

# 番茄叶片 SPAD 值与叶绿素含量的相关性分析

王 薇<sup>1</sup>, 宋廷宇<sup>1</sup>, 王 艳<sup>1</sup>, 董晓涛<sup>2</sup>, 柴 晶<sup>1</sup>, 薛 英<sup>3</sup>

(1. 吉林农业大学 园艺学院, 吉林 长春 130118; 2. 辽宁农业职业技术学院, 辽宁 营口 115009; 3. 吉林农业大学 档案馆, 吉林 长春 130118)

**摘 要:**以“粉艳红”和“日本硬星”2 个不同类型的番茄品种叶片为试材, 分别采用 SPAD-502 叶绿素仪与分光光度法测定 2 个品种番茄叶片的 SPAD 值、叶绿素含量, 分析其相关性并建立拟合方程。结果表明: 2 种番茄叶片的 SPAD 值与叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量的相关性均为极显著。就 SPAD 与叶绿素 a 的相关性而言, “粉艳红”的最优函数模型为  $y=0.0005x^{1.9829}$  ( $r=0.902^{**}$ ), “日本硬星”的最优函数模型为  $y=0.0204x+0.059$  ( $r=0.669^{**}$ ); 就 SPAD 值与叶绿素 b 的相关性而言, “粉艳红”的最优函数模型为  $y=0.0883e^{0.0403}$  ( $r=0.758^{**}$ ), “日本硬星”的最优函数模型为  $y=0.2738e^{0.0144x}$  ( $r=0.635^{**}$ ); 就 SPAD 值与总叶绿素含量的相关性而言, “粉艳红”的最优函数模型为  $y=0.2202e^{0.0414x}$  ( $r=0.870^{**}$ ), “日本硬星”的最优函数模型为  $y=0.0279x+0.2453$  ( $r=0.720^{**}$ )。

**关键词:**番茄叶片; SPAD 值; 叶绿素含量; 相关性

**中图分类号:**S 641.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)23-0012-04

叶绿素作为绿色植物进行光合作用的基础物质, 其含量直接影响叶片光能利用率的高低。因此研究植物叶片的叶绿素含量意义重大<sup>[1]</sup>。目前一般采用分光光度计法测定叶绿素的相对含量<sup>[2]</sup>, 但此法复杂、费时, 取样时对植株有损伤, 应用上受到了一定的限制。而手持便携式叶绿素仪 SPAD-502 (Minolta Co., Japan) 提供了一个极好的方法来快速、非破坏性地估测叶绿素的水平<sup>[3]</sup>。开发 SPAD 叶绿素仪的初衷是用来测定叶片的叶色, 其原理是 2 个发光二极管向叶片的某一部位发射红光和红外光, 利用 2 个波长下的光密度差别测量叶绿素相对含量, 光线透过叶片被接收器接收后转换成电信号, 再经放大和微处理器转换成 SPAD 值在液晶屏幕上显示出来<sup>[4]</sup>。使用 SPAD-502 叶绿素仪测定植物叶片叶绿素含量, 简单省时, 不破坏植物叶片, 测定不受时间、气候等条件限制, 在作物上应用广泛, 近年来逐步被科研工作所采用<sup>[5]</sup>。大量研究表明, 叶片叶绿素含量与叶绿素仪所测定的 SPAD 值有良好的一致性<sup>[6-8]</sup>。

该试验以番茄叶片为材料, 用最大相关系数研究了叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量及 SPAD 值的最佳数学模型关系, 旨在为 SPAD-502 叶绿素仪测定法估计番

茄叶片叶绿素含量提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

于 2012 年 6 月在吉林农业大学温室基地选取“粉艳红”和“日本硬星”2 个不同类型的番茄品种, 各品种取无病虫害、无生理病斑、无机械损伤的样本 30 片叶片为供试材料。

