

不同荞麦品种生长模型和生长特性的比较研究

尤海磊, 胡希远, 高金锋, 李建平

(西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 选用 Logistic、Gompertz、Richards、Mitscherlich 和 Korf 等 5 种理论生长方程对榆荞 2 号、九江苦荞和西农 9920 荞麦品种的植株生长发育变化进行模拟, 并对拟合效果进行对比分析。结果表明, 除 Mitscherlich 对榆荞 2 号和西农 9920 地上部干重变化的拟合精度较低以外, 其它模型拟合各品种地上部干重变化的精度都在 0.90~0.94 之间, 拟合株高变化的精度都在 0.96~0.992 之间。其中 Logistic 模型的拟合精确度最高。

关键词: 荞麦; 生长模型; 拐点

中图分类号: S517 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)02-0053-06

作物生长模型研究的兴起源于对作物生理生态机理认识的不断深入和计算机技术的蓬勃发展。它着力于将作物的生理生态特性与生长规律以数学模型形式表现出来, 从而达到利用计算机来量化研究和精确控制的目的^[1]。生长方程总体上可以分为经验方程和理论生长方程 2 类^[2]。与经验方程相比, 理论生长方程因其逻辑性强, 方程参数具有明确的生物学意义而广泛应用于生物生长模型研究中。目前应用较多的理论生长方程主要有 Logistic、Gompertz、Richards、Mitscherlich (单分子式) 和 Korf 方程^[3]。

荞麦 (*Fagopyrum esculentum* Moench) 属于蓼科 (Polygonaceae), 荞麦属 (*Fagopyrum* Gaerth)^[4,5]。它具有较高的营养及药用价值^[6], 在食品、饮料、药品、化妆品以及黄酮类产品方面的开发应用受到人们的青睐。随着人们饮食结构的改变和生活水平的提高, 国内外对小杂粮的需求日益增长^[7]。关于荞麦形态分类、种质资源与遗传育种、生物技术、食品加工、产品贸易、营养与保健、栽培生理及栽培技术等方面的研究有很多^[8], 而在生长模型和生长特性方面的研究还少见报道。本采用 SAS 软件 5 种生长模型分别拟合了 3 个荞麦品种的株高及地上部干重变化曲线, 了解荞麦营养生长过程及其特点, 为今后运用农业技术手段创造适宜的外界条件以调节荞麦株高和地上部干重增长, 对于良种选育和栽培技术等方面都有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料及设计

试验于 2008 年在西北农林科技大学进行, 荞麦

品种为榆荞 2 号 (甜荞)、九江苦荞 (苦荞) 和西农 9920 (苦荞), 7 月 16 日播种。3 次重复, 随机区组设计, 共 9 个小区, 小区长 5 m, 宽 2 m, 每小区种 6 行, 行距 33 cm。在试验中各品种的田间管理一致。从荞麦出苗后的第 7 天开始记录株高、地上部干重和分枝数, 之后每隔 7 天记录一次, 直至荞麦收获。期间还做了生育期调查。

1.2 拟合的数学模型

选用 Logistic、Gompertz、Richards、Mitscherlich 和 Korf 等 5 种理论生长方程, 生长模型的方程如下:

$$\text{Logistic: } Y = K / [1 + a \times \exp(-b \times x)]$$

$$\text{Gompertz: } Y = K \times \exp[-a \times \exp(-b \times x)]$$

$$\text{Richards: } Y = K \times [1 - \exp(-b \times x)]^a$$

$$\text{Mitscherlich: } Y = K \times [1 - \exp(a - b \times x)]$$

$$\text{Korf: } Y = K \times \exp(-b/x^a)$$

其中, x 表示生长天数, Y 是拟合因子, K, a, b 是待估测的模型参数。

1.3 筛选最优模型

根据所选 3 个荞麦品种不同日期株高和地上部干重的数据, 采用 SAS 软件非线性回归 NILN 过程, 对所选的 5 种理论生长方程按 Marquardt 法进行迭代, 估计参数 K, a, b 的值。根据拟合精度 (R^2) 评价生长曲线模型, R^2 越接近于 1, 曲线拟合效果越好^[9-10]。

