

不同 ET_0 计算方法在内蒙古东部地区适用性比较

汤鹏程¹, 何 蒙², 苗 澍¹, 郭克贞¹, 任 杰¹, 王海瑞³

(1. 中国水利水电科学研究院牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010020;
2. 河北省水利科学研究院, 河北 石家庄 050000; 3. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘 要: 内蒙古东部地区, 土地资源丰富, 但气象站点偏少, 相关气象资料匮乏, 应用 FAO56 Penman-Monteith 法计算 ET_0 在多数地区相对困难。依据内蒙古东部地区典型气象站点(通辽气象站)1974—2013 年 40 年气象资料, 以 FAO56 Penman-Monteith 法作为标准, 以 FAO-17 Penman 法、Hargreaves-Samani 法、Priestley-Taylor 法、Irmak-Allen 拟合法分别对 ET_0 进行计算, 就其与 FAO56 Penman-Monteith 法的相关性进行分析。结果表明, Hargreaves-Samani 法和 Priestley-Taylor 法的计算结果要明显高于 FAO56 Penman-Monteith 法计算所得的结果, 不适合内蒙古东部地区应用; FAO-17 Penman 法结果与 FAO56 Penman-Monteith 法相关性最好, 但是 4—9 月份相对误差较大; Irmak-Allen 拟合法结果最接近 FAO56 Penman-Monteith 法(相对误差 < 19%, $R^2 > 0.92$), 计算简单且所需气象资料最少, 更适宜内蒙古东部地区缺测气象条件下 ET_0 的计算。

关键词: 参考作物蒸发蒸腾量(ET_0); ET_0 计算方法; Irmak-Allen 拟合法; 内蒙古东部
中图分类号: S161.4 **文献标志码:** A

Suitability comparison of different ET_0 estimating methods in eastern part of Inner Mongolia

TANG Peng-cheng¹, HE Meng², MIAO Shu¹, GUO Ke-zhen¹, REN Jie¹, WANG Hai-rui³

(1. Institute of Water Resources for Pasture Area of IWHR, Hohhot, Inner Mongolia 010020, China;
2. Hebei Institute of Water Conservancy Scientific Research, Shijiazhuang, Hebei 050000, China;
3. Water Conservancy and Civil Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University Hohhot, Inner Mongolia 010020, China)

Abstract: In eastern part of Inner Mongolia, the land resource is rich, but fewer meteorological station and lack of related meteorological data, so application of FAO56 Penman-Monteith method to calculate ET_0 in most areas is rather difficult. This paper according to the 40 a (1974—2013) meteorological data from typical meteorological station (Tongliao) in eastern part of Inner Mongolia, taking FAO56 Penman-Monteith formula as the standard and FAO-17 Penman method, Priestley-Taylor method, Hargreaves-Samani method, Irmak-Allen fitting method as control, calculated the ET_0 respectively. At the same time, carried out the relativity analysis with the FAO56 Penman-Monteith method. The results showed that: The calculation results by Priestley-Taylor method and Hargreaves-Samani method were obviously higher than the FAO56 Penman-Monteith method, so these two methods were not suitable to use in eastern part of Inner Mongolia. The correlation was the best by FAO-17 Penman method, but the relative error in April to September was rather big. The calculation result by Irmak-Allen fitting method was the most close to the FAO56 Penman-Monteith method (relative error < 19%, correlation coefficient $R^2 > 0.92$), which needs less meteorological data and simple calculation. Therefore, the Irmak-Allen fitting method is more suitable to calculate the ET_0 in eastern part of Inner Mongolia which is lack meteorological data.

