平均每 10 年增加 0.14℃,超过中国过去 100 年的平均升幅,线性趋势达到了 0.001 的信度水平。近 20 年(1987 ~ 2006),平均气温的升幅更加剧烈,平均每 10 年增加 1.09℃。从升幅上看,平均最低气温的升幅是平均最高气温升幅的 3.7 倍(图 1)。

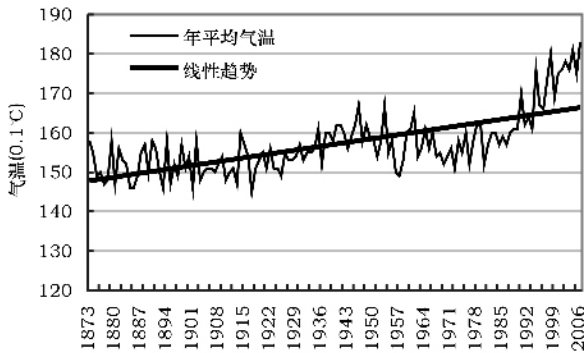


图 1 上海 1873 年 ~ 2006 年平均气温

Fig.1 Annual mean temperature of Shanghai during 1873 ~ 2006

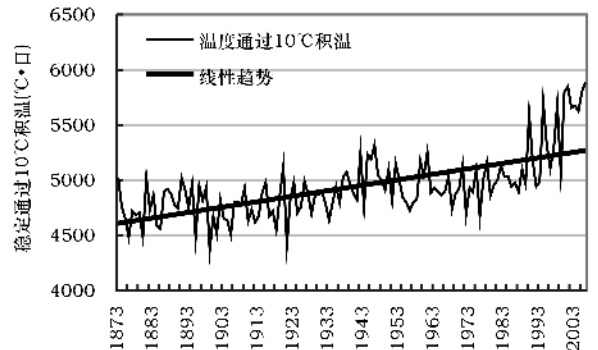
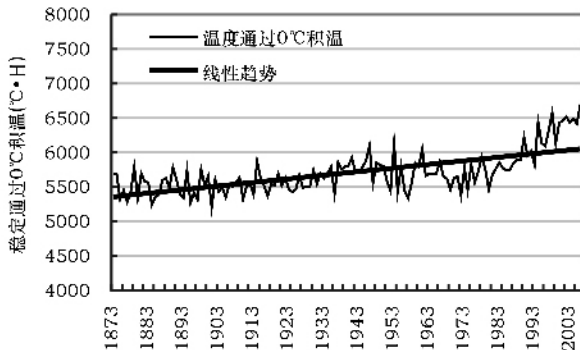


图 2 上海 1873 年 ~ 2006 年稳定通过 0℃和 10℃的活动积温

Fig.2 Active accumulated temperature steadily passing 0℃ and 10℃ in Shanghai from 1873 to 2006

从季节上看(图略),冬季和秋季的升温最为明显,平均每 10 年增加 0.16℃,春季和夏季平均每 10 年增温均超过 0.10℃。上海地区四季的升温线性趋势均通过了 0.001 信度的显著性检验。

利用滑动 t 检验对上海百年平均气温进行突变检测,子序列长度为 10,信度为 0.01,检测结果显示,上海平均气温的突变年份为 1928 年、1976 年、1986 年。取相同的子序列长度 10,利用 Yamamoto's 方法进行突变检测,突变点为 1932 年、1936 年、1988 年、1991 年。虽然两种方法检测出的突变年份有所差异,但 1980 年代中后期的突变较为一致。利用功率谱对上海年平均气温作周期分析,结果表明上海年平均气温无显著周期(信度为 0.05)。

3.2 日平均气温 5 日滑动平均稳定通过 0℃、10℃ 活动积温的变化

农业上把日平均气温 5 日滑动平均稳定通过(简称稳定通过,下同)0℃的时期作为适宜农耕期,该时段的活动积温是农作物可利用的热量资源;日平均气温稳定通过 10℃的时期是越冬作物生长活跃期和喜温作物播种期与生长活动期,初、终日则决定了喜温作物开始播种的日期,并影响到作物成熟和品质好坏^[5](图 2)。

