

# 水稻叶色 RGB 组分与 SPAD 的关系研究

龚刚猛<sup>1</sup>, 杨 珺<sup>2</sup>, 何火娇<sup>2</sup>, 汪丽萍<sup>3</sup>, 杨红云<sup>2</sup>, 姜允志<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>江西农业大学计算机与信息工程学院, 南昌 330045;

<sup>2</sup>江西农业大学软件学院, 南昌 330045;

<sup>3</sup>江西农业大学信息中心, 南昌 330045)

**摘要:**为在计算机上实现水稻叶片颜色的虚拟显示, 建立水稻叶片颜色 R(red) G(green) B(blue) 组分随叶片叶绿素相对含量 SPAD 值动态变化的模拟模型。本研究以生产上推广的‘金优 458’和‘中嘉早 35’ 2 个水稻品种的主茎叶色为研究对象, 分别研究了 2 个水稻品种的叶绿素 SPAD 值随生育进程的动态变化规律和叶色 RGB 组分与 SPAD 值间的关系, 并用 Microsoft Excel 软件进行了曲线拟合。研究结果表明, 2 个不同的水稻品种在返青至抽穗期内, SPAD 值随有效积温的增加而增大, 两者近似线性关系; SPAD 值在 20~50 范围内, 叶片的 RGB 组分与 SPAD 值也呈线性关系, 并由拟合的曲线得到了叶色 R、G、B 与 SPAD 的水稻叶色模拟模型。通过对模型的检验, 其 RMSE 均方根差值分别为 4.56、4.73 和 3.55, 它们之间呈极显著相关性; 表明该模型可以用 SPAD 值的动态变化来描述水稻叶色的变化过程。

**关键词:**水稻主茎叶色; SPAD 值; RGB 组分; 模拟模型

**中图分类号:** S511      **文献标志码:** A      **论文编号:** casb15010229

## The Relationship Between Leaf Color Components RGB and SPAD

Gong Gangmeng<sup>1</sup>, Yang Jun<sup>2</sup>, He Huojiao<sup>2</sup>, Wang Liping<sup>3</sup>, Yang Hongyun<sup>2</sup>, Jiang Yunzhi<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>College of Computer and Information Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045;

<sup>2</sup>College of Software, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045;

<sup>3</sup>Information Center of Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045)

**Abstract:** In order to achieve the virtual display of rice leaf color on the computer, it needs to build the dynamic simulation model of rice leaf color components RGB with chlorophyll content SPAD values. This article mainly discussed about the main stem leaves of two varieties jy458 and zjz35 AS, which were taken as the research objects. It studied the dynamic variation of SPAD values of two rice varieties with the rice growth process and the relationship between RGB and SPAD; then conducted fitting curve with mapping software Microsoft Excel. The results showed that SPAD values of two varieties increased with the effective accumulated temperature, and there was approximate linear relationship between SPAD and the effective accumulated temperature from turning green to heading stage. Leaf components RGB and SPAD presented linear relationship when SPAD values in the range of 20–50. We obtained the relational model by fitting curve of rice RGB and SPAD values. The model was validated and the average RMSEs were 4.56, 4.73, and 3.55. The results indicate that the present model has highly significant correlation. So the results show the model can

**基金项目:**国家自然科学基金项目“基于生理生态水稻叶色建模及可视化仿真”(61363041), “基于生理生态的虚拟水稻三维动态建模及可视化表达”(60963013); 江西省教育厅科技项目“基于图像处理水稻叶片活体几何参数测量系统的研究”(GJJ11712)。

**第一作者简介:**龚刚猛, 男, 1989 年出生, 江苏徐州人, 硕士研究生, 研究方向: 数据挖掘应用技术。通信地址: 330045 江西省南昌市经济开发区志敏大道 1101 号 江西农业大学, E-mail: 292799268@qq.com。

**通讯作者:**何火娇, 女, 1950 年出生, 江西鄱阳人, 教授, 研究方向: 农业信息技术与计算机应用技术。通信地址: 330045 江西省南昌市经济开发区志敏大道 1101 号 江西农业大学, E-mail: hhojj@sina.com。

**收稿日期:** 2015-01-29, 修回日期: 2015-03-17。

describe dynamically the changing process of rice leaf color.