Keywords: reference crop evapotranspiration; ET_0 calculation method; Irmak-Allen fitting method; eastern part of Inner Mongolia

内蒙古东部地区土地资源丰富, 但该地区水资源不足, 严重制约了其粮食生产能力, 针对该地区参考作物腾发蒸腾量(ET_0)的研究, 有助于大幅度提高其水资源利用效率^[1], 使其土地资源与光热资源

优势得到充分发挥。 ET_0 的获取是计算作物需水量的关键^[2-4]。国际粮农组织(FAO)推荐采用 FAO56 Penman-Monteith 公式作为计算 ET_0 的标准方法,由于该方法较全面地考虑了影响作物蒸发、蒸腾的各种因素,并且在气候条件差异较大的不同地区均取得了较好的应用效果。但由于内蒙古东部地区气象站点有限,气象资料匮乏,应用 FAO56 Penman-Monteith 法相对困难,需采用一种所需资料少且计算精度较高的替代方法^[5-7]。通辽市是内蒙古节水增量计划实施的重点地区,为此本文选择通辽市 1974—2013 年 40 年间逐日气象资料,以 FAO56 Penman-Monteith 法为标准方法,分析 Priestley-Taylor 法、FAO-17 Penman、Hargreaves-Samani 法和 Irmak-Allen 拟合法 ET_0 计算结果与其相关性,评价各方法的适用性,为缺测气象数据条件下内蒙古东部地区 ET_0 适宜计算方法的选取提供依据^[8-10]。

1 材料与方法

1.1 数据来源与计算方法

计算所涉及的气象资料来自国家气象资料中心,包括通辽市气象站(区站号 54135)1974—2012 年逐日气象资料,计算方法如下:

(1) FAO56 Penman-Monteith 公式(FAO56 PM 法)^[11-14]:

根据重新定义的 ET_0 概念,FAO 提供了新的 ET_0 计算式,即:

$$ET_0 = \frac{0.408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

式中, ET_0 为参考作物蒸发蒸腾量($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$); R_n 为冠层表面净辐射($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); G 为土壤热通量($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); T 为平均气温($^{\circ}\text{C}$); u_2 为高度 2.0 m 处风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); e_s 为饱和水汽压(kPa); e_a 为实际水汽压(kPa); Δ 为饱和水汽压与温度曲线的斜率($\text{kPa} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$); γ 为湿度计常数($\text{kPa} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$)。

(2) FAO17 PM 法^[11]

1979 年联合国粮农组织推荐的彭曼修正式(FAO-17 Penman),该方法需要气温、相对湿度、日照时数、风速资料,公式如下:

$$ET_{0p} = \frac{\frac{p_0}{p}(a_1 + b_1 u_2)(e_s - e_a) + \frac{\Delta}{\gamma} R_n}{\frac{p_0}{p} \frac{\Delta}{\gamma} + 1.0} \quad (2)$$

式中, ET_{0p} 为 FAO17 Penman 法得到的 ET_0 ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$); p_0 为海平面气压(hPa); p 为本站气压

(hPa); $a_1 = 0.26, b_1 = 0.14$; R_n 为冠层表面净辐射($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); e_s 为饱和水汽压(kPa); e_a 为实际水汽压(kPa)。

(3) Priestley-Taylor 法(PT 法)^[11]

Priestley-Taylor(1972)以平衡蒸发为基础,假设周围环境湿润的前提下,忽略空气动力学项而得出的简化方程,该方法由于需要输入参数较少而得到广泛应用,其公式如下:

$$ET_{0PT} = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) \quad (3)$$

式中, ET_{0PT} 为应用 Priestley - Taylor 法所得的 ET_0 ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$), α 值为经验系数,一般取 1.26; R_n 为冠层表面净辐射($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); G 为土壤热通量($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)。

(4) Irmak-Allen 拟合法(IA 拟合法)^[11]

根据美国湿润地区资料得到的经验公式,该方法需要气温、日照时数、地理位置资料。

$$ET_{0IA} = 0.489 + 0.289R_n + 0.023T \quad (4)$$

式中, ET_{0IA} 为应用 IA 拟合法所得的 ET_0 ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$); T 为平均气温($^{\circ}\text{C}$)。

(5) Hargreaves-Samani 法(HS 法)^[11]

