

紧凑型夏玉米群体的辐射截获*

周允华 项月琴 林忠辉 (中国科学院地理研究所, 北京 100101)

【摘要】 测量了紧凑型夏玉米(掖单 13)群体的太阳总辐射和光合有效辐射(PAR)的反射率、透过率和截获率. 结果表明, 紧凑型夏玉米具有直立型叶片的透光和截获特点, 抽雄前总辐射和 PAR 的消光系数分别为 0.284 和 0.401, 良好的透光特性使紧凑型夏玉米比平展型的能承受更大的种植密度. 雄穗的透过率约为 75%, 去掉部分雄穗能改善叶簇的光照条件. 本文探讨了总辐射和 PAR 的日平均截获率(\bar{a}_Q) 和(\bar{a}_U) 和绿色叶面积指数(L)的关系.

关键词 紧凑型夏玉米 消光系数 辐射截获

Radiation interception by erectophile maize colony. Zhou Yunhua, Xiang Yueqin and Lin Zhonghui (*Institute of Geography, Academia Sinica, Beijing 100101*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 1997, 8(1): 21~25.

Measurement on the reflectance, transmissivity and interception of total solar radiation (TSR) and photosynthetic active radiation (PAR) of erectophile maize colony (variety Yedan 13) show that the maize has the characteristics of transmission and interception in erectophile leaves. The extinction coefficient of TSR and PAR before tasseling are 0.284 and 0.401 respectively. The nature of higher transmission of erectophile maize colony implies that the planting density of this type can be higher than that of planophile type. The transmissivity of tassel of the colony is about 75%. The illumination condition of the foliage can be improved in a certain degree by cutting some tassel of plants. The relationships between mean daily interception, \bar{a}_Q and \bar{a}_U , of TSR and PAR and the green leaf area index (L) are discussed respectively.

Key words Erectophile maize, Extinction coefficient, Radiation interception.

1 引言

玉米植株形态有平展型和紧凑型 2 种, 平展型玉米的辐射传输特性在 60 年代就有报导^[4,5], 近年沈秀瑛等^[1]也对单交种丹玉 13 作过测量. 但对紧凑型玉米的报导不多, 且缺乏定量数据^[2,3]. 近年农业高产实践证明, 紧凑型玉米具有较高的增产潜力, 故有必要对它的辐射截获特性作进一步研究.

2 材料与方法

2.1 群体结构

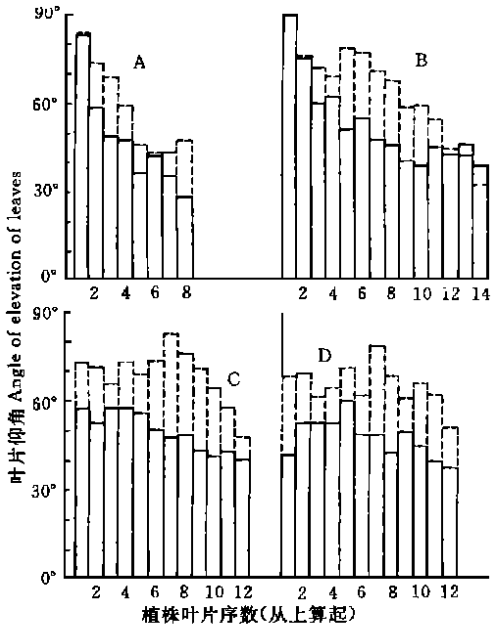
实验于 1992 年在山东禹城综合试验站

(116°38'E, 36°57'N, 海拔 23 m) 内进行, 供试品种为掖单 13(*Zea mays*), 6 月 7 日播种, 行向南北, 种植密度为 7.2×10^4 株 \cdot hm^{-2} , 最大绿色叶面积指数 5.5, 从出苗到收获 108 d. 图 1 为 5 棵植株在几个发育阶段叶片仰角的平均值. 其基本特点是: 1) 生长阶段(拔节、孕穗)植株呈塔形, 上部叶片近于直立, 往下渐次展开至 40°左右; 2) 衰老阶段(灌浆、乳熟)叶片充分展开, 上下叶片仰角差异减小; 3) 整株而言, 拔节后叶基仰角为 65°~70°, 叶平均仰角为 50°左右.