**Key words:** rice stem leaves; *SPAD* values; *RGB* components; relational model

## 0 引言

水稻叶片是植株的重要器官,也是颜色表现的载体。水稻叶色会随着温度、水肥和光照等因素的影响发生变化。*Ishikura*<sup>[1]</sup>认为,植物叶色的变化是由叶片内3种色素动态变化引起的,这3种色素是叶绿素、类胡萝卜素和花青素,它们分别对应着绿色、黄色和红色。当叶片内的叶绿素含量多于其他色素含量时,叶片呈绿色。因此,在水稻生产上把叶绿素作为衡量叶片颜色的重要生理指标。水稻叶片颜色的变化能反映稻株的代谢类型,叶色偏深,表示稻株体内营养充足,含氮量高,光合产物主要用于新生器官的生长,正在进行扩大型代谢;叶色偏淡,表示稻株体内营养不足,含氮量低,光合产物运往贮藏器官,新生器官生长速度缓慢,转向积累型代谢;叶色带黄,表示稻株代谢功能减弱,生长缓慢,积累减少。叶色的深浅,影响光合作用的强弱,从而也影响到水稻根、茎、叶生长的快慢。因此,有不少学者对水稻叶色进行了研究,如王绍华等<sup>[2]</sup>、唐建军等<sup>[3]</sup>、赵全志等<sup>[4]</sup>、陈静蕊<sup>[5]</sup>、李锦卫<sup>[6]</sup>研究了水稻叶色与氮素营养的关系,陈小龙等<sup>[7]</sup>研究了水稻不同生育期叶绿素含量的测定及其相关性分析,陈晓群等<sup>[8]</sup>、李刚华等<sup>[9]</sup>研究了水稻不同生育期的叶绿素值推荐追施氮量;曾建敏等<sup>[10]</sup>研究了烤烟叶片叶绿素含量的测定及其与 *SPAD* 值的关系。常丽英等<sup>[11]</sup>通过对不同水稻品种和不同水氮处理条件下,建立了水稻叶片颜色随生长度日变化的动态模拟模型。朱艳等<sup>[12]</sup>构建了基于 *SPAD* 的冬小麦叶色变化动态模拟模型。

综上所述,尽管他们研究的目的不同,但都集中在叶绿素含量的研究上。本研究旨在通过试验观测数据,探讨水稻叶片颜色组分 *RGB* 与叶绿素含量 *SPAD* 之间的关系,建立基于 *SPAD* 的水稻叶色模拟模型,为水稻叶色可视化仿真提供基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试品种选用江西省水稻生产上推广的‘金优458’(jy458)和‘中嘉早35’(zjz35)早稻品种。‘金优458’品种属籼型三系杂交水稻,在长江中下游作双季早稻种植。‘中嘉早35’,属籼型常规水稻,在长江中下游作双季早稻种植。试验材料由江西农业大学农学院提供。

### 1.2 试验设计

水稻样本种植分为品种试验和施氮肥试验2种。

每个品种各设计4组不同的氮素水平(*N*1、*N*2、*N*3、*N*4),所用的磷、钾肥按照氮磷钾的比例为2:1:3施用。各处理中,基肥为60%,追肥为40%。水稻试验样本栽培为大田栽培,土壤为水稻土,有机质14.24 g/kg,全氮0.8 g/kg,速氮52.23 mg/kg,速磷8.9 mg/kg,速钾101.84 mg/kg。为便于获取准确的数据,单苗移栽,每个品种和每个施肥处理均设计3个重复,其他栽培技术采用高产栽培技术。

### 1.3 观测方法

本研究以2个水稻品种的主茎叶为研究对象,在秧苗4叶1芯时移栽,移栽返青后分别对2个品种4个不同施氮处理的3个重复试验样本植株进行相关参数的观测。离体测试与活体测试同时进行,离体测试的内容有叶片色素含量*a*和*b*(用分光光度计测试)、叶绿素相对含量 *SPAD* 值(*SPAD*-502 叶绿素仪测试)、叶片数字图像数据(用中晶彩色扫描仪获得)和叶片几何形态等数据(叶长、叶宽、叶面积等);活体测试的内容为 *SPAD* 值、叶片几何形态和水稻整株图像等数据。离体测试在返青和分蘖阶段每2周测试1次,拔节至齐穗期每周测试1次;活体跟踪测量为每3天测试1次。气象数据由学校气象站提供。

