

夏大豆蒸腾速率与叶位、株龄及干物质积累的关系^{*}

李永孝 丁发武 李佩琰 崔 如 王法宏 赵经荣

(山东农科院作物研究所)

提 要

1986~1988年用盆栽方法研究了夏大豆叶片蒸腾速率与叶位、叶龄、株龄及干物质积累的关系。结果表明:夏大豆蒸腾速率与各生育期叶龄、株龄及分枝期、始花期、结荚末期叶位的关系,及叶片蒸腾速率日变化均呈单峰曲线,都可用模式 $y=ax^{bx}$ 模拟。鼓粒中期、鼓粒末期的叶位及各生育时期植株干物质积累与蒸腾速率呈显著线性相关关系。

关键词 夏大豆;蒸腾速率

蒸腾作用不仅对大豆吸收和运输水分有重要意义,而且对吸收和运输矿物质、有机物以及降低叶片温度有重要意义。因此,国内外专家对此进行了多方面研究。邹冬生、郑丕尧进行了大豆叶片光合、蒸腾等生理特性的品种间比较研究^[1]。阎秀峰等^[2]由光合速率和蒸腾速率研究了春大豆的水分利用率。Reicosky等^[3]以及Sharratt等^[4]分别研究了大豆和苜蓿的蒸腾速率日变化。苗以农等指出,春大豆开花期叶片蒸腾速率高于结荚期,植株中上部叶片蒸腾速率较大,一日中峰值在14时^[5]。但这今为止,夏大豆蒸腾速率与叶龄、株龄及干物质积累的关系,不同供水条件下蒸腾速率日变化,尚未见报。本所于1986~1988年用盆栽方法进行了这方面的研究。

材料与方法

一、材料 试验于1986~1988年在本所防雨轨道网室内进行。供试品种鲁豆4号,种子白瓷缸内。装过筛土壤15kg(含水量10%)。土壤养分三年平均为:全氮0.106%,全磷0.179%,水解氮53.57ppm,速效磷53.85ppm,速效钾135.0ppm,有机质1.21%。水分试

* 本文于1992年8月4日收到。

This paper was received on June 4, 1992.

验设 5 个处理:每次供水量分别 0.9、1.2、1.5、1.8、2.1 kg · 株⁻¹,每个处理均为 20g 复合化肥。始花前每 5 天浇一次水,始花后每 2 天浇一次水。复合肥为 N:P₂O₅:K₂O=15:15:15。12 个重复。6 月中旬播种,出苗后每缸留苗 1 株,9 月中旬成熟。

测试蒸腾速率用美国产 LI-1600 稳态气孔计,在植株活体上进行。蒸腾速率在株体(主茎)上分布的资料,是每次供水量 0.9 和 1.8 kg · 株⁻¹处理的相同叶位 4 个重复平均值。蒸腾速率日变化,各阶段蒸腾速率与干物质积累的关系,其中的蒸腾资料是自上而下第 2、3 主茎叶片 4 个重复的平均值。干物重(包括根、茎、叶、荚)是在测量蒸腾速率的次日取样烘干称重的。烘干按常规方法在烘箱中进行。称重用日本产精度为 0.01g 的电子天平。计算在 IBM-PC/XT 微机上进行。

二、方法 蒸腾速率与叶龄、株龄的关系,蒸腾速率日变化是通过模式

$$\hat{y} = ax^pe^{bx} \quad (1)$$

表达的。(1)式系根据图 1、2、3 中资料,经微机模拟得出。式中 \hat{y} 代表蒸腾速率($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), x 代表时间(时,或日), p 为指数, a ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hr}^{-p}$ 或 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{day}^{-p}$), b (hr^{-1} 或 day^{-1}) 为回归系数。

各生育阶段干物质积累与蒸腾速率的关系可用线性回归方程

$$\hat{y} = a + bx \quad (2)$$

表达。(2)式中 \hat{y} (g 株⁻¹)代表某生育阶段植株干物质增重, x ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)代表叶片蒸腾速率, a (克/株⁻¹), b (克 · 株⁻¹ · $\mu\text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)为回归系数。