### 1.2 试验方法

1.2.1 SPAD 值的测定 在田间直接用 SPAD-502 叶绿素仪测定, 每片叶测量 3 个点, 取其平均值。

1.2.2 叶绿素含量的测定 将叶绿素仪测定后的对应叶片摘下, 迅速放入装有冰块保鲜袋中, 拿回实验室, 每片叶去掉粗大的叶脉并剪成碎片, 称取 0.3 g, 放在试管中, 加入 10 mL 提取液避光过夜浸提, 提取液为丙酮: 95%乙醇=1:1。第 2 天, 将浸提好的溶液稀释 5 倍, 分别在 665、649、470 nm 下测定其吸光度, 并计算其叶绿素浓度, 进而计算其叶绿素的含量。公式为:  $Ca=13.95 \times D_{665} - 6.88 \times D_{649}$ ;  $Cb=24.96 \times D_{649} - 7.32 \times D_{665}$ ;  $CT=Ca+Cb$  (注:  $Ca$ : 叶绿素 a 的含量;  $Cb$ : 叶绿素 b 的含量;  $CT$ : 总叶绿素的含量); 叶绿体色素含量 (mg/g) = (色素的浓度  $\times$  提取液体积  $\times$  稀释倍数) / 样品鲜重。

### 1.3 数据分析

以 Excel 制作图表, 分别运用乘幂、指数、对数、线性函数对测定结果进行统计分析, 找出最佳的相关函数模型。

**第一作者简介:**王薇(1972-), 女, 博士研究生, 副教授, 现主要从事蔬菜育种与蔬菜高效栽培等研究工作。E-mail: wangwei4513503@163.com。

**基金项目:**长春市科技局科技支撑计划资助项目(长科技合 2011203)。

**收稿日期:**2013-09-13

## 2 结果与分析

### 2.1 SPAD 值与叶绿素含量的测定结果

由表 1 可以看出,随 SPAD 值增加,番茄叶片的总叶绿素含量(CT)大体上呈增加趋势。以“粉艳红”番茄为例,按指数函数分别对叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量进行统计分析,相关趋势见图 1。

表 1 各品种 SPAD 值与叶绿素含量的测定结果

Table 1 The results of the chlorophyll content and SPAD values for all varieties

“粉艳红”“Powder red”					“日本硬星”“Japanese hard star”				
SPAD					SPAD				
编号	值	叶绿素 a	叶绿素 b	总叶绿素	编号	值	叶绿素 a	叶绿素 b	总叶绿素
No.	SPAD	Ca	Cb	CT	No.	SPAD	Ca	Cb	CT
	value					value			
1	54.9	1.359	0.703	2.062	1	41.8	0.993	0.518	1.511
2	51.7	1.325	0.615	1.967	2	43.3	0.999	0.562	1.561
3	50.0	1.207	0.658	1.865	3	42.7	0.965	0.551	1.516
4	48.4	1.200	0.724	1.924	4	41.0	0.924	0.512	1.436
5	45.7	1.100	0.526	1.626	5	44.8	0.945	0.565	1.510
6	43.0	0.900	0.500	1.400	6	44.7	0.851	0.501	1.352
7	41.6	0.700	0.491	1.191	7	50.8	1.177	0.592	1.769
8	52.9	1.150	0.839	1.989	8	45.8	1.019	0.496	1.515
9	48.0	0.891	0.530	1.421	9	47.1	1.092	0.571	1.663
10	49.5	0.920	0.567	1.487	10	44.6	0.881	0.521	1.402
11	42.4	0.700	0.472	1.172	11	43.4	0.983	0.517	1.500
12	50.8	0.975	0.599	1.574	12	46.2	0.891	0.529	1.420
13	47.2	0.921	0.502	1.423	13	42.6	0.955	0.517	1.472
14	50.7	1.196	0.814	2.010	14	44.6	0.874	0.507	1.381
15	41.7	0.690	0.468	1.158	15	43.7	0.936	0.488	1.424
16	46.4	0.893	0.513	1.406	16	45.6	0.991	0.497	1.448
17	45.1	0.950	0.470	1.420	17	39.1	0.896	0.459	1.335
18	45.5	1.050	0.490	1.540	18	41.0	0.876	0.498	1.374
19	49.7	1.011	0.613	1.624	19	44.3	0.985	0.517	1.502
20	45.3	0.813	0.650	1.463	20	46.8	0.972	0.527	1.499
21	54.3	1.361	0.842	2.203	21	46.1	0.972	0.519	1.491
22	45.2	0.809	0.480	1.289	22	41.5	0.895	0.498	1.393
23	49.6	1.125	0.795	1.920	23	40.1	0.837	0.471	1.308
24	52.8	1.354	0.852	2.206	24	44.3	0.980	0.498	1.478
25	48.9	0.984	0.492	1.476	25	46.3	1.027	0.528	1.555
26	41.9	0.840	0.539	1.379	26	45.2	0.931	0.514	1.445
27	51.5	1.013	0.791	1.804	27	48.2	1.093	0.538	1.631
28	47.0	0.803	0.640	1.443	28	43.3	1.009	0.479	1.488
29	50.6	0.917	0.798	1.715	29	43.4	0.998	0.508	1.506
30	42.2	0.859	0.596	1.455	30	43.0	0.899	0.517	1.416