2.2 观测方法

观测是在同一块玉米田里进行, 仪器有反射

* 国家自然科学基金(39470133)和中国科学院院长基金资助项目.
1995 年 7 月 10 日收稿, 1996 年 3 月 28 日接受.



Leaf order of plant(counted from top of the plant)
图 1 夏玉米掖单 13 不同发育阶段叶片的叶基仰角 (α_0) (虚线) 和叶平均仰角 (α) (实线) (α_0 和 α 分别为整株的平均值)

Fig. 1 Mean angle (α_0) of elevation at bottom of leaves (dashed line) and mean angle (α) of leaves (solid line) of summer maize (variety Yedan 13) at different growth stages (both α_0 and α are mean values of whole five plants).

A. 拔节 Jointing, $\alpha_0 = 58^\circ$; $\alpha = 49^\circ$ B. 孕穗 Ear bearing, $\alpha_0 = 64^\circ$; $\alpha = 51^\circ$ C. 灌浆 Milking, $\alpha_0 = 68^\circ$; $\alpha = 50^\circ$ D. 乳熟 Milky maturity, $\alpha_0 = 65^\circ$; $\alpha = 48^\circ$

率表 1 台, 管状总辐射表 7 支, 点状量子传感器 3 台, 线状量子传感器 2 支. 1992 年 7 月 18 日开始观测(正值孕穗初期, 叶面积指数为 3.1), 9 月 28 日收获前 2 d 结束. 除灌溉和降水天气外, 每天观测, 灌浆后改为 3 d 1 次. 每天 8:00 开始, 18:00 结束, 1 h 1 次, 共获 36 d 观测资料.

3 结果与分析

3.1 反射率、透过率和截获率之间关系

群体截获率不能直接测量而要靠反射率和透过率的测量结果来计算. 对太阳总辐射(全波段的直接辐射和散射辐射之和), 在群体顶部的净太阳辐射 ΔQ_c 为:

$$\Delta Q_c = Q_0 - Q_c \tag{1}$$

在群体底部, 净太阳辐射 ΔQ_s 为:

$$\Delta Q_s = Q_\tau - Q_s \tag{2}$$

式中, Q_0 、 Q_c 、 Q_τ 和 Q_s 分别为群体顶部的入射太阳总辐射、反射辐射、透过辐射和群体以下地面的反射辐射. 群体对太阳总辐射的截获量 A_Q 为:

$$\begin{aligned} A_Q &= \Delta Q_c - \Delta Q_s \\ &= Q_0 - Q_c - Q_\tau + Q_s \\ &= Q_0(1 - r_{Q,c} - \tau_Q + \tau_Q r_{Q,s}) \tag{3} \end{aligned}$$

式中, $r_{Q,c} = Q_c/Q_0$ 为群体反射率, $\tau_Q = Q_\tau/Q_0$ 为群体透过率, $r_{Q,s} = Q_s/Q_\tau$ 为群体以下地表反射率.

由式(3) 得到群体对太阳总辐射的截获率 α_Q :

$$\begin{aligned} \alpha_Q &= A_Q/Q_0 \\ &= (1 - r_{Q,c})(1 - \frac{1 - r_{Q,s}}{1 - r_{Q,c}}\tau_Q) \tag{4} \end{aligned}$$

同理, 群体对光合有效辐射(PAR)的截获率 α_U 为:

$$\alpha_U = (1 - r_{U,c})(1 - \frac{1 - r_{U,s}}{1 - r_{U,c}}\tau_U) \tag{5}$$

式中, $r_{U,c}$ 、 τ_U 和 $r_{U,s}$ 分别为群体对 PAR 的反射率、透过率和群体以下地表反射率.

3.2 辐射传输日变化

群体的透过率、反射率和截获率瞬时值除取决于群体本身的几何结构和光学特性外, 还与太阳高度角和天气条件有关. 在晴天, 随着太阳高度角的变化, 瞬时值表现出明显的日变化: 中午前后, 透过率陡然增高, 截获率陡然下降. 为了研究这种日变化特性和群体结构的关系, 对透过率日变化作了理论计算. 计算时取叶片呈水平分布(叶仰角 $\alpha = 0^\circ$)、直立分布($\alpha = 90^\circ$)和均匀分布 3 种情况, 并把叶片作黑色处理, 即不考虑叶片本身的透光和反射, 这种简化在 PAR 波段大致成立, 此时透过率可简化成:

$$\tau_U = \frac{\tau_D + \tau_s \frac{S}{D}}{1 + \frac{S}{D}} \tag{6}$$

式中, τ 和 τ_s 分别为群体对 PAR 散射辐射和直接辐射的透过率, S 和 D 分别为群体顶部水平面的 PAR 直接辐射和散射辐射, 其中 τ 满足方程:

$$\tau = e^{-k_s L} \tag{7}$$

k_s 为群体对 PAR 直接辐射的消光系数. k_s 和 τ 资料取自文献[6], S 和 D 取自我们的实测结果.

