

作物生物学特性对耗水量的影响^{*}

程 维 新

(中国科学院地理研究所)

提 要

本文根据农田蒸发实验资料,分析了作物生物学特性对耗水量的影响。结果表明,C₃植物(小麦、大豆)和C₄植物(玉米、谷子)在耗水量、耗水日变化过程和耗水特性系数等方面有明显的差异。

农田蒸发是一个范围相当广泛而又十分复杂的课题。它发生于土壤-作物-大气系统中,受到土壤理化性质、气象因子和作物生物学特性的影响,每一类因素对蒸发的影响都有许多有待探索的问题。本文仅就作物生物学特性对农田蒸发的影响作一初步探讨。

一、不同种类作物的耗水特性

为了探讨生长在田间条件下不同作物的耗水特性,确定其耗水量,掌握耗水量的变化规律,我们采用漂浮式土壤蒸发器和供水式蒸发器等测定了小麦、玉米、大豆、谷子等作物的总蒸发量和蒸发量的日变化过程。为了确定相对蒸发量,在农田蒸发场附近设置有测量水面蒸发的仪器。主要有A型蒸发皿和E₆₀₁型蒸发器。

在1961—1965年和1979—1983年期间,在不同作物的各个发育阶段进行了昼夜连续观测,根据观测数据,绘制冬小麦、大豆、玉米、谷子等作物的耗水日变化过程线(图1)。从图1可见,C₃植物和C₄植物的耗水特性有很大区别,基本上表现为两种变化趋势。对于小麦、大豆这类C₃植物说,耗水速率一直是很大的。自日出以后,蒸发量便迅速递增,到日落前仍保持较大的蒸发速率,曲线显示为较宽的峰值带。相反,玉米和谷子等C₄植物的耗水量日变化过程线上的峰值带较窄,大致从上午11时开始剧增,到16时左右又急剧下降,耗水量日变化过程属于剧增骤降型。上述耗水特性表现于作物的全生育过程。

图2和图3分别为小麦和玉米不同发育阶段的耗水量日变化过程曲线。由图可见,对于同一种作物来说,不同发育阶段的耗水日变化趋势是一致的。

本文1983年10月20日收到,1984年4月15日收到修改稿。

• 本文承蒙左大康先生指导,参加实验的有赵家义等同志,特此致谢。

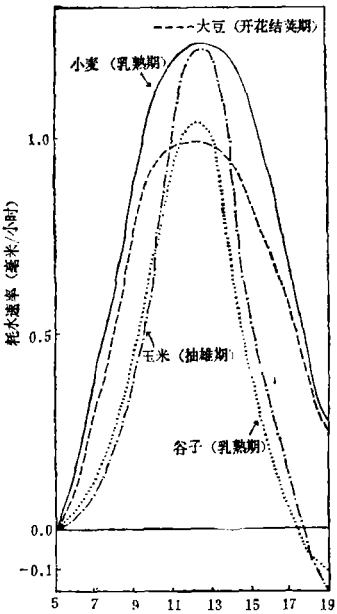


图 1 冬小麦、大豆、玉米、谷子耗水速率日变化过程

Water consumption intensity of winter wheat, soybean, maize and millet

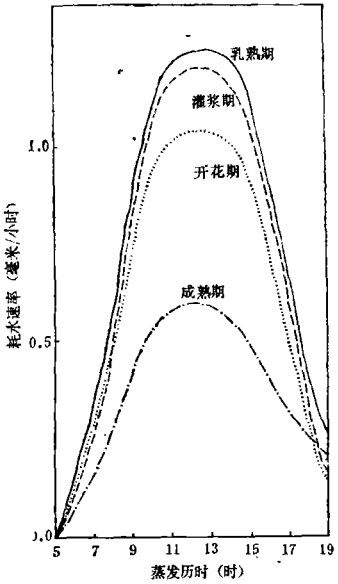


图 2 冬小麦不同发育阶段耗水速率日变化过程

Water consumption intensity of wheat in the development stages

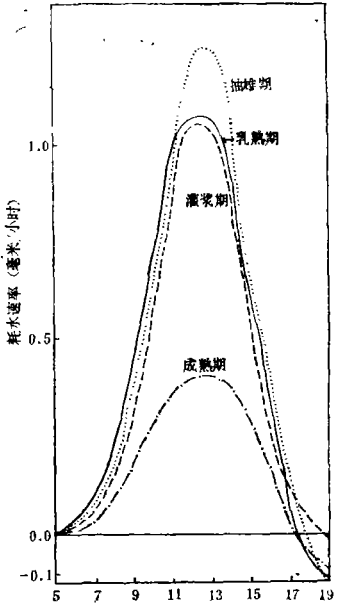


图 3 玉米不同发育阶段耗水速率日变化过程

Water consumption intensity of maize in the development stages

从上述分析中可知，不同种类的作物，显示出不同的耗水峰型， C_3 植物属宽峰值带型， C_4 植物属窄峰值带型。不同种类作物耗水峰值带的窄宽，也许是导致 C_3 植物和 C_4 植物耗水量差异的症结所在。

