

据书存,汪志存,张东彦,等. 基于高分辨率无人机影像的喷药除草效果评估[J]. 江苏农业科学,2019,47(6):76-81.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.06.017

# 基于高分辨率无人机影像的喷药除草效果评估

据书存<sup>1</sup>,汪志存<sup>2</sup>,张东彦<sup>2</sup>,杜世州<sup>3</sup>,黄林生<sup>2</sup>,杨小冬<sup>4</sup>

(1. 安徽省农村综合经济信息中心,安徽合肥 230031; 2. 农业生态大数据分析与应用技术国家地方联合工程研究中心/安徽大学,安徽合肥 230601; 3. 安徽省农业科学院作物研究所,安徽合肥 230001; 4. 北京农业信息技术研究中心,北京 100097)

**摘要:**针对快速检测农药喷洒效果和农药利用率问题,通过设计 1 组喷药对比试验,分析不同区域杂草的颜色特征(RGB)、颜色空间转换特征(HLS、HSV)、纹理特征(mean、variance等)、可见光波段植被指数(EXG、EXR、VDVI等),比较各个特征及指数在喷药和对照区的差异,筛选出最优特征或指数进行阈值分割;在此基础上,计算喷药前后杂草像元数评估无人机喷药的除草效果。试验结果表明,利用归一化过红、过绿植被指数之差(EXG-EXR)可有效检测喷药除草效果,该方法能够提高农田喷药效果提供技术支持。

**关键词:**无人机;可见光波段;颜色特征;植被指数;喷药试验

**中图分类号:** TP79;S252<sup>+</sup>.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)06-0076-05

无人机(unmanned aerial vehicle,简称 UAV)可以进行播种、施肥、喷药、产量评估以及病虫害检测等多种操作,与其相关的技术正在快速地推动农业信息化发展<sup>[1]</sup>。无人机遥感具有低空观测、机动灵活、成本相对较低等优势<sup>[2-4]</sup>,是提高农业机械化发展的重要技术力量<sup>[5]</sup>。

大田农药喷洒效果问题一直是关乎农作物产量的关键性问题<sup>[6]</sup>。农药喷洒太少或者不均匀都会影响作物病虫害防治效果,既关系到作物产量和品质,也会产生生态环境污染问题。所以如何借助无人机遥感促进大田农药喷施技术发展以及效果评估,成为当前农业生产关注的热点问题之一。

试验分为喷药、非喷药的 2 块区域,在此基础上,进一步划分出均匀喷药区域、飘移区域和地块边缘区域。试验思路是通过分析各个区域的图像特征找出差异;计算 9 种常见的植被指数<sup>[7]</sup>并确定最能表征喷药效果的植被指数。最后利用 RGB(红光、绿光、蓝光)颜色波段、可见光波段植被指数

和支持向量机<sup>[8]</sup>3 种图像阈值分割方法来直观显示喷药除草效果。由于基于像元的方法<sup>[9]</sup>在农田作物的检测方面效果良好<sup>[10-12]</sup>,本研究最终利用基于像元的方法作出喷药率估算,研究结果旨在为今后农业生产中无人机喷药效果评估提供借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验地点位于安徽省合肥市庐江县白湖镇白湖农场。无人机图像拍摄时间分别为 2018 年 4 月 20 日、4 月 28 日 13:00 至 14:00 之间。总面积 0.37 hm<sup>2</sup>。4 月 20 日天气状况为多云,风力为南风 2 级。4 月 28 日天气状况为多云、风力为东南风 2 级。喷药时间为 4 月 24 日,天气状况为多云,风力为西北风 1 级,适宜开展无人机喷洒作业。喷药前后田块对比见图 1。

