

基于辐热积的棉花产量形成模拟模型研究

贾彪¹, 吴杨焕², 李杰³, 马富裕³

(1. 宁夏大学农学院, 宁夏银川 750021; 2. 新疆生产建设兵团第六师农科所, 新疆五家渠 831300; 3. 石河子大学农学院, 新疆石河子 8320021)

摘要:为更好地应用辐热积监测棉花生长发育状况, 试验设 3 个密度处理: 240.0×10^3 株 \cdot hm⁻²、 176.0×10^3 株 \cdot hm⁻²及 82.5×10^3 株 \cdot hm⁻², 每隔 7~10 d 对棉花发育状况进行观察记录, 并从石河子气象站获得棉花生育期内的辐射及热量数据, 初步探明辐热积与棉花产量形成的关系。结果表明: 随密度减小单株铃数和单铃重呈增加趋势; 鲁棉研 24 实收籽棉产量在密度 240×10^3 株 \cdot hm⁻²条件下达到最高, 为 $4\,306.8$ kg \cdot hm⁻², 新陆早 50 实收籽棉产量在密度 176×10^3 株 \cdot hm⁻²条件下达到最高, 为 $4\,267.73$ kg \cdot hm⁻²; 产量随辐热积增加呈增加趋势, 且符合线性关系, 通过模拟筛选得到棉花最佳棉铃动态生长发育模型通式。高斯模拟模型可以有效预测棉花铃数生长变化。

关键词:棉花; 辐热积; 产量形成; 生育期; 高斯模型

中图分类号: S562 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2767(2016)06-0017-06 DOI: 10.11942/j.issn1002-2767.2016.06.0017

地处欧亚大陆腹地的新疆具有种植与发展棉花独特的光热资源和优势, 是我国最重要的商品棉生产基地。近年来, 随着膜下滴灌技术的应用、杂交棉的推广种植, 以及膜下滴灌技术的应用及机械化生产的推广, 结合高产品种, 对高产群体大小、高产群体肥水调控等方面开展了初步研究, 但有关棉花在滴灌模式下, 原有的栽培模式“矮、密、早、膜”随着生产技术发展是否还适用, 密度调控条件下的辐热积对棉花生长发育的影响的研究较少, 在密度调控下, 棉花个体接受到的热量、辐射量可能有较大的改变。明确不同密度调控下热量、辐射量及其互作条件下(辐热积)的变化特征及其对棉花生育进程及产量的影响, 为通过辐热积监测棉花生长发育状况提供理论参考。国内外许多学者已在温室作物中, 以辐热积为预测指标, 建立了辐热积与温室独本菊等温室作物的相关模拟模型, 相关成果对温室作物的栽培具有理论指导意义^[1-6]。目前对于棉花密度的研究, 大多停留在密度改变对于棉花水肥调控以及相关品质的影响, 而密度改变时辐射和热量结合即辐热积对棉

花生发育的影响, 尚未有过相关报道。新疆棉花“矮、密、早、膜”种植模式随着农业技术不断完善, 密度相较以前有较大改变, 同时密度改变将会导致冠层结构发生改变, 致使棉花冠层光温环境发生明显变化。陈冠文对棉铃发育的温光效应的初步研究中指出在棉铃发育过程中, 当有效辐射量不足时, 温度可以补偿。当积温不足时, 有效辐射量可以补偿^[7]。棉花产量最终取决于棉铃数的多少和棉铃重, 因此量化温光效应即辐热积与棉花铃数之间的关系, 可有效预测棉花产量的形成。本研究通过开展密度试验, 研究辐射与热量是否是通过互作对棉花的生育进程及其产量产生影响以及辐热积与棉花生育进程、产量的定量关系, 为通过辐热积监测棉花生长发育状况提供理论参考。

