

文章编号: 1000-2022(2004) 03-0420-08

NCEP/NCAR 再分析温度资料在 农业气象中的应用可行性

李兆芹¹, 姚益平², 姚克敏¹

(1. 南京气象学院 应用气象学系, 江苏 南京 210044;

2. 金华市气象台, 浙江 金华 321000)

摘要:为探讨 NCEP/NCAR 再分析温度网格资料在农业气象研究中的应用价值, 以北京、南京、广州、昆明、郑州和三亚 6 个气象台站的实测地面气象资料为依据, 证明了 NCEP/NCAR 再分析温度网格资料的可靠性。进一步用 Cressman 插值、双线性二次插值、抛物线二次插值以及先抛物线插值后线性插值等 4 种插值方法, 用 NCEP/NCAR 再分析温度网格资料对上述 6 站的地面日平均气温进行了插值计算, 并对不同插值方法的结果作了比较。结果表明, 站点纬度较高时(30°N 以北), 应用双线性二次内插法插值效果较好, 精度略低; 站点纬度较低时(30°N 以南), 应用 Cressman 插值法插值效果好, 精度也高。这可能是较高纬度缺测资料较多造成的。利用 NCEP/NCAR 再分析网格温度插值资料分析两系法杂交水稻在泰国的制种气候适应性证明该资料在农业气象研究中是可以应用的。

关键词: NCEP/NCAR 再分析温度网格资料; 插值法; 杂交稻制种; 气候适应性

中图分类号: P448 **文献标识码:** A

NCEP/NCAR 再分析温度资料(1958—2000 年)是由美国国家环境预报中心(NCEP)与美国国家大气研究中心(NCAR)协作, 对来源于地面、船舶、无线电探空、探空气球、飞机、卫星等的气象观测资料进行同化处理后, 研制的全球气象资料数据库。该分析资料可靠性强, 已广泛应用于大气科学研究中。采用多元统计方法插补延长气象观测纪录早在 20 世纪 50 年代即已流行^[1-2]。20 世纪末, 主分量分析(PC-CCA)和自然正交函数分析 EOF 等一系列方法也被应用于资料序列的延长和缺测值的插补中^[3-5]。但统计方法分析局限在大量实测值存在的条件下进行。我国传统农业气象通常是根据各地农业生产的需要, 用地面气象台站的观测资料作平行分析研究。随着经济全球化以及农业产业化进程的迅速发展, 我国传统的农业面临着以现代化、商品化、国际化为主要特征的产业结构改革。处于农业产业结构改革中的农业气象研究对气象资料有了进一步的要求, 主要表现在: (1) 需要全球各地的气象资料作引种或气候适应性分析; (2) 需要不同地形、不同海拔, 特别是中、小尺度地形下的气象资料用作区域气候资源利用与研究。我国气象台站的资料已很难满足农业产业改革和结构调整的需求, 获取气象资料也

收稿日期: 2003-05-12; 改回日期: 2003-09-29

基金项目: 国家 863 计划基金资助项目(2001AA211151)

作者简介: 李兆芹(1978-), 女, 山东沂南人, 硕士生, 研究方向: 应用气象学。

比较困难。本文以北京、南京、广州、昆明、郑州和三亚 6 个气象台站的实测地面气象资料为依据, 用与 6 站相邻的 NCEP/NCAR 再分析温度网格资料, 计算了上述 6 站的地面旬平均气温, 采用 4 种不同插值方法对日平均温度进行内插, 比较了插值效果, 以期引起农业气象研究者对 NCEP/NCAR 再分析温度网格资料的充分关注, 为农业气象研究提供一条有效获取气象资料的新途径。

1 资料与插值方法

1.1 资料

(1) 北京(116. 47 E, 39. 80 N)、南京(118. 80 E, 32. 00 N)、广州(113. 32 E, 23. 13 N)、昆明(102. 68 E, 25. 02 N)、郑州(113. 65 E, 34. 72 N) 和三亚(109. 52 E, 18. 23 N) 6 个气象台站的实测逐日气温资料来源于《全国地面气象记录月报》。

