

# 基于 Logistic 方程的油莎豆生长指标拟合与分析

程艳<sup>1</sup>, 魏尊苗<sup>1</sup>, 刘佳遥<sup>1</sup>, 许方达<sup>1</sup>, 王占海<sup>1</sup>, 陈婷婷<sup>2</sup>, 牟忠生<sup>1\*</sup>

(1. 吉林省农业科学院经济植物研究所, 长春 130033; 2. 中储粮吉林质检中心有限公司, 长春 130022)

**摘要:**为研究油莎豆植株生长规律,以圆粒型油莎豆“吉莎2号”为试验材料,在公主岭市范家屯镇试验区对油莎豆生长过程进行观测,并利用 Logistic 方程对分蘖数、植株干重、块茎数量、块茎干重的模型参数进行拟合,得到 Logistic 生长模型以及物候期参数。结果表明,油莎豆植株不同生长指标的生长动态规律基本一致,呈“S”形生长曲线,拟合决定系数均在 0.987 7 以上;播种后 25 d 生长指标线性增长,85 d 缓慢增长,线性生长期的生长量占总生长量的 55% 以上。采用 Logistic 方程可准确拟合油莎豆的生长规律,为油莎豆生产营养精准调控和水分科学管理提供理论依据。

**关键词:**油莎豆; Logistic 方程; 生长模型

中图分类号: S565.9

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2024)04-0047-05

## Logistic Equation Based Fitting and Analysis of the Growth Index of *Cyperus esculentus*

CHENG Yan<sup>1</sup>, WEI Zunmiao<sup>1</sup>, LIU Jiayao<sup>1</sup>, XU Fangda<sup>1</sup>, WANG Zhanhai<sup>1</sup>, CHEN Tingting<sup>2</sup>, MU Zhongsheng<sup>1\*</sup>

(1. Economic Botany Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033; 2. China Grain Storage Jilin Quality Inspection Center Co. Ltd., Changchun 130022, China)

**Abstract:** To study the growth and development law of *Cyperus esculentus*, the growth process of round *Cyperus esculentus* Jisha2 was observed. The growth process of tiller number, plant dry weight, tuber number and tuber dry weight were fitted using the Logistic equation to obtain the Logistic growth model and phenological parameters. The results showed that the growth dynamic law of different growth indexes of *Cyperus esculentus* was basically consistent, showing an "S" type growth curve, and the fitting determination coefficients were all above 0.987 7. Each growth index entered the linear growth period 25 days after sowing, and entered the slow growth period 85 days after sowing. The growth in the linear growth period accounted for more than 55% of the total growth. Logistic equation can be used to accurately fit the growth law of *Cyperus esculentus*. It is suggested that fertilizer and water management should be strengthened during the linear growth period of *Cyperus esculentus* to increase the linear growth and improve the yield and quality of *Cyperus esculentus*.

**Key words:** *Cyperus esculentus*; Logistic equation; Growth model

油莎豆(*Cyperus esculentus*)又名虎坚果、地下核桃、油莎草等,属莎草科莎草属,原产于非洲尼罗河流域和地中海沿岸<sup>[1-2]</sup>。油莎豆是集油粮牧饲于一体开发利用价值较高的新兴经济作物。

1952年,我国从苏联少量引进油莎豆,1964年由中国科学院植物研究所北京植物园从保加利亚引进,繁育试种成功后在各地逐渐传播开来,

目前在我国多个省市均有栽培<sup>[3-5]</sup>。但由于收获成本较高,市场认知度较低等诸多原因,在2015年之前,我国油莎豆种植一直处于低谷期。近年来,随着我国经济快速发展,食用油供需矛盾愈加突出,油莎豆作为新油源作物,各级政府加大对油莎豆产业的扶持,在各项政策的引领下,油莎豆产业发展基础不断得到夯实。但因其相关研究起步较晚,特别是油莎豆生长规律研究鲜有报道,油莎豆营养调控和水分管理等研究缺少理论支撑,因此,开展油莎豆生长发育规律的研究,对优化油莎豆栽培技术具有重要指导意义。

Logistic 生长模型广泛用于动植物等自然生长的仿真研究,是著名的“S”形曲线。马二磊等<sup>[6]</sup>

收稿日期: 2024-04-07

基金项目: 吉林省农业科技创新工程项目(CXGC2024ZY010); 创新平台(基地)和人才专项(20220508108RC)