1 材料与与方法

1.1 材料

供试品种鲁棉研 24(属转基因抗虫杂交一代棉花)和新陆早 50(属常规早熟棉花), 分别命名为 V1 和 V2。生育期均为 130 d 左右, 形态特征均具有株型紧凑, 叶片中等偏小且向上平展, 结铃性强, 适宜机械采摘。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2014 年在石河子大学试验农场进行, 设置 3 个密度处理, 分别是 240.0×10^3 株 \cdot hm⁻² (D1)、 176.0×10^3 株 \cdot hm⁻² (D2) 及 82.5×10^3 株 \cdot hm⁻² (D3), 小区面积为 35 m²。种植行向

收稿日期: 2016-04-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31560339); 宁夏回族自治区自然科学基金资助项目(NZ15047); 宁夏大学博士启动基金资助项目(BQD2014011)

第一作者简介: 贾彪(1979-), 男, 甘肃省镇原县人, 博士, 讲师, 从事精准农业信息化与作物水肥管理研究。E-mail: jiabiao2008@163.com。

通讯作者: 马富裕(1967-), 男, 甘肃省环县人, 博士, 教授, 博士生导师, 从事作物水分生理与精准农业信息化研究。E-mail: mfy_agr@shzu.edu.cn。

为东西向,采用膜下滴灌干播湿出技术,于4月28日进行膜上点播,5月4日灌出苗水。各处理播种前施用 P_2O_5 150 kg·hm⁻²和 K_2O 75 kg·hm⁻²作为基肥一次性施入。施入氮肥总量为450 kg·hm⁻²:其中30%为基肥,70%于生育期随水滴施。棉花全生育期总灌水量为500 m³,其灌溉和施肥次数及每次灌溉或施肥的量占总量的百分数见表1。其它管理措施按照当地大田棉花高产栽培模式进行。

表 1 棉花水肥分配比例

Table 1 The ratio of water and fertilizer in cotton

| 项目 Items | 比例/% Ratio | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------|---|----|----|----|----|----|----|---|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 灌溉 Irrigation | 4 | 6 | 10 | 12 | 15 | 20 | 12 | 6 | 6 | 5 | 4 |
| 施肥 Fertilization | 0 | 0 | 10 | 10 | 20 | 30 | 20 | 10 | 0 | 0 | 0 |

1.2.2 测定项目及方法 ① 辐热积的监测与计算。试验期间每7 d对棉花发育状况进行观测,记录各个生育阶段到达的日期。棉花环境数据(热量及辐射)以石河子气象站采集的数据为准,采集项目为生育期内石河子地区空气温度和辐射数据,存储每1 h的平均值。

辐热积 TEP(The product of thermal effectiveness and photosynthetically active radiation, TEP)为相对热效应 RTE(Relative thermal effectiveness, RTE)与光合有效辐射 PAR 的乘积。

$TEP=RTE\times PAR$ (1)

相对热效应(Relative thermal effectiveness, RTE)指的是作物在实际温度条件下生长1 d与作物在最适温度条件下生长1 d的比例。每小时相对热效应 RTE 与温度(T)的关系。

$$RTE = \begin{cases} 0, (T \leq Tb) \\ (T - Tb)/(To - Tb), (Tb < T < To) \\ 1, (T = To) \\ (Tm - T)/(Tm - To), (To < T < Tm) \\ 0, (T \geq Tm) \end{cases}$$
 (2)

公式(2)中:To为生长最适温度,Tb为生长下限温度,Tm为生长上限温度,T为每小时的平均温度。棉花生长的三基点温度,最适生长温度To为28℃,生长下限温度Tb为13℃,生长上

限温度Tm为35℃^[8]。

每小时相对辐热积 HRIEP(Hourly Relative Product of Thermal Effectiveness and PAR, HRTEP)由各个小时的平均相对热效应乘以相应小时内总光合有效辐射得:

$HRTEP=RTE\times PAR\times 3\ 600$ (3)

$PAR=Q\times 0.45$ (4)

公式(3)(4)中:HRTEP为每小时的相对辐热积,mol·m⁻²·h⁻¹;PAR为1 h内平均瞬时光合有效辐射,mol·m⁻²·s⁻¹;Q是1 h内太阳总辐射,mol·m⁻²·h⁻¹;0.45为光合有效辐射在太阳总辐射中的比例;3 600是将1 h内的平均瞬时光合有效辐射换算成该小时内的总光合有效辐射的单位换算系数。