该方法在缺少辐射资料的地区得到广泛的应用,并被证明是一种有效的估算方法,该方法只需要气温和地理位置数据。

$$ET_{0HS} = 0.0023R_a(T + 17.8)TD^{0.5} \quad (5)$$

式中, ET_{0HS} 为应用 HS 法所得的 ET_0 ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$); TD 为最高与最低气温之差($^{\circ}\text{C}$); R_a 为天顶辐射($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$),可由温度估算得到; T 为平均气温($^{\circ}\text{C}$)。

1.2 研究区概况与代表性分析

通辽市地处内蒙古东部(北纬 $42^{\circ}15' \sim 45^{\circ}41'$ 、东经 $119^{\circ}15' \sim 123^{\circ}43'$ 之间),年粮食产量占内蒙古粮食总产量的 1/4,是内蒙古自治区的粮食主产区,平均海拔在 150 ~ 400 m 之间,平均降水量在 220 ~ 650 mm 之间,基本代表了内蒙古东部地区半干旱大陆性季风气候与沙质冲积平原的地理特点。

1.3 数据处理

为更好地反映各计算方法在不同降雨频率下的适用性,依降水保证率的不同,将通辽地区不同年份划分为干旱水文年、正常水文年和湿润水文年(一般把保证率为 25% 的降雨年份作为湿润水文年,50% 保证率的降雨年份作为中等水文年,75% 保证率的降雨年份作为干旱年,而把接近 95% 保证率的年份作为特别干旱年),计算过程如下:

(1) 样本数: $n = 30$ (选用 30 a 降雨数据进行研究), $N = 5 \times \lg 30 = 5 \times 1.477 = 7.386$, 取 $N = 8$ (组),

选最大值 665 mm(1990 年),取 $A_{\max} = 680$;最小值 217.5 mm(2006 年),取 $B_{\min} = 200$ 。

$$D = \frac{A_{\max} - B_{\min}}{N} = 60 \text{ mm}$$

(6)

组界:上限 680 mm,下限 200 mm。第 1 组至第 8 组组界分别为 679 ~ 620 mm,619 ~ 560 mm,559 ~ 500 mm,499 ~ 440 mm,439 ~ 380 mm,379 ~ 320 mm,319 ~ 260 mm,259 ~ 200 mm。

(2) 频率的求算

频率是指某一现象在若干次观测或试验中,实际出现的次数,也被称作频数(m)占观测或试验总次数(n)的百分比,即:

$$f = \frac{m}{n} \times 100\%$$

(7)

表 1 不同降水保证率划分

Table 1 Partition of different precipitation guarantee rate

地区 Area	组序 Order of class	上限/mm Upper bound	下限/mm Lower bound	频数 Data	频率/% Frequency	保证率/% Guarantee rate
通辽 Tongliao	1	679	620	1	3.2	3.2
	2	619	560	2	6.5	9.7
	3	559	500	4	12.9	22.6
	4	499	440	3	9.7	32.3
	5	439	380	8	25.8	58.1
	6	379	320	8	25.8	83.9
	7	319	260	2	6.5	90.3
	8	259	200	3	9.7	100.0

2 结果与分析

2.1 不同方法 ET_0 计算结果

用上述 5 种方法分别计算通辽市 1974—2013 年逐日 ET_0 ,统计得到多年月平均值,具体结果如表 2 所示。由图 1 可看出,5 种方法计算的 ET_0 逐月变化趋势基本相同,但数值大小上存在较显著差异。不同方法计算出的 ET_0 多年月均值在 1—2 月及 11—12 月差值较小,从 3 月份开始各种方法计算结果开始产生明显差异,其中 5—9 月份不同方法的计算误差较大,个别方法与 FAO56 PM 法计算结果相比,差值超过 200 mm。

由于 FAO17 PM 法与 FAO56 PM 法各自采用不同的空气动力项和辐射项,造成两者产生相对误差,FAO17 PM 法结果大于 FAO56 PM 法的主要原因是 FAO Penman 法没有考虑土壤热通量的影响,辐射变化及风速也是引起偏差的原因; Priestley-Taylor 法属于 ET_0 计算中的辐射法,采用辐射数据与温度两项指标,3—10 月辐射较强,导致计算结果(3—10 月份月均值)偏差较大; Hargreaves-Samani 属于温度算法,

