

王 霁, 刘国顺. 不同施肥水平对烟草叶片生长的影响及其模型的建立[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(5): 158-162.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.044

不同施肥水平对烟草叶片生长的影响及其模型的建立

王 霁, 刘国顺

(河南农业大学国家烟草栽培生理生化研究基地, 河南郑州 45002)

摘要: 研究不同施肥量下豫烟 10 号的生长发育, 以确定合理的施肥量, 建立叶片生长的动态模拟模型, 掌握豫烟 10 号的动态生长发育情况。选用 3 种施肥水平, 每个处理定株 3 株烟叶, 实时测量各部位烟叶动态生长发育, 以烟叶施肥水平、叶位为因变量, 叶龄为自变量建立模型, 并对模型进行检验, 分析模型特征参数。结果表明: 适合 3 个施肥水平不同叶位的烟叶片生长与叶龄关系的模型为 Richards 模型, 其方程为 $y = a / (1 + e^{b-cx})^{1/d}$; 在同一叶位, 不同施肥水平方程参数的 a 值(终极生长量参数)与生长速率参数(c 值)变异较小; b 值(初值生长量参数)与 d 值(形状参数)变异较大, 表明施肥水平主要通过调控参数 b 值、 d 值对整个方程进行动态调控; 3 个施肥量处理不同部位叶片长、宽的模拟值与对应长、宽的实测值接近, 模拟的准确度(以 k 表示)在 0.846 9 ~ 1.137 2 之间, 模拟的精确度(以 r^2 表示)均在 0.950 0 以上, 达到显著水平。由结果可知: 3 组施肥量处理下, 在同一叶位, 叶长、叶宽最终的积累量随施肥量的增加而增加, 最大增长速率先降后增, 快速增长时期先增后降, 施肥量对烟叶叶长的增长有临界性, 达到一定的施肥量有显著增长, 高肥量对于烟叶的促生长主要通过促进烟叶长度的增长来促进烟叶整体增长, 各叶位基本一致; 上部叶中肥和高肥组增长量低于同时期其余叶位的增长, 最终增长量的提高来自后期缓慢增长阶段增长量的显著提高, 肥料施用优先满足下部叶、中部叶的增长, 后期缓慢增长期在达不到快速增长水平时, 起补充、过渡增长作用, 导致后期叶片生长延缓。

关键词: 烟草; 施肥量; 叶片生长; 模型; 参数

中图分类号: S572.062 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0158-05

作物生长模拟方程可以解释作物的生长曲线形状, 烟叶作为烟草产量的一个重要构成要素, 对烟叶形态生长发育的了解无疑十分重要。建立生长时间与叶片生长之间关系的动态模型, 对于确定群体结构, 实现农业生产的信息化、数字化具有重要意义^[1]。掌握植物生长规律, 科学估计产量至关重要, 关于河南省以及其他区域产量水平, 前人研究较多, 对于具体合理施肥范围以及合理的产量水平有大致的范围^[2-4]。不过, 随着烟叶生产技术水平的提高和成熟, 烟叶产量的提高也不可避免, 产量的增加必然会影响到烟叶的质量, 优质适产的范围也会有新的变化^[5]。因此, 研究不同施肥量下烟叶的生长发育, 对于确定合理的施肥量并采取适当的农艺措施、提高烟叶产质量有着实际的生产应用意义。本试验选择 3 个施肥量, 研究不同施肥量、叶位对叶片生长动态特征的影响, 以叶龄为自变量, 建立叶片生长的动态模拟模型, 并用推导出的特征参数对其动态特征进行定量分析, 为进一步提高烟草叶片生长的潜力与外观质量提供依据。

1 材料与方法

收稿日期: 2015-08-31

基金项目: 中国烟草总公司浓香型特色优质烟叶开发重大专项[编号: 110201101001(TS-01)]。

作者简介: 王 霁(1992—), 男, 安徽亳州人, 硕士研究生, 主要从事烟草栽培生理研究。E-mail: 1318272112@qq.com。

通信作者: 刘国顺, 教授, 博士生导师, 主要从事烟草栽培等方面的教学、科研、科技开发和推广等工作。E-mail: liugsh1851@163.com。

1.1 试验地点与材料

试验在河南省南阳市社旗县金叶合作社进行, 年日照总时间平均为 2 187.8 h, 年均气温 15.2 °C, 全年无霜期 233 d, 年均降水量 910.11 mm, 4—9 月降水量 689.2 mm, 占全年的 75.7%。土壤类型为黄褐土, 肥力中等, 有灌溉条件。土壤有机质含量 15.86 g/kg, 碱解氮含量 49 mg/kg, 速效磷含量 5.05 g/kg, 速效钾含量 123 mg/kg, pH 值 5.67。

