

华北平原冬小麦相对蒸散与叶面积指数及表层土壤含水量的关系*

王靖 李湘阁

刘恩民 于强

(南京气象学院应用气象系 南京 210044) (中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101)

摘要 冬小麦相对蒸散(农田蒸散量 ET 与自由水面蒸发量 ET_0 之比)表征冬小麦受土壤水分和作物生长状况制约下的耗水规律。冬小麦生长季利用大型蒸渗仪测定农田蒸散,用 E601 型水面蒸发器测定水面蒸发,并用平行观测方法测定叶面积指数,分析冬小麦相对蒸散与叶面积指数和表层土壤含水量的关系,并建立了冬小麦返青~收获期相对蒸散与叶面积指数和 0~60cm 表层土壤含水量的经验公式为 $RE = \ln \left(1 + \frac{\theta - \theta_l}{\theta_w - \theta_l} \right) \times (1.03 + 0.68LAI)$ 。在田间条件下由 RE 和 ET_0 推算出小麦耗水量 ET ,并可用于冬小麦适时、适量灌溉管理。

关键词 相对蒸散 叶面积指数 表层土壤含水量

The relationship between relative evapotranspiration and leaf area index and surface soil water content in winter wheat field of North China Plain. WANG Jing, LI Xiang-Ge (Department of Applied Meteorology, Nanjing Academy of Meteorology, Nanjing 210044), LIU En-Min, YU Qiang (Institute of Geographical Sciences and Natural Resources, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101), *CJEA*, 2003, 11(2): 32~34

Abstract The actual evapotranspiration and water surface evaporation are observed by weighting lysimeter and E601 evaporation pan in the growing season of winter wheat in the North China Plain. The relative evapotranspiration of winter wheat (the ratio of the actual evapotranspiration to water surface evaporation) shows the characteristics of water depletion of winter wheat determined by soil water content and crop factors. Based on the analysis of the relationship between relative evapotranspiration and leaf area index and soil water content, an empirical function has been constructed: $RE = \ln \left(1 + \frac{\theta - \theta_l}{\theta_w - \theta_l} \right) (1.03 + 0.68LAI)$. In the field conditions, the evaluation of actual evapotranspiration by relative evapotranspiration and water surface evaporation provides a helpful information for irrigation scheduling of winter wheat.

Key words Relative evapotranspiration, Leaf area index, Surfaces soil water content

目前国内外已进行了大量农田蒸散测定和计算的研究,发展了 Penman-Monteith 综合法、波文比能量平衡法、水量平衡法、空气动力学法、涡度相关法、蒸发渗漏仪法等^[1,3,4]方法,这些方法理论渐趋完善但不易于应用,且绝大多数公式是为计算长时段、大范围平均蒸发散而设计,不能得到各种下垫面不同水分能量状态供应的计算公式和结果^[3],在我国农业生产中应用受到较大制约。自然条件下作物耗水基本受制于气象条件、土壤水分与作物生理三大因子,农田蒸散量与这 3 个影响因子之间关系为:

$$ET = f(M)f(S)f(P) \quad (1)$$

式中, ET 为农田蒸散量(即作物耗水量), $f(M)$ 为气象条件影响函数, $f(S)$ 为土壤水分影响函数, $f(P)$ 为作物因素影响函数。本研究用自由水面蒸发 ET_0 表征气象条件影响函数,通过分析研究冬小麦相对蒸散 $RE(ET/ET_0)$,揭示冬小麦耗水规律,建立相对蒸散与土壤水分和作物因素函数关系。由 RE 和 ET_0 推算作物农田蒸散量 ET ,以指导华北平原冬小麦水分合理灌溉。