每日的相对辐热积(RTEP,MJ·m⁻²·d⁻¹)可以将1 d内24 h的相对辐热积累加得:

$RTEP = \sum (HRTEP \times 10^{-6})$ (5)

公式(5)中:10⁻⁶是将μmol转换为mol的单位换算系数。

最后将每日相对辐热积进行累加,就得到整个生育期的累积辐热积 TEP:

$TEP_{i+1} = TEP_i + RTEP_{i+1}$ (6)

公式(6)中:TEP_{i+1}为i+1天的累积辐热积,mol·m⁻²,TEP_i为i天的累积辐热积,mol·m⁻²,RTEP_{i+1}为第i+1天的每日相对辐热积,mol·m⁻²·d⁻¹。

② 生育期内有效积温及辐射累积值的计算。棉花生育期内,每日气温及光合有效辐射以石河子气象站采集的数据为准,有效积温计算公式:

$K=N(T-C)$ (7)

式中:K为植物完成某阶段发育所需要的总热量,N为发育历期,即完成某阶段发育所需要的天数,T为发育期间的平均温度,C为棉花生长发育最适温度。

每日光合有效辐射累积值(The Cumulative of PAR Daily,TCPARD)由1 d内24 h光合有效辐射累加计算得出,计算公式为:

$TCPARD = \sum HPAR$ (8)

棉花各生育阶段内光合有效辐射累积值(Accumulated PAR,AP)由该生育阶段内每日光合有效辐射累积值累计相加得出,具体计算公式为:

$AP = \sum TCPARD$ (9)

1.2.3 数据分析与模型检验 采用 SPSS17.0 进行方差分析和 LSD 法多重比较;采用 Origin Pro 8.5 进行数据分析与数据拟合,绘制曲线图、模拟模型图和 1:1 直线等。

模型检验方法通常用根均方差(Root mean squared error, RMSE)法,对模型模拟值和试验实测值进行比较,分析拟合度高低。其公式为:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n}}$$

(10)

式中: O_i 为实测值, S_i 为模拟值, i 为样本号, n 为样本容量。在模型检验过程中,当 RMSE 值越小,表明模拟值与观测值间的偏差越小,模型的预测精度则越高。也可通过 1:1 直线及其回归方程决定系数(R^2)直观展示模拟值与实测值的精确度。

表 2 不同处理间棉花产量构成及显著性检验
Table 2 T-test about yield structure of cotton

| 品种 Cultivar | 密度 Density | 收获株数/($\times 10^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) Plantnumber | 单株铃数 Boll number per plant | 单铃重/g Boll weight | 实收籽棉产量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) Seed cotton yield |
|----------------|---------------|--|-------------------------------|----------------------|--|
| V1 | D1 | 204.0 | 7 | 4.56 | 4306.8 a |
| | D2 | 138.6 | 11 | 4.76 | 4265.6 a |
| | D3 | 74.3 | 18 | 4.78 | 3832.04 b |
| V2 | D1 | 208.8 | 6 | 5.03 | 4143.06 ab |
| | D2 | 141.9 | 8 | 5.12 | 4267.73 a |
| | D3 | 70.1 | 16 | 5.23 | 4011.88 ab |

不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。
Different lowercouses mean significant difference at 0.05. The same below.

2.2 辐热积与棉花产量的关系

棉花整个生育期内,对于产量来说,由于同一品种种植密度不同导致棉花生育进程的差异性,进而生育期内累积辐热积会有所差异,不同密度条件下产量与辐热积的关系见表 3,两品种棉花籽棉产量与辐热积的产量遵循一个普遍的规律,即随着辐热积的增加,产量也呈增加趋势,并且符合线性关系,关系式为 $y=a+bx$ 。

籽棉产量值模拟曲线表明,3 个密度水平模拟模型拟合度较高,均达到了极显著水平,其决定系数 $R^2>0.88$, R^2 最大值达到 0.96。将各模拟方程相对应参数 a、b 值进行比较,研究结果表明,鲁棉研 24 在不同密度下,参数 a 值表现为随着密度的降低,先减小后增加的趋势,b 值随着密度的减小,表现为先增加后减小的趋势;但新陆早 50 参数 a 表现为随着密度的降低呈现增加的趋势,b

