

加工番茄早疫病病叶色素含量高光谱估测

尹小君^{①·②}, 赵思峰^③

(① 南京大学地理信息科学系, 南京 210093; ② 石河子大学信息科学与技术学院, 石河子 832000;
③ 石河子大学农学院, 石河子 832000)

摘要:早疫病对加工番茄的产量和品质有较为严重的影响。通过测定不同生育期自然发病的加工番茄早疫病病叶色素含量, 把病片原始光谱反射率、一阶微分光谱反射率的光谱特征参数与相应病叶色素含量进行相关分析, 采用线性和非线性单变量回归技术, 建立色素含量估测模型并检验。研究结果表明: 在传统的光谱特征参数和新建光谱特征参数中, R_{680} 、CCII、PSSR、PSNDc、 FD_{664} 、 $DVI_{[FD686, FD664]}$ 为色素含量敏感光谱特征参数; R_{680} 、CCII、 $DVI_{[FD686, FD664]}$ 的线性单变量估测精度比较高; R_{680} 为变量的对数模型是估测 Chl. a 的最佳模型, $DVI_{[FD686, FD664]}$ 为变量的对数模型是估测 Chl. b 和 Chl. a+b 的最佳模型。通过光谱响应特征对加工番茄早疫病病叶色素含量进行监测, 能够为加工番茄早疫病监测预警和防治提供决策依据。

关键词:加工番茄; 早疫病; 高光谱; 色素含量; 估测

doi: 10. 3969/j. issn. 1000-3177. 2012. 03. 007

中图分类号: TP751 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2012)121-0040-06

Hyperspectral Estimation of Pigment Content of Process Tomato Leaves under Early Blight

YIN Xiao-jun^{①·②}, ZHAO Si-feng^③

(① The Institute of Geography Information, Nanjing University, Nanjing 210093;
② The Institute of Information Science and Engineering, Shihezi University, Shihezi 832000;
③ The Institute of Agriculture, Shihezi University, Shihezi 832000)

Abstract: Process tomato early blight seriously affects the tomato yield and quality of the fruit. It is necessary to determine the leaves pigment content of process tomato early blight which is a natural disease at its different growing stages. Analyzing the correlation between the original spectral reflectance, first order differential spectral reflectance and corresponding pigment content, using the linear and nonlinear single variable regression technology, the pigment content estimation model is established and inspected. The results show that among the traditional and new spectrum feature parameters the R_{680} 、CCII、PSSR、PSNDc、 FD_{664} 、 $DVI_{[FD686, FD664]}$ are sensitive ones. The logarithm model of R_{680} for variable is the best model of estimation Chl. a, the logarithm model of $DVI_{[FD686, FD664]}$ for variable is the best model of estimation Chl. b and Chl. a+b. The inspection R^2 of model is 0. 812、0. 845、0. 830 respectively. RMSE is less than 0. 2. The results of the study show that it is feasible that hyperspectral technology estimates the pigment content of process tomato blight early and it is valuable that hyperspectral remote sensing can monitor the pigment content of crop diseases.

Key words: process tomato; early blight; hyperspectral; pigment content; estimation

收稿日期: 2011-06-21 修订日期: 2011-08-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(30800733)资助。

作者简介: 尹小君(1977~), 女, 博士, 主要从事遥感应用研究。

E-mail: pensesyinxj@163. com

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 引言

加工番茄是中国出口农产品之一,天山北坡加工番茄出口量占全国的三分之一^[1],番茄产业在该地区农业经济结构中占据主导地位。在栽培模式上,天山北坡地区主要采用不搭架、露地大面积连片栽培,导致加工番茄内部温度和湿度升高,易感染早疫病^[1]。当加工番茄受早疫病胁迫时,叶片色素含量下降,将影响加工番茄的光合作用,造成加工番茄的产量和品质下降;由于病叶色素含量的变化会在光谱上发生相应变化^[2~3],可以通过光谱响应特征对加工番茄早疫病病叶色素含量进行监测,从而为加工番茄早疫病防治、番茄长势和估产提供决策依据。