(2) NCEP/NCAR 资料由南京气象学院大气资料服务中心提供。资料分为 A、B、C、D 4 类。地面气温资料属于 A 类, 该类资料主要取决于观测值, 对模式的依赖性较小。资料场为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬网格点资料。资料以网格二进制 GRIB 存放, 数据文件扩展名为 GRB, 可用 GRADS 软件读取数据文件* . GRB。为满足农业气象研究的需要, 需进一步利用 Fortran 程序将* . GRB 输出为顺序、无格式的十进制* . DAT 文件。本文采用 NCEP/NCAR 地面气温资料为源文件, 在* . DAT 文件的基础上进行分析。

1.2 插值方法

以数值计算方法理论^[6]为依据, 参考中尺度数值预报模式 MM5 中将大尺度气象要素场插值到中尺度区域上的方法¹⁾, 本文选定下列插值法。

(1) Cressman 插值

Cressman 插值的基本思想是先根据被插值站点与四周网格点的距离, 计算 4 网格点对被插值站点权重, 再将各网格上的温度值与各权重相乘, 计算被插值站点上的温度值。插值示意图如图 1a 所示。计算公式如下

$$W_s = \begin{cases} \frac{R^2 - r_s^2}{R^2 + r_s^2}, & r_s < R; \\ 0, & r_s \geq R_o. \end{cases} \tag{1}$$

$$r_s^2 = (I - I_s)^2 + (J - J_s)^2. \tag{2}$$

$$T(I, J) = \frac{\sum_{s=1}^4 W_s \times T_s}{\sum_{s=1}^4 W_s}. \tag{3}$$

其中, W_s 为权重, R^2 为站点到网格点的最大距离的平方, r_s^2 为站点到网格点的距离, J, I 分别为被插值站点的经纬度, J_s, I_s 分别为网格点的经纬度, $T(I, J)$ 为站点温度值, T_s 为网格点温度值, s 为所取网格点数。

在本文中, 根据距离最近原则, 将北京四周的网格点取为(115. 0 E, 37. 5 N), (117. 5 E, 37. 5 N), (115. 0 E, 40. 0 N), (117. 5 E, 40. 0 N)。南京取为(117. 5 E, 30. 0 N), (120. 0 E, 30. 0 N), (117. 5 E, 32. 5 N), (120. 0 E, 32. 5 N)。广州取为(112. 5 E, 22. 5 N), (115. 0 E,

