

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2014.04.016

CRU 数据集在黑龙江省 ET_0 计算中的应用

戚颖^{1,2}, 王斌², 黄金柏³, 李新虎⁴, 施枫芝⁴

(1. 东北林业大学林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 东北农业大学水利与建筑学院, 黑龙江 哈尔滨 150030;
3. 扬州大学水利与能源动力工程学院, 江苏 扬州 225009; 4. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 针对我国参考作物蒸发蒸腾量(ET_0)计算中存在的气象数据不易获取、现有作物需水量数据空间分辨率较低等问题,以黑龙江省为例,基于 10 min 分辨率的 CRU CL 2.0 数据集,采用 FAO Penman-Monteith 公式建立了适于计算区域 ET_0 的栅格模型,并应用黑龙江省 14 个气象站的实测气象数据对该模型计算成果进行了验证。结果表明:采用 CRU CL 2.0 数据计算区域 ET_0 是可行的,其计算结果与应用实测气象数据计算所得的 ET_0 符合较好,不仅可以细化我国 ET_0 和作物需水量研究成果,也为气象资料缺乏情况下的 ET_0 计算提供了一种新的计算模式。

关键词: 参考作物蒸发蒸腾量; CRU 数据集; 栅格计算模型; 黑龙江省

中图分类号: S161.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2014)04-0367-05

Application of CRU dataset to calculation of ET_0 of Heilongjiang Province

QI Ying^{1,2}, WANG Bin², HUANG Jinbai³, LI Xinhui⁴, SHI Fengzhi⁴

(1. College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China;

2. College of Water Conservancy and Building Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;

3. College of Hydraulic, Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;

4. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: In the calculation of reference crop evapotranspiration (ET_0) in China, meteorological data are difficult to access, and there is a low spatial resolution of the data on crop water requirements. To solve these problems, a grid computing model for ET_0 was developed using the FAO Penman-Monteith equation in a case study in Heilongjiang Province. A dataset of CRU (climatic research unit) CL 2.0 with a resolution of 10 minutes was used to construct the model. This model was validated with observed meteorological data from 14 meteorological stations in Heilongjiang Province. The results show that the performance of the model is acceptable. The ET_0 calculated with the model agreed with that calculated using observed meteorological data. Results from the present research not only help refine the research results of ET_0 and crop water requirements in China, but also provide an innovative model for calculating ET_0 in regions lacking meteorological data.

Key words: reference crop evapotranspiration; CRU dataset; grid computing model; Heilongjiang Province

国内外广泛采用作物系数修正参考作物蒸发蒸腾量(ET_0)的方法间接推求作物需水量^[1-4], ET_0 多采用 FAO Penman-Monteith (FAO P-M) 公式计算^[4-15]。20 世纪 80 年代,我国曾动员 200 多个试验站和近千名人员历时 8 年完成了中国主要农作物需水量等值线图协作研究工作,但由于受站点数量限制,所得作物需水量的空间分辨率不高,如在黑龙江省仅有 17 个站点控制和反映 ET_0 及作物需水量的空间变异情况。研究表明,

收稿日期: 2013-03-25

基金项目: 国家自然科学基金(51009026, 41271046); 黑龙江省教育厅科学技术研究项目(12531024)

作者简介: 戚颖(1979—),女,山东威海人,讲师,博士研究生,主要从事水土保持及生态安全研究。E-mail: angelying79@163.com

通信作者: 王斌,副教授。E-mail: wangbin0454@163.com

作物系数在空间上的变化不大,而 ET_0 在空间上的变化较大,对作物需水量的影响也比作物系数大得多^[1]。因此,提高作物需水量空间分辨率的关键在于能否计算出高分辨率的 ET_0 。研究和应用 ET_0 往往需要多年多点的大量气象数据^[10-15],获取数据一般需履行出具证明、会员注册及审核、签署协议等一系列程序,对于科研和实践而言不太方便。笔者采用 CRU CL 2.0 数据集的部分数据,基于 FAO P-M 公式^[3] 建立 ET_0 栅格计算模型,以期 为计算较高分辨率的 ET_0 提供一种简易方法。

