

尹莹莹. 草地早熟禾匍匐茎数字化生长模型[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(5): 192–194.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.05.064

# 草地早熟禾匍匐茎数字化生长模型

尹莹莹

(吉林农业大学信息化教学与管理中心, 吉林长春 130118)

**摘要:**为了建立草地早熟禾匍匐茎的数字化生长模型,从而能够在定量的时空坐标内研究草地早熟禾匍匐茎的生长过程,通过对温室中试验植株生长数据的观测研究归纳出匍匐茎“快—慢—快”的自然生长规律,并据此分别建立了匍匐茎长度和直径的生长模型。使用均方根误差(*RMSE*)统计分析方法对所建立的模型进行验证,验证结果表明所建立的模型符合植物生长的自然规律,具有一定的可靠性和准确性,能够描述草地早熟禾匍匐茎的生长发育过程。

**关键词:**生长模型;虚拟植物;匍匐茎;草地早熟禾

**中图分类号:** TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)05-0192-03

近年来,随着数字农业和信息农业的兴起和发展,虚拟植物技术成为了新兴的研究领域<sup>[1]</sup>,它以植物的结构模型和生理模型为基础,将植物的生长发育过程进行数字化,以期能够在计算机上模拟和研究植物的各种生理形态<sup>[2]</sup>。

目前,对于虚拟植物建模的方法已经有很多研究,大体上分为 2 类,一类是对植物外观的形态模拟,较著名的有美国生物学家 Lindenmayer 提出的 L-系统模型<sup>[3]</sup>、赵春江等建立基于骨架的玉米根系模型<sup>[4]</sup>、伍艳莲等提出的基于 OpenGL 的小麦形态可视化技术<sup>[5]</sup>等;另一类是对植物生长过程的模拟<sup>[6]</sup>,较著名的有丁维龙等提出的基于基因表达式编程的植

物形态建模智能化方法<sup>[7]</sup>、王冬等提出的基于环境敏感的植物虚拟生长仿真方法<sup>[8]</sup>、敬松等提出的基于时控 L-系统的虚拟植物三维生长模型<sup>[9]</sup>等。

草地早熟禾是一种冷季型草坪草,我国大部分地区用其建设绿化和观赏草坪<sup>[10]</sup>。匍匐茎是其养分的储藏库,在返青时可以促进植株的生长,且其上节处还可萌发不定根进而生成新的植株,因此匍匐茎在植株生态上具有重要作用,是草地早熟禾的重要器官,对其生长过程的数字化对草地早熟禾的生长和繁殖研究都具有重要意义。

## 1 试验数据来源

草地早熟禾品种为多年生肯塔基草地早熟禾。试验场地位于吉林农业大学园艺学院温室实验室,在对场地进行细翻、平整、施复合肥后等处理后均匀播种,覆土 0.5 cm。供给充足的光照、水分和养分。

收稿日期:2014-06-03

基金项目:吉林农业大学青年启动基金(编号:201331)。

作者简介:尹莹莹(1982—),女,吉林公主岭人,硕士,讲师,从事虚拟植物研究。Tel:(0431)84533217;E-mail:yyy@jlau.edu.cn。

织中氮含量变化规律尚存在一定的相似性<sup>[8]</sup>。

枝条内磷含量变化与氮明显不同,表现出逐渐升高的变化,同时,不同年龄的枝条内磷含量差异较大,表现为 2 年生枝条磷含量最低。分析认为,磷在植物体内移动性较差,开花过程需要较多的磷大部分从 1、2 年生枝条内获得,以至于使 2 年生枝条内磷含量较低。开花后期,枝条内磷含量呈现出随着枝条生育年龄的增加而降低的变化,这种变化规律与湿地松叶片内磷含量变化规律<sup>[9]</sup>极为相似。在对玉米的研究中认为植株磷含量状况可以反映出植株的营养状况<sup>[10]</sup>,从对旱柳的分析来看,在旱柳花期根外追施磷肥可以提高树体磷营养水平。旱柳不同年龄枝条内钾含量的变化规律不同,分析原因与钾在植物体内移动性较强有关,该结果与核桃树不同器官钾含量研究结果<sup>[11]</sup>相似,表明钾含量的变化在早春木本植物体内变化规律基本相同。综上分析认为,旱柳在花期一定程度上可以导致枝条内氮、磷、钾营养的短暂亏缺,在树木养护中应当采取一定的追肥措施。

## 参考文献:

[1] 陈有民. 园林树木学[M]. 北京:中国林业出版社,2007:294.

[2] 李明,裴占江,张明,等. 寒地高肥条件下玉米氮磷钾积累规律研究[J]. 玉米科学,2010,18(1):121–125.

