

基于辐热积的丹参生长性状预测模型

陈亚楠¹, 梁宗锁², 郭满才¹, 汝梅², 刘岩³, 刘峰华³

(1. 西北农林科技大学 理学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100;

3. 天津天士力现代中药资源有限公司, 天津 300000)

摘要:以商洛紫花丹参为试材, 分别以辐热积和有效积温为驱动变量, 通过高斯方程建立丹参茎鲜重、叶鲜重和叶面积的生长模型; 用 2011 年和 2012 年丹参大田数据进行拟合和检验, 并用 1:1 作图法, 拟合残差和根均方差(RMSE)与实测值进行比较; 结合高斯函数参数的几何意义和高斯函数一、二阶导数以及拐点, 对丹参地上各个性状生长趋势进行分析, 旨在开发“丹参的管理决策支持系统”, 以为预测和分析丹参性状的生长趋势提供参考。结果表明: 2011 年数据拟合度都在 0.9 以上, 基于辐热积的丹参以上性状生长模型都比基于有效积温的生长模型的预测精度要高; 丹参性状的生长趋势为茎鲜重、叶面积、叶鲜重在累积辐热积分别达到 832.0、653.6、671.9 MJ/m², 指标达到最大; 且在累积辐热积达到 538.1、501.2、510.2 MJ/m² 时, 增长速度最快; 叶面积、茎鲜重、叶鲜重在累积辐热积达到 239.5、264.2、259.8 MJ/m² 增长都比较缓慢, 之后到拐点这段时间, 增长速度急剧增加, 直到达到最大增长速度, 之后增长速度随时间的延长逐渐减慢; 丹参茎鲜重、叶鲜重和叶面积的生长曲线和高斯函数高度吻合, 且基于辐热积的丹参性状模型具有更好的预测性。

关键词:丹参; 生长性状; 辐热积; 有效积温; 预测模型; 生长趋势

中图分类号:R 972 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)08-0141-06

丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bge.) 属唇形科鼠尾草属多年生草本植物。中药丹参在我国应用历史悠久, 商洛

第一作者简介:陈亚楠(1988-), 女, 陕西西安人, 硕士研究生, 研究方向为生物数学。E-mail: 453377434@qq.com.

责任作者:梁宗锁(1965-), 男, 陕西凤县人, 教授, 研究员, 博士生导师, 现主要从事中草药规范化栽培的理论与技术研究工作。E-mail: liangzs@ms.iswc.ac.cn.

基金项目:科技统筹创新工程计划资助项目(2012KTCL02-07); 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2008BAD98B08); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(QN2010101)。

收稿日期:2013-12-10

丹参更是以“外观形状好, 成分(丹酚酸)含量高、品质纯正、分枝均匀”而闻名于世^[1]。人工栽培丹参时, 为实现精准化管理, 需要定量分析其生长性状的动态变化。为此, 课题组构建了丹参生长模型, 为今后进一步研制“丹参的管理决策系统”奠定基础。

在植物出叶数和株高模拟方面, 谭美等^[2]总结了出叶数、株高和定植时间与温度之间的定量关系; 徐国彬等^[3]发现, 不同扦插期一品红主茎净增叶片数、侧枝叶片数、苞片数等均与辐热积呈线性关系; Carvalho 等^[4]用昼夜平均温度模拟了菊花最终节间长度和株高, 经检验在 18~24℃ 温度范围内预测效果较好; 徐国彬等^[3]研究

Introduction Experiment on *Lonicerae japonicae* Flos in Three Gorges Reservoir Area

ZHANG Jian-hai¹, FENG Bin-bin², NIU Xiao-hua², XU Xiao-yu³

(1. Institute of Chinese Materia Medica, Chongqing Three Gorges Medical College, Chongqing 404120; 2. Department of Pharmacy, Chongqing Three Gorges Medical College, Chongqing 404120; 3. Southwest University, Chongqing 400716)

Abstract: Taking *Lonicerae japonicae* Flos as material, the yield and quality of *Lonicerae japonicae* Flos introduced from Shandong Pingyi, planted in Chongqing province were studied. Thousand bud weight, water content in Three Gorges Reservoir were counted. The content of chlorogenic acid and luteolin were determined by high performance liquid chromatography (HPLC). The results showed that the content of chemical constituent accorded with the standard of pharmacopoeia, the quality and yield of *Lonicerae japonicae* Flos were higher significantly than source area, and was fitted to plant in Chongqing province for future development and utilization.

