

覆膜旱作水稻蒸发蒸腾量计算模型研究

彭世彰，李荣超

(淮海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 在利用蒸渗仪进行覆膜旱作水稻需水量现场试验中,应用时域反射仪 TDR 和植物冠层图像分析仪 CI-100 等仪器设备,系统地观测了覆膜旱作水稻各生育阶段的冠层结构及土壤水分等试验数据.鉴于冠层叶面积指数 *CLAI* 的动态变化对水稻蒸发蒸腾量的显著影响,提出了覆膜旱作水稻蒸发蒸腾量理论模型的 3 种计算公式,并用蒸发蒸腾量实测值进行了方差检验,均达到极显著水平.

关键词 水稻 覆膜旱作 冠层叶面积指数 蒸发蒸腾量 模型

中图分类号 S511 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2001)03-0051-04

水稻旱作 20 世纪 60 年代始于日本^[1],80 年代我国辽宁、吉林、湖北、河南等省开展了水稻覆膜旱作试验.90 年代初,河北承德县实现了地膜水稻高产稳产.1997 年,安徽省淮北、皖西、皖南等不同类型的生态气候区的实践表明,水稻旱作有节水、高产、耐旱、分蘖强、保肥、省种、抗病等特点^[2].水稻覆膜旱作将促进水稻栽培技术的革新,应用前景十分广泛.

覆膜旱作水稻的农田小气候与传统淹灌方式的差异明显.首先,地膜覆盖使水稻棵间蒸发得到抑制.其次,旱作方式势必减少深层渗漏.再者,在水稻的自我调节机制影响下,其冠层叶面积较大,株高较低,导致冠层内光分布变化.有关报道还指出覆膜旱作使水稻根系发育健壮,活性也得到不同程度的改善.因而覆膜旱作水稻的裸地蒸发、作物水汽扩散的阻力、作物与土壤表面的反射率以及作物自身特性包括冠层阻力和根系吸水等与传统灌溉水稻有较明显的差异,有必要建立覆膜旱作水稻自身的蒸发蒸腾量模型.

目前,我国覆膜旱作水稻需水规律的研究刚刚起步,根据水稻生理生态需水规律确定各生育期土壤水分调控指标和灌溉制度,已成为覆膜旱作水稻栽培推广的关键.在本项试验中,采用旱育稀植方式,大田覆膜旱作旱管,对覆膜旱作水稻的蒸发蒸腾量计算模型进行理论分析研究.

1 水稻腾发量模型

国内外许多学者为了研究方便,假定各因素对作物蒸发蒸腾量的影响相互独立,水稻实际蒸发蒸腾量可表示为^[3]

$$ET_c = f_1(A_0) \cdot f_2(P) \cdot f_3(S) \tag{1}$$

式中: $f_1(A_0)$ ——大气因素函数项,可通过参考作物蒸发蒸腾量计算,即 $f_1(A_0) = ET_0$; $f_2(P)$ ——水稻植株因素函数项; $f_3(S)$ ——土壤因素函数项,或称土壤水分应力函数.

由此,

$$ET_c = f_2(P) \cdot f_3(S) \cdot ET_0 \tag{2}$$

由于影响水稻蒸发蒸腾量的各因子同样也表现在水稻自身的生理生态指标上,因此,在覆膜旱作水稻土壤水分控制指标现场试验中,采用植物冠层图像分析仪 CI-100 测得的水稻冠层叶面积指数,可以体现覆膜旱作各处理的水稻在相同气象条件、农业技术措施及不同土壤水分状况条件下作物生理需水的差异,继而探求覆膜旱作水稻蒸发蒸腾量与冠层叶面积指数的相互关系.

收稿日期 2000-05-31
基金项目 水利部水利科技重点项目“水稻全程旱管覆膜节水高产技术研究”内容之一(SZ9827)
作者简介 彭世彰(1959—),男,上海人,教授,硕士,主要从事节水灌溉理论与技术研究.

2 覆膜旱作水稻腾发量模型

冠层叶面积指数 $CLAI$ 的大小既关系到气孔数量,还与冠层接受的大气净辐射和蒸腾过程的热交换以及植被覆盖率有密切联系^[4~6].鉴于 $CLAI$ 的变化对覆膜旱作水稻蒸发蒸腾量的影响,可以选择冠层叶面积指数 $CLAI$ 估算作物实际蒸发蒸腾量 ET_c .

根据试验观测资料,对 ET_c 和 $CLAI$ 进行了深入的理论分析,确定出以下 3 种计算公式,并用实测蒸发蒸腾量进行验证,相关系数达到 0.9 以上(相关系数的平方大于 0.81),方差检验均达到极显著水平,计算精度能满足生产实践的要求.

2.1 三次曲线公式

作物实际蒸发蒸腾量 ET_c 与冠层叶面积指数 $CLAI$ 的一元三次曲线存在较好的相关性(见图 1).其表达式为

$$ET_c = aCLAI + bCLAI^2 + cCLAI^3 + d \tag{3}$$

式中: ET_c ——覆膜旱作水稻蒸发蒸腾量,mm/d;
 $CLAI$ ——水稻冠层叶面积指数; a, b, c, d ——经验系数.公式(3)中代表性处理的经验系数见表 1.以处理 9 为例的检验结果见表 2,3.由表可见,有极显著水平.其它各处理也达到了显著或极显著水平.

