

引入平流影响的蒸散估算*

莫兴国

中国科学院
(国家计委 地理研究所 北京 100101)

摘 要 莫兴国:引入平流影响的蒸散估算,《生态农业研究》,3(4)1995:49—53

本文用波文比—能量平衡观测资料计算的麦田潜热,验证了引入平流影响的平流—干燥蒸散估算模型,结果表明,平流—干燥模型能较好地模拟麦田蒸散潜热日变化过程。该模型只需一个高度的气象资料,有推广应用前景。

关键词 平流—干燥模型 波文比—能量平衡法

Abstract Mo Xingguo (Institute of Geography, CAS, Beijing 100101): Estimation of evapotranspiration by considering the advection effect, *EAR*, 3(4)1995:49—53

An advection aridity evaporation model, which includes the effect of advection on local evaporation, is introduced in this study to estimate farmland evapotranspiration of winter wheat. The latent heat flux predicted by the model was compared with that of estimated by Bowen ratio, the energy balance method. Results showed that the advection-aridity model can predict the evapotranspiration from winter wheat field very well. Besides, the model requires only meteorological data at one height in the farmland, so the model can be applied to practical use.

key words Advection-aridity evaporation model, Bowen ratio, Energy balance method

农田蒸散是作物耗水的主要方式,准确估计农田蒸散量是实施节水措施、提高作物水分利用效率的理论依据。农田因种植作物品种、土壤水分状况不同,而使不同地块能量、热量平衡各分量的比例有所差异,导致表面温度的不均一,进而引起水平方向的热平流,使较湿润农田从周围获得平流热,用于蒸散,加大作物耗水量。目前用于计算农田蒸散的模式中,很少考虑平流对蒸散的影响。本文根据平流—干燥模型^[1],引进蒸发的平流补偿机制,把干燥空气的水平平流的蒸发作用引入模型中,克服常用蒸散计算方法忽略平流作用的不足,并利用冬小麦田的波文比能量平衡结果,将模型计算的农田蒸散潜热与波文比能量平衡法观测结果加以对比,以验证模型的模拟精度。

1 模 型

Bouchet^[2]假设开始土壤湿润时,潜在蒸发 E_p 、湿润表面蒸发 E_{p_0} 和实际蒸发 E 三者相等,随着蒸发的进行,当土壤水分降低到抑制蒸发速率时,在同样的能量收支下,认为 E

* 国家自然科学基金资助项目。

** 本文于 1995 年 5 月 22 日收到。

的下降为:

$$E = E_{po} - \Delta E \quad (1)$$

同时,潜在蒸发相应增加为:

$$E_p = E_{po} + \Delta E \quad (2)$$

由(1)式和(2)式消去 ΔE ,得:

$$E + E_p = 2E_{po} \quad (3)$$

依下垫面能量平衡方程,显热通量 H 为:

$$H = P_n - G - E \quad (4)$$

若有水平平流热流入时,该平流热就会使 E_p 增加,导致 $E_p > R_n - G$ 。为说明(3)式如何考虑平流影响,引入平流调节项 H_p 为:

$$H_p = R_n - G - E_p \quad (5)$$

当 $H_p < 0$ 时,表明有平流热输入,此时湿润表面蒸发 E_{po} 调整为 $E_{po} + |H_p|$ 。湿润表面蒸发 E_{po} 采用 Priestley—Taylor 公式^[3]计算:

$$E_{po} = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) \quad (6)$$

式中, R_n 为入射到麦田的净辐射(W/m^2); G 为地表土壤热通量(W/m^2); Δ 为饱和水气压—温度曲线斜率; γ 为干湿常数,取0.64; α 为经验系数,在 $1 - \frac{\Delta + \gamma}{\Delta}$ 之间。

潜在蒸发 E_p 的计算采用 Penman 公式:

$$E_p = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a \quad (7)$$

式中, E_a 为空气干燥力,由下式给出:

$$E_a = k u_* \frac{\rho C_p VPD}{\gamma} / \left(\ln \frac{Z_a - D}{Z_{ov}} - \Psi_v \frac{Z_a - D}{L} \right) \quad (8)$$