鼓粒中期、鼓粒末期蒸腾速率与叶位的关系也可用(2)式描述。这时,(2)式中 \hat{y} ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)代表蒸腾速率, x 代表叶位, a ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), b ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)为回归系数。

结果与分析

一、主茎叶片蒸腾速率与叶位的关系

图 1 表示的是每次供水量 0.9 和 1.8 kg · 株⁻¹的主茎叶片蒸腾速率于分枝期(7 月 8 日)、始花期(7 月 15 日)、结荚末期(7 月 31 日)、鼓粒中期(8 月 18 日)、鼓粒末期(9 月 1 日)在株体上的分布。折线上的数字表示自上而下的主茎叶片叶位。可以看出,有限结荚型夏大豆,主茎叶片蒸腾速率随叶位的分布不仅因供水量而异,而且也因生育期而异。不论何种供水量,于分枝期、始花期和结荚末期蒸腾速率随叶位呈单峰曲线分布;于鼓粒中期和鼓粒末期呈线性分布。各个生育时期相同叶位的叶片蒸腾速率,0.9 比 1.8 kg · 株⁻¹处理显著低。不同供水量情况下,于分枝期、始花期、结荚末期蒸腾速率出现最大值的叶位不同,供水量 1.8 kg · 株⁻¹时,最大值分别出现在第 5、4、3 片叶,供水量 0.9 kg · 株⁻¹时,最大值分别出现在第 4、3、2 片叶。于鼓粒中期、鼓粒末期底部失去蒸腾功能的叶片,0.9 比 1.8 kg · 株⁻¹供水量处理多 2~3 片叶。这可能由于当供水量不足时,植株在调节分配水分时,先保证育壮龄叶片,而导致了底部叶片的黄落,在生育前期则导致蒸腾速率最大值的叶位上移。

主茎叶片蒸腾速率与叶位的关系,于分枝期、始花期、结荚末期可用(1)式表达,于鼓粒中期、鼓粒末期可用(2)式来描述。各生育期回归方程的 a 、 b 、 p 、 r 及极点、拐点值列入表

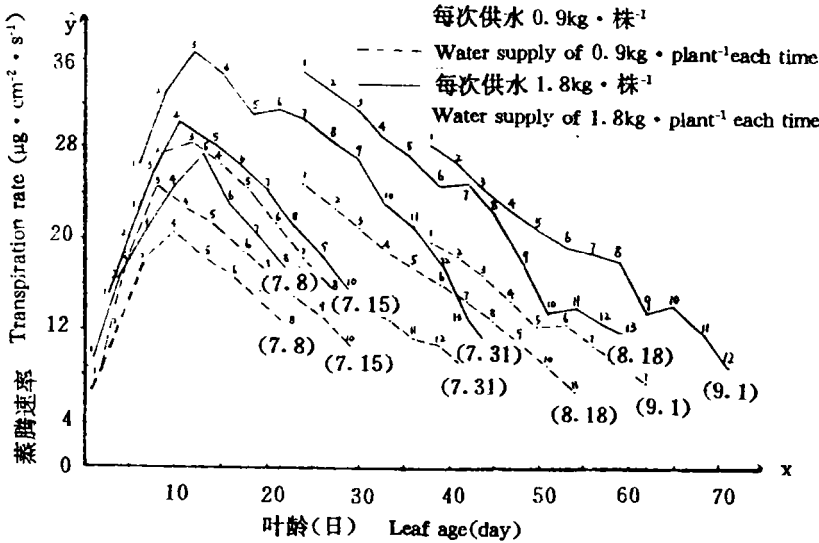


图 1 夏大豆不同生育阶段主茎叶片蒸腾速率与叶龄的关系

Fig. 1 Relationship between transpiration rate of leaves on main stem and leaf age at different growth stage in summer soybean

注: 1)折线上的数字表示自上而下的叶位; 2)括号中的数字表示资料测量日期。

Note: 1)The numbers on broken-line indicate the position of leavres from top to bottom.

