

文章编号:1003-8701(2014)03-0067-04

西葫芦叶片 SPAD 值与叶绿素含量相关性分析

宋廷宇¹, 吴春燕¹, 常雪^{1,2}, 陈赫楠¹, 王薇¹, 郑丹¹, 李爱梅¹

(1. 吉林农业大学园艺学院, 长春 130118; 2. 松原职业技术学院, 吉林 松原 138005)

摘要:为了探讨西葫芦叶片 SPAD 值与叶绿素含量之间的相关性, 采用 SPAD 叶绿素仪和酒精-丙酮浸提法对西葫芦叶片的叶绿素含量及 SPAD 值进行测定。结果表明 4 种西葫芦叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量与 SPAD 值的相关性均为极显著。就 SPAD 值与叶绿素 a 的相关性而言, 板栗西葫芦的最佳数学模型为 $y=0.8252e^{0.0109x}$ ($r=0.8057^{**}$), 盛玉 306 的最佳数学模型为 $y=0.2719e^{0.0344x}$ ($r=0.8854^{**}$); 丰抗早的最佳数学模型为 $y=0.6186e^{0.0173x}$ ($r=0.7831^{**}$); 香蕉西葫芦的最佳数学模型为 $y=0.9181 \ln(x) - 2.1481$ ($r=0.7901^{**}$)。就 SPAD 值与叶绿素 b 的相关性而言, 板栗西葫芦的最佳数学模型为 $y=0.6069e^{0.0081x}$ ($r=0.7845^{**}$); 盛玉 306 的最佳数学模型为 $y=0.6069e^{0.0081x}$ ($r=0.6473^{**}$); 丰抗早的最佳数学模型为 $y=0.4712e^{0.0129x}$ ($r=0.7868^{**}$); 香蕉西葫芦的最佳数学模型为 $y=0.7384 \ln(x) - 1.8869$ ($r=0.8357^{**}$)。就 SPAD 值与叶绿素总含量的相关性而言, 板栗西葫芦的最佳数学模型为 $y=1.4989e^{0.009x}$ ($r=0.8095^{**}$); 盛玉 306 的最佳数学模型为 $y=0.5225e^{0.0309x}$ ($r=0.8200^{**}$); 丰抗早的最佳数学模型为 $y=1.0843e^{0.0156x}$ ($r=0.7989^{**}$); 香蕉西葫芦最佳数学模型为对数函数 $y=1.6565 \ln(x) - 4.0349$ ($r=0.8154^{**}$)。

关键词: 西葫芦; 叶绿素含量; SPAD 值; 相关性

中图分类号: S642.6

文献标识码: A

Analysis on Correlation between Leaf SPAD Value and Chlorophyll Content of Squash

SONG Ting-yu¹, WU Chun-yan¹, CHANG Xue^{1,2},

CHEN He-nan¹, WANG Wei¹, ZHENG Dan¹, LI Ai-mei¹

(1. Department of Horticulture, Jilin Agricultural University, Changchun 130118;

2. Songyuan Vocational Technology College, Songyuan 138005, China)

Abstract: To investigate the correlation between leaf SPAD value and chlorophyll content of squash, leaf SPAD value and chlorophyll content were determined by SPAD chlorophyll meter and alcohol-acetone extraction respectively. Results showed that there was extremely significant correlation among chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll content and SPAD value in the four squash varieties. In terms of the correlation between SPAD and chlorophyll a, the optimal mathematical model for 'Banli summer squash', 'Shengyu 306', 'Fengkangzao', and 'Xiangjiao summer squash' was $y = 0.8252 e^{0.0109x}$ ($r = 0.8057^{**}$), $y = 0.2719 e^{0.0344x}$ ($r = 0.8854^{**}$), $y = 0.6186 e^{0.0173x}$ ($r = 0.7831^{**}$), $y = 0.9181 \ln(x) - 2.1481$ ($r = 0.7901^{**}$). In terms of the correlation between SPAD and chlorophyll b, the optimal mathematical model for 'Banli summer squash', 'Shengyu 306', 'Fengkangzao', and 'Xiangjiao summer squash' was $y = 0.6069 e^{0.0081x}$ ($r = 0.7845^{**}$), $y = 0.6069 e^{0.0081x}$ ($r = 0.6473^{**}$), $y = 0.4712 e^{0.0129x}$ ($r = 0.7868^{**}$), $y = 0.7384 \ln(x) - 1.8869$ ($r = 0.8357^{**}$). In terms of the correlation of SPAD value and chlorophyll content of total, the optimal mathematical model for 'Banli summer squash', 'Shengyu 306', 'Fengkangzao', and 'Xiangjiao summer squash' was $y = 1.4989 e^{0.009x}$ ($r = 0.8095^{**}$), $y = 0.5225 e^{0.0309x}$ ($r = 0.8200^{**}$), $y = 1.0843 e^{0.0156x}$ ($r = 0.7989^{**}$), $y = 1.6565 \ln(x) - 4.0349$ ($r = 0.8154^{**}$).

