

加工番茄叶面积的遥感估算模型

杜培林¹, 田丽萍¹, 薛林², 樊科研¹, 白丽¹, 韦艳柳³

(1. 石河子大学 生命科学学院, 新疆 石河子 832003; 2. 石河子蔬菜研究所, 新疆 石河子 832000; 3. 陕西神木中学, 陕西 神木 719300)

摘要: 研究了不同水肥条件下加工番茄里格尔 87-5 和石红-206 的冠层高光谱变量与叶面积指数的关系。发现加工番茄叶面积指数(LAI)与归一化植被指数(NDVI)和两个抗大气植被指数具有很强的相关性, r 值均达到极显著水平。选取各个生育时期相关性最好的光谱变量与同步测定的叶面积指数建立 LAI 的遥感估算模型。苗期、坐果期、红熟期和采收期指数模型最好, 青熟期一元三次模型最好, R^2 分别为 0.6162、0.7426、0.6531、0.6532 和 0.6531。将建立的模型进行精度分析预测 R^2 值分别为 0.573、0.7359、0.5677、0.5504 和 0.6286。

关键词: 叶面积指数(LAI); 加工番茄; 冠层光谱变量; 遥感估算模型

中图分类号: S 641.2; Q 94-331 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2008)06-0025-04

作物的叶面积通常用叶面积指数(LAI)来衡量, 就是指单位土地面积上植物叶片的垂直投影面积的总和与相应土地面积的比值^[1]。叶面积指数不仅是进行生物量估算的一个重要参数, 而且也是定量分析地球生态系统能量交换特性的重要参数, 同时也是农牧遥感研究中作物产量预估和病害评价的有效参数^[2-4]。一般来说, LAI 较小时, 群体的光合量也较小, LAI 较大时, 群体的光合量也较大。LAI 与光合作用、呼吸作用的关系及日辐射量有很大的关系。研究表明在可见光的红光和近红外光部分与植物叶面积指数有强相关性。Wiegand 等人最早研究光谱特征与 LAI 之间的关系, Bunnik 从应用遥感证实了提取 LAI 的可能性。刘可群等^[5]从应用(NOAA-AVHRR)选择植被指数(PVI)建立了线形统计模型。王秀珍^[6]对水稻通过原始变量及其转换形式建立了相应估算模型, 并进行了精度分析; 杨敏华、刘国良等^[7]采用归一化差植被指数 NDVI[800, 670] 非线形(对数)统计模型对小麦 LAI 进行监测; 赵春江、王纪华等^[8]研究表明小麦 LAI 与红谷有很强的线性关系, 用红谷可反演 LAI。唐延林、黄敬峰等^[9]分析表明水稻红边位置、红边斜率与 LAI 显著相关, 唐延林、王秀珍^[10]在玉米上的研究表明叶面积指数与冠层红边位置、红边振幅、红边一阶微分总和显著相关, 可见用高光谱对作物禾本科 LAI 估测是可行的。刘国顺、李向阳等综合多种烟草类型、品种及肥料处理因素, 分析了 17 种光谱参数与烟草叶面积指数(LAI)、地上鲜生物重(AFW)、地上干生物重

(ADW)的关系, 建立逐步回归模型对烟草 LAI、AFW、ADW 进行估测并结合相关分析筛选出相应的特征变量^[11], 为对茄科作物建立遥感估算模型开创了先河。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

选择目前新疆加工番茄主栽品种里格尔 87-5 和石红-206 为试验材料。于 2006~2007 年分别在新疆石河子蔬菜研究所试验基地和石河子气象局乌兰乌苏气象站试验田进行试验。施肥耦合试验: 水分处理设计为 4 个水平。灌水量分别为 0、1 500、3 000、4 500 m^3/hm^2 , 即人为造成严重缺水、缺水、水适量和水过量, 分别记为 W0、W1、W2、W3, 按照加工番茄的需水规律在各个生育期以膜下滴灌方式浇入。肥料的处理设计为 4 个水平。施纯氮量分别为 0、100、300、450 kg/hm^2 , 人为的造成严重缺氮、缺氮、氮适量和氮过量。氮肥施用尿素, 折合尿素量分别为 0、21.74、65.22、97.83 g/m^2 尿素, 记为 N0、N1、N2、N3, 按照加工番茄的需肥规律在各个生育期随水施入。小区面积 8.1 $m \times 10 m$, 按照大田种植密度种植和管理。