2 结果与分析

2.1 筛选最优模型

由表 1 可以看出, 除 Mitscherlich 对榆荞 2 号和西农 9920 地上部干重变化的拟合精度 (分别为

收稿日期: 2009-10-05

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30571072)

作者简介: 尤海磊 (1984—), 女, 硕士研究生, 研究方向为生物统计与作物生长模型。E-mail: youhailei@163.com。

通讯作者: 胡希远 (1963—), 男, 陕西蓝田人, 副教授, 博士, 主要从事试验模型与模拟分析研究。

0.868、0.873) 较低以外, 其它模型拟合各品种地上部干重变化的精度都在 0.90 ~ 0.94 之间, 拟合株高变化的精度都在 0.96 ~ 0.992 之间。所选 5 种模型拟合各品种不同拟合因子, 经 F 检验都达到了极显著水平 ($P < 0.0001$), 说明所选 5 种理论生长方程对荞麦生长模拟的准确性均较高。其中 Logistic 模型的拟合精确度最大, 拟合效果最佳, 准确性最高。

表 1 5 种生长模型对荞麦品种株高及地上部干重变化的拟合结果
Table 1 Five growth equations of plant height and shoot dry weight of buckwheat

模型 Model	品种 Variety	性状 Character	参数值及拟合精度 Parameter value and fitting precision			
			k	a	b	R^2
Logistic $y = k/[1 + a \times \exp(-b \times x)]$	榆荞 2 号	H	103.5	70.6254	0.1603	0.98964
	Yuqiao No.2	W	20.301	143.9	0.1967	0.91418
	九江苦荞	H	114.3	249.8	0.1505	0.98552
	Jiujiang Kuqiao	W	15.5692	3743.8	0.1902	0.93553
	西农 9920	H	131.6	160.8	0.1249	0.99303
	Xinong 9920	W	13.3077	2609.4	0.1831	0.90351
Gompertz $y = k \times \exp[-a \times \exp(-b \times x)]$	榆荞 2 号	H	105.1	11.8471	0.1095	0.98778
	Yuqiao No.2	W	20.4122	102.6	0.1385	0.90896
	九江苦荞	H	116.0	26.3709	0.1011	0.98355
	Jiujiang Kuqiao	W	15.8157	122.7	0.1215	0.93329
	西农 9920	H	135.2	17.7627	0.0807	0.99132
	Xinong 9920	W	13.4456	126.1	0.1234	0.90126
Richards $y = k \times [1 - \exp(-a \times x)]^b$	榆荞 2 号	H	105.0	0.1076	10.8435	0.98748
	Yuqiao No.2	W	20.4028	0.1388	103.4	0.90890
	九江苦荞	H	116.0	0.1004	25.2883	0.98343
	Jiujiang Kuqiao	W	15.8132	0.1215	122.3	0.93327
	西农 9920	H	135.3	0.0793	16.353	0.99114
	Xinong 9920	W	13.4432	0.1234	125.8	0.90124
Mitscherlich $y = k \times [1 - \exp(a - b \times x)]$	榆荞 2 号	H	124.6	0.2787	0.0343	0.97538
	Yuqiao No.2	W	37.7379	0.1784	0.0144	0.86762
	九江苦荞	H	158.2	0.2142	0.0196	0.96338
	Jiujiang Kuqiao	W	37.3856	0.1237	0.00854	0.90414
	西农 9920	H	230.2	0.1475	0.0126	0.97313
	Xinong 9920	W	31.5603	0.124	0.00866	0.87393
Korf $y = k \times \exp(-a/x^b)$	榆荞 2 号	H	110.9	4895.4	2.7178	0.98496
	Yuqiao No.2	W	20.8548	35053122	4.9543	0.90500
	九江苦荞	H	120.6	193424	3.4989	0.98170
	Jiujiang Kuqiao	W	16.2595	84622284	4.9615	0.93224
	西农 9920	H	146.2	26213.3	2.8371	0.98935
	Xinong 9920	W	13.7897	1.03E+08	5.0309	0.90052