频率是一个相对数,没有单位,取整数,小数四舍五入。由于频率是个经验值,需要年限较长(一般要求 20 ~ 30 a 以上)的资料,这样统计出来的频率才有代表性。

(3) 保证率的求算

保证率的计算就是累积频率的统计,但气象要素保证的计算有方向性,即根据研究问题的性质和气候要素的变化特点,确定是求高于或低于某一界限的保证率。

(4) 水文年选取

由保证率计算得出,湿润水文年为降雨量大于 $500 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$; 正常水文年降雨量控制在 $400 \sim 500 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$; 干旱水文年降雨量小于 $400 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

只需要最高气温 $T_{\max}(\text{℃})$ 、最低气温 $T_{\min}(\text{℃})$ 和宇宙辐射 $R_a(\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1})$,可由温度估算得到)3 个输入参数,且该法没有考虑湿度和阴云对 ET_0 的影响,也导致计算结果(3—10 月份月均值)偏差较大; Irmak-Allen 拟合法计算的月平均值与 FAO56 PM 方法最为接近,只有在 5 月份略低于 FAO56 PM 的月平均值,这是由于此时(春末、夏初)的气象条件变化幅度较大,IA 拟合法作为经验公式,当某一个气象条件有剧烈变化时不能平衡地兼顾计算结果。但综合考虑,IA 拟合法的计算结果仍较好。综上所述,在内蒙古缺少气象资料的地区,可以考虑使用 IA 拟合法代替 FAO56 PM 方法。

2.2 不同方法计算的月 ET_0 与 FAO56 PM 法计算结果的相关性

以 FAO56 PM 为基准,通过线性回归分析其它方法与 FAO56 PM 的相关性。由表 3 可知,4 种方法计算结果与 FAO56 PM 法计算结果的决定系数(R^2)均大于 0.89,说明在不考虑偏离程度的情况下,各方法计算结果间的相关性均较好。其中,FAO17 PM

法在不同水文年 R^2 均超过 0.96,与 FAO56 PM 法线性相关最显著。考虑到相对误差,Imark-Allen 拟合法的计算结果相对误差均在 19% 以内,均为同组中最小值,且其在正常、干旱水文年的结果优于丰水

年。其次为 FAO17 Penman 法,相对误差在 40% 左右。Hargreaves-Samani 法和 Priestley-Taylor 法计算相对误差较大,部分结果甚至大于 100%,不适合在内蒙古东部地区应用。

表 2 正常水文年 5 种方法计算的 ET_0 月平均值/mm

Table 2 The monthly average ET_0 (mm) calculated by five methods in normal hydrological year