2)The numbers in brackets indicate the measured date of data.

1 中。由(1)式和表 1 看出,于分枝期、始花期、结荚末期蒸腾速率与叶位呈极密切的单峰曲线分布,蒸腾速率最大值出现在第 4 片叶上下,每次供水量 0.9 比 1.8kg · 株⁻¹处理的最大蒸腾速率低 2~10μg · cm⁻² · s⁻¹,且随生育期后移差异增大。右拐点(当 p>1)时有 2 个拐点,表 1 仅列出右拐点)出现在第 7~10 片叶之间,两种供水处理的拐点相差 1~2 个叶位,拐点蒸腾速率相差 2~7μg · cm⁻² · s⁻¹,两种供水处理的最大蒸腾速率和拐点蒸腾速率都表现为结荚末期>始花期>分枝期。由(1)式和表 1 还可以算出,两种供水处理同叶位蒸腾速率的差值随生育期后移而加大。这可能由于 0.9kg · 株⁻¹供水处理的水分亏缺随生育期后移而加大所致。

在鼓粒中期和鼓粒末期,两种供水处理的蒸腾速率空间分布均表现为与叶位呈极显著线性负相关(表 1),顶叶蒸腾速率最大,底叶最小。1.8 比 0.9kg · 株⁻¹供水处理的蒸腾速率显著高。

二、主茎叶片蒸腾速率的时间分布

1. 蒸腾速率与叶龄的关系

由图 1 中资料,两种供水处理的叶片蒸腾速率与叶龄的关系,都可用(1)式描述。由表 1 看出,两种供水处理、5 个生育时期的叶片蒸腾速率与叶龄均呈极密切的单峰曲线关系。0.9kg · 株⁻¹供水处理于分枝期、始花期、结荚末期、鼓粒中期、鼓粒末期最大蒸腾速率出现在叶龄分别为 9、11、13、15、16 日龄左右的叶片;1.8kg · 株⁻¹供水处理上述 5 个生育期最

表 1 用(1)式模拟的各生育阶段蒸腾速率与叶位、叶龄回归方程的 a、b、p、r 及极点、拐点值
Table 1 Through simulation with model(1), the value of a, b, p, r, utmost and turning point of regression equation between transpiration rate in each growth stage and leaf position and leaf age

回归因素 Factors of regression	项目 Item	供水量 (kg) Amount of water supply (kg)		分枝期 Branch stage		始花期 Initial flowering stage		结荚末期 Pod setting last stage		鼓粒中期 Seed filling middle stage		鼓粒末期 Seed filling last stage	
		0.9	1.8	0.9	1.8	0.9	1.8	0.9	1.8	0.9	1.8	0.9	1.8
蒸腾速率和叶位 Transpiration rate and leaf position	a	8.883	12.827	12.306	18.872	22.24	26.40	26.15	36.21	21.23	29.71		
	b	-0.48806	-0.20563	-0.36285	-0.2471	-0.28318	-0.24948	-1.702	-1.965	-1.554	-1.665		
	p	2	1	1.5	1	1	1						
	r	-0.9978	-0.9812	-0.9974	-0.9974	-0.9912	-0.9937	-0.9989	-0.9810	-0.9935	-0.9910		
	极点 Utmost point	4.098	4.863	4.134	4.047	3.531	4.008	1	1	1	1		
	拐点 Turning point	20.19	22.947	23.08	28.097	28.89	38.924	24.45	34.24	19.68	28.04		
		6.996	9.726	7.509	2.094	7.06	8.017						
		14.30	16.884	16.60	20.67	21.26	28.64						
	a	5.707	7.591	3.924	6.656	3.434	7.01	5.099	5.66	5.41	5.22		
	b	-0.10683	-0.10445	-0.11824	-0.0864	-0.09695	-0.07204	-0.06561	-0.0568	-0.06073	-0.0504		
蒸腾速率和叶龄 Transpiration rate and leaf age	p	1	1	1.3	1	1.3	1	1	1	1	1		
	r	-0.9893	-0.9771	-0.9976	-0.9990	-0.9974	-0.9960	-0.9958	-0.9930	-0.9953	-0.9911		
	极点 Utmost point	9.36	9.57	10.995	11.57	13.409	13.88	24*	24*	38*	38*		
	拐点 Turning point	19.55	26.73	24.15	28.33	27.34	35.79	25.34*	34.75*	20.45*	29.22*		
		18.72	19.15	20.64	23.15	25.17	27.76	30.48	35.21	32.93	39.68		
		14.46	20.85	17.498	20.85	19.83	26.34	21.03	26.97	24.11	28.02		

