

文章编号: 1001-411X (2001)04-0005-03

玉米株叶形态结构的可视化模拟初步研究

章家恩¹, 黄 润², 刘楚生¹, 尧卫民¹, 刘子凡¹

(1 华南农业大学热带亚热带生态研究所, 广东 广州 510642; 2 中国科学院长春光学精密仪器研究所, 吉林 长春 130022)

摘要: 选取 2 块不同种植密度的玉米样方, 并分别选取 4 株玉米, 原位测定每株玉米每个叶片主脉上 5 个特征点的空间坐标, 并应用一般一元二次方程对玉米叶曲线进行描述, 方程的系数根据实测数据由最小二乘回归方法得到, 然后, 通过计算机和 C 语言程序对玉米株叶形态结构进行了可视化模拟. 可视化模拟结果与实测结果基本一致.

关键词: 玉米; 株形; 可视化; 模拟

中图分类号: S126; Q147

文献标识码: A

20 世纪 80 年代中期以来, 随着遥感技术、全球定位技术、地理信息系统等数学采集和处理手段的飞速发展, 面向对象程序设计模型思想的变革及科学计算的可视化 (visualization in scientific computing) 模拟技术研究也日益活跃起来. 利用科学计算可视化技术, 可将采集的数据、计算中间结果和最终结果转换成几何图形及图象信息在屏幕上显示并可交互处理, 帮助研究人员分析按传统方法难以分析的现象, 为发现和揭示科学规律提供有利的工具. 科学计算的可视化技术现已广泛应用于流体力学、医学图象处理、数学、地学、空间科学、气象预报等领域. 近些年来, 在农林生态系统特别是在作物群体空间结构、作物群体光分布的精确计算与模拟方面开展了一些研究^[1-4]. 国外在植物生长形态的可视化研究方面已取得了长足的进展, 部分国家已达到了利用计算机模拟作物生长的水平. 在我国也有一些学者在作物生长发育过程的可视化模拟方面开展了一些有益的探索^[3]. 本文对此进行了初步尝试.

1 材料与方法

1.1 数据采集方法

研究地点在中国科学院长春净月潭遥感试验站附近玉米试验地. 供试玉米品种为本玉 9 号, 南北向条播. 玉米生长处于花期. 土壤为草甸黑土. 共选取 2 个不同种植规格的样地 (其中一个为疏植 90 cm×90 cm, 另一样地为密植 45 cm×45 cm), 每个样地选取 4 棵玉米植株. 观测内容主要包括玉米群体的形态结构指标 (包括植株的高度、每片叶子的空间坐标、方位角等). 叶片空间坐标的具体采集方法是, 以每片叶子中脉的基部为坐标原点, 以正北方向为 X 方向, 垂直向上为 Y 方向的坐标系. 经过坐标平移和旋转计算, 使植株的所有叶片中脉坐标均为向 X 方向伸展的二维坐标. 每片叶片测量 5 个特征点的坐标 (X, Y), 同时测量每个叶片的着生高度、方位角及每个特征点所在位置的叶长 (距叶基部的长

度)、叶宽等指标.

1.2 玉米叶曲线数学表达式的确立

在叶片不发生旋转、扭曲时, 代表叶曲线的叶片中脉构成的是一条光滑的二维曲线, 可用适当的数学表达式描述. Stewart 应用一般二次方程表征玉米叶曲线^[3,4]:

$$Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + G = 0, \quad (1)$$

式中, x, y 为叶片中脉坐标. 若取叶片中脉基部为坐标原点, 式 (1) 可简化为:

$$Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + y = 0, \quad (2)$$

应用测得的玉米叶片几个特征点的空间坐标值, 按前述的坐标变换, 得到包括叶尖坐标在内的多个叶片中脉坐标, 则可应用式 (2) 描述叶曲线. 应用最小二乘原则求出方程系数, 即可确定该叶的叶曲线, 对于式 (2), 当已知叶尖坐标 (x_L, y_L) 时, 可得:

$$D = -Ax_L - By_L^2/x_L - Cy_L - y_L/x_L, \quad (3)$$

将式 (3) 代入式 (2), 并令: x₁ = x(x_L - x), x₂ = (y_L² * x / x_L - y²), x₃ = x(y_L - y), x₄ = y - y_L * x / x_L, 则有 x₄ = Ax₁ + Bx₂ + Cx₃. 应用最小二乘原则, 使拟