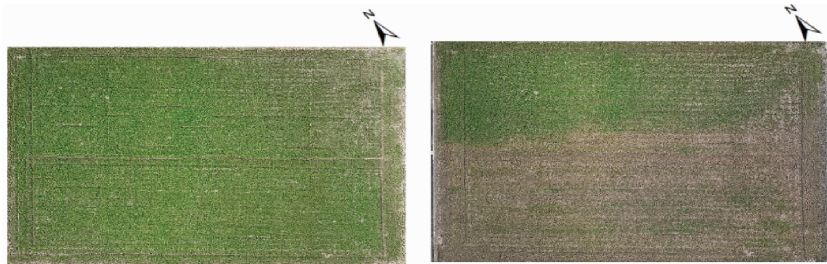


图1 喷药前 4 月 20 日、喷药后 4 月 28 日无人机影像

### 1.2 试验设计

试验地块分为 2 块相同大小、种植密度相同的区域,杂草为芒草(*Miscanthus*),除草剂为草甘膦。其中一个区域不进行无人机喷药,称为非喷药区。另一个区域则进行喷药处理,称为喷药区。由于风向的原因,无人机在喷洒农药时会发生不同程度的农药雾滴飘移。根据田间调查并结合无人机拍摄的高清图像,可看到明显的飘移区(图 2)。根据图像成像效果,试验地块被分为飘移区、均匀喷药区、地块边缘区、喷药区、非喷药区 5 个区域,无人机拍摄各个划分区域见图 2。

收稿日期:2018-10-27

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2014BAD10B05-02);安徽省科技攻关项目-农业领域(编号:1804a07020124);安徽省科技重大专项(编号:18030701209)。

作者简介:据书存(1971—),男,安徽桐城人,硕士,高级工程师,研究方向为农业农村信息化建设与服务、农业气象服务等。E-mail: jsc2678@126.com。

通信作者:杨小冬,博士,副研究员,研究方向为农业遥感技术及应用。E-mail: yangxd@nercita.org.cn。

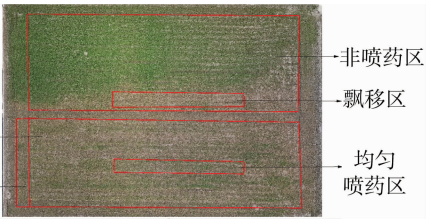


图2 无人机拍摄各个划分区域

1.3 无人机系统介绍

无人机型号为大疆公司生产的精灵 4 pro,搭载高分辨率相机,在 40 m 飞行高度下,空间分辨率约为 1 cm,2 条航线覆盖整个试验区。试验当天微风,设置飞行速度为 3.5 m/s。

本试验所用图像裁剪工具为 ENVI 5.3,图像拼接采用 PhotoScan 1.4.1 软件。

2 结果与分析

2.1 整体区域数据处理

4 月 20 日、4 月 28 日 2 个时期整体区域颜色波段分量结果见表 1,其中 R、G、B 分别代表 RGB 颜色空间的红光、绿光

表 1 整体区域 2 个时期颜色特征值对比

时间 (月-日)	R	G	B	H	L	S	H	S	V
04-20	59.096	71.158	41.092	41.905	0.243	0.160	41.905	0.218	0.295
04-28	66.047	65.757	50.269	31.150	0.242	0.095	31.150	0.147	0.275

表 2 整体区域 2 个时期可见光波段植被指数结果对比

时间 (月-日)	B*	R*	G*	EXG	EXR	EXG-EXR	VDVI	NGBDI	NGRDI
04-20	0.228	0.345	0.427	0.281	0.055	0.226	0.194	0.302	0.104
04-28	0.270	0.364	0.366	0.091	0.143	-0.052	0.071	0.151	0.002

2.2 局部区域数据处理

从图 2 可以看出,非喷药区域的杂草健康生长,而喷药区域的大多数杂草已被除去。从颜色特征和可见光波段植被指数中可以观察出 2 个区域在前期没有明显差异,但是在后期喷药区域比非喷药区域的 R 波段值上升快,且 G 波段值下降要快,而最明显的变化差异反映在 EXG-EXR 植被指数上(表 3、表 4)。

无人机在飞行过程中是沿主航线直线飞行,喷洒农药时

和蓝光波段均值;H、L、S 分量分别代表 HLS 颜色空间的色相(hue)、亮度(luminance)和饱和度(saturation)均值;H、S、V 分量分别代表 HSV 颜色空间的色相、饱和度和明度(value)均值。为了更直观地看出差异,还进行了常见可见光植被指数计算,包括归一化红植被指数( $R^*$ )、绿植被指数( $G^*$ )、蓝植被指数( $B^*$ );归一化过绿植被指数( $EXG$ )<sup>[13]</sup>、过红植被指数( $EXR$ )<sup>[14]</sup>;可见光波段差异植被指数( $VDVI$ )<sup>[15]</sup>、归一化绿红差异指数( $NGBDI$ )、归一化绿蓝差异植被指数( $NGRDI$ )<sup>[16]</sup>,表 2 为所用到的可见光波段植被指数,计算公式如下:

$$\begin{cases} B^* = B / (B + G + R) \\ R^* = R / (R + G + B) \\ G^* = G / (R + G + B) \\ EXR = 1.4R^* - G^* \\ EXG = 2G^* - R^* - B^* \\ NGBDI = (G - B) / (G + B) \\ NGRDI = (G - R) / (G + R) \\ VDVI = (2G - R - B) / (2G + R + B) \end{cases} \quad (1)$$