式中, k 为 karman 常数,取0.4; ρ 为空气密度,取 $1.29 kg/m^3$; C_p 为空气定压比热,取 $1005 J/kg \cdot K$; VPD 为空气饱和水气压差(hPa); u_* 为摩擦速度(m/s); Z_a 为参考高度(m); D 为零平面位移(m),取0.63乘以冠层高度; Z_{ov} 为水汽交换粗糙度(m),取 $0.2 Z_{om}$; Ψ_v 为水汽交换系数稳定度订正函数; L 为 Moni—Obkov 稳定度长度(m)。 L 由下式计算:

$$L = - \frac{u_*^3 \rho C_p T_a}{K_g H_v} \quad (9)$$

u_* 由下式得出:

$$u_* = k u / \left(\ln \frac{Z_a - D}{Z_{om}} - \Psi_m \frac{Z_a - D}{L} \right) \quad (10)$$

(9)(10)式中, $H_v = H + 0.608 T_a C_p E$; T_a 为参考高度气温(K); u 为参考高度风速(m/s); Z_{om} 为动量交换粗糙度(m),0.13乘以冠层高度; Ψ_m 为动量交换系数稳定度订正函数; g 为重力加速度(m/s^2)。其中, Ψ_m 、 Ψ_v 由下式计算:

$$\Psi_m = \ln \frac{(1+X)(1+X)}{(1+X)(1+X)} - 2 \arctan(X) + 2 \arctan(X_0) \quad y > 1 \quad (11)$$

$$\Psi_v = 2 \ln \frac{1+X^2}{2} \quad y > 1 \quad (12)$$

$$\Psi_m = \Psi_v = 5 \left(\frac{Z_{om}}{L} - y \right) \quad 0 < y < 1 \quad (13)$$

$$\Psi_m = \Psi_v = -5 \ln \frac{Z_{om} - D}{Z_{om}} \quad 1 < y \quad (14)$$

式中, $X = (1 - 16y)^{0.25}$, $y = (Z_a - D)/L$, $X_0 = (1 - 16Z_0/L)^{0.25}$ 。

模型运算,按下述步骤进行:

利用(4)、(6)、(7)、(8)、(9)和(10)式,迭代计算 E_p ;由(5)式求 H_p ,若 H_p 大于 0,表示无平流发生,则按(3)、(4)式求出 E 和 H ;若 H_p 小于 0,表示有平流输入,则 E_{po} 调整为 $E_{po} + H_p$,再由(3)、(4)式求出 E 和 H 。

2 田间试验设计与方法

试验于 1992 年 3 月 22 日—6 月 5 日在中国科学院禹城综合试验站高产麦田进行,时属冬小麦由返青至成熟收割,期间共灌了 4 次水,地下水位在 1.5—2.5 米之间。试验期间,在冠层上方安装可交换式波文比能量平衡自动观测系统,其中干、湿球温度的感应元件及风杯安装在 2 米和 1 米两个高度上,温度感应元件为铂电阻,风杯是数字式的,净辐射表安装在冠层以上 2 米处,该表误差在 10% 以内。该系统昼夜监测,综合测定了麦田能量平衡各分量及麦田微气象特征。同时用中子仪和土钻取土烘干称重,测定土壤水分(所有仪器在观测前都进行过标定)。

3 结果分析

冬小麦由返青拔节至乳熟的主要生育期内冠层高度和叶面积指数都有明显变化(见图 1、2)。本文以波文比能量平衡观测计算结果作为标准,讨论干旱—平流模型在下垫面粗糙度变化的情况下,是否都能模拟农田的蒸散。