表 2

SPAD 值与叶绿素 a 几种数学模型相关性回归分析

Table 2 Regression analysis of correlations of SPAD values with several mathematical models of chlorophyll a

品种 Variety	线性 $y=ax+b$	对数 $y=a \ln(x)+b$	乘幂 $y=ax^b$	指数 $y=ae^{bx}$
“粉艳红”“Powder red”	$y=0.0419x-1.0014$	$y=1.9747 \ln(x)-6.6291$	$y=0.0005x^{1.9829}$	$y=0.1324e^{0.0419x}$
	$R^2=0.662$	$R^2=0.6536$	$R^2=0.6687$	$R^2=0.6724$
	$r=0.814^{**}$	$r=0.808^{**}$	$r=0.902^{**}$	$r=0.82^{**}$
“日本硬星”“Japanese hard star”	$y=0.0204x+0.059$	$y=0.8916 \ln(x)-2.4148$	$y=0.0325x^{0.8934}$	$y=0.3888e^{0.0204x}$
	$R^2=0.4476$	$R^2=0.43$	$R^2=0.4189$	$R^2=0.4304$
	$r=0.669^{**}$	$r=0.656^{**}$	$r=0.647^{**}$	$r=0.656^{**}$

注:  $r_{0.05}=0.355$ ,  $r_{0.01}=0.456$ , \*\* 表示极显著水平, \* 表示显著水平。以下同。

Note:  $r_{0.05}=0.355$ ,  $r_{0.01}=0.456$ , \*\* means very significant difference, \* means significant difference. The same below.

2.2.2 SPAD 值与叶绿素 b 之间的相关性 由表 3 可知,2 个品种番茄叶片的 SPAD 值  $x$  与叶绿素 b 含量  $y$  之间的相关性均为极显著,其中“粉艳红”的各模型的相关系数普遍大于“日本硬星”的各模型的相关系数,2 个品种番茄叶片的相关系数最大的函数模型都是指数方

从图 1 可以看出,总叶绿素含量与 SPAD 值有很好的相关性,  $R^2=0.746$ ; 叶绿素 b 与 SPAD 值的相关性较差,  $R^2=0.5664$ ; 叶绿素 a 与 SPAD 值间的相关性介于二者之间,  $R^2=0.662$ 。这表明叶绿素 a 与 SPAD 值的相关性优于叶绿素 b 与 SPAD 值的相关性,且材料体内的叶绿素 a 含量远高于叶绿素 b 含量。由于 SPAD-502 型叶绿素计测定原理是以 660 nm 左右固定波长测定叶绿素的含量,叶绿素 a 的吸收峰为 662 nm,与之非常接近;而叶绿素 b 的吸收峰在 644 nm,与 660 nm 相差较远,所以,叶绿素 b 与 SPAD 值的相关性要差一些。

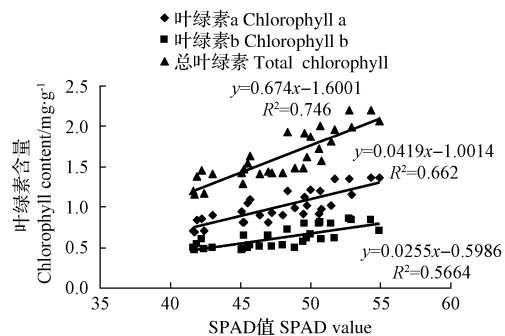


图 1 “粉艳红”番茄叶绿素含量与 SPAD 值的相关性

Fig. 1 Correlation of SPAD values and chlorophyll content in ‘Powder red’ leaves

2.2 SPAD 值与叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量的相关性分析

2.2.1 SPAD 值与叶绿素 a 之间的相关性 由表 2 可知,2 个品种番茄叶片的 SPAD 值  $x$  与叶绿素 a 含量  $y$  (mg/g, 下同) 之间的相关性均为差异极显著,其中“粉艳红”品种的各模型的相关系数普遍大于“日本硬星”品种的各模型的相关系数,2 个品种番茄叶片相关性最大的函数关系模型也各有不同。“粉艳红”相关性最好的函数模型是乘幂方程  $y=0.0005x^{1.9829}$  ( $r=0.902^{**}$ ); 而“日本硬星”相关性最好的函数模型是线性方程  $y=0.0204x+0.059$  ( $r=0.669^{**}$ )。

