

文章编号:1005-0906(1999)03-0054-04

不同株型玉米光能利用状况的研究

刘建栋,樊广华,毕建杰

(山东农业大学农学系,山东 泰安 271018)

摘要:利用美国 LI-188B 辐射量子照度仪,对掖单 4 号、掖单 13 和沈单 7 号 3 种不同株型玉米叶片及群体光能利用状况进行了测定研究,结果表明 3 种玉米品种叶片辐射吸收系数存在一定差异:掖单 4 号为 0.75,掖单 13 为 0.73,沈单 7 号为 0.71。利用三次样条函数模拟了玉米群体中太阳总辐射及反射辐射分布状况,给出了不同品种玉米群体中吸收辐射随高度分布特征,发现在玉米叶片光合能力最大的 80~180cm 处,掖单 4 号吸收辐射最大,因而从理论上证实了紧凑型玉米品种光能利用效率最高,与当前高产实践相一致,并为玉米高产提供了理论指导。

关键词:玉米;株型;光能利用

中图分类号:S 513.01

文献标识码:A

玉米群体中的光分布状况直接影响到玉米群体的光合作用,因而研究玉米群体光分布状况一直是一个非常重要的研究课题。

左伯和门司最早指出作物群体中总辐射分布符合指数递减规律^[1],Ross.J 对作物群体光分布特征进行了非常深入、细致的研究^[2],进而指出群体中的光分布并非简单的指数关系,并给出了群体中复杂的非线性辐射传输公式,不同研究人员曾就玉米中的群体光分布状况进行过一些探讨^[3~4],但不同株型玉米品种叶片及群体内总辐射、反射辐射及吸收辐射随高度的分布特征,迄今为止尚无非常系统的研究报告。因此,作者利用美国 LI-188B 辐射量子照度仪,对 3 种不同株型的玉米品种叶片及群体光分布特征进行了系统深入的研究,拟为玉米高产实践及玉米育种提供一定的理论指导。

1 实验场地及研究方法

实验在山东农业大学试验农场内进行,玉米品种为紧凑型掖单 4 号、半紧凑型掖单 13 和平展型沈单 7 号(以下分别以 YD4、YD13、SD7 表示)。1998 年 6 月 16 日播种,每个品种小区分别为 60 m²,株行距均为 18 cm×65 cm,水肥管理条件适宜。

1998 年 8 月 10、8 月 20 日选择典型晴天(玉米日总光合量较大),利用美国 Licor 公司生产的 Li-188B 辐射量子照度仪对 3 种品种玉米群体内光分布状况进行测定,当时玉米平均株高 200 cm,测定时选择 LINER 探头在群体 0、40、80、120、160 和 200 cm 高度处测定群体内太阳总辐射及反射辐射,并在 240 cm 处测定群体反射辐射,每隔 1 h 正点观测一次,观测时每个观测高度重复 10 次取平均值,最大可能地消除了观测误差。此外,在观测期间,运用 SB-200 辐射探头测定了叶片反射、透射状况。由于太阳辐射中对作物生长发育有影响的是光合有效辐射(PAR),所以总辐射、反射辐射等测值均采用光合有效辐射 PAR($\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$)。

收稿日期:1998-10-05

作者简介:刘建栋(1969-),男,南京大学大气科学系获农业气象博士学位,目前山东农业大学农学系从事农业气象博士后流动研究工作。

2 结果与分析

2.1 不同株型玉米叶片光能利用状况分析

叶片的吸收系数 α 可由叶片的反射系数 ρ 和透射系数 τ 表示: $\alpha = 1 - \rho - \tau$, 其中在辐射传输理论中也经常使用散射系数^[2] (Coefficient of scattering) $\omega = \rho + \tau$, 3 种玉米品种的叶片反射、透射、散射及吸收系数(表 1)。

表 1 不同玉米品种叶片的反射、透射、散射及吸收系数

	掖单 4 号	掖单 13	沈单 7 号
反射系数 ρ	0.10	0.10	0.12
透射系数 τ	0.15	0.17	0.17
散射系数 ω	0.25	0.27	0.29
吸收系数 α	0.75	0.73	0.71

由表 1 可以看出, 3 种玉米品种中, 紧凑型品种 YD4 叶片吸收辐射系数最大, 光能利用最高, YD13 次之, SD7 最小。

2.2 不同株型玉米品种群体光能利用状况分析

2.2.1 三次样条函数简介 由于利用仪器在群体中分成不同高度进行实测研究, 所以在测定高度处有实测值, 其他高度无辐射观测值。农学中传统方法是将各观测点利用直线进行简单连接, 其结果必然导致在群体内辐射随高度递减过程中在每一个观测点处发生一次突变。如果利用一些常用函数, 可以由观测点进行曲线拟合, 得到光分布曲线, 曲线一般较为光滑, 不存在突变点, 符合辐射衰减过程, 但拟合的曲线往往在观测高度处与实测值并不严格相等, 这本身就是一种误差, 即使利用复杂的非线性辐射传输理论, 这一问题也难以完全解决^[4]。因而本文采用了三次样条函数法模拟群体中的辐射传输。三次样条函数模拟曲线在各观测点处光滑连接, 不存在突变点^[5], 此外, 在各观测高度处的辐射模拟值与实测值严格相等, 所以能较好地反映出太阳辐射在玉米群体中的传输过程。

