

巴西蕉果指干重与果指形态的相关性及其定量模型研究

刘永霞¹, 何应对¹, 连子豪¹, 王丽霞¹, 殷晓敏¹, 唐粉玲¹, 曹宏鑫^{2*}

(1. 中国热带农业科学院海口实验站, 海南海口 570102; 2. 江苏省农业科学院信息所, 江苏南京 210014)

摘要 [目的]探究巴西香蕉果指干重与果指形态的相关性。[方法]2019—2020年采用“3414”施肥试验设计方案,对巴西香蕉(*Musa* AAA Cavendish cv. ‘Baxi’)采收期果指干重与主要农艺性状之间的关系进行相关和通径分析。[结果]巴西蕉果指干重与果指内弧长、果指外弧长、果指直径、果柄长、果柄直径5个农艺性状呈正相关,与果指外弧长、内弧长呈显著正相关,香蕉果指直径对香蕉果指干重的直接作用最大,果指内弧长通过外弧长、果指直径对果指干重的间接作用最大。对果指干重与主要农艺性状之间的相关性进行回归分析,得预测回归模型 $FDW = 0.326FIA + 0.366LFOA + 2.399FSL + 2.384FD - 8.581$ 。[结论]巴西香蕉果指干重与果指形态具有相关性,通径分析表明,果指内弧长对果指干重的增加具有重要作用,因此,在强调巴西香蕉高产育种的性状选择上,可减少果指弯曲度、适当增加果指直径,既可提高产量,又可提高果指的商品率,增加经济效益。

关键词 巴西香蕉;果指;干重;形态参数;相关性;定量模型

中图分类号 S668.1 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)11-0005-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2021.11.002



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on the Correlation between the Dry Weight and the Morphology of Brazil Banana Fruit Finger and Its Quantitative Model LIU Yong-xia, HE Ying-dui, LIAN Zi-hao et al (Haikou Experimental Station, CATAS, Haikou, Hainan 570102)

Abstract [Objective] To explore the correlation between the dry weight and the shape of fruit finger of Brazil banana. [Method] The correlation and path analysis of the relationship between the dry weight of fruit fingers and the main agronomic traits of Brazil banana (*Musa* AAA Cavendish cv. ‘Baxi’) at harvest time was conducted by using the “3414” fertilization experiment design from 2019 to 2020. [Result] The dry weight of Brazil banana fruit finger was positively correlated with five agronomic traits (the inner arc length of fruit finger, the outer arc length of fruit finger, the diameter of fruit finger, the length of fruit stalk and the diameter of fruit stalk), and it was significantly positive with the outer arc length and inner arc length of the fruit finger. The direct effect of banana fruit finger diameter on the dry weight of banana fruit finger was the biggest, and the inner arc length of the fruit finger had the greatest indirect effect on the dry weight of the fruit finger through the outer arc length and the diameter of the fruit finger. Through regression analysis of the correlation between dry weight of fruit finger and main agronomic traits, the regression model was obtained as follows: $FDW = 0.326FIA + 0.366LFOA + 2.399FSL + 2.384FD - 8.581$. [Conclusion] There is a correlation between the dry weight of the fruit finger and the shape of the fruit finger. Path analysis shows that the inner arc length of the fruit finger plays an important role in the increase of the dry weight of the fruit finger. Therefore, in emphasizing the selection of the traits for high-yield breeding of Brazil banana, we can reduce the curvature of the fruit finger and appropriately increase the diameter of the fruit finger, which can improve the yield, the commodity rate of the fruit finger and increase the economic benefits.