注: y 为因变量, x 为生长天数, H 为株高, W 为地上部干重。
Note: y, x, H and W represent induced variable, growing days, plant height and shoot dry weight respectively.

2.2 模型的评价与检验

任何一个模型都会有实际观测值与模型预测值。对于模型拟合精度的评价和模型间精密比较的尺度, 普遍认为观测值与预测值之间的决定系数可作为评价与检验标准, 决定系数越大说明模型的拟合性能越好^[11~15]。采用 3 个荞麦品种不同日期株

高(cm)和地上部干重(kg)的观测值对 Logistic 模型模拟的预测值进行检验, 检验结果见表 2、表 3。株高观测值与预测值的决定系数都在 0.99 以上 ($P < 0.0001$), 地上部干重观测值与预测值的决定系数较低(榆荞 2 号 0.89, 九江苦荞 0.96, 西农 9920 0.84), 但也达到了极显著水平 ($P < 0.0001$)。说明用 Lo-

gistic 模型模拟所选 3 个荞麦品种株高和地上部干重变化是可靠的。

表 2 不同荞麦品种株高预测值与观测值的比较 (cm)

Table 2 Comparison of simulated calendar with observed calendar for plant height of buckwheat

生长天数 Growing days (d)	榆荞 2 号 Yuqiao No.2		九江苦荞 Jiujiang Kuqiao		西农 9920 Xinong 9920	
	预测值 Simulated calendar	观测值 Observed calendar	预测值 Simulated calendar	观测值 Observed calendar	预测值 Simulated calendar	观测值 Observed calendar
7	4.3130	6.5133	1.2970	4.9600	1.9330	4.7067
14	12.1950	12.1133	3.6430	7.4000	4.5410	6.3933
21	30.1070	31.6667	9.8600	9.0133	10.3840	7.7133
28	57.7010	55.9778	24.3510	29.3778	22.4220	28.9000
35	82.2450	79.6444	49.9540	45.0333	43.4140	39.5333
42	95.4670	99.4444	78.8720	76.1556	71.2370	69.5333
49	100.7400	105.1889	98.8210	104.7333	97.2310	98.0444
56	102.5850	106.5889	108.3800	112.9889	114.6890	114.7111
63	103.2000	101.0333	112.1640	110.6111	123.9740	129.3556
70	103.4020	95.8667	113.5460	108.2444	128.3080	128.5778
77	—	—	114.0360	117.8889	130.2060	122.7889
84	—	—	114.2080	111.1667	131.0150	138.6889
91	—	—	114.2680	113.7667	131.3550	125.9778
决定系数 R^2	0.9910		0.9931		0.9929	
P	< 0.0001		< 0.0001		< 0.0001	

表 3 不同荞麦品种地上部干重预测值与观测值的比较 (kg)

Table 3 Comparison of simulated calendar with observed calendar for shoot dry weight of buckwheat

