

三江平原大豆田蒸散特征及能量平衡研究*

王毅勇 杨青 张光

黄春杰 马有彬

(中国科学院东北地理与农业生态研究所 长春 130012) (黑龙江省国营洪河农场 建三江 156332)

摘要 试验研究三江平原大豆田蒸散规律、水分利用效率及辐射收支和能量平衡研究结果表明,三江平原 5~9 月份农田蒸散力基本与降雨量持平,正常年份作物生育期内降雨量能满足农田蒸散量的需求,大豆田蒸散量变化与大豆叶面积指数的变化呈相关性。大豆生育期内净辐射通量占总辐射的比例有所变化,播种~苗后期其比值约为 50% 左右,开花~结荚期约为 60%,灌浆~收获期约为 55%。大豆田能量平衡具有明显日变化与季节变化特征,净辐射收入的 90% 以上用于潜热消耗,而用于感热通量与土壤热通量的消耗则极少,整个生长季分别低于 1.5% 和 10%。

关键词 三江平原 大豆田 蒸散量 能量平衡

Characteristics of evapotranspiration and energy budget of soybean field in the Sanjiang Plain. WANG Yi-Yong, YANG Qing, ZHANG Guang (Northeast Institute of Geography and Agriculture Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012), HUANG Chun-Jie, MA You-Bin (State Honghe Farm, Heilongjiang Province, Jiansanjiang 156332), *CJEA*, 2003, 11(4): 82~85

Abstract The evapotranspiration, water use efficiency, radiation budget and energy balance of soybean field in the Sanjiang Plain are analyzed in this paper. The results show that the evapotranspiration capabilities of farmland are equal to precipitation during the crop growth season, the change of soybean field evapotranspiration is similar to the change of leaf area index. The ratios of net radiations to total radiation are different in different soybean growth stages and the value is 50% in the sowing and seedling stage, increases to 60% in the florescence and bear pods, finally decreases to 55% in the milking and harvesting time. The energy balance of soybean field has daily change and seasonal variation, the latent heat consumes 90% of net radiation, the sensible heat and the soil heat flux are very small during the soybean growth season, and the values respectively are below 1.5% and 10%.

Key words Sanjiang Plain, Soybean field, Evapotranspiration, Energy budget

三江平原地区是我国面积最大,沼泽、湿地分布最集中的地区,目前该区耕地总面积 366.8 万 hm^2 ,多数旱田以种植大豆为主,成为我国重要的商品粮生产基地。该区地理纬度较高,作物生育期短,农业生产易受气候条件的影响。本试验研究了三江平原大豆田蒸散规律和能量平衡特征,为科学种植大豆提供理论依据。

1 试验材料与方法

试验在中国科学院三江平原沼泽湿地生态试验站农田进行,该站位于北纬 $47^{\circ}35'$,东经 $133^{\circ}31'$,海拔高度 55.6m,年均降水量 550mm 且降雨多集中于 7~9 月份,试验田面积 7hm^2 ,地势平坦,土壤类型主要为草甸沼泽土,地下水埋深 6~7m,排水舒畅。供试大豆品种为“保丰 8 号”,行距 0.65m,陇向为南北陇。农田蒸散及土壤蒸发观测采用黑龙江省水利科学研究所研制的中型称重式蒸渗仪,观测精度为 $\pm 0.02\text{mm}$,早晚各观测 1 次。水面蒸发采用气象常规 E601 测量,用中子法测定土壤含水量,小气候观测采用自动采集系统每小时自动采集 1 次,观测项目包括 1 层辐射要素及土壤热通量,4 层大气温度、湿度和风速以及 7 层土壤温度等指标。

2 结果与分析

2.1 农田蒸散变化规律

农田蒸散力变化规律。影响农田蒸散的主要因子包括气候条件和农田水分供应状况,若不考虑土壤水

* 国家自然科学基金重大项目(49890330)资助

收稿日期:2002-11-28 改回日期:2002-12-30

分供应状况而单纯考虑气候因子对农田蒸散量的影响,可用农田蒸散力或潜在蒸散量描述,即指某地区充分湿润条件下最大可能蒸散量或蒸散潜力。根据 Penman-Monteith 公式:

$$LE_p = \frac{S(R_n - G) + \rho C_p D / r_a}{S + \gamma} \quad (1)$$

其中:

$$r_a = \frac{\left(\ln \frac{Z - d}{Z_{om}} - \varphi_m \right) \left(\ln \frac{Z - d}{Z_{ov}} - \varphi_v \right)}{k^2 u} \quad (2)$$