### 1.4 模型的检验

为衡量模拟值与真实值之间的偏差,本研究采用国际上通用的标准误差即均方根误差(*RMSE*)对模型进行验证,计算见公式(1)。

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

其中,*OBS<sub>i</sub>*为实测值,*SIM<sub>i</sub>*为模拟值,*n*为样本容量。*RMSE*的值越小表明关系模式模拟的效果越好。如果 *RMSE* 值小于10%,则表明模拟值与真实值符合度很好,10%~20%之间表示较好,若大于30%,则说明模拟效果差。

## 2 结果与分析

水稻叶色在计算机上虚拟显示时常采用 *RGB* 值来表示,通过 *R*、*G*、*B* 三原色的不同比例混合搭配,可混合出各种颜色。因此,要在计算机上显示水稻叶片的颜色随水稻生育进程的动态变化,必须建立2个关系模型,即叶片叶绿素 *SPAD* 值随水稻生育进程动态变化关系模型和叶片 *RGB* 颜色组分随 *SPAD* 值变化的关系模型。

2.1 不同水稻品种的 SPAD 值随生育进程的动态变化

以 2 个水稻品种的 N3 施氮处理为分析样本,叶绿素相对含量 SPAD 值的获取是从植株的第 5 叶至最后的剑叶完全展开为止。将当天测量的植株上所有叶片的 SPAD 值相加,再求其平均值,即为当天相应植株的叶绿素相对含量 SPAD 值。由于温度是水稻生长发育最重要的因素之一,该领域专家<sup>[13-15]</sup>认为,用有效积温判断水稻的生长发育进程远比生育期天数更准确可靠。因此,在建立叶绿素 SPAD 值随生育进程关系模型时,生育进程用有效积温来表示。表 1 为 SPAD 值和有效积温的观测值,将表 1 数据拟合成曲线如图 1 所

示。有效积温 TEP 的计算见公式(2)。

$$TEP = \sum_{i=1}^n \left( \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_b \right) \dots\dots\dots (2)$$

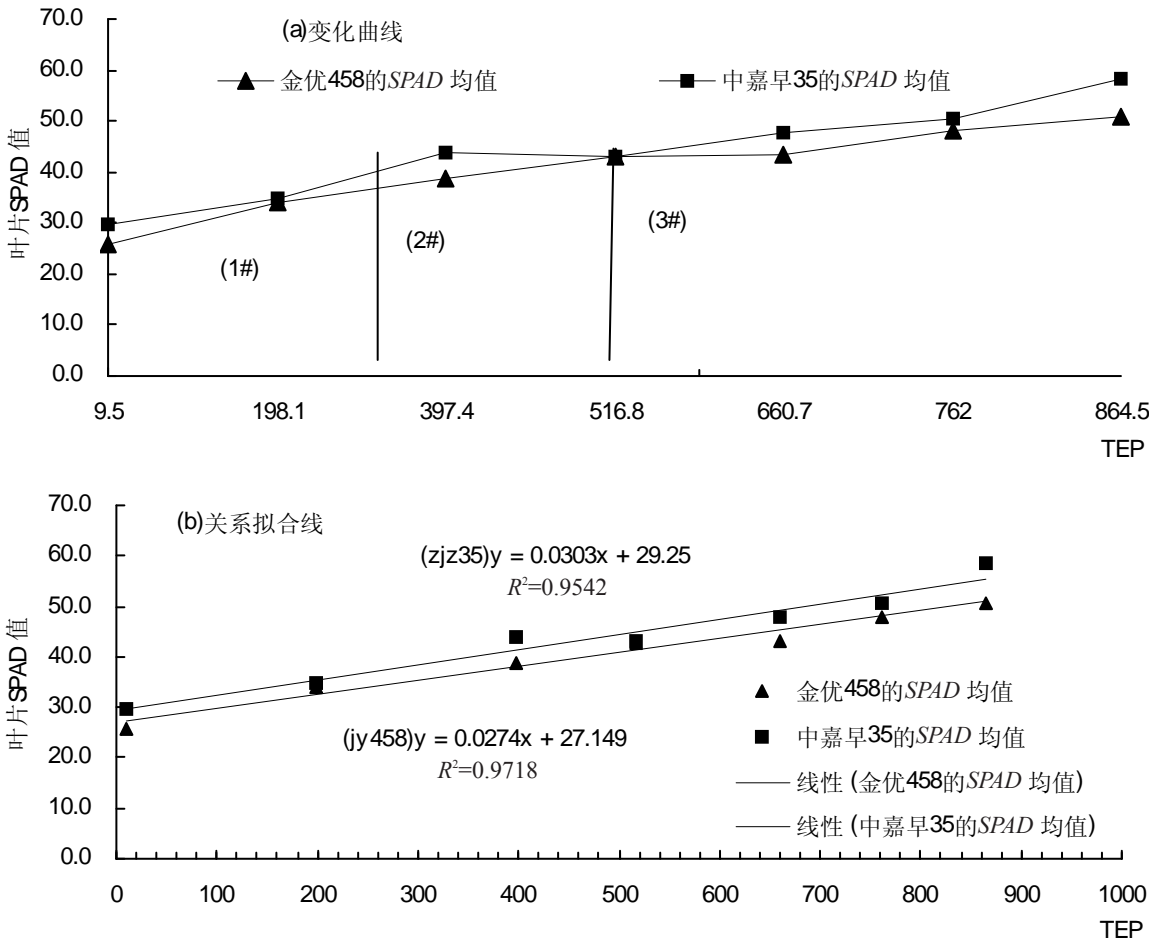
式中 T<sub>max</sub> 为当天的最高温度, T<sub>min</sub> 为当天的最低温度, T<sub>b</sub> 为作物发育基点温度(一般为 10℃)。