Keywords: Squash; Chlorophyll content; SPAD value; Correlation

收稿日期: 2013-09-04

基金项目: 吉林省财政厅育种项目(201104); 吉林农业大学科研启动基金(201114)

作者简介: 宋廷宇(1977-), 男, 副教授, 博士, 主要从事瓜类蔬菜的育种工作。

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的光能利用率的高低。因此研究植物叶片的叶绿素含量意义重大^[1]。目前一般采用分光光度计法测定叶绿素的相对含量^[2],但此法复杂、费时,取样时对植株有损伤,应用上受到一定的限制。而手持便携式叶绿素计 SPAD-502 提供了一个极好的方法来快速、非破坏性地估计叶绿素的水平^[3]。且测定不受时间、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者所采用^[4-7]。

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^[8-10],本试验以西葫芦叶片为材料,用最大相关系数研究了叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总含量及 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西葫芦叶片叶绿素含量提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试的试验材料为板栗西葫芦、盛玉 306、丰抗早和香蕉西葫芦 4 个品种,2012 年 3 月种植于吉林农业大学园艺学院蔬菜基地。

1.2 测定方法

试验于 2012 年 6 月进行。各取 15 个无病虫害、无生理病斑、无机械损伤的样本叶片。直接用 SPAD-502 叶绿素计测定 SPAD 值,每片叶测量 3 个点,求其平均值。将对应的叶片迅速摘下放入保鲜袋中,带回实验室,通过丙酮乙醇混合液法^[11]测定叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素的含量。

所有数据采用 Excel 2003、DPS7.05 软件进行数据整理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 西葫芦叶片叶绿素含量与 SPAD 值的测定结果

西葫芦各采样植株的叶片叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量和总含量及 SPAD-502 型叶绿素计测得的 SPAD 值见表 1。由表 1 可以看出,叶片 SPAD 值与叶绿素含量的增减趋势大体上保持一致。且各类西葫芦叶片的 SPAD 值差异较大,这也为分析 SPAD 值与叶绿素含量的相关性提供了可能。

2.2 西葫芦叶片 SPAD 值与叶绿素含量的相关性分析

表 1 西葫芦叶片 SPAD 值与叶绿素含量的测定结果

编号	板栗西葫芦				盛玉 306				丰抗早				香蕉西葫芦			
	SPAD	Chl-a	Chl-b	Tchl	SPAD	Chl-a	Chl-b	Tchl	SPAD	Chl-a	Chl-b	Tchl	SPAD	Chl-a	Chl-b	Tchl
1	44.0	1.379	0.893	2.272	48.4	1.439	0.875	2.314	49.9	1.587	0.947	2.534	50.5	1.478	1.019	2.497
2	44.6	1.276	0.872	2.148	43.2	1.247	0.805	2.052	48.7	1.426	0.903	2.329	48.3	1.374	0.973	2.347
3	40.0	1.260	0.802	2.062	41.9	1.144	0.706	1.850	42.7	1.283	0.834	2.117	45.9	1.224	0.842	2.066
4	33.1	1.226	0.794	2.020	49.4	1.536	0.974	2.510	42.1	1.275	0.809	2.084	58.5	1.579	1.089	2.668
5	34.8	1.236	0.818	2.054	46.1	1.283	0.850	2.133	43.0	1.523	0.887	2.410	52.8	1.521	1.038	2.559
6	43.2	1.323	0.886	2.209	47.4	1.418	0.827	2.245	38.7	1.223	0.784	2.007	43.1	1.389	0.941	2.330
7	46.7	1.317	0.916	2.233	48.7	1.574	1.049	2.623	46.1	1.341	0.839	2.180	50.8	1.539	1.079	2.618
8	40.5	1.232	0.857	2.089	43.7	1.276	0.840	2.116	38.9	1.190	0.771	1.961	51.0	1.483	1.031	2.514
9	41.3	1.247	0.845	2.092	44.7	1.295	0.872	2.167	46.1	1.321	0.846	2.167	53.5	1.543	1.083	2.626
10	49.1	1.490	0.845	2.335	46.9	1.333	0.823	2.156	39.1	1.231	0.774	2.005	51.3	1.486	1.056	2.542
11	46.7	1.309	0.893	2.202	47.4	1.404	0.878	2.282	41.9	1.226	0.794	2.020	47.9	1.394	0.949	2.343
12	50.2	1.496	0.928	2.424	46.9	1.273	0.816	2.089	44.5	1.298	0.818	2.116	56.0	1.465	1.054	2.519
13	40.3	1.274	0.804	2.078	51.0	1.583	0.930	2.513	48.5	1.395	0.892	2.287	56.3	1.572	1.100	2.672
14	43.9	1.371	0.884	2.255	50.1	1.549	0.897	2.446	48.5	1.379	0.800	2.179	50.0	1.427	0.992	2.419
15	43.3	1.369	0.863	2.232	47.2	1.240	0.727	1.967	40.5	1.213	0.781	1.994	48.2	1.398	0.957	2.355