Key words: introduction; *Lonicerae japonicae* Flos; Three Gorges Reservoir; quality; yield

表明,一品红标准化株高净增量与光合有效辐射(PAR)呈幂函数关系。在植物叶面积指数(LAI)模拟方面,Larsen等^[5]利用积温法建立了菊花 LAI 预测模型;Lee等^[6]建立了光合作用驱动的多头菊 LAI 预测模型,只要输入初始 LAI、定植密度、日均温和 PAR 等参数,即可预测定植后任意一天的 LAI。此外,为了更好地模拟温室作物的 LAI,杨再强等^[7]建立了以生理辐射积为发育尺度的温室标准切花菊 LAI 预测模型,只需输入温室内温度、PAR 和品种参数,即可预测肥水供应充足、种植密度适宜的温室标准切花菊的 LAI。

对于丹参不同生长性状的预测,目前还没有建立相应的模型,已有研究表明,在适宜的肥水管理和密度设置下,温度和光照是影响丹参生长性状和生长势的 2 个最重要因素^[8]。该试验借鉴棉花^[9]、黄瓜^[10]等作物生长模拟研究中的方法,结合丹参地上各个性状与积温和辐射积的关系,分别以辐射积和积温为自变量,建立丹参茎鲜重、叶面积及叶鲜重的生长模型,并通过二者的误差比较,选择出更适合于丹参的生长模型。旨在模拟分析并预测丹参地上部各种性状生长量及生长趋势。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为商洛紫花丹参。

1.2 试验方法

试验于 2011 年 4 月 18 日移栽苗龄大约 3 个月的丹参苗,5 月 5 日定植,在杨凌现代农业示范园(北纬 34°20',东经 108°04')进行。株行距为 25 cm×30 cm,施肥:硫酸钾 300 kg/hm²,磷酸氢二铵 375 kg/hm²,氮肥 10 g/m²;小区面积 3 m×4 m,重复 3 次,共 3 个小区。管理措施同当地大田管理。2012 年重复 2011 年的试验,时间从 2012 年 3 月 25 日持续到 2012 年 11 月 15 日。

1.3 项目测定

从定植日起,每隔 10~15 d 进行破坏性采样,每次于每个小区采生长均匀的植株 3 株,测定其农艺性状,包括用游标卡尺测定主茎最大直径(主根粗);用钢卷尺测定主茎长度;将每个植株的根、茎、叶、花分摘,用千分之一天平称其鲜重,105℃杀青 30 min,在 60℃下烘干至恒重,测干重。环境数据采集,从定植日起,采用 vantagepro2 电子气象站,测定试验地上方 2 m 处的太阳辐射、大气温度,采集频率为 1 次/min,取 1 h 的平均值。

1.4 数据分析

2011 的数据用于建立模型,2012 年的数据进行模型检验。采用 1:1 作图法(1:1 plot),即分别以实测值为横坐标,以模拟值为纵坐标,作等间隔相关图,比较模拟值与实测值在标准对称线两侧的分布,并计算二者的相关系数。

2 结果与分析

2.1 模型构建

辐射积是指温度效应和光合有效辐射的乘积^[2],它包括了温度和光照 2 个因素的综合效应,而有效积温仅考虑了温度的单一效应,就研究区域的大田作物丹参而言,温度与太阳辐射基本上同步变化,所以辐射积法和有效积温法是模拟丹参生长性状的 2 种比较好的方法。

2.1.1 辐射积的计算 计算出某日逐时的相对热效应 RTE,然后以其与相应小时内的光合有效辐射 PAR 相乘,即可得到该日该小时的辐射积 HTEP;将逐时的 HTEP 累加,即可得到该日的总辐射积 DTEP。某生育阶段的累积辐射积 TEP 为该阶段逐日总辐射积之和^[11-12],辐射积的计算公式如下^[13-14]:

$$RTE(T) = \begin{cases} 0 & (T_i - T_b) \\ \frac{(T_i - T_b)}{T_{ab} - T_b} & (T_b < T_i < T_{ab}) \\ 1 & (T_{ab} < T_i < T_{au}) \\ \frac{(T_m - T_i)}{T_m - T_{au}} & (T_{au} < T_i < T_m) \\ 0 & (T > T_m) \end{cases} \quad (1),$$

