

用 L I- 2000 冠层分析仪确定作物群体外活动面高度

王 谦, 陈景玲, 孙治强
(河南农业大学林学院园艺学院, 郑州 450002)

摘 要: 该文研究定量确定作物群体外活动面的方法。使用美国产 L I- 2000 型冠层分析仪, 实测高秆作物(玉米为代表)和矮秆作物(小麦为代表)的群体, 从冠层顶向群体内部逐层累积叶面积系数(LA I), 并分析其变化趋势。分别使用雷蒙德皮尔模型和龚珀兹模型模拟其变化。两种模型模拟 LA I 值与实测 LA I 值相关系数均大于 0.95。方差分析表明, 矮秆的小麦冠层, 雷蒙德皮尔模型模拟优于龚珀兹模型模拟结果。高秆的玉米冠层, 龚珀兹模型模拟相关系数达 0.994, 相关极为显著。小麦的活动面高度, 与小麦 2/3 株高差异较大。平展型玉米冠层和直立型玉米冠层活动面高度, 与其 2/3 株高相差仅 11~ 17 cm。用 2/3 株高来估计活动面高度较为合理, 而对小麦冠层来讲则误差较大。

关键词: 冠层分析; 活动面; 模拟

中图分类号: S16

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)08-0070-04

王 谦, 陈景玲, 孙治强 用 L I- 2000 冠层分析仪确定作物群体外活动面高度[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 70- 73

Wang Qian, Chen Jingling, Sun Zhiqiang. Determination of the height of active surfaces of the crop colonies using L i-2000 Canopy Analyzer[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 70- 73 (in Chinese with English abstract)

0 引言

活动面是植物群体中辐射收支最活跃的层次, 植物冠层的光、温、湿、风, 包括 CO₂ 浓度等小气候特征, 均受冠层的活动面位置的控制, 因而活动面位置的确定有着重要的意义。植物冠层一般有两个活动面, 即内活动面和外活动面。内活动面易于确定, 因为它就是冠层下的地表面。而外活动面是所研究冠层植物茎叶密集的高度。确定它的原始方法是直接采样并量取自然状态下不同高度层次的叶面积, 求出叶面积系数的同时, 也确定了茎叶密集的活动面高度。叶面积的测定首先是取样直接测定^[1-4], 但这种方法破坏了植物群体原始状态。由于叶形不同, 出现了一些回归方法^[5-10], 但回归结果受模型精度影响较大, 也有人在实际应用中将多种叶面积测定方法综合运用, 并比较其优缺点^[11]。叶面积的量取和所在高度层次也不易精确确定, 且工作量大, 而且活动面是随着植物的生育期的变化而动态变化的, 多次测量更是不可能。后虽又有些简易方法或快速方法^[12-17], 以及有人用冠层反射解析模型的反演算法监测叶面积指数^[18], 均存在不准确的问题。这些问题致使植物群体活动面高度很难定量确定, 冠层分析仪的出现使不破坏植物群体原始状态测量冠层不同层次叶面积成为可能, 而且使测定变得极为简便, 这也使精确确定活动面高度成为可能。本文拟研究用冠层分析仪确定外活动面位置的方法, 并分别确定高、矮秆作物的外活动面所在高度。

1 研究方法

1.1 仪器和观测方法

使用 L I- 2000 型冠层分析仪在河南省郑州市河南农业大学毛庄教学实验基地进行植物冠层叶面积测定。小麦品种为豫麦 49, 平展型玉米品种为豫玉 22, 直立型玉米品种为掖单 4 号。2003 年 4 月 26 日选择小麦抽穗期, 进行冠层内不同高度叶面积指数测定; 2004 年 7 月 31 日 9:00 和 18:00 及 8 月 7 日 12:00 选择玉米抽穗后期冠层, 分三次进行分层叶面积分析, 以分别代表高、矮秆作物的冠层状况。玉米由于株高较高为 260 cm, 每 20 cm 取一高度测定; 小麦株高 86 cm, 每 5 cm 取一高度。为提高测量结果的准确性, 每一高度均选 5 次重复, 即将 L I- 2000 设置为一次冠层上方正对天空测定, 对应群体内某一高度 5 次重复测定的测定方式。由于接近冠层顶时, 茎叶面积较小, 易产生零 LA I 现象, 应增加测量次数, 取其 LA I 的平均值, 参与统计分析。