不同水文年 Different hydrologic year	月份 Month	FAO56 PM 法 FAO56 PM method	FAO17 PM 法 FAO17 PM method	PT 法 PT method	IA 拟合法 IA fitting method	HS 法 HS method
湿润水文年 Humid years	1	18.54	8.22	10.67	17.10	13.64
	2	36.85	26.42	36.54	37.41	44.54
	3	74.93	83.15	105.41	75.74	112.28
	4	135.97	167.04	212.00	108.11	244.94
	5	180.81	241.48	316.67	138.76	345.33
	6	161.74	240.30	363.12	147.40	379.66
	7	129.97	198.73	353.18	142.81	351.01
	8	129.18	184.49	337.41	138.44	331.74
	9	100.76	128.37	213.36	100.90	236.21
	10	75.02	64.65	97.56	61.95	136.22
	11	41.03	19.50	21.68	26.06	50.74
	12	19.13	4.82	4.45	11.68	17.46
	合计 Total	1103.93	1367.17	2072.05	1006.36	2263.77
正常水文年 Normal years	1	12.59	6.94	10.82	17.36	9.07
	2	23.81	21.32	32.81	36.80	27.17
	3	69.77	76.27	105.85	76.15	112.41
	4	125.81	151.85	193.71	104.02	219.96
	5	186.43	242.15	312.03	137.26	355.82
	6	158.01	227.89	369.36	149.22	374.16
	7	156.77	231.17	404.54	158.30	383.30
	8	137.30	172.40	336.82	138.71	334.70
	9	114.94	120.42	209.51	99.79	249.45
	10	74.91	57.62	90.56	59.57	135.08
	11	38.81	15.75	21.85	26.46	58.70
	12	16.93	4.39	4.72	12.19	18.79
	合计 Total	1116.08	1328.17	2092.58	1015.83	2278.61
干旱水文年 Drought years	1	20.70	8.35	10.87	17.54	19.23
	2	38.29	26.64	38.30	37.70	51.26
	3	65.28	68.55	101.04	74.23	107.40
	4	117.95	129.79	203.03	106.77	227.30
	5	183.74	219.39	315.01	138.07	354.45
	6	172.78	223.25	368.59	149.09	386.54
	7	151.45	204.04	380.41	151.44	385.87
	8	146.07	170.20	339.75	139.22	348.70
	9	112.54	108.44	208.36	99.39	250.38
	10	75.38	54.58	91.36	59.70	141.32
	11	32.26	14.96	21.16	25.45	47.86
	12	15.85	4.32	5.12	12.05	16.79
	合计 Total	1132.29	1232.51	2083.00	1010.65	2337.10

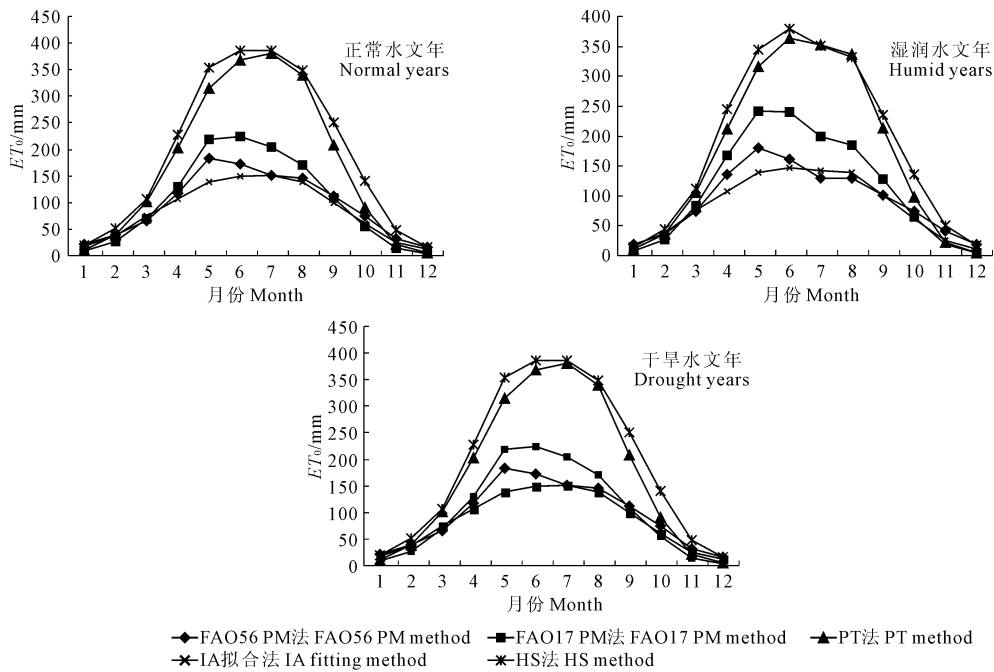


图 1 不同水文年情况下 5 种方法计算的 ET_0 月平均值

Fig.1 The monthly average ET_0 calculated by five methods in different hydrological year