$$PAR = 0.5 \times Q \quad (2),$$

$$HTEP = RTE \times PAR \quad (3),$$

$$DTEP = \sum_{i=1}^{24} (HTEP/10^6) \quad (4),$$

$$TEP(i+1) = TEP(i) + DTEP(i+1) \quad (5).$$

式中, T_b :丹参生长下限温度,取 $T_b 10^{\circ}\text{C}$; T_m :丹参生长上限温度,取 $T_m 32^{\circ}\text{C}$; T_{ab} :丹参生长最适温度下限,取 $T_{ab} 20^{\circ}\text{C}$; T_{au} :丹参生长最适温度上限,取 $T_{au} 26^{\circ}\text{C}$; $RTE(T)$:温度 T 的相对热效应,无量纲; Q :1 h 内的太阳总辐射, $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 0.5 表示光合有效辐射在太阳总辐射中所占的比例^[14]; PAR :1 h 内的总光合有效辐射, $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$; $HTEP$:1 h 内的辐射积, $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$; $DTEP$:日总辐射积, $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$; 10^6 :将 J 转换为 MJ 的单位换算系数; $TEP(i+1)$:到第 $i+1$ 天的累积辐射积, MJ/m^2 ; $TEP(i)$:到第 i 天的累积辐射积, MJ/m^2 ; $DTEP(i+1)$:第 $i+1$ 天的日总辐射积, MJ/m^2 。

2.1.2 有效积温的计算 有效积温的计算公式^[14-15]为

$$GOD = \sum_{i=1}^n (T_i - T_b) \quad (6),$$

式中, GOD 是 n 天内的有效总积温($^{\circ}\text{C}$); T_i 是第 i 天的日平均气温($^{\circ}\text{C}$); T_b 生长下限温度($^{\circ}\text{C}$)。

2.1.3 丹参生长性状预测模型 从图 1 可以看出,茎鲜重、叶鲜重、叶面积的生长指标随着辐射积和有效积温的增加而增加,到达最大值后又逐渐减小。对于茎鲜重、叶鲜重、叶面积,基于此规律,综合考虑辐射积和有效积温对丹参以上性状的影响,利用 matlab 软件进行曲

线拟合,得到分别以辐热积和有效积温为自变量,丹参以上性状为因变量的高斯方程表达式。

$$F(x_i) = a_i \cdot e^{-\frac{(x_i-b_i)^2}{c_i}}, i = 1, 2 \tag{7}$$

式中,当*i*=1时,代表以辐热积为自变量的生长模型;当*i*=2时,代表以有效积温为自变量的生长模型。*a*,*b*,*c*

为模型参数,其中*a*>0,表示高斯函数的极值;*b*表示高斯函数对称轴的位置,*b*决定了高斯函数在*x*轴上的位置;*c*表示高斯函数的陡峭程度,*c*值越小表示高斯函数越陡峭,*c*值越大表示高斯函数越平缓^[16]。