1) Guide of using MM5. Http://www.mmm.ncar.edu.cn

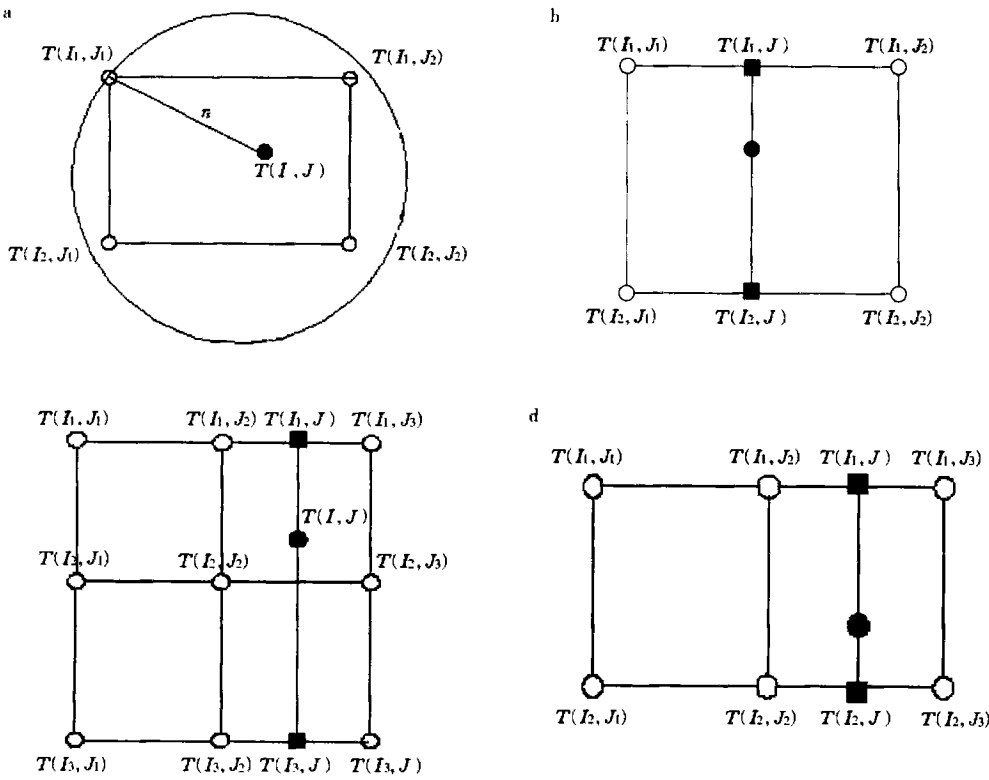


图 1 4 种不同插值法的插值示意图

a. Cressman 插值; b. 双线性二次插值; c. 抛物二次插值; d. 先抛物后线性插值

Fig. 1 Schematic diagram of four different interpolation methods

a. Cressman interpolation; b. bilinear interpolation;

c. parabolic interpolation; d. parabolic and linear interpolation

22.5 N), (112.5 E, 25.0 N), (115.0 E, 25.0 N)。三亚取为(107.5 E, 17.5 N), (110.0 E, 17.5 N), (107.5 E, 20.0 N), (110.0 E, 20.0 N)。昆明取为(102.5 E, 25.0 N), (105.0 E, 25.0 N), (102.5 E, 27.5 N), (105.0 E, 27.5 N)。郑州取为(112.5 E, 32.5 N), (115.0 E, 32.5 N), (112.5 E, 35.0 N), (115.0 E, 35.0 N)。

(2) 双线性二次插值

双线性二次插值方法是先纬向后经向, 或先经向后纬向上进行一元一次线性插值。计算分析表明: 插值顺序不会影响插值结果。插值示意图如图 1b 所示。

一元一次线性插值公式^[6]为

$$L_1(x) = \frac{x - x_1}{x_0 - x_1}y_0 + \frac{x - x_0}{x_1 - x_0}y_1 \quad (4)$$

先在 I_1 和 I_2 纬向上进行线性一次插值:

$$T(I_1, J) = \frac{J - J_2}{J_1 - J_2}T(I_1, J_1) + \frac{J - J_1}{J_2 - J_1}T(I_1, J_2), \quad (5)$$

$$T(I_2, J) = \frac{J - J_2}{J_1 - J_2}T(I_2, J_1) + \frac{J - J_1}{J_2 - J_1}T(I_2, J_2)。 \quad (6)$$

再在 J 经向上进行线性一次插值:

$$T(I, J) = \frac{I - I_2}{I_1 - I_2} T(I_1, J) + \frac{I - I_1}{I_2 - I_1} T(I_2, J)。 \quad (7)$$

其中, $T(I_1, J_1)$, $T(I_1, J_2)$, $T(I_2, J_1)$, $T(I_2, J_2)$ 分别为对应网格点上的温度值, $T(I_1, J)$, $T(I_2, J)$ 分别是 I_1 纬度, I_2 纬度上的一次线性插值结果, $T(I, J)$ 是插值所得的站点温度值。

插值过程中各站四周网格点的选取与 Cressman 插值方法相同。

(3) 抛物线二次内插

地表热力性质的差异造成地表温度变化的纬向非均匀性, 故本文考虑应用抛物线二次插值对 NCEP/NCAR 再分析温度网格资料进行插值。插值示意图如图 1c 所示。

抛物二次插值是先分别在 I_1, I_2, I_3 纬向上, 再在 J 经向上进行一元抛物线插值。

一元抛物插值公式^[6]为

$$g(x) = \frac{(x - x_1)(x - x_2)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2)} y_0 + \frac{(x - x_0)(x - x_2)}{(x_1 - x_0)(x_1 - x_2)} y_1 + \frac{(x - x_0)(x - x_1)}{(x_2 - x_0)(x_2 - x_1)} y_2。 \quad (8)$$

在 I_1 纬向上:

$$T(I_1, J) = \frac{(J - J_2)((J - J_3))}{(J_1 - J_2)(J_1 - J_3)} T(I_1, J_1) + \frac{(J - J_1)(J - J_3)}{(J_2 - J_1)(J_2 - J_3)} T(I_1, J_2) + \frac{(J - J_1)(J - J_2)}{(J_3 - J_1)(J_3 - J_2)} T(I_1, J_3)。 \quad (9)$$

在 I_2 纬向上:

$$T(I_2, J) = \frac{(J - J_2)((J - J_3))}{(J_1 - J_2)(J_1 - J_3)} T(I_2, J_1) + \frac{(J - J_1)(J - J_3)}{(J_2 - J_1)(J_2 - J_3)} T(I_2, J_2) + \frac{(J - J_1)(J - J_2)}{(J_3 - J_1)(J_3 - J_2)} T(I_2, J_3)。 \quad (10)$$