作者简介: 程艳(1989-),女,助理研究员,硕士,主要从事油莎豆栽培育种研究。

通信作者: 牟忠生,男,硕士,研究员, E-mail: mzs@163.com

研究表明,甜瓜植株与果实的生长规律符合“S”形曲线。刘君等<sup>[7]</sup>研究表明,利用 Logistic 方程可较好地拟合西兰花幼苗期株高、茎粗、鲜干重等不同指标的生长动态变化,相关系数在 0.981 以上。钱永强等<sup>[8]</sup>以 Logistic 生长模型为基础,建立了野牛草克隆生长发育的回归方程,并对拟合模型开展重复试验,验证结果接近实测值。吴迪等<sup>[9]</sup>利用 Logistic 方程拟合 10 个种源沙松苗期高生长动态规律,决定系数为 0.981~0.993,都达到极显著相关水平,并获得苗高物候期与生长特征参数。刘小利等<sup>[10]</sup>利用非线性数学模型对黄果梨枝条、果实生长发育规律进行研究,认为黄果梨枝条、果实生长分别以 Logarithmic 模型、Quadratic 模型、Quadratic 模型拟合效果最好,果实生长总体滞后枝条生长。乔嘉等<sup>[11]</sup>采用 Logistic 函数构建玉米干物质积累动态模型。曾怀山<sup>[12]</sup>利用 Logistic 函数对柳杉生长规律进行研究,认为柳杉的树高、胸径、材积生长符合“S”形曲线,生长呈“慢-快-慢”的变化,拟合系数均超过 0.95。朱海军等<sup>[13]</sup>研究表明,利用 Logistic 方程可较好地拟合不同品种的薄壳山核桃果实生长发育动态变化,拟合系数均超过 0.961 4。

目前,利用 Logistic 方程拟合油莎豆生长指标变化的研究较少。基于此,本研究通过搭建相关模型分析各项指标变化,对油莎豆分蘖数、植株干重、块茎数量、块茎干重进行拟合,利用上述方程研究油莎豆生长特征,研究结果可为油莎豆高效栽培管理提供一定的参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

吉林省农业科学院“吉莎 2 号”新品种。

### 1.2 试验方法

本次试验在吉林省农业科学院经济植物研究所完成,采用棚内盆栽种植,盆口直径 40 cm,盆深 30 cm,每盆播种 1 粒种子,共种植 160 盆。两年均 6 月 4 日播种,2020 年 6 月 16 日进入分蘖始期,7 月 7 日进入块茎形成期,10 月 2 日采收,生育期共 121 d。田间管理措施同常规。2021 年 10 月 2 日采收,试验方法与田间管理措施同 2020 年试验。

#### 1.2.1 测定指标与方法

从植株进入分蘖期(分蘖时间:50%以上植株开始分蘖)后,每 7 d 取样测量一次,每次挑选 5 株有一定代表性的植株,测量植株的分蘖数、植株干重(植株地上干重和地下部干重之和)、块茎

数量、块茎干重,直到收获期试验结束。

分蘖数:采用计数法计算,除主茎以外计为分蘖个数。

植株干重与块茎干重:植株的茎、叶、根、块茎用纯净水清洗后擦干,之后干燥处理,将植株各组织转移到烘箱中,设置合适的温度条件,具体为 105 °C 下杀青 2 h,85 °C 烘干到恒重,直到植株达到恒重,将植株各组织取出后称重。

#### 1.2.2 油莎豆生长模型建立

根据试验数据可知,油莎豆的分蘖数、植株干重、块茎数量、块茎干重生长速率在初始阶段上升速度较慢,一段时间后快速上升,生长速率增加到一定值后,上升速度不再快速增长,整体趋势为“S”形,因此可以利用方程拟合生长指标的变化。