程。其中“粉艳红”的函数模型是  $y=0.0883e^{0.0403x}$  ( $r=0.758^{**}$ ),“日本硬星”的函数模型是  $y=0.2738e^{0.0144x}$  ( $r=0.635^{**}$ )。

2.2.3 SPAD 值与总叶绿素含量之间的相关性 由表 4 可知,2 个品种番茄叶片的 SPAD 值  $x$  与总叶绿素含量

表 3 SPAD 值与叶绿素 b 几种数学模型相关性回归分析

Table 3 Regression analysis of correlations of SPAD values with several mathematical models of chlorophyll b

品种 Variety	线性 $y=ax+b$	对数 $y=a\ln(x)+b$	乘幂 $y=ax^b$	指数 $y=ae^{bx}$
“粉艳红” ‘Powder red’	$y=0.0255x-0.5986$	$y=1.1966\ln(x)-4.0048$	$y=0.0004x^{1.8948}$	$y=0.0883e^{0.0403x}$
	$R^2=0.5664$	$R^2=0.5555$	$R^2=0.5653$	$R^2=0.5751$
	$r=0.753^{**}$	$r=0.745^{**}$	$r=0.752^{**}$	$r=0.758^{**}$
“日本硬星” ‘Japanese hard star’	$y=0.0075x+0.1863$	$y=0.3304\ln(x)-0.7339$	$y=0.0467x^{0.6346}$	$y=0.2738e^{0.0144x}$
	$R^2=0.4014$	$R^2=0.3973$	$R^2=0.4013$	$R^2=0.4038$
	$r=0.634^{**}$	$r=0.630^{**}$	$r=0.633^{**}$	$r=0.635^{**}$

表 4 SPAD 值与总叶绿素含量几种数学模型相关性回归分析

Table 4 Regression analysis of correlations of SPAD value and several mathematical models of total chlorophyll content

品种 Varieties	线性 $y=ax+b$	对数 $y=a\ln(x)+b$	乘幂 $y=ax^b$	指数 $y=ae^{bx}$
“粉艳红” ‘Powder red’	$y=0.0674x-1.6001$	$y=3.1713\ln(x)-10.634$	$y=0.0008x^{1.9544}$	$y=0.2202e^{0.0414x}$
	$R^2=0.746$	$R^2=0.7347$	$R^2=0.7504$	$R^2=0.7575$
	$r=0.864^{**}$	$r=0.857^{**}$	$r=0.866^{**}$	$r=0.870^{**}$
“日本硬星” ‘Japanese hard star’	$y=0.0279x+0.2453$	$y=1.222\ln(x)-3.1487$	$y=0.0701x^{0.8047}$	$y=0.6562e^{0.0183x}$
	$R^2=0.5189$	$R^2=0.5057$	$R^2=0.5012$	$R^2=0.512$
	$r=0.720^{**}$	$r=0.711^{**}$	$r=0.708^{**}$	$r=0.716^{**}$

y 之间的相关性均为极显著,其中“粉艳红”的各模型的相关系数普遍大于“日本硬星”的各模型的相关系数,2 个品种番茄叶片相关性最大的函数关系模型也各有不同。“粉艳红”相关性最好的函数模型是指数方程  $y=0.2202e^{0.0414x}$  ( $r=0.870^{**}$ ),而“日本硬星”相关性最好的函数模型是线性方程  $y=0.0279x+0.2453$  ( $r=0.720^{**}$ )。