供试肥料种类为: 高碳基土壤修复肥、烟草专用复合肥(N:P₂O₅:K₂O=10:10:20)、过磷酸钙(15.0% P₂O₅)、硫酸钾(50.0% K₂O)。

试验材料为豫烟 10 号。

1.2 试验设计

试验设置低施肥量(37.5 kg/hm² 纯氮) T1 处理、中施肥量(52.5 kg/hm² 纯氮) T2 处理、高施肥量(67.5 kg/hm² 纯氮) T3 处理 3 组, 3 组保持 N:P₂O₅:K₂O=1:1.2:3, 3 次重复, 共计 9 个小区, 完全随机排列。在起垄前撒施 750 kg/hm² 高碳基修复肥, 80% 复合肥起垄时撒施, 20% 复合肥、50% 硫酸钾移栽时穴施, 50% 硫酸钾在移栽后 25 d 追施。施肥深度 15 cm, 距烟株 15 ~ 20 cm。

试验于 2014 年 4 月 27 日移栽, 种植密度为 120 cm × 60 cm。

1.3 测定项目与方法

从移栽后 25 d 开始, 试验组每组选取 3 株, 选择第 16、23、29 张真叶(即采收时第 5、11、16 张叶)分别代表下、中、上 3 个部位烟叶挂牌标记; 每隔 2 ~ 4 d 测定不同部位叶片长、宽, 观察生长发育变化, 直至采收结束。

1.4 数据处理

将3个施肥组不同叶位的叶长、叶宽与叶龄,首先用Curve Expert1.40软件进行拟合,通过筛选、验证,建立具有生物学意义的叶片生长动态变化模型。初步统计分析不同烟株、不同叶位的叶片长、宽,并对3株同一叶位的叶片长、宽求取平均数,通过Origin 9.0软件进行Richards方程拟合叶片长、宽随叶龄动态增长过程。以叶龄为自变量(x)、叶片生长量(叶长或宽)为因变量(y),采用Richards方程进行干物质积累动态的拟合:

$$y = a / (1 + e^{-bx})^{1/d}$$

式中:a为终极生长量,cm;b为初值参数;c为生长速率参数;d为形状参数。

在具体分析时,还可以导出以下次级生长特征参数。

生长速率最大时的生长时间:

$$D_{max} = (b - \ln d) / c$$

生长速率最大时的生长量:

$$W_{max} = a(d + 1)^{-1/d}$$

最大生长速率:

$$V_{max} = ac / (2d + 4)$$

Richards生长曲线呈明显的3阶段增长趋势,其中0至GD₁为初始生长阶段,相应持续期D₁=GD₁,增长量为C₁;GD₁至GD₂为快速生长阶段,相应持续期为D₂=GD₂-GD₁,增长量为C₂;GD₂至GD₃为稳定生长阶段,相应持续期为D₃=GD₃-GD₂,增长量为C₃。具体推导过程见文献[6-7]。

2 结果与分析

2.1 不同施肥量下烟草叶片的生长

由图1看出:烟株上、中、下部位间的叶片定长在相同施肥条件下差异基本不显著,不同部位烟叶叶长最终生长量随施肥量的增大而提高,增长量有差异;高肥量处理最终定长69.4 cm,下部叶低肥量处理、中肥量处理最终定长分别为54.1、56.5 cm,低肥、中肥量处理间差异不显著,低肥量与高肥量,中肥量与高肥量处理间差异显著,中部叶、上部叶不同施肥量叶长的定长之间差异性表现与下部叶相同。结果说明,豫烟10号品种烟叶不同叶位间最终定长无明显差异,叶片的定长随施肥量增长而提高,施肥量对烟叶定长的增长效应应有临界性,达到一定的施肥量会出现显著增长表现。