在 I_3 纬向上:

$$T(I_3, J) = \frac{(J - J_2)((J - J_3))}{(J_1 - J_2)(J_1 - J_3)} T(I_3, J_1) + \frac{(J - J_1)(J - J_3)}{(J_2 - J_1)(J_2 - J_3)} T(I_3, J_2) + \frac{(J - J_1)(J - J_2)}{(J_3 - J_1)(J_3 - J_2)} T(I_3, J_3)。 \quad (11)$$

在 J 经向上:

$$T(I, J) = \frac{(I - I_2)((I - I_3))}{(I_1 - I_2)(I_1 - I_3)} T(I_1, J) + \frac{(I - I_1)(I - I_3)}{(I_2 - I_1)(I_2 - I_3)} T(I_2, J) + \frac{(I - I_1)(I - I_2)}{(I_3 - I_1)(I_3 - I_2)} T(I_3, J)。 \quad (12)$$

其中, $T(I_1, J_1)$, $T(I_1, J_2)$, $T(I_1, J_3)$, $T(I_2, J_1)$, $T(I_2, J_2)$, $T(I_2, J_3)$, $T(I_3, J_1)$, $T(I_3, J_2)$, $T(I_3, J_3)$ 分别为相应网格点上的温度值。 $T(I_1, J)$, $T(I_2, J)$, $T(I_3, J)$ 分别为 I_1 纬度, I_2 纬度, I_3 纬度上的一元抛物插值结果, $T(I, J)$ 是站点上的温度插值结果。

根据距离最近原则, 将北京站周围的网格点取为(115.0 E, 37.5 N), (117.5 E, 37.5 N), (120.0 E, 37.5 N), (115.0 E, 40.0 N), (117.5 E, 40.0 N), (120.0 E, 40.0 N) 以及 (115.0 E, 42.5 N), (117.5 E, 42.5 N), (120.0 E, 42.5 N)。南京、广州、三亚、昆明、郑州 5 站的网格点按相同原则选取。

(4) 先抛物插值再线性插值

插值的基本思想是先在纬向上进行一元抛物插值, 再在经向上进行线性插值。具体情况如

图 1d 所示。纬向 I_1, I_2 上插值见公式 (9) 和 (10)。 J 经向上进行一次线性插值见公式 (7)。

根据距离最近原则, 考虑到温度随纬度变化比随经度变化大, 作先抛物插值再线性插值时, 北京站周围的网格点取为 (115.0 E, 37.5 N), (117.5 E, 37.5 N), (120.0 E, 37.5 N), (115.0 E, 40.0 N), (117.5 E, 40.0 N), (120.0 E, 40.0 N)。南京、广州、昆明、郑州、三亚也按相同原则选取。

2 结果与分析

2.1 NCEP/NCAR 再分析温度网格资料的可用性

为验证 NCEP/NCAR 再分析温度网格资料的可用性, 任取 1976 年的资料, 以本文选取的 6 个站点作为比较点, 在不进行任何插值的情况下, 取最靠近站点经纬度网格点上的温度值进行旬平均计算, 即取北京 (117.5 E, 40.0 N)、南京 (120.0 E, 32.0 N)、广州 (112.5 E, 22.5 N)、昆明 (102.5 E, 25.0 N)、三亚 (110.0 E, 17.5 N)、郑州 (112.5 E, 35.0 N), 再将网格点温度的旬平均值与实际站点资料的旬平均值相比较。其中 1976 年的比较结果如图 2 所示。