由图 1 可见,早稻自返青至抽穗、灌浆生育时期内的叶绿素 SPAD 值基本上是随 TEP 温度的累积而增加。水稻在这几个生育时期中,单叶面积持续增长,至抽穗后期无效分蘖死亡,而单叶面积仍然增加,叶面积达到最大值。叶面积的增大使叶绿体不断增多,叶绿素含量 SPAD 值也就随之增加。图中,‘中嘉早 35’水

表 1 不同水稻品种 SPAD 值与有效积温 TEP 的观测数据

品种	TEP							
	9.5℃	198.1℃	397.4℃	516.8℃	660.7℃	762.0℃	864.5℃	9.5℃
jy458	25.7	34.2	38.6	42.9	43.3	48.0	50.8	25.7
zjz35	29.8	34.9	43.9	43.0	47.7	50.4	58.4	29.8

注:jy458:‘金优 458’水稻品种;zjz35:‘中嘉早 35’水稻品种。



(a)图中(1#)返青分蘖期;(2#)拔节、幼穗期;(3#)抽穗、灌浆期

图 1 不同品种 SPAD 值随有效积温的变化关系图

稻品种在有效积温 400~500℃ 范围内, *SPAD* 值出现稳定现象, ‘金优 458’ 水稻品种的 *SPAD* 值稳定期出现在 500~600℃ 范围内, 这是因为水稻在拔节、幼穗期内处于生育转折阶段, 此时, 水稻的营养生长期和生殖生长期重叠进行, 因此, *SPAD* 值的变化不明显。此后, 2 个品种的 *SPAD* 值在抽穗、灌浆期内又出现一段时间的增长, 这与积温增长快、水稻叶片达到最大数量有关。由图 1(b) 可见, 2 个水稻品种的 *SPAD* 值与积温 *TEP* 的拟合关系模式几乎成平行关系, 拟合曲线的相关性系数  $R^2$  分别为 0.9542, 0.9718, 表明水稻 *SPAD* 值与有效积温 *TEP* 之间具有极显著相关性, 且 2 个品种的 *SPAD* 值随有效积温动态变化规律基本一致。由图 1(b) 拟合的曲线得到单株水稻叶片 *SPAD* 与有效积温 *TEP* 的关系表达式见公式(3)、(4)。

$$Y_j = 0.027 \times TEP + 27.149 (R^2 = 0.9718) \quad \cdots \cdots (3)$$

$$Y_z = 0.0303 \times TEP + 29.25 (R^2 = 0.9542) \quad \cdots \cdots (4)$$

其中,  $Y_j$  为 ‘金优 458’ 品种的 *SPAD* 值,  $Y_z$  为 ‘中嘉早 35’ 品种的 *SPAD* 值。

## 2.2 叶色 RGB 组分与 *SPAD* 之间的关系模型

2.2.1 模型的建立 对 2 个供试品种, 将同时获取的叶绿素 *SPAD* 值与颜色 RGB 组分用 Microsoft Excel 软件进行曲线拟合, 得到 2 个品种的 *SPAD* 与 RGB 的线性关系, 如图 2 所示。