分别运用乘幂、指数、对数、线性函数对 4 种西葫芦叶片的测定结果进行统计分析,对比各品种西葫芦 SPAD 值与叶绿素含量的相关性,并得出每个品种的叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量的最佳函数模型,结果见表 2、表 3 及表 4。

2.2.1 西葫芦叶片 SPAD 值与叶绿素 a 之间的相关性

由表 2 分析可知,4 个西葫芦品种中叶片 SPAD 值 x 和叶绿素 a 含量 y(单位: mg /g,下同)之间的相关性均为极显著,且盛玉 306 的各个模

型的相关性系数普遍大于其他三个品种的各个模型的相关系数。对板栗西葫芦、盛玉 306、丰抗旱这 3 个品种进行曲线拟合,发现这 3 个品种相关性最大的函数模型都是指数方程,其中板栗西葫芦的最优函数模型是 $y = 0.8252e^{0.0109x}$ ($r=0.8057^{**}$); 盛玉 306 的最优函数模型是 $y=0.2719e^{0.0344x}$ ($r=0.8854^{**}$); 丰抗旱的最优函数模

型是 $y=0.6186e^{0.0173x}$ ($r=0.7831^{**}$)。对香蕉西葫芦叶片中 SPAD 值和叶绿素 a 含量进行曲线估计和相关性分析(表 2)发现 4 种方程进行曲线拟合时相关性都达到了极显著水平,其中,对数方程的相关系数高于直线方程、指数方程和乘幂方程的相关系数。因此,香蕉西葫芦叶片 SPAD 值和叶绿素 a 含量相关性最好的函数模型是对数方程

表 2 SPAD 值与叶绿素 a 几种数学模型相关性分析

品种	线性 $y=ax+b$	对数 $y=a \ln(x)+b$	指数 $y=ae^{bx}$	乘幂 $y=ax^b$
板栗西葫芦	$y = 0.0147x + 0.6919$	$y = 0.5866 \ln(x) - 0.8797$	$y = 0.8252e^{0.0109x}$	$y = 0.2551x^{0.4379}$
	$R^2 = 0.6389$	$R^2 = 0.6015$	$R^2 = 0.6492$	$R^2 = 0.6136$
	$r=0.7993^{**}$	$r=0.7756^{**}$	$r=0.8057^{**}$	$r=0.7833^{**}$
盛玉 306	$y = 0.0473x - 0.8428$	$y = 2.1743 \ln(x) - 6.9891$	$y = 0.2719e^{0.0344x}$	$y = 0.0031x^{1.5863}$
	$R^2 = 0.7770$	$R^2 = 0.7668$	$R^2 = 0.7840$	$R^2 = 0.7757$
	$r=0.8815^{**}$	$r=0.8757^{**}$	$r=0.8854^{**}$	$r=0.8807^{**}$
丰抗旱	$y = 0.0232x + 0.3098$	$y = 1.0135 \ln(x) - 2.5027$	$y = 0.6186e^{0.0173x}$	$y = 0.0755x^{0.7578}$
	$R^2 = 0.5866$	$R^2 = 0.5823$	$R^2 = 0.6132$	$R^2 = 0.6099$
	$r=0.7659^{**}$	$r=0.7631^{**}$	$r=0.7831^{**}$	$r=0.7810^{**}$
香蕉西葫芦	$y = 0.0181x + 0.5373$	$y = 0.9181 \ln(x) - 2.1481$	$y = 0.7661 e^{0.0126x}$	$y = 0.1177x^{0.6402}$
	$R^2 = 0.6223$	$R^2 = 0.6242$	$R^2 = 0.6019$	$R^2 = 0.6048$
	$r=0.7889^{**}$	$r=0.7901^{**}$	$r=0.7758^{**}$	$r=0.7777^{**}$