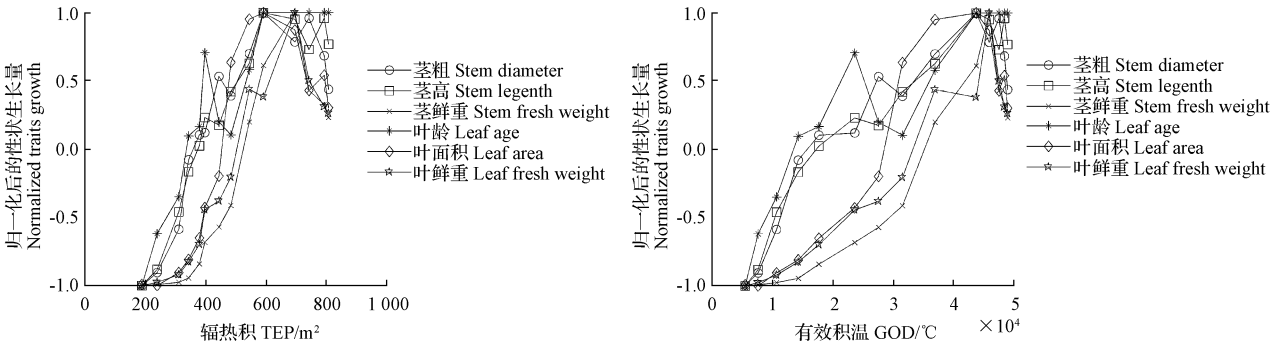


图 1 归一化后丹参各性状变化趋势

Fig. 1 Trends for each trait of salvia after normalized

2.2 参数估计与模型验证

2.2.1 参数估计 对表达式(7)作对数线性化后,采用最小二乘法和 2011 年试验数据进行参数估计,可得到参数的初值,将参数初值带入模型进一步调整,直至模拟值与实测值的误差最小,可得到模型参数的终值。由表 1 和图 2、3 可以看出,观察值点和高斯方程拟合曲线高

度吻合,拟合优度在 0.93 以上,尤其基于辐热积建立的模型,拟合优度达到 0.97 以上,说明地上部性状的生长量分别与辐热积和有效积温之间存在着极显著的非线性回归关系,同时也证明采用高斯方程拟合丹参地上部生长量分别和辐热积和有效积温之间的关系有效。

表 1 丹参生长性状模型的参数值

Table 1 Model parameter values of growth traits of salvia

| 生长性状 Growth traits | a ₁ | b ₁ | c ₁ | R ₁ ² | RMSE ₁ | a ₂ | b ₂ (10 ⁴) | c ₂ (10 ⁴) | R ₂ ² | RMSE ₂ |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|-------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 茎鲜重 Stem fresh weight | 246.90 | 674.20 | 188.90 | 0.98 | 12.86 | 219.80 | 4.33 | 1.22 | 0.93 | 32.12 |
| 叶面积 Leaf area | 6 170.00 | 653.60 | 215.90 | 0.97 | 419.10 | 6 014.00 | 4.09 | 1.41 | 0.96 | 473.10 |
| 叶鲜重 Leaf fresh weight | 176.70 | 671.90 | 224.10 | 0.97 | 12.19 | 152.90 | 4.37 | 1.81 | 0.95 | 12.19 |

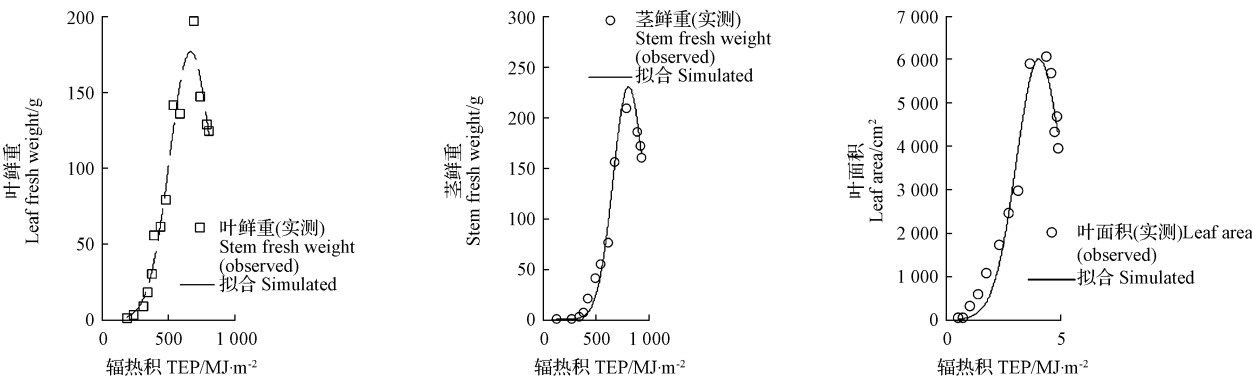


图 2 丹参性状与累积辐热积的关系

Fig. 2 The relationship between character of salvia and TEP

2.2.2 模型验证 该试验用 2011 年的数据模拟出的模型,预测 2012 年丹参根部性状的长势,并用 2012 年的实测数据进行验证,根据公式(7),分别带入 2012 的辐热积