1.2 分析方法

从内活动面即地面开始, 随着高度增加测得的叶面积系数 LA I 逐渐减少。但离地面较近时, 叶面积系数减少较慢, 然后逐渐加快, 到一定高度减少最快, 然后随高度增加叶面积仍将减少, 但减少的速度降低, 以后保持减少状态, 直至 LA I 为 0。由于活动面为茎叶密集的层次它必为叶面积随高度变化最快的层次, 若画出 LA I 随高度变化的曲线, 曲线的一阶导数为 LA I 的变化率, 而二阶导数为零的点, 即曲线的拐点, 就是 LA I 减少最快的层次, 也就是确定了活动面的位置。将 LA I 随高度的分布点图, 得图 1、2, 发现非常近似生长曲线, 只是方向与生长曲线呈左右对称状, 故考虑用生长曲线进行模拟分析。

1) 雷蒙德·皮尔模型

收稿日期: 2004-11-03 修订日期: 2005-03-27

作者简介: 王 谦, 吉林辉南人, 博士生, 郑州 河南农业大学林学院园艺学院, 450002。Email: wangqianhau@163.com

通讯作者: 孙治强, 河南郑州人, 教授, 博士生导师, 郑州 河南农业大学林学院园艺学院, 450002。Email: sunzq@public.zz.ha.cn

雷蒙德·皮尔(Raymond Pearl 1870- 1940)是美国生物学家和人口统计学家,若将他提出的生长曲线模型应用于分层叶面积,可写成

$$LA I_i = \frac{LA I_0}{1 + a \exp(-bi)} \quad (1)$$

其中 $LA I_i$ ——第 i 层次累积到冠层顶的叶面积系数;
 $LA I_0$ ——整个群体的叶面积系数; a, b ——待定系数;
 i ——从冠层顶到测定层次的距离。

如前述,活动面是 $LA I_i$ 随高度增加而减少最快的层次,即曲线的拐点,对(1)式求二阶导数并令其为零,得拐点

$$I = \frac{1}{b} \ln a \quad (2)$$

若令

$$\begin{cases} X = i \\ Y = \ln \left[\frac{LA I_0}{LA I_i} - 1 \right] \end{cases} \quad (3)$$

和

$$\begin{cases} A = \ln a \\ B = -b \end{cases} \quad (4)$$

则有

$$Y = A + BX \quad (5)$$

即对曲线进行了线性化,所以,用式(3)处理测定数据,作线性回归,可确定系数 A 和 B ,进而根据式(4)确定 a 和 b 。最后根据(2)式求得拐点,即为活动面高度。

2) 龚珀兹模型

由英国统计学家和数学家本杰明·龚珀兹(Benjamin Gompertz)提出。他的模型应用于 $LA I$ 研究

可写成

$$LA I_i = LA I_0 \exp[-b \exp(-ki)] \quad (6)$$

式中 b, k ——待定系数;其余符号意义同前。

它的拐点为

$$I = \frac{1}{k} \ln b \quad (7)$$

对它线性化,需令

$$\begin{cases} A = \ln b \\ B = -k \end{cases} \quad (8)$$

和

$$\begin{cases} X = i \\ Y = \ln \ln \left[\frac{LA I_0}{LA I_i} \right] \end{cases} \quad (10)$$

类似前一模型,可确定待定系数,并求得拐点,即得到活动面高度。

2 模拟结果

分别将小麦和玉米(两种株型)冠层分析资料应用上述两模型进行分析,结果列于表 1,据表 1 中系数,应用两模型模拟 $LA I$ 与实测 $LA I$ 对比,二者相关系数均大于 0.95,最大的达 0.99 以上。但两种模型对不同的冠层模拟时,各有优势需作比较分析。以小麦为例, $LA I$ 模拟值和实测值用 EXCEL 软件进行方差分析,两模型均在 0.01 信度下通过检验,但皮尔模型模拟时 $F = 0.003489 \ll F_{crit} = 7.7213$,龚珀兹模型 $F = 0.1136$,虽然亦 $\ll F_{crit} = 7.7213$,但比皮尔模型 F 值大得多,所以选皮尔模型。对三种冠层均作相同的方差分析,以确定合理的模型。

表 1 两种模型的模拟结果

Table 1 Results of the simulation using the two models

| 模拟模型 | 冠层种类 | A | B | 相关系数 | a | b | b | k | i/cm |
|--------|------|---------|-------|-------|--------|----------|--------|----------|------|
| 雷蒙德·皮尔 | 小麦 | - 3.416 | 0.124 | 0.986 | 0.0328 | - 0.1244 | — | — | 28 |
| | 玉米 1 | - 3.155 | 0.026 | 0.980 | 0.0426 | - 0.0257 | — | — | 123 |
| | 玉米 2 | - 4.353 | 0.036 | 0.968 | 0.0129 | - 0.0355 | — | — | 123 |
| 龚珀兹 | 小麦 | - 2.844 | 0.076 | 0.958 | — | — | 0.0582 | - 0.0764 | 37 |
| | 玉米 1 | - 2.832 | 0.018 | 0.994 | — | — | 0.0589 | - 0.0182 | 156 |
| | 玉米 2 | - 1.983 | 0.015 | 0.992 | — | — | 0.1377 | - 0.0147 | 135 |