上海地区日平均气温稳定通过 0℃、10℃ 的活动积温平均分别为 5 705.3℃·d 和 4 938.5℃·d,两者的增加趋势明显,平均每 10 年分别增加 52.6℃·d 和 49.6℃·d,线性趋势均通过 0.001 的显著性水平。近 20 年(1987 年 ~ 2006 年)日平均气温稳定通过 0℃、10℃ 的平均活动积温分别为 6 240.2℃·d 和 5 406.7℃·d,比 1873 年 ~ 1986 年偏高 628.7℃·d 和 550.3℃·d,两者线性增加的趋势特别明显,平均每 10 年分别增加 385.2℃·d 和 442.5℃·d。

利用滑动 t 检验对上海日平均气温稳定通过 0°C 、 10°C 活动积温进行突变检测,子序列长度为 10,信度为 0.01,检测结果显示,上海日平均气温稳定通过 0°C 、 10°C 活动积温在 1980 年代中后期有一次突变过程,与年平均气温的突变点较为一致。日平均气温稳定通过 0°C 的突变点具体为 1929 年、1931 年、1936 年、1981 年、1985 年,稳定通过 10°C 活动积温的突变点为 1936 年、1988 年、1992 年。与年平均气温一样,上海日平均气温稳定通过 0°C 、 10°C 活动积温均无显著周期(信度为 0.05)。

日平均气温稳定通过 10°C 的初日平均为 4 月 1 日,终日平均为 11 月 17 日,初终日数平均为 230 天。初日平均每 10 年提前 0.7 天,终日平均每 10 年推后 0.9 天,初日、终日、初终日数的线性趋势均通过了 0.001 的显著性检验。

日平均气温稳定通过 0°C 、 10°C 活动积温的增加及初、终日数的延长,有利于农作物的生长,为干物质积累、产量形成提供了丰富的热量资源。

3.3 无霜冻期的变化

无霜冻期是评价热量资源的重要指标,是一年内终霜冻日至初霜冻日之间的持续日数,通常用地面最低温度稳定大于 0°C 终、初日期间的天数来表示^[5]。无霜冻期用来表示一个地区喜温作物可以生长的时间,表示了该地区热量资源的丰富程度。

上海地区 1945 年~2006 年无霜冻期平均为 248 天,各年无霜冻期在 213 天~305 天,最长和最短无霜冻期相差了 92 天。最近 10 年(1997 年~2006 年)无霜冻期明显增加,10 年平均为 282 天,比 1945 年~1996 年多出 42 天。上海地区无霜冻期有显著延长的趋势,平均每 10 年增加 8.7 天,线性增加趋势达到了 0.001 的信度检验(图 3)。

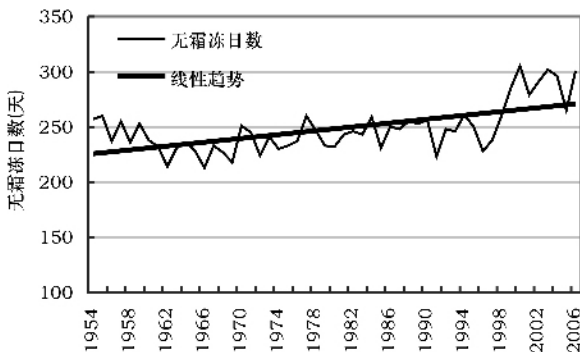


图3 上海 1873 年~2006 年无霜冻期

Fig.3 Period without frost in Shanghai during 1873~2006

地面最低温度稳定大于 0°C 初日平均为 3 月 22 日,终日平均为 11 月 26 日,其中初日平均每 10 年提前 4.9 天,终日平均每 10 年推迟 3.7 天,两者的线性趋势均通过了 0.001 的显著性检验。

4 降水资源的变化

大气降水是水分资源的重要组成部分,降水量的多少,决定了一个地区的干湿程度。在相同的光照、热量条件下,降水量的丰歉程度对作物的生长发育及产量的形成起到了重要作用。上海处于副热带季风区域,降水集中在汛期(6 月~9 月),年内各月降水差异较大,6 月最多,12 月最少。

4.1 上海地区百年降水变化特征

上海地区 133 年年平均降水量为 1 163.0 mm,年最大降水量为 1 793.7 mm(1999 年),年最小降水量为 709.2 mm(1892 年)。对 1874 年~2006 年的降水资料进行统计分析,结果表明,上海地区春季降水有明显的增加趋势,平均每 10 年增加 31.8 mm,线性趋势通过了 0.1 信度的显著性检验,夏、冬及年度的降水量略有增加,平均每 10 年分别增加 34.8mm、18.6mm 和 72.1 mm;秋季的降水量略有减少,平均每 10 年减少 11.1 mm。