图 2 的变化曲线表明, 2 个水稻品种自返青至抽穗、灌浆生育时期内, 其叶片 RGB 三分量中, 绿色分量最大, 红色分量次之, 蓝色分量最小, 即  $\frac{G}{R+G+B} > \frac{R}{R+G+B} > \frac{B}{R+G+B}$ 。因此, *SPAD* 值自

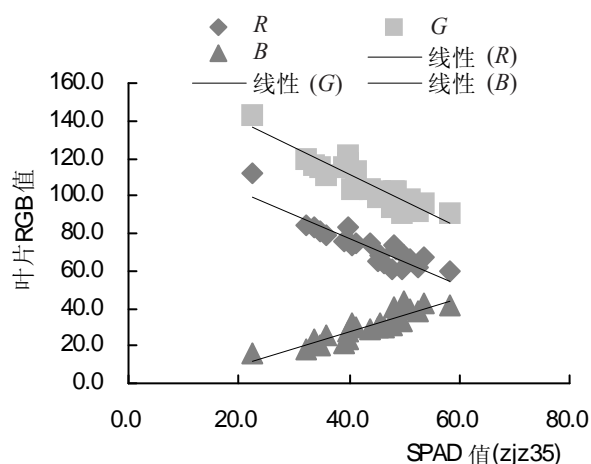
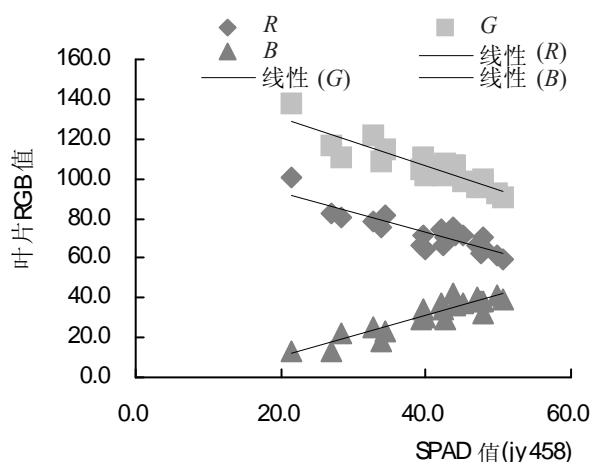


图2 水稻叶色组分 RGB 与 *SPAD* 值之间的线性关系

20~50 的范围内, 绿色分量起主导作用, 叶片显绿色。由图 2 拟合出的曲线得到基于 *SPAD* 的 2 个水稻品种叶色 RGB 值的模拟模型, 可用公式计算见公式(5)、(6)、(7)来描述。

$$R = -1.124 \times SPAD + 120.1112 (R^2 = 0.7865) \quad \cdots (5)$$

$$G = -1.316 \times SPAD + 161.4882 (R^2 = 0.8327) \quad \cdots (6)$$

$$B = 0.975 \times SPAD - 9.8970 (R^2 = 0.8395) \quad \cdots \cdots (7)$$

2.2.2 模型的检验 利用 2 个水稻叶片 *SPAD* 的实测值代入(5)、(6)、(7)中, 分别求出对应的 RGB 的模拟值, 得到 RMSE 均方根差值分别为 4.56, 4.73、3.55。进一步将 RGB 的观测值与模拟值做出 1:1 的关系图, 如图 3 所示, 其中直线  $y=x$  是理想化数值的曲线。图 3 显示叶片 RGB 的实测值与模拟值之间具有较好的一致性。检验的结果说明, 该模型可以较好的模拟水稻叶色随叶绿素 *SPAD* 含量的变化而改变。