### 3 结论与讨论

不同品种番茄叶片的叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素的含量及 SPAD 值都不相同,对 SPAD 值及叶绿素含量间的相关性进行统计分析发现,SPAD 值与叶绿素含量均呈显著正相关,与水稻、小麦、草莓、园林树木、烤烟、无花果等的研究结果相似<sup>[9-11]</sup>。其中,“粉艳红”的 4 种数学模型的相关系数均达到 0.7 以上,叶绿素 a 含量与 SPAD 值的最优函数模型是乘幂方程,叶绿素 b、总叶绿素含量与 SPAD 值的最优函数模型都是指数方程,但计算较复杂,不便于使用。“日本硬星”的 4 种数学模型的相关系数均达到 0.6 以上,叶绿素 a 含量与 SPAD 值的最优函数模型是指数方程,叶绿素 b、总叶绿素含量与 SPAD 值的最优函数模型都是线性方程,计算简单,因此推荐使用。

叶绿素是绿色植物进行光合作用的物质基础,是植物叶片的主要光合色素,叶绿素含量高低是反应植物叶片光合能力及植株健康状态的主要指标。SPAD-502 叶绿素仪是由日本研发的,且在日本习惯用叶色来研究作物的产量、品质以及进行施肥管理,而在中国习惯用叶绿素含量来进行相关研究,这就需要一种能够建立二者

之间相关性的数学模型。该研究建立了 SPAD 值和叶绿素含量之间的数学关系模型,通过田间直接测定就可快速获得番茄叶绿素的含量,避免了实验室复杂的提取及测定工作,同时又避免了对番茄植株的损害,为不同品种番茄叶绿素含量的快速测定提供了新的途径。

### 参考文献

- [1] 中国植物生理学会. 光合作用研究进展[M]. 3 集. 北京: 科学出版社, 1984: 40-42.
- [2] 张宪政. 植物叶绿素含量测定: 丙酮乙醇混合液法[J]. 辽宁农业科学, 1986(3): 26-28.
- [3] 屈卫群, 王绍华, 陈兵林, 等. 棉花主茎叶 SPAD 值与氮素营养诊断研究[J]. 作物学报, 2007, 33(6): 1010-1017.
- [4] Minolta Camera Co. Ltd. Manual for chlorophyll meter SPAD-502[Z]. Japan: Osaka. 1989.
- [5] 陈防, 鲁剑巍. SPAD-502 叶绿素计在作物营养快速诊断上的应用初报[J]. 湖北农业科学, 1996(2): 31-34.
- [6] 艾天成, 李方敏, 周治安. 作物叶片叶绿素含量与 SPAD 值相关性研究[J]. 湖北农学院学报, 2000, 20(1): 6-8.
- [7] 苏云松, 郭华春, 陈伊里. 马铃薯叶片 SPAD 值与叶绿素含量及产量的相关性研究[J]. 西南农业学报, 2007, 20(4): 690-693.
- [8] 王娟, 韩登武, 任岗, 等. SPAD 值与棉花叶绿素和含氮量关系的研究[J]. 新疆农业科学, 2006, 43(3): 167-170.
- [9] 曾建敏, 姚恒, 李天福, 等. 烤烟叶片叶绿素含量的测定及其与 SPAD 值的关系[J]. 分子植物育种, 2009, 7(1): 56-62.
- [10] 李海云, 任秋萍, 孙书娥, 等. 10 种园林树木叶绿素与 SPAD 值相关性研究[J]. 林业科技, 2009, 34(3): 68-70.
- [11] Sibley J L, Eakes D J, Gilliam C H. Foliar SPAD-502 meter values, nitrogen levels, and extractable chlorophyll for red maple selections[J]. Hort Science, 1996, 31(6): 312-475.

## Correlation Analysis on Chlorophyll Content and SPAD Value in Tomato Leaves

WANG Wei<sup>1</sup>, SONG Ting-yu<sup>1</sup>, WANG Yan<sup>1</sup>, DONG Xiao-tao<sup>2</sup>, CHAI Jing<sup>1</sup>, XUE Ying<sup>3</sup>

(1. College of Horticulture, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118; 2. Liaoning Agricultural College, Yingkou, Liaoning 115009; 3. Archives of Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118)

# 干旱胁迫对樱桃番茄幼苗叶片生长特性的影响

梁蕊芳<sup>1</sup>, 康利平<sup>2</sup>, 徐 龙<sup>1</sup>, 张 禄<sup>3</sup>

(1. 包头轻工职业技术学院, 内蒙古 包头 014035; 2. 呼和浩特职业学院, 内蒙古 呼和浩特 010051;

3. 内蒙古广播电视大学, 内蒙古 呼和浩特 010051)