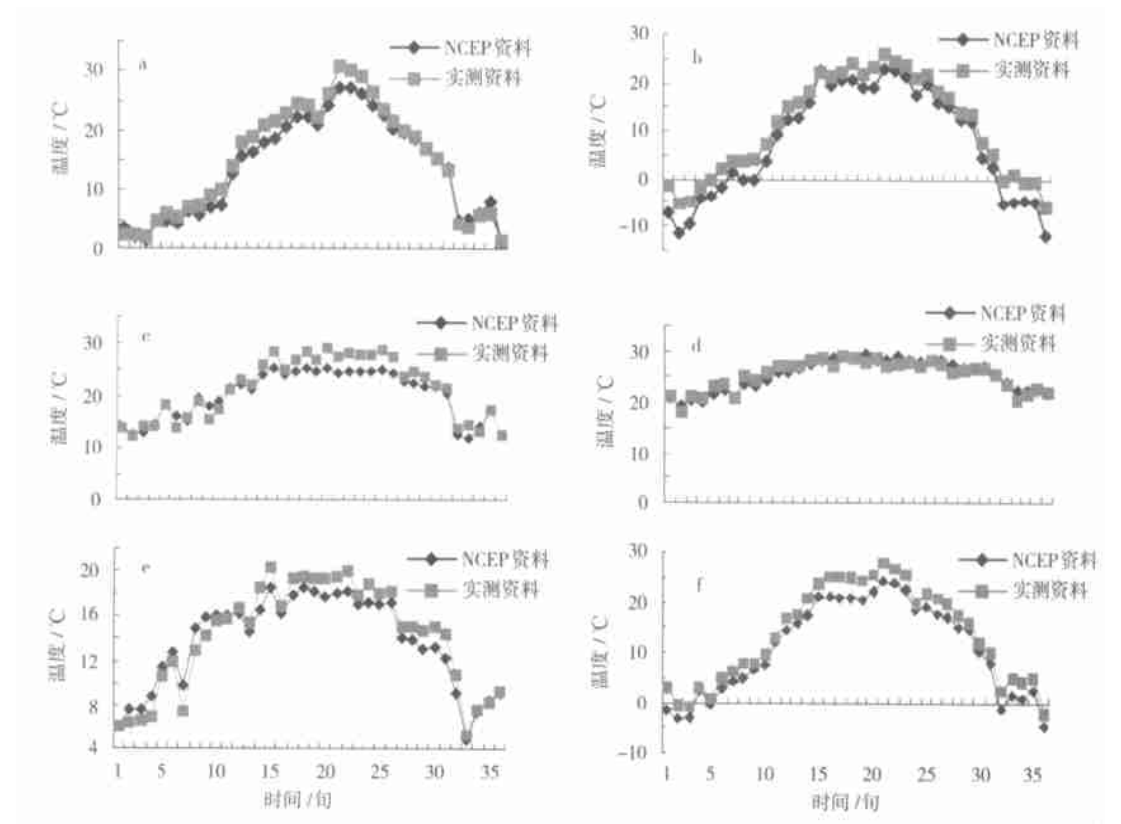


图 2 1976 年 6 个站点 NCEP 资料与实测资料的旬平均温度值

a. 南京; b. 北京; c. 广州; d. 三亚; e. 昆明; f. 郑州

Fig.2 Comparison of dekad mean temperature between the NCEP and observation data in 1976

a. Nanjing; b. Beijing; c. Guangzhou; d. Sanya; e. Kunming; f. Zhengzhou

由图 2 可知, 用 NCEP/NCAR 网格点温度的旬平均值与站点实测温度的旬平均值的 变化趋势一致, 数值也相差不大。南京、北京、广州、三亚、昆明和郑州的网格点旬平均温度与站点 实测温度的旬平均值的均方误差依次为 1.71, 3.62, 1.98, 0.61, 1.05, 3.21; 相关系数均达

0. 99。充分说明用距离站点最近的经纬网格点上的旬平均温度值代替台站上的旬平均温度值是可行的。这为农业气象研究提供了一种获取温度资料的新途径。

2. 2 插值效果与应用分析

(1) 精度指标

本文选用均方误差(S)、平均相对误差(r_e)和相关系数(r)作为精度指标。其中 S 、 r_e 均用以反映插值场数值的偏差, 但 S 侧重于描述插值场与实测场的离散程度, 而 r_e 侧重于数值的偏差大小的描述。 r 用以表示插值场与实测场的相似程度。

均方误差

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x}_i)^2 / m},$$

(13)

平均相对误差

$$r_e = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left| \frac{x_i - \bar{x}_i}{x_i} \right|,$$

(14)

相关系数

$$r = \frac{\sum_{i=1}^M (x_i - \bar{x}_i)(x_i - \bar{x}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^M (x_i - \bar{x}_i)^2 \sum_{i=1}^M (x_i - \bar{x}_i)^2}}。$$

(15)