注 $n = 15, r_{0.05}=0.497, r_{0.01}=0.623$ 。* 表示显著水平, ** 表示极显著水平,下同

$y=0.9181 \ln(x)-2.1481$ ($r=0.7901^{**}$)。

2.2.2 西葫芦叶片 SPAD 值与叶绿素 b 之间的相关性

由表 3 可以看出,4 种西葫芦的叶片叶绿素 b 含量与 SPAD 值的相关性都达到极显著水平,其中,香蕉西葫芦的各个模型的相关性系数最大,盛玉 306 的各个模型相关性系数最小。其中,板栗西葫芦、盛玉 306、丰抗旱 3 个品种的最优函数模型都是指数方程。其最优函数模型分别为 $y=0.6069e^{0.0081x}$

($r = 0.7845^{**}$)、 $y = 0.6069e^{0.0081x}$ ($r = 0.6473^{**}$)、 $y = 0.4712 e^{0.0129x}$ ($r=0.7868^{**}$)。对香蕉西葫芦叶片中 SPAD 值和叶绿素 b 含量进行曲线估计和相关性分析(表 3),发现指数方程拟合时 $r=0.8195$,明显低于其他 3 种函数模型的相关系数,而对数方程的 $r=0.8357$,比直线方程和乘幂方程的 r 值略高。因此,香蕉西葫芦叶片 SPAD 值和叶绿素 b 含量的最优函数模型是对数方程 $y=0.7384 \ln(x) - 1.8869$ ($r=0.8357^{**}$)。

表 3 SPAD 值与叶绿素 b 几种数学模型相关性分析

品种	线性 $y=ax+b$	对数 $y=a \ln(x)+b$	指数 $y=ae^{bx}$	乘幂 $y=ax^b$
板栗西葫芦	$y = 0.0069x + 0.5632$	$y = 0.2852 \ln(x) - 0.2094$	$y = 0.6069e^{0.0081x}$	$y = 0.2454x^{0.3341}$
	$R^2 = 0.6136$	$R^2 = 0.6117$	$R^2 = 0.6154$	$R^2 = 0.6149$
	$r=0.7833^{**}$	$r=0.7821^{**}$	$r=0.7845^{**}$	$r=0.7842^{**}$
盛玉 306	$y = 0.0214x - 0.1455$	$y = 0.9896 \ln(x) - 2.9478$	$y = 0.2633 e^{0.0251x}$	$y = 0.0098x^{1.1614}$
	$R^2 = 0.4109$	$R^2 = 0.4095$	$R^2 = 0.4190$	$R^2 = 0.4185$
	$r=0.6410^{**}$	$r=0.6399^{**}$	$r=0.6473^{**}$	$r=0.6469^{**}$
丰抗旱	$y = 0.0109x + 0.3543$	$y = 0.4764 \ln(x) - 0.9685$	$y = 0.4712 e^{0.0129x}$	$y = 0.0979x^{0.5657}$
	$R^2 = 0.6117$	$R^2 = 0.6090$	$R^2 = 0.6190$	$R^2 = 0.6175$
	$r=0.7821^{**}$	$r=0.7804^{**}$	$r=0.7868^{**}$	$r=0.7858^{**}$
香蕉西葫芦	$y = 0.0145x + 0.2755$	$y = 0.7384 \ln(x) - 1.8869$	$y = 0.4811 e^{0.0146x}$	$y = 0.0544x^{0.7438}$
	$R^2 = 0.6914$	$R^2 = 0.6984$	$R^2 = 0.6716$	$R^2 = 0.6796$
	$r=0.8315^{**}$	$r=0.8357^{**}$	$r=0.8195^{**}$	$r=0.8244^{**}$

2.2.3 西葫芦叶片 SPAD 值与叶绿素总含量之间的相关性

由表 4 分析可知 4 种西葫芦叶片的 SPAD 值 x 与总叶绿素含量 y(单位:mg/g,下同)之间的相关性都达到极显著水平,且全部相关系数 r 值在 0.78

以上。其中板栗西葫芦、盛玉 306、丰抗旱的最佳数学模型都为指数方程,分别为 $y=1.4989e^{0.009x}$ ($r=0.8095^{**}$)、 $y=0.5225e^{0.0309x}$ ($r=0.8200^{**}$)、 $y=1.0843e^{0.0156x}$ ($r=0.7989^{**}$)。而香蕉西葫芦最佳数学模型为对数函数 $y=1.6565 \ln(x)-4.0349$ ($r=0.8154^{**}$)。