1 数据来源

CRU CL 2.0 数据集基于国际交换站提供的气象资料建立,覆盖了全球陆地,空间分辨率为 10 min,在时间上跨越 1961—1990 年,可从 <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/tmc/> 免费获取。以黑龙江省为例,选用的 CRU CL 2.0 数据(包括高程、平均气温、气温日较差平均值、相对湿度、实际日照时数占最大可能日照时数的百分数、10 m 风速),图 1 即是从该数据集中提取的黑龙 江省 DEM 及 7 月份平均气温栅格数据(共计 1960 个),其他月份的各种气象数据格式与图 1(b)完全相同。

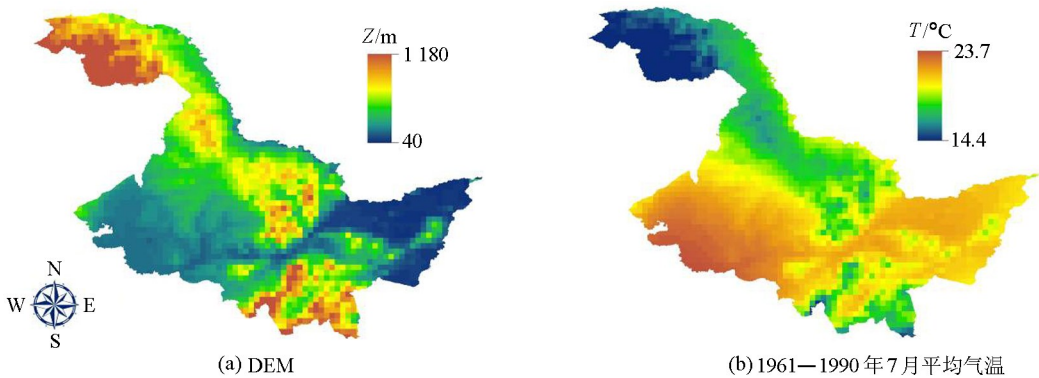


图 1 从 CRU CL 2.0 数据集中提取的黑龙 江省数据
Fig. 1 CRU CL 2.0 dataset over Heilongjiang Province

另外,在黑龙 江省选取参加地面气候资料国际交换的 14 个气象站作为验证点,采用的数据为 1961—1990 年的逐日最高气温、最低气温、平均气温、相对湿度、风速和日照时数,这些数据及站点信息来自中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>)。

2 ET_0 计算方法

采用 FAO P-M 公式^[3] 计算 14 个气象站逐日 ET_0 ,并将逐日 ET_0 统计为 30 a 的 ET_0 月份平均值。与气象站的单点 ET_0 计算不同,应用 CRU CL 2.0 的 6 种数据,采用 FAO P-M 公式建立 ET_0 栅格计算模型时部分变量计算如下:

$$T_{\max i,j} = T_{i,j} + \frac{\Delta t_{i,j}}{2} \tag{1}$$

$$T_{\min i,j} = T_{i,j} - \frac{\Delta t_{i,j}}{2} \tag{2}$$

式中: i,j ——栅格在区域中的行标记和列标记; $T_{\max i,j}$ ——栅格的最高气温,℃; $T_{\min i,j}$ ——栅格的最低气温,℃; $T_{i,j}$ ——栅格平均气温,℃; $\Delta t_{i,j}$ ——栅格的气温日较差平均值,℃。

由于每行栅格中心线所处的纬度相同,将此纬度作为该行所有栅格的纬度:

$$\varphi_i = \frac{\varphi_{\text{top}} - 0.166\,667(i - 0.5)}{180} \pi \tag{3}$$

