

# 马铃薯叶片叶绿素动态变化及其与产量的相关性

孟祥武<sup>1</sup>, 韩忠才<sup>1,2</sup>, 张胜利<sup>1\*</sup>, 孙静<sup>1</sup>, 徐飞<sup>1</sup>, 许世霖<sup>1</sup>, 郑彬<sup>2</sup>

(1. 吉林省蔬菜花卉科学研究所, 长春 130033; 2. 吉林农业大学园艺学院, 长春 130118)

**摘要:** 本试验对马铃薯生长过程中叶绿素动态变化、SPAD值与叶绿素含量和产量的相关性进行研究, 利用SPAD-502测定仪和乙醇:丙醇混合法提取叶绿素测定马铃薯叶片SPAD值、叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素和产量指标(单株块茎数和单株块茎重)。运用相关回归统计分析等方法建立各指标间相关性的数学模型。试验结果显示:各叶绿素含量变化趋势相似, SPAD值与叶绿素b相关程度最高,  $R^2=0.877$ , 叶绿素b和总叶绿素含量与单株块茎数具有极显著正相关关系。说明通过SPAD值能很好预测叶绿素含量和产量, 为马铃薯育种早期选择提供理论依据。

**关键词:** 马铃薯; 叶绿素; SPAD值; 产量; 相关性

中图分类号: S532

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)03-0079-03

## Dynamic Changes of Chlorophyll in Potato Leaves and Their Correlation with Yield

MENG Xiangwu<sup>1</sup>, HAN Zhongcai<sup>1,2</sup>, ZHANG Shengli<sup>1\*</sup>, SUN Jing<sup>1</sup>, XU Fei<sup>1</sup>, XU Shilin<sup>1</sup>, ZHENG Bin<sup>2</sup>

(1. Jilin Academy of Vegetable and Flower Science, Changchun 130033; 2. College of Horticulture, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

**Abstract:** In this experiment, the relationship between the dynamic change of chlorophyll and SPAD value, chlorophyll content and yield of potato was studied. SPAD value, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and yield index (tuber number per plant and tuber weight per plant) were determined by SPAD-502 tester and ethanol:propa-nol mixture method. The mathematical model of correlation among indexes is established by means of correlation regression statistical analysis. The results showed that the change trend of chlorophyll content was similar, and the correlation between SPAD value and chlorophyll b was the highest,  $R^2=0.877$ . The contents of chlorophyll b and total chlorophyll were significantly positively correlated with the number of tubers per plant. The results showed that the chlorophyll content and yield could be well predicted by SPAD value, which provided a theoretical basis for early selection of potato breeding.

**Key words:** Potato; Chlorophyll; The SPAD value; Yield; Correlation

植物生长过程中通过光合作用可产生90%~95%的干物质,多数农作物产量和品质主要靠叶片的光合作用来形成。因此,如何提高农作物的光能利用率、合成光合产物,从而提高产量和品质是现代农业生产的一个重要问题<sup>[1]</sup>。叶绿素作为光合反应的物质,其含量多少影响光合强弱,因此测定叶片中叶绿素含量是非常必要的<sup>[2]</sup>。

农作物叶片叶绿素含量测量比较麻烦,而且对农作物具有一定的破坏性,近几年手持便携式叶绿素计提供了一个简单、快捷、免损伤的叶绿素测量方法<sup>[3]</sup>。通过对棉花<sup>[4]</sup>、小麦<sup>[5]</sup>、水稻<sup>[6]</sup>、草莓<sup>[7]</sup>、蕹菜<sup>[8]</sup>的大量研究表明此法对农作物没有限制、对生态环境等要求不高,同时,这种无损伤测定结果与化学测定法相比具有显著相关性。

在马铃薯生理育种中,叶片叶绿素含量作为生理指标之一在整个生育期内呈双峰曲线变化,峰值分别出现在马铃薯产量和品质形成的两个关键时期,即块茎形成期和块茎膨大期<sup>[9]</sup>。此时期马铃薯叶片SPAD值与叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素含量呈极显著正相关,同时与单株块茎产量有着良好的正相关关系。因此,可以把SPAD值

收稿日期: 2019-09-11

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20170203005NY、20170412027XH、20191001044XH); 国家现代农业产业技术体系(CARS-09-ES07)