[3] 袁志华,李英骏,鞠阳. 小麦茎秆力学特性与氮磷钾含量的关系[J]. 应用基础与工程科学学报,2010,18(6):967–973.

[4] 范晓龙,张吉立. 寒地旱柳早春萌芽期枝条氮磷钾含量变化研究[J]. 中国农学通报,2011,27(16):41–45.

[5] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:256–268.

[6] 马兆兰,杨丰波,单晶晶,等. 不同肥料配方对银杏叶片叶绿素及含水量的影响[J]. 山东农业科学,2011(2):68–70.

[7] 乌云娜,蒙仕康,张凤杰,等. 阿拉善荒漠区主要灌木林碳氮含量的变化分析[J]. 大连民族学院学报,2011,13(1):5–7,15.

[8] 戈长水,应武,孔万根,等. 不同氮肥量对水稻成熟期剑叶外观及氮含量的影响[J]. 杭州农业与科技,2010(4):36–38.

[9] 林松柏. 湿地松不同叶龄针叶氮磷含量及其内吸收率季节规律研究[J]. 安徽农学通报,2010,16(18):24–26.

[10] 杨兰芳,杨庆,李兆华,等. 有机垃圾颗粒肥料对玉米生物量和氮、磷含量的影响[J]. 河南农业科学,2010(3):44–47.

[11] 于冬梅,盖素芬. 核桃主要器官钾含量及分配的动态规律[J]. 辽宁林业科技,2011(1):13–15.

试验于 2013 年 4—10 月进行,在栽种 40 d 时,一些试验植株的主茎底部开始有侧芽萌发;在栽种 46 d 时,58% 的植株均有侧芽萌发;在栽种 50 d 时,有 79% 的植株均有侧芽萌发;到栽种 56 d 时,所有植株均有侧芽萌发。从栽种 50 d 开始测量,每 10 d 测量 1 次,共历时 6 个月。具体方法是:标定 20 株样本,在每株样本上随机择定一侧芽作为样本;匍匐茎长度直接使用软尺测量,实际记录结果是 20 株样本去掉最大值、最小值后的平均值;匍匐茎直径使用高精度数显卡尺测量,在测量直径时在样本的底部、中部和末端各取 1 点,量取直径,而后取 3 点直径的平均值作为该样本的直径,实际记录结果是 20 株样本去掉最大值和最小值后的平均值(表 1)。

表 1 匍匐茎试验数据

日期 (月-日)	长度 (cm)	直径 (mm)
05-15	0.82	3.986
05-25	10.43	4.031
06-04	25.71	4.125
06-14	40.59	4.274
06-24	49.84	4.309
07-04	58.63	4.361
07-14	62.71	4.401
07-24	63.97	4.403
08-03	65.22	4.536
08-13	68.35	4.585
08-23	77.36	4.619
09-02	82.48	4.653
09-12	89.57	4.771
09-22	99.48	4.919
10-02	110.33	5.065
10-12	115.56	5.102
10-22	118.87	5.118
11-01	119.02	5.126

2 匍匐茎生长模型

2.1 匍匐茎的生长机理

匍匐茎生长过程可以分解为长度和直径的生长过程,因此,在建立生长模型时,分别研究长度、直径与生长时间的关系,即可建立其生长模型。

2.2 匍匐茎长度生长模型

由于试验在温室中进行,并且供应足量的水、肥和光照,因此,匍匐茎生长长度的影响因素只有时间。

在平面直角坐标系中,设定  $x$  轴为生长时间  $t(d)$ ,  $y$  轴为匍匐茎长度  $l(cm)$ ,由描点法得到匍匐茎的生长曲线(图 1)。

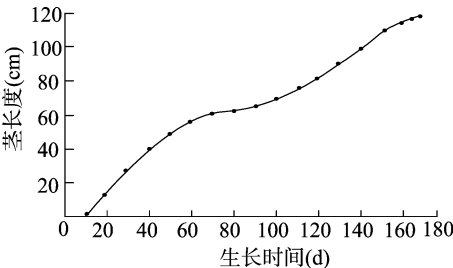


图1 匍匐茎生长曲线

由图 1 可知,匍匐茎长度的生长呈双峰曲线形:在初萌发时,生长速度较快;一段时间后,随着气温的增高生长速度放慢;入秋后,随着气温变低,这种冷季型草坪草又加速生长,在入冬后休眠,停止生长。