在国内外学者的相关研究中,Haboudane^[4]通过植被指数方法,利用敏感波段建立组合模型,对作物叶绿素含量进行估测;Broge^[5]等的研究表明可见光,尤其是红光对叶绿素有强烈的吸收作用;ZhongPing^[6]等研究了浮游植物色素的高光谱响应,并利用高光谱对浮游植物 Chl. a 和其他色素进行估测;Blackburn^[7]等发现单位重量冠层、单叶色素浓度与原始光谱的微分光谱、反对数光谱呈极显著相关;袁杰^[8]等利用归一化植被指数法,建立了棉花叶绿素密度的回归模型;刘伟东^[9]等研究了水稻叶绿素密度与叶面积指数的相关关系,并且建立了叶绿素密度估测模型;陈兵^[10]等研究了棉花枯萎病色素含量与高光谱的关系;蒋金豹^[11]等研究了小麦条锈病色素含量与原始光谱、一阶微分光谱的相关性,并建立了色素含量估测模型;颜春燕等^[12]利用光谱指数 TCARI 和 OSAVI 组合对冬小麦冠层叶绿素含量进行反演,得到组合模型,适用于冬小麦主要生长期叶绿素含量反演;赵德华等^[13]采集棉花、玉米、大豆、甘薯 4 种作物叶片,分析叶片反射光谱和叶绿素、类胡萝卜素含量的显著相关性,得出单位叶片面积类胡萝卜素总量与光谱反射率间的相关性更为稳定。

2 材料和方法

2.1 试验区域

试验于 2010 年在天山北坡进行,设在农八师 143 团 10 连和 11 连。土壤为壤质灰漠土,有机质含量 $19.2\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $77.3\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $313\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $92\text{mg} / \cdot \text{kg}^{-1}$ 。选用的加工番茄品种为石番 28。

2.2 样本材料的获取

从加工番茄早疫病自然得病后,在大田中采用

S 法进行采样。采集疫病植株从顶部倒数第三层的病叶,所采病叶大小近似相等。病叶严重程度按照受害面积百分比 0% 、 $0\% \sim 10\%$ 、 $10\% \sim 30\%$ 、 $30\% \sim 50\%$ 、 $> 50\%$, 分别设为 0 级、1 级、2 级、3 级、4 级,其中 0 级为健康叶片。采样的时间为 8 月 2 日(果实膨大期)、8 月 20 日(果实膨大期)。加工番茄早疫病病叶 2010 年 8 月 2 日共 48 个样本,0 级 5 个,1 级 13 个,2 级 12 个,3 级 14 个,4 级 4 个,2010 年 8 月 20 日共 40 个样本,0 级 5 个,1 级 13 个,2 级 8 个,3 级 10 个,4 级 4 个。

2.3 高光谱数据采集

采用美国 ASD Field Spec Pro FR2500 便携式光谱仪与 ASD Leaf Clip 测试夹耦合测定。ASD Leaf Clip 测试夹本身带有模拟光源,可在密闭环境下测定,操作稳定,测量误差小。Pro FR 2500 便携式光谱仪有 512 个光谱波段,波段范围为 $350\text{nm} \sim 2500\text{nm}$,采样波段宽在 $350\text{nm} \sim 1000\text{nm}$ 范围为 1.4nm ,在 $1000\text{nm} \sim 2500\text{nm}$ 范围为 2nm 。光谱分辨率在 $350\text{nm} \sim 1000\text{nm}$ 为 3nm , $1000\text{nm} \sim 2500\text{nm}$ 为 10nm 。在加工番茄早疫病病叶左基部、右基部和上中部病害处各测 1 次,每次测定 2 条光谱曲线,每条光谱曲线时间间隔 0.2s ,取平均值作为该叶片的光谱反射值。