根据作物生育盛期的平均日耗水量和最大日耗电量的资料(表 1)分析， C_3 植物和 C_4 植物

表 1 不同作物生育盛期平均日耗水量和最大日耗水量(毫米)
Daily average and maximum of water consumption for various crops

作物种类	作物名称	生育阶段	测定年份	平均日耗水量		最大日耗水量	
				耗水量	平均值	耗水量	平均值
C_4 植物	玉 米	抽 雄 期	1982	4.4	5.1	8.1	8.3
	谷 子	灌 浆 期	1965	5.7		8.5	
C_3 植物	小 麦	灌 浆 期	1982	10.7	11.2	14.9	17.4
	大 豆	开 花 期	1964	11.2		14.6	
	棉 花	结 铃 期	1983	11.7		22.6	

图 1 中的资料是选择作物生育盛期的观测值，大豆为开花期，玉米为抽雄期，小麦和谷子为乳熟期。

在耗水量方面的差异也是相当明显的。平均日耗水量 C_3 植物为 11.2 毫米/日, C_4 植物为 5.1 毫米/日, 两者相差 1 倍左右。最大日耗水量也具有类似的情况, 小麦和小豆的最大日耗水量约为谷子、玉米的 178%, 棉花为谷子和玉米的 2.7 倍。从 C_3 植物和 C_4 植物的最大日耗水量的平均情况来看, 两者也相差 1 倍左右。

关于 C_3 植物和 C_4 植物在耗水量方面的差异性, 还可以从长谷川史郎的实验资料中找到例证^[1]。文献^[1]报道在人工控制气候条件下对 26 种作物的耗水量测定结果表明, 作物耗水量与作物种类有着十分密切的关系, 无论是在干燥条件下 (相对湿度为 40%) 或是在湿润条件下 (相对湿度为 80%), C_3 植物的耗水量比 C_4 植物大 1 倍左右 (表 2)。

表 2 C_3 植物与 C_4 植物的耗水量 (克/平方厘米/天)
The evapotranspiration of C_3 -plants and C_4 -plants (g/cm²/day)

C_3 植物			C_4 植物		
作物名称	干燥条件下	湿润条件下	作物名称	干燥条件下	湿润条件下
水稻	5.17	3.08	谷子	1.74	1.12
荞麦	3.56	2.74	黍	1.64	0.87
大豆	3.40	2.43	高粱	1.24	0.67
黄瓜	3.40	2.09	玉米	0.94	0.64
向日葵	3.09	2.76	苋菜	1.12	1.09
7 种作物平均	3.86	2.59	19 种作物平均	1.89	1.30

此外, 我们还可以从大量有关蒸腾耗水的实验资料中看到 C_3 植物与 C_4 植物在蒸腾系数方面的区别。美国学者布里格斯和肖兹 (Briggs and Shantz) ^[2] 在科罗拉多州的阿克龙试验站的实验包括有 55 个种和品种, 我们从中选取一部份栽培作物的资料, 重新整理成表 3。表 3 表明, C_3 植物的蒸腾系数也比 C_4 植物大一倍左右。

由于表 2 和表 3 资料不是在田间条件下获取的, 因此, 这些需水量测定值必须看作是相对的而不是绝对的, 但对于比较不同种类作物的耗水特性还是十分有价值的。

从水分的利用来看, 这两类作物也将近相差 1 倍。根据有关实验资料表明, 双子叶植物中的 C_4 植物的蒸腾效率为 3.44, C_3 植物为 1.59; 禾本科 C_4 植物为 3.14, C_3 植物为 1.49^[3]。

表 3 不同种类作物的蒸腾系数
Transpiration coefficient (k) for various crops

C_3 植物		C_4 植物	
作物名称	蒸腾系数	作物名称	蒸腾系数
小麦	510	黍	293
水稻	710	谷子	310
棉花	646	高粱	322
大豆	744	玉米	368
平均	654	平均	323