作者简介: 孟祥武(1963-),男,高级农艺师,主要从事蔬菜种质资源搜集、引进与创新利用研究。

通讯作者: 张胜利,女,研究员, E-mail: jlpotato@163.com

作为生理育种的指标,在早期选育出目标品系<sup>[10-11]</sup>。但马铃薯生长发育过程中叶片叶绿素含量的动态变化及其与SPAD值和产量之间的关系还未见报道。本试验以4个马铃薯品种作为试验材料,开展初步探索,以期预测产量和马铃薯遗传育种的早代选择提供一种新的途径。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

2018年4月下旬,在吉林省蔬菜花卉科学研究所内试验地开展本项试验。选取4个吉林省马铃薯主栽品种为试验材料,2个早熟品种为“早大白”和“春薯13号”,2个晚熟品种为“延薯4号”和“东农310”。

### 1.2 试验方法

试验按照随机区组设计,株行距80 cm×30 cm,行长6 m,20株/行,每个小区5行,3次重复。按照不同生育期进行采样测量,产量指标收获时统一测定。利用SPAD测定仪选取生长点下第3

片完全展开的功能叶片顶小叶为测量对象,每个处理选取10株,3次重复。测量结束将此叶片取下放于带有冰袋的取样箱中,带回实验室利用乙醇:丙酮(1:1,v/v)法提取叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素含量进行测定<sup>[12]</sup>。

### 1.3 数据统计与分析

利用Excel 2007软件对试验数据进行标准化处理,并制作叶绿素动态分布图,结合SPSS 19.0软件开展相关回归统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 马铃薯发育过程中叶绿素的动态变化

从图1~图4中可以看出,所有品种的叶绿素(a、b)、总叶绿素含量和SPAD值变化趋势相似,不同品种间差异较大,春薯13号与其他品种相比很明显,尤其是在块茎形成期春薯13号的叶绿素a含量分别低于早大白、东农310和延薯4号36.9%、37.16%和30.74%。