## 3 结论与讨论

根据实测数据定量分析了 2 个供试水稻品种的叶片颜色特征值 RGB 组分与叶片叶绿素相对含量 *SPAD* 值间的关系, 并用 Microsoft Excel 软件对它们进行了曲线拟合, 建立了 *SPAD* 值与有效积温、RGB 颜色组分值与 *SPAD* 值的 2 个关系模型。图 2 的 RGB 颜色组分值与 *SPAD* 值关系模型, 表明了 RGB 颜色组分中, 绿色分量(G)大于红色(R)与蓝色(B)分量, 并可用公式(5)、(6)、(7)来描述。通过模型检验, 模拟值与真实值的一致性较好。研究结果符合水稻叶片叶色变化规律, 即水稻在移栽返青至抽穗、灌浆初期的这几个生育时期, 水稻叶片的叶色呈绿色。因此, 该模型能够较好的模拟水稻叶色随生育进程的动态变化规律, 并能够为虚拟水稻的叶色显示提供理论基础。

对于水稻叶色的研究有较多的文献报道, 但它们



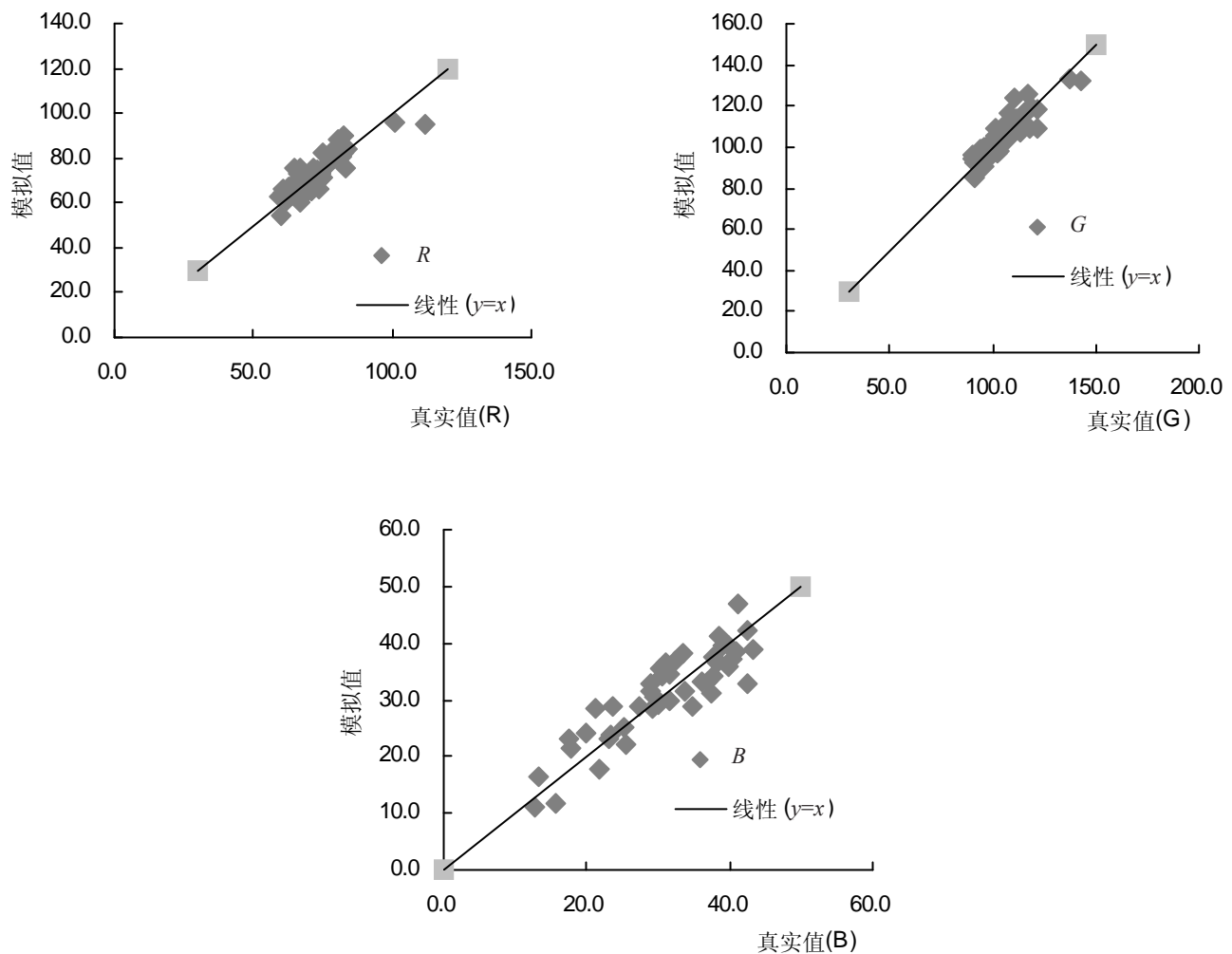


图3 水稻叶片叶色组分RGB的实测值与模拟值的比较

都是研究水稻叶片颜色与叶片含氮量的关系,为科学施氮提供理论依据。本研究主要是分析水稻自移栽到抽穗初期的这几个生育阶段,针对叶色的变化,分析叶色特征值RGB三分量与之相对应的SPAD值的定量关系,建立关系模型,为在计算机上反演虚拟水稻叶色变化规律提供基础。准确的获取水稻试验样本相关数据是建模的关键,由于水稻样本栽培试验是大田作业,研究数据来源于大田实测数据,因此,试验中应尽可能减少人为的影响,使数据更可靠,模型更精确。本研究的水稻叶色特征值是利用彩色扫描仪获取的,然后利用专业软件编程进行计算和提取RGB各分量颜色值,仅对水稻叶片的正面进行扫描,而没有对稻叶的反面进行扫描,这主要是从水稻生产的实际出发,水稻生产中的“看叶诊断”一般都是以水稻叶的正面颜色为参考色,所以,忽略了稻叶反面的颜色特征值的研究。水稻叶片颜色的变化受栽培条件和自然环境的影响较大,

因此,实际的水稻叶色模型必须要有水、肥和光照等参数,模型的描述应该覆盖水稻生育全过程,这是今后进一步研究的重要内容。

### 参考文献

- [1] Ishikura N. Physiology of autumn coloring[J]. Plants and Nature, 1979,13(11):32-35.