由此可见, C_4 植物的水分利用率较高, C_3 植物则较低。

综上所述, 作物种类不同, 其耗水特性有明显差异。这就规定了各种作物对水分的消耗状况和利用程度。

二、作物不同发育阶段的耗水特性

作物不同发育阶段对耗水量的影响, 国内外已有较多的研究。本文在分析作物不同发育阶段的耗水特性时, 采用蒸发比的方法, 即

$$E/E_0 = \alpha$$

式中 E 为作物耗水量, E_0 为水面蒸发量, α 为作物耗水特性系数。

作物不同发育阶段的耗水特性系数 (α) 是通过实验求得的。图 4 是表明小麦、玉米、大豆和谷子四种作物生长期间 α 的变化曲线。

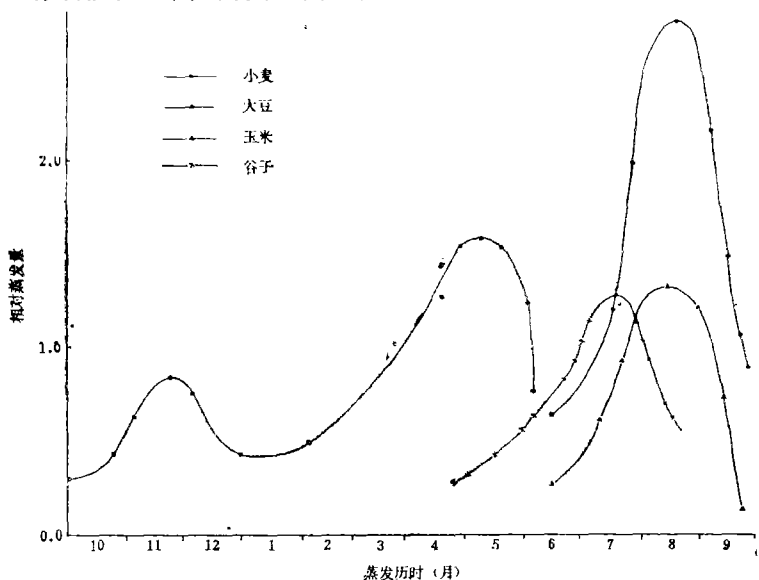


图 4 冬小麦、大豆、玉米、谷子全生育期耗水量与水面蒸发量比值过程线
The ratio E/E_0 of wheat, soybean, maize, and millet

由图 4 可见, 随着作物的生长和叶面积系数的增加, α 值也不断增大。在作物幼苗期, α 值较小, 表示作物所需要的水分较少。当作物进入生育盛期, 需水量增加很快, 曲线出现生理需水高峰。到作物成熟期, α 值又迅速下降。这样, 这条曲线在时间分布上可以近似地将它看成一条作物生理需水曲线。

在田间条件下, 农田蒸发所消耗的总水量, 既包括作物的蒸腾耗水, 又包括棵间土壤蒸发耗水。目前, 我们还不能精确地将这两部分的量值分割开来。因此 α 系数包涵着棵间土壤蒸发的一些特征, 特别是在作物幼苗期和成熟期, α 值有较大波动, 不如其它生育期稳定^[4]。

从图 4 中可以看到下列三点:

1. 不同种类的作物生理需水曲线有很大的差异。在上述四种作物中,大豆的生理需水量最大,俗话有“荞麦豆子是水罐”之说。其次是小麦。谷子和玉米的生理需水量大体相等。

2. 每种作物都有相应的生理需水峰期。冬小麦有两个需水峰期:第一峰期在分蘖期。此期冬小麦处于苗期,气温较低,耗水量较少。第二峰期在开花至乳熟期。此期正值小麦生育盛期,这在华北是4月和5月,降水少,气温高,空气干燥,蒸发能力较大,自然降水通常都不能满足小麦的需水要求,若无灌溉,小麦将因缺水而减产。大豆的需水峰期在开花结荚期,这与“大豆开花,垄沟摸虾”的农谚是一致的。夏大豆的需水峰期华北约在8月,此时正值雨季,除个别少水年份外,降水量一般都能满足大豆的需水要求。谷子的需水峰期为开花—乳熟期,玉米为抽雄—乳熟期,谷子和玉米的需水峰期也正好与华北地区的降水峰时相吻合。

在上述几种作物中,除小麦生育期的降水条件较差外,其它几种作物的自然供水条件尚好。当然,在少数年份或个别发育阶段里,降水量也不能充分保证作物的需水要求,必须由灌溉水加以补偿,但比之小麦,无论是灌水定额或灌水次数则要少得多。