2 结果与分析
2.1 不同种植密度对棉花产量构成的影响

由表 2 可知,在密度处理下,鲁棉研 24 在 D1、D2 和 D3 密度条件下最终单株有效蕾铃数为 7、11 和 18 个 \cdot 株 $^{-1}$,单铃重分别为 4.56、4.76 和 4.78 g,说明随着密度的减小,单株铃数呈增加趋势,但单铃重却呈减小趋势;而在 D1、D2 及 D3 密度下,新陆早 50 蕾铃数分别为 6、8 和 16 个 \cdot 株 $^{-1}$,单铃重分别为 5.03、5.12 和 5.23 g,说明随着密度的减小,单株铃数和单铃重均呈增加趋势。

鲁棉研 24 实收籽棉产量在 D1 密度(240×10^3 株 \cdot hm $^{-2}$)条件下达到最高,为 4 306.8 kg \cdot hm $^{-2}$,且与 D2 处理下差异不显著,与 D3 处理下差异显著($P<0.05$)。新陆早 50 实收籽棉产量在 D2 密度条件下(176×10^3 株 \cdot hm $^{-2}$)达到最高,为 4 267.73 kg \cdot hm $^{-2}$,但与 D1 和 D3 差异不显著。

值随着密度的降低呈现增加的趋势。由此可见,产量的决定因素不仅与密度有关,棉花品种对其也有影响。

表 3 不同密度水平辐热积与籽棉产量的关系各参数比较

Table 3 Comparison on the parameter of relationship between yeld and TEP

| 年份 Years | 品种 Varieties | 密度 Density | 参数 Parameter | | R^2 |
|-------------|-----------------|---------------|--------------|-------|---------|
| | | | a | b | |
| 2014 | V1 | D1 | -3096.355 | 2.988 | 0.922 a |
| | | D2 | -5475.833 | 4.526 | 0.948 a |
| | | D3 | -2880.677 | 3.016 | 0.999 a |
| | V2 | D1 | -776.853 | 2.066 | 0.796 a |
| | | D2 | -3134.250 | 3.437 | 0.960 a |
| | | D3 | -4859.297 | 3.890 | 0.916 a |

2.3 基于棉铃数生长变化的辐热积模型

将 2014 年棉花铃数动态变化数据利用 Curve Expert1.4 软件进行模拟,建立基于棉铃与辐热积(TEP)统计模型,得到了包括二次多项式拟合、蒸汽压模型、Hoerl 模型、Richards 模型等模拟较好的 5 个模型(见表 4)。其相关系数 $r>0.75$ 。并棉花生长发育需要满足一定的温度条件才能进行,即辐热积大于某值,但在棉花生育期结

束时,棉铃数为 0。因此,对这 5 个函数模型取极大值进行排除,选择最优适合棉铃动态生长发育模型。通过筛选,得到棉花最佳棉铃动态生长发育模型通式为:

$$y=a\lambda^{\frac{-(b-x)^2}{2c^2}}$$

(11)