由图1还可以看出,叶片的定宽随着施肥量的增加而增加,不同施肥量间有所差异;下、中、上部位叶片的中肥量处理分别比低肥量处理定宽增长8.95、5.65、4.40 cm,依次递减,下部叶增长显著,定宽同上部叶相比差异极显著;下部叶高肥量处理增长不明显;中部叶在不同施肥处理间增长量类似,上部叶在高肥量处理下增长量出现明显提升。结果表明:对于豫烟10号品种,叶片定宽随施肥量增长而增长,且下部叶的增长有极限,施肥量增长达到一定水平,增长不显著;施肥量的增长优先满足下部叶、中部叶,只有达到一定施肥水平才能明显促进上部叶定宽增长。

2.2 叶片生长模型的建立

利用Curve Expert 1.38软件对3种施肥量的叶片生长按照不同部位进行生长模拟,拟合挑选最优方程,选用Richards作为叶片生长随生长时间的动态模拟方程^[8],数据选用3组

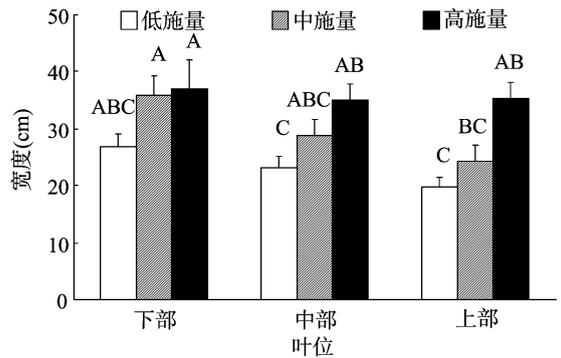
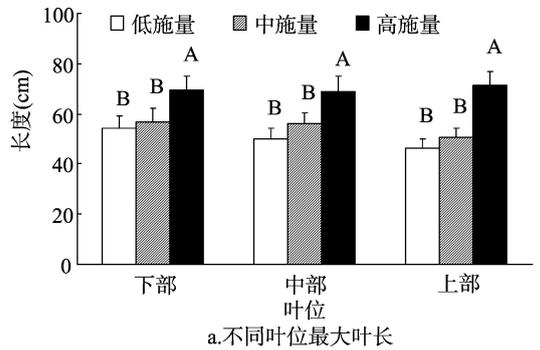


图1 3种施肥量烟叶的生长情况

实测值的平均值。在方程 $y = a / (1 + e^{-bx})^{1/d}$ 中:y为烟草叶片长或宽;x为叶龄;a为终极生长量,cm;b为初值参数;c为生长速率参数;d为形状参数(当d=1时)。通过该方程,利用叶龄与叶片生长可较好还原出任意生长时间所对应的叶片长或宽,及时掌握烟草叶片生长的动态变化情况。

表1、表2分别为3种施肥量下烟草叶长、叶宽的生长模拟方程的参数,其相关系数均在0.9904以上,达到极显著水平。对参数进行分析^[8-9],发现在相同叶位下,终极生长量参数(a值)与生长速率参数(c值)变异较小,初值生长量参数(b值)与形状参数(d值)变异较大,说明施肥量主要通过调控参数b值与d值对方程进行动态调控。

表1 3种施肥量叶长生长动态模拟方程参数

叶位	施肥量处理	Richards方程 $y = a / (1 + e^{-bx})^{1/d}$ 的参数				R ²
		a	b	c	d	
下部	T1	53.795 2	8.895 2	0.440 2	3.354 2	0.990 4
	T2	55.484 1	-1.792 9	0.135 8	0.045 1	0.996 4
	T3	69.041 2	3.170 2	0.235 5	1.110 9	0.993 5
中部	T1	49.249 0	9.773 2	0.504 3	2.406 7	0.997 4
	T2	56.084 8	2.304 9	0.148 6	0.737 1	0.997 9
	T3	67.635 7	6.918 3	0.445 7	1.996 2	0.997 9
上部	T1	45.783 6	-1.189 0	0.174 4	0.086 4	0.992 2
	T2	49.131 2	-1.699 1	0.153 3	0.068 8	0.990 5
	T3	69.840 1	-2.107 6	0.182 2	0.051 0	0.996 9

2.3 叶片生长动态模型的检验

为检验模拟方程的准确性,采用张宾等检验LAI模型的方法^[10],利用3种施肥量下烟叶长、宽测量值进行动态模拟,建立模拟值(LX)和实测值(LY)的回归曲线^[11],实测值选用3组实测值,得到线性方程:LY=k×LX,系数k与1的接近(LX)