合曲线与实际值的偏差平方和: $Q = \sum_{i=1}^n (x_{4i} - Ax_{1i} - Bx_{2i} - Cx_{3i})^2$ 为最小. 根据极值条件: $\partial Q / \partial A = 0$, $\partial Q / \partial B = 0$, $\partial Q / \partial C = 0$, 则可得方程组:

$$\begin{cases} AL_{11} + BL_{12} + CL_{13} = L_{14} \\ AL_{21} + BL_{22} + CL_{23} = L_{24} \\ AL_{31} + BL_{32} + CL_{33} = L_{34} \end{cases},$$

其中, $L_{ij} = \sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_i)(x_{jk} - x_j)$, $x_i = \sum_{k=1}^n (x_{ik}) / n$; (i, j = 1, 2, 3, 4). 将测定的坐标值代入, 求解上述方程组, 则可确定系数 A、B、C.

2 结果与分析

2.1 玉米植株叶形态的可视化模拟

测定 2 种植密度的 2 个样地的玉米植株叶片的坐标值. 依据上述的求解方法求出各系数 (表 1).

收稿日期: 2001-03-20

作者简介: 章家恩 (1968-), 男, 副教授, 博士.

基金项目: 中国科学院长春净月潭遥感试验站开放基金 (4100-F98001); 中国博士后基金; 中博基 (1998)9 号

表 1 2 个样地玉米的叶曲线系数

Tab. 1 The curvature coefficients of maize leaves sampled from two test plots

疏植样地(90 cm×90 cm)					密植样地(45 cm×45 cm)					
a sparsely-planted maize sample plot					a densely-planted maize sample plot					
株号	叶序				株号	叶序				
plant	phyllotaxy	A	B	C	plant	phyllotaxy	A	B	C	
No.				D	No.				D	
1	1	0.024 128	−0.030 729	0.009 365	−1.061 79	1	0.070 811	−0.040 356	0.062 672	−2.194 27
	2	0.022 910	−0.024 703	0.018 466	−1.390 55	2	0.026 486	0.010 876	−0.009 686	−1.495 15
	3	0.056 874	0.001 585	−0.000 561	−3.498 49	3	0.022 935	−0.004 451	−0.011 352	−1.291 98
	4	0.017 748	−0.008 201	−0.008 519	−0.043 66	4	0.022 662	0.001 039	−0.014 273	−1.282 12
	5	0.015 714	−0.004 436	−0.013 755	−0.930 87	5	0.033 635	0.012 217	−0.015 188	−1.987 56
	6	0.046 735	0.034 325	−0.03 121	−2.637 59	6	0.018 652	−0.000 649	−0.011 495	−1.046 86
	7	0.306 980	1.116 845	−0.252 434	−18.260 11	7	0.018 230	0.001 288	−0.011 002	−1.193 07
	8	0.016 499	−0.014 722	−0.000 529	−0.019 11	8	0.019 821	0.007 289	−0.011 197	−1.322 204
	9	−0.287 037	−0.594 499	0.492 020	11.404 14	9	0.015 557	−0.008 681	−0.005 051	−1.025 26
	10	0.005 898	−0.022 511	0.010 912	−0.809 22					
2	1	0.079 907	−0.003 952	−0.019 662	−1.677 27	1	0.086 197	−0.007 364	−0.055 446	−1.293 11
	2	0.012 417	−0.026 110	−0.021 588	−0.367 61	2	0.097 392	0.012 101	0.005 537	−2.353 27
	3	0.047 845	0.000 559	−0.001 536	−0.364 22	3	0.040 566	0.016 545	0.002 526	−1.876 52
	4	0.024 597	−0.005 741	−0.035 266	−0.672 26	4	0.099 281	0.007 129	−0.026 687	−3.160 97
	5	0.065 813	0.003 389	−0.020 586	−1.556 83	5	0.040 859	0.003 486	0.014 150	−1.450 86