由于风向的影响,使得一部分农药雾滴被风吹离主航线,偏离了预设的喷洒路线,造成了农药喷雾中的飘移现象。部分农药雾滴向西北方向偏移,从图 2 可以看到一块飘移区域。这个现象在无人机喷药的过程中较常见,是会影响农药喷洒效果和农药覆盖度均匀性的重要因素。本研究着重观察了农药在飘移区域对杂草的除草效果,试验发现飘移区域的杂草除草率要高于其他喷药区域;地块边缘区域的杂草除草率要高于飘移区域,在颜色特征和植被指数都有所差异。

表 3 局部区域 2 个时期颜色特征数据对比

时间 (月-日)	区域	R	G	B	H	L	S	H	S	V
04-20	飘移区	29.653	36.626	20.226	23.567	0.112	0.095	23.567	0.132	0.144
	均匀喷药区	37.629	45.743	24.875	29.249	0.138	0.120	29.249	0.170	0.179
	地块边缘区	36.677	41.192	26.204	26.941	0.133	0.095	26.941	0.140	0.162
	非喷药区	48.792	58.739	34.496	38.312	0.183	0.146	38.311	0.206	0.231
	喷药区	46.807	56.553	32.004	36.545	0.174	0.142	36.545	0.203	0.222
04-28	飘移区	39.270	35.871	29.405	10.948	0.135	0.051	10.948	0.074	0.154
	均匀喷药区	44.098	41.409	34.345	15.435	0.154	0.052	15.435	0.083	0.174
	地块边缘区	42.612	38.892	32.688	13.405	0.148	0.052	13.405	0.087	0.167
	非喷药区	51.338	55.061	38.805	32.034	0.187	0.101	32.034	0.154	0.221
	喷药区	54.784	50.949	41.955	18.616	0.190	0.069	18.616	0.111	0.216

表 4 局部区域 2 个时期可见光波段植被指数数据对比

时间 (月-日)	区域	B <sup>*</sup>	R <sup>*</sup>	G <sup>*</sup>	EXG	EXR	EXG-EXR	VDVI	NGBDI	NGRDI
04-20	飘移区	0.223	0.342	0.435	0.305	0.044	0.261	0.209	0.322	0.116
	均匀喷药区	0.220	0.348	0.432	0.296	0.055	0.241	0.205	0.326	0.106
	地块边缘区	0.241	0.353	0.406	0.218	0.088	0.130	0.153	0.255	0.068
	非喷药区	0.229	0.342	0.428	0.286	0.050	0.236	0.197	0.302	0.109
	喷药区	0.224	0.345	0.430	0.291	0.053	0.238	0.201	0.315	0.108
04-28	飘移区	0.278	0.378	0.344	0.033	0.185	-0.153	0.024	0.107	-0.047
	均匀喷药区	0.283	0.369	0.347	0.042	0.170	-0.129	0.031	0.102	-0.031
	地块边缘区	0.284	0.375	0.341	0.023	0.184	-0.161	0.017	0.092	-0.047
	非喷药区	0.259	0.353	0.387	0.161	0.108	0.053	0.114	0.196	0.043
	喷药区	0.280	0.373	0.347	0.040	0.176	-0.136	0.029	0.107	-0.037

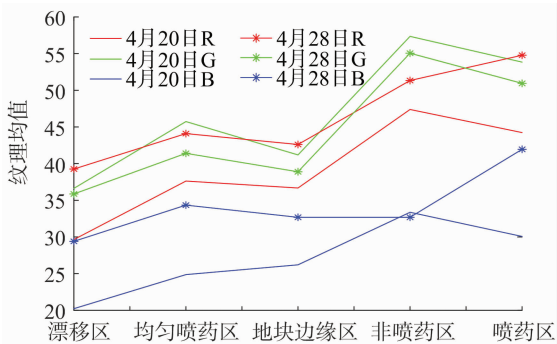
2.3 纹理特征分析

试验过程中对不同区域也进行了纹理特征分析,取均值、方差、熵、偏离度 4 种纹理特征值(表 5)。试验选取各个区域 R、G、B 波段的均值(图 3)。从表 5 可以看出,4 月 20 日同一区域的 R、G、B 波段中 G 波段均值最高,而 4 月 28 日除了非喷药区域以外其他区域的 R、G、B 波段中 R 波段均值最高。4 月 20 日同一区域的 R、G、B 波段之间均值差异相对于 4 月 28 日的 R、G、B 波段之间均值差异更大,主要原因在于后期