2.4 色素含量测定

采用 95%乙醇提取法测定加工番茄早疫病单叶的色素 Chl. a、Chl. b、Cars、Chl. a + b(叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素、叶绿素)含量。在病叶光谱测定位置选取 0.2g 左右叶片,加入 95%乙醇 10ml 于室温下避光静至叶片完全发白,用日本 Shimadzu 公司生产的紫外-可见分光光度计 UV2550 比色,测定 665nm 、 649nm 、 470nm 处的光密度值,利用公式(1~4)计算 Chl. a、Chl. b、Cars、Chl. a + b 含量。

$$\text{chl. a} = 13.95A_{665} - 6.88A_{649} \quad (1)$$

$$\text{chl. b} = 24.96A_{649} - 7.32A_{665} \quad (2)$$

$$\text{cars} = \frac{1000A_{470} - 2.05\text{chl. a} - 114.8\text{chl. b}}{245} \quad (3)$$

$$\text{chl. a} + \text{b} = \text{chl. a} + \text{chl. b} \quad (4)$$

2.5 数据分析方法

利用 Viewspec Program 软件处理得到病叶的光谱反射率值,在前人研究色素含量光谱特征的基础上^[14~18],结合加工番茄病叶敏感波段建立加工番茄早疫病特征参数(表 1)。统计分析采用 Excel2007 和 SPSS17.0 软件进行。

表 1 加工番茄早疫病高光谱特征参数表

参数	定义	参数	定义
R_{550}	550nm 对应的光谱反射率	Dr	红边覆盖 670nm~737nm 内一阶微分波段中最大波段值
R_{680}	680nm 对应的光谱反射率	λ_r	λ_r 是 Dr 对应的波长位置(nm)
$NDVI_{[670,890]}$	$(R_{890} - R_{670}) / (R_{890} + R_{670})$	SDr	红边内一阶微分值总和
$DVI_{[450,560]}$	$R_{560} - R_{450}$	PSSRa	R_{800} / R_{680}
SIPI	$(R_{800} - R_{445}) / (R_{800} + R_{445})$	PSSRb	R_{800} / R_{635}
CCII	TCARI/OSAVI	PSSRc	R_{800} / R_{470}
OSAVI	$(1 + 0.16)(R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.16)$	PSNDa	$(R_{800} - R_{680}) / (R_{800} + R_{680})$
TCARI	$3[(R_{700} - R_{670}) - 0.2(R_{700} - R_{550})(R_{700} / R_{670})]$	PSNDb	$(R_{800} - R_{635}) / (R_{800} + R_{635})$
$PRI_{[570,530]}$	$(R_{570} - R_{530}) / (R_{570} + R_{530})$	PSNdc	$(R_{800} - R_{470}) / (R_{800} + R_{470})$
$PPR_{[550,450]}$	$(R_{550} - R_{450}) / (R_{550} + R_{450})$	Rch	$(R_{640} - R_{673}) / R_{673}$
$NDVI_{[FD686,FD664]}^*$	$(FD_{664} - FD_{686}) / (FD_{664} + FD_{686})$	FD_{664}^*	R_{664} 一阶微分对应的光谱反射率
$DVI_{[FD686,FD664]}^*$	$FD_{664} - FD_{686}$	Rgave	绿峰 552nm~560nm 反射率的平均值
$NDVI_{[601,769]}^*$	$(R_{769} - R_{601}) / (R_{769} + R_{601})$	R_{769}^*	R_{769} 对应的光谱反射率
$DVI_{[601,769]}^*$	$R_{769} - R_{601}$		

* 表示新建光谱特征参数

3 结果与分析

3.1 不同等级病叶光谱特征分析

不同等级病叶光谱反射率的平均值如图 1 所示,可见光波段是电磁波主要的吸收波段,病叶与 0 级相比,绿峰和红谷升高,在近红外的反射平台,不同等级光谱反射率表现最为明显,红肩随着病害的严重而变缓,在水分的吸收带 1400nm、1900nm 周围随着病情加重反射率升高。不同等级病叶光谱特征差异比较明显,说明利用光谱的方法对加工番茄早疫病色素含量进行估测具有可行性。