表 1 三次曲线公式经验系数

Table 1 Empirical coefficients of cubic equation

处理	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>R</i> ²
2	96.959	-37.203	4.709	-76.882	0.818
4	131.000	-49.229	6.116	-109.061	0.942
5	251.607	-110.567	15.828	-179.369	0.845
9	29.626	-7.796	0.547	-26.894	0.945

表 2 处理 9 蒸发蒸腾量计算值和实测值比较

Table 2 Comparison of calculated and measured evapotranspiration values of treatment 9

移栽后 天数	<i>CLAI</i>	<i>ET_c</i> 实测值 /(mm·d ⁻¹)	<i>ET_c</i> 计算值 /(mm·d ⁻¹)	相对误差 /%	移栽后 天数	<i>CLAI</i>	<i>ET_c</i> 实测值 /(mm·d ⁻¹)	<i>ET_c</i> 计算值 /(mm·d ⁻¹)	相对误差 /%
47	1.50	1.87	1.85	1.08	80	2.88	6.93	6.82	1.61
58	2.05	5.35	5.78	-7.44	90	2.08	6.49	5.92	9.63
62	2.28	6.7	6.60	1.52	96	2.00	5.94	5.54	7.22
73	2.74	6.8	6.99	-2.72	104	2.00	4.96	5.54	-10.47

2.2 对数项公式

ET_c 与 $\ln(CLAI)$ 的一元三次曲线也存在较好的相关性(见图 2),由此建立作物蒸发蒸腾量与冠层叶面积指数 $CLAI$ 的对数公式为:

表 3 处理 9 三次曲线回归统计值

Table 3 Statistical values of cubic equation regression for treatment 9

<i>R</i> ²	回归平方和	残差平方和	<i>F</i> 观察值	<i>F</i> _{0.05}	<i>F</i> _{0.01}
0.946	18.630	1.075	23.110	6.59	16.69

$$ET_c = a' \ln(CLAI) + b' \ln^2(CLAI) + c' \ln^3(CLAI) + d' \tag{4}$$

式中 a', b', c' 和 d' 为经验系数.代表性处理对数项公式系数见表 4,以处理 4 为例的检验结果见表 5,6.由表可见,存在极显著水平.其它各处理也达到了显著或极显著水平.

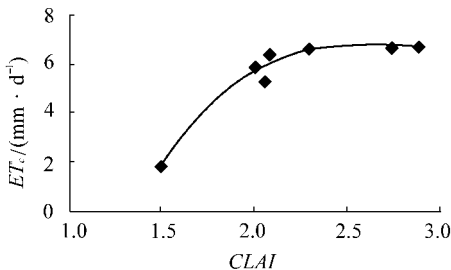


图 1 水稻实际蒸发蒸腾量
与冠层叶面积指数的关系

Fig.1 Relationship between actual rice
evapotranspiration ET_c and canopy leaf
area index $CLAI$

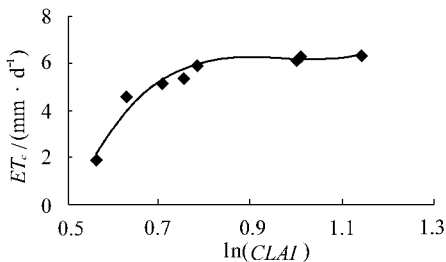


图 2 水稻实际蒸发蒸腾量
 ET_c 与 $\ln(CLAI)$ 的关系

Fig.2 Relationship between actual rice
evapotranspiration ET_c and $\ln(CLAI)$

表 4 对数项公式经验系数

Table 4 Empirical coefficients of logarithmic term equation

处理	a'	b'	c'	d'	R^2
2	123.346	-133.758	47.876	-31.1059	0.848
4	183.930	-191.017	65.727	-52.5599	0.956
5	232.360	-296.554	120.617	-50.6605	0.869
9	2.227	24.802	-18.081	-1.9172	0.946

表 6 处理 4 对数项公式回归统计值

Table 6 Statistical values of logarithm term equation regression for treatment 4

R^2	回归平方和	残差平方和	F 观察值	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
0.956	13.763	0.627	29.260	6.59	16.69

2.3 指数项法公式

ET_c 与 $\exp(CLAI)$ 的一元三次曲线存在较好的相关性(见图 3), 由此建立作物蒸发蒸腾量 ET_c 与 $CLAI$ 的指数三次回归公式:

$$ET_c = a''\exp(CLA I) + b''\exp(2CLAI) + c''\exp(3CLAI) + d'' \quad (5)$$

式中 a'', b'', c'' 和 d'' 为经验系数.

代表性处理各经验系数见表 7,以处理 9 为例的检验结果见表 8, 9. 由表可见,存在极显著水平. 其它各处理也达到了显著或极显著水平.