经过喷药除草后各个区域地表裸露出来、杂草减少。从方差分析来看,4 月 20 日同一区域的 R、G、B 波段中 G 波段方差均值最高,而 4 月 28 日除了非喷药区域以外其他区域的 R、G、B 波段中 R 波段均值最高。从熵分析来看,2 个时期中各个区域 R、G、B 波段的熵值差异不大,非喷药区域熵值相对偏高,飘移区域熵值相对偏低。2 个时期中各个区域的偏离度极低且差异很小。

表 5 纹理特征数据对比

区域	波段	均值		方差		熵		偏离度	
		04-20	04-28	04-20	04-28	04-20	04-28	04-20	04-28
飘移区	R	29.653	39.270	122.695	112.827	0.593	0.591	0.000	0.000
	G	36.626	35.871	130.663	111.183	0.593	0.591	0.000	0.000
	B	20.226	29.404	113.837	106.787	0.592	0.591	0.000	0.000
均匀喷药区	R	37.629	44.098	140.838	117.688	0.747	0.743	0.000	0.000
	G	45.743	41.409	148.018	116.734	0.748	0.743	0.000	0.000
	B	24.875	34.344	132.721	113.392	0.747	0.743	0.000	0.000
地块边缘区	R	36.677	42.614	138.182	95.228	0.751	0.747	0.000	0.000
	G	41.191	38.892	144.834	93.530	0.751	0.747	0.000	0.000
	B	26.204	32.688	126.930	89.824	0.750	0.747	0.000	0.000
非喷药区	R	47.389	51.338	182.498	152.724	0.963	0.975	0.000	0.000
	G	57.359	55.061	193.183	155.03	0.964	0.975	0.000	0.000
	B	33.373	38.805	173.516	148.451	0.961	0.975	0.000	0.000
喷药区	R	44.237	54.784	164.220	144.829	0.888	0.928	0.000	0.000
	G	53.845	50.949	172.344	144.241	0.889	0.928	0.000	0.000
	B	30.076	41.955	156.815	141.637	0.887	0.928	0.000	0.000



从图 3 可以看出,飘移区域、地块边缘区域、均匀喷药区域 3 个区域分别在 2 个时期的纹理特征无明显差别。表明从

纹理特征中能观察出喷药前后杂草的变化。

2.4 基于图像分割的除草率计算

利用 G-R 波段自动阈值分割后的二值化图像作为掩膜,提取分割出植被。统计前后 2 个时期的植被像素数,最后分别计算出均匀喷药区域、飘移区、地块边缘区的除草率,并比较它们之间的差别。平均每 15 个像素代表 1 株植被,经过试验统计,4 月 20 日地块边缘区、均匀喷药区、飘移区的 G-R 图像分割效果见图 4-b。

从表 2、表 4 可以看出,EXG-EXR 植被指数均值在各个区域都有比较明显的差别,故利用 EXG-EXR 植被指数二值化后的图像做阈值分割提取出植被。发现这种方法更能提取出健康的杂草,比 G-R 的分割方法精确度更高,计算出的除草率也更高。4 月 20 日地块边缘区、均匀喷药区、飘移区的

EXG - EXR 图像分割效果见图 4 - c。

从图 4 - a 从左到右分别是 4 月 20 日地块边缘区、均匀喷药区、飘移区的原图,图 4 - d 左、右 2 个图分别是图 4 - b、图 4 - c 中地块边缘区域红色方框所在的局部放大。从图 4 - d 可以发现,EXG - EXR 阈值分割图比 G - R 阈值分割