	6	0.048 042	−0.006 244	−0.016 993	−0.880 29	2	3.231 252	0.494 080	−1.671 912	−51.71 03
	7	0.029 711	0.023 965	0.010 288	−1.292 38	7	0.010 112	0.008 958	−0.004 340	−0.659 19
	8	0.013 419	−0.017 621	−0.016 314	−0.521 89	8	0.024 471	0.008 143	−0.017 112	−1.402 53
	9	0.012 638	0.010 311	−0.003 221	−0.599 46	9	0.012 722	−0.002 671	−0.011 896	−0.846 11
	10	0.015 145	−0.002 576	−0.011 168	−0.929 35	10	0.011 572	−0.016 896	0.009 271	−1.144 02
3	1	0.010 258	−0.013 562	−0.041 966	−0.228 87	1	0.022 554	−0.007 609	−0.024 839	−0.612 53
	2	0.075 596	−0.011 356	−0.060 500	−1.386 71	2	0.666 067	0.064 132	0.200 341	−17.630 42
	3	0.051 980	0.014 436	−0.000 015	−1.638 03	3	0.038 401	0.051 155	0.032 902	−1.862 23
	4	0.090 538	0.002 601	0.001 250	−3.294 48	4	0.084 984	0.003 196	−0.026 458	−3.139 47
	5	0.025 882	0.035 857	0.004 601	−1.324 76	5	0.019 156	−0.015 737	−0.001 523	−0.974 51
	6	0.036 397	0.014 197	−0.007 779	−1.938 27	6	0.031 949	0.001 989	−0.004 765	−1.718 82
	7	0.018 262	0.000 705	−0.018 538	−0.926 39	7	0.055 322	0.179 611	0.002 561	−4.408 22
	8	0.018 201	−0.030 298	−0.009 483	−0.648 83	8	0.013 166	−0.010 546	−0.002 796	−1.038 43
	9	0.013 940	−0.003 919	−0.013 866	−0.788 33	9	0.014 125	−0.002 893	−0.014 421	−0.838 03
	10	0.030 935	0.000 805	−0.005 915	−1.682 35					
4	1	0.150 065	−0.016 285	0.019 908	−3.440 01	1	2.836 198	0.399 494	1.136 167	−46.044 35
	2	0.031 017	−0.102 169	−0.018 497	−0.409 77	2	0.134 895	0.019 053	−0.097 093	−2.529 94
	3	0.086 581	−0.030 941	−0.001 786	−1.652 68	3	0.031 217	−0.025 690	0.055 952	−2.745 64
	4	0.037 311	−0.032 016	−0.009 869	−0.836 23	4	0.042 030	0.006 193	−0.013 687	−2.137 43
	5	0.035 011	0.018 695	0.009 122	−2.287 36	5	0.033 720	0.004 769	−0.015 851	−1.831 30
	6	0.009 864	0.003 242	−0.012 860	−0.692 33	4	0.042 532	0.018 301	−0.025 611	−2.430 97
	7	0.008 501	−0.004 906	−0.015 740	−0.487 19	7	0.014 502	−0.003 246	−0.008 386	−1.015 14
	8	0.010 595	−0.012 498	0.005 267	−1.047 33	8	0.016 155	−0.008 600	0.004 386	−1.591 19
	9	0.024 350	0.021 161	−0.018 495	−1.680 01	9	0.034 967	0.007 757	−0.022 700	−2.001 24
	10	0.020 188	0.002 014	−0.011 292	−1.292 77	10	0.065 937	0.027 815	−0.034 516	−3.576 86

图 1 是拟合的 2 个样地玉米群体植株的叶曲线 (图中拟合的叶曲线经坐标旋转而处于同一平面)。图中曲线是拟合后的株叶曲线, 圆圈是实测值, 拟合曲线大多经过实测值, 二者十分接近, 因此, 用一般二次方程能够很好地拟合株叶形态。