3. 无论那种作物,在生育期的某些阶段,作物耗水量可能超过水面蒸发量,即 E/E_0 大于1。

在华北平原,大豆全生育期的总耗水量大约要超过水面蒸发量的50%,在开花结荚期,耗水量为水面蒸发量的2.9倍。小麦在灌浆期的耗水量为水面蒸发量的150%。即使像谷子和玉米这类 C_4 植物,在灌浆期的耗水量也要比水面蒸发量大30%左右。

在华北平原,各种作物不同发育阶段 E/E_0 大于1的天数有很大差别。根据我们的实验资料分析,大豆为75天,小麦为60天,玉米为45天,谷子为35天,分别占全生育期天数的70%,25%,45%和27%。

特别要指出的是, C_3 植物在生育盛期的耗水量要超过水面蒸发量很多。例如大豆在盛花期的 α 值为2.95。棉花在结铃期(叶面积系数为3.32—3.93,1983年7月15日至8月6日)的耗水量为257.6毫米,水面蒸发量为106.5毫米,两者相差2.42倍。

作物生育期某些阶段的 E/E_0 大于1的现象不仅在华北湿润不足地区存在,即使在湿润的南方稻区也同样存在。根据王铁生的资料^[5],水稻需水量(全生育期)要大于水面蒸发量的10—20%。

造成上述情况的原因很多,主要有:一、气候因素;二、下垫面性质。

我国属于季风气候区,干湿季节分明,容易导致大范围的平流热交换。下垫面性质不均匀,主要决定于作物布局。在同一季节里,农田里并存有休闲地、春播作物地、夏播作物地和秋播作物地;在同一地区又并存有灌溉地和非灌溉地等。这样,热量与水分条件造成地区间的差异,容易导致局部的平流热交换。这就是所谓的“绿洲效应”或“晒衣绳效应”。不言而喻,在自然界平流交换是一种正常的现象。由于平流热的影响,灌溉农田的作物耗水量大于水面蒸发量的现象是容易理解的。

由上分析可知,作物不同发育阶段的耗水量和水面蒸发量的比值可以看作作为一条作物生理需水曲线,每种作物都有相应的生理需水峰值区。作物生理需水峰值区可以看作作物需水关键时期。作物生理需水峰值区的确定,在灌溉上具有重要意义。

三、作物种类对农田蒸发的影响

作物对水分的要求及其消耗状况, 是作物长期适应自然的结果, 具有较为稳定的遗传性。因此, 每种作物都有与之相适应的生理需水要求。

我们虽然把作物大体上分成两类, 但每一类中的作物耗水特性仍然存在着不小的差别。

农田蒸发与作物种类和同一气候条件下的自由水面蒸发之间的关系, 如果只存在简单的比例关系, 那末用这种方法估算我国农田蒸发量就是最简便的一种方法。因为我们只要能求出 E_0 值, 采用同一系数, 便可求得种植不同作物农田的蒸发量数值。事实上, 问题远比人们想像的要复杂的多。许多实验结果表明, 对于同一种作物而言, 作物耗水特性系数具有较为稳定的特性, 作物耗水量与同期水面蒸发量的比值趋近于一常数(表 4)^[6]。这是由于某种

表 4 玉米蒸发量与水面蒸发量比值

Ratio of evapotranspiration of maize to evaporation of water surface

测定年份	E (毫米)	E_0 (毫米)	α
1961	330	336	0.98
1964	308	309	1.00
1980	364	372	0.98
1981	333	338	0.99
1982	392	396	0.99

作物覆盖条件下的农田蒸发量与水面蒸发量同时制约于气象条件。但对于不同种类的作物来讲, 农田蒸发量除受制于气象因素外, 在很大程度上又决定于作物本身的耗水特性。由于每种作物都有自己的耗水特性, 因此, 作物耗水特性系数也随作物种类而异。不同种类作物的耗水特性系数不可能相同, 在估算作物耗水量时, 不能采用同一耗水系数。根据我们在华北平原实验测定的资料表明^[7], 由于作物种类不同, α 值差别很大(表 5)。

表 5 华北平原主要作物的耗水特性系数 (α)