利用模型研究累计生长量(y)随生长时间(t)的变化,同时详细分析各项生长指标的变化情况,在此基础上探讨植物的生长规律。

$$\text{Logistic 方程为: } y = \frac{k}{1 + e^{a-bt}}$$

y、t、k 分别为油莎豆积累生长量、生长时间、最大生长量。a 和 b 为待定系数。

#### 1.2.3 物候期参数计算

本研究利用方程计算出线性生长起点( $t_1$ )、线性生长终点( $t_2$ )和线性生长期(LGD)。

参考朱仁海等<sup>[14]</sup>的方法,将 Logistic 曲线方程进行三阶求导,最终得到: $t_1 = \frac{a - 1.317}{b}$ ;  $t_2 = \frac{a + 1.317}{b}$ ;  $LGD = \frac{2.634}{b}$ ; 最大线性生长速率  $MGR = \frac{bk}{4}$ ; 线性生长期  $t_1 \sim t_2$  的生长量和平均生长速度  $TLG = \frac{k}{\sqrt{3}}$ ;  $LGR = \frac{kb}{2\sqrt{3} \ln(2 + \sqrt{3})}$ 。

#### 1.2.4 模型验证

第一次试验观测数据建立生长模型,重复试验数据验证模型。

以实测值(即重复试验观测值)为横坐标,预测值(即拟合曲线值)为纵坐标,做线性回归分析,验证决定系数( $R^2$ )是否足够大,斜率是否接近 1<sup>[7]</sup>。

### 1.3 统计分析

采用 DPS 7.05 分析处理试验数据,采用 Excel 2016 统计数据并制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 油莎豆主要性状测量结果

根据表 1 数据可知,油莎豆植株分蘖数、植株

表 1 油莎豆植株主要性状

播种天数/d	分蘖数/个	植株干重/g	块茎数量/个	块茎干重/g
12	3.4	1.01		
19	8.4	1.88		
26	12.9	4.36		
33	43.0	17.11	4.25	0.27
40	52.8	41.27	11.6	1.95
47	65.4	49.27	47.2	5.67
54	75.8	117.01	136.2	24.98
61	83.2	158.25	171.2	43.42
68	89.6	231.14	261.4	75.53
75	90.2	276.02	300.8	118.26
82	91.4	286.77	344.4	158.97
89	91.3	310.28	371.3	172.05
96	92.0	343.85	409.5	205.66
103	92.3	352.64	447.5	236.89
110	93.1	367.59	463.3	272.07
117	93.1	382.04	472.6	272.37
121	93.4	407.81	486.5	280.40

干重、块茎数量、块茎干重的生长速率具有一定变化规律,即慢-快-慢,符合“S”形生长特征,可用 Logistic 函数进行拟合分析。

## 2.2 油莎豆生长模型的拟合与建立

采用 Logistic 方程和试验数据研究各项指标的变化,分析结果如表 2 所示,根据表 2 数据制图,结果如图 1 所示。根据表 2 数据可知,植株各性状的 Logistic 曲线回归方程极显著( $P < 0.01$ ),F 值较大,因此本次搭建的模型能够很好地拟合植株生长指标的变化,基于此,通过回归方程可以概括植株各项生长指标的变化规律。各项指标与播种天数的相关系数(R)在 0.993 8~0.996 5,达到极显著水平。因此,以播种天数衡量油莎豆的生长动态可靠。

利用 Logistic 方程对油莎豆各性状进行回归分析,得到分蘖数的回归方程为  $y = \frac{92.1271}{1 + e^{4.1098 - 0.1087t}}$ ; 植株干重的回归方程为  $y =$

表 2 油莎豆植株主要性状 Logistic 生长曲线方程的拟合参数

生长指标	生长极限	待定系数		相关系数	决定系数	检验值	显著水平
	k	a	b				
分蘖数	92.127 1	4.109 8	0.108 7	0.995 4	0.990 8	755.132 0	0.000 1
植株干重	381.453 9	5.315 1	0.081 3	0.995 7	0.991 5	811.929 9	0.000 1
块茎数量	475.019 1	5.495 6	0.080 1	0.993 8	0.987 7	439.845 5	0.000 1
块茎干重	289.306 4	6.428 5	0.078 5	0.996 5	0.993 0	785.391 5	0.000 1