1.2 试验方法

加工番茄冠层光谱测定采用美国 ASD FieldSpec Pro FP 背挂式野外光谱辐射仪, 光谱范围 350~2 500 nm。光谱区的分辨率 350~1 000 nm 为 3 nm, 1 000~2 500 nm 为 10 nm。测试时间选在天气晴朗、无风或风速很小之日, 时间为北京时间 13:00~15:00 之间。分别在加工番茄的苗期、坐果期、青熟期、红熟期和采收期进行 5 次冠层光谱数据采集, 测量前均用白板校正。测试冠层光谱选择具有代表性的、均匀的无病虫害的样本点。采用 25° 视场角, 传感器探头向下, 距冠层顶垂直高度 0.70 m, 每个处理小区测试 10 条曲线, 每条设定

第一作者简介: 杜培林(1979-), 男, 陕西府谷人, 硕士, 研究方向为植物营养生理生态。E-mail: dplaa@126.com.

通讯作者: 田丽萍。

收稿日期: 2008-01-30

扫描时间是 0.2 s 以其平均值作为该处理冠层的光谱反射值。

表 1 主要高光谱变量的定义

编号	光谱变量	描述
1	[560, 670]	560 nm、670 nm 植被绿峰归一化差值光谱指数
2	[670, 890]	670 nm、890 nm 植被红边归一化差值光谱指数
3	[890, 980]	890 nm、980 nm 近红外波段弱水汽吸收归一化差值光谱指数
4	[920, 980]	920 nm、980 nm 近红外波段弱水汽吸收归一化差值光谱指数
5	[857, 1210]	857 nm、1 210 nm 近红外波段弱水汽吸收归一化差值光谱指数
6	[820, 1650]	820 nm、1 650 nm 近红外反射峰与短波红外反射峰归一化植被光谱指数
7	[820, 2200]	820 nm、2 200 nm 近红外反射峰与短波红外反射峰归一化植被光谱指数
8	VARI_green	抗大气植被指数
9	VARI_700	抗大气植被指数
10	Depth695	695 nm 吸收深度
11	Area695	695 nm 吸收特征面积
12	ND695	695 nm 归一化的吸收深度
13	Depth976	976 nm 吸收深度
14	Area976	976 nm 吸收特征面积
15	ND976	976 nm 归一化的吸收深度
16	Depth1175	1 175 nm 吸收深度
17	Area1175	1 175 nm 吸收特征面积
18	ND1175	1 175 nm 归一化的吸收深度
19	Depth1445	1 445 nm 吸收深度
20	Area1445	1 445 nm 吸收特征面积
21	ND1445	1 445 nm 归一化的吸收深度
22	P_Depth553	553 nm 反射峰深度
23	P_Area553	553 nm 反射峰特征面积
24	P_ND553	553 nm 归一化反射峰深度
25	P_Depth911	911 nm 反射峰深度
26	P_Area911	911 nm 反射峰特征面积
27	P_ND911	911 nm 归一化反射峰深度
28	P_Depth1072	1 072 nm 反射峰深度
29	P_Area1072	1 072 nm 反射峰特征面积
30	P_ND1072	1 072 nm 归一化反射峰深度
31	P_Depth1266	1 266 nm 反射峰深度
32	P_Area1266	1 266 nm 反射峰特征面积
33	P_ND1266	1 266 nm 归一化反射峰深度
34	P_Depth1670	1 670 nm 反射峰深度
35	P_Area1670	1 670 nm 反射峰特征面积
36	P_ND1670	1 670 nm 归一化反射峰深度
37	P_Depth2222	2 222 nm 反射峰深度
38	P_Area2222	2 222 nm 反射峰特征面积
39	P_ND2222	2 222 nm 归一化反射峰深度
40	R0	叶绿素吸收谷的光谱反射率
41	Rs	红肩处的光谱反射率(最大反射率值)
42	λ0	叶绿素吸收谷的光谱位置
43	σ	吸收谷宽度
44	λp	红边光谱位置
45	R2	红边光谱曲线与倒高斯模型的拟合复相关系数
46	Rs-R0	红肩处与红谷处光谱反射率的差值
47	FD-MAX	一阶导数最大值

叶面积的测定采用重量法。即利用全部叶片的面积(A)与部分叶面积(a)之比等于全部叶片的干重量(W)与部分叶片的干重量(w)之比的原理测定。即: $A/a = W/w$, $A = a \times (W/w)$ 。