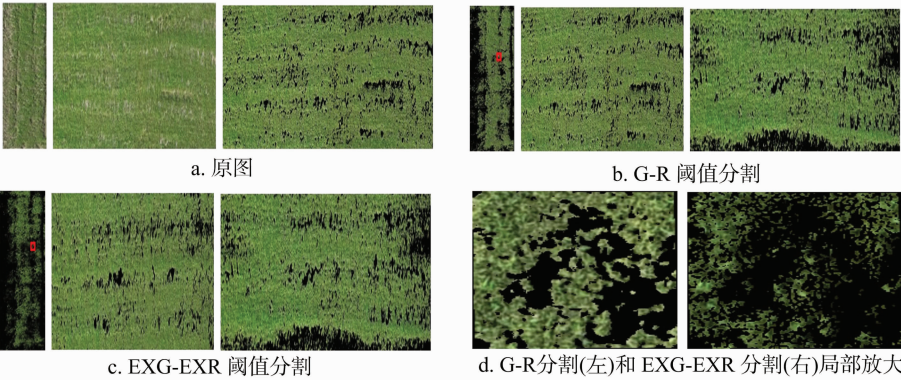


图4 4月20日、4月28日植被分割

试验也利用支持向量机 ( support vector machine, 简称 SVM) 从不同区域中随机取健康杂草 100 个像素点和背景 100 像素点的 RGB 值进行训练,利用训练的模型对原图进行分类。发现支持向量机的方法计算出的除草率偏低,跟实际情况偏差较多,而且模型训练过程繁琐、计算精度跟取样点大小有关,所以 SVM 方法不适合大范围拍摄、研究对象个体较小且数量多的条件下的图像分割。计算所得的除草率见表 6。除草率计算为公式(2)。

rate = ( 1 - S<sub>later</sub> / S<sub>before</sub> ) × 100% . (2)

式中:rate 为除草率;S<sub>later</sub> 为 4 月 28 日植被像元数;S<sub>before</sub> 为 4 月 20 日植被像元数。

表 6 除草率计算				
方法	区域	植被像元数检测值		除草率 (%)
		04 - 20	04 - 28	
G - R 阈值分割	地块边缘区	2 548 204	42 243	98.342
	飘移区	4 874 639	110 955	97.724
	均匀喷药区	8 085 636	403 209	95.014
EXG - EXR 阈值分割	地块边缘区	1 577 705	10 611	99.327
	飘移区	3 613 646	45 090	98.752
	均匀喷药区	5 820 529	140 882	97.580
SVM 分割	地块边缘区	67 238	3 153	95.311
	飘移区	169 852	48 626	71.372
	均匀喷药区	214 823	63 364	70.504
样方法	地块边缘区	7 569	600	92.073
	飘移区	8 131	649	92.018
	均匀喷药区	6 135	600	90.249

试验中利用样方法对原图各个区域进行采样,人工手动记录采样样方的植被和背景像元数,计算二者的比值作为实测的除草率。对比 3 种方法的除草率发现,在均匀喷药区中 G - R 阈值分割和 EXG - EXR 阈值分割的除草率跟实测值 90.249% 最为相近,除草率分别为 95.014%、97.580%,基于 SVM 方法测得的除草率仅为 70.504%,主要是 SVM 方法训练样本偏少,不能准确估计大面积杂草的除草率(表 6)。

图更加精细,即 EXG - EXR 阈值分割去除了原图当中一些发白和偏黄的杂草像元,最后只保留健康的杂草像元。实际当中偏黄和发白的杂草随着时间的推移会逐渐死亡,所以 EXG - EXR 阈值分割的效果更加贴近于真实的除草情况。

3 讨论与结论

3.1 特征分析

分别选取表 1、表 2、表 3 和表 4 的全部数据制成折线图形式,如图 5 - a、图 5 - b、图 5 - c 和图 5 - d 所示。

整体区域由于后期喷洒农药除去了很多杂草,整体区域颜色偏黄,因此 4 月 28 日的 R、B、B\*、R\*、EXR 值比 4 月 20 日的高,而 G、G\*、H、S、EXG、NGBDI、NGRDI 值比 4 月 20 日的低。

4 月 20 日喷药区域与非喷药区域差别不大,而 4 月 28 日二者的区别很明显。喷药区 R、B、B\*、R\*、EXR 值比非喷药区域高,而 G、G\*、H、S、EXG、EXG - EXR、NGBDI、NGRDI 值比非喷药区域低。喷药区域的纹理特征比非喷药区域小,主要因素是杂草喷药后枯萎失绿,背景土壤暴露出来,导致纹理特征值偏低。