* 顶叶值(The value of top leaf)

大蒸腾速率分别出现在 10、12、14、18、20 日龄左右的叶片(因后两个生育期的顶叶已超过蒸腾速率最佳龄 6~22 天,故表 1 中后两个生育期极点值栏中列入的是顶叶值)。可知,叶片最大蒸腾速率的叶龄及拐点叶龄,随生育期后移而增大。各生育时期蒸腾速率的分布为,当叶龄 $x < x_{opt}$ 时,蒸腾速率随叶龄增加而增加,当叶龄 $x > x_{opt}$ 时,蒸腾速率随叶龄增大而降低。

供水量对蒸腾速率随叶龄分布的影响显著,1.8 比 0.9kg · 株⁻¹供水处理各生育期最大蒸腾速率叶龄滞后 1~4 日龄,各生育期拐点叶龄滞后 1~10 日龄,且随生育期后延,滞后都加大,最大蒸腾速率高 4~9μg · cm⁻² · s⁻¹,拐点蒸腾速率高 3~6μg · cm⁻² · s⁻¹。可见,供水量对蒸腾速率随叶龄分布的影响之大。

2. 蒸腾速率与株龄的关系

由图 1 看出,叶片蒸腾速率不仅因叶龄而异,也随株龄(出苗后天数)而变化。相同叶龄不同生育期展开的叶片,其蒸腾速率间存在明显差异。始花期~结荚末期展开的叶片,蒸腾速率明显高于分枝期以前展开的叶片。相同株龄不同供水处理间叶片蒸腾速率差异很大。由图 1 中资料,各生育期测得的主茎叶片蒸腾速率平均值与株龄(日)的回归方程为:

供水量 0.9kg · 株⁻¹: $\hat{y} = 0.0809x^2e^{-0.04709x}$, ($r = -0.9988$) (3)

供水量 1.8kg · 株⁻¹: $\hat{y} = 0.1047x^2e^{-0.0458x}$, ($r = -0.999$) (4)

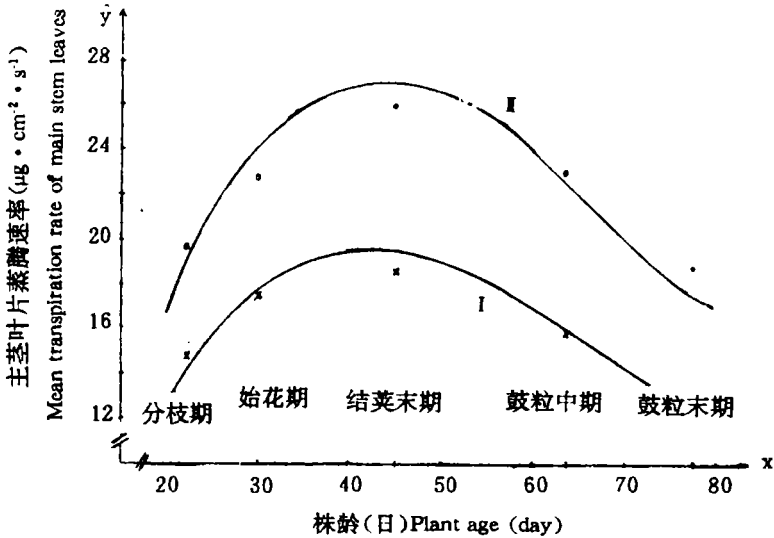


图 2 蒸腾速率与株龄的关系

Fig. 2 Relationship between transpiration rate and plant age

注(Note), I — 0.9kg · 株⁻¹供水量(water supply of 0.9kg · plant⁻¹)