由试验数据及双峰曲线的特性,将其等分成两部分分别进行拟合,拟合时使用多项式拟合法,第 1 段拟合曲线如图 2 所示,第 2 段拟合曲线如图 3 所示。

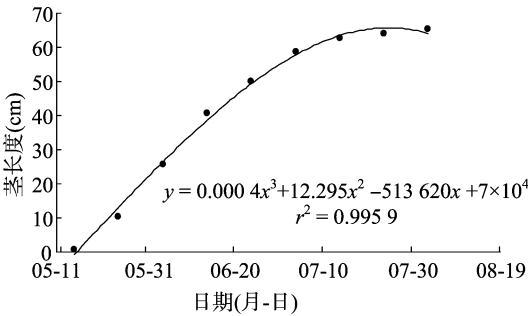


图2 匍匐茎长度第 1 段生长曲线拟合

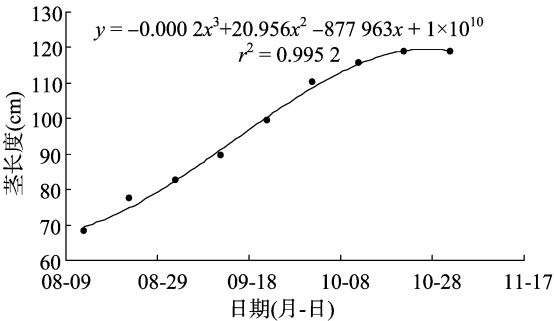


图3 匍匐茎长度第 2 段生长曲线拟合

根据拟合结果,归纳出草地早熟禾匍匐茎长度随生长时间变化的生长模型为:

$$\begin{cases} l(t) = a_1 t^3 + a_2 t^2 + a_3 t + a_4 (0 \leq t \leq 90) \\ l(t) = b_1 t^3 + b_2 t^2 + b_3 t + b_4 (90 < t \leq 180) \end{cases} \quad (1)$$

式中: $a_1$  取值为  $-0.000\ 1$ ,  $a_2$  取值为  $12.295$ ,  $a_3$  取值为  $-513\ 620$ ,  $a_4$  取值为  $7 \times 10^9$ ;  $b_1$  取值为  $-0.000\ 2$ ,  $b_2$  取值为  $20.956$ ,  $b_3$  取值为  $-877\ 963$ ,  $b_4$  取值为  $1 \times 10^{10}$ 。

2.3 匍匐茎直径生长模型

根据试验数据,使用描点法绘制茎直径的生长曲线如图 3 所示,设定  $x$  轴为生长时间  $t(d)$ ,  $y$  轴为匍匐茎的直径  $d(cm)$ 。

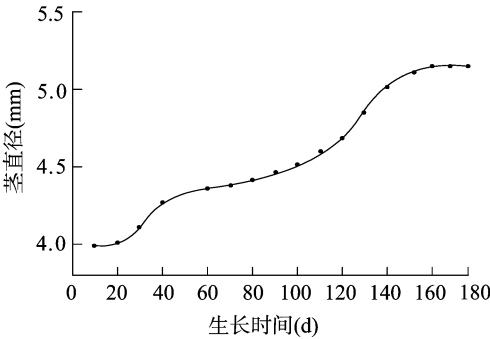


图4 茎直径生长曲线

由图 4 可以看出,匍匐茎直径的生长同样呈双峰曲线形,将其分成两部分分别进行拟合,拟合时使用多项式拟合法,第 1 段拟合曲线如图 5 所示,第 2 段拟合曲线如图 6 所示。

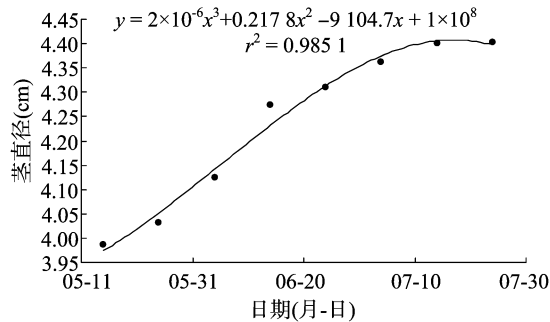


图5 匍匐茎直径第 1 段生长曲线拟合

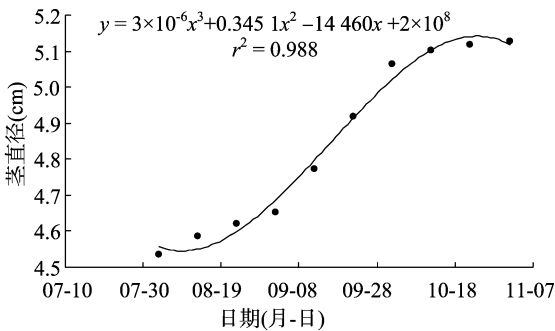


图6 匍匐茎直径第 2 段生长曲线拟合

根据拟合结果,归纳出草地早熟禾匍匐茎直径的生长模型为:

$$\begin{cases} d(t) = m_1t^3 + m_2t^2 + m_3t + m_4 (0 \leq t \leq 80) \\ d(t) = n_1t^3 + n_2t^2 + n_3t + n_4 (80 < t \leq 180) \end{cases} \quad (2)$$