式中: φ_i ——第 i 行栅格的纬度,rad; φ_{top} ——计算区域上边界的纬度;0.166 667——10 min 对应的角度,(°);0.5——栅格中心标记。

$$n_{i,j} = p_{\text{sun } i,j} N_i \tag{4}$$

式中: $n_{i,j}$ ——栅格的实际日照时数,h; $p_{\text{sun } i,j}$ ——实际日照时数占最大可能日照时数的比例,%; N_i ——第 i 行

栅格的最大可能日照时数,h。

此外,在栅格空间尺度,参考文献[3]对各种变量计算方法的规定,实际水汽压应用相对湿度、最高气温和最低气温数据计算,日序数、土壤热通量采用月份公式计算,计算气压、晴空太阳辐射等所需的高程数据用DEM 数据代替,2 m 高处风速由 10 m 高处风速转换得到。

3 计算结果分析

限于篇幅,仅给出栅格计算模型在 7 月份的计算成果,见图 2。根据气象站地理坐标,从区域 ET_0 计算成果中提取的各气象站月份 ET_0 见表 1,应用实测气象数据计算得到的各气象站各月份 ET_0 见表 2,采用相对误差评价应用栅格计算模型和 CRU CL 2.0 数据得到的 ET_0 计算精度见表 3。

相对误差计算公式如下:

$$\delta_{RE} = \frac{|ET_{0,CRU} - ET_{0,OMD}|}{ET_{0,OMD}} \times 100\%$$
 (5)

式中: δ_{RE} ——相对误差,%; $ET_{0,CRU}$ ——采用栅格计算模型和 CRU CL 2.0 数据得到的各月 ET_0 , $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$;
 $ET_{0,OMD}$ ——采用 P-M 公式和实测气象数据得到的各月 ET_0 , $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

表 1 采用栅格计算模型和 CRU CL 2.0 数据得到的 ET_0

Table 1 ET_0 obtained by grid computing model and CRU CL 2.0 dataset mm/d

站点	ET_0											
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
呼 玛	0.034	0.125	0.615	1.869	3.370	3.918	3.807	3.131	2.085	1.125	0.234	0.045
嫩 江	0.094	0.213	0.837	2.440	4.038	4.359	3.910	3.349	2.417	1.517	0.446	0.128
孙 吴	0.094	0.204	0.735	2.145	3.574	3.927	3.750	3.198	2.236	1.414	0.394	0.106
克 山	0.131	0.270	0.980	2.609	4.150	4.467	4.014	3.497	2.575	1.646	0.554	0.177
齐齐哈尔	0.192	0.389	1.261	2.965	4.575	4.843	4.325	3.828	2.920	1.850	0.667	0.248
海 伦	0.144	0.287	1.026	2.663	4.155	4.443	4.058	3.527	2.621	1.678	0.605	0.197
富 锦	0.182	0.305	0.902	2.271	3.499	3.814	3.851	3.338	2.496	1.521	0.594	0.200
安 达	0.210	0.396	1.276	3.020	4.580	4.789	4.258	3.762	2.926	1.882	0.739	0.287
哈尔滨	0.219	0.378	1.248	2.997	4.500	4.619	4.155	3.654	2.871	1.861	0.783	0.308
通 河	0.185	0.334	1.093	2.643	3.923	4.095	3.959	3.486	2.609	1.658	0.682	0.245
尚 志	0.224	0.379	1.166	2.749	4.045	4.169	3.942	3.501	2.669	1.718	0.750	0.300
鸡 西	0.268	0.432	1.153	2.525	3.628	3.746	3.710	3.365	2.614	1.671	0.742	0.308
牡丹江	0.249	0.439	1.220	2.643	3.875	3.878	3.836	3.456	2.624	1.692	0.764	0.316
绥芬河	0.315	0.471	1.141	2.416	3.415	3.394	3.402	3.192	2.509	1.672	0.783	0.363

表 2 采用 P-M 公式和实测气象数据得到的 ET_0

Table 2 ET_0 obtained by Penman-Monteith equation and observed meteorological data mm/d