II — 1.8kg · 株⁻¹供水量(water supply of 1.8kg · plant⁻¹)

(3)、(4)式中 \hat{y} 为平均蒸腾速率(μg · cm⁻² · s⁻¹), x 代表株龄(日)。由(3)、(4)式可以算出, 0.9kg · 株⁻¹供水量处理主茎叶片平均最大蒸腾速率为 19.74μg · cm⁻² · s⁻¹, 出现在株龄 x_{opt}

=42 日左右,在株龄 12 日左右和 72 日左右处各有一个拐点;1.8kg·株⁻¹供水量处理主茎叶片平均最大蒸腾速率为 27.03μg·cm⁻²·s⁻¹,出现在株龄为 $x_{opt}=44$ 日左右,在株龄 13 日左右和 75 日左右处各有一拐点。据(3)、(4)式作图 2。由图 2 看出,当株龄 $x < x_{opt}$ 时,平均蒸腾速率随株龄增大而增加;当株龄 $x > x_{opt}$ 时,平均蒸腾速率随株龄增大而降低。各生育期主茎叶片平均蒸腾速率的大小顺序为:结荚末期>鼓粒中期≈始花期>分枝期>鼓粒末期。说明植株幼龄和老龄期的叶片平均蒸腾速率低于植株青壮龄期的叶片平均蒸腾速率;始花期~鼓粒中期是夏大豆耗水最大的阶段;结荚末期前后是夏大豆蒸腾耗水高峰期。

由图 2 和(3)、(4)式还可以看出,供水量多寡对平均蒸腾速率随株龄分布的影响很大。0.9 与 1.8kg·株⁻¹供水处理比较,主茎叶片平均最大蒸腾速率降低 7μg·cm⁻²·s⁻¹,最大蒸腾速率出现的株龄提前 2 日左右;右拐点提前 3 日左右,右拐点蒸腾速率低 5μg·cm⁻²·s⁻¹左右。

3. 蒸腾速率的日变化

图 3 是 5 种供水量处理的叶片蒸腾速率日变化。可以看出,不同供水处理间,蒸腾速率有明显差异。但不论何种供水处理,蒸腾速率随时间的变化呈单峰曲线分布。从上午 7 时始,随时间推移,叶片蒸腾速率迅速增大,13 时左右达最高值,之后又随时间推移而逐渐降低。据(1)式和图 3 中资料,求得每次供水量分别为 0.9、1.2、1.5、1.8、2.1kg·株⁻¹处理的蒸腾速率日变化回归方程的 a、b、p、r 及极点、拐点值,列入表 2 中。