生长天数 Growing days (d)	榆荞 2 号 Yuqiao No.2		九江苦荞 Jiujiang Kuqiao		西农 9920 Xinong 9920	
	预测值 Simulated calendar	观测值 Observed calendar	预测值 Simulated calendar	观测值 Observed calendar	预测值 Simulated calendar	观测值 Observed calendar
7	0.0559	0.0820	0.0157	0.0447	0.0183	0.0353
14	0.2198	0.3933	0.0594	0.1440	0.0659	0.1213
21	0.8437	1.5793	0.225	0.3607	0.2343	0.2647
28	2.9768	4.2522	0.8103	1.1711	0.8071	1.1211
35	8.2235	7.8089	2.6794	3.4822	2.5114	2.9011
42	14.8114	13.2233	6.8570	6.2400	6.0676	6.1400
49	18.5646	20.0689	11.6574	10.8744	9.9967	8.6278
56	19.8329	24.0856	14.3017	16.6522	12.1873	13.3867
63	20.1808	23.1067	15.2131	15.9211	12.9766	17.0522
70	20.2705	12.9189	15.4735	11.6022	13.2141	10.3522
77	—	—	15.5435	11.6022	13.2141	10.3522
84	—	—	15.5625	17.0600	13.3004	17.0722
91	—	—	15.5674	16.0767	13.3057	14.4056
决定系数 R^2	0.8888		0.9581		0.8358	
P	< 0.0001		< 0.0001		< 0.0001	

2.3 生长特性分析

各品种的 Logistic 生长曲线方程以及推算出的株高生长拐点、地上部干重增长拐点以及相应的生长天数见表 4。Logistic 曲线方程中, K 为生长终极量, a 为阻滞系数, b 为生长速率。对于株高性状, 西农 9920 具有较高的生长终极量(131.6 cm); 其次是九江苦荞(114.3 cm); 榆荞 2 号的相对最小(103.5

cm), 而对于地上部干重, 3 个荞麦品种的生长终极量表现出了相反的大小次序: 榆荞 2 号(20.301 kg) > 九江苦荞(15.5692 kg) > 西农 9920(13.3077 kg)。各品种株高或地上部干重变化的 b 值大小都表现为榆荞 2 号 > 九江苦荞 > 西农 9920, 说明榆荞 2 号的生长速率最大, 而西农 9920 的生长速率相对最小。不同品种之间, 榆荞 2 号的拐点株高及拐点地上部

干重出现的较早,其次是九江苦荞,再次是西农 9920。同一品种不同性状之间的拐点日期相差较大,株高的拐点日期比地上部干重的提前。其中榆 2 号两个性状的拐点日期相差最大(10.4 d),其次为九江苦荞(6.6 d),相差最小的为西农 9920(2.3 d)。

表 4 各品种的 Logistic 曲线方程及其拐点
Table 4 Logistic curvilinear equation and inflexion of different varieties

品种 Variety	性状 Character	Logistic 曲线方程 Logistic curvilinear equation $y = k/[1 + a \times \exp(-b \times x)]$	拐点 Inflexion ($\ln a/b, K/2$)
榆荞 2 号 Yuqiao No.2	H	$y = 103.5/[1 + 70.7254\exp(-0.1603x)]$	(26.56,51.75)
	W	$y = 20.301/[1 + 1434.9\exp(-0.1967x)]$	(36.95,10.1505)
九江苦荞 Jiujiang Kuqiao	H	$y = 114.3/[1 + 249.8\exp(-0.1505x)]$	(36.68,57.15)
	W	$y = 15.5692/[1 + 3743.8\exp(-0.1902x)]$	(43.26,7.7846)
西农 9920 Xinong 9920	H	$y = 131.6/[1 + 160.8\exp(-0.1249x)]$	(40.67,65.80)
	W	$y = 13.3077/[1 + 2609.4\exp(-0.1831x)]$	(42.96,6.6539)

注: H 为株高, W 为地上部干重, $k/2$ 为该性状的拐点生长量, $\ln a/b$ 为拐点生长量所对应的生长天数^[16]。
Note: H and W represent plant height and shoot dry weight respectively, $k/2$ represents turnoff growth and $\ln a/b$ represents the corresponding growing days.