表2 3种施肥量叶宽生长动态模拟方程参数

叶位	施肥量处理	Richards 方程 $y = a / (1 + e^{b-cx})^{1/d}$ 的参数				R^2
		a	b	c	d	
下部	T1	26.422 8	10.036 3	0.489 9	3.292 5	0.993 7
	T2	34.093 5	-2.250 1	0.121 3	0.026 5	0.983 9
	T3	36.765 4	1.785 3	0.191 1	0.545 8	0.985 6
中部	T1	22.695 1	3.534 2	0.276 9	0.519 4	0.998 0
	T2	28.894 8	2.055 7	0.150 3	0.534 5	0.993 7
	T3	33.693 8	5.717 0	0.373 6	1.441 0	0.996 0
上部	T1	19.724 1	-1.619 1	0.150 6	0.054 1	0.996 5
	T2	23.653 0	-1.776 5	0.138 9	0.056 1	0.991 7
	T3	34.224 2	-2.479 7	0.167 6	0.033 5	0.995 1

程度体现了模拟结果的准确度(以 k 表示)。

由表3可知: k 值在 0.846 9 ~ 1.137 2 之间;模拟的精确度(以 r^2 表示)在 0.950 0 ~ 0.996 2 之间,相关系数均在 0.950 0 以上,且模拟值与实测值相关性达到极显著水平,说明模型可准确地反映烤烟不同叶位叶片生长随叶龄增长的动态特征。

表3 3种施肥量下不同叶位实测值与模拟值之间的关系

叶位	模拟值(LX)与相应的测量值(LY)线性方程 $LY = k \times LX$						
	T1 处理		T2 处理		T3 处理		
	k	r^2	k	r^2	k	r^2	
下部	叶长	1.137 2	0.988 1	1.001 3	0.975 5	0.968 0	0.988 7
	叶宽	1.118 7	0.989 5	1.025 5	0.958 6	0.846 9	0.993 7
中部	叶长	0.973 9	0.992 2	0.943 1	0.955 0	0.982 9	0.996 2
	叶宽	1.002 1	0.994 3	1.017 6	0.950 0	1.014 9	0.995 1
上部	叶长	1.082 8	0.984 2	0.927 1	0.984 2	1.029 8	0.994 1
	叶宽	1.076 4	0.988 8	0.864 0	0.986 3	1.079 9	0.992 5

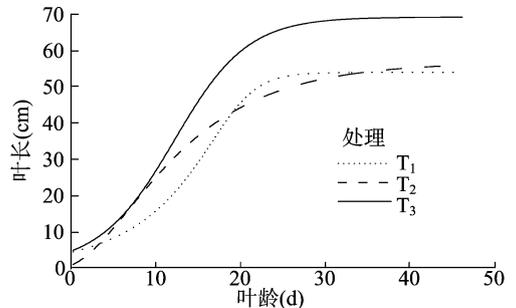
2.4 3组施肥量叶片生长动态模型参数及生长特性分析

用 Curve expert 分析出合适的模拟方程后,用 Origin 9.0 进行叶片叶长的动态模拟。

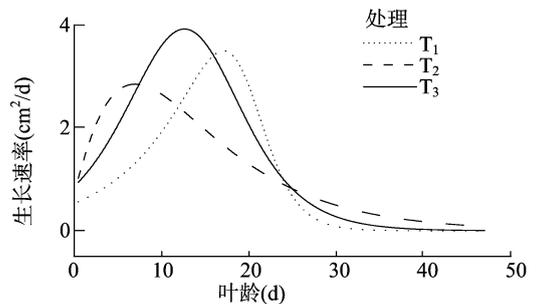
2.4.1 下部叶片动态生长模拟参数 叶片的发育以叶长最为显著,其生长的快慢直接影响叶片的整体发育。由图2可见,在下部叶叶长中, T_1 、 T_2 、 T_3 处理最大生长速率 V_{max} 分别为 3.50、2.86、3.93 cm^2/d , T_3 处理组最大生长速率和最终定长超出其余 2 组, T_1 、 T_2 处理值近似。3 组处理前期缓慢增长期 D_1 分别为 13.29、1.00、7.26 d, 增长量 C_1 、 C_2 、 C_3 分别为 21.42、0.82、15.37 cm; 快速增长期 D_2 分别为 8.33、13.4、11.51 d, 分别增长 25.93、32.63、39.67 cm; T_1 、 T_2 、 T_3 处理后期稳定增长期 D_3 分别为 25.37、32.60、28.23 d; C_1 、 C_2 、 C_3 分别增长 6.45、22.32、13.98 cm。可以看出,在下部叶中, T_2 处理迅速增长期开始较早,最高增长速率低于其余 2 组,快速增长持续时间高于其余 2 组; T_1 处理整体生长迟缓,生长速率的上升、下降时间都较短; T_3 处理始终都保持最高的增长速率、最高的增长量,且与 T_2 处理相比能看到 1 个明显上升的速率表现。最终的增长量大小为: T_3 处理 > T_2 处理 > T_1 处理。