4.2 降水集中,暴雨日数增多

降水的丰富程度对于作物的品质和产量起到决定性作用,但过分集中的降水,却给农业生产带来不利影响。集中降水经常使农田受淹、肥料流失、农业成本增加,在作物收获季节,还会使果实浸水后发芽霉烂,造成损失。

上海地区 133 年中共出现 423 天暴雨(日降水量 ≥ 50 mm),平均每年有 3.2 天。年暴雨日数最多为 10 天,出现在 1999 年。133 年中有 8 年未出现暴雨,占总年数的 6%。从变化趋势上看,暴雨日数有增加的趋势,但不显著,平均每 10 年增加 0.1 天。1 年中暴雨主要出现在 6 月~9 月,占全年暴雨日数的 87.5%,其中 7 月最多,共出现暴雨 104 天,其次是 6 月。在 133 年中,2 月和 12 月未出现暴雨,1 月只出现了 1 天暴雨(1901 年 1 月 20 日)。

大暴雨(日降水量 ≥ 100 mm)的出现,会给社会经济带来更大的影响。上海地区 133 年共有大暴雨 45 天,8、9 月份占了 64.4%。大暴雨出现最多的月份为 8 月,共出现了 15 天,其次是 9 月,共有 14 天大暴雨。日降水量大于 200 mm 的大暴雨共有两天,其中 2001 年 8 月 6 日的日最大降水量为 278 mm,为 133 年中日降水量最大值。

4.3 春涝

由于春季降水有增多的趋势,春涝灾害不容忽视。定义4月~5月份总降水量大于等于250 mm为春涝年。133年中共有春涝年30年,平均每4月~5月出现一次。1977年出现了最为严重的春涝,4月、5月份降水量达到了398.7 mm。从年代际变化情况看,1950年代最多,共出现了5年春涝,1960年代次之,有4年春涝。2000年代的前7年,已发生1次较为严重的春涝,出现在2002年,4月、5月份降水量为375.6 mm,在133年中列第三位。

为了对上海4月~5月出现春涝的可能性进行深入研究,我们对4月~5月降水量进行正态检验和概率估算。一般认为,年降水量服从正态分布,年尺度以下的降水量是否服从正态分布则需要进行正态性检验。正态性检验的方法有正态分布的偏度和峰度检验、W检验、柯尔莫哥洛夫检验等。本文选用Shapiro-Wilk提出的W检验法,对上海4月~5月降水量进行正态性检验,显著性水平取 $\alpha = 0.05$ 。经计算,W统计量的值为0.9725, p 值 < 0.05 ,所以上海4月~5月降水量不服从正态分布。利用开立方对上海4月~5月降水量进行正态转换,重新计算后W统计量的值为0.9942, p 值为0.8680, p 值明显大于0.05,所以转换后的降水量服从正态分布。对正态转换后的数据进行概率估算,结果表明,上海4月~5月出现春涝的概率为20.43%。

4、5月份是小麦开花、灌浆、成熟期和油菜开花及角果成熟期,过多的降水会增加小麦湿害的可能性,赤霉病害发生加重,油菜则容易招致油菜菌核病的侵袭,造成减产,应引起有关部门的重视。

4.4 秋旱

秋旱主要出现在秋分(9月23日前后)至小雪(11月23日前后)之间。这期间持续30天以上不下透雨(日降水量小于10 mm,且统计时段内平均日降水量小于0.7 mm)为秋旱,持续40以上不下透雨为严重秋旱。本文先统计了历年9月23日至11月23日不下透雨的最长日数,利用4.3节正态检验和概率估算的方法,对上海出现秋旱的概率进行估算,显著性水平取 $\alpha = 0.05$ 。结果显示,上海不下透雨最长日数序列不服从正态分布,经开立方转换后,W统计量的值为0.9868, p 值为0.2332, p 值大于0.05,序列服从正态分布。对转换后的序列进行概率估算,得到上海出现秋旱的概率为50.72%,出现严重秋旱的概率为27.67%。

1990年以来,除1993年、2000年、2001年以外,其他年份都不同程度受到了秋旱的影响,其中严重秋旱年共有8年,出现频率大于百年平均值。1997年8月27日起上海连续80天未下透雨,80天的合计雨量为35.1 mm,是历史上较为严重的秋旱年。