LAI=(小区总株数×取样点 A 的平均值)/小区面积。

试验中获取的光谱数据与 LAI 数据应用 EXCEL、SPASS 统计分析。

表 2 叶面积指数与光谱特征参量在各个生育时期相关系数统计

相关系数	6月	7月	7月	7月	8月
	17日	4日	20日	29日	10日
[560 670]	0.62	0.70	0.72	0.71	0.72
[670 890]	0.60	0.55	0.62	0.66	0.68
[890 980]	0.68	0.61	0.42	-0.11	0.06
[920 980]	0.68 *	0.59	0.46	-0.09	0.17
[857 1210]	0.61	0.47	0.44	-0.06	0.23
[820 1650]	0.60	0.46	0.41	0.02	0.42
[820 2200]	0.55	0.46	0.45	0.13	0.49
VARI_green	0.63	0.71 *	0.72 *	0.71	0.72 *
VARI_700	0.62	0.71	0.72	0.73 *	0.70
Depth695	0.60	0.51	0.57	0.62	0.62
Area695	0.61	0.00	0.52	0.57	0.50
ND695	-0.56	-0.44	-0.49	-0.55	-0.50
Depth976	0.66	0.57	0.08	0.20	0.10
Area976	0.67	0.70	0.47	0.07	0.40
ND976	0.38	0.42	-0.31	-0.02	-0.29
Depth1175	0.65	0.51	0.32	0.08	0.41
Area1175	0.66	0.67	0.43	0.46	0.47
ND1175	-0.48	-0.63	-0.42	-0.62	-0.44
Depth1445	0.57	0.52	0.50	0.33	0.62
Area1445	0.53	0.37	0.38	0.63	0.50
ND1445	-0.21	0.13	-0.30	-0.65	-0.33
P_Depth553	0.62	0.68	0.72	0.68	0.62
P_Area553	-0.33	0.60	0.35	0.42	0.39
P_ND553	0.50	0.39	0.40	0.02	0.67
P_Depth911	0.63	0.56	0.46	-0.09	0.23
P_Area911	0.65	0.61	0.53	0.31	0.46
P_ND911	-0.22	-0.60	-0.51	-0.53	-0.49
P_Depth1072	0.66	0.64	0.40	0.04	0.30
P_Area1072	0.60	0.62	0.47	0.46	0.47
P_ND1072	-0.47	-0.59	-0.42	-0.61	-0.46
P_Depth1266	0.01	0.51	0.28	0.17	0.57
P_Area1266	0.54	0.65	0.34	0.65	0.49
P_ND1266	-0.18	-0.58	-0.30	-0.65	-0.36
P_Depth1670	0.55	0.54	0.44	0.26	0.61
P_Area1670	0.42	0.61	0.34	0.66	0.46
P_ND1670	0.19	-0.23	-0.14	-0.62	-0.08
P_Depth2222	0.54	0.62	0.68	0.54	0.63
P_Area2222	0.11	0.49	0.43	0.59	-0.12
P_ND2222	0.30	-0.11	0.15	-0.44	0.34
R0	-0.60	-0.52	-0.64	-0.66	-0.72
Rs	0.54	0.66	0.46	0.51	0.37
Rs-R0	0.61	0.66	0.51	0.55	0.48
λ0	0.51	0.00	0.38	0.00	0.15
σ	-0.40	0.00	-0.30	0.00	0.07
λp	0.45	0.00	0.22	0.00	0.15
R2	0.55	0.33	-0.13	-0.30	-0.26
FD-MAX	0.54	0.66	0.46	0.51	0.37

1.3 高光谱数据特征参数

常见的高光谱数据特征参数包括从原始光谱反射率、归一化高光谱植被指数、一阶倒数光谱、红边参数、反射峰、吸收谷等 47 个高光谱变量(表 1)。

2 结果讨论

2.1 加工番茄叶面积与高光谱变量的相关分析

从加工番茄苗期到采收期,共进行了 5 次叶面积指数和冠层光谱的测定,叶面积指数的测定与冠层光谱的测定同步。以期建立反射光谱参量与叶面积指数的估

算模型。将前面介绍的 47 个光谱特征参量与 LAI 进行相关分析,各个时期的统计相关系数见表 2。在加工番茄苗期叶面积指数与植被指数 [920, 980] 的相关系数达到极显著水平,坐果期、青熟期和采收期加工番茄叶面积指数与抗大气植被指数 VARI_{green} 的相关系数达到极显著水平,红熟期加工番茄叶面积指数与抗大气植被指数 VARI₇₀₀ 也具有极显著相关性(注: $r_{0.05(30)} = 0.349$, $r_{0.01(30)} = 0.449$)。