注:玉米 1 为平展型,玉米 2 为直立型; i 为活动面高度模拟值。

2.1 小麦冠层分析

对小麦冠层来讲,一般均为直立型叶片,其叶倾角均在 60 左右。雷蒙德皮尔模型模拟优于龚珀兹模型,因而选择雷蒙德皮尔模型模拟结果,如图 1。可见模拟效果非常好。根据模拟结果确定活动面高度为 28 cm,而该小麦冠层株高为 86 cm,其 2/3 株高为 57 cm。可见对本试验小麦冠层来讲,粗略地以 2/3 株高为活动面高度不甚合理,用之来分析小气候特征可能导致不正确的结果。当然,对不同的株型的小麦品种,活动面高度会有不同,均应以实测模拟确定活动面高度。

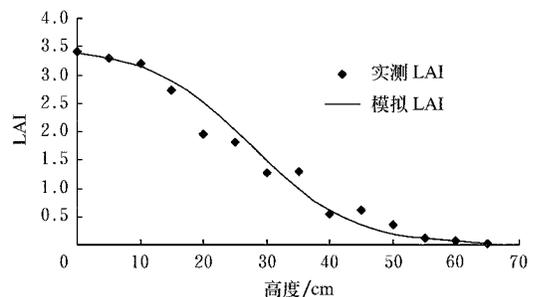


图 1 小麦冠层 $LA I$ 雷蒙德皮尔模拟值与实测值对比
 Fig 1 Measured and simulated $LA I$ in wheat canopy

2.2 玉米冠层分析

董振国等^[19]认为,叶倾角大于 65 的株型为紧凑型玉米,而叶倾角接近或小于 50 度的株型为平展型玉米,本文选择了两种株型的玉米冠层,分别进行分析。

1) 平展型玉米

对平展型玉米冠层来讲,叶倾角均值为 44°,波动较大,其 LAI 用龚珀兹模型模拟相关系数达 0.994,相关极为显著,故取其模拟结果,见图 2。活动面高度确定为 156 cm,其株高为 260 cm,2/3 株高为 173 cm,两者相差仅 17 cm,相对于玉米的株高来讲,这个差异不大,占株高的 6.5%。可以认为平展型玉米冠层用 2/3 株高来估计活动面高度较为合理。

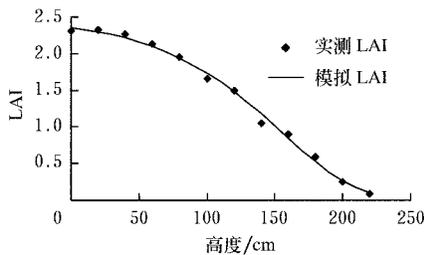


图 2 平展型玉米 LAI 龚珀兹模拟值与实测值对比

Fig 2 Comparison of measured and simulated LAI in corn canopy with flaten leaves

2) 直立型玉米

对于直立型玉米冠层,平均叶倾角从地面开始随高度增加呈递增趋势。两种模型模拟结果相关系数均在 0.9 以上,龚珀兹模型模拟效果更好,相关系数达 0.9922,其拟合情况如图 3。由于叶片直立,各层次叶面积分布相对平展型玉米均匀,因而曲线各处斜率相差较小,拐点不明显,但仍能看出曲线左半部分向上凸,右半部分向下凹,故必有拐点存在,用模型确定拐点在 135 cm,而所测冠层株高为 220 mm,其 2/3 株高为 146.7 cm,二者相差很小,为 11.7 cm,约占株高 5.3%,说明用 2/3 株高作为活动面较为恰当。

综合两种玉米类型,两种模型模拟结果均较好,而以龚珀兹模型模拟较好。活动面高度均与 2/3 株高相近,两种株型计算与实测活动面高度差相对株高在 5.3%~6.5% 之间。

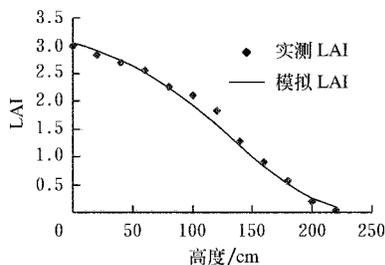


图 3 直立型玉米 LAI 龚珀兹模拟值与实测值对比

Fig 3 Comparison of measured and simulated LAI in corn canopy with vertical leaves