若区间 $[a, b]$ 上存在三次样条函数 $s(x)$, 用 m_i 来表示 $s(x)$ 在点 x_i 处的微商值, 那么在小区间 $[x_i, x_{i+1}]$ 上的三次样条函数的计算公式为^[5]:

$$s(x) = (1 + 2 \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i}) (\frac{x - x_{i+1}}{x_i - x_{i+1}})^2 y_i + (1 + 2 \frac{x - x_{i+1}}{x_i - x_{i+1}}) (\frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i})^2 y_{i+1} + (x - x_i) (\frac{x - x_{i+1}}{x_i - x_{i+1}})^2 m_i + (x - x_{i+1}) (\frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i})^2 m_{i+1} \quad (1)$$

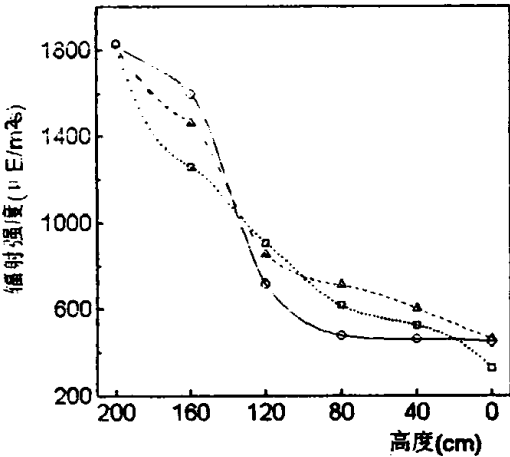
对每一个插值点建立方程组

$$(1 - a_i) m_{i-1} + 2m_i + a_i m_{i+1} = \beta_i, i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (2)$$

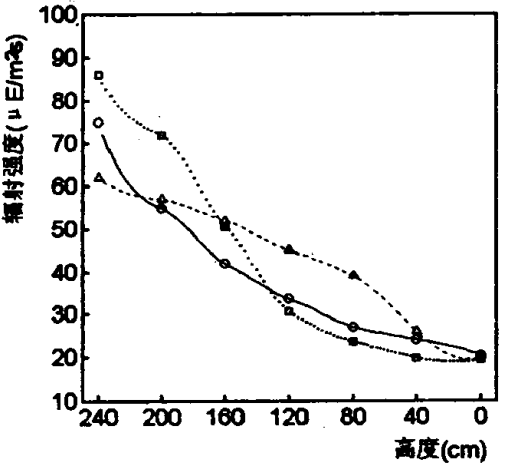
$$\text{设 } h_i = x_{i+1} - x_i, \text{ 则 } \begin{cases} a_i = \frac{h_{i-1}}{h_{i-1} + h_i} \\ \beta_i = 3 [\frac{1 - a_i}{h_{i-1}} (y_i - y_{i-1}) + \frac{a_i}{h_i} (y_{i+1} - y_i)] \end{cases} \quad (3)$$

由于在玉米群体上部和下部辐射变化切线斜率已知, 所以方程组有唯一解, 可以模拟出整个群体中的光分布状况。

2.2.2 不同株型玉米品种群体内总辐射分布特征 由图 1 可以看出, 3 种玉米品种群体内总辐射分布存在非常大的差异, 群体 200 ~ 160 cm 高度处, YD4 由于植株上部叶片竖直, 总辐射消减最少, SD7 则由于上部叶片平展, 辐射衰减最大, YD13 居于两者之间。在群体 160 ~ 120 cm 处, YD4 总辐射衰减最多, YD13 次之, 而 SD7 则最小。从整个群体来讲, 至地面时, YD4 和 YD13 辐射衰减相差不大, 均降至 $450 \mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$ 左右, 而 SD7 则仅为 $300 \mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$ 。



注:○YD4 实测值,△YD13 实测值,□SD7 实测值;
- YD4 模拟值,--- YD13 模拟值,--- SD7 模拟值
图 1 不同型株玉米品种群体内总辐射分布特征



注:○YD4 实测值,△YD13 实测值,□SD7 实测值;
- YD4 模拟值,--- YD13 模拟值,--- SD7 模拟值
图 2 不同株型玉米品种群体内反射辐射分布特征

2.2.3 不同株型玉米品种群体内反射分布特征 由图 2 可以看出,群体上部 SD7 反射辐射最大,YD4 次之,而 YD13 最小,但群体中部变化则较为复杂,在群体下部,YD13 反射最大,而 YD4 和 SD7 基本一致,在 0 cm 处反射辐射均为土壤反射,达到最小值,基本相等。