- [2] 王绍华,曹卫星,王强盛,等.水稻叶色分布特点与氮素营养诊断[J]. 中国农业科学,2002,35(12):1461-1466.
- [3] 唐建军,何火娇,彭莹琼,等.水稻不同叶位叶色信息与叶片含氮量的关系研究[J].江西农业大学学报,2014,36(2):261-264.
- [4] 赵全志,丁艳锋,王强盛,等.水稻叶色变化与氮素吸收的关系[J].中国农业科学,2006,39(5):916-921.
- [5] 陈静蕊.水稻叶色变化的生理机制及其氮素调控研究[D].郑州:河南农业大学,2008:5.
- [6] 李锦卫.基于计算机视觉的水稻、油菜叶色—氮营养诊断机理与建模[D].长沙:湖南农业大学,2010.
- [7] 陈小龙,陈灿,周莉.水稻不同生育期叶绿素含量的测定及其相关

- 性分析[J].现代农业科技,2010(17):42-44,52.
- [8] 陈晓群,张学军,白建忠,等.基于水稻不同生育期叶绿素值推荐追肥量的研究初报[J].中国农学通报,2010,26(7):147-151.
- [9] 李刚华,丁艳锋,薛利红,等.利用叶绿素计(SPAD-502)诊断水稻氮素营养和推荐追肥的研究进展[J].植物营养与肥料学报,2005,11(3):412-416.
- [10] 曾建敏,姚恒,李天福,等.烤烟叶片叶绿素含量的测定及期与 SPAD 值的关系[J].分子植物育种,2009(1):56-61.
- [11] 常丽英,张文字,张玉屏,等.水稻叶色变化动态的模拟模型研究[J].作物学报,2007,33(7):1108-1115.
- [12] 朱艳,刘小军,谭子辉,等.冬小麦叶色动态的量化研究[J].中国农业科学,2008,41(11):3851-3857.
- [13] 符策强,吴清海,陈赞鹏.有效积温在杂交稻春季制种中的应用研究[J].西南农业大学学报:自然科学版,1996,18(5):470-475.
- [14] 薛大伟,方茂庭,钱前.有效积温在水稻生产中的应用[J].中国稻米,2004(4):47-48.
- [15] 刘文祥.水稻生育期与积温的关系[EB/OL].中国农业推广网,<http://www.farmers.org.cn/Article,2012-12-25>.