其中,x 为辐热积 TEP,y 为铃数;a 为密度参数,b 为达到最大铃数时辐热积,c 为铃数生长变化率。

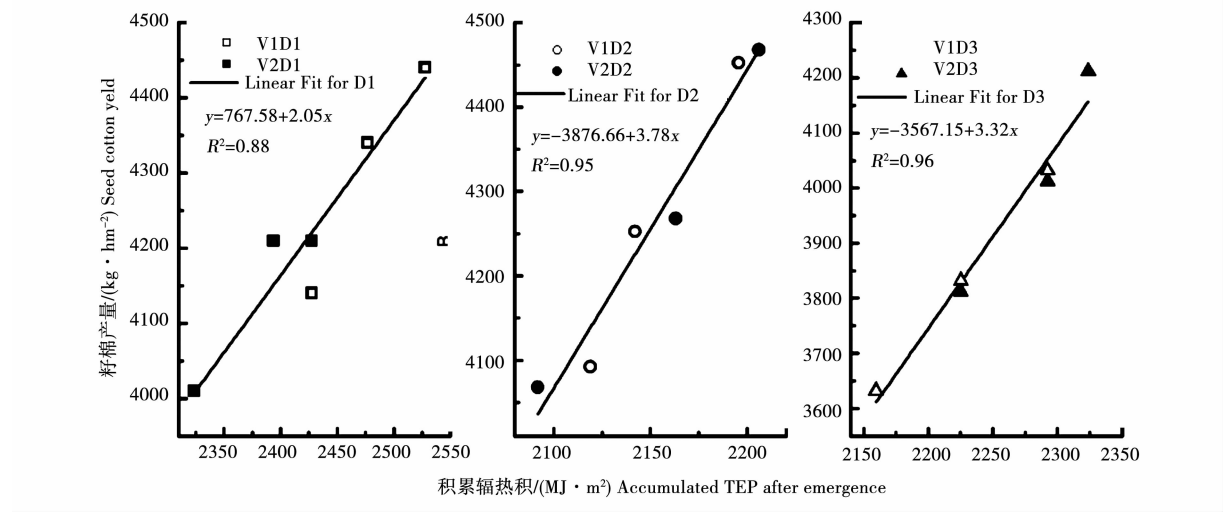


图 1 积累辐热积与产量的关系
Fig. 1 The relationship between yield and TEP

表 4 棉花铃数拟合模型

| 模拟方程 Simulated equation | 参数 Parameter | | | | 相关系数 r | 标准差 SD | Y 值 Y value X→∞ |
|-------------------------------------|--------------|---------|--------|--------|-----------|-----------|--------------------|
| | a | b | c | d | | | |
| $y=a\times\exp((- (b-x)^2)/(2c^2))$ | 17.93 | 1448.36 | 327.79 | | 0.82 a | 3.187 | 0 |
| $y=a+bx+cx^2+dx^3$ | 10.78 | -0.06 | 0 | 0 | 0.82 a | 3.241 | ∞ |
| $y=ab^x\cdot x^c$ | 1.394 | 0.99 | 11.43 | | 0.81 a | 3.246 | ∞ |
| $y=a+bx+cx^2$ | -56.84 | 0.10 | 0 | | 0.80 a | 3.331 | ∞ |
| $y=a/(1+\exp(b-cx))^{1/d}$ | 15.39 | 502.55 | 0.44 | 107.27 | 0.75 a | 3.731 | a |

用高斯模型对 3 个密度因素水平下棉花铃数与 TEP 动态变化关系分别进行拟合,结果表明,相关系数 $r>0.91$,各模型中参数 a 在同一密度下变化不大(见表 5),说明不同品种在同一密度条件下所能达到的最大铃数差异较小;参数 b 随密度增加也呈现增加趋势,充分说明密度的改变影响着棉花个体对光热资源的利用,并最终影响棉铃数的形成;铃数生长变化率 c 在 D1 处理下变异幅度较大,其密度处理变异性亦相对明显(见表 5),进一步说明铃数生长变化率 c 值主要是由密度影响着;不同品种同一密度处理影响不大,D1

处理中参数 c 变异幅度大是由于棉花品种特性造成的。

因此,将 2014 年数据进行拟合(见图 2),其高斯模型方程式为:

$$y=17.93\lambda^{\frac{-(1448.36-TEP)^2}{327.79}}$$

(12)

利用试验实际观测数据对所建立的棉铃动态生长发育模型进行检验,将 2011 年与 2012 年任意时刻的 TEP 代入模型方程式(12),就可以求出与之相对应的 y 值。由图 3 可以看出,2011 和 2012 年 2 a 模拟值与实际观测一致性较好,在棉