1 试验材料与方法

大田试验在中国科学院禹城综合试验站进行,该站北纬 $36^{\circ}50'$,东经 $116^{\circ}30'$,平均海拔高度 22m,地处黄河下游冲积平原,地势低平,土壤母质为黄河冲积物,土壤质地以粉砂和轻壤为主,属大陆性暖温带季风气候,年均气温 13.1°C ,1 月平均气温 -3°C ,7 月平均气温 26.9°C ,年无霜期 200d,年均降水量 610mm,其中 3~5 月份平均降水量 75.7mm,占年均降水量的 12.4%,6~8 月份平均降水量 419.7mm,占年均降水量的

* 中国科学院禹城综合试验站开放课题项目资助

收稿日期:2002-08-26 改回日期:2002-09-20

68.8%。供试冬小麦品种为“六系”,生育期为2000年10月28日至翌年6月4日。农田蒸散量采用大型蒸发渗漏仪(Lysimeter)测定,土体表面积为 3.14m^2 ,土体深度为5m,测量精度(感量) $\pm 0.02\text{mm}$ ($\pm 60\text{g}$ 水)。自由水面蒸发采用E601型水面蒸发器测定,水面蒸发观测于早8:00、晚20:00各1次,头天20:00~当日20:00为1个观测日,测量精度为0.1mm水深。土壤含水量采用中子水分仪测定,测量深度为0~60cm土层,每10cm土层测定1个读数,每5d观测1次。叶面积指数采用LI-3000型叶面积仪测定,每5d观测1次。常规气象观测温度、湿度、风速和降水量。

2 结果与分析

2.1 冬小麦全生育期耗水规律

冬小麦全生育期农田日蒸散量变化见图1,由图1可知小麦播种(10月28日)~返青期(3月1日)日蒸散量相对较低,均为2mm以下,日均仅0.73mm,越冬期间维持在很低水平。返青期后冬小麦日蒸散量迅速增加,灌浆后期呈下降趋势,冬小麦耗水高峰期在返青后,特别是孕穗~灌浆期(4月14日~5月12日)日蒸散量平均达5.33mm,累积蒸散量为154.9mm,占全生育期总蒸散量的33.6%。图1拔节~灌浆期峰值是因4月3日和4月29日各灌1次水所致。冬小麦全生育期农田蒸散量为467.0mm,其中播种~返青期蒸散量为90.6mm,占全生育期的19.4%,返青~收获期蒸散量376.4mm,占全生育期的80.6%。而冬小麦全生育期降水量仅为113.7mm,其中播种~返青期降水量为91.1mm,能满足冬小麦生长所需,而返青~收获期降水量仅为22.6mm,与蒸散量相差353.78mm,降水量严重不足,必须灌水才能满足冬小麦生长所需。本文着重研究冬小麦返青期后相对蒸散与土壤水分和叶面积指数的关系。

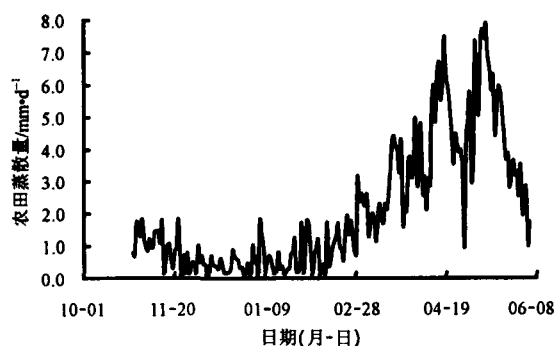


图1 禹城冬小麦全生育期日蒸散量(2000~2001)

Fig.1 Daily evapotranspiration of winter wheat in the whole growth period in Yucheng, 2000~2001

2.2 相对蒸散与叶面积指数、表层土壤含水量的关系

相对蒸散系指农田实际蒸散与自由水面蒸发之比:

$$RE = ET/ET_0 \quad (2)$$

相对蒸散反映2种不同下垫面物理学、生物学特性对蒸发和蒸腾过程的影响,它用2种蒸散发比值消除外界气象条件的影响,仅受制于土壤水分和作物生长状况。大量观测表明,土壤下层含水量变化很小,故本文仅取0~60cm土层土壤体积含水量,而反映作物生长状况最佳指标是叶面积指数。冬小麦返青~收获期相对蒸散、叶面积指数和表层土壤含水量(0~60cm土层)变化见图2。由图2可知返青期后冬小麦叶面积指数