表 3 FAO56 PM 法与 4 种方法之间的线性回归分析

Table 3 The linear regress analysis between FAO56 PM and other 4 methods

不同水文年 Different hydrologic years	参数 Parameter	FAO56 PM 法 FAO56 PM method	FAO17 PM 法 FAO17 PM method	PT 法 PT method	IA 拟合法 IA fitting method
湿润水文年 Humid years	R^2	0.96	0.90	0.93	0.95
	δ	0.33	0.73	0.19	0.79
正常水文年 Normal years	R^2	0.97	0.89	0.92	0.92
	δ	0.39	0.78	0.14	0.82
干旱水文年 Drought years	R^2	0.97	0.93	0.95	0.96
	δ	0.30	0.71	0.13	0.81

注： δ 表示不同方法计算结果与 FAO56 PM 法计算结果的相对误差。

Note: δ indicates the relative error between calculated results by different methods with the FAO56 PM method.

3 结 论

本文依据通辽市 1974—2013 年 40 a 的气象资料,以 FAO56 PM 法为标准,以 FAO17 PM 法、PT 法、IA 拟合法、HS 法为对照分别对 ET_0 进行计算,研究认为:(1) 对于内蒙古东部地区,5 种计算方法在不同水文年计算的 ET_0 月均值变化趋势基本一致,月均值在 5 月份达到最大,年初与年尾均较低;HS 法和 PT 法的计算结果要明显高于 FAO56 PM 法计算所得的结果,不适合内蒙古东部地区应用;FAO17 PM 法的计算结果的线性相关关系在 4 种方法里表现最好,即不同月份变化趋势与 FAO56 PM 法最接近,但 5—8 月份相对误差较大。(2) 综合考虑线性相关与相对误差分析,IA 拟合法的计算结果更接近于 FAO56 PM 法计算所得的结果,误差最小,且其计

算相对简单,所需气象资料较少,在内蒙古缺少气象资料的地区,可以考虑使用 IA 拟合法代替 FAO56 PM 方法。(3) 由于研究条件所限,本文未能对 FAO56 PM 法和 IA 拟合法在内蒙古东部地区的参数进行率定,对于 5 月份 IA 拟合法计算结果偏小的问题,应该对其乘以一个大于 1 的系数用于校核纠正,下一步研究应依托大型蒸渗仪等对其参数进一步修正,有可能得到更精确的结果。

致谢:感谢“内蒙古东部节水增粮高效灌溉技术集成研究与规模化示范”项目组成员对该项目的支持;感谢内蒙古农业大学研究生王海瑞、河北省水利科学研究院何蒙对野外试验工作的支持;感谢通辽市水利技术推广站李鹤、李嘉琪对项目工作的配合与支持。

[2] 王丽贤,张小云,吴 森.盐碱地改良措施[J].安徽农学通报, 2012,18(17):99-102.

[3] Ravindran K C, Venkatesan K, Balakrishnan V, et al. Restoration of saline land by halophytes for Indian soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007,39(10):2661-2664.

[4] 丛建民,陈凤清,孙春玲.草木樨综合开发研究[J].安徽农业科学,2012,40(5):2962-2963,2996.

[5] 汤 洁,梁 爽,林年丰,等.黄花草木樨改良盐碱土及修复生态环境研究[C]//环境污染与大众健康会议.武汉:美国科研出版社,2012:738-742.

[6] 蒋鹏文,周宏飞,邵春琴,等.生物排盐改良利用盐渍土的研究展望[J].人民黄河.2013,35(3):71-75.

[7] 陈 欢,王淑娟,陈昌和,等.烟气脱硫废弃物在碱化土壤改良中的应用及效果[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):38-42.

[8] 李凤霞,杨 涓,许兴,等.烟气脱硫废弃物在盐碱地土壤改良中的应用研究进展[J].土壤,2010,42(3):352-357.

[9] 蓝佩玲,廖新荣,李淑仪,等.燃煤烟气脱硫副产物在酸性土上的农用价值和利用原理[J].生态环境,2007,16(4):1135-1138.

[10] Crews J T, Dick W A. Liming acid forest soils with flue gas desulfurization by product: Growth of northern red oak and larch at water quality[J]. Environmental Pollution, 1998,103(1):55-61.