花整个生长周期内,该模型回归估计标准误差 RMSE 为 1.8 个·株⁻¹,决定系数 R²为 0.92。

表 5 不同密度水平下铃数动态生长发育最优模型参数

| 年份 Years | 品种 Varieties | 密度水平 Density level | 参数 Parameter | | | 相关系数 r |
|-------------|-----------------|-----------------------|--------------|---------|--------|-----------|
| | | | a | b | c | |
| 2014 | V1 | D1 | 16.05 | 1281.31 | 302.86 | 0.93 a |
| | | D2 | 18.08 | 1307.49 | 328.47 | 0.97 a |
| | | D3 | 21.15 | 1423.19 | 361.50 | 0.99 a |
| | V2 | D1 | 16.21 | 1225.42 | 268.53 | 0.94 a |
| | | D2 | 17.74 | 1230.19 | 307.78 | 0.92 a |
| | | D3 | 21.18 | 1267.30 | 370.15 | 0.91 a |

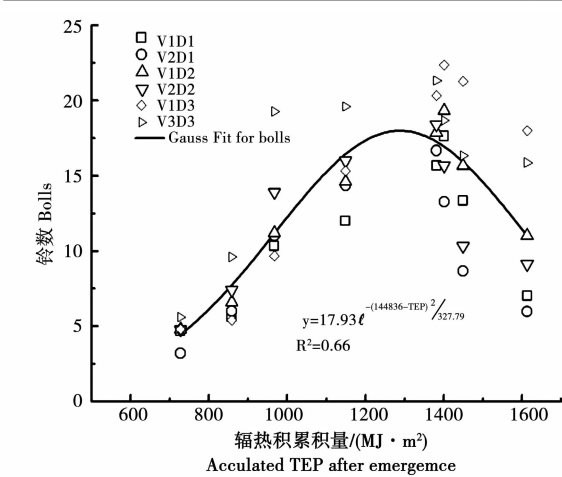


图 2 棉铃生长发育模型

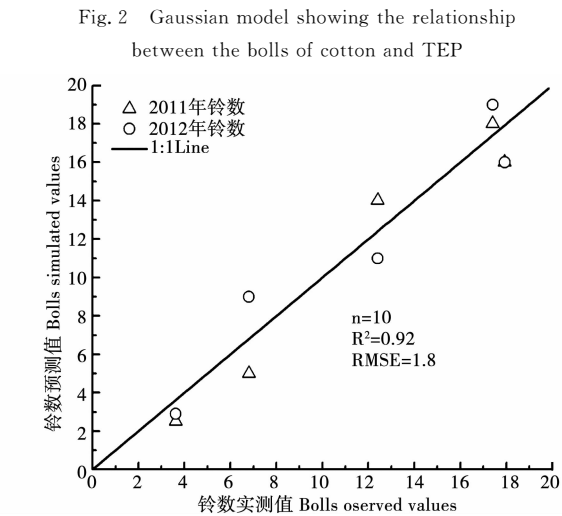


图 3 不同年份棉铃数观测值与模拟值比较

Fig. 3 Comparison between the simulated and observed values for bolls of cotton at

3 结论与讨论

棉花的产量形成最主要的指标为棉铃数,陈

冠文对棉铃发育的温光效应的初步研究中指出在棉铃发育过程中,辐射及热量对棉铃发育具有明显互补作用^[7],因此建立以辐热积为基础棉铃动态生长变化的生长发育模拟模型,能有效预测棉花产量的形成,并指导棉花生长发育种植措施的调整。温度和光照这两个因素在促进棉铃发育过程中,不仅具有同等的作用,而且有互补的作用^[9]。试验结果表明,当适当降低密度水平时,单位面积上更少的棉花却能利用更多的光照和温度资源,最终有利于单株蕾铃数的增加,但过低的密度虽然增加了单株蕾铃数,却没有较大的群体铃数支撑,致使不能达到高产的目标。