Key words *Musa* AAA Cavendish cv. ‘Baxi’; Fruit fingers; Dry weight; Morphological parameter; Correlation; Quantitative model

作物功能结构模型(FSPMs)是将作物生长模型的功能与作物形态模型的结构有机结合起来,其结合方法主要有2个:一是以结构模型为基础,不断增加其生理过程及对品种和环境条件响应等功能,它已成为FSPMs研究的主要方法^[1-3];二是以功能模型为基础,与作物形态模型结合,如建立形态与生物量关系的作物模型^[4-11];建立生物量预测模型可实时了解植株的生长情况,便于及时及合理的浇水、施肥。在香蕉形态模型方面,丰锋等^[12]研究了巴西蕉叶片农艺性状与产量的关系,并建立回归模型;安佳佳等^[13]研究了7个香蕉品种的叶长、叶宽与实测叶面积之间的关系;刘永霞等^[14-17]于2013年建立了巴西香蕉叶面积、叶长、叶宽及长宽乘积间的关系模型,于2014年建立了茎围、顶部2~6叶总叶面积与产量的模型,于2015年建立了香蕉果实形态与产量模型,而有关香蕉形态指标与生物量的相关关系模型目前研究较少。该研究针对香蕉成熟时段,建立不同栽培条件下的

果指干重与果指形态的相关关系模型,通过果指干重与果指形态的相关关系分析及建立过程,找出影响果指干重的指标,为以后不同品种育种研发、株型设计提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 供试材料 试验于2019年6月—2020年6月海南省澄迈县福山镇丰西村实施,试验蕉园的面积共2 hm²。供试土壤pH为5.01,有机质含量31.2 g/kg,全氮含量1.256 g/kg,有效磷26.69 mg/kg,速效钾141 mg/kg。试验设N、P、K肥3个因素,4个水平(表1),共计14个处理,每个处理100株。

1.2 主要测定指标 香蕉果实七成熟后每个处理随机选取2株香蕉,测量所有香蕉果指外弧长(LFOA)、果指内弧长(FIA)、果指直径(FD)、果柄长(FSL)、果柄直径(FSD)、果指鲜重(FFW)、果指干重(FDW)。

1.3 数据处理 采用SPSS 22.0、Sigmaplot 14.0和Excel 2017软件对数据进行处理。采用2、4、6、8、10、12、14处理的香蕉果指数数据用于分析香蕉果实形态参数与产量间的相关和回归分析,1、3、5、7、9、11、13处理的香蕉果指数数据用于模型测试和检验。利用根均方差RMSE、平均绝对误差 d_n 和平均绝对误差与实测值平均值的比值 d_{np} 等统计量检验模型,并绘制实测值与模拟值的1:1关系图,以检验模型。

基金项目 海南省财政科技计划重点研发项目(ZDYF2019094);国家香蕉产业技术体系(CARS-31-19);海南省香蕉遗传改良重点实验室平台。

作者简介 刘永霞(1977—),女,山西临汾人,副研究员,博士,从事热带作物栽培及数字农业模型研究。*通信作者,研究员,博士,博士生导师,从事数字农业模型研究。

收稿日期 2020-11-07;修回日期 2020-12-11

表1 香蕉 N、P、K“3414”肥料试验方案

Table 1 “3414” fertilizer experiment of banana N, P and K

编号 No.	处理 Treatment	施肥量 Fertilizer amount//g/株		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	N0P0K0	0	0	0
2	N0P2K2	0	288	1 000
3	N1P2K2	400	288	1 000
4	N2P0K2	600	0	1 000
5	N2P1K2	600	144	1 000
6	N2P2K2	600	288	1 000
7	N2P3K2	600	432	1 000
8	N2P2K0	600	288	0
9	N2P2K1	600	288	800
10	N2P2K3	600	288	1 200
11	N3P2K2	800	432	1 000
12	N1P1K2	400	144	1 000
13	N1P2K1	400	288	800
14	N2P1K1	600	144	800

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

$$d = |OBS_i - SIM_i| \quad (2)$$

$$d_a = \frac{\sum d}{n} \quad (3)$$

$$d_{ap} = \frac{d_a}{OBS_i} \times 100\% \quad (4)$$

其中, OBS_i 为观测值, SIM_i 为模拟值, n 为样本容量^[8]。

2 结果与分析

2.1 不同处理的巴西蕉果指形态与生物量的相关分析 巴西蕉果指生物量干重与形态的 Pearson 相关系数分析见表 2。相关系数显著性检验结果表明, 香蕉果指生物量干重 (FDW) 与香蕉内弧长 (FIA)、外弧长 (LFOA)、果指直径 (FD)、果柄长 (FSL)、果柄直径 (FSD) 各性状间均呈正相关, 且与香蕉外弧长、内弧长呈显著正相关。