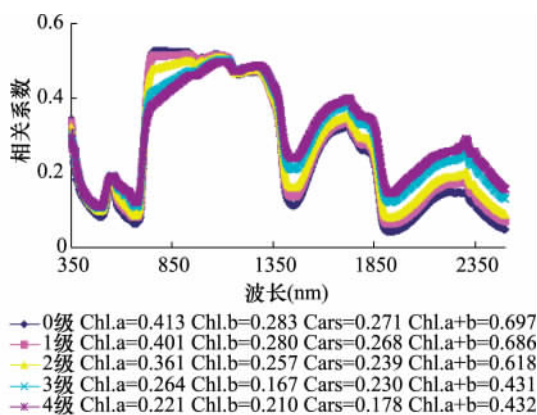


图 1 不同等级病叶光谱物征曲线

3.2 病叶色素含量与光谱特征相关分析

3.2.1 病叶色素含量与原始光谱反射率相关性

图 2 为 88 个样本病叶色素含量与原始光谱反射率相关性分析。从总体来看,Chl. a 含量与原始光谱反射率相关系数曲线振幅比较大,Chl. a+b、

Cars、Chl. b 含量与原始光谱反射率相关曲线的振幅从高到低依次排列。

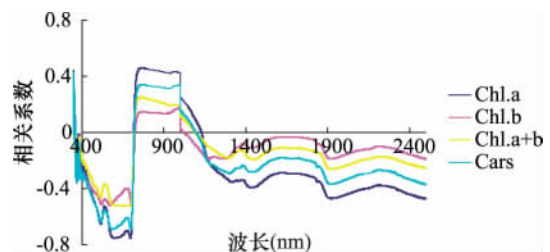


图 2 加工番茄早疫病叶片色素含量与原始光谱反射率相关曲线图

400nm~718nm, Chl. a、Chl. b、Chl. a+b、Cars 含量与原始光谱反射率呈负相关。在 601nm, Chl. a 与原始光谱的相关系数最小为 -0.753。“红边”表现比较明显, Chl. a、Chl. a+b、Cars、Chl. b 含量与原始光谱反射率相关曲线“红边”从陡到缓依次排列。724nm~1019nm, Chl. a、Chl. b、Chl. a+b、Cars 与原始光谱反射率呈正相关, 在 769nm, Chl. a 与原始光谱的相关系数最大为 0.459。1200nm~2500nm 之间, Chl. b 含量与反射率为负相关, Chl. a 含量与反射率在 1131nm 由正相关转到负相关, Chl. a+b 含量与反射率在 1192nm 也由正相关转向负相关, Chl. a 含量与反射率在 1095nm 由正相关转到负相关。其中在 1103nm~1133nm, Chl. a、Chl. b、Cars、Chl. a+b 含量与反射率相关性呈垂直下降。对原始光谱在可见光和近红外波段相关系数最大和最小值波段, 分别组成归一化指数(NDVI)、比值指数(RVI)、差值指数(DVI)与色素含量进行

相关分析,得到色素含量原始光谱反射率的敏感光谱特征参数为 $NDVI_{[601,769]}$ 、 R_{769} 。

3.2.2 病叶色素含量与一阶微分光谱反射率相关性

从病害加工番茄色素含量与一阶微分光谱反射率相关性分析结果表明(图 3),Chl. a、Chl. b、Cars、Chl. a+b 含量与一阶微分光谱反射率相关性曲线振荡比较密集,因此选取相关系数 0.5 作为边界值。Chl. a 含量与一阶微分光谱反射率相关系数大于 0.5 在 639nm~670nm、703nm~749nm、1459nm~1547nm、2054nm、2060nm~2061nm、2066nm、2069nm、2076nm~2077nm、2081nm~2082nm、2088nm~2089nm、2096nm~2097nm、2103nm~2104nm、2114nm、2122nm~2124nm、2143nm~2144nm,其中 R_{664nm} 的 Chl. a 含量与一阶微分光谱反射率相关系数最大为 0.7。Chl. a+b 含量与一阶微分光谱反射率相关系数大于 0.5 是在 639nm~670nm、714nm~749nm、1458nm~1509nm、2053nm~2054nm、2060nm~2061nm、2066nm~2069nm、