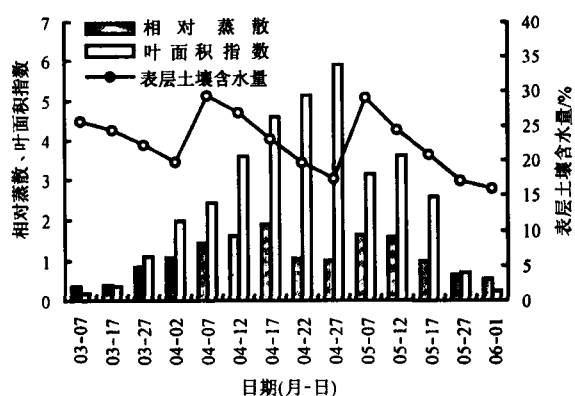


图2 冬小麦返青~收获期相对蒸散与叶面积指数、表层土壤含水量的变化

Fig.2 The variations of relative evapotranspiration, leaf area index and soil water content in the surface layer of winter wheat from turn-green to harvest

增长很快,孕穗(4月14日)~抽穗期(4月25日)达到最大值(6),抽穗期后叶面积指数开始下降且降速很快,叶面积指数基本按Logistic曲线规律变化。表层土壤含水量波动较大,呈一定周期性变化,小麦拔节(4月3日)~灌浆期(5月12日)相对蒸发量 >1 值占81.6%,特别是孕穗期(4月14日)前后和开花(5月5日)~灌浆期相对蒸发量达1.8~1.9,农田蒸散值大大高于自由水面蒸发值,这是因为小麦拔节后气温回升很快,小麦植株生长旺盛,叶面积指数较高,作物蒸腾急剧增加。图2中个别极高值是因拔节~灌浆期2次灌水所致,灌水后土壤含水量较高,棵间蒸发较大,而抽穗期(4月25日)前后因土壤含水量降低,棵间蒸发减少,相对蒸发量有所降低。小麦成熟期枯叶产生使叶面积减少,且此期小麦需水量较少,使蒸腾强度降低,故相对蒸散变化曲线在一定程度上反映了冬小麦耗水特征。对2000~

2001 年冬小麦返青~收获期相对蒸散、叶面积指数和 0~60cm 土层表层土壤含水量进行回归分析,得出相对蒸散与叶面积指数和表层土壤含水量的关系为:

$$RE = \ln\left(1 + \frac{\theta - \theta_l}{\theta_w - \theta_l}\right) \times (1.03 + 0.68LAI) \quad (\text{复相关系数 } R = 0.9, \text{置信度 } \alpha = 0.05) \quad (3)$$

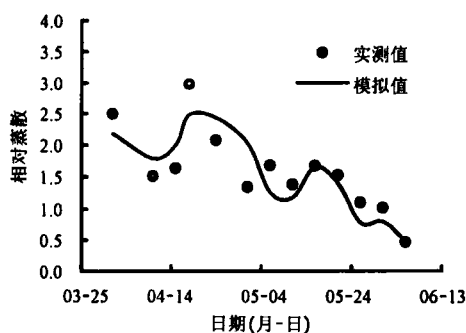


图 3 相对蒸散模拟值与实测值比较

Fig. 3 Comparison of the simulation value with the observation value of relative evapotranspiration

式中, RE 为相对蒸散, θ 为 0~60cm 表层土壤体积含水量, θ_l 为凋萎含水量, 本试验取 0.12, θ_w 为田间持水量, 取 0.35, LAI 为叶面积指数。对方程(3)进行显著性检验, $F = 26.92 > F_{0.05} = 3.98$, 表明方程回归效果显著。