表2 不同处理的巴西香蕉果指形态与生物量的相关分析

Table 2 Correlation analysis of morphology and biomass of Brazilian banana fruit fingers with different treatments

因子 Factor	FDW	FIA	LFOA	FSL	FD	FSD
FDW	1.000					
FIA	0.657*	1.000				
LFOA	0.650*	0.688*	1.000			
FSL	0.358	0.179	0.191	1.000		
FD	0.596	0.704*	0.581	-0.037	1.000	
FSD	0.027	-0.052	-0.007	0.052	-0.029	1.000

注: * 表示相关系数达显著水平 ($P < 0.05$)

Note: * meant correlation coefficient reached significant level ($P < 0.05$)

2.2 巴西蕉果指生物量与果指形态的回归模型 在相关分析的基础上, 对巴西蕉果指生物量与果指形态进行逐步回归分析, 变量 $P \leq 0.05$ 时, 该变量被引入回归方程中; 变量 $P \geq 0.10$ 时, 则被剔除, 见表 3。

表3 巴西蕉果指生物量与果指形态回归系数输出结果

Table 3 Output results of regression coefficient between biomass and shape of banana fruit finger

回归方程模型编号 Regression equation model No.	项目 Coefficients item	偏回归 系数 B	标准误 Std. Error	回归系 数显著 水平 Sig.	标准回 归系数 Beta	共线性诊断 Collinearity Statistics	
						容忍度 Tol	膨胀因 子 VIF
1	常数项	2.166	0.840	0.010			
	FIA	1.077	0.066	0.000	0.657	1.000	1.000
2	常数项	-1.362	0.922	0.041			
	FIA	0.653	0.085	0.000	0.399	0.731	1.369
	LFOA	0.483	0.066	0.000	0.376	0.731	1.369
3	常数项	-4.666	1.029	0.000			
	FIA	0.620	0.081	0.000	0.378	0.437	2.287
	LFOA	0.446	0.063	0.000	0.347	0.630	1.059
	FSL	1.925	0.313	0.000	0.224	0.488	2.048
4	常数项	-8.581	1.181	0.000			
	FIA	0.326	0.091	0.000	0.199	0.300	3.337
	LFOA	0.366	0.062	0.000	0.285	0.475	2.010
	FSL	2.399	0.309	0.000	0.279	0.046	2.154
	FD	2.384	0.399	0.000	0.301	0.208	4.080

以巴西香蕉果指干重 (FDW) 与果指内弧长 (FIA) 回归分析为例说明模型形成过程: 第一步回归分析表明, 回归方程中包含常数项和自变量果指内弧长 (FIA), 巴西香蕉果指干重 (FDW) 模型 1 为:

$$FDW = 1.077FIA + 2.166 \quad (5)$$

式(5)中, 常数项与自变量 FIA 达显著水平。

第二步回归分析表明, 回归方程中包含常数项、自变量

FIA、果指外弧长 (LFOA), 巴西香蕉果指干重模型 2 为:

$$FDW = 0.653FIA + 0.483LFOA - 1.362 \quad (6)$$

式(6)中, 其常数项、自变量 FIA、LFOA 达显著水平。

模型 3 和模型 4 的分析同上, 最终得到模型 4:

$$FDW = 0.326FIA + 0.366LFOA + 2.399FSL + 2.384FD - 8.581 \quad (7)$$

式(7)中, 其常数项、自变量 FIA、LFOA 的值均达显著水平。

对回归模型进行方差分析,模型相关系数(r)为 0.772,达显著水平。

表 3 给出了各自变量的标准化回归系数 Beta 即通径系

数,各参数间的简单相关系数、通径系数及间接通径系数的具体关系详见表 4。

表 4 各参数间相关系数的分解

Table 4 Decomposition of correlation coefficients among various parameters

变量 Variable	与 FDW(y)简单相关系数 Simple correlation coefficient with FDW(y)	通径系数(直接作用) Path coefficient (direct action)	间接通径系数(间接作用) Indirect connection diameter coefficient (indirect effect)				
			FIA	LFOA	FSL	FD	合计 Total
FIA(x_1)	0.657	0.199		0.196	0.050	0.212	0.458
LFOA(x_2)	0.650	0.285	0.137		0.053	0.175	0.365
FSL(x_3)	0.358	0.279	0.036	0.054		-0.011	0.079
FD(x_4)	0.596	0.301	0.140	0.166	-0.010		0.296