和有效积温,计算出地上各个性状的指标与实测值进行比较。由图 4 可以看出,预测精度达到 0.88 以上,且基于辐热积模型的预测精度达到 0.93 以上。

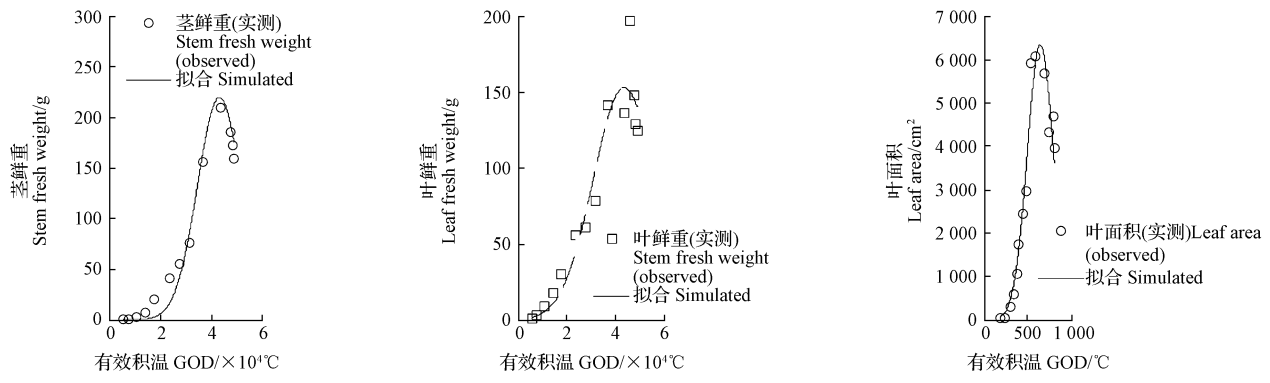


图 3 丹参性状与有效积温的关系

Fig. 3 The relationship between character of salvia and GOD

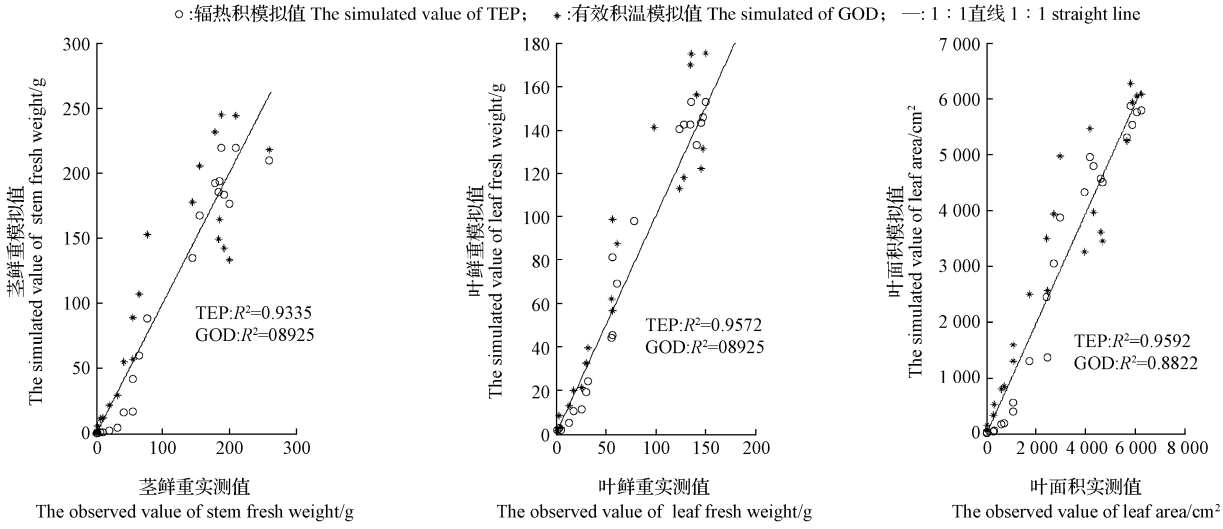


图 4 茎鲜重、叶鲜重和叶面积模拟值与实测值的比较

Fig. 4 Comparison on the simulated value and the observed value of stem fresh weight, leaf weight and leaf area

把 2012 年的气象数据分别带入基于辐热积和有效积温的丹参地上性状生长模型中预测出各个性状,再与实际测出的值比较,计算出根均方差(root mean square error, RMSE)。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n - 1}} \quad (8),$$