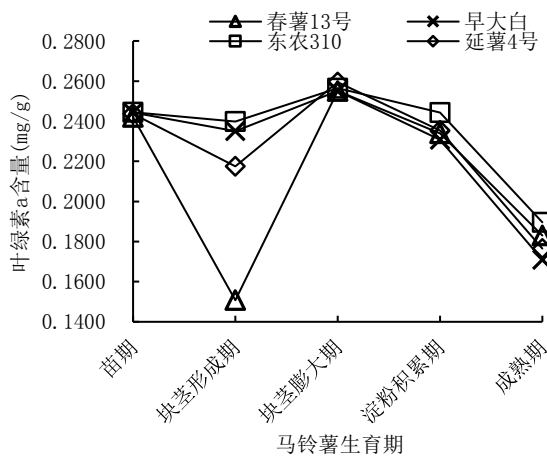


图1 叶绿素a动态变化

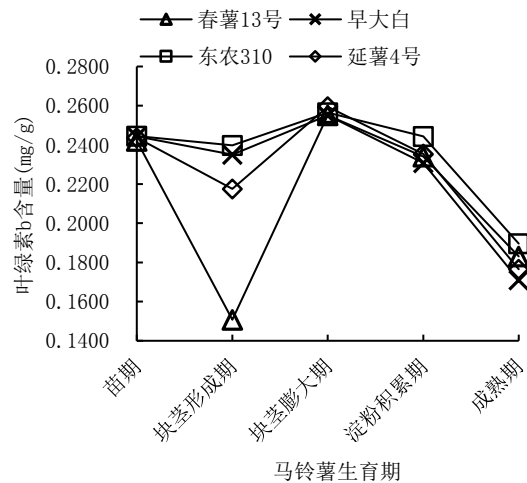


图2 叶绿素b动态变化

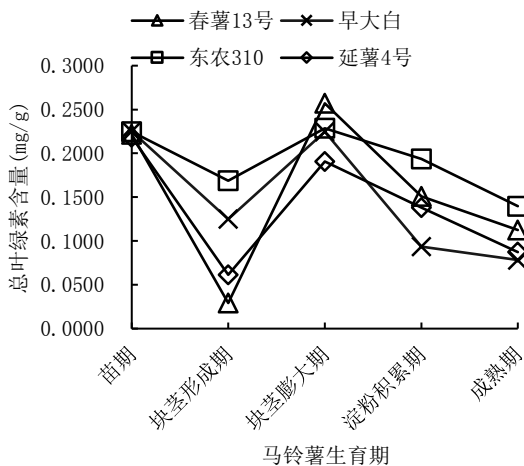


图3 总叶绿素含量动态变化

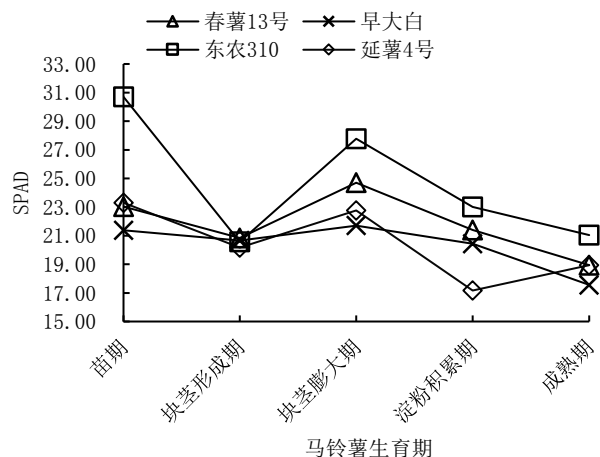


图4 SPAD值动态变化

## 2.2 马铃薯叶片叶绿素含量与 SPAD 值的相关性研究

在块茎膨大期对 4 个品种马铃薯叶片 SPAD 值 X 和叶绿素含量 Y 进行了相关回归统计分析。由图 5 可以看出,马铃薯叶片 SPAD 值与叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量呈显著正相关,叶绿素 b 相关程度最高,  $R^2=0.877$ , 其次为总叶绿素含量, 叶绿素 a 相关程度最低。由此可知, 利用 SPAD 值可以快速了解到马铃薯叶绿素含量。

## 2.3 马铃薯叶片叶绿素含量与产量的相关性

以马铃薯叶片叶绿素含量和 SPAD 值为 X, 以单株块茎数和单株块茎重为 Y 进行相关回归统计分析。除 SPAD 值与马铃薯单株块茎数不相关外, 叶绿素含量与马铃薯单株块茎数呈显著正相关, 其中延薯 4 号总叶绿素含量与其呈极显著正相关, 这也许是品种间差异所产生的结果(表 1)。由表 2 可以看出, SPAD 值和叶绿素 a 含量与单株

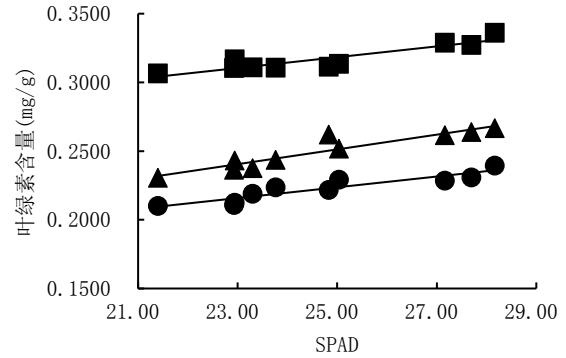


图 5 马铃薯(春薯 13 号)叶片叶绿素含量与 SPAD 值的相关性

■ 叶绿素 a:  $y=0.0039x+0.22$   $R^2=0.8236^{**}$   
 ▲ 叶绿素 b:  $y=0.0054x+0.117$   $R^2=0.877^{**}$   
 ● 总叶绿素:  $y=0.0039x+0.1257$   $R^2=0.8519^{**}$