由图3看出,下部叶叶宽中, T_1 、 T_2 、 T_3 处理最大生长速率 V_{max} 分别为 1.93、1.61、2.05 cm^2/d 。前期缓慢增长期 D_1 分别为 14.31、1.00、6.34 d, 增长量分别为 10.39、0.04、5.67 cm; 快速增长期 D_2 分别为 7.46、15.15、12.34 d, 分别增

长 12.82、19.73、22.0 cm; 后期稳定增长期 D_3 分别为 24.91、30.80、28.32 d, C_1 、 C_2 、 C_3 分别为 3.22、14.36、9.04 cm。对比叶长的增长,在各处理间,各时期期间的增长与叶长的增长表现一致趋势, T_1 处理增长量更小, T_2 处理在前期增长量更小,后期增长速率明显超过其他 2 个处理,可见叶宽的增长在 T_2 处理表现出更强的补充作用。

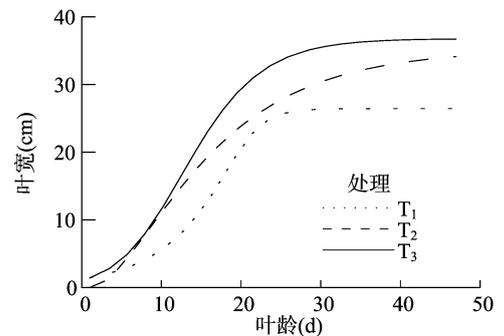


a. 下部叶片拟合生长曲线

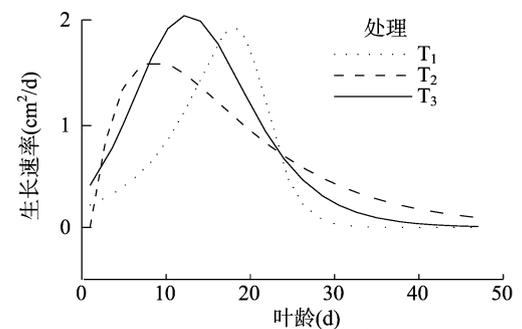


b. 下部叶叶长生长速率曲线

图2 不同施肥量下部叶叶长与生长速率动态模型



a. 下部叶片叶宽拟合生长曲线



b. 下部叶叶宽生长速率曲线

图3 不同施肥量下部叶叶宽与生长速率动态模型

2.4.2 中部叶片动态生长模拟参数 由图4看出,中部叶 T_1 、 T_2 、 T_3 处理最大生长速率 V_{max} 分别为: 4.37、2.27、

5.80 cm²/d,前期缓慢增长期 D_1 分别为 14.36、9.22、10.42 d,增长量 C_1 、 C_2 、 C_3 分别为 16.65、10.06、20.60 cm;快速增长期 D_2 分别为 6.58、16.67、7.06 d,分别增长 25.48、33.05、36.18 cm;后期稳定增长期 D_3 分别为 28.06、23.11、31.52 d, C_1 、 C_2 、 C_3 分别为 7.11、12.45、10.85 cm。可以看出,中部叶增长趋势与下部叶相同,相较于其他 2 组, T_2 处理的快速增长期持续时间更长,增长速率低于其他 2 组,增长量大于 T_1 处理、小于 T_3 处理;后期增长时间明显减少,增长效应下降明显。