Logistic 模型拟合 3 个荞麦品种的两个性状的拟合效果见图 1。

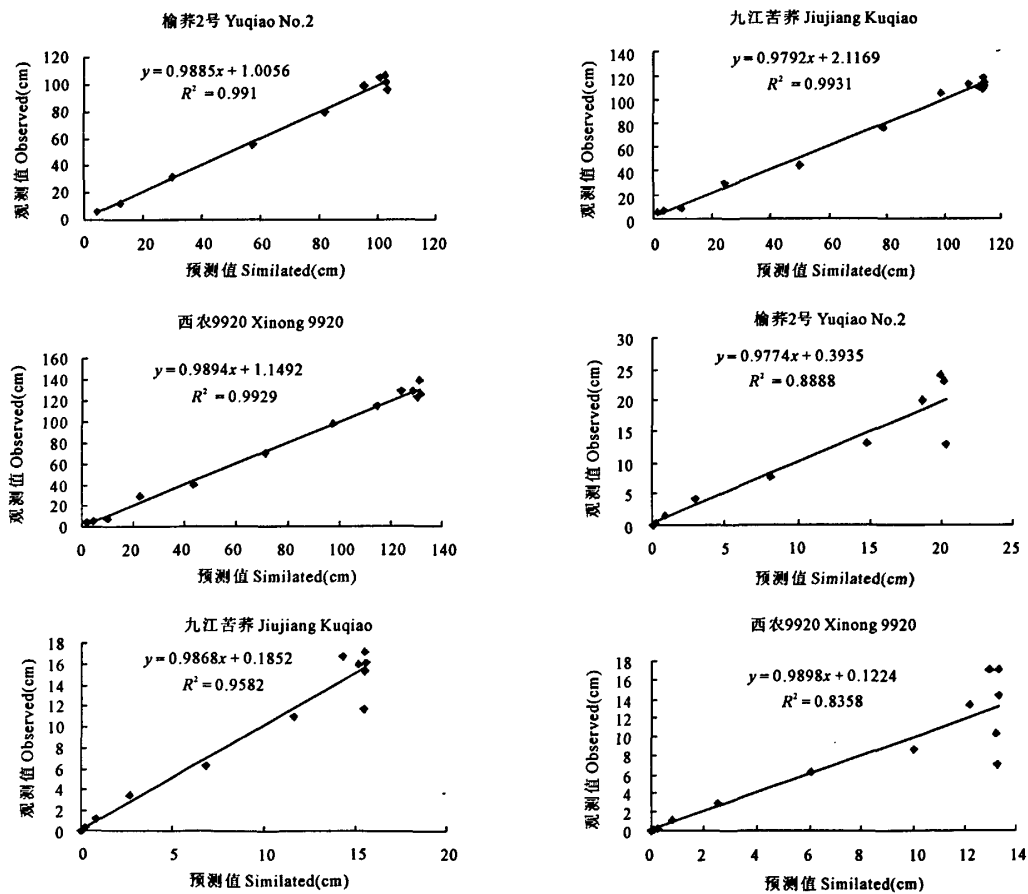


图 1 各品种地上部干重和株高的 Logistic 曲线
Fig.1 Plant shoot dry weight and height Logistic curve on different varieties