**摘 要:**以“日本红珍珠”樱桃番茄为试材,对4叶1心期的樱桃番茄幼苗采用自然失水的干旱胁迫处理,研究了干旱胁迫对樱桃番茄叶片生长状况及气孔张开率、叶绿素含量等的影响。结果表明:随着处理植株土壤含水量下降,叶片含水量、叶片长度、叶片宽度、叶面积都出现了下降趋势,且在胁迫4 d后下降速率加快,叶片生长出现明显变慢趋势;气孔张开率也出现持续下降趋势,在胁迫4 d后下降速率加快;叶绿素含量随土壤含水量的降低出现先上升后降低的趋势,高峰出现在胁迫开始后的第8天。

**关键词:**干旱胁迫;樱桃番茄;叶片生长特性

**中图分类号:**S 641.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)23-0015-04

樱桃番茄(*Lycopersicon esculentum* var. *cerasi forme*)属茄科番茄属栽培番茄的一个变种,别名小番茄,又称圣女果,是以成熟多汁浆果为产品的1 a生草本植物<sup>[1-2]</sup>。樱桃番茄起源于南美洲,具有丰富的营养价值,富含维生素C、胡萝卜素、矿物质等营养成分<sup>[3-4]</sup>,具有利尿、保肾等功效;还可降低血压,有预防动脉硬化、脑溢血等功效;此外,还有杀菌、美容、解毒等多种功能<sup>[5]</sup>。因其具有独特的风味、诱人的色泽、低脂肪等特性而深受广大消费者喜爱。樱桃番茄的关键栽培技术也成为蔬菜栽培中的重要课题,对其生物学特性、生长习性的研

究也较多。据刘维侠等<sup>[5]</sup>的报道樱桃番茄生长的适宜空气相对湿度为45%~50%,土壤水分含量应予以适当控制,以满足其半旱性要求。而对土壤水分控制程度的研究,即干旱胁迫的程度,对于樱桃番茄的栽培管理意义重大。现针对樱桃番茄幼苗在干旱胁迫下的叶片特性进行了研究,旨在为樱桃番茄及茄果类蔬菜的抗旱生理研究奠定基础,并为樱桃番茄的栽培管理尤其是水分管理提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试“日本红珍珠”樱桃番茄品种购于广东省韶关市。

### 1.2 试验方法

将樱桃番茄种子于28℃下浸种催芽,待75%种子露白时,播种于装有等量土壤的营养钵中。苗出齐后置

**第一作者简介:**梁蕊芳(1975-),女,博士研究生,讲师,现主要从事生物技术等研究工作。E-mail:liangruifang9323@126.com.

**责任作者:**康利平(1977-),女,博士研究生,副教授,现主要从事蔬菜栽培生理及生物技术等研究工作。E-mail:zhklp@163.com.

**收稿日期:**2013-09-03

**Abstract:** Taking leaves of two kinds of tomato varieties of ‘Powder red’ and ‘Japanese hard star’ as materials, using the SPAD-502 chlorophyll meter and spectrophotometry to determine two kinds of tomato leaf SPAD value and chlorophyll content, their correlation analysis and the fitting equation were established. The results showed that two kinds of tomato leaves, the correlation of SPAD value and the content of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll content were significantly correlated. In terms of the correlation between SPAD and chlorophyll a, optimal function model for ‘Powder red’ was  $y=0.0005x^{1.9829}$  ( $r=0.902^{**}$ ), the optimal function model for ‘Japanese hard star’ as  $y=0.0204x+0.059$  ( $r=0.669^{**}$ ). On the SPAD value and the correlation between chlorophyll b, optimal function model for ‘Powder red’ was  $y=0.0883e^{0.0403x}$  ( $r=0.758^{**}$ ), the optimal function model ‘Japanese hard star’ was  $y=0.2738e^{0.0144x}$  ( $r=0.635^{**}$ ). On the SPAD value and the correlation between total chlorophyll content was concerned, the optimal function model for ‘Powder red’ was  $y=0.2202e^{0.0414x}$  ( $r=0.870^{**}$ ), the optimal function model for ‘Japanese hard star’ as  $y=0.0279x+0.2453$  ( $r=0.720^{**}$ ).

**Key words:** tomato leaf; SPAD value; chlorophyll content; correlation