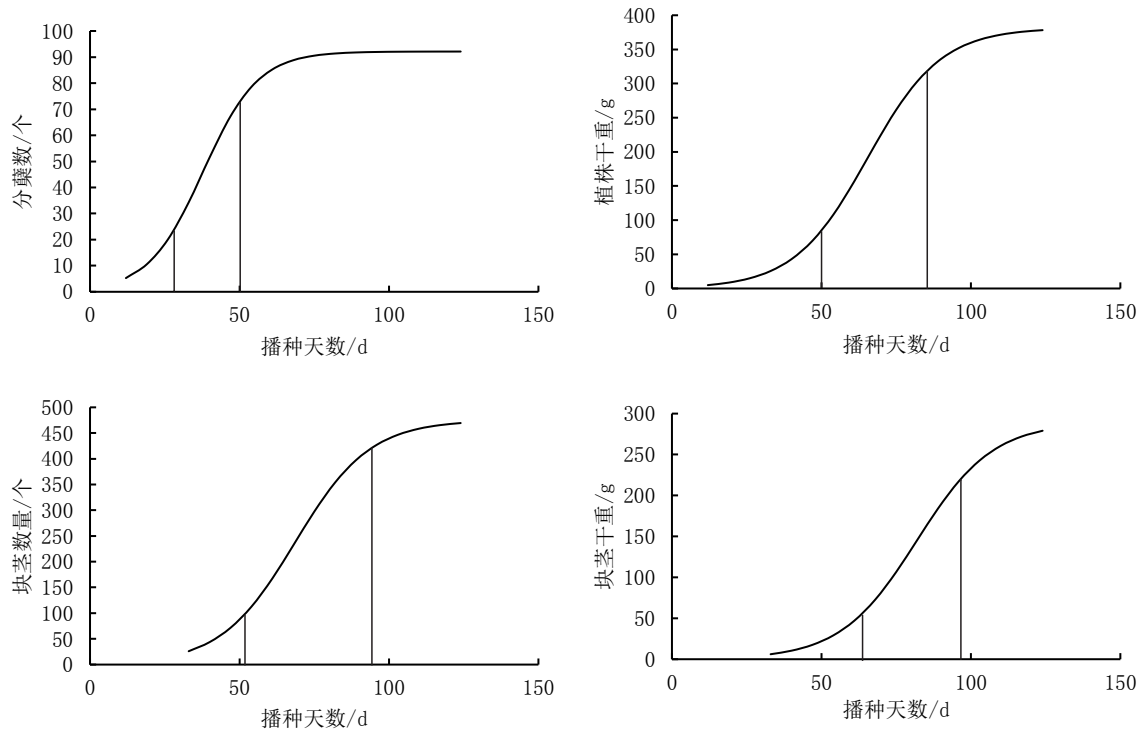


图 1 油莎豆植株 Logistic 生长曲线及其生长阶段的划分

$\frac{381.4539}{1 + e^{5.315 - 0.0813t}}$ ; 块茎数量的回归方程为  $y = \frac{475.0191}{1 + e^{5.4956 - 0.0801t}}$ ; 块茎干重的回归方程为  $y = \frac{289.3064}{1 + e^{6.4285 - 0.0785t}}$ 。表明油莎豆植株的分蘖数、植株干重、块茎数量、块茎干重的生长速率具有一定变化规律,即首先增长较慢,一段时间后加快,达到一定值后生长速率减缓,所以植株各项生长指标的变化包括渐增期、速生期、缓增期。

### 2.3 油莎豆植株各个阶段的生长特点

由表3可知,油莎豆植株各项生长指标的物候期参数不同。分蘖数、植株干重、块茎数量和块茎干重处于快速生长阶段的时间不同,其中分蘖数相较于其他指标快速生长阶段提前,上述各

项指标分别于播种后25 d、50 d、65 d左右进入线性生长期。植株干重、块茎数量、块茎干重线性生长期持续时间比较一致,达到32~34 d,而分蘖数的线性生长期持续时间仅24 d左右。

油莎豆植株的分蘖数和植株干重的最大生长速率出现时间分别在37.81 d和65.38 d,在线性生长期内,生长量分别为53.25个和220.49 g,占总生长量的57.01%和54.07%。块茎数量和块茎干重的最大生长速率出现时间分别在68.61 d和81.89 d,在线性生长期内,生长量分别为274.58个和167.23 g,占总生长量的56.44%和59.64%。根据上述分析可知,在植株的各个生长阶段,线性生长期生长量整体占比较高,其直接影响整体增长量。

表3 油莎豆植株的物候期参数

生长指标	线性生长始期 $t_1$	线性生长末期 $t_2$	线性生长期	最大生长速率出现时间	最大线性生长速率
分蘖数	25.69	49.92	24.23	37.81	2.50
植株干重	49.18	81.58	32.40	65.38	7.75
块茎数量	52.17	85.05	32.88	68.61	9.51
块茎干重	65.11	98.67	33.56	81.89	5.68