2.3 相对蒸散模型验证

以冬小麦(1998 年 10 月 8 日播种, 翌年 6 月 7 日收获)拔节期(1999 年 3 月 29 日)后农田蒸散、水面蒸发、土壤体积含水量和叶面积指数试验数据对相对蒸散模型进行验证, 其模拟值与实测值比较见图 3, 相关系数达 0.8, 模拟值与实测值趋势相一致, 冬小麦耗水高峰期拔节(3 月 29 日)~灌浆期(5 月 3 日)模拟相对蒸散平均值 1.58, 实测平均值 1.61, 整体模型模拟效果较好, 可推广到实际生产中应用。

2.4 相对蒸散模型物理意义

$\frac{\theta - \theta_l}{\theta_w - \theta_l}$ 为土壤有效含水量, 当 $\theta > \theta_l$ 时土壤有效含水量 $\neq 0$, 相对蒸散随土壤表层体积含水量的增加而增加, 当 $\theta = \theta_l$ 时(即土壤体积含水量降至凋萎含水量时)土壤有效含水量为 0, $RE = 0$, 农田蒸散为 0。缺水条件下土壤含水量较低, 发生土壤水分亏缺, 土壤中毛管传导度减少, 根系吸水速率降低, 引起作物叶片含水量减少, 保卫细胞失水收缩, 气孔开度减小, 阻力增大, 导致作物蒸发蒸腾强度低于无水分亏缺时的蒸腾蒸发强度, 土壤水分亏缺越严重则降低越显著。当土壤含水量变化不大时, 相对蒸散随叶面积指数的增加而呈线性增加, 这是由于叶面积指数基本反映作物蒸腾作用发生的气孔多少, 叶面积指数越大其单位面积内气孔数越多, 蒸腾量也越大。作物生长前期叶面积指数小, 需水强度亦小, 随作物生长发育其叶面积指数逐渐增大, 作物需水强度也增大, 至作物灌浆成熟开始时叶面积开始减小, 作物需水强度亦逐渐下降。由式(3)可得:

$$ET = ET_0 \ln\left(1 + \frac{\theta - \theta_l}{\theta_w - \theta_l}\right) \times (1.03 + 0.68LAI) \quad (4)$$

大田生产条件下可用此公式计算冬小麦返青~收获期农田实际蒸散量。

3 小结与讨论

相对蒸散在一定程度上可反映冬小麦耗水特征, 本研究建立了相对蒸散与表层土壤含水量和叶面积指数函数关系式为 $RE = \ln\left(1 + \frac{\theta - \theta_l}{\theta_w - \theta_l}\right) \times (1.03 + 0.68LAI)$, 其相关系数达 0.9。相对蒸散由表层土壤含水量和叶面积指数所决定, 当叶面积很小时相对蒸散主要决定于表层土壤含水量, 随叶面积指数的增大, 其相对蒸散主要决定于叶面积指数, 但若土壤含水量较低, 则它将成为限制因子。由相对蒸散和水面蒸发可求出农田实际蒸散量, 在大田条件下测得土壤含水量、叶面积指数和水面蒸发量, 即可得出农田耗水量, 这对指导农业生产有一定实用价值。

参 考 文 献

- 1 谢贤群. 中国农田蒸发研究概况与进展. 中国科学院禹城综合试验站年报(1988~1990). 北京: 气象出版社, 1991. 150~160
- 2 蒋俊明. 土壤蒸发、蒸散模型的研究. 四川林业科技, 1995, 16(4): 20~25
- 3 Mo X. G., Liu S. X. Simulating evapotranspiration and photosynthesis of winter wheat over the growing season. Agric. For. Meteorol., 2001, 109(3): 203~222
- 4 Tapio Tourula, Martti Heikinheimo. Modelling evapotranspiration from a barley field over the growing season. Agric. For. Meteorol., 1998, 91(3): 237~250