式中: $m_1$  取值为  $-0.000\,002$ ,  $m_2$  取值为  $0.217\,8$ ,  $m_3$  取值为  $-9\,104.7$ ,  $m_4$  取值为  $1 \times 10^8$ ;  $n_1$  取值为  $-0.000\,003$ ,  $n_2$  取值为  $0.345\,1$ ,  $n_3$  取值为  $-14\,460$ ,  $n_4$  取值为  $2 \times 10^8$ 。

3 模型验证

为检验所建立的模型是否能正确描述草地早熟禾匍匐茎的生长过程,使用国际通用的均方根误差 (RMSE) 统计方法对模型进行验证。

RMSE 计算模型如下:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (OBS_i - SIM_i)^2}{n}} \quad (3)$$

式中: $OBS_i$  为观测值,  $SIM_i$  为模拟值,  $n$  为样本容量。

将不同生长时期的植株的生长状态的模拟值与观测值之间的 RMSE 进行了分析比较,结果如表 2 所示。

由表 2 中不同生长时期植株的观测值与模拟值之间的 RMSE 可以看出,随着匍匐茎的生长, RMSE 有所提高,但是与相应时期形态的观测值相比,其误差依然很小,这表明模型所

模拟的结果与试验观测值基本一致,本研究所建立的模型具有一定的准确性和可靠性,能够描述大多数植株匍匐茎的生长过程。

表 2 不同生长时期的模拟值与观测值比较

生长时间 (d)	RMSE	
	长度	直径
20	0.634	0.025 1
50	0.916	0.041 9
80	1.028	0.067 3
110	1.241	0.091 2
140	1.637	0.103 9
170	1.826	0.112 4

4 结论

本研究对草地早熟禾匍匐茎的生长过程进行了基础性的研究,采集了大量的田间数据,根据试验数据归纳出匍匐茎生长发育速度具有“快—慢—快”的变化特点。

根据试验数据绘制出草地早熟禾匍匐茎的生长曲线,这是一种双峰曲线,拟合得到草地早熟禾匍匐茎长度和直径的生长模型。使用 RMSE 方法对模型进行检验,结果表明这 2 个生长模型能够贴切地描述匍匐茎的生长过程,对于预测草地早熟禾匍匐茎的生长发育状态和使用匍匐茎进行自我繁殖研究等都具有实际指导意义。在下一步的研究中充分考虑外界因素对植物生长的影响,使虚拟植物模型更具有更强的灵活性的交互性,能够真实再现植物的生长过程。

参考文献:

[1] 马学强,刘弘. 具有生长特征的 L-系统模型研究[J]. 计算机工程与应用,2011,47(36):16-20.

[2] 朱庆生,黄伟,屈洪春,等. 植物茎生长过程细粒度仿真[J]. 农业机械学报,2011,42(3):192-196.

[3] Guo Y, Fourcaud T, Jaeger M, et al. Plant growth and architectural modeling and its application[J]. Annals of Botany, 2011, 107(5): 723-727.

[4] 赵春江,王功明,郭新宇,等. 基于交互式骨架模型的玉米根系三维可视化研究[J]. 农业工程学报,2007,23(9):1-6.

[5] 伍艳莲,曹卫星,汤亮,等. 基于 OpenGL 的小麦形态可视化技术[J]. 农业工程学报,2009,25(1):121-126.

[6] Prusinkiewicz P, de Reuille P B. Constraints of space in plant development[J]. Journal of Experimental Botany, 2010, 61(8): 2117-2129.

[7] 丁维龙,胡辰,程志君,等. 基于基因表达式编程的植物形态建模智能化方法[J]. 农业工程学报,2013,29(1):134-141.

[8] 王冬,夏乙,殷木一,等. 基于环境敏感的虚拟植物生长仿真[J]. 计算机工程与应用,2013,49(19):173-176.

[9] 敬松,方逵,沈陆明,等. 基于时控 L 系统的虚拟植物生长三维结构模型[J]. 农机化研究,2013,35(5):20-23.

[10] 孙吉雄. 草坪学[M]. 北京:中国农业出版社,2009:30-60.