### 2.4 油莎豆植株各生长时期划分

由图1分析可知,植株各项生长指标的变化包括不同阶段,可以将分蘖数、植株干重、块茎数量、块茎干重的Logistic曲线生长动态划分为渐增期、速生期、缓增期。

不同指标的快速增长时期差异较大。播种后

25 d各指标进入快速增长期,播种后85 d进入缓慢增长期。因此,建议在实际生产中加强播种后25~85 d的肥水管理。

### 2.5 生长模型的验证

图2为重复试验的实测值与首次试验预测值的拟合图,由图2数据可以分析不同指标的实测

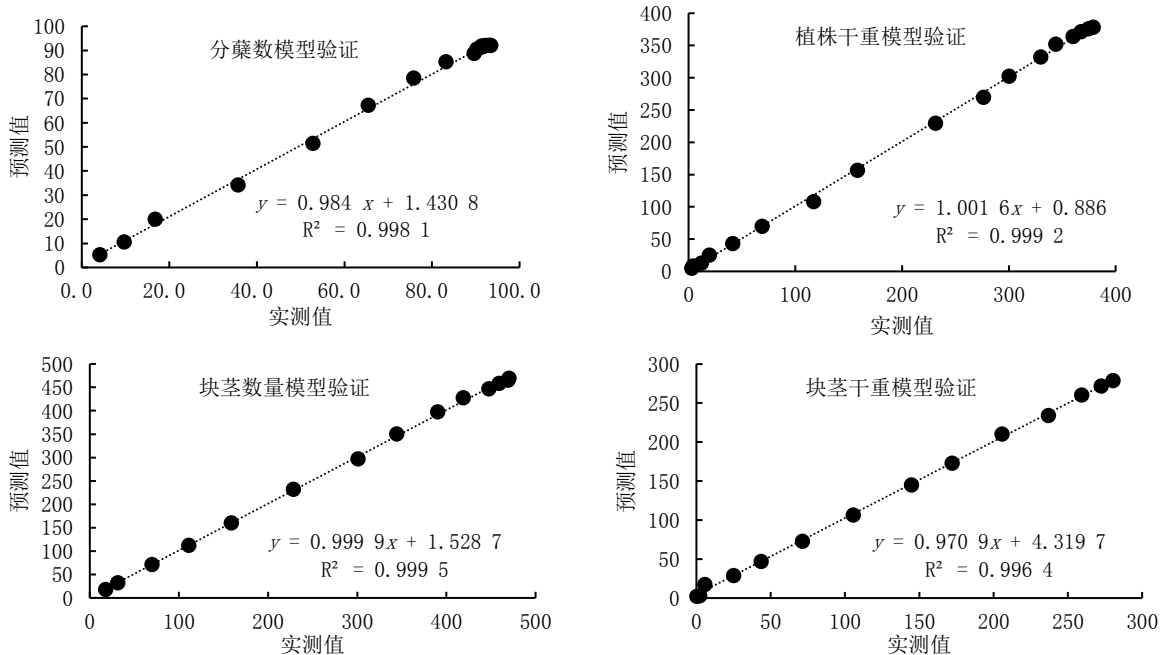


图2 油莎豆生长模型验证



值与预测值差距,根据计算结果可知,决定系数和斜率集中在 0.996 4~0.999 5、0.970 9~1.00 2,决定系数与斜率均接近于 1,说明可以利用模型拟合植株生长指标变化规律,验证了油莎豆生长模型的可靠性。

### 3 讨 论

生长曲线法在描述及预测生物体的生长发育及经济特性等领域中已得到广泛应用。常用的数学模型有 Logistics、Richards 等模型,其中 Logistics 模型在预测植物生长发育等方面应用最多<sup>[15-16]</sup>。研究采用 Logistic 回归分析方法将油莎豆植株的分蘖数、植株干重、块茎数量、块茎干重进行拟合,决定系数( $R^2$ )为 0.987 7~0.993 0,达到极显著相关,经重复试验验证结果的决定系数均达到 0.996 4 以上,表明油莎豆植株的分蘖数、植株干重、块茎数量、块茎干重的生长动态变化呈“S”形曲线规律,利用 Logistic 模型拟合油莎豆植株生长发育过程可靠。