式中, E_p 为蒸散力, L 为汽化潜热, S 为饱和水汽压-温度曲线率, R_n 为净辐射, G 为土壤热通量, γ 为干湿温度表系数, D 为空气饱和水汽压差, C_p 为空气定压比热, r_a 为空气动力学阻力, ρ 为空气密度, Z 为参考高度, d 为零平面位移, u 为参考高度的风速, φ_m 与 φ_v 为动量和能量传输订正常数, Z_{om} 与 Z_{ov} 为动量和水汽传输地表的粗糙度, k 为卡门常数。据计算三江平原地区 5~9 月份农田蒸散力分别为 82.46mm、109.47mm、111.52mm、81.73mm 和 64.89mm, 而试验站区多年平均降水量分别为 51.40mm、67.80mm、85.40mm、172.30mm 和 71.60mm, 作物生长季 5~7 月份蒸散力大于平均降雨量, 8、9 月份蒸散力小于平均降雨量, 而整个生长季(5~9 月份)蒸散力基本与平均降雨量接近, 分别为 450.07mm 和 448.50mm。

农田水分状况。据 Penman-Monteith 公式计算可得某地区潜在蒸散量即蒸散力。三江平原地区大部分农田靠雨水自然补给, 极少部分农田在作物整个生育期内完全达到充分湿润, 不具备充分湿润条件。充分湿润条件下农田蒸散量主要取决于太阳辐射、空气温度、湿度及风速等外部条件, 水分供应不足时农田蒸散量则主要受农田土壤水分状况制约。阿尔巴捷夫认为当土壤水分超过田间持水量的 70%~80% 时农田蒸散量与农田蒸散力接近并将此时土壤湿度称为临界湿度, 而当土壤湿度小于临界湿度时随土壤湿度的降低, 农田蒸散速度与土壤湿度接近直线关系迅速下降, 此时蒸散量小于蒸散力而与土壤有效水分成正比。通常农田土壤湿度较少超过田间持水量和低于凋萎湿度而常处于土壤有效水分变化范围内^[1,2]。三江平原地处湿润季风区, 5~9 月份作物生长季降雨基本满足大豆生长的蒸发耗水量。由图 1 可知 1998 年 5~7 月中旬及 9 月份降雨量稍大于蒸散总量, 降雨基本满足大豆生长蒸散耗水量, 而 7 月中旬~9 月初大豆生长蒸发耗水量远大于降雨量, 这是由于该年气候较异常 7 月份未降雨所致, 而气候正常年份 7 月份累积降雨量曲线总位于蒸散曲线的上方^[3]。

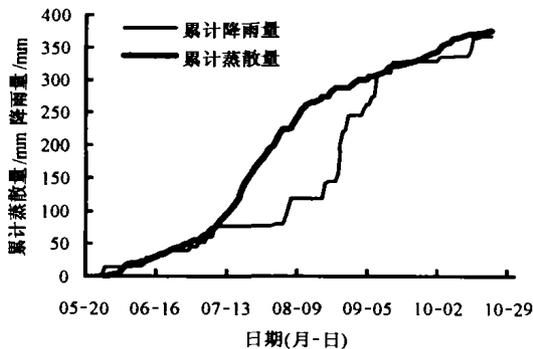


图 1 大豆生育期内累积蒸散量与降雨量(1998)

Fig. 1 Accumulative evapotranspiration and accumulative precipitation during soybean growth season in 1998

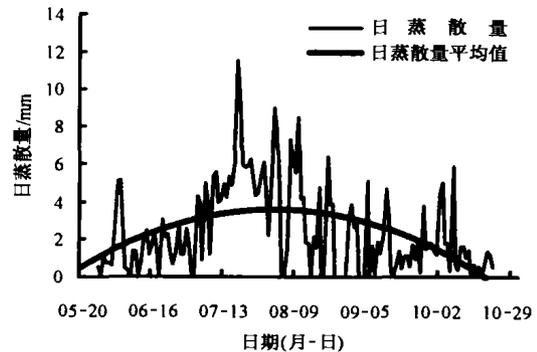


图 2 大豆生育期日蒸散量变化(1998)