秋旱对于晚稻成熟及收割等较为有利,但严重秋旱将影响三麦和油菜的播种及出苗,所以要加强水利设施的建设,通过人工灌溉等措施,降低灾害的影响程度。

5 光能资源的变化

太阳辐射总量和日照时数是衡量一个地区光能资源好坏的主要技术指标。太阳辐射是地球上一切生命的能量源泉,绿色植物90%~95%的干物质是由叶绿素吸收太阳辐射能量、同化 CO_2 和水制成的。地面观测点受到太阳直接辐射辐照度大于和等于 102 W/m^2 的累计时间称为日照时数^[15],日照时数的长短对于作物的生长发育起到重要作用。

5.1 辐射的变化

上海地区年总辐射平均为 $4\,609.7 \text{ MJ/m}^2$,最小值 $3\,906.4 \text{ MJ/m}^2$ (2002年),最大值 $5\,278.8 \text{ MJ/m}^2$ (1971年)。年内总辐射量分布不均,7月最多,12月最少,两者相差了1倍多。总辐射有明显的减少趋势,平均每10年减少 102.1 MJ/m^2 ,线性趋势通过了0.01的显著性检验。年内,1月总辐射的减少趋势最显著,其次是8月和7月。

上海地区年水平面直接辐射平均为 $2\,164.7 \text{ MJ/m}^2$,最小值 $1\,641.2 \text{ MJ/m}^2$ (2002年),最大值 $2\,871.5 \text{ MJ/m}^2$ (1967年)。水平面直接辐射有明显的减少趋势,平均每10年减少 156.2 MJ/m^2 ,线性趋势通过了0.001的显著性检验。水平面直接辐射7月最多,1月最少。由于6月正值上海的梅雨季节,所以6月水平面直接辐射明显小于5月和7月。

上海地区年散射辐射平均为 $2\,437.2 \text{ MJ/m}^2$,最小值 $2\,103.9 \text{ MJ/m}^2$ (1961年),最大值 $2\,724.6 \text{ MJ/m}^2$ (1982年)。散射辐射有明显的增加趋势,平均每10年增加 47.6 MJ/m^2 ,线性趋势通过了0.01的显著性检验。

5.2 日照时数略有减少

上海地区全年的日照时数平均为 $1\,898.2 \text{ h}$,最多为 $2\,276.9 \text{ h}$ (1967年),最少为 $1\,458.8 \text{ h}$ (1948年)。各月日照时数在 $113.9 \text{ h} \sim 228.9 \text{ h}$,8月最多,2月最少。4月~10月间,除6月受梅雨系统影响,多阴雨天气,日照小于 150 h 外,其他各月均在 150 h 以上。

从趋势上看,年日照时数线性趋势不显著,平均每10年减少1.1 h。在各季节变化上,春季和冬季线性趋势略有增加,夏季和秋季略有减少(图4)。

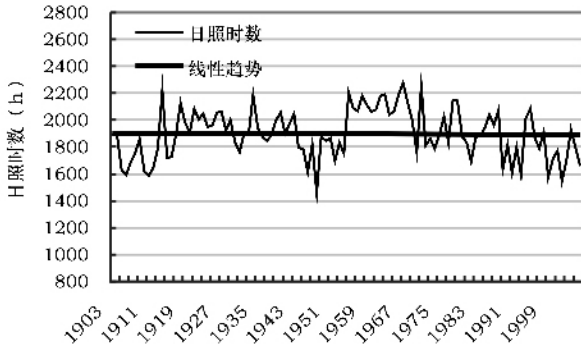


图4 上海1903年~2006年日照时数

Fig.4 Sunshine duration over Shanghai during 1903~2006

6 结论

(1)在全球气候变暖的大背景下,上海地区热量资源明显增加,日平均气温稳定通过 0°C 、 10°C 活动积温平均每10年分别增加 $52.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 和 $49.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。年内,冬季和秋季温度的增加最为明显。冬季热量的增加有利于冬季作物群体分蘖的发展,使幼穗分化提前,但作物群体的抗逆性能下降,如冬末春初遇冷空气侵袭,极易受到低温伤害,所以要引起有关部门的注意。