光合作用驱动下的作物干物质质量累积动态模拟中常采用 GDD(Growing degree days)和比叶面积法 SLA(Specific leaf area),然而这 2 种方法没有综合考虑光照和温度指标^[9]对作物生物量累积过程的影响。若是量化作物生长过程与温光间的关系,变量辐热积法^[9-11]更能反映作物地上生物量累积动态。同以往光合不同的是,本研究综合了光照与温度对棉花生长发育的影响,从研究结果中不难发现,降低密度条件下,即单位面积上棉花株数减少,不仅有利于棉花个体利用更多的光热资源和养分,使得前期干物质积累的时间增加,而且能减少后期干物质累积时间,有效缩短生育期。通过试验表明,密度调控下,辐热积会对棉花生育期及产量产生影响,同时,棉花群体不同冠层高度的辐射以及温度均有一定差异,因此,若量化不同冠层高度内的辐热积与棉花产量形成的关系,那将对棉花生产管理更具指导意义。本研究的试验是在肥水充足的条件下进行的,试验设置和方法较为粗略,还需要进一步多品种和多点的试验资料来检验,但是,本研究的思路和方法为大

田生产中,建立辐热积与棉花生长发育相关模型提供可靠的理论依据及参考。

棉花产量与累积辐热积之间具有良好的线性关系 $y=a+bx$ 。棉花产量的最终形成的主要指标为棉花铃数的多少,通过高斯模拟模型可以有效预测棉花铃数生长变化,其预测公式为 $y = 17.93\lambda^{\frac{-(1448.36-TEP)^2}{327.79}}$, 决定系数 R^2 为 0.92。

参考文献:

- [1] 张红菊,戴剑锋,罗卫红,等. 温室盆栽一品红生长发育模拟模型[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 241-247.
- [2] 周艳宝,戴剑锋,林禄,等. 水分对日光温室独本菊生长动态影响的模拟[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 176-182.
- [3] 周艳宝,戴剑锋,林禄,等. 水分对日光温室独本菊外观品质影响的模拟[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 204-209.
- [4] 杨再强,罗卫红,陈发棣,等. 温室标准切花菊发育模拟与收获期预测模型研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(6): 1229-1235.

- [5] 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, 22(2): 116-121.
- [6] 李永秀,罗卫红,倪纪恒. 用辐热积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, 21(12): 131-136.
- [7] 陈冠文,余渝. 棉铃发育温光效应的初步研究[J]. 棉花学报, 2001, 13(1): 63-64.
- [8] 马富裕,曹卫星,张立被,等. 棉花生育时期及蕾铃发生发育模拟模型研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4): 626-630.
- [9] 倪纪恒,陈学好,陈春宏,等. 用辐热积法模拟温室黄瓜果实生长[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 192-196.
- [10] 李红军,张立周,陈曦鸣,等. 应用数字图像进行小麦氮素营养诊断中图像分析方法的研究[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(1): 155-159.
- [11] 董鹏,危常州,雷咏雯,等. 基于计算机视觉和土壤 N_{min} 的棉田氮素养分管理系统的建立与验证[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(4): 606-610.

Research on Model of the Growth and Yield of Cotton at Different Plant Densities Base on TEP

JIA Biao¹, WU Yang-huan², LI Jie³, MA Fu-yu³

(1. School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 2. Agricultural Science Institute of Xinjiang Production and Construction Corps Sixth Agricultural Division, Wujiaqu, Xinjiang 831300; 3. College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832002)

Abstract: In order to determine the relationship between cotton yield and thermal effectiveness and photosynthetically active radiation (TEP) at different plant densities. There were three plant density treatments: 240.0×10^3 , 176.0×10^3 , and 82.5×10^3 plants·hm⁻². The number of buds and bolls were measured every 7~10 d during the growing season. Temperatures and photosynthetically active radiation were measured by a weather station during the cotton reproduction period. The results clearly indicated that the yield of cotton for the Lumianyan 24 reached the highest yield 4 306.8 kg·hm⁻² at the plant density of 240×10^3 plants·hm⁻². And the yield of cotton for the Xinluzao 50 reached in the highest yield 4 267.73 kg·hm⁻² at the plant density of 240×10^3 plants·hm⁻². And the relationships between the accumulated TEP and yield of the cotton were best described by the liner function. The best dynamic growth model for the boll of cotton was concluded. The yield of cotton was increased with the increasing of the accumulated TEP. And the bolls of cotton could be predicted by the growth function equation.

Keywords: cotton; thermal effectiveness and photosynthetically active radiation (TEP); yield formation; growth period; Gaussian model

欢迎刊登广告