图 2 为 τ 实测值和理论计算结果的比较. 由此可见紧凑型夏玉米群体晴天透过率的日变化形势接近于直立型黑色叶片的理论计算结果.

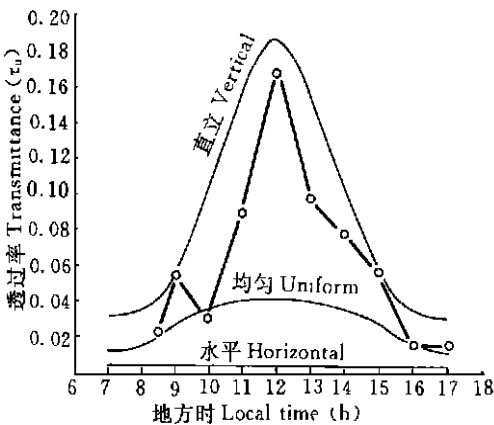


图 2 晴天夏玉米(掖单 13)群体 PAR 透过率 (τ_t) 的实测值(圆圈)和理论计算结果(细线)的比较(1992 年 8 月 17 日, $L = 5.3$)

Fig. 2 Comparison between measured (circle and dark line) and theoretically calculating values (light line) of transmittance (τ_t) of PAR of summer maize colony (variety Yedan 13) on clear day (17 August, 1992, $L = 5.3$).

至于阴天, 由于太阳高度角影响不显著, 故群体透过率、反射率和截获率的日变化不明显. 对阴天 PAR 透过率的实测结果和理论计算结果的比较表明, 紧凑型夏玉米的 τ 值介于直立型和均匀型叶片的理论计算值之间.

3.3 辐射传输的逐日变化

计算了入射辐射、透过辐射和反射辐射的日总量, 从而得到群体逐日透过率、

反射率和截获率的日平均值, 分析了它们的逐日变化趋势. 群体顶部日平均反射率变化不明显, 总辐射为 0.15 ~ 0.22, PAR 为 0.04 ~ 0.05. 在开花以前, 随着叶面积指数的增加, 透过率逐日下降, 开花后叶面积指数趋于稳定, 透过率降至最低, 总辐射的为 0.11 ~ 0.15, PAR 的为 0.05 ~ 0.07; 截获率达到最高, 总辐射和 PAR 分别为 0.70 ~ 0.75 和 0.90 ~ 0.91. 乳熟以后, 叶片逐渐枯黄, 绿色叶面积指数降低很快, 这一阶段的透过率略有升高, 截获率略有下降.

在抽雄前后, 叶面积指数已接近最大值, 变化不大, 但透过率和截获率却经历了一次突变, 总辐射透过率日平均值由 0.22 降至 0.16 左右, PAR 的相应值由 0.12 降至 0.08 左右. 这在很大程度上是由于雄穗形成引起的遮光效应. 按辐射传输理论, 群体透过率应是雄穗透过率和叶簇透过率二者之乘积, 由此估算出雄穗透过率在 0.75 左右. 生产实践中, 往往去掉一部分雄穗, 这在一定程度上能改善叶簇的光照条件.

3.4 消光系数

抽雄前总辐射和 PAR 的日平均透过率 $\bar{\tau}$ 和 $\bar{\tau}_s$ 和叶面积指数 L 之间可拟合成负指数关系, 相关系数 r 超过 - 0.95, 表达式为:

$$\bar{\tau} = e^{-0.284L} \quad (r = -0.988) \tag{8}$$

$$\bar{\tau}_s = e^{-0.401L} \quad (r = -0.958) \tag{9}$$

由此可见, 群体对总辐射和 PAR 的消光系数 k 分别为 0.284 和 0.401, PAR 的为总辐射的 1.41 倍.