其中, P_i 为模拟值, O_i 为实测值, 为样本数。并计算各个性状用累积辐热积模拟比有效积温模拟提高精度的百分比, 以便更能精确的对比出 2 种模拟效果的好坏。从表 2 可以看出, 叶鲜重、茎鲜重和叶面积提高的预测精度都达到了 26% 以上。对大田作物而言, 温度和太阳辐射之间存在一定的相关线性关系, 所以用有效积温法模拟作物的生长性状, 具有一定的合理可取性, 但相对于辐热积法, 综合考虑温度和辐射 2 个因素, 有效积温法的预测精度明显要低一些。

表 2 茎鲜重、叶鲜重与叶面积的根均方差比较

Table 2 Comparison on RMSE of stem weight, leaf weight and leaf area

| RMSE | 提高预测精度 The improvement of prediction accuracy / % | | |
|-------------------------------|--|--------|-------|
| | TEP | GOD | |
| 茎鲜重 Stem fresh weight/g | 19.07 | 36.20 | 47.32 |
| 叶面积 Leaf area/cm ² | 504.12 | 639.10 | 26.77 |
| 叶鲜重 Leaf fresh weight/g | 19.99 | 32.27 | 38.05 |

2.3 生长趋势分析

采用辐热积和有效积温 2 种方法, 按表达式(7)分别计算出丹参各个性状的模拟值, 与实测值做差, 可得出 2 种方法的拟合残差。从图 5 可以看出, 辐热积的拟合残差更接近于 0。所以, 以辐热积为自变量建立的生长模型的模拟效果更优。

在适宜的施肥和密度设置下, 以辐热积为自变量, 通过高斯函数拟合建立的丹参地上各个性状的生长模型具有良好的模拟和预测效果。结合高斯函数参数的

几何意义和高斯函数一、二阶导数以及拐点,对丹参地上各个性状生长趋势进行分析:参数 a 表示高斯函数的极值,对丹参地上各个性状来讲, a 表示了从 5 月至 11 月各个性状指标的峰值,即茎鲜重、叶面积和叶鲜重的峰值分别为 246.9 g, 6 170 cm², 176.7 g。参数 b 表示高斯函数的对称轴的位置, b 决定了高斯函数在 x 轴上的位置。对于丹参地上各个性状来讲, b 表示了指标峰值出现时所需的累积辐热积,即茎鲜重、叶面积和叶鲜重出现时所需的累积辐热积为 674.2, 653.6, 671.9 MJ/m²。参数 c 表示高斯函数的陡峭程度, c 越小表示高斯函数越陡峭, c 越大表示高斯函数越平缓。对于丹参地上各个性状来讲, c 越小表示性状指标的增长速度越快, c 越大表示性状指标的增长速度越慢。

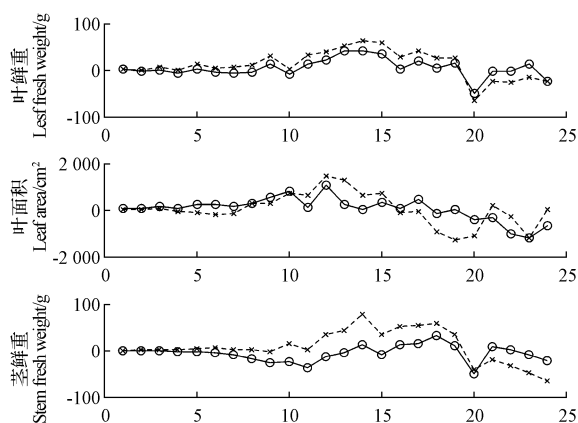


图 5 茎鲜重、叶鲜重和叶面积的高斯拟合残差

Fig. 5 Gauss fitting residuals of stem weight, leaf weight and leaf area

对高斯函数求一阶导,得到丹参地上各个性状指标增长速度的方程为:

$$v = -\frac{2a(TEP - b)e^{-\left(\frac{TEP-b}{c}\right)^2}}{c^2} \quad (9),$$

图 6 是给(9)式带入 2012 年辐热积,模拟出来的丹参地上各个性状指标增长速率图。其中,图中标记出来

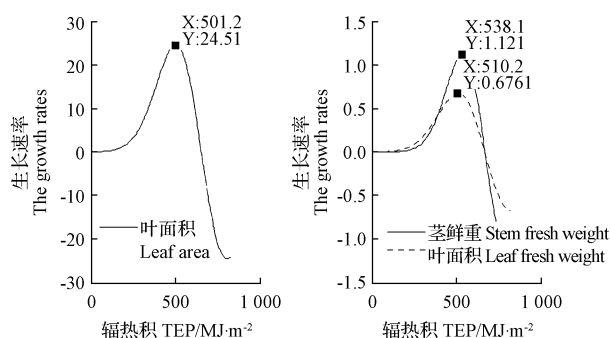


图 6 各性状增长速率

Fig. 6 The growth rate of each trait

的点为各个性状指标的拐点。拐点为丹参地上各个性状指标增长速度的极大值点,即茎鲜重、叶面积和叶鲜重在第 111 天、第 105 天、第 105 天累积辐热积达到 538.1、501.2、510.2 MJ/m² 时,增长速度最快。从图 6 可以看出,对于叶面积、茎鲜重、叶鲜重,分别从定植日期起到第 38 天、第 41 天、第 40 天,累积辐热积达到 239.5、264.2、259.8 MJ/m² 增长都比较缓慢,之后到拐点这段时间,增长速度急剧增加,直到达到最大增长速度,之后增长速度随时间的延长逐渐减慢。

3 讨论与结论

该试验分别以辐热积和有效积温为驱动变量,通过高斯方程建立丹参茎鲜重、叶鲜重和叶面积的生长模型。用 2011 年和 2012 年丹参大田的实测数据进行拟合和检验,2011 年数据拟合度都在 0.9 以上,且基于辐热积的丹参以上性状生长模型都比基于有效积温的生长模型的预测精度要高。并用 1:1 作图法(1:1 plot),拟合残差和根均方差(RMSE)与实测值进行比较。结果表明丹参茎鲜重、叶鲜重和叶面积的生长曲线和高斯函数高度吻合,且基于辐热积的丹参性状模型具有更好的预测性。结合高斯函数参数的几何意义和高斯函数一、二阶导数以及拐点,对丹参地上各个性状生长趋势进行了分析。

丹参地上部性状的生长预测模型是丹参整体模型的一部分,也是丹参精准化管理中智能化操作与管理软件的重要组成部分^[17],但是目前关于丹参地上部性状的生长预测模型研究尚鲜见报道。该试验通过高斯方程,以辐热积为自变量,建立了丹参茎鲜重、叶鲜重和叶面积的生长预测模型,该模型可以较准确地模拟丹参性状的生长量和生长趋势。该试验用了独立的试验数据对模型进行了检验,结果表明,预测值与实测值的 R^2 接近于 1,但相对丹参生长后期,高斯拟合残差的波动性较大,模拟效果不是很好,这可能是由于丹参生长后期部分茎叶枯萎,采样时有所误差所致。

丹参在生长过程中受到各种因素的影响,如大气 CO₂ 浓度、土壤水分、土壤温度等^[18],而模型中只考虑了温度和光辐射的影响,且模型仅以商洛紫花丹参为模拟对象,以陕西杨凌的气候环境为基础,由于丹参品种类型丰富,种植范围广泛^[18],模型未能在不同品种特性,不同气候生态条件下进行模拟验证,所以具有较大的局限性。因此,在今后研究中,应尽可能考虑更多因素,使模型对不同气候状况、不同品种特性都有一定的模拟精度。

参考文献

- [1] 李君,贺学礼. 中药材丹参研究进展[J]. 河北林果研究, 2009(1): 88-91.
- [2] 谭美,王四清. 观赏植物生长模拟模型研究进展[J]. 园艺学报, 2010

(9):1523-1530.

[3] 徐国彬,罗卫红,陈发棣,等. 温度和辐射对一品红发育及主要品质指标的影响[J]. 园艺学报,2006(1):168-171.

[4] Carvalho S M P, Heuvelink E, van Kooten O. Effect of light intensity, plant density and flower bud removal on the flower size and number in cut chrysanthemum[J]. Acta Horticulturae, 2002, 593: 33-38.

[5] Larsen R U, Hiden C. Predicting leaf unfolding in flower induced shoots of greenhouse grown chrysanthemum[J]. Scientia Horticulturae, 1995, 63: 225-239.

[6] Lee J H, Goudriaan J, Challa H. Using the exponential growth equation for modelling crop growth in year-round cut chrysanthemum[J]. Annals of Botany, 2003, 92(5): 697-708.