站点	ET_0											
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
呼 玛	0.080	0.230	0.823	2.191	3.718	4.188	3.804	2.983	1.915	1.050	0.234	0.060
嫩 江	0.112	0.280	1.046	2.715	4.427	4.594	3.937	3.282	2.282	1.411	0.413	0.118
孙 吴	0.115	0.265	0.874	2.334	3.703	3.936	3.612	2.906	2.006	1.212	0.351	0.107
克 山	0.135	0.326	1.167	2.823	4.371	4.661	4.114	3.462	2.430	1.456	0.465	0.139
齐齐哈尔	0.230	0.520	1.550	3.257	4.821	5.096	4.476	3.828	2.793	1.738	0.660	0.250
海 伦	0.138	0.331	1.153	2.778	4.225	4.551	4.053	3.368	2.384	1.414	0.492	0.147
富 锦	0.234	0.433	1.175	2.624	3.914	4.159	4.071	3.329	2.488	1.587	0.670	0.250
安 达	0.231	0.487	1.529	3.365	4.966	5.143	4.469	3.801	2.842	1.793	0.709	0.267
哈尔滨	0.241	0.458	1.473	3.300	4.819	4.876	4.269	3.591	2.755	1.773	0.751	0.309
通 河	0.199	0.382	1.177	2.639	3.868	4.059	3.803	3.107	2.275	1.388	0.567	0.222
尚 志	0.220	0.393	1.167	2.604	3.891	4.068	3.827	3.164	2.216	1.356	0.565	0.257
鸡 西	0.344	0.603	1.452	2.980	4.203	4.227	4.052	3.433	2.553	1.666	0.764	0.354
牡丹江	0.259	0.509	1.413	2.917	4.127	4.120	3.980	3.400	2.402	1.490	0.672	0.275
绥芬河	0.371	0.562	1.300	2.703	3.745	3.511	3.492	3.078	2.236	1.567	0.779	0.400

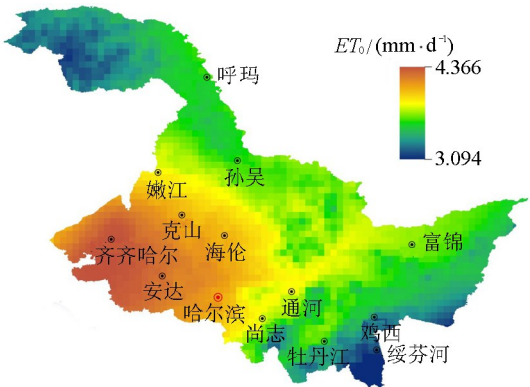


图 2 栅格计算模型得到的黑龙江省 7 月份 ET_0
Fig. 2 ET_0 in July in Heilongjiang Province obtained by grid computing model

表3 采用栅格计算模型和 CRU CL 2.0 数据得到的 ET_0 相对误差

Table 3 Relative errors of ET_0 obtained by grid computing model and CRU CL 2.0 dataset												%
站点	相对误差											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
呼玛	135.3	84.0	33.8	17.2	10.3	6.9	0.1	4.7	8.2	6.7	0.0	33.3
嫩江	19.1	31.5	25.0	11.3	9.6	5.4	0.7	2.0	5.6	7.0	7.4	7.8
孙吴	22.3	29.9	18.9	8.8	3.6	0.2	3.7	9.1	10.3	14.3	10.9	0.9
克山	3.1	20.7	19.1	8.2	5.3	4.3	2.5	1.0	5.6	11.5	16.1	21.5
齐齐哈尔	19.8	33.7	22.9	9.8	5.4	5.2	3.5	0.0	4.3	6.1	1.0	0.8
海伦	4.2	15.3	12.4	4.3	1.7	2.4	0.1	4.5	9.0	15.7	18.7	25.4
富锦	28.6	42.0	30.3	15.5	11.9	9.0	5.7	0.3	0.3	4.3	12.8	25.0
安达	10.0	23.0	19.8	11.4	8.4	7.4	5.0	1.0	2.9	4.7	4.1	7.0
哈尔滨	10.0	21.2	18.0	10.1	7.1	5.6	2.7	1.7	4.0	4.7	4.1	0.3
通河	7.6	14.4	7.7	0.2	1.4	0.9	3.9	10.9	12.8	16.3	16.9	9.4
尚志	1.8	3.7	0.1	5.3	3.8	2.4	2.9	9.6	17.0	21.1	24.7	14.3
鸡西	28.4	39.6	25.9	18.0	15.8	12.8	9.2	2.0	2.3	0.3	3.0	14.9
牡丹江	4.0	15.9	15.8	10.4	6.5	6.2	3.8	1.6	8.5	11.9	12.0	13.0
绥芬河	17.8	19.3	13.9	11.9	9.7	3.4	2.6	3.6	10.9	6.3	0.5	10.2