沈秀瑛等^[1]曾对平展型玉米(丹玉 13)的透光特性作过测量, 得到 PAR 的 k 值为 0.61 左右, 可见紧凑型玉米的消光系数比平展型的小得多. 这意味着紧凑型玉米有良好的透光性能, 它和平展型相

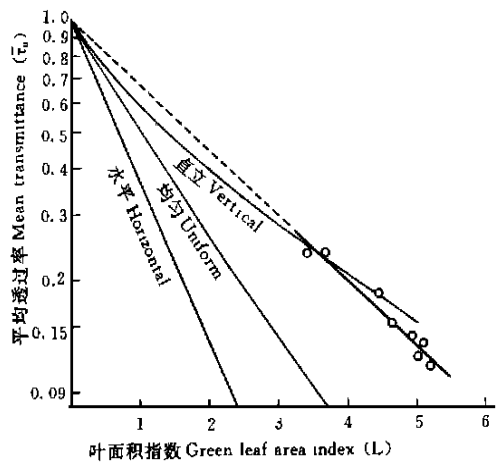


图3 夏玉米(掖单13)抽雄前PAR日平均透速率(\bar{T}_v)的实测值(圆圈,粗线为拟合线)和理论计算结果(细实线)的比较

Fig. 3 Comparison between measured (circle) of daily mean transmittance (\bar{T}_v) of PAR and theoretically calculating values (light line) on clear day through the summer maize colony (variety Yedan 13) before tasseling.

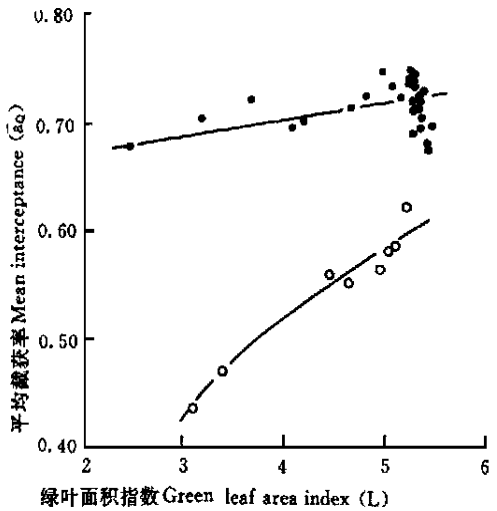


图4 夏玉米(掖单13)群体总辐射日平均截获率(\bar{Q}_0)和绿色叶面积指数(L)的关系(圆圈为抽雄前,点为开花后,实线为拟合线,下同)

Fig. 4 Relationship between mean (\bar{Q}_0) of daily interceptance of global radiation and green leaf area index (L) of summer maize colony (variety Yedan 13) (circle: before tasseling, dot: after flowering, solid line: fitted curve. The same below).

比,能承受更大的种植密度。

本文利用 Ross^[6]的资料,对黑色叶片分别呈水平、直立和均匀分布的群体,计算了晴天 PAR 的日平均透速率,它们和

叶面积指数的关系见图3(纵坐标用对数坐标)。图中也绘出了紧凑型夏玉米抽雄前 \bar{T}_v 的实测结果以示比较。由图3可见,叶角呈水平分布和均匀分布的群体, \bar{T}_v 和 L 的关系符合负指数关系,消光系数分别为 1.00 和 0.63。这表明沈秀瑛等^[1]测得的平展型玉米的消光特性 ($k = 0.61$) 接近于叶角均匀分布的群体。图3还表明,对直立型黑色叶片,负指数关系已很勉强,我们测得的紧凑型夏玉米 \bar{T}_v 在数值上接近于直立型叶片。