Characteristic coefficient α of water consumption for various crops

作物名称	谷子	小麦	棉花	夏玉米	水稻	夏大豆
α 值	0.7	0.9	0.9	1.0	1.3	1.5

由表 5 可见, 春谷子的 α 值不足夏大豆的一半。夏大豆和夏玉米生长在同一季节里, α 值也相差 50%。由此可见, 作物耗水特性给予农田蒸发量的影响是很大的。

陈力在文献^[8]中, 引用宁夏灌区几种作物需水量的实验资料, 求出宁夏地区春小麦、水稻和糜子的耗水特性系数, α 值大体上是水稻 > 小麦 > 糜子。陈力分析的结果也足可证实本文上述的观点是符合我国的实际情况的。

笔者认为确定作物耗水特性系数, 在一定程度上比确定 E_0 更为重要。这是因为对于 E_0

的研究较为深入,并且有一些比较成熟的计算 E_0 的方法(例如彭曼法等),各种计算方法获得的结果误差也不是太大。而作物耗水特性系数对于农田蒸发量则重要的多,比如大豆的耗水系数要比谷子大 1 倍左右。如果我们不加选择地采用同一系数进行农田蒸发量估算,误差之大是可想而知的。

作物水分消耗过程一方面遵守物理学上关于蒸发的基本定律,另一方面蒸腾作用又是从活着的植物表面进行的。植物体无论在形态上或是生理上对水分消耗都有所调节,有所适应,因此,农田蒸发是一种复杂的、综合性的物理与生物过程。农田蒸发既受外界气象因子的影响,又受作物生理生态因子的调节。只有综合考虑这两方面的因子对农田蒸发的影响,才会对农田水分消耗状况作出较为符合实际的评价。

综上所述,可以得出以下结论:

1. 各种作物具有不同的耗水特性。 C_3 植物为宽峰值带型, C_4 植物为窄峰值带型。
2. 作物在不同发育阶段的耗水量与同期水面蒸发量的比值,可视为一条生理需水曲线。每种作物都有相应的生理需水峰值区。作物需水峰值区的确定,在灌溉上具有重要意义。
3. 在华北平原,作物需水关键时期为 4—5 月和 7—9 月,把握住这两个时期的水分供应,对提高作物产量十分重要。
4. 每种作物都有相应的耗水特性系数。不同种类作物的耗水特性系数相差甚远。在估算农田蒸发量时,必须注意到作物种类及耗水系数的差异。

参 考 文 献

- (1) 长谷川史郎: C_3 植物と C_4 植物に関する农业气候学の研究,农业气象,33(3),1977年。
- (2) A.A.罗戴著:土壤水,科学出版社,1964年。
- (3) 仓山:植物水分亏缺和抗旱性研究概况,西北植物研究,1(2),1981年。
- (4) E.W.腊塞尔:土壤条件与植物生长,科学出版社,1979年。
- (5) 王铁生:水稻需水量的初步研究。水利学报,第6期,1980年。
- (6) 程维新、赵家义:关于灌溉农田作物耗水量问题,水利学报,第4期,1983年。
- (7) 程维新:华北平原蒸发力与作物需水量。远距离调水——中国南水北调与国际调水经验,科学出版社,1983年。
- (8) 陈力:最大蒸发量的计算、分析及其应用,气象学报,40(2),1982年。

EFFECT OF CROP BIOLOGY ON WATER CONSUMPTION

Cheng Weixin

(Institute of Geography, Academia Sinica)

Abstract

This paper analyzed the character of water consumption for C_3 -plants (wheat and soybean) and C_4 -plants (millet and maize) and found that the process of water consumption intensity is very different for the two types of plants. C_3 -plants possess wide peak value zone, but C_4 -plants narrow one.

The width or narrow of peak value zone of the water consumption can probably cause the difference of water consumption between C_3 -plants and C_4 -plants.

The ratio of the water consumption by crops to evaporation from water surface in the growth stages can be regarded as a curve of physiological water consumption, from which it is seen that the water consumption in the beginning and the end of growth is small, but in the middle of growth it is large. For winter wheat the peak value zone of water consumption is in tillering and florescence-grouting; for soybean in florescence-bearing fruit; for millet in florescence-grouting; for maize in heading-grouting.

The determination of the peak value zone has an importance in irrigation. In North China Plain, the key periods of water consumption by crops usually are in April-May and July-September. Water supply in these periods is more important.

Characteristic coefficient of water consumption by crops is quite different, for example, the coefficient for soybean is about twice as high as the coefficient for millet. It must be on the basis of the strict experimental data to obtain the coefficient of crops. It must consider plant types and water consumption coefficient to estimate evapotranspiration from agricultural lands.