由表1、表2及表3可以看出,应用栅格计算模型和 CRU CL 2.0 数据计算的 ET_0 与采用 FAO P-M 公式和实测气象数据得到的 ET_0 值总体较接近,相对误差较大的月份集中在 ET_0 数值较小的冬季(11月、12月、1—3月);另经统计,表3数据中分别有58.3%、85.7%、94.6%的相对误差在10%、20%、30%以内,这表明采用栅格计算模型和 CRU CL 2.0 气象数据计算区域 ET_0 是可行的,能够满足实践要求。

4 结 论

- a. 采用栅格计算模型和易获取的 CRU CL 2.0 数据计算区域 ET_0 是可行的,所得 ET_0 的空间分辨率能够达到10 min,计算精度较高,为气象数据缺乏情况下的 ET_0 计算提供了一种简易适用的方法。
- b. 由于 CRU CL 2.0 数据集覆盖全球陆地,采用 ET_0 栅格计算模型不仅能够计算黑龙江省全境1960个栅格的 ET_0 ,还可推广应用于计算全国的 ET_0 ,从而细化和丰富我国农作物需水量研究成果。
- c. 我国实际布设的气象台站规模远大于参加地面气候资料国际交换站的数目,若能构建与 CRU CL 2.0 类似的气象数据集,其分辨率和插值精度必将高于 CRU CL 2.0 数据集,这样本文模型不需更改结构即可实现更高分辨率的 ET_0 计算。

参考文献:

[1] 中国主要农作物需水量等值线图协作组. 中国主要农作物需水量等值线图研究[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1993.

[2] DOOREBBOS J, KASSAM A H. Yield response to water[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979.

[3] ALLEN R G, PEREIRA L S, RAES D, et al. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements[M]. Rome: FAO Irrigation and Drainage,1998.

[4] SL 13—2004 灌溉试验规范[S].

[5] 丁加丽, 彭世彰, 徐俊增, 等. 控制灌溉条件下水稻蒸发蒸腾量及作物系数试验研究[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2006, 34(3): 239-242. (DING Jiali, PENG Shizhang, XU Junzeng, et al. Experimental study on evapotranspiration and crop coefficient of rice under controlled irrigation[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2006, 34(3): 239-242. (in Chinese))

[6] 张瑞美, 彭世彰, 徐俊增, 等. 不同 e_a 计算方法对 Penman-Monteith 公式的影响[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2006, 34(6): 660-663. (ZHANG Ruimei, PENG Shizhang, XU Junzeng, et al. Influence of e_a on calculation of reference crop evapotranspiration with Penman-Monteith formula[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2006, 34(6): 660-663. (in Chinese))

[7] 丁加丽, 彭世彰, 徐俊增, 等. 基于温度资料的参考作物蒸发蒸腾量计算方法[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2007, 35(6): 633-637. (DING Jiali, PENG Shizhang, XU Junzeng, et al. Calculation method for reference crop evapotranspiration

based on temperature data[J]. Journal of Hohai University:Natural Sciences, 2007, 35(6): 633-637. (in Chinese))