(2)上海地区的水分资源丰富,降水主要集中在6月~9月,年平均降水量为1 163.0 mm。春季降水有增加的趋势,容易引起春涝,影响小麦和油菜的产量和品质。上海出现春涝的概率为20.43%。秋季降水有减少的趋势,出现秋旱的概率为50.72%,出现严重秋旱的概率为27.67%。秋旱对水稻的成熟和收割是有利的,水稻品种应选择晚熟品种,并在灌浆期不能断水过早,要充分利用光、温资源增加千粒重、提高产量。要注意严重秋旱对二麦、油菜等作物的播种和出苗的影响。上海地区的暴雨主要出现在8月~9月,暴雨日数有增加的趋势,特大暴雨经常使农田受淹,作物倒伏和腐烂,造成巨大损失。所以要加强农田设施完善和建设,并在暴雨多发季节,加强田间管理,清理沟系,减轻暴雨带来的损失。

(3)上海地区年总辐射、水平面直接辐射、散射辐射平均分别为 $4\ 609.7\ \text{MJ}/\text{m}^2$ 、 $2\ 164.7\ \text{MJ}/\text{m}^2$ 、 $2\ 437.2\ \text{MJ}/\text{m}^2$,总辐射、水平面直接辐射有减少的趋势,散射辐射有增加的趋势。上海地区辐射资源的这些变化特征可能与人类活动引起的温室气体和硫

化物等气溶胶排放增加有关^[13]。上海地区日照时数平均为1 898.2 h,气候变化的趋势不明显。从光能资源的总量上看,基本能满足上海地区作物、果树等生长发育的需要。

20世纪70年代,上海在合理利用农业气候资源方面取得了先进的经验,如长兴岛因其周围的水体效应,冻害少且强度弱的特点,大面积引种柑桔取得了成功。在气候变暖背景下,如何更好地开发利用气候资源,调整耕作制度,合理引进优良的品种,还需要进一步的研究,本文为有关部门在农业决策方面提供参考。

参考文献 (References):

- [1] 丁一汇,任国玉,石广玉,等.气候变化国家评估报告(Ⅰ):中国气候变化的历史和未来趋势[J].气候变化研究进展,2006,2(1):3~8. [DING Yi-hui, REN Guo-yu, SHI Guang-yu, et al. National assessment report of climate change(Ⅰ): climate change in china and its future trend[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(1):3~8.]
- [2] 肖风劲,张海东,王春乙,等.气候变化对我国农业的可能影响及适应性对策[J].自然灾害学报,2006,15(6):327~331. [XIAO Feng-jin, ZHANG Hai-dong, WANG Chun-yi, et al. Impact of climatic change on agriculture and its adaptation countermeasures in China[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2006, 15(6):327~331.]
- [3] 周小珊,陈力强,李辑,等.全球气候变暖条件下沈阳若干气候特征的变化[J].高原气象,2005,24(5):823~828. [ZHOU Xiao-shan, CHEN Li-qiang, LI Ji, et al. Change of some climate characteristic in shenyang under global warming condition[J]. *Plateau Meteorology*, 2005, 24(5):823~828.]
- [4] 张谋草,段金省,李宗等.气候变暖对黄土高原塬区农作物生长和气候生产力的影响[J].资源科学,2006,28(6):46~50. [ZHANG Mou-cao, DUAN Jin-sheng, LI Zong-yan, et al. Impact of climate warming on crop growth and climate productivity in Plain Area of the Loess Plateau[J]. *Resources Science*, 2006, 28(6):46~50.]
- [5] 王建源,薛德强,邹树峰,等.气候变暖对山东省农业的影响[J].资源科学,2006,28(1):163~168. [WANG Jian-yuan, XUE De-qiang, ZOU Shu-feng, et al. Impact of global warming on agriculture in shandong province of China[J]. *Resources Science*, 2006, 28(1):163~168.]
- [6] 雷水玲.全球气候变化对宁夏春小麦生长和产量的影响[J].中国农业气象,2001,22(2):33~40. [LEI Shui-ling. Effect of global climate change on spring wheat growth in Ningxia[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2001, 22(2):33~40.]
- [7] 赵峰,千怀遂,焦士兴.农作物气候适宜度模型研究[J].资源科学,2003,25(6):77~82. [ZHAO Feng, QIAN Huai-sui, JIAO Shi-xing. The Climatic suitability model of crop[J]. *Resources Science*, 2003, 25(6):77~82.]
- [8] 唐国平,李秀彬,Guenther Fischer,等.气候变化对中国农业生产的影响[J].地理学报,2000,55(2):129~137. [TANG Guo-ping, LI Xiu-bin, Guenther Fischer, et al. Climate change and its