本试验采用 Logistic 方程分析油莎豆植株的生长指标变化情况,详细探讨了植株干重等指标的生长变化趋势,通过绘图分析植株的不同生长阶段及其特征,包括渐增期、速生期、缓增期,本研究结论与马二磊等<sup>[6]</sup>、刘君等<sup>[7]</sup>得出的研究结论基本一致。在大田实际生产中,线性生长期是油莎豆田间管理的关键期,建议此时期加强肥水管理,创造适宜油莎豆快速生长的条件,促进植株生物产量和经济产量的形成。

本研究中油莎豆植株干重与块茎数量在播种后 50 d 左右即进入线性生长期,块茎干重在播种后 65 d 进入线性生长期。植株干重、块茎数量、块茎干重线性生长期持续时间比较一致,说明油莎豆进入块茎线性生长期后,块茎干重直接影响植株干重,因此为了提高植株干重,需要重点关注块茎干重的增加。在油莎豆种植过程中应做好施肥和灌溉等工作,充分利用植株的线性生长期提高植株的生长量。

### 4 结 论

利用 Logistic 回归分析方法可准确地将油莎

豆植株的分蘖数、植株干重、块茎数量、块茎干重生长进程划分为渐增期、速生期、缓增期,建议在油莎豆线性生长期加强肥水管理,以期延长线性生长期的时间,提高产量和品质。

### 参考文献:

- [ 1 ] Idoia Codina-Torrella, Buenaventura Guamis, Antonio J. Trujillo. Characterization and comparison of tiger nuts (*Cyperus esculentus* L.) from different geographical origin Physico-chemical characteristics and protein fractionation[J]. Industrial Crops and Products, 2015, 65: 406-414.
- [ 2 ] 孙佳尧,李志刚,孟祥军,等.氮肥处理下油莎豆叶片生理特性和籽粒品质与产量相关研究[J].内蒙古民族大学学报(自然科学版),2020,35(4):327-332.
- [ 3 ] 阳振乐.油莎豆的特性及其研究进展[J].北方园艺,2017(17):192-201.
- [ 4 ] 沈庆雷.油莎豆高产优质栽培初步研究[D].扬州:扬州大学,2010.
- [ 5 ] 刘佳遥,王占海,魏尊苗,等.不同秸秆生物炭对土壤质量及油莎豆生长的影响[J].东北农业科学,2023,48(2):72-77.
- [ 6 ] 马二磊,黄芸萍,臧全宇,等.甜瓜植株和果实生长模型的拟合与分析[J].南方农业学报,2018,49(7):1358-1363.
- [ 7 ] 刘君,朱良其,黑银秀,等.西兰花苗期生长模型的拟合和分析[J].浙江农业学报,2016,28(12):2040-2046.
- [ 8 ] 钱永强,孙振元,韩蕾,等.基于 Logistic 与 Gompertz 非线性模型的野牛草克隆生长模拟与分析[J].中国农业科学,2011,44(11):2252-2259.
- [ 9 ] 吴迪,邢少博,祝旭加,等.沙松纸浆用材不同种源苗期生长模型的建立与拟合[J].防护林科技,2021(2):44-46.
- [ 10 ] 刘小利,顾文毅,魏海斌,等.“黄果梨”生长节律及拟合曲线回归分析[J].北方园艺,2020(18):1-6.
- [ 11 ] 乔嘉,朱金城,赵姣,等.基于 Logistic 模型的玉米干物质积累过程对产量影响研究[J].中国农业大学学报,2011,16(5):32-38.
- [ 12 ] 曾怀山.Logistic 生长模型对柳杉生长过程的拟合与生长特点分析[J].安徽农学通报,2016,22(17):109-112.
- [ 13 ] 朱海军,生静雅,刘广勤,等.基于 Logistic 模型的薄壳山核桃果实生长发育研究[J].西南农业学报,2015,28(3):1231-1235.
- [ 14 ] 朱仁海,杨琪瑜,沈文瑛.统计分析方法[M].北京:中国林业出版社,1990:266-283,303-330.
- [ 15 ] 姜鹏,韩璐,梁文静,等.不同生长势杉木成熟林胸径-树高生长曲线研究[J].西北林学院学报,2016,31(4):195-200.
- [ 16 ] 戴宏芬,邱燕萍,李荣,等.储良龙眼果实发育的 Logistic 生长曲线方程[J].广东农业科学,2006(3):15-17.

(责任编辑:王 昱)