3 结论

- 1) 两种模拟结果均非常好,相关系数均大于 0.95。
- 2) 矮秆的小麦冠层,雷蒙德皮尔模型模拟优于龚珀兹模型模拟结果。
- 3) 高秆的玉米冠层,龚珀兹模型模拟相关系数达 0.99,相关极为显著。
- 4) 本试验中模型确定的小麦冠层活动面高度,与小麦 2/3 株高差异较大。平展型玉米冠层和直立型玉米冠层活动面高度,与其 2/3 株高相差仅 11~17 cm,仅占株高的 5.3%~6.5% 之间。表明:对玉米用 2/3 株高来估计活动面高度较为合理,而对小麦冠层来讲则误差较大,至于是否具有普遍性,尚待进一步研究。

[参 考 文 献]

- [1] 杜振宇,李秀芬,王露琴,等. 板栗叶面积测算方法的探讨[J]. 河北林果研究, 2002, 17(1): 48- 51.
- [2] 谢令琴,王晓燕,葛淑俊,等. 不同熟期及粒重小麦品种叶重和叶面积与其产量关系的研究[J]. 中国农业科学通报, 2002, 18(3): 10- 12.
- [3] 佟屏亚,程延年. 不同株型玉米叶面积消长动态的研究[J]. 北京农业科学, 1994, 12(6): 1- 4.
- [4] 刘自华. 冬小麦春生叶面积矫正系数及叶面积指数的研究[J]. 麦类作物, 1997, 17(1): 42- 44.
- [5] 邵则夏,陆斌. 回归相关分析在葡萄植株叶面积测定上的应用[J]. 云南林业科技, 1994, (3): 63- 65, 49.
- [6] 乔玉辉,宇振荣. 冬小麦叶面积动态变化规律及其定量研究[J]. 中国农业生态学报, 2002, 10(2): 83- 85.
- [7] 扈惠灵,马卫华,高启明. 葡萄叶面积的回归测算[J]. 河南职业技术学院学报, 2002, 30(4): 19- 21.
- [8] 高志红,章镇,姜晓鸣. 用回归方程法测定不同果梅品种叶面积[J]. 江苏农业科学, 1999, (3): 65- 67.
- [9] 邹伟,胡国谦,章镇. 用回归相关法测定不同柿品种叶面积[J]. 落叶果树, 1995, (3): 21- 22.
- [10] 艾军,李爱民,王玉兰. 北五味子叶面积的回归测算法[J]. 特产研究, 1999, (1): 43- 45.
- [11] 任海,彭少麟. 鼎湖山森林群落的几种叶面积指数测定方法的比较[J]. 生态学报, 1997, 17(2): 220- 223.
- [12] 郝引川,陈润沧. 不同熟性玉米品种叶面积的快速测量法[J]. 陕西农业科学, 1994, (1): 31- 32.
- [13] 聂继云,杨振锋,张红军. 果树叶面积简易测定方法研究[J]. 天津农学院学报, 2000, 7(4): 33- 35.
- [14] 孙耘子,蒋有条. 茎用莴苣不同生长阶段的叶面积估算方法[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2001, 19(4): 296- 321.
- [15] 潘学标,王延琴,崔秀稳. 棉花叶面积系数的非破坏性速测方法[J]. 中国棉花, 1996, 23(10): 13- 14.
- [16] 高安辉,陈守一,杨再英. 柚叶面积的简便测算方法初探[J]. 福建果树, 1999, (4): 12- 14.
- [17] 刘安国. 作物叶面积指数和叶倾角分布函数的一种推算方法[J]. 中国农业气象, 1994, 15(6): 11- 15.
- [18] Andres Kuusk, Zhang Renhua. Monitoring of LAI and chlorophyll content by the inversion of a CR analytical model[J]. Journal of remote sensing, 1997, Vol 1 Suppl: 166- 170.

[19] 董振国, 刘瑞文 冬小麦夏玉米高产田群体结构参数[J]

中国农业气象, 1995, 16(1): 9- 12

Determination of the height of active surfaces of the crop colonies using Li-2000 Canopy Analyzer

Wang Qian, Chen Jingling, Sun Zhiqiang

(Forestry and Horticultural College, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract Using Li-cor's plant canopy analyzer, taking the corn and wheat as examples, the accumulated LAI from the top of the canopy to the different levels of the colony were measured and analyzed to determine the height of the active surface of crop colonies. The data of measured LAI were simulated according to the models given by Raymond Pearl (1870- 1940) and Gompertz. The results show that the two models are suitable for the simulation of the LAI in the crop colony and the correlation coefficients are above 0.95. Raymond Pearl's model is better than Gompertz's for the wheat colony, while the latter is more suitable for the corn canopy and the correlation coefficient is up to 0.99. The height of active surface of wheat colony is quite different from $2/3$ of the plant height, which is used to determine the active surface roughly. Meanwhile the height of active surface in the corn colony is similar to the $2/3$ plant height, the difference between them is only 11 to 17 cm. So using the $2/3$ of the plant height to estimate the active surface height is rational but is likely to produce obvious errors to the wheat canopy.

Key words: canopy analysis; active surface; simulation