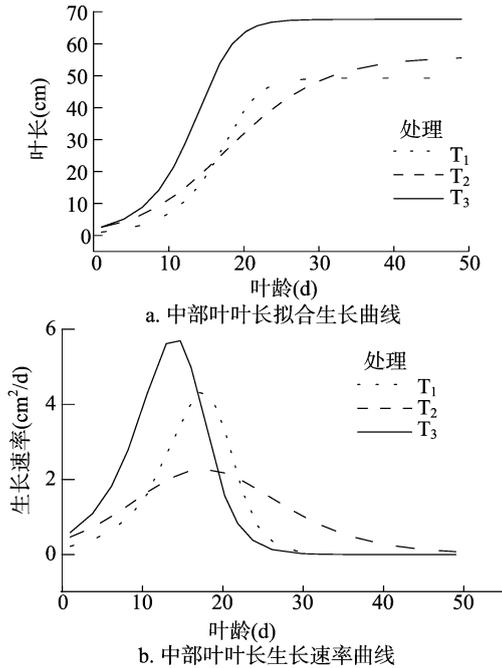


图4 不同施肥量下中部叶叶长与生长速率动态模型

由图 5 可见,中部叶叶宽的 T_1 、 T_2 、 T_3 处理最大生长速率 V_{max} 分别为 1.85、1.27、2.77 cm²/d,前期缓慢增长期 D_1 分别为 10.90、10.03、10.47 d,增长量分别为 3.41、4.42、8.65 cm;快速增长期 D_2 分别为 8.46、15.621、7.74 d,分别增长 13.61、17.28、18.87 cm;后期稳定增长期 D_3 分别为 29.65、23.35、30.80 d, C_1 、 C_2 、 C_3 分别为 5.68、6.93、6.17 cm。由结果可知,叶宽增长曲线与叶长保持一致,前期增长时间基本一致,增长量逐级增加, T_3 处理表现出明显增长。

2.4.3 上部叶叶片动态生长模拟参数 由图 6 看出,上部叶 T_1 、 T_2 、 T_3 处理最大生长速率 V_{max} 分别为 2.87、2.82、5.25 cm²/d,前期缓慢增长期 D_1 都为 1 d, C_1 、 C_2 、 C_3 增长量分别为 12.67、4.87、8.39 cm;快速增长期 D_2 分别为 11.23、10.00、6.03 d,分别增长 27.77、25.66、29.28 cm;后期稳定增长期 D_3 分别为 32.77、34.00、37.97 d, C_1 、 C_2 、 C_3 分别为 15.46、18.89、32.91 cm。上部叶与其他叶位表现有所不同,前期增长时间较短,快速增长时间短,3 组之间增长量接近, T_3 处理最终增长量的显著提高主要来自后期缓慢增长阶段增长量的提高。

由图 7 看出,上部叶叶宽的 T_1 、 T_2 、 T_3 处理生长速率 V_{max} 分别为 1.11、1.24、2.54 cm²/d。前期缓慢增长期 D_1 都为 1 d,分别增长 0.49、1.35、2.88 cm;快速增长期 D_2 分别为