2081nm~2082nm、2104nm、2123nm~2124nm、2143nm~2144nm。Chl. b、Cars 含量与一阶微分光谱反射率相关系数大于 0.5 的只有两个波段,Chl. b 含量为 1461nm、1464nm, Cars 含量为 2054nm、2088nm。对一阶微分与色素含量相关系数最大和最小值对应的波段,组合成 $NDVI$ 、 RVI 、 DVI ,比较分析得出一阶微分的敏感光谱特征参数为 $NDVI_{[FD686,FD664]}$ 、 $DVI_{[601,769]}$ 、 $DVI_{[FD686,FD664]}$ 、 FD_{664} 作为新建的光谱特征参数。

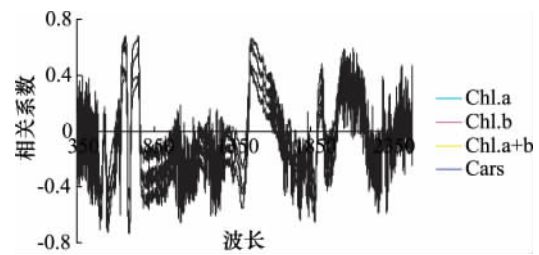


图 3 加工番茄早疫病叶片色素含量与一阶微分光谱反射率相关曲线图

3.2.3 病叶色素含量与光谱特征参数相关分析

表 2 病害加工番茄叶片色素含量与光谱特征参数反射率相关性

参数	Chl. a	Chl. b	Cars	Chl. a+b	参数	Chl. a	Chl. b	Cars	Chl. a+b
R550	-0.552**	-0.486**	-0.378**	-0.571**	Dr	0.594**	0.264*	0.355**	0.478**
R680	-0.699**	-0.400**	-0.519**	-0.610**	λr	0.572**	0.331**	0.317**	0.501**
$NDVI_{[670,890]}$	-0.667**	0.337**	0.454**	0.559**	SDr	0.528**	0.197	0.323**	0.406**
$DVI_{[450,560]}$	-0.544**	-0.401**	-0.339**	-0.521**	PSSRa	0.659**	0.375**	0.415**	0.574**
SIPI	0.623**	0.339**	0.390**	0.535**	PSSRb	0.687**	0.401**	0.423**	0.603**
CCII	-0.705**	-0.481**	-0.451**	-0.656**	PSSRc	0.633**	0.375**	0.390**	0.560**
OSAVI	0.623**	0.283**	0.406**	0.506**	PSNDa	0.644**	0.305**	0.432**	0.529**
TCARI	-0.254*	-0.333**	-0.137	-0.320**	PSNDb	0.679**	0.345**	0.437**	0.570**
$PRI_{[570,530]}$	-0.681**	-0.349**	-0.431**	-0.573**	PSNDc	0.637**	0.349**	0.402**	0.548**
$PPR_{[550,450]}$	-0.244*	-0.168	-0.114	-0.228*	Rch	-0.480**	-0.348**	0.228*	-0.457**
$NDVI_{[FD686,FD664]}$	0.641**	0.374**	0.389**	0.563**	FD664	0.691**	0.423**	0.432**	0.563**
$DVI_{[FD686,FD664]}$	0.718**	0.451**	0.456**	0.647**	Rgave	-0.586**	-0.498**	-0.401**	-0.228*
$NDVI_{[601,769]}$	0.683**	0.355**	0.431**	0.575**	R769	0.460**	0.147	0.249*	0.341**
$DVI_{[601,769]}$	0.594**	0.264**	0.355**	0.478**					