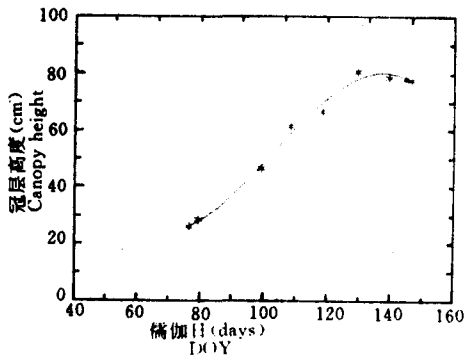


图 1 冬小麦冠层高度随季节变化

Fig. 1 Seasonal variation of winter wheat canopy height

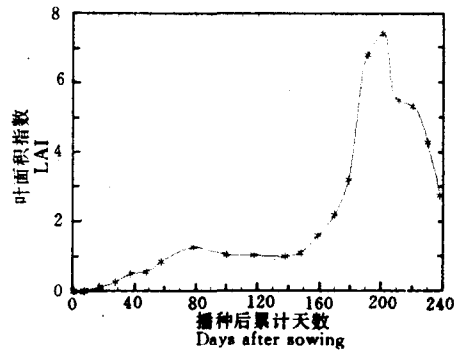


图 2 冬小麦叶面积指数随季节变化

Fig. 2 Seasonal variation of winter wheat LAI

图 3a、b、c、d 分别代表冬小麦返青拔节期(DOY85)、抽穗扬花期(DOY124)、灌浆期

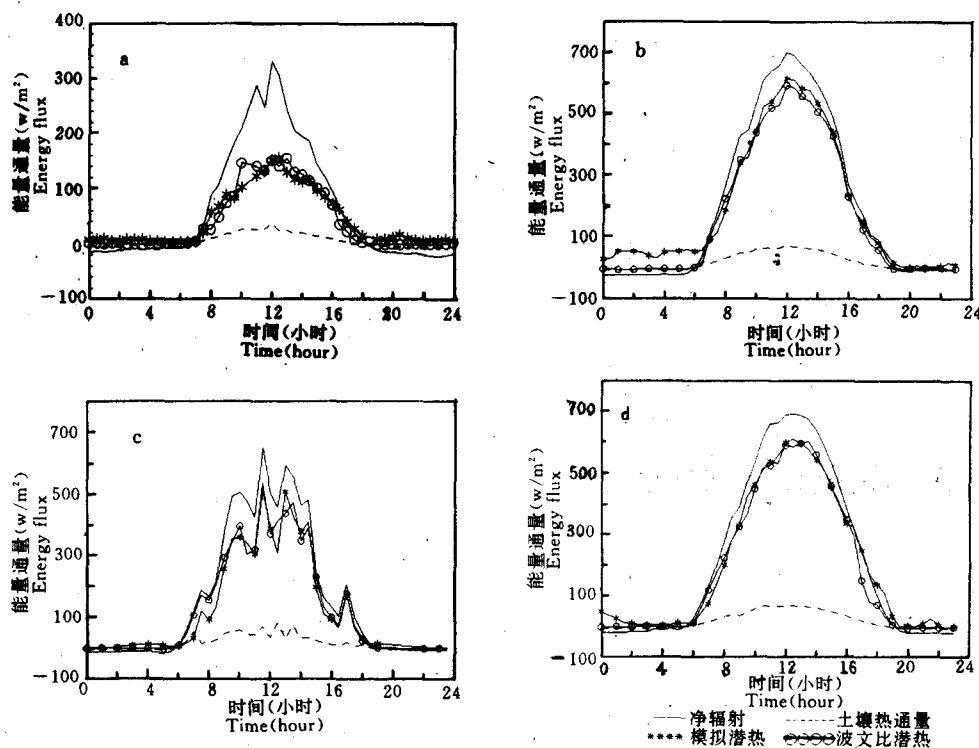


图3 麦田潜热模拟结果与观测结果对比*

Fig. 3 Comparison of simulated and measured latent heat flux

* a 为拔节期; b 为抽穗期; c 为灌浆期; d 为乳熟期。* a, jointing; b, booting; c, milking; d, maturing.

(DOY132)和乳熟期(DOY147)四个主要生育期蒸散模型模拟结果和波文比结果对比。图3a,当时麦田未灌返青水,土壤含水量低,且叶面积指数仅在1左右,土壤裸露面积大,农田蒸散耗热占净辐射的比例相对较小,感热所占比例较大。干旱模型模拟结果虽然与波文比结果相当一致,但早晨8:00—10:00,下午16:00—18:00比波文比结果稍偏高,有热平流进入麦田。夜间二者基本一致。由图3b可见,蒸散潜热所占净辐射的比例很高,蒸散的贡献主要来自冬小麦叶片的蒸腾。模拟结果和观测结果非常一致。图3c为多云天的观测结果,净辐射日变化呈现多峰型,潜热也具有同样的波动特征,但模拟结果的波动振幅稍小,总体来看二者相当吻合。图3d为乳熟期,此时冬小麦冠层已开始呈现黄色,但作物仍消耗大量的水,大部分净辐射用于蒸发,从图上看,从下午16:00—18:00模拟结果比波文比结果偏大,有平流入入麦田,增加潜热通量。总体而言,平流—干燥模型能够模拟农田的蒸散日变化过程,表1为模型模拟结果与波文比结果进行相关分析后得的相关系数和标准偏差。由表1可见,两者关系斜率接近1,相关系数很高,达0.98以上,标准偏差较小,说明波文比结果和平流—干燥模型模拟结果一致性非常好。