[8] 张莉, 彭世彰, 罗玉峰, 等. 辐射参数计算方法对参考作物蒸发蒸腾量计算值的影响[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2008, 36(3): 306-310. (ZHANG Li, PENG Shizhang, LUO Yufeng, et al. Influence of calculation methods for radiation parameters on the calculated reference crop evapotranspiration[J]. Journal of Hohai University:Natural Sciences, 2008, 36(3): 306-310. (in Chinese))

[9] 庞桂斌, 彭世彰, 丁加丽, 等. 南方气候区草坪草需水规律试验研究[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2009, 37(2): 143-146. (PANG Guibin, PENG Shizhang, DING Jiali, et al. Evapotranspiration from turfgrass under south China climate conditions[J]. Journal of Hohai University:Natural Sciences, 2009, 37(2): 143-146. (in Chinese))

[10] 倪广恒, 李新红, 丛振涛, 等. 中国参考作物腾发量时空变化特性分析[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 1-4. (NI Guangheng, LI Xinhong, CONG Zhentao, et al. Temporal and spatial characteristics of reference evapotranspiration in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(5): 1-4. (in Chinese))

[11] 曾丽红, 宋开山, 张柏, 等. 近 60 年来东北地区参考作物蒸散量时空变化[J]. 水科学进展, 2010, 21(3): 194-200. (ZENG Lihong, SONG Kaishan, ZHANG Bai, et al. Spatiotemporal variability of reference evapotranspiration over the northeast region of China in the last 60 years[J]. Advances in Water Science, 2010, 21(3): 194-200. (in Chinese))

[12] 蔡辉艺, 余钟波, 杨传国, 等. 淮河流域参考蒸散发量变化分析[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2012, 40(1): 76-82. (CAI Huiyi, YU Zhongbo, YANG Chuanguo, et al. Analysis of variation of reference evapotranspiration in Huaihe Basin[J]. Journal of Hohai University:Natural Sciences, 2012, 40(1): 76-82. (in Chinese))

[13] 段春锋, 缪启龙, 曹雯, 等. 西北地区小型蒸发皿资料估算参考作物蒸散[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 94-99. (DUAN Chunfeng, MIAO Qilong, CAO Wen, et al. Estimation of reference crop evapotranspiration by Chinese pan evaporation in Northwest China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(4): 94-99. (in Chinese))

[14] 樊军, 王全九, 郝明德. 利用小蒸发皿观测资料确定参考作物蒸散量方法研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 14-17. (FAN Jun, WANG Quanjiu, HAO Mingde. Estimation of reference crop evapotranspiration by Chinese pan [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(7): 14-17. (in Chinese))

[15] 李志. 参考作物蒸散简易估算方法在黄土高原的适用性[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 106-111. (LI Zhi. Applicability of simple estimating method for reference crop evapotranspiration in Loess Plateau[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(6): 106-111. (in Chinese))

• 简讯 •

第 6 届国际洪水管理大会将在巴西圣保罗召开

第 6 届国际洪水管理大会(ICFM6)将于 2014 年 9 月 16—18 日在巴西圣保罗举行,由巴西水资源协会(Brazilian Water Resource Association)承办。会议主题为“变化环境中的洪水”,共设有 7 个议题:(a)城市洪水;(b)气候变化中的洪水;(c)特大城市中的洪水风险管理;(d)气候变化对洪水风险的影响;(e)土地利用、洪水、泥石流与水土流失;(f)洪水预报与早期预警系统;(g)通过社区防灾预备建设防洪社会。国际洪水管理大会(International Conference on Flood Management)原名为“国际防洪大会”(International Symposium on Flood Defense),是具有国际影响力的防洪减灾研讨会,至今已经连续举办了 5 届。有关会议详情可登录 <http://icfm6.com/> 查询。

(本刊编辑部供稿)