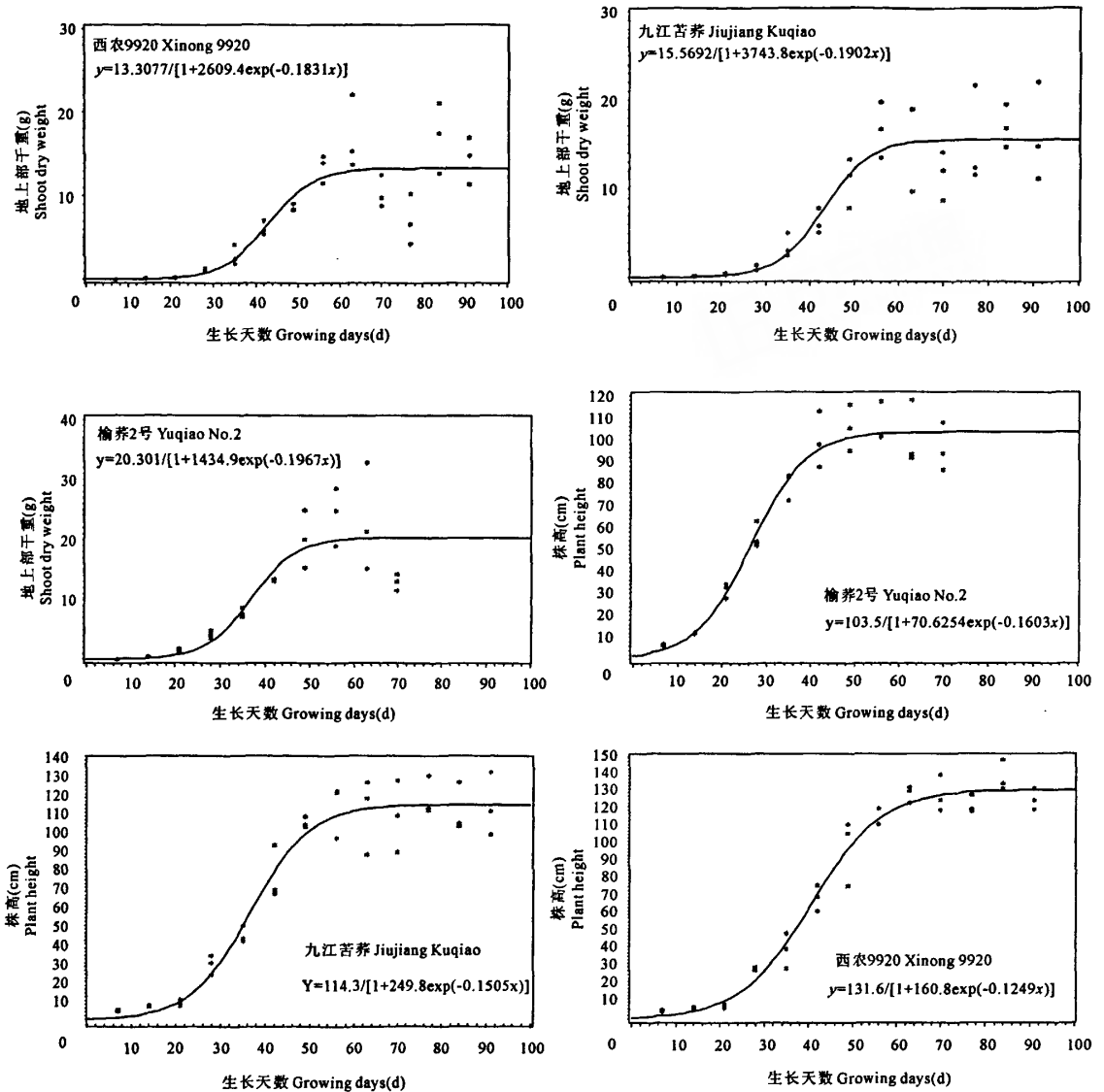


图2 各品种株高和地上部干重观测值与预测值的关系

Fig.2 Relationship between observed calendar and simulated calendar on plant height and shoot dry weight

3 结论

1) 本实验研究表明,在方程参数数目相同的前提下,Logistic模型的拟合精度(R^2)最大,拟合效果最好,能够较准确地描述所选荞麦品种的生长特性,更适用于建立它们的生长模型。