需要指出,实测值和理论计算值不能作绝对比较,这是因为理论计算中已忽略了绿色叶片的透光和反射对透过辐射的贡献,所以计算值要偏低些。

雄穗形成后,群丛由生长盛期逐渐转向衰老。抽雄前,枯黄叶片数目为绿色叶片数的 10 ~ 20%,开花至乳熟,增至 30%,此后黄叶迅速增加,至收获前增至

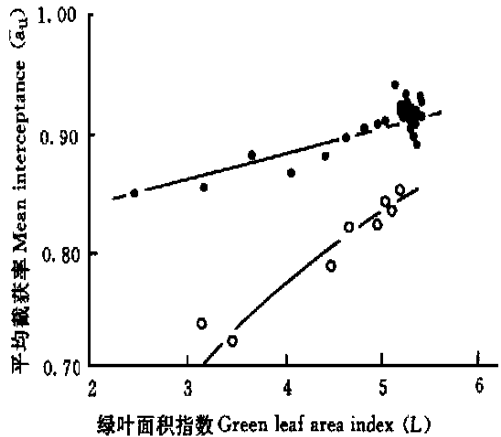


图5 夏玉米(掖单13)群体 PAR 日平均截获率(\bar{Q}_v)和绿色叶面积指数(L)的关系

Fig. 5 Relationship between mean (\bar{Q}_v) of daily interceptance of PAR and green leaf area index (L) of summer maize colony (variety Yedan 13).

80%。由于雄穗和黄叶的遮光,黄叶数目及叶片仰角的改变,杆茎增粗等因素,致使雄穗形成后仅用绿色叶面积指数(L)单一变量已不足以描述群体的消光特性。

3.5 日平均截获率和叶面积指数的关系

根据观测资料, 按式(4)和式(5)计算群体的总辐射和 PAR 的日平均截获率 $\bar{\alpha}_Q$ 和 $\bar{\alpha}_W$ (图 4、5). 由图可见, 抽雄前和开花后的观测结果互不连续, 抽雄-开花期叶面积指数 (L) 已达到最大, 在相同的 L 下, 截获率却发生突变. 对总辐射, 截获率由 60% 增至 70% 左右, 对 PAR, 由 85% 增至 90% 左右, 这是雄穗辐射截获的结果.

需要说明, 图 4 和图 5 中没有包括抽雄这一发育阶段的观测结果. 按发育期观测, 7 月 29 日进入抽雄期, 8 月 7 日进入开花期, 抽雄的 10 d 恰好因灌溉和降水而缺测, 造成了观测资料的不连续, 缺少雄穗生长过程中的资料.

抽雄前, 日平均截获率和绿色叶面积指数 (L) 满足下列关系:

$$\bar{\alpha}_Q = 0.796(1 - 1.08e^{-0.284L}) \quad (10)$$

$$\bar{\alpha}_W = 0.958(1 - 0.95e^{-0.401L}) \quad (11)$$

雄穗形成后满足下列关系:

$$\bar{\alpha}_Q = 0.642 + 0.015L \quad (12)$$

$$\bar{\alpha}_W = 0.800 + 0.022L \quad (13)$$

4 结 论

4.1 紧凑型夏玉米叶基仰角为 65°

70°; 叶平均仰角为 50 左右. 在生长阶段植株呈塔形, 到了衰老阶段, 上下叶片仰角差异减小.

4.2 紧凑型夏玉米具有直立型叶片的消光特性. 在晴日, 透过率和截获率日变化明显, 中午前后, 透过率高, 截获率低. 抽雄前 PAR 消光系数 (0.401) 只及平展型 (0.61) 的 2/3. 良好的透光特性, 使它能承受很大的种植密度.

4.3 雄穗透过率约为 75%, 减少了玉米叶簇对光能的截获, 故去掉一部分雄穗, 在一定程度上能改善叶簇的光照条件.

参考文献

- 1 沈秀瑛等. 1993. 玉米群体冠层特征与光截获及产量关系的研究. 作物学报, 19(3): 246 ~ 252.
- 2 胡昌浩等. 1993. 高产夏玉米群体光合速率与产量关系的研究. 作物学报, 19(1): 63 ~ 69.
- 3 董振国、刘瑞文. 1992. 黄淮海平原高产田作物群体结构特征. 应用生态学报, 3(3): 240 ~ 246.
- 4 乌斯金科. 1966. 作物群体光合作用活动力是形成高产的基础. 见: 作物产量形成与高产理论(中译本). 上海: 上海科学技术出版社, 130 ~ 162.
- 5 尼启波罗维奇. 1966. 论作物群体光体系的特性. 见: 作物产量形成与高产理论(中译本). 上海: 上海科学技术出版社, 69 ~ 78.
- 6 Ross, J. 1981. The Radiation Regime and Architecture of Plant Stands. W. Junk (Publishers), The Hague, PP. 194, 245.