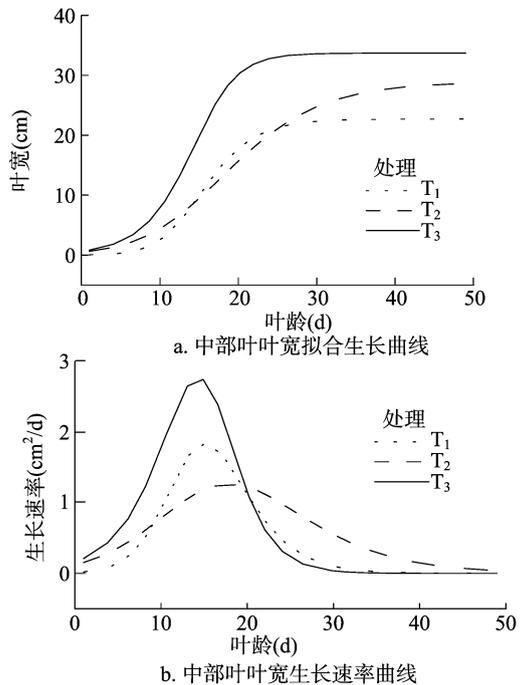


图5 不同施肥量下中部叶叶宽与生长速率动态模型

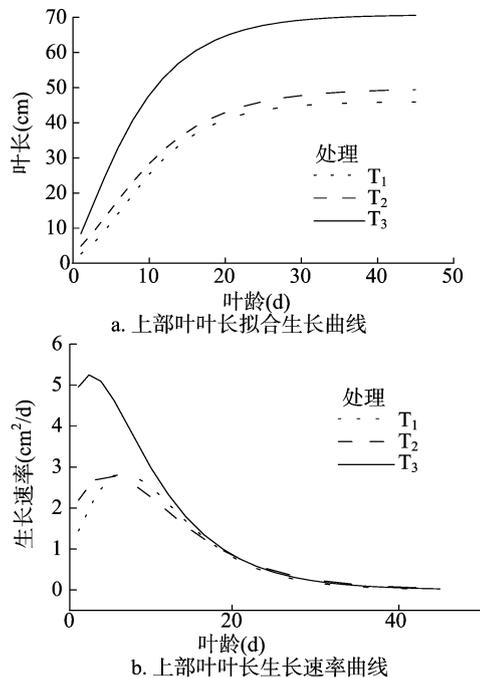


图6 不同施肥量下上部叶叶长与生长速率动态模型

12.20、11.67、5.51 d,分别增长 11.65、12.99、12.97 cm; T_1 、 T_2 、 T_3 处理后期稳定增长期 D_3 分别为 31.80、32.33、38.49 d,分别增长 7.69、9.44、18.94 cm。叶宽在各时期的增长量随着施肥量的提升而增加,在快速增长时期, T_2 处理增长时间与 T_1 处理接近,远高于 T_3 处理;在增长量方面,3 组处理快速增长时期接近,主要差异表现在后期稳定增长时期,说明叶宽的定长差异主要来自于后期增长,快速增长期时间有差异,增长量较为一致,施肥量越高,快速增长期越短,后期时间越长,后期积累量越大。

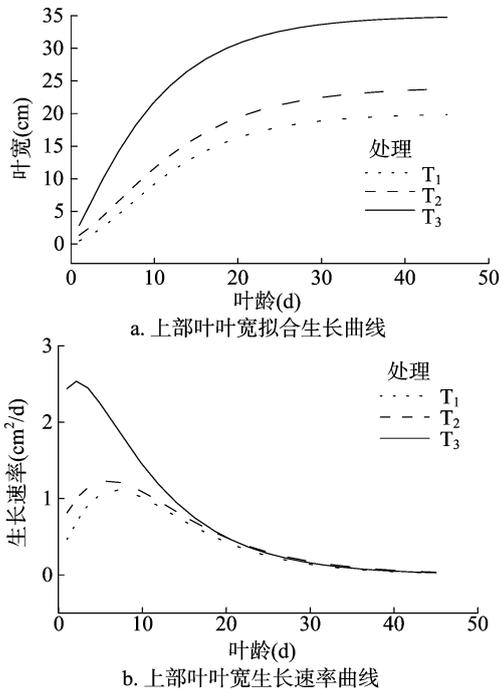


图7 不同施肥量下上部叶叶宽与生长速率动态模型

3 讨论与结论

3.1 不同施肥量对烟叶生长的影响

不同施肥量对于烟叶产量影响较大,烟草是叶生作物,叶片的生长直接影响到产量,烟叶产量的实质是烟叶的生长发育。因此,不同的施肥水平在很大程度上影响烟叶的生长发育状态和外观质量^[12-13]。试验结果表明,对于豫烟10号品种,在同一叶位下,烟长最终生长量随着施肥量的提高而提高,不过低肥量处理与中肥量处理间差异不显著,与高肥量处理差异显著,施肥量对烟叶生长量的增长效应有临界性,达到一定的施肥量才能有显著表现;而叶宽最终生长量、定宽随施肥量增长而增长,在各部位的表现不同,下部叶的增长表现出一定的极限性,施肥量增长达到一定水平之后,增加施肥量增长不显著,施肥量的增加优先满足下部叶宽增长,只有达到一定施肥水平才能明显促进上部叶的定宽增长。

3.2 烟草叶片生长模型的建立

在烟草的研究中,对于生物学的研究是十分重要的基础性研究,烟草生育规律及其动态模型的研究能够利于促进或控制实际栽培的措施^[14]。以叶龄为变量,建立了符合叶片生长关系的 Richards 方程: $y = a / (1 + e^{-bx})^{1/d}$,该方程可以很好地模拟烟草叶片生长随生长时间变化的动态特征,其方程参数有很好的生物学意义。当叶龄趋于无穷大时,不同施肥水平的相对最大生长量均趋于量 a 量,即为成熟时的烟草叶片生长量。可以根据模型对烟草全生育期的叶片生长动态进行预测。施肥量主要通过调控参数量 b 值与 d 量值对整个方程进行动态调控。建立了叶片生长的模拟值(x)、实测值(y)的直线回归,模拟准确度(以 k 表示)在 0.846 9 ~ 1.137 2 之间;模拟的精确度(以 r^2 表示)在 0.950 0 ~ 0.996 2 之间,说明模型可准确地反映不同施肥量下烟草不同叶位叶片生长随叶龄变化的动态特征。