2.2 模拟结果分析

从模拟结果来看, 疏植样地玉米植株叶片在各高度层分布较为均匀, 叶片生长较为舒展。而对于

密植样地, 玉米植株叶片主要集中在群体的上部, 且叶片相互交错荫蔽, 叶片比较短小。这些模拟结果与田间观测的玉米株叶形态、空间分布情况基本一致。说明应用计算机可视化技术模拟作物株叶形态与群体结构是可行的。从模拟结果还可以进一步得到认识, 密植不利于玉米植株叶片的生长发育, 进而会影响到玉米群体的叶面积指数与受光状态, 最终对作物的光合作用和产量造成影响。

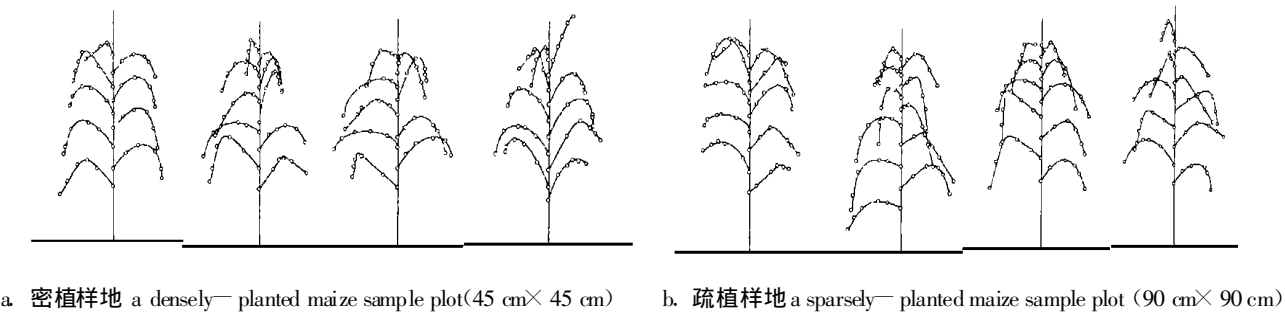


图 1 疏、密植样地玉米株叶形态及其空间分布的可视化模拟结果
Fig. 1 The results of visualization modeling of leaf shape and canopy structure of maize sampled from sparsely and densely planted plots

3 结语

作物株叶形态是构成作物群体结构的重要特征, 也是农作物栽培学和农业生态学研究的一个重要内容。通过在田间原位 (非破坏性地) 测定几个作物植株叶片的空间坐标, 运用计算机对玉米株叶形态与结构进行模拟, 可为研究作物群体的株叶形态及其时空分布规律提供很大帮助。作物株叶形态及群体结构的可视化模拟对理想株形选择、作物种植结构优化、农田环境调控, 以及实现“在电脑上种植作物”等均具有重要的意义和广泛的应用前景。

参考文献:

[1] 董振国. 黄淮海平原高产农田作物群体结构特征[J]. 应用生态学报, 1992, 3(3): 240—246.
[2] LEDENT J F. Beam light interception by leaves with undulating edges—A simulation of maize leaf sections[J]. Agric Meteorol, 1978, 19: 399—410.
[3] 郭 焱, 李保国. 玉米冠层的数学描述与三维重建研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(1): 39—41.
[4] STEWART D W. Mathematical characterization of maize canopies[J]. Agric For Meteorol, 1993, 66: 247—265.

Preliminary Study on the Visualization Modeling of Maize Leaf Structure

ZHANG Jia-en¹, HUANG Run², LIU Chu-sheng¹, YAO Wei-min¹, LIU Zi-fan¹

(1 Institute of Tropical and Subtropical Ecology, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China;

2 Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China)

Abstract: The visualization modeling of maize canopy structure was studied in this paper. Two maize sample plots with different planting density were selected in the field, and four maize plants in each plot were studied. The spatial coordinates of five characteristic points along the coastal line of each maize leaf were determined *in situ*. A general quadratic equation was proposed to characterize the curvature of maize leaf, and the coefficients of the equation were determined by the method of least square regression based on the observed data, then the structure of maize leaf was modeled by using the computer. The results of visualization modeling of maize leaf structure were consistent with the actual situation of maize grown in the field.

Key words: maize; leaf structure; visualization; modeling

【责任编辑 周志红】