4 结 论

平流—干燥模型考虑了下垫面受热不均匀时热平流对蒸发潜热的影响,通过模拟结果和观测结果的比较,说明该模型能很好的模拟麦田蒸发潜热,它只需要一个高度的气象

表1 平流—干燥模型潜热模拟结果与波文比结果的相关分析*

Tab. 1 The co-relationship between simulated and measured latent heat flux

	A	B	r	σ
DOY85	0.86	9.88	0.98	10.48
DOY124	0.98	25.63	0.99	23.22
DOY132	0.96	-1.72	0.98	31.18
DOY147	0.96	18.44	0.99	29.57

* $E_{ad} = A \cdot E_{bw} + B$, E_{ad} : 模型结果, E_{bw} : 波文比结果, r : 相关系数, σ : 均方差。

资料即可, 具有应用前景。

参 考 文 献

- 1 Parlance M. B. and G. G. Katul, 1992: An advection-aridity evaporation model. Water Resour. Res., 29: 127
- 2 Bouchet, R. J. 1963: Evapotranspiration reele et potentille, signification climatique, General Assembly, Berkeley, Int. Assoc. Sci. Hydrol., 62: 134-142
- 3 Priestley, C. H. B. and R. J. Taylor, 1972: On the assessment of surface heat flux and evaporation using larger scale parameters, Mon. Weather Rev., 100: 81-92

●文 摘●

我国五个农业生态典型地区存在的问题

辽宁省辽东山区自然生态系统已进入衰竭阶段初期。由于人口增加, 土地的人口承载量过大, 全区农业人口密度为每平方公里 115 人; 林业生态重建困难重重; 生态环境脆弱, 屏障功能减弱。

山西省吕梁地区农村仍在恶性循环中缓慢运行。低层次平面垦殖的历史习惯仍在延续。土地垦殖率达 30%, 使林草植被锐减, 水土流失加剧, 流失面积占总面积的 68.7%, 坡耕地土壤有机质含量平均只有 0.45%; 林草资源利用不合理, 大农业内部结构严重失调, 林业产值仅占农业总产值的 7.6%; 加工业落后, 开展层次低, 造成了严重的价值流失, 一些特产品不是开发利用率低就是卖原料。

湖南省娄底地区的人口、资源、环境矛盾十分突出。每平方公里已达 458 人, 比全省平均多 173 人; 乱采滥伐, 水土流失严重, 流失面积已占总面积的 26.5%, 每年流失表土 700 多万吨; 工业“三废”污染严重, 生态环境日益恶化, “三废”总量高居全省第一。

山东沿海区域存在严重问题, 该地区 60 年代后期气候干旱, 地表水不足, 水利用建设重点转向地下水, 机井迅速发展, 超采地下水引起海水入侵。全省沿海地区普遍出现, 以年均 42.4 平方公里迅速向内陆腹地发展, 到 1990 年底已达 431.2 平方公里, 滨海平原的地下水淡水变咸, 不能用于农业、工业和人畜饮水, 沿海地区已有 7000 多眼机井报废。

内蒙牧区惊人变化, 由于人们对草原演替规律和生态平衡缺乏科学的认识, 无节制地掠夺开发利用, 超载放牧, 加剧了平原的沙化退化盐碱化面积的扩大。全区草原面积和可利用面积分别减少 9%、7%; 承载能力由 50 年代 8700 万只绵羊单位下降为 4429.77 万只绵羊单位, 近 30 年草原沙化退化加剧, 平均每年退化面积 12540 万亩, 累计退化面积 3.75 亿亩, 占可利用草场面积 39.3%。

——(南山摘自高咏文)