表 4 SPAD 值与叶绿素总含量几种数学模型相关性分析

品种	线性 $y=ax+b$	对数 $y=a\ln(x)+b$	指数 $y=ae^{bx}$	乘幂 $y=ax^b$
板栗西葫芦	$y=0.02x+1.3517$ $R^2=0.6483$ $r=0.8052^{**}$	$y=0.8067 \ln(x)-0.8188$ $R^2=0.6238$ $r=0.7898^{**}$	$y=1.4989e^{0.009x}$ $R^2=0.6553$ $r=0.8095^{**}$	$y=0.5622x^{0.3643}$ $R^2=0.6325$ $r=0.7953^{**}$
盛玉 306	$y=0.0687x-0.9883$ $R^2=0.6658$ $r=0.8160^{**}$	$y=3.1639 \ln(x)-9.9369$ $R^2=0.6591$ $r=0.8118^{**}$	$y=0.5225e^{0.0309x}$ $R^2=0.6724$ $r=0.8200^{**}$	$y=0.0093x^{1.424}$ $R^2=0.6672$ $r=0.8168^{**}$
丰抗旱	$y=0.034x+0.6641$ $R^2=0.6172$ $r=0.7856^{**}$	$y=1.4899 \ln(x)-3.4712$ $R^2=0.6132$ $r=0.7831^{**}$	$y=1.0843e^{0.0156x}$ $R^2=0.6382$ $r=0.7989^{**}$	$y=0.1621x^{0.6844}$ $R^2=0.6354$ $r=0.7971^{**}$
香蕉西葫芦	$y=0.0326x+0.8128$ $R^2=0.6608$ $r=0.8129^{**}$	$y=1.6565 \ln(x)-4.0349$ $R^2=0.6649$ $r=0.8154^{**}$	$y=1.2457e^{0.0134x}$ $R^2=0.6399$ $r=0.7999^{**}$	$y=0.1689x^{0.6827}$ $R^2=0.6450$ $r=0.8031^{**}$

3 结论与讨论

本研究对不同品种的西葫芦叶片的叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素的含量及 SPAD 值的相互关系进行统计分析,发现 SPAD 值与叶绿素含量均呈显著正相关。对于 SPAD 值与叶绿素 a 的相关性、SPAD 值与叶绿素 b 的相关性、SPAD 值与叶绿素总含量的相关性而言,香蕉西葫芦都要用对数方程进行拟合,而另外 3 个品种都用指数方程进行拟合。这可能是因为香蕉西葫芦相对于其他西葫芦品种叶绿素含量、SPAD 值都比较高,其测定值偏向于方程的极限点。

浸提 - 分光光度计比色法测定的叶绿素是绝对含量,而 SPAD - 502 叶绿素仪测定的 SPAD 值是叶色值,即总叶绿素的相对含量,SPAD - 502 叶绿素仪法测定叶绿素含量具有可行性和优越性,相对于浸提 - 分光光度计比色法,这种方法操作简单、省时,且取样时对植株无损伤,测定时不受时间、气候等条件限制,它改善了叶绿素含量的测定方法,弥补了传统的分光光度计测定方法的不足,近年来逐步替代传统方法。目前,SPAD - 502 叶绿素计已经成功地应用于玉米、草莓、棉花、马铃薯、小麦等^[3-12]。本试验通过对西葫芦叶绿素含量和 SPAD 值间的统计分析,发现两者达到显著正相关。于是,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西葫芦叶绿素的含量,避免了实验室复杂的提取及测定工作,同时又避免了对西葫芦植

株的损害,为不同品种西葫芦叶绿素含量的快速测定提供了新的方法。

参考文献:

- [1] 中国植物生理学会. 光合作用研究进展 (第三集) [M]. 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] 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.
- [5] 艾天成, 周治安, 李方敏, 等. 小麦等作物叶绿素速测方法研究[J]. 甘肃农业科技, 2001(4): 16-18.
- [6] 曹树青, 陆 巍, 翟虎渠, 等. 用水稻苗期叶绿素含量相对稳定期估算水稻剑叶光合功能期的方法研究 [J]. 中国水稻科学, 2001, 15(4): 309-313.
- [7] 雷泽湘, 艾天成, 李方敏, 等. 草莓叶片叶绿素含量、含氮量与 SPAD 值间的关系 [J]. 湖北农学院学报, 2001, 21(2): 138-140.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Smeal D, Zhang H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn [J]. Soil Sci. Anal., 1994, 25 (9/10): 1495-1503.
- [12] 李志宏, 刘宏斌, 张福锁. 应用叶绿素仪诊断冬小麦氮素营养状况的研究 [J]. 植物营养与肥科学报, 2003, 9(4): 401-405.