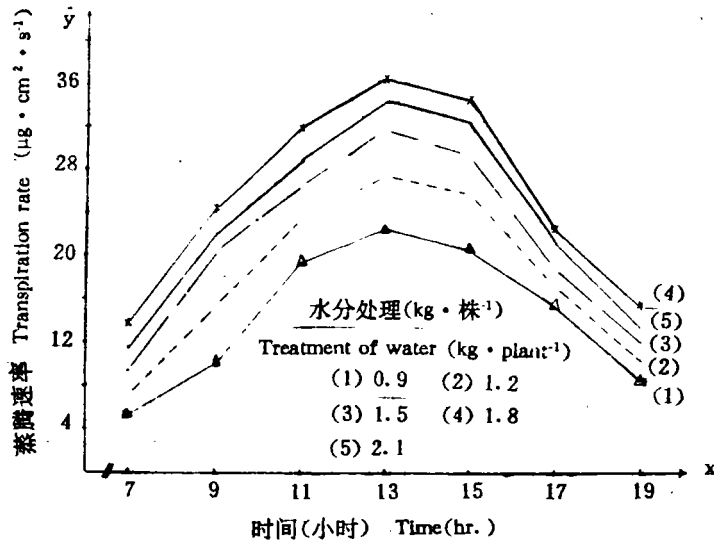


图 3 不同供水量条件下夏大豆叶片蒸腾速率的日变化

Fig 3. The diurnal changes of transpiration rate of leaves for summer soybean under the different amount of water supply

由图 3 和表 2 看出,一日中叶片蒸腾速率最大值各供水处理均出现在 13 点前后;8~9 点之间和 16~17 点之间各有一拐点。拐点前后是一日中叶片蒸腾速率变化最快的时

段。极点前后是一日中叶片蒸腾速率变化相对稳定的时段。这可能由于 8、9 点钟前后一段时间和 16、17 点钟前后一段时间,光照强度和气温变化最大,而中午前后光照强度和气温相对稳定所致。还可看出,供水量适宜($1.8\text{kg}\cdot\text{株}^{-1}$),蒸腾速率最高,供水过量($2.1\text{kg}\cdot\text{株}^{-1}$)或供水不足,蒸腾速率都降低。

表 2 不同水分处理蒸腾速率日变化回归方程的 a、b、p、极点、拐点和 r 值

Table 2 Under different treatment of water, a, b, p, utmost point, turning point and r value of regression equation for diurnal changes of transpiration rate

水分处理(kg) Treatment of water (kg)	a	b	p	极 点 Utmost point		拐 点 Turning point				r
				X _{opt}	Y _{max}	X _{s1}	Y _{s1}	X _{s2}	Y _{s2}	
0.9	3.937×10 ⁻⁶	-0.778	10	12.85	22.0	8.79	11.61	16.92	14.53	-0.9995
1.2	2.499×10 ⁻⁵	-0.7088	9	12.7	26.37	8.46	13.81	16.93	17.53	-0.9998
1.5	1.5357×10 ⁻⁴	-0.6416	8	12.47	30.09	8.06	15.53	16.88	20.04	-0.9997
1.8	1.9956×10 ⁻⁴	-0.6474	8	12.36	36.4	7.99	18.78	16.73	24.34	-0.9997
2.1	1.7828×10 ⁻⁴	-0.6454	8	12.4	33.34	8.01	17.21	16.78	22.21	-0.9996

三、叶片蒸腾速率与干物质积累的关系

由表 3 看出,各个生育时期植株干物质积累随叶片蒸腾速率升降而增减。经微机模拟,二者之间的关系可用(2)式表示。据(2)式,用表 3 中资料求得的回归系数 a、b 和相关系数 r 值,列入表 3 中。可以看出,各生育时期叶片蒸腾速率与干物质积累均呈显著线性正相关关系。蒸腾速率之所以与植株干物质积累有密切的正相关关系,是由于植株生长发育所需要的各种矿质盐类和有机物质,只有溶于水中才能被植株吸收、而蒸腾作用是植株吸收和运输水分、矿质盐类和有机物质的主要动力。同时,由于夏大豆生长季节在 6~9 月,在山东省气候条件下,中午气温常在 36℃以上,蒸腾作用可有效地降低叶温,保证叶片光合作用正常进行。