Fig. 2 Daily change of evapotranspiration during soybean growth season in 1998

农田蒸散量变化规律。农田蒸散是农田水量平衡水分主要支出项, 包括作物蒸腾和裸间土壤蒸发 2 部分, 即:

$$E_T = E_S + T \quad (3)$$

式中, E_T 为农田蒸散量(mm), E_S 为裸间土壤蒸发量(mm), T 为作物蒸腾量(mm)。蒸散量受气候条件影响日变化振幅较大, 且随季节变化有明显变化规律, 这与净辐射值变化和冠层蒸发面积变化有关。播种~苗后期大豆叶片面积较小, 地表裸露多, 土壤蒸发量远大于大豆蒸腾量, 随大豆幼苗的生长, 地表覆盖越来越多, 据资料表明大豆蒸腾量与其叶面积系数成正比关系。由图 2 可知大豆播种后最初 2 个月内日蒸散量随

大豆生长呈稳步上升趋势,7月份蒸散量达最高峰值,即播种后30~70d开花~结荚期平均日蒸散量达5.9mm/d,结荚~灌浆期为4.85mm/d,此后呈逐步下降趋势,这与大豆叶面积系数变化具一致性。

2.2 农田能量平衡特征

农田辐射收支及热量平衡。农田生态系统辐射平衡方程为^[4]:

$$R_n = Q_{总} - Q_{反} - Q_{有} \tag{4}$$

式中, R_n 为净辐射, $Q_{总}$ 为太阳总辐射, $Q_{反}$ 为农田反射辐射, $Q_{有}$ 为农田有效辐射。农田生态系统获得的净辐射通量主要消耗于农田蒸发、湍流热交换及大气、土壤增温和植物光合作用等,其地表能量平衡方程为:

$$R_n = H + LE + G + P + M \tag{5}$$

式中, H 为感热通量, LE 为潜热通量, G 为土壤热通量, P 为光合作用耗能, M 为植物体热贮能。通常 P 项和 M 项数量级较小,实际计算可忽略不计。

$$R_n = H + LE + G \tag{6}$$

式(4)、(6)中 R_n 、 $Q_{总}$ 、 $Q_{反}$ 与 G 项可用辐射表及土壤流板直接测得, $Q_{有}$ 项用余项法求得,平原地区潜热蒸发(LE)与感热通量(H)计算式为:

$$LE = \frac{(R_n - G)\Delta e}{\Delta e + 0.64\Delta T} \tag{7}$$

$$H = \frac{(R_n - G)\Delta e}{\Delta T + 1.56\Delta e} \tag{8}$$

式中,空气温度梯度 $\Delta T = T_1 - T_2$,空气湿度梯度 $\Delta e = e_1 - e_2$ 。地表及冠层所获得的净辐射通量是决定农田生态系统能量的主要因素^[4],由图3可知大豆生育期内净辐射占太阳总辐射的比例有所变化,播种~苗期平均净辐射约占总辐射的50%,此时地表裸露多,反射率较大,地表及土壤升温消耗较多的热量。随大豆的生长,地表裸露面积减少,粗糙度增大,地表和冠层反射率随之减小,此时净辐射占总辐射的60%左右。灌浆~收获期大豆茎叶开始枯黄,叶面积指数不断减小,地表和冠层反射率随之增大,土壤开始不断降温并向大气释放能量,净辐射占总辐射的55%左右。

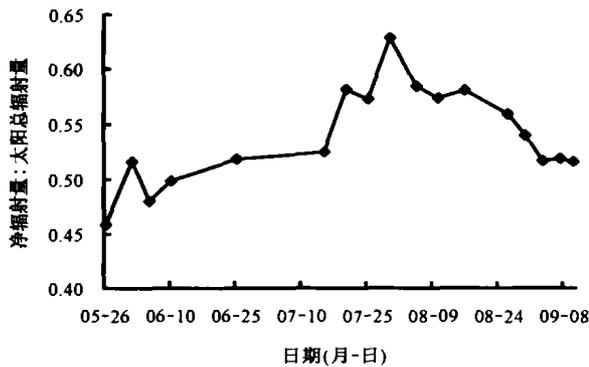


图3 三江平原大豆生育期内辐射收支状况(2001)
Fig.3 Change of radiation budget of soybean growth in 2001

农田地表能量平衡日变化与季节变化。下垫面热量状况除与其所吸收的太阳净辐射通量有关外,还与植物生长状态、土壤水分含量及气候等条件密切相关,大豆生长各生育期农田热量平衡各分量所占比例不同。2001年8月17日大豆灌浆期晴天地面热量平衡各分量日变化见图4a,图4a