[11] Chun S, Nishiyama M, Matsumoto S. Sodic soils reclaimed with by-product from flue gas desulfurization: coproduction and soil quality[J]. Environmental Pollution, 2001,114:453-459.

[12] 任 坤,任树梅,杨培岭. CaSO_4 在改良碱化土壤过程中对其理化性质的影响[J].灌溉排水学报,2006,25(4):77-80.

[13] 石 懿,杨培岭,张建国,等.利用 SAR 和 pH 分析脱硫石膏改良碱化土壤的机理[J].灌溉排水学报,2005,24(4):4-9.

[14] 张峰举,肖国举,罗成科,等.脱硫石膏对次生碱化盐土的改良效果[J].河南农业科学,2010,5(2):24-26.

[15] 王晓颖,赵秀芳,王振宇,等.室内淋洗条件下脱硫石膏对滨海吹填土理化性质的影响[J].水土与保持学报,2012,26(1):109-112.

[16] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2000:194-199.

[20] 王葆芳,杨晓晖,江泽平.引黄灌区水资源利用与土壤盐渍化防治[J].干旱区研究,2004,21(2):139-143.

[21] 李 茜,孙兆军,秦 萍,等.燃煤烟气脱硫废弃物和糠醛渣对盐碱土的改良效应[J].干旱地区农业研究,2008,26(4):70-73.

[22] Liming C, Warren A, Dich S N. Flue gas desulfurization by-product liming and sulfur source for alfalfa and soybean[J]. Agron Journal, 2005,97:265-271.

[23] 李 彦,衣怀峰,赵 博,等.燃煤烟气脱硫石膏在新疆盐碱土壤改良中的应用研究[J].生态环境学报,2010,19(7):1682-1685.

(上接第 42 页)

参 考 文 献:

[1] 康绍忠,刘晓明,熊运章.土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用[M].北京:水利水电出版社,1992:1-13.

[2] 孙庆宇,佟 玲,张宝忠,等.参考作物蒸发蒸腾量计算方法在海河流域的适用性[J].农业工程学报,2010,26(11):68-72.

[3] 刘晓英,林而达,刘培军. Priestley-Taylor 与 Penman 法计算参照作物腾发量的结果比较[J].农业工程学报,2003,19(1):32-36.

[4] 彭世彰,徐俊增.参考作物腾发量计算方法的应用比较[J].灌溉排水学报,2004,23(6):5-9.

[5] 苏春宏,陈亚新,徐 冰. ET_0 计算公式的最新进展与普适性评估[J].水科学进展,2008,19(1):129-136.

[6] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirement; FAO irrigation and drain paper 56[M]. Rome, Italy: FAO, 1998:17-64.

[7] Martin S. The application of climatic data for planning and management of sustainable rain fed and irrigated crop production[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2000,103:99-108.

[8] Irmak S, Allen R G, Whittv E B. Daily grass and alfalfa - reference evapotranspiration estimates and alfalfa - grass evapotranspiration ratios in Florida[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 2003,129(5):360-370.

[9] 李玉霖,崔建垣,张铜会.参考作物蒸散量计算方法的比较研究[J].中国沙漠,2002,22(4):372-376.

[10] 谢 平,陈晓宏,刘丙军.湛江地区适宜参考作物蒸发蒸腾量计算模型分析[J].农业工程学报,2008,24(5):6-9.

[11] 闫浩芳,史海滨,薛 铸,等.内蒙古河套灌区 ET_0 不同计算方法的对比研究[J].农业工程学报,2008,24(4):103-106.

[12] 霍再林,史海滨,陈亚新,等.内蒙古地区 ET_0 时空变化与相关分析[J].农业工程学报,2004,20(6):60-63.

[13] Cai J B, Liu Y, Lei T W. Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman-Monteith equation using daily weather forecast messages[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007,145(2):22-35.

[14] 樊 军,邵明安,王全九.黄土区参考作物蒸散量多种计算方法的比较研究[J].农业工程学报,2008,24(3):98-102.