飘移区域、均匀喷药区域、地块边缘区域:从 RGB、HLS、HSV 3 个颜色空间特征来看,2 个时期的飘移区域、地块边缘区域、均匀喷药区域各分量均值依次递增。从植被指数来看,4 月 20 日正常喷药区域和飘移区域的植被指数差别不大,而地块边缘区的 EXG - EXR、VDVI、NGBDI、NGRDI 值低于前二者,从侧面说明地块边缘区播种的密度相对较低。4 月 28 日 3 个区域的植被指数值并没有明显差别。

3.2 除草率对比

从 G - R 阈值分割法来看,地块边缘区、飘移区、均匀喷药区除草率依次递减。原因在于均匀喷药区的杂草长势比较旺盛,播种比较均匀,所以在喷药后所残留的杂草较多。地块边缘区杂草相对播种较少,无人机喷洒的农药也能覆盖到此区域。故地块边缘区的除草率最高。

从数据上来看,飘移区并没有因为农药飘移的原因而产生过度影响,其除草率也很高。无人机的路线是直线飞行,当某一瞬时风向使农药以雾滴的形式降落到飘移区,故飘移区的除草率也相对较高。试验结果表明,飘移区域的除草率与均匀喷药区的除草率没有明显差别,即飘移现象对杂草的除草效果没有明显不好的影响。但是飘移现象会造成农药的浪