2.2 加工番茄叶面积指数遥感估算模型

所用的模型有:单变量线性模型: $Y = a + bx$; 单变量对数模型: $Y = a + b \times \ln x$; 单变量指数模型: $Y = a \times \exp(bx)$; 单变量抛物线模型: $Y = a + bx + cx^2$; 一元三次函数: $Y = a + bx + cx^2 + dx^3$ 。如表 3 所示用表 2 中与各个生育时期 LAI 相关性最好的光谱参量建立遥感估算模型。苗期、坐果期、红熟期和采收期建立的 5 种估算模型中指数模型最好,复相关系数分别为 0.6162、0.7426、0.6531 和 0.6532。红熟期建立的估算模型中一元三次模型最好,复相关系数为 0.6531。

表 3 加工番茄叶面积指数的遥感估算模型

生育期	光谱变量	模型	a	b	c	d	R ²
苗期	[920, 980]	一元一次	-0.1525	6.4786			0.4637
		一元二次	0.1314	-6.0599	124.18		0.5401
		一元三次	-0.1824	21.16	-514.43	4458.4	0.5668
		指数	0.0128	45.027			0.6162 *
		对数	0.91	0.2371			0.3512
坐果期	VARI _{green}	一元一次	-0.0954	1.7283			0.5025
		一元二次	0.1671	-2.2552	10.853		0.6651
		一元三次	-0.0123	3.8252	-29.635	73.948	0.7341
		指数	0.0471	7.1252			0.7426 *
		对数	0.4992	0.1153			0.2466
青熟期	VARI _{green}	一元一次	-0.0954	1.7283			0.5199
		一元二次	0.1139	-0.515	6.6444		0.5393
		一元三次	1.6817	-22.411	101.23	-128.76	0.651 *
		指数	0.0655	6.8517			0.4449
		对数	1.251	0.5815			0.4676
红熟期	VARI ₇₀₀	一元一次	-0.158	1.9148			0.5281
		一元二次	-0.0107	0.9247	1.4965		0.5325
		一元三次	0.4405	-4.1566	18.394	-17.276	0.5419
		指数	0.1006	4.2606			0.6531 *
		对数	1.1048	0.533			0.4778
采收期	VARI _{green}	一元一次	0.0297	2.5708			0.5183
		一元二次	-0.0284	3.4219	-2.4987		0.5229
		一元三次	0.1949	-3.2089	42.493	-85.052	0.5856
		指数	0.1314	6.4312			0.6532 *
		对数	0.8078	0.1605			0.2992

表 4 高光谱估算 LAI 模型的拟合 R² 与预测 R² 比较

生育期	回归方程	拟合 R ²	预测 R ²
苗期	$y = 0.0128e^{4.5027x}$	0.6162	0.573
坐果期	$y = 0.0471e^{-12.52x}$	0.7426	0.7396
青熟期	$y = -128.76x^3 + 101.23x^2 - 22.411x + 1.6817$	0.651	0.5677
红熟期	$y = 0.1006e^{4.2606x}$	0.6531	0.5504
采收期	$y = 0.1314e^{-43.12x}$	0.6532	0.6286

2.3 叶面积指数遥感估算模型的精度分析

采用相关和线性回归的分析方法建立的模型对加工番茄生物理化参数进行估算,可能存在“过度拟合”现象。这种现象可采用测试样本的评价精度加以控制和避免。因此,对建立的加工番茄 LAI 估算遥感模型进行精度分析十分重要。以 2006 年数据为训练样本,2007 数据作为测试样本进行精度分析。分析结果如表 4 各个生育时期的预测 R² 值均达到 0.01 极显著水平。用这些模型来预测叶面积指数是可行的。

3 结论

利用传统的方法对加工番茄 LAI 测定存在费时、费工和对作物具有极大的破坏性,用加工番茄冠层反射光

谱来估算 LAI 可以避免这些缺陷。建立了加工番茄各个生育时期的 LAI 遥感估算模型,模型拟合 R² 和预测 R² 均通过 0.01 极显著水平。加工番茄冠层光谱变量估测加工番茄 LAI 是可行的。

参考文献

[1] 姜汉侨,段昌群.植物生态学[M].北京:高等教育出版社,2004.
 [2] 浦瑞良,宫鹏.高光谱遥感及其应用[M].北京:高等教育出版社,2000.
 [3] 张柏,宋开山.大豆叶面积的高光谱模型[J].沈阳农业大学学报,2005,36(4):396-400.
 [4] Brogea N 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, 81:45-57.
 [5] 刘可群,张晓阳,黄进良.江汉平原水稻长势遥感监测及估产模型[J].华中师范大学学报(自然科学版),1997,31(4):482-487.
 [6] 王秀珍,王人潮,黄敬峰.微分光谱遥感及其在水稻农学参数测定上的应用研究[J].农业工程学报,2002,18(1):9-13.
 [7] 杨敏华,刘良云.小麦冠层理化参数的高光谱遥感反演实验研究[J].测绘学报,2002,31(4):316-321.
 [8] 赵春江,王纪华,黄文江,等.不同品种、肥水条件下冬小麦光谱红边参数的研究[J].中国农业科学,2002,35(8):980-987.