由表 4 可知,4 个自变量对香蕉果指干重(y)的直接影响中,果指直径(x_4)的直接作用最大,果指外弧长(x_2)次之,果指内弧长(x_1)对香蕉果指干重(y)的直接影响最小。通过分析各个间接通径系数发现,果指内弧长(x_1)通过果指直径(x_4)对果指干重的间接作用较大,其间接通径系数 $r_{12} \times P_{2y} = 0.196$,果指外弧长(x_2)次之,其间接通径系数 $r_{14} \times P_{4y} = 0.212$,果指内弧长(x_1)对香蕉果指干重(y)的简单相关关系达 0.657;果指外弧长(x_2)对香蕉果指干重(y)的简单相关系数为 0.650。果指直径(x_4)通过果指内弧长(x_1)对果指干重的间接作用也较大,其间接通径系数 $r_{42} \times P_{2y} = 0.166$,对香蕉果指干重(y)的简单相关关系也达到了 0.596,使得果指直径(x_4)对香蕉果指干重(y)的影响也较大。因此,果指内弧长(x_1)、果指外弧长(x_2)、果指直径(x_4)对香蕉果指干重(y)的增加具有重要作用。

2.3 模型检验 利用 1、3、5、7、9、11、13 处理的巴西香蕉果指数据对模型进行检验,即分别输入相应的巴西蕉果指内弧长、果指外弧长、果指直径、果柄长、果柄直径 5 个经济性性状,可得到相应的果指干重模拟值。实测值与模拟值的 1:1 关系图(图 1)表明,实测值与模拟值拟合效果均较好,其根均方差为 2.332 g, d_{op} 值为 11%。由此可见,上述量化方法可较好地模拟不同条件下巴西香蕉果指的生物量干重。

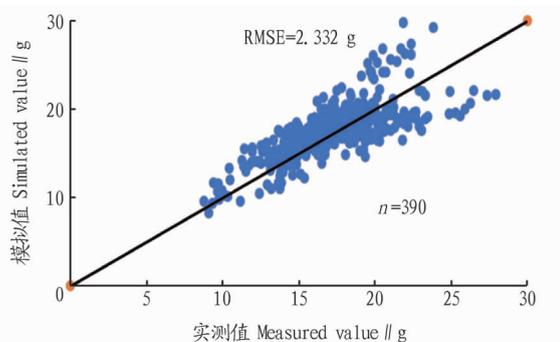


图 1 2020 年香蕉果指干重实测值与模拟值比较

Fig. 1 Comparison of measured and simulated dry weight of banana fruit fingers in 2020

3 讨论

香蕉果指是植株诸器官中形态与结构最终形成的器官,其形态结构受品种特性、生态条件和栽培措施等因素影响,

其形态结构不仅影响香蕉的美观度,也影响产量,更是决定了香蕉商品价值的高低。该研究根据不同栽培措施下的香蕉果指干重与果指农艺性状的关系所建立的模型,旨在取形态结构最优化时取得的产量,兼顾香蕉的美观度,又关注香蕉的商品价值;以生物量为因变量,既能使香蕉生长模型与形态模型相结合,也能通过香蕉干重响应品种和环境条件差异,具有一定的解释性,为建立功能结构香蕉模型奠定了基础。试验也测了香蕉植株不同时期的叶长、叶宽、株高、茎围、生物量等,后期会将施肥量与叶和果的形态、生物量相结合,以生物量为自变量,将生长模型与形态模型相结合,为育种和栽培科研或农户提供理化指导。