$x_i, \bar{x}_i$ 分别是第 i 天测站的实测值和网格点插值, $\bar{x}_i, \bar{x}_i$ 分别是 M 天内测站和网格点插值的平均值。 m, M 均为样本天数, 在插值精度描述中均为 366 d; 在网格点资料的可用性的证明中均取为 36 d。

(2) 不同插值算法的效果比较

将不同插值算法应用于 6 个站点的网格日平均温度插值效果见表 1。

表 1 1976 年 4 种插值法在 6 个站点的插值效果

Table 1 Comparison of interpolation results from four interpolation methods at six stations in 1976

测站	Cressan 插值			双线性二次插值			抛物线二次插值			先抛物线再线性插值		
	S	r_e	r	S	r_e	r	S	r_e	r	S	r_e	r
北 京	21. 20	2. 14	0. 98	20. 95	2. 11	0. 98	26. 35	2. 11	0. 98	20. 59	2. 13	0. 98
南 京	5. 96	0. 45	0. 99	3. 59	0. 36	0. 99	3. 73	0. 37	0. 99	3. 82	0. 37	0. 99
广 州	4. 95	0. 09	0. 96	5. 54	0. 09	0. 97	6. 45	0. 10	0. 96	6. 34	0. 10	0. 96
郑 州	7. 47	0. 44	0. 98	6. 87	0. 42	0. 98	7. 07	0. 42	0. 98	7. 24	0. 42	0. 98
三 亚	1. 67	0. 04	0. 96	1. 75	0. 04	0. 98	1. 71	0. 04	0. 93	1. 73	0. 04	0. 93
昆 明	3. 29	0. 12	0. 96	2. 79	0. 12	0. 94	2. 89	0. 12	0. 95	2. 89	0. 12	0. 95

另取 1986 年进行计算分析。插值结果见表 2。

由表 1 和表 2 可知: 综合考虑 S, r_e 和 r 3 项指标, (1) 广州和三亚(30°N 以南) 应用 Cressman 插值的均方误差最小, 1976(1986) 年依次为 4. 95(6. 83) 和 1. 67(1. 61), 平均相对误差分别为 0. 09(0. 10) 和 0. 04(0. 04), 相关系数都达到 0. 95 以上。(2) 南京, 郑州以及昆明 3 站

则以双线性二次插值法效果较好, 1976(1986) 年的均方误差分别为 3. 59(3. 18) , 6. 87(6. 78) 和 2. 79(2. 26) , 平均相对误差分别为 0. 36(0. 31) , 0. 42(0. 74) 和 0. 12(0. 11) , 相关系数均达 0. 94 以上。(3) 北京则是抛物二次插值法效果相对较好。将 6 站的插值精度由高到低依次排列为三亚, 广州, 昆明, 南京, 郑州, 北京, 表明插值精度似有随纬度降低而增加、自西向东增加的趋势。这与徐影等^[7]得出的 NCEP/ NCAR 再分析温度资料在我国东部和低纬的可信度比在西部和高纬高一致。其原因尚有待分析。

表 2 1986 年 4 种插值法在 6 个站点的插值效果

Table 2 Comparison of interpolation results from four interpolation methods at six stations in 1986

测站	Cressan 插值			双线性二次插值			抛物线二次插值			先抛物线再线性插值		
	<i>S</i>	<i>r_e</i>	<i>r</i>	<i>S</i>	<i>r_e</i>	<i>r</i>	<i>S</i>	<i>r_e</i>	<i>r</i>	<i>S</i>	<i>r_e</i>	<i>r</i>
北 京	27. 58	2. 00	0. 98	26. 84	1. 98	0. 98	26. 35	1. 98	0. 97	26. 51	1. 99	0. 98
南 京	3. 36	0. 36	0. 99	3. 18	0. 31	0. 99	3. 44	0. 33	0. 99	3. 47	0. 33	0. 99
广 州	6. 83	0. 10	0. 96	7. 59	0. 11	0. 96	8. 84	0. 12	0. 96	8. 63	0. 12	0. 96
郑 州	7. 26	0. 78	0. 98	6. 78	0. 74	0. 98	6. 88	0. 76	0. 98	6. 98	0. 67	0. 98
三 亚	1. 61	0. 04	0. 95	1. 70	0. 04	0. 95	1. 57	0. 04	0. 94	1. 63	0. 04	0. 95
昆 明	3. 32	0. 12	0. 97	2. 26	0. 11	0. 96	2. 67	0. 12	0. 96	2. 66	0. 12	0. 96