3.3 不同施肥量对叶片生长动态参数的影响

作物生长模拟出的方程可解释作物的生长,由其推导出的特征参数具有生物学意义,叶片生长变化速率和各个生长期段都可以很好地反映烟草在整个生育期的叶片生长情况^[15]。试验结果表明,3组施肥量下,在同一叶位下,叶长、叶宽最终的积累量都表现出随着施肥量的增加而增长;增长前期时间最短,增长量最少,且3组之间差异不大;最大速率 V_{max} 表现出 T_3 处理 $>$ T_1 处理 $>$ T_2 处理;迅速增长时间表现为 T_2 处理 $>$ T_3 处理 $>$ T_1 处理,各叶位基本一致,可以看出 T_2 处理速率不高,增长时间最长,最终生长量处于中等,可能是由于低施肥水平下,增长优先满足增长时间;上部叶与其他叶位表现有所不同,高肥量组在前期和快速增长期增长量和其他2组无差异,中肥量、高肥量组增长量低于其他叶位同时期的增长,最终增长量显著提高的主因是后期缓慢增长阶段增长量的显著提高。说明肥料施用优先满足下部叶、中部叶的增长,后期缓慢增长期在达不到快速增长水平条件下,起补充和过渡增长作用,导致后期叶片生长延缓,不利于烟叶的落黄成熟。综上可知,高肥处理的施肥量略有不足,并未达到理想水平,应当适当提高;对于整体施肥,烟叶前期部分施肥,快速生长期阶段进行大量追肥较符合烟叶生长规律。

参考文献:

- [1] 侯玉虹,陈传永,郭志强,等. 作物高产群体干物质积累动态模型的构建及生长特性分析[J]. 玉米科学,2008,16(6):90-95.
- [2] 胡国松,傅建政,张丙孝,等. 目前我国烤烟烟叶质量的若干限制因子[J]. 中国烟草科学,1999(4):14-17.
- [3] 张翔,黄元炯,范艺宽,等. 河南省植烟土壤与烤烟施肥的现状、存在问题及对策[J]. 河南农业科学,2004(11):54-57.
- [4] 王国平,向鹏华,肖艳. 衡阳烟叶产量与烟叶化学品质相关性研究[J]. 湖南农业科学,2009(2):22-24.
- [5] 金小马,刘本坤,徐坚强,等. 生长调节剂对烤烟产量和产值的影响[J]. 湖南农业科学,2008(1):36-38.
- [6] 李国强,汤亮,张文宇,等. 不同株型小麦干物质积累与分配对氮肥响应的动态分析[J]. 作物学报,2009,35(12):2258-2265.
- [7] 朱庆森,曹显祖,骆亦其. 水稻籽粒灌浆的生长分析[J]. 作物学报,1988,14(3):182-193.
- [8] 招启柏,廖文程,孔光辉,等. 移栽期对烤烟叶片生长动态的影响及其模型的建立[J]. 中国烟草学报,2013,19(4):41-47,54.
- [9] 李向岭,赵明,李从锋,等. 播期和密度对玉米干物质积累动态的影响及其模型的建立[J]. 作物学报,2010,36(12):2143-2153.
- [10] 张宾,赵明,董志强,等. 作物高产群体 LAI 动态模拟模型的建立与检验[J]. 作物学报,2007,33(4):612-619.
- [11] 付雪丽,赵明,周宝元,等. 小麦、玉米粒重动态共性特征及其最佳模型的筛选与应用[J]. 作物学报,2009,35(2):309-316.
- [12] 刘雪松. 不同品种烤烟叶面积的生长规律及其与气候条件的关系[J]. 贵州农学院学报,1987(2):18-24.
- [13] 魏成熙,江锡瑜,高煊晔,等. 不同施肥量对烤烟产量与质量的研究[J]. 耕作与栽培,1998(5):44-47,60.
- [14] Avery G S. Structure and development of the tobacco leaf[J]. American Journal of Botany,1933,20(9):565-592.
- [15] 胡延吉,兰进好,赵擅方. 不同时期3个主栽小麦品种干物质积累及分配特性的研究[J]. 山东农业大学学报:自然科学版,1999,30(4):404-408.