关于香蕉果指性状与产量等经济性性状因子相关性方面的研究,前人开展了相关的工作。李国良等^[18]研究表明,在一定范围内,香蕉随留梳数的增加,果指逐渐变细、变短,单果指重减少,商品果合格率 and 效益降低;余海强等^[19]研究表明,香蕉果梳数越少,果指外弧长和内弧长长度越大,果指越粗,没有建立其相关性;刘永霞等^[16]研究表明,香蕉的果指外弧长、果指内弧长、果指周长和第三梳果指重与产量呈极显著正相关,果指数与产量呈负相关,但研究只局限于香蕉第三梳果指。

该研究对不同施肥水平香蕉整梳果指干重与果指 5 个经济性性状进行了分析,通过大量数据分析拟合,建立了香蕉果指干重与果指农艺性状的回归方程: $FDW = 0.326FIA + 0.366LFOA + 2.399FSL + 2.384FD - 8.581$ 。

通过对各参数间相关系数的分解,发现香蕉果指直径对香蕉果指干重的直接作用最大,这与刘永霞等^[16]的研究相同,果指内弧长通过外弧长、果指直径对果指干重的间接作用最大。

4 结论

该研究分析了巴西香蕉果指干重与果指内弧长、果指外弧长、果指直径、果柄长、果柄直径 5 个经济性性状相关关系,建立了香蕉果指干重预测回归模型: $FDW = 0.326FIA + 0.366LFOA + 2.399FSL + 2.384FD - 8.581$,实测值与模拟值拟合效果均较好。用此模型指导生产,一方面可为香蕉育种提供多种株型方案启示作用,如增加内弧长可显著增加果指干

(下转第 12 页)