注: * 表示 0.05 显著水平; ** 表示 0.01 极显著水平

相关分析表明(表 2),Chl. a、Chl. b、Cars、Chl. a+b 含量与光谱参数 SIPI、OSAVI、 $NDVI_{[FD686,FD664]}$ 、 $DVI_{[FD686,FD664]}$ 、 $NDVI_{[601,769]}$ 、 $DVI_{[601,769]}$ 、Dr、 λr 、SDr、PSSRa、PSSRb、PSSRc、PSNDa、PSNDb、PSNDc、 FD_{664} 、 R_{769} 光谱特征参数呈正相关,其中 $DVI_{[FD686,FD664]}$ 与 Chl. a 含量相关系数最大。 R_{550} 、 R_{680} 、 $NDVI_{[670,890]}$ 、 $DVI_{[450,560]}$ 、CCII、TCARI、 $PRI_{[570,530]}$ 、 $PPR_{[550,450]}$ 、Rch、Rgave 与 Chl. a、Chl.

b、Chl. a+b、Cars 含量呈负相关,Chl. b 含量与 R_{550nm} 相关系数最小。同一光谱特征参数中,Chl. a 和 Chl. a+b 含量与其相关性均优于 Chl. b 和 Cars 含量与其相关性。新建光谱特征参数与色素含量相关性都比较显著。 R_{680} 、 FD_{664} 、CCII、PSSRb、PSNDc、 $DVI_{[FD686,FD664]}$ 与 Chl. a、Chl. b、Cars、Chl. a+b 相关性比较高,选作最佳敏感光谱特征参数,对 Chl. a、Chl. b、Cars、Chl. a+b 进行估测。

3.3 病叶色素含量高光谱估测模型及检验

3.3.1 病叶色素含量高光谱估测模型

为了提高色素高光谱估测精度,从表 2 光谱特

征参数中选出了 6 个极显著相关的参数,以 2010 年 48 个样本作为训练样本,建立加工番茄色素含量线性、对数、指数回归估测模型,见表 3。

表 3 加工番茄光谱特征参数分析

色素	模型	自变量											
		R680		CCII		PSSRb		PSNDc		FD664		DVI _[FD686,FD664]	
		R^2	F	R^2	F	R^2	F	R^2	F	R^2	F	R^2	F
Chl. a	线性	0.689**	77.398	0.697**	79.955	0.671**	62.226	0.606**	55.417	0.607**	73.816	0.716**	86.298
	对数	0.679**	74.526	0.688**	77.058	0.675**	73.376	0.597**	53.288				
	指数	0.731**	91.751	0.735**	93.103	0.687**	76.950	0.621**	58.834	0.731**	91.825	0.767**	106.190
Chl. b	线性	0.360**	15.391	0.431**	24.336	0.361**	15.502	0.322*	11.220	0.379**	17.609	0.404**	20.635
	对数	0.276**	17.259	0.425**	23.497	0.338*	12.934	0.312*	10.197				
	指数	0.493**	34.576	0.605**	55.208	0.588**	32.771	0.412**	21.745	0.562**	45.886	0.590**	51.826
Cars	线性	0.469**	29.842	0.403**	20.657	0.279**	17.611	0.362**	15.609	0.387**	18.584	0.408**	21.300
	对数	0.441**	25.746	0.392**	19.222	0.290**	18.975	0.360**	15.419				
	指数	0.533**	40.412	0.438**	25.285	0.423**	23.217	0.406**	20.970	0.446**	26.366	0.456**	27.805
Chl. a+b	线性	0.572**	48.011	0.630**	61.151	0.564**	46.386	0.501**	34.810	0.580*	49.719	0.619**	58.421
	对数	0.580**	49.624	0.621**	58.791	0.548**	43.159	0.488**	32.727				
	指数	0.635**	63.333	0.696**	79.626	0.606**	55.389	0.533**	40.464	0.664**	70.209	0.702**	81.597