表 7 指数项法经验系数

Table 7 Empirical coefficients of exponent term equation

处理	a''	b''	c''	d''	R^2
4	4.596	-0.309	0.007	-14.964	0.904
9	3.864	-0.280	0.007	-10.429	0.951

表 8 处理 9 蒸发蒸腾量计算值和实测值比较

Table 8 Comparison of calculated and measured evapotranspiration values of treatment 9

移栽后 天数	$CLAI$	ET_c 实测值 /(mm·d ⁻¹)	ET_c 计算值 /(mm·d ⁻¹)	相对误差 /%	移栽后 天数	$CLAI$	ET_c 实测值 /(mm·d ⁻¹)	ET_c 计算值 /(mm·d ⁻¹)	相对误差 /%
47	1.50	1.87	1.85	-1.08	80	2.88	6.93	6.93	0.00
58	2.05	5.35	5.78	7.44	90	2.08	6.49	5.94	-9.26
62	2.28	6.7	6.75	0.74	96	2.00	5.94	5.49	-8.20
73	2.74	6.8	6.81	0.15	104	2.00	4.96	5.49	9.65

表 9 处理 9 指数项公式回归统计值

Table 9 Statistical values of exponent term equation regression for treatment 9

R^2	回归平方和	残差平方和	F 观察值	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
0.951	18.731	0.973	25.663	6.59	16.69

表 5 处理 4 蒸发蒸腾量计算值和实测值比较

Table 5 Comparison of calculated and measured evapotranspiration values for treatment 4

移栽后 天数	$CLAI$	ET_c 实测值 /(mm·d ⁻¹)	ET_c 计算值 /(mm·d ⁻¹)	相对误差 /%
47	1.76	1.95	2.25	13.33
58	2.03	5.18	5.24	1.15
62	2.75	6.26	6.07	-3.13
73	3.15	6.23	6.29	0.95
80	2.73	6.05	6.08	0.49
90	2.20	5.91	5.93	0.34
96	2.13	5.38	5.72	5.94
104	1.88	4.58	3.96	-15.66

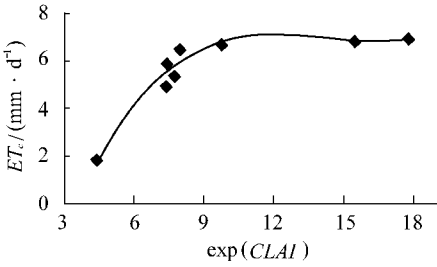


图 3 水稻实际蒸发蒸腾量
 ET_c 与 $\exp(CLA I)$ 的关系

Fig.3 Relationship between actual rice evapotranspiration ET_c and $\exp(CLA I)$

3 结 论

使用植物冠层图像分析仪 CI-100 观测覆膜旱作水稻冠层叶面积指数 $CLAI$,建立了三次曲线关系、对数关系及指数关系的覆膜旱作腾发量计算模型,并用覆膜旱作水稻实际蒸发蒸腾量对计算值进行了验证.当水稻冠层叶面积指数 $CLAI$ 大于 2 时,用对数项法公式计算覆膜旱作水稻蒸发蒸腾量,精度能满足在 5% 以内.当 $CLAI$ 低于 2.0 或高于 2.1 时用三次曲线公式和指数项法公式也能保证 5% 以内较高的计算精度.需要指出的是,在水稻乳熟期后期随着冠层叶片衰老和气孔开度减小,3 种方法计算得出的 ET_c 与实测值相对误差较大,使用时需予以注意.

参考文献:

- [1] 赵其良. 日本东北地区水稻旱种地膜覆盖栽培技术[J]. 辽宁农业科学,1982(3) 32 ~ 56.
- [2] 罗守进. 稻类旱作研究[J]. 安徽农业科学,1997,25(4) 333 ~ 337.
- [3] 李远华. 节水灌溉理论与技术[M]. 武汉 武汉水利电力大学出版社,1999.47 ~ 64.
- [4] 康绍忠,蔡焕杰. 农业水管理学[M]. 北京 中国农业出版社,1996.101 ~ 120.
- [5] Allen R G, Hatfield J L. Evapotranspiration estimates under deficient water supplies[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1996,9 301 ~ 308.
- [6] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al, Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements[M]. Rome :Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998.17 ~ 156.

Calculation Models of Rice Evapotranspiration in Plastic Film Mulched Dryland

PENG Shi-zhang, LI Rong-chao

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract On the basis of field experiment of water requirement of rice in plastic film mulched dryland (RPFMD) with lysimeters, by use of Time Domain Reflectometry TDR and Digital Plant Canopy Imager CI-100, soil water contents and canopy structures of RPFMD in different growth stages are systemically measured. Owing to the significant effects of the development of canopy leaf area index $CLAI$ on rice evapotranspiration, 3 calculation formulae are proposed of the theoretical model of evapotranspiration of RPFMD, and the formulae are verified by measured data. The results indicate that F tests reach significant levels, and that the formulas are accurate.

Key words rice ; plastic film mulched dryland ; canopy leaf area index ; evapotranspiration ; model