2) 所选模型对各荞麦品种株高的拟合都较精确,但对地上部干重的拟合精度较低。原因可能是荞麦生长后期的落粒和下部叶片衰老现象造成地上部生物量减少。

3) 榆养2号的株高生长终极量最小,而地上部

干重生长终极量最大,说明榆养2号的株型较大、较分散,与田间调查结果相同。在大田栽培中建议控制种植密度,防止出现荫蔽和争夺养分的情况。

4) 本试验研究还表明,5种生长方程对各荞麦品种株高及地上部干重的拟合精度都表现为 Logistic > Gompertz > Richards > Korf > Mitscherlich。其中, Logistic、Gompertz 和 Richards 生长方程的相对生长率表现为变量的指数函数, Korf 生长方程的相对生长率表现为变量的幂函数, Mitscherlich 为单分子式方程。可以推断出相对生长率表现为生长天数的指数函数的生长方程比相对生长率表现为生长天数的幂函数的生

长方程更适合拟合荞麦的生长特性。

5) 本文中的数据仅是 3 个荞麦品种在同一密度和生长条件下采集的,这可造成其研究结果的适用范围受到一定限制。因此,生长模型的拟合效果和适用性有待于今后收集更多试验数据进行深入研究。

参考文献:

- [1] 张 正,李 军,等.玉米植株叶片着生高度的数学模型[J].首都师范大学学报,2006,(8):3—6.
- [2] Yausey A D. Comparison of an empirical forest growth and yield simulator and a forest gap simulator using actual 30-year growth from two even-aged forests in Kentucky[J]. Forest Ecology and Management, 2000, 126: 122—129.
- [3] 杨锦昌,尹光天,等.5 种生长方程在 2 种藤林生长模型中的应用[J].福建林学院学报,2007,27(3):217—221.
- [4] 赵 钢,唐 宇,等.中国的荞麦资源及其药用价值[J].中国野生植物资源,2007,(2):31—32.
- [5] Lin Rufa, Zhou Yunning, Wang Rui, et al. A study on the extract of tatar buckwheat[J]. Advances in Buckwheat Research, 2001: 602—607.
- [6] Wang Qingrui, Takao Oruta, Li Wanh. Research and development of new products from bitter-buckwheat[J]. Current Advances in Buckwheat Research, 1995: 873—879.
- [7] 程 黔.近年我国杂粮市场发展状况[J].2008,(8):33—35.
- [8] 西北农林科技大学.国际荞麦研究最新成果[J].国际学术动态,2008,(1):14—16.
- [9] 林忠辉,莫兴国,项月琴.作物生长模型研究综述[J].作物学报,2003,(9):750—758.
- [10] 胡希远.SAS 与统计分析[M].杨凌:西北农林科技大学出版社,2007.
- [11] 董钧益.试验统计方法[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [12] 殷祚云.Logistic 曲线拟合方法研究[J].数理统计与管理,2002,(1):41—46.
- [13] 丁思统,廖为明,等.关于数学模型的评价与检验[J].江西农业大学学报,2006(8):641—644.
- [14] 王沪闽.毛竹出笋数学模型的研究[J].林业勘察设计(福建),2007,(1):154—156.
- [15] 郑秀琴,冯利平,等.冬小麦产量形成模拟模型研究[J].作物学报,2006,(2):260—266.
- [16] 戴宏芬,邱燕萍,等.储良龙眼果实发育的 Logistic 生长曲线方程[J].广西农业科学,2006,(3):15—17.

Comparison of different growth models and features of buckwheat

YOU Hai-lei, HU Xi-yuan, GAO Jin-feng, LI Jian-ping

(College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on the data collected from trials in three buckwheat plantations in Yangling, Shaanxi Province, five growth equations were utilized to establish the correlation between growing days and growth factors including plant height and shoot dry weight. The fitting effect of these equations was compared. It was found that R^2 of growth model established the correlation between growing days and plant height with each equation was between 0.96 and 0.992; R^2 of growth model established the correlation between growing days and shoot dry weight with each equation was between 0.90 and 0.94 except that of fitting the growing days and shoot dry weight of Yuqiao2 as well as Xinong9920 with Mitscherlich equation, which was less than 0.88. Logistic equations fitted the correlation between growing days and growth factors best.

Keywords: buckwheat; growth model; inflexion point