注: * 表示 0.05 显著水平; ** 表示 0.01 极显著水平

由表 3 分析, R^2 为所选光谱参数建立模型的决定系数, F 值是回归方程的显著性检验, 表示模型中被解释变量与所有解释变量之间的线性关系在总体是否显著。最佳模型的选择标准是决定系数通过显著性检验, 同时 F 值要最大。因此, 整体上 Chl. a、Chl. b、Chl. a+b 含量估测, 指数模型最佳, Cars 含量估测最佳模型为线性模型。不同光谱参数建立最佳模型时, 所选择的模型类型也不相同。总体来看各变量的指数模型比线性和对数模型要佳。

其中 Chl. a 含量估测模型中, R_{680} 的指数模型、CCII 的指数模型、DVI_[FD686,FD664] 的线性模型精度比较高; Chl. b 含量估测模型中, CCII 的指数模型、FD₆₆₄ 指数模型、DVI_[FD686,FD664] 的指数模型的精度比较高; Cars 含量估测模型中, R_{680} 的线性模型和指数模型、CCII 的指数模型精度比较高; Chl. a+b 含量估测模型中, CCII、FD₆₆₄ 和 DVI_[FD686,FD664] 的指数模型的精度比较高。分别对以上模型进行检验。

3.3.2 病叶色素含量高光谱估测模型检验

表 4 加工番茄早疫病色素含量估测模型及检验

色素	模型	拟合 R^2	检验 R^2	检验的均方根误差
Chl. a	$Y=1.232\text{EXP}(-13.110(R_{680}))$	0.647**	0.812**	0.072
	$Y=1.184\text{EXP}(-2.484(\text{CCII}))$	0.627**	0.744**	0.066
	$Y=65.487 \text{DVI}_{[\text{FD686,FD664}]} + 0.550$	0.580**	0.484	0.069
Chl. b	$Y=1.113\text{EXP}(-3.212(\text{CCII}))$	0.739**	0.646**	0.085
	$Y=0.350\text{EXP}(922.601(\text{FD}_{664}))$	0.772**	0.604**	0.092
	$Y=0.436\text{EXP}(229.268 \text{DVI}_{[\text{FD686,FD664}]})$	0.767**	0.845**	0.091
Cars	$Y=-0.825R_{680} + 0.334$	0.251	0.607**	0.053
	$Y=0.364\text{EXP}(-3.962R_{680})$	0.287	0.602**	0.051
	$Y=0.318\text{EXP}(-0.502(\text{CCII}))$	0.228	0.292	0.056
Chl. a+b	$Y=2.117\text{EXP}(-2.676(\text{CCII}))$	0.754**	0.624**	0.129
	$Y=0.830\text{EXP}(767.292\text{FD}_{664})$	0.788**	0.589**	0.143
	$Y=1.011\text{EXP}(195.810\text{DVI}_{[\text{FD686,FD664}]})$	0.703**	0.830**	0.141

注: * 表示 0.05 显著水平; ** 表示 0.01 极显著水平

以加工番茄早疫病病叶 40 个样本作为检验样本对模型精度进行检验。表 4 列出了色素含量估测模型及检验。从表 4 可知,Chl. a、Chl. b、Chl. a+b 色素含量高光谱估测模型拟合 R^2 通过了 0.01 极显著性检验水平,Cars 未通过 0.01 极显著性检验水平,加工番茄早疫病病叶高光谱特征变量拟合 Cars 色素含量精度比较低。 R_{680} 、 $DVI_{[FD686,FD664]}$ 分别对 Chl. a、Chl. b、Chl. a+b 含量的估测精度较高,同时模型的检验 R^2 为 0.812、0.845、0.830,均方根误差不到 0.2。因此, R_{680} 、 $DVI_{[FD686,FD664]}$ 对 Chl. a、Chl. b、Chl. a+b 含量的指数估测模型为最佳估测模型。