柱前衍生高效液相色谱法测定白菜及小麦中草甘膦残留量

马为民, 林小虎, 张 燕, 张珊珊, 周印富

(河北科技师范学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘 要: 运用荧光衍生试剂FMOC-Cl衍生草甘膦后, 利用双聚合氨基柱HPLC测定了白菜及小麦中草甘膦的含量, 该方法灵敏度高, 可靠性强。通过试验, 找到了最佳衍生条件和色谱条件。该方法通过测定蔬菜及小麦样品得到了确证, 在添加草甘膦标样1 mg/kg时, 最低检出限为0.3 mg/kg, 平均回收率为82.4%, 变异系数为10.3%。

关键词: 草甘膦; FMOC-Cl; 高效液相色谱法; 聚合氨基柱; 柱前衍生

中图分类号: Q 94-331 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2008)06-0028-03

草甘膦是世界上应用最广泛的除草剂之一, 它是一种广谱、非选择性的除草剂, 已经被使用了30多年。草甘膦使用范围的不断扩大推动了草甘膦残留测定技术的发展。

草甘膦分析方法主要包括薄层色谱法、气相色谱法(GC)、高效液相色谱法(HPLC)。草甘膦的离子特征, 使得HPLC要优于GC。但是由于草甘膦分子中不含有发色团或荧光团, 因此在对草甘膦进行测定时, 首先需要对其进行衍生后才能使用紫外-可见检测器或荧光检

测器进行检测。荧光衍生物可通过柱前使用FMOC-Cl或柱后使用邻苯二甲醛-巯基乙醇衍生试剂产生。有很多研究报道利用柱后衍生测定草甘膦的分析方法^[1-3], 柱后衍生试剂只能与伯胺反应, 而不能与仲胺反应, 因此草甘膦在与衍生试剂反应之前要首先水解, 这种方法仪器操作很烦琐。而FMOC-Cl作为柱前衍生试剂既可以与伯胺进行反应又可以与仲胺反应, 能够在柱外很好的控制衍生反应的进行, 却不受流动相搭配的影响。但是这个反应的缺点是FMOC-Cl与水反应生成FMOC-OH副产物, 为了充分得到反应产物, 可以加入过量的衍生试剂, 尽管草甘膦柱前荧光衍生反应研究了很多年, 但是至今基本没有被大家认可的草甘膦与FMOC-Cl合适反应比例。

使用FMOC-Cl试剂的主要缺点之一, 是在进行草甘膦衍生物的测定时, 在草甘膦色谱峰之前出现一个很大的FMOC-OH副产物的峰, 两峰重叠, 干扰了草甘膦

第一作者简介: 马为民(1970-), 女, 硕士, 实验师, 现从事农药残留分析工作。E-mail: kycmwm@sina.com.cn

通讯作者: 周印富。E-mail: zhouyinfu@126.com

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重大资助项目(2006BAB02A08-9)。

收稿日期: 2008-01-29

[9] 唐延林, 黄敬峰, 王秀珍, 等. 水稻、玉米、棉花的高光谱及其红边特征比较[J]. 中国农业科学, 2004, 37(1): 29-35.

[10] 唐延林, 王秀珍, 王人潮. 玉米高光谱及红边特征分析[J]. 山地农业

生物学报, 2003, 22(3): 189-194.

[11] 刘国顺, 李向阳. 利用冠层光谱估测烟草叶面积指数和地上生物量[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 1763-1771.

The Study on Hyperspectral Sensing Estimation Models about LAI of Processing Tomato

DU Pei-lin¹, TIAN Li-ping¹, XUE Lin², FAN Ke-yan¹, BAI Li¹, WEI Yan-liu³

(1. College of Life Science, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China; 2. Institute of Vegetable Science, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 3. Shenmu Middle School, Shenmu, Shaanxi 719300, China)

Abstract: Studied the relationships between processing tomato canopy spectral parameters under the difference of the nitrogenous nutrition level and water level and LAI. The results showed that there were significant correlations between the canopy spectral parameters(NDVI, VARI_{green} and VARI₇₀₀) and LAI. And established the hyperspectral sensing estimation models about LAI of processing tomato.

Key words: LAI; Processing tomato; Canopy spectral parameters; Estimate models