讨 论

1. 由蒸腾速率日变化看出,一日中夏大豆叶片蒸腾速率变化最快的时段在 8、9 点钟前后和 16、17 点钟前后,中午前后是变化相对稳定的时段。因此,在 8、9 点钟前后和 16、17 点钟前后测得的资料,前后可能相差很大(特别当测试时间较长时),缺乏可比性,而中午前后测得的资料可比性较强。
2. 由于蒸腾速率随叶龄、叶位、株龄和供水条件变化。因此,品种间蒸腾速率的比较,只有在叶龄、叶位、株龄和供水量相同(或很相近)的情况下才有比较意义。
3. 由于夏大豆各生育阶段干物质积累与蒸腾速率呈线性显著正相关,又由于始花期~鼓粒中期既是主茎叶片平均蒸腾速率高值阶段,又是叶面积高值时段,因而夏大豆于该阶段需水量相当大。而夏大豆产区于这段时间内又常出现伏旱、秋旱和高温。因此,该生

表 3 夏大豆叶片蒸腾速率与干物质积累的关系
Table 3 Relation of transpiration rate of leaf to accumulation of dry matter in summer soybean

项 目 Item	始花期(7. 15) Initial flowering stage (7. 15)		结荚末期(7. 31) Pod setting last stage (7. 31)		鼓粒中期(8. 18) Seed filling middle stage (8. 18)		鼓粒末期(9. 1) Seed filling last stage (9. 1)	
	蒸腾速率 ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Transpiration rate ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	干物质积累 ($\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$) Accumulation of dry matter ($\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$) (6. 15~7. 16)	蒸腾速率 ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Transpiration rate ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	干物质积累 ($\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$) Accumulation of dry matter ($\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$) (7. 16~8. 1)	蒸腾速率 ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Transpiration rate ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	干物质积累 ($\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$) Accumulation of dry matter ($\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$) (8. 1~8. 18)	蒸腾速率 ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Transpiration rate ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	干物质积累 ($\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$) Accumulation of dry matter ($\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$) (8. 19~9. 2)
水分处理 ($\text{kg} \cdot \text{株}^{-1}$) Treatment of water ($\text{kg} \cdot \text{plant}^{-1}$)	0.9	13.45	7.0	19.4	16.24	24.9	14.42	14.7
	1.2	17.22	11.7	26.72	23.31	37.8	17.75	19.3
	1.5	20.53	15.5	30.87	27.28	53.0	20.84	24.9
	1.8	23.67	17.9	34.62	30.22	72.9	24.53	28.2
	2.1	21.62	14.6	32.48	29.42	66.4	23.49	25.0
回归系数 Coefficient of regression	a	-6.396	-10.874	-33.456	-3.02			
	b	1.023	1.482	3.339	1.259			
	r	0.9825	0.9716	0.9631	0.9757			

育阶段如不能适时对夏大豆进行灌溉,必然导致落花落荚和秕荚,籽粒减产。

参 考 文 献

- [1] 苗以农,许守民,刘学军等,1989,大豆科学,8(3)271~275
- [2] 邹冬生、郑丕尧,1990,大豆科学,9(1)25~31
- [3] 阎秀峰、许守民、苗以农,1990,大豆科学,9(3)221~227
- [4] Reicosky, D. C., Kaspar, T. C. and Taylor, H. M., 1982, Agro. J. 74(4)667-673
- [5] Sharratt, B. S., Reicosky, D. C. 等,1983, Agro. J. 75(6)891~894

RELATIONSHIP BETWEEN TRANSPIRATION RATE AND LEAF POSITION, PLANT AGE AND ACCUMULATION OF DRY MATTER IN SUMMER SOYBEAN

Li Yongxiao Ding Fawu Li Peiting
Cui Ru Wang Fahong Zhao Jingrong

(Crop Institute, Shandong Academy of Agriculture Science)

Abstract

Relationship between transpiration rate and leaf position, leaf age, plant age and accumulation of dry matter in summer soybean were studied with the method of pot culture in 1986~1988. The results showed that the diurnal changes of leaf transpiration rate and its relation to leaf age, plant age in each growth stage and leaf position in branch stage, initial flowering stage and pod setting last stage were described with single peak curve and were simulated with model $y = ax^pe^{bx}$. The linear correlation between transpiration rate and accumulation of dry matter in each growth stage and leaf position in seed filling stage were significant.

Key words Summer soybean; Transpiration rate