4 结束语

通过实测加工番茄早疫病病叶色素含量以及

相应病叶的光谱反射率,建立加工番茄早疫病病叶高光谱色素含量估测模型并检验。得出以下结论:

(1)通过光谱特征参数与色素含量相关分析,得出 R_{680} 、CCII、PSSR、PSNDe、 FD_{664} 、 $DVI_{[FD686,FD664]}$ 为色素含量敏感光谱特征参数。

(2)利用线性单变量回归技术,建立敏感光谱特征参数和色素含量的估测模型,其中 R_{680} 、CCII、 $DVI_{[FD686,FD664]}$ 估测精度比较高。

(3)经过模型检验, R_{680} 为变量的对数模型是估测 Chl. a 的最佳模型, $DVI_{[FD686,FD664]}$ 为变量的对数模型是估测 Chl. b 和 Chl. a+b 的最佳模型,模型检验 R^2 分别为 0.812、0.845、0.830,均方根误差不到 0.2。

参考文献

- [1] 赵思峰. 加工番茄高产优质栽培技术[M]. 北京:中国农业出版社.
- [2] 董金泉. 农业植物病理学(北方本). [M]. 北京:中国农业出版社.
- [3] 王晓辉. 新疆加工番茄细菌病害种类鉴定及防治研究[D]. 石河子市,石河子大学,2006.
- [4] HABOUDANE D, MILLER J R, TREMBLAY N. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture[J]. Remote Sensing of Environment, 2002(81):416—426.
- [5] BROGE V H, MORTENSEN J V. Deriving green crop area index and canopy chlorophyll density of winter wheat from spectral reflectance data[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 81(1):45.
- [6] LEE Z P, CARDER K L. Absorption spectrum of phytoplankton pigments derived from hyperspectral remote-sensing reflectance[J]. Remote Sensing of Environment, 2004(89):361—368.
- [7] BLACKBURN G A. Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: A test using senescent tree leaves[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(4):657—675.
- [8] 袁杰,王登伟,黄春燕. 基于高光谱数据的棉花叶绿素密度定量提取研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007(25):89—94.
- [9] 刘伟东,项月琴,郑兰芬,等. 高光谱数据与水稻叶面积指数及叶绿素密度的相关分析[J]. 遥感学报, 2000, 4(4):279—285.
- [10] 陈兵,李少昆,王克如,等. 病害胁迫下棉花叶片色素含量高光谱遥感估测研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(2):421—427.
- [11] 蒋金豹,陈云浩,黄文江. 病害胁迫下冬小麦冠层叶片色素含量高光谱遥感估测研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(7):1363—1367.
- [12] 颜春燕,刘强. 机载高光谱数据提取冬小麦冠层叶绿素含量的模型分析及验证[J]. 遥感信息, 2009(5):8—14.
- [13] 赵德华,李建龙. 高光谱技术提取不同作物叶片类胡萝卜素信息[J]. 遥感信息, 2004(3):13—17.
- [14] STRACHAN I B, PATTEY E, BOISVERT J B. Impact of nitrogen and environmental conditions on corn as detected by hyperspectral reflectance[J]. Remote Sensing of Environment, 2002(80):213—224.
- [15] 田庆久,闵祥军. 植被指数研究进展[J]. 地球科学进展, 1998, 13(4):327—334.
- [16] 王秀珍,黄敬峰,李云梅. 水稻生物化学参数与高光谱遥感特征参数的相关分析[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3):144—150.
- [17] 唐延林,王人潮,王秀珍. 对水稻微分光谱和植被指数的探讨[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2003, 21(3):199—206.
- [18] 王福民,黄敬峰,王秀珍. 水稻叶片叶绿素、类胡萝卜素含量估算的归一化色素指数研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(4):1064—1070.