块茎重均呈显著正相关, 与叶绿素 b 和总叶绿素含量呈极显著正相关。所有品种表现一致。

表 1 马铃薯叶片叶绿素含量与单株块茎数的相关性

品种	SPAD	叶绿素 a	叶绿素 b	总叶绿素
春薯 13 号	$y=43.98x-1.286$ $R^2=0.144$	$y=0.376x-0.008$ $R^2=0.189^*$	$y=0.388x-0.005$ $R^2=0.322^*$	$y=0.267x-0.003$ $R^2=0.208^*$
早大白	$y=5.183x-0.075$ $R^2=0.120$	$y=5.89x-3.564$ $R^2=0.187^*$	$y=6.738x-0.142$ $R^2=0.332^*$	$y=6.753x-0.357$ $R^2=0.326^*$
东农 310	$y=9.931x-0.06$ $R^2=0.302$	$y=8.863x-1.716$ $R^2=0.322^*$	$y=8.288x-0.544$ $R^2=0.327^*$	$y=8.068x-2.054$ $R^2=0.299^*$
延薯 4 号	$y=16.687x-0.065$ $R^2=0.218$	$y=13.354x-8.858$ $R^2=0.245^*$	$y=15.143x-0.841$ $R^2=0.312^*$	$y=15.327x-0.885$ $R^2=0.319^{**}$

注: “\*” “\*\*” 分别表示差异显著 ( $P<0.05$ ) 和差异极显著 ( $P<0.01$ ), 下同

表 2 马铃薯叶片叶绿素含量与单株块茎重的相关性

品种	SPAD	叶绿素 a	叶绿素 b	总叶绿素
春薯 13 号	$y=368.319x-4.2$ $R^2=0.663^*$	$y=435.334x-114.862$ $R^2=0.202^*$	$y=452.911x-25.761$ $R^2=0.226^{**}$	$y=462.753x-19.137$ $R^2=0.302^{**}$
早大白	$y=685.162x-2.534$ $R^2=0.172^*$	$y=629.026x-20.13$ $R^2=0.329^*$	$y=622.513x-41.223$ $R^2=0.199^{**}$	$y=625.412x-54.843$ $R^2=0.191^{**}$
东农 310	$y=486.948x-0.965$ $R^2=0.266^*$	$y=430.013x-141.255$ $R^2=0.283^*$	$y=439.198x-75.892$ $R^2=0.256^{**}$	$y=436.693x-138.752$ $R^2=0.233^{**}$
延薯 4 号	$y=1139.989x-6.673$ $R^2=0.304^*$	$y=896.9x-470.159$ $R^2=0.229^*$	$y=945.07x-226.101$ $R^2=0.383^{**}$	$y=964.139x-281.928$ $R^2=0.316^{**}$

## 3 讨论

马铃薯块茎干物质的 90% 以上是光合作用产生的。因此, 马铃薯产量依赖于光合产物的积累。光合产物的积累与马铃薯叶面积指数、光合速率和光合势等有密切关系。光是光合作用的来源, 促使马铃薯叶片形成叶绿素、叶绿体, 光直接影响着叶片光合速率。SPAD 值可以间接反映作物叶绿素含量及含氮量, 因而可以根据作物生理发育时期叶片的 SPAD 值对产量进行预测<sup>[13]</sup>。

叶片作为马铃薯光合作用的主要器官, 叶绿素含量的多少直接影响着作物营养和生长状况。本研究发现马铃薯块茎膨大期叶绿素含量和 SPAD 值与单株块茎数相关程度依次为: 叶绿素 b > 叶绿素 a > 总叶绿素 > SPAD 值; 与单株块茎重的相关程度依次为: 总叶绿素 > 叶绿素 b > 叶绿素 a > SPAD 值, 本结果与苏云松等<sup>[10]</sup>研究叶绿素 a 相关程度最高的结果有一定差异, 两项研究取样时期分别为块茎膨大期和块茎形成期, 这或许是差异的原因, 但也需进一步进行验证。(下转第 89 页)