[7] 杨再强,罗卫红,陈发棣,等. 温室标准切花菊叶面积预测模型研究[J]. 中国农业科学, 2007b, 40(11): 2569-2574.

[8] 李倩. 环境因子对丹参生长及活性成分累积的影响规律研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2006.

[9] 郭银巧,赵传德,朱艳,等. 棉花地上部形态建成的光温模型[J]. 作物学报, 2009, 35(11): 2102-2108.

[10] 李青林,毛罕平,李萍萍. 黄瓜地上部分形态-光温响应模拟模型[J]. 农业工程学报, 2011(9): 122-127.

[11] 李永秀,罗卫红,倪纪恒,等. 温室黄瓜干物质分配与产量预测模拟模型初步研究[J]. 农业工程学报, 2006(2): 116-121.

[12] 马万征,毛罕平,倪纪恒. 不同果实负载下温室黄瓜干物质分配的模拟[J]. 农业工程学报, 2010(10): 259-263.

[13] 倪纪恒,陈学好,陈春宏,等. 用辐射积分法模拟温室黄瓜果实生长[J]. 农业工程学报, 2009(5): 192-196.

[14] 李永秀,罗卫红,倪纪恒,等. 用辐射积分法模拟温室黄瓜叶面积、光合速率与干物质产量[J]. 农业工程学报, 2005(12): 131-136.

[15] 李立昆,李玉红,程智慧,等. 基于有效积温早春设施厚皮甜瓜果实发育模拟模型[J]. 北方园艺, 2010(6): 97-10.

[16] 张小咏,刘耕年,李永化,等. 高斯函数参量法及其在山区降水计算中的应用[J]. 地理研究, 2008(3): 594-602.

[17] 曹卫星,罗卫红. 作物系统模拟及智能管理[M]. 北京:高等教育出版社, 2003.

[18] 黄淑华,徐福利,王渭玲,等. 丹参壮苗指数及其模拟模型[J]. 应用生态学报, 2012(10): 2779-2785.

Simulation of Growth Traits of *Salvia miltiorrhiza* Bge. Based on Accumulated Product of Thermal Effectiveness and PAR

CHEN Ya-nan¹, LIANG Zong-suo², GUO Man-cai¹, RU Mei², LIU Yan³, LIU Feng-hua³

(1. College of Sciences, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shannxi 712100; 2. College of Life Sciences, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shannxi 712100; 3. Tianjin Tasly Modern TCM Resources Co. Ltd, Tianjin 300000)

Abstract: Taking purple flower *Salvia miltiorrhiza* Bge. of Shangluo as material, the growth models of stem fresh weight, leaf fresh weight and leaf area were established by the Gauss equation, using accumulated product of Thermal Effectiveness and PAR (TEP) and effective accumulative temperature (GOD) as independent variables respectively. The data of 2011 and 2012 were used to fit and validate the models respectively. 1 : 1 plot, fit residuals and root mean squared error (RMSE) were used to compare simulated values with observed values. Geometric meaning of the parameters, the first and second derivative and inflection points of Gauss equation were used to analysis the growing trend of ground traits of *Salvia miltiorrhiza*. These models were established in order to develop the management decision support system of *Salvia miltiorrhiza*. The results showed that the determined coefficient (R^2) of those models were higher than 0.9, and the accuracy of the prediction of these models based on TEP was higher than those models based on GOD. The growth trend of traits of *Salvia miltiorrhiza* Bge. ; the indexes would reach the maximum when the TEP of stem fresh weight, leaf area and leaf fresh weight reached 832.0, 653.6, 671.9 MJ/m² respectively; the growth rates would be the fastest when the TEP of stem fresh weight, leaf area and leaf fresh weight reached 538.1, 501.2, 510.2 MJ/m²; in the TEP of leaf area, stem fresh weight, leaf fresh weight reached 239.5, 264.2, 259.8 MJ/m² respectively, the growth rates were slow. From this time to the TEP reach inflection points, the growth rates increased dramatically till reaching the maximum. Then the growth rates slowed down as time prolonging. Both the growth curves of stem fresh weight, leaf fresh weight and leaf area and Gaussian function were remarkably consistent, and the models base on TEP showed a better predictability than based on GOD.

Key words: *Salvia miltiorrhiza* Bge. ; growth traits; accumulated product of thermal effectiveness and PAR (TEP); effective accumulative temperature (GOD); the prediction model; growth trend