- [50] 宫江宁,云成悦,吴婕,等. 黄精多糖的提取优化及抗氧化活性研究[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版),2019,37(3):18-23.
- [51] LI L,THAKUR K,LIAO B Y,et al. Antioxidant and antimicrobial potential of polysaccharides sequentially extracted from *Polygonatum cyrtone-ma* Hua[J]. Int J Biol Macromol,2018,114:317-323.
- [52] DEBNATH T,PARK S R,KIM D H,et al. Antioxidant and anti-inflammatory activity of *Polygonatum sibiricum* rhizome extracts[J]. Asian Pac J Trop Dis,2013,3(4):308-313.
- [53] 杨显辉,代培春,曾磊,等. 滇黄精总黄酮抗运动疲劳作用研究[J]. 现代食品,2019(8):134-137.
- [54] 陈靓雯,柯晓燕. 古法炮制多花黄精提取物抗疲劳作用研究及其机制探讨[J]. 科学技术创新,2019(4):3-4.
- [55] 杨华杰,龚千锋,于欢,等. 黄精不同炮制品抗疲劳及抗氧化作用比较研究[J]. 江西中医药,2018,49(2):64-67.
- [56] 马怀芬,方欢乐,刘卓越. 黄精多糖抗疲劳作用的研究[J]. 现代交际,2017(9):190.
- [57] 唐伟,王威,谭丽阳,等. 黄精多糖对慢性脑缺血大鼠学习记忆能力及脑组织超微结构影响[J]. 中国中医药科技,2017,24(2):173-176.
- [58] 未小明,王爱梅,罗朝辉,等. 黄精对 AD 模型大鼠空间学习记忆及 $\alpha 7$ nAChR 表达的影响[J]. 神经解剖学杂志,2016,32(3):391-396.
- [59] 王威,刘文博,唐伟,等. 黄精多糖对慢性脑缺血大鼠学习记忆及脑组织 β -淀粉样蛋白表达的影响[J]. 中医药导报,2016,22(16):26-29.
- [60] 王威,刘文博,唐伟,等. 黄精多糖对慢性脑缺血大鼠学习记忆及脑组织 PS-1 蛋白表达的影响[J]. 中国中医急症,2016,25(3):408-410.
- [61] LONG T T,LIU Z J,SHANG J C,et al. *Polygonatum sibiricum* polysaccharides play anti-cancer effect through TLR4-MAPK/NF- κ B signaling pathways[J]. Int J Biol Macromol,2018,111:813-821.
- [62] MA Y L,ZHANG Y S,ZHANG F,et al. Methyl protodioscin from *Polygonatum sibiricum* inhibits cervical cancer through cell cycle arrest and apoptosis induction[J/OL]. Food Chem Toxicol,2019,132[2020-05-25]. https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110655.
- [63] 龙婷婷. 基于 TLR4-MAPK/NF- κ B 信号通路探讨黄精多糖免疫调节抗肿瘤作用机制研究[D]. 重庆:重庆医科大学,2018.
- [64] 王艺. 黄精、滇黄精多糖的结构表征与降血糖活性分析[D]. 西安:陕西师范大学,2019.
- [65] 庞红霞,崔婧,范桂强,等. 黄精皂苷提取条件的 Design-Expert 优化及其降血糖效果初步研究[J]. 中国药师,2018,21(9):1531-1534,1546.
- [66] ZHAI L P,WANG X. Syringaresinol-di-O- β -D-glucoside, a phenolic compound from *Polygonatum sibiricum*, exhibits an antidiabetic and antioxidative effect on a streptozotocin-induced mouse model of diabetes[J]. Mol Med Rep,2018,18(6):5511-5519.
- [67] YAN H L,LU J M,WANG Y F,et al. Intake of total saponins and polysaccharides from *Polygonatum kingianum* affects the gut microbiota in diabetic rats[J]. Phytomedicine,2017,26:45-54.
- [68] CAI J L,ZHU Y L,ZUO Y J,et al. *Polygonatum sibiricum* polysaccharide alleviates inflammatory cytokines and promotes glucose uptake in high-glucose-and high-insulin-induced 3T3-L1 adipocytes by promoting Nrf2 expression[J]. Mol Med Rep,2019,20(4):3951-3958.
- [69] 张建萍,巫永华,师聪,等. 黄精提取物的抗菌活性研究[J]. 食品科技,2019,44(7):273-276.
- [70] 郑春艳,汪好芬,张庭廷. 黄精多糖的抑菌和抗炎作用研究[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版),2010,33(3):272-275.
- [71] 曹冠华,李泽东,赵荣华,等. 生黄精多糖与制黄精多糖抑菌效果比较研究[J]. 食品科技,2017,42(9):202-206.
- [72] 苏伟,赵利,刘建涛,等. 黄精多糖抑菌及抗氧化性能研究[J]. 食品科学,2007,28(8):55-57.
- [73] YANG J X,WU S,HUANG X L,et al. Hypolipidemic activity and antiatherosclerotic effect of polysaccharide of *Polygonatum sibiricum* in rabbit model and related cellular mechanisms[J]. Evid Based Complement Alternat Med,2015,2015:1-6.
- [74] 王建忠,兰少波,黄敏敏. 黄精调控氧化应激对非酒精性脂肪肝大鼠的保肝作用[J]. 中国临床药理学杂志,2020,36(17):2650-2653.
- [75] JO K,SUH H J,CHOI H S. *Polygonatum sibiricum* rhizome promotes sleep by regulating non-rapid eye movement and GABAergic/serotonergic receptors in rodent models[J]. Biomed Pharmacol,2018,105:167-175.
- [76] 成威,李友元,邓洪波,等. 黄精多糖对痴呆小鼠海马线粒体超微结构的影响[J]. 中南药学,2014,12(10):969-972.
- [77] 黄莺,徐维平,魏伟,等. 黄精皂苷对慢性轻度不可预见性应激抑郁模型大鼠行为学及血清中微量元素的影响[J]. 安徽医科大学学报,2012,47(3):286-289.
- [78] 董治程. 不同产地黄精的资源现状调查与质量分析[D]. 长沙:湖南中医药大学,2012.
- [79] 宋东平,吴维春,丁志国. 东北黄精栽培技术[J]. 特种经济动植物,2004(9):21-22.
- [80] 薛诒安. 黄精林下仿野生环境栽培技术及其必要性探讨[J]. 安徽农学通报,2020,26(11):42-43.
- [81] 李谋德. 多花黄精林下栽培技术[J]. 乡村科技,2019(27):91,93.
- [82] 刘勇勇. 多花黄精的种茎选择及杉木林下的种植技术[J]. 新农业,2017(21):34-35.
- [83] 钱枫,赵宝林,王乐,等. 安徽药用黄精资源及开发利用[J]. 现代中药研究与实践,2009,23(4):33-34.