- [ 1 ] 苑兆和. 世界蓝莓生产历史与发展趋势[J]. 落叶果树, 2003 (1): 49-52.
- [ 2 ] 王珊珊, 孙爱东, 李淑燕. 蓝莓的保健功能及其开发应用[J]. 中国食物与营养, 2010(6): 17-20.
- [ 3 ] 李亚东, 张志东, 吴林. 蓝莓果实的成分及保健机能[J]. 中国食物与营养, 2002(1): 27-29.
- [ 4 ] 谢兆森, 吴晓春. 蓝莓栽培中土壤改良的研究进展[J]. 北方果树, 2006(1): 1-4.
- [ 5 ] 刘捷, 吴小峰, 刘学平, 等. 蓝浆果的组织培养及离体微繁殖技术研究[J]. 江苏农业科学, 2007, (5): 101-103.
- [ 6 ] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2017: 68-69.
- [ 7 ] 汤飞洋. 4种杜鹃品种的光合特性及其抗旱性研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2016.
- [ 8 ] 孙书伟. 蓝莓组培苗瓶内生根的探讨[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(4): 786-788.
- [ 9 ] 饶宝蓉, 陈泳和, 江文清, 等. 蓝莓夏普蓝组培苗繁殖技术研究[J]. 江西农业学报, 2014, 26(10): 46-49.
- [ 10 ] 宋刚, 徐银, 宋金耀, 等. 蓝莓试管苗不定根的诱导研究[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(6): 89-91.
- [ 11 ] 余宏傲, 王法格, 叶朝军, 等. '薄雾'蓝莓试管苗室内瓶外生根试验[J]. 中国果树, 2017(1): 37-39.
- [ 12 ] 黄国辉, 姚平. 蓝莓组培苗瓶外生根的研究[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(4): 227-228.
- [ 13 ] 程淑云. 蓝莓组培苗瓶外生根技术的研究[J]. 农业科技通讯, 2009(4): 48-50.
- [ 14 ] 王雪娇, 代志国, 高庆玉, 等. 蓝莓组培苗瓶外扦插生根的研究[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(4): 30-32.
- [ 15 ] 宗树斌, 王永平, 顾立新, 等. 激素对蓝莓组培苗瓶外生根的影响[J]. 山东林业科技, 2014(6): 40-42.
- [ 16 ] 陈小民. 外源亚精胺对干旱胁迫下蓝莓生理生化的影响[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2017.
- [ 17 ] 董丽君, 李树和, 张子帆, 等. 不同浓度木醋液对蓝莓生长发育的影响[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(6): 88-89.
- [ 18 ] 马琴国, 王引权, 赵勇. 蒽酮-硫酸比色法测定党参中可溶性糖含量的研究[J]. 甘肃中医学院, 2009, 12(6): 46-48.
- [ 19 ] 牛松, 李树和, 董丽君, 等. 不同营养液配方对蓝莓幼苗生长影响的研究[J]. 天津农学院学报, 2016, 23(3): 43-46.
- [ 20 ] 简大为. 蓝莓阳光蓝组培苗瓶外生根技术研究[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(19): 5011-5012, 5077.
- [ 21 ] 李京, 张妍妍, 张建璞. 蓝莓组培苗瓶外生根技术的优化[J]. 林业科技, 2013, 38(5): 4-6.
- [ 22 ] 黄作喜, 胡东方, 李强, 等. 蓝莓生根培养基的筛选[J]. 内江师范学院学报, 2016, 31(12): 37-40.
- [ 23 ] 张凯, 刘明群, 赵建华, 等. 蓝莓品种都克组培苗瓶内生根培养研究[J]. 中国果树, 2015(1): 49-51.

(责任编辑: 王丝语)

(上接第 81 页)

本研究表明马铃薯叶片 SPAD 值与叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素相关程度与单株块茎重关系密切, 单株块茎数和单株块茎重决定着马铃薯产量。综合以上分析结果可以看出, 可以把 SPAD 值作为生理育种的指标, 在早期选育出目标品系。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 137-141.
- [ 2 ] 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.
- [ 3 ] 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.
- [ 4 ] 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.
- [ 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 ] 程艳, 吴春燕, 张晓旭, 等. 蕹菜叶片 SPAD 值与叶绿素含量的相关性分析[J]. 东北农业科学, 2018, 43(4): 44-47.
- [ 9 ] 张宝林, 高聚林, 刘克礼. 马铃薯在不同密度及施肥处理下叶片叶绿素含量的变化[J]. 中国马铃薯, 2003, 17(3): 137-140.
- [ 10 ] 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]. 2007, 20(4): 690-693.
- [ 11 ] 肖关丽, 郭华春. 不同温光条件下不同马铃薯叶片 SPAD 值变化规定研究[J]. 中国马铃薯, 2007, 21(3): 146-148.
- [ 12 ] 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, 2006(3): 26-28.
- [ 13 ] Scott C Chapman, Hector J Barreto. Using a chlorophyllmeter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth[J]. Agron Journal, 1997, 89: 557-662.

(责任编辑: 王丝语)