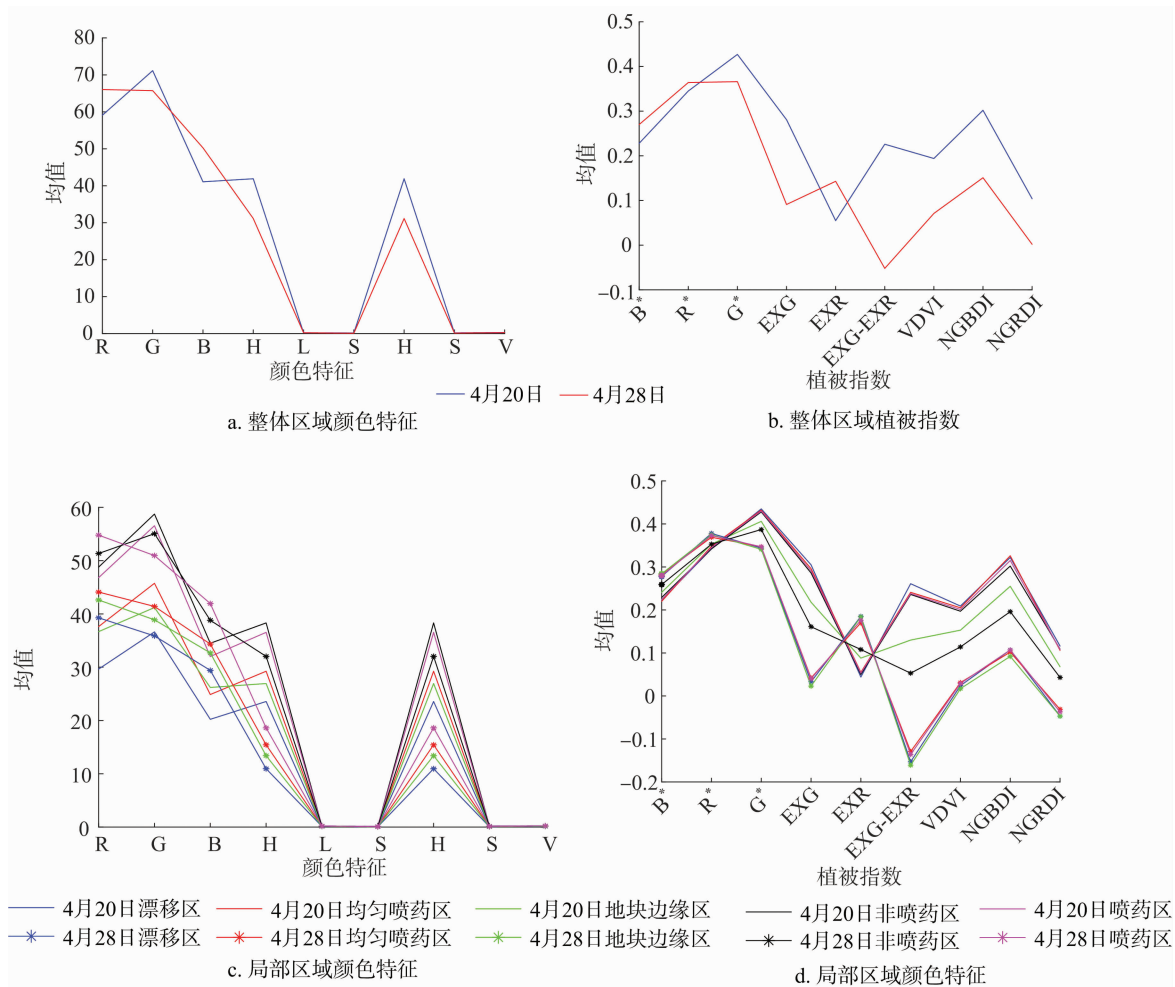


图5 颜色特征和植被指数特征分析

费,还可能会造成某些区域的喷洒不均匀,为避免这种现象发生,应该在风力较小的情况下用无人机喷洒农药或者通过无人机遥感航空制图后针对性地实施补救措施。

数据显示基于 EXG - EXR 阈值分割的方法计算出的除草率更高一点,主要是这种方法更能有效地分割出绿色植物,去除了一些已经死亡但是仍存在地里的杂草,所以对健康绿色杂草的分割更加精确,也使得除草率的计算更加准确。因此 EXG - EXR 阈值分割方法比 G - R 阈值分割方法更好。

本试验探讨了在复杂背景、目标物体繁多且小的情况下,分割处理方法及机器学习方法的处理效果,并对农业喷药中常见的飘移现象进行了分析。试验验证了 EXG - EXR 植被指数分割效果相对于传统分割方法效果更好,且佐证了基于 SVM 的机器学习分割方法在处理样本多且尺寸细小物体时效果并不理想,而且工作量很大。本试验填补了国内利用 EXG - EXR 植被指数进行喷药除草评估应用的空白,能为大面积喷药除草效果评估提供借鉴。同时,随着多光谱、高光谱等新型传感器的使用,也为更加精准的农药喷洒评估提供了新的技术支持。

#### 参考文献:

[1] 金伟,葛宏立,杜华强,等. 无人机遥感发展与应用概况[J]. 遥感信息,2009(1):88-92.

[2] 李冰,刘裕源,刘素红,等. 基于低空无人机遥感的冬小麦覆盖度变化监测[J]. 农业工程学报,2012,28(13):160-165.

[3] Zhang C H, Kovacs J M. The application of small unmanned aerial system for precision agriculture: a review[J]. Precision Agriculture, 2012,13(6):693-712.

[4] Everaerts J. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping[J]. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2008,144:1187-1191.

[5] 汪沛,罗锡文,周志艳,等. 基于微小型无人机的遥感信息获取关键技术综述[J]. 农业工程学报,2014,30(18):1-12.

[6] 王玲,兰玉彬, Hoffmann W C, 等. 微型无人机低空变量喷药系统设计与雾滴沉积规律研究[J]. 农业机械学报,2016,47(1):15-22.

[7] 汪小钦,王苗苗,王绍强,等. 基于可见光波段无人机遥感的植被信息提取[J]. 农业工程学报,2015,31(5):152-159.

[8] Vapnik V N. An overview of statistical learning theory[J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1999,10(5):988-999.

[9] 郭鹏,武法东,戴建国,等. 基于无人机可见光影像的农田作物分类方法比较[J]. 农业工程学报,2017,33(13):112-119.

[10] Miao R H, Tang J L, Chen X Q. Classification of farmland images based on color features[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2015,29(2):138-146.

[11] Sklenicka P. Classification farmland ownership fragmentation as a cause of land degradation: a review on typology, consequences, and

张悦,施维,李丹,等. 禾谷镰刀菌全基因组候选效应因子预测与分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(6):81-84.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.06.018

# 禾谷镰刀菌全基因组候选效应因子预测与分析

张悦<sup>1</sup>,施维<sup>2</sup>,李丹<sup>3</sup>,徐志雄<sup>1</sup>,陈子牛<sup>1</sup>

(1. 昆明学院生命科学与技术系,云南昆明 650214; 2. 云南省个旧市农民科技教育培训中心,云南个旧 661000;

3. 云南交通技师学院,云南昆明 650300)