(3) NCEP/ NCAR 再分析温资料在杂交稻制种气候适应性分析中的应用^[8]

为了推动我国农业产业的国际化进程, 将我国首创的两系法杂交稻生产技术推向世界, 作者曾利用 NCEP/ NCAR 再分析温度资料对曼谷、清迈两地 1980—1997 年的缺失的逐日温度资料进行了补值。分析了我国的两系杂交稻在泰国主要产稻区代表地曼谷和清迈的育性气候适应性, 给出了 90 %、95 %、100 % 保证率下安全制种和繁殖的最早、最晚播种期, 计算了相应的风险概率。分析表明: 培矮 64S 在曼谷和清迈两地均可安全制种, 但两地都不适宜在低海拔稻区繁殖。这为我国首创的两系法杂交稻技术在泰国的推广应用提供了可靠的农业气候依据。

3 结 论

(1) NCEP/ NCAR 再分析温度资料的旬平均可以直接应用在农业气象研究中。如应用在推断某一发育期时的积温计算等。

(2) 北半球 30 N 以北地区, 4 种插值法的插值精度均较低, 以双线性插值效果相对较好; 30 N 以南的地区插值精度较高, 4 种插值算法中 Cressman 插值效果最好。插值平均相对误差均在 0. 12 以内。

(3) NCEP/ NCAR 再分析温度网格资料本身就考虑了地形, 故本文的分析适用于不同海拔高度的复杂地形地区。

(4) 本文的研究为农业气象研究人员获取较小区域或本国国土以外的温度资料提供了一条途径。

参考文献:

[1] 么枕生. 中国境内农业指标温度的出现日期、持续日期与积温[J]. 地理学报, 1957, 23(2) : 183—204.

- [2] Brooks C E P, Carruthers N. Handbook of Statistical Methods in Meteorology[M]. London: Her Majesty's Stationery office, 1953.
- [3] 江志红, 屠其璞, 丁裕国. 基于 PC-CCA 方法的气象场资料插补试验[J]. 南京气象学院学报, 1999, 22(2): 141-147.
- [4] Shen S S P, North G R, Kin K Y. Spectral approach to optimal estimation of the global average temperature[J]. J Climate, 1994, 7(12): 1999-2007.
- [5] 江志红, 屠其璞, 丁裕国. 气象场序列几种插补方案的对比试验[J]. 南京气象学院学报, 2001, 22(3): 352-359.
- [6] 陈启航. 计算方法[M]. 北京: 气象出版社, 1991.
- [7] 徐影, 丁一汇, 赵宗慈. 美国 NCEP/NCAR 近 50 年全球在分析资料在我国气候变化研究中可信度的初步分析[J]. 应用气象学报, 2001, 12(3): 337-347.
- [8] 李兆芹, 姚克敏. 培矮 64S 在泰国的育性适应性分析[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(6): 101-108.

Feasibility of the Application of NCEP/NCAR Reanalysis Temperature Data to Agricultural Meteorology Research

LI Zhao-qin¹, YAO Yi-ping², YAO Ke-min¹

(1. Department of Applied Meteorology, NIM, Nanjing 210044, China;

2. Jinhua Weather Center, Jinhua 321000, China)

Abstract: In order to explore the applied value of the NCEP/NCAR reanalysis temperature data in studies on agricultural meteorology and environmental meteorology, this paper demonstrates the reliability of the NCEP/NCAR data in context of the real ground surface observational data in Beijing, Nanjing, Guangzhou, Zhengzhou, Kunming, as well as Sanya. Using four kinds of interpolation methods, namely Cressman interpolation, parabolic interpolation, linear interpolation, parabolic and linear interpolation, the daily surface average temperatures of the NCEP/NCAR data are interpolated to the above six stations, and results from different interpolational methods are compared. Results show, for stations on a higher latitude north of 30°N, the bilinear interpolation method is better, but its accuracy is slightly lower. And for stations on a lower latitude south of 30°N, the Cressman interpolation is better, and more accurate. This may be related to that there are more missing data in the higher latitude. The paper proves that applying the interpolated temperature data to the analysis of the climatic adaptation of the seed production of two-line hybrid rice Pei'ai 64S in Thailand is feasible.

Key words: NCEP/NCAR reanalysis temperature data; interpolation methods; climatic adaptation; seed production of hybrid rice