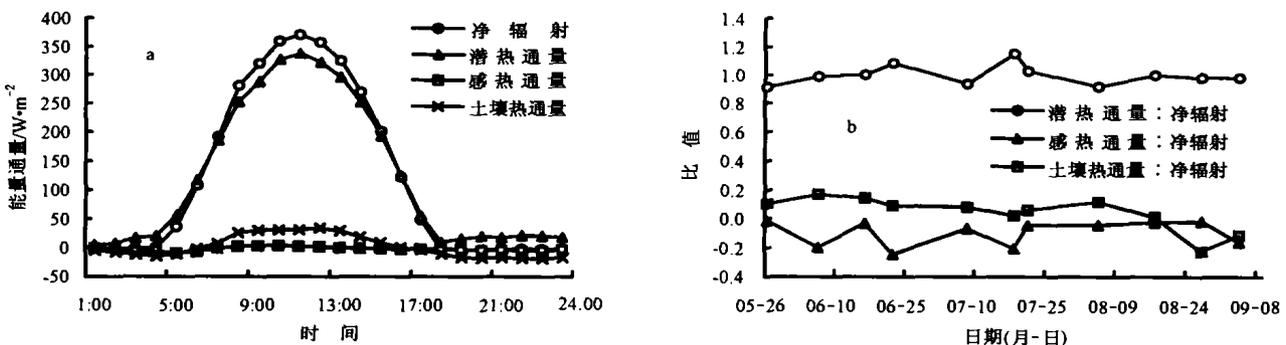


图4 大豆田热量平衡日变化(a)与季节变化(b)
Fig.4 Diurnal(a)and seasonal(b)changes of energy balance in soybean field

表明大豆生长旺盛阶段蒸散作用强烈,91.2%的太阳净辐射用于潜热消耗且二者振幅相似,日变化明显,午间11:00左右达最高峰值,感热通量与土壤热通量日振幅均较小,感热通量位相提前于净辐射,土壤热通量位相稍滞后于净辐射,感热通量基本全天为负值,其热流方向由空气指向土壤。土壤热通量白天为正值,热

量由地表流向土壤深层,夜间为负值,热量由地下传向地表,其0值转换时间在早6:00和下午16:00左右。由图4b可知大豆整个生育期内90%以上的净辐射通量消耗于潜热蒸发,其次为土壤热通量,感热耗能所占比例最小,平均不足净辐射收入的10%。大豆播种~收获热量平衡各分量所占净辐射通量的比例有所变化,播种期和苗后期农田蒸散量较小而土壤增温迅速,湍流热交换强烈,此时潜热蒸发占净辐射的比例为91%左右,土壤热通量占8%~10%左右,感热通量约1%~1.5%。花期~灌浆期大豆生长旺盛,蒸发蒸腾强烈,农田蒸散量大,潜热蒸发占净辐射比例不断增大,全部净辐射收入尚不能满足蒸发耗热,7月份大部分时间潜热通量占净辐射的比例 >1 ,土壤热通量和感热通量占净辐射比例则分别降至6%和1%左右。大豆成熟期潜热蒸发耗能占净辐射比例回落,而感热通量与土壤热通量占净辐射比例略有上升。

3 小 结

三江平原5~9月份作物生长季农田蒸散力基本与降雨量持平,正常年份5~9月份累积降雨量可满足农田蒸散量的需求。大豆生育期内蒸散量变化与大豆叶面积系数变化具一致性。大豆生育期内净辐射占太阳总辐射的比例有所变化,播种~苗期较低为0.5左右,开花~结荚期最大为0.60左右,灌浆~收获期回落至0.55左右。大豆田能量平衡具有明显日变化与季节变化特征,90%以上净辐射通量用于潜热消耗,感热通量与土壤热通量消耗极小,整个生长季分别低于1.5%和10%。

参 考 文 献

- 1 王会肖,刘昌明.农田蒸散土壤蒸发与水分有效利用.地理学报,1997,9(5):447~454
- 2 由懋正,王会肖.农田土壤水资源评价.北京:气象出版社,1996
- 3 王毅勇,杨青等.三江平原典型低湿地雨养农田水分特征.中国生态农业学报,2001,9(1):43~45
- 4 翁笃鸣,陈万隆等.小气候和农田小气候.北京:中国农业出版社,1979.6~93