2.2.4 不同株型玉米品种群体内吸收辐射分布特征 观测高度 H 处总辐射为 Q_H , 反射辐射为 R_H , 其下层观测高度 h 处总辐射为 Q_h , 反射辐射为 R_h , 那么 H~h 层群体太阳吸收辐射为^[1] $A = (Q_H - R_H) - Q_h + R_h$ 。由此得到 3 种不同株型玉米群体内吸收辐射特征(图 3)。

3 种玉米品种中,YD4 吸收辐射在群体中分布最不均匀,在 120~160 处吸收辐射非常大,而群体下部 0~80 cm 处吸收辐射非常小,SD7 在群体顶部 160~200 cm 及底部 0~120 cm 处吸收辐射最大,YD13 居于两者之间。

3 小 结

(1)本文首次利用样条函数模拟群体中的光分布状况,样条函数保证了曲线在各观测点处光滑连接,使模拟的辐射曲线不产生突变点,并且在各高度处的模拟值与实测值严格相等,因而可以较好地反映出辐射在群体中的分布状况,为以后研究群体内辐射分布状况提供了一种简便准确的理论方法。

(2)研究表明,不同玉米品种的叶片吸收辐射并不同,与 Ross.J 的理想叶片吸收辐射系数^[2]存在一定的差异,紧凑型品种 YD4 叶片吸收辐射系数最大为 0.75,一般株型品种 YD13 次之为 0.73,平展型 SD7 最小为 0.71。

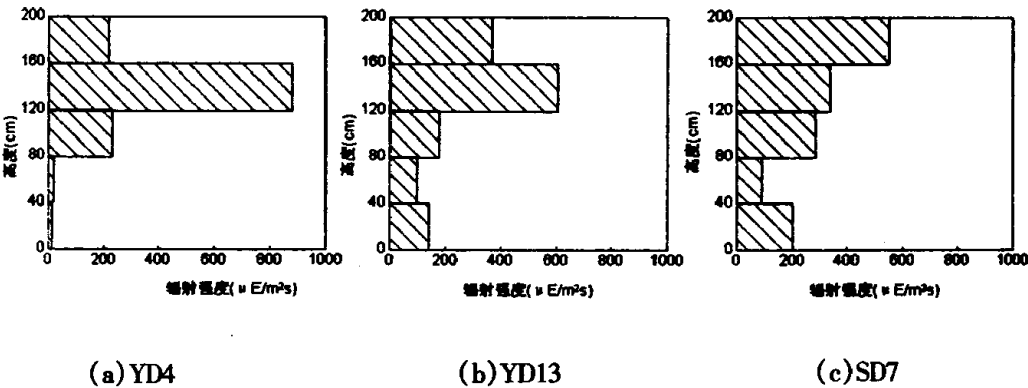


图 3 不同株型玉米品种群体内吸收辐射分布特征

(3)光合有效辐射是指对作物而言能够进行光合作用的那部分辐射,但值得注意的是吸收的光合有效辐射并不完全用于光合作用,其分为几部分:一部分用于热效应,一部分用于形态效应,其中一部分经叶绿体进行光合作用^[2],在玉米群体中上部,80~160 cm 叶片光合能力最高^[6],吸收的光合有效辐射越多则光合作用必然越大,因而 YD4 的群体光合优于 YD13 和 SD7,玉米群体内 0~40 cm 高度处叶片已经严重老化,吸收的辐射基本上大部分转化为显热进行了热量交换,因而 SD7 由于株型结构的原因,致使一部分光能不合理地底部损失,不利于群体光合作用。

(4)就叶片辐射吸收而言,YD4 辐射吸收系数最大,YD13 次之,SD7 最小,就群体吸收辐射而言,在玉米叶片光合能力最大的 80~160 cm 高度范围内,由于株型结构原因,YD4 吸收辐射最大,YD13 次之,SD7 最小,因而从高产角度而言,紧凑型品种光能利用效率最优,而平展型品种光能利用效率较差,该结论为理论分析结果,但与当前的高产实践是一致的,因而在一定程度上是目前高产实践的理论分析和证明,并可用于指导目前的玉米高产实践。

参 考 文 献

- [1] 傅抱璞,翁笃鸣.小气候学.北京:气象出版社.347-399.
- [2] 蒙特思.植被与大气原理.卢其尧等译.北京:农业出版社,1985.16-23.
- [3] 于强,等.玉米株型与冠层光合作用的研究.作物学报,1998,24(1):7-15.
- [4] 刘建栋,等.玉米冠层光分布农业气象模式的研究.南京农业大学学报,1997,20(3):13-19.
- [5] 徐萃薇.计算方法引论.北京:高等教育出版社,1985.42-47.
- [6] 胡昌浩.玉米栽培学.北京:中国农业出版社.1-18.