- impacts on China's agriculture[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2005, 55(2): 129 ~ 137.]
- [9] 张润杰,何新风.气候变化对农业害虫的潜在影响[J].生态学杂志,1997,16(6):36 ~ 40. [ZHANG Run-jie, HE Xin-feng. Potential Effects of climate change on agricultural insect pests[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1997, 16(6): 36 ~ 40.]
- [10] 陈红梅,张耀存,何凤翩,等.百余年来上海冬夏季降水与太平洋海温的相关关系及其年代际差异[J].南京大学学报(自然科学),2005,41(3):223 ~ 233. [CHEN Hong-mei, ZHANG Yao-cun, HE Feng-pian, et al. Correlations between the precipitation in Shanghai and sea surface temperature in the pacific ocean and interdecadal variations[J]. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 2005, 41(3): 223 ~ 233.]
- [11] 周丽英,杨凯.上海降水百年变化趋势及其城郊的差异[J].地理学报,2001,56(4):467 ~ 476. [ZHOU Li-ying, YANG Kai, Variation of precipitation in Shanghai during the last one hundred years and precipitation differences between city and suburb[J]. *Journal of Geographical Sciences* 2001, 56(4): 467 ~ 476.]
- [12] 江志红,丁裕国.近百年上海气候变暖过程的再认识[J].应用气象学报,1999,10(2):151 ~ 159. [JIANG Zhi-hong, DING Yu-guo. Renewed study on the warming process of Shanghai during the past 100 years[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1999, 10(2): 151 ~ 159.]
- [13] 徐家良.近百余年来上海两次增暖期的特征对比及其成因[J].地理学报,2000,55(4):501 ~ 506. [XU Jia-liang. Features of two warming periods and their causes in Shanghai for the last 127 years[J]. *Journal of Geographical Sciences* 2000, 55(4): 501 ~ 506.]
- [14] 魏凤英.现代气候统计诊断预测技术[M].北京:气象出版社,1996. [WEI Feng-yin, Modern Climate Statistics and Prediction Technology[J]. Beijing: Meteorological Press, 1996.]
- [15] 《大气科学辞典》编委会.大气科学辞典[M].北京:气象出版社,1994. [“ Atmospheric Science Dictionary ” Editorial Board. Atmospheric Science Dictionar[M]. Beijing: Meteorological Press, 1994.]

Change Characteristics of Shanghai's Agroclimatic Resources in the Last Hundred Years

ZHOU Wei-dong¹, ZHU Jie-hua², WANG Yan-qin³, LI Jun¹

(1. Shanghai Climate Center, Shanghai 200030, China; 2. Shanghai Meteorological Sci-Tech Service Center, Shanghai 200030, China; 3. Shanghai Weather Center, Shanghai 200030, China)

Abstract: Using observation data including temperature, rainfall, radiation and sunlight hours for the period of 1873 ~ 2006, we analyzed long-term changes in agroclimatic resources in Shanghai in the context of global climate warming. The analysis included statistical methods such as running T-test, Yamamoto's test, and power spectrum analysis. Results indicate that the heat resources of Shanghai increased over the study period. Specifically, the annual average temperature of Shanghai exhibited a clear trend of increase at a rate of 0.14°C/10a. This increase is most distinct during winter and autumn (0.16°C/10a). The cumulative temperature corresponding to the five-day running average temperature for days reaching 0°C and 10°C showed clear increasing trends, with rates of 52.6°C·d/10a and 49.6°C·d/10a, respectively. Increased temperatures during autumn and winter may result in a gradual reduction of the capacity of agricultural crops to withstand cold. As for long-term changes in Shanghai's water resources, statistical analysis shows that annual rainfall increased slightly and spring rainfall increased markedly, while autumn rainfall decreased slightly. Analysis using normality tests and probability estimation shows that floods and droughts tended to occur primarily during spring (20.43% probability) and fall (50.72%). Annual heavy rainfall events increased over time. Long-term changes in water resources, especially related to floods and droughts, will inevitably exert influences on Shanghai's agricultural development. Measures should be adopted to relieve pressure from floods or droughts and facilitate adaptation. As for long-term changes in light energy resources, results indicate that total radiation and horizontal direct radiation decreased, by respective rates of 102.1MJ·m⁻²/10a and 156.2MJ·m⁻²/10a. Meanwhile, scattered radiation increased at a rate of 47.6MJ·m⁻²/10a. In addition, the duration of sunshine hours in Shanghai decreased slightly over the study period. The total amount of sunlight energy available can satisfy the needs for crop growth.

Key words: Climate warming; Agroclimatic resources; Long-term change; Shanghai