(上接第7页)

重,减少果指的弯曲度,还可以减少残次果;另一方面也可应用于香蕉栽培调控,为良种良法配套提供新方法,进一步推动香蕉栽培数字化研究。

参考文献

- [1] 曹宏鑫,王世敬,戴晓华. 土壤基础肥力和肥水运筹对春小麦产量和品质及植株氮素状况的影响[J]. 麦类作物学报,2003,23(2):52-56.
- [2] 曹宏鑫,刘世军,张立民,等. 小麦群体叶面积的动态模型[J]. 沈阳农业大学学报,2000,31(3):246-248.
- [3] 袁隆平. 杂交水稻超高产育种[J]. 杂交水稻,1997,12(6):1-6.
- [4] CAO H X,JIN Z Q,YANG Y W,et al. Researches of digital design system of rice cultivation based on web and simulation models[J]. International federation for information processing,2007,259:1077-1086.
- [5] 曹宏鑫,孙立荣,高亮之,等. 长江下游地区马肝土小麦生长期土壤氮素动态的模拟[J]. 中国农业气象,1999,20(2):35-38.
- [6] CAO H X,LIU Y,LIU Y X,et al. Biomass-based rice (*Oryza sativa* L.) aboveground architectural parameter models[J]. Journal of intergrative agriculture,2012,11(10):1621-1632.
- [7] 张伟欣. 基于生物量的油菜植株地上部形态结构模型研究[D]. 南京:南京农业大学,2013.
- [8] 陈显利,杨平,张文宇,等. 基于生物量的冬小麦越冬前植株地上部形态结构模型[J]. 作物学报,2016,42(5):743-750.
- [9] 刘永霞,岳延滨,刘岩,等. 基于生物量的水稻根系生长动态模型[J]. 江苏农业学报,2011,27(4):704-709.
- [10] 刘岩,陆建飞,曹宏鑫,等. 基于生物量的水稻叶片主要几何属性模型研究[J]. 中国农业科学,2009,42(11):4093-4099.
- [11] 张文宇,张伟欣,葛道润,等. 基于生物量的油菜主茎叶片形态参数模拟研究[J]. 作物学报,2015,41(9):1435-1444.
- [12] 丰锋,叶春海,李映志,等. 香蕉主要农艺性状与产量相关性的研究[J]. 福建果树,2007(2):6-8.
- [13] 安佳佳,李茂富,黄锦伟,等. 香蕉叶面积回归模型的建立[J]. 广西农业科学,2009,40(6):724-727.
- [14] 刘永霞,周兆禧,唐粉玲,等. 巴西香蕉叶面积与叶片形态特征关系的定量分析[J]. 热带作物学报,2013,34(9):1641-1645.
- [15] 刘永霞,井涛,唐粉玲,等. 基于“3414”试验的巴西蕉施肥效应与最佳施肥量的研究[J]. 江苏农业科学,2014,43(11):177-180.
- [16] 刘永霞,鞠俊杰,何应对,等. 巴西蕉产量与果实形态特征的相关分析[J]. 热带作物学报,2015,36(8):1375-1379.
- [17] 刘永霞,何应对,鞠俊杰,等. 巴西蕉叶面积指数的动态模型研究[J]. 中国南方果树,2015,44(5):11-15.
- [18] 李国良,姚丽贤,杨芭梅,等. 香蕉适宜留果梳数试验研究[J]. 中国农业科技导报,2011,13(2):88-92.
- [19] 余海强,吴志祥,王令霞,等. 留果梳数对香蕉果实性状影响初探[J]. 安徽农学通报,2007,13(18):115-116.