**摘要:**本研究根据已公布的禾谷镰刀菌的全基因组信息,以其全基因组蛋白序列为试验材料,通过生物信息学方法,对其候选效应分子及其功能进行预测和分析。首先利用 SignalP、TMHMM、Protcomp、big-PI Predictor、TargetP 等程序依次预测出其分泌类型的蛋白,再通过其序列大小和半胱氨酸的含量作进一步筛选,最后利用 Blastp 工具与非冗余蛋白质数据库进行比对,找出数据库中没有蛋白同源性的序列,从而获得候选效应分子。最终对禾谷镰刀菌全基因组的 14 038 个蛋白序列进行分析,预测了 126 个符合条件的候选效应分子。本研究通过 LTR-FINDER 程序对禾谷镰刀菌全基因组内的转座子进行分析,但未发现转座子存在,值得进一步分析研究。本研究采用生物信息学分析方法预测出了禾谷镰刀菌的候选效应分子并查找其基因组内转座子情况,可为进一步研究这些效应分子的功能,了解禾谷镰刀菌进化奠定基础。

**关键词:**禾谷镰刀菌;全基因组;候选效应因子;转座子;生物信息学;致病机制;进化历程

**中图分类号:** S432.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)06-0081-04

禾谷镰刀菌 (*Fusarium graminearum*) 属半知菌类丛梗孢目瘤座孢科镰刀属菌。在粮食上普遍存在,它与其他几种镰刀菌都能引起小麦、大麦、玉米等作物发生赤霉病,还可以引起水稻、高粱、豆类、茭白等发生根腐病、茎基腐病、穗腐病。由镰刀菌引起的赤霉病不仅会造成粮食产量减产,而且产生的真菌毒素也给人畜的健康造成了严重威胁<sup>[1-4]</sup>。

病原菌在入侵植物的过程中会分泌效应分子到寄主植物细胞中,对寄主植物细胞的生理、生化过程及细胞代谢等产生显著的影响。通过这些致病效应因子的作用病原菌可以克服寄主植物的防卫反应,从而促进和完成对寄主植物的侵染<sup>[5]</sup>。效应分子由于要分泌到细胞外起作用,因此一般具有以下特征:(1)含有 N 端信号肽;(2)无跨膜结构域;(3)无糖基磷脂酰肌醇锚定位点;(4)没有将蛋白输送至线粒体或其他胞内细胞器的预测定位信号;(5)氨基酸残基数量大约为 50~300 个氨基酸;(6)富含半胱氨酸而且特异性高于其他病

原菌的效应分子<sup>[6-7]</sup>。因此,可以根据效应因子的一般结构特征对已完成测序的病原微生物进行分析,预测其中可能的候选效应因子,目前已有多篇报道针对多种病原微生物的候选效应因子进行生物信息学预测分析的报道<sup>[8-10]</sup>。转座子是一类能够在基因组中通过转录或逆转录,在内切酶的作用下,在其他基因座上出现的 DNA 序列。通过对转子的分析,有助于了解微生物的进化历程<sup>[11-12]</sup>。本研究于 2017 年 8 月对已有的禾谷镰刀菌测序数据进行统计归纳,分析其基因组中的候选效应因子序列及转座子序列,以期对了解禾谷镰刀菌的致病机制及进化历程有指导意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 禾谷镰刀菌全基因组数据

禾谷镰刀菌全基因组数据来自数据库 (<http://www.broad-institute>),该数据库还收录了该病菌预测的 14 038 条预测基因 DNA 序列及其预测蛋白质的氨基酸序列。

### 1.2 信号肽预测

SignalP 4.1 Server (<http://www.cbs.dtu.dk/services/SignalP/>) 是预测信号肽的服务器。它的功能是预测给定的氨基酸序列中是否存在潜在的信号肽剪切位点及其所在置,原核生物和真核生物都可以进行预测。以 SignalP 4.1 分析给定的氨基酸序列 C、S、Y 的最大值,以及位于 N 端和被预测

remedies[J]. Land Use Policy,2016,57(3):694-701.

[12] Mesas-Carrascosay F J,Notario-Garcia M D,de Larriva J E M,et al. Validation of measurements of land plot area using UAV imagery [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,2014,33(5):270-279.

[13] Mao W H,Wang Y M,Wang Y Q. Real time detection of between-row weeds using machine vision[C]. Las Vegas,Nv July,2003.

[14] 龙满生,何东健. 玉米苗期杂草的计算机识别技术研究[J]. 农业工程学报,2007,23(7):139-144.

[15] 杨柳,陈延辉,岳德鹏,等. 无人机遥感影像的城市绿地信息提取[J]. 测绘科学,2017,42(2):59-64.

[16] 江洪,汪小钦,吴波,等. 地形调节植被指数构建及在植被覆盖度遥感监测中的应用[J]. 福州大学学报(自然科学版),2010,38(4):527-532.