

覆膜种植对玉米生长初期 NDVI 识别的影响

孟庆兰 高军凯 卢筱茜 常学礼*

(鲁东大学资源与环境工程学院, 山东烟台 264025)

摘要 覆膜种植是干旱区绿洲农业普遍采用的方式, 大面积覆膜种植对农作物早期 NDVI 生长状况监测具有较大的影响。本文在张掖绿洲以大面积种植的玉米为测定对象, 选择黑膜和透明膜覆盖与裸地种植进行地面反射光谱特征研究, 揭示覆膜种植对玉米生长初期 NDVI 识别的影响。结果表明: 黑膜和透明膜与裸地之间的光谱反射率都存在显著差异 ($P < 0.05$); 在 325~1035 nm 波段波长范围内, 黑膜、透明膜、裸地光谱反射率平均值总体特征为透明膜 (25.9%) > 裸地 (13.9%) > 黑膜 (13.7%); 对使用较多的 Landsat 和 MODIS 数据而言, 覆膜率与 NDVI 之间呈线性回归, 其中透明膜覆盖率与 NDVI 的线性趋势回归斜率大于黑膜覆盖度; 地膜覆盖种植对玉米早期生长 NDVI 识别有较大的影响。

关键词 作物覆膜; 反射光谱; NDVI

Impacts of film mulch planting on NDVI identification in corn early growth. MENG Qing-lan, GAO Jun-kai, LU Xiao-qian, CHANG Xue-li* (*College of Resources and Environment Engineering, Ludong University, Yantai 264025, Shandong, China*).

Abstract: Film mulch planting is commonly adopted in oasis agriculture in arid zone, and large-scale film mulch cultivation may have significant effects on the remote sensing monitoring for NDVI of crop's early growth. In order to better understand spectral reflectance characteristics of different mulch materials, this study employed black film and transparent film, compared with bare cropland, to illustrate the impact of film mulch planting on NDVI identification in corn's early growth. The results showed that the spectral reflectance among black film, transparent film and bare cropland existed significant difference ($P < 0.05$). At 325–1035 nm wavelength, the average spectral reflectance of transparent film, bare cropland and black film were 25.9%, 13.9% and 13.7%, respectively. For Landsat and MODIS data, relationship between the mulching area and NDVI was linear in large-scale film mulch cultivation area, and the slope of the regression equation of the transparent film was larger than that of the black film. These results indicated that the mulch film planting had significant influence on identifying the corn's early growth based on NDVI monitoring.

Key words: plastic-mulch; spectral reflectance; NDVI.

覆膜种植是调节农作物从播种到生长中期各种不利因素的主要种植方式, 该项技术自 20 世纪 70 年代从日本引进以来, 种植面积逐渐扩大, 已从蔬菜、棉花发展到玉米、甜菜和小麦等 40 多种作物 (王频, 1998; 曾红远等, 2012; 赵阳, 2014; Francois *et al.*, 2015)。在中国的干旱、半干旱地区绿洲中, 覆膜种植已成为主要的旱田栽培方式, 在每年的春夏

之交形成一种广泛分布的农业景观 (沙先丽, 2012)。覆膜种植能够显著地提高农作物产量, 同时也造成了一定的土壤污染, 因此对不同覆膜方式对作物生长影响、覆膜技术配套分析、残膜污染的治理措施及对策经济分析等方面的研究也非常活跃 (Li *et al.*, 2015)。此外, 覆膜种植也改变了农作物生长初期地表覆盖状况, 对作物早期遥感识别产生了较大的影响, 因此在遥感数据中识别覆膜种植以及与其高度相似的集约日光温室种植成为农作物早期生长状况遥感识别的关键。

归一化植被指数(NDVI)是植被遥感监测中最常用的指数之一,其可反映植被的生长状况(Colby *et al.*, 1998)。特别是依赖时间序列的遥感数据,可对农作物、草地的生长进程进行有效监测。而大规模覆膜种植极大地改变了地表光谱反射特征,如何准确地从遥感信息中提取、识别这类地物并赋予准确的属性特征,也成为遥感技术应用中的科学问题之一。Colby 等(1998)利用 Landsat TM 影像对高山地区土地进行分类时,在覆膜大棚大面积分布的地区提取地类信息,出现了提取精度较低的问题。Levin 等(2007)在对农业景观地面光谱仪采集数据进行分类时发现,对透明地膜的覆膜土地提取精度较高,达 90% 以上,对黑色地膜的覆膜土地提取精度较低,只有 70%。Pietro 等(2011)在利用 Landsat TM 影像,对覆膜农田的信息进行提取的基础上,利用 GIS 软件和 3D 建模技术,建立了一套自动识别覆膜农田的程序。这些研究初步构建了覆膜土地光谱特征的识别及分析技术和方法,为分析覆膜种植对生长初期农作物 NDVI 的影响机制和早期判定农作物分布范围、面积等空间信息奠定了基础。

在中国内陆干旱区,随着近几十年来的社会和经济的发展,绿洲面积在逐渐增大,引起了水资源不足、绿洲可持续性发展受到严重威胁的问题(Zhao *et al.*, 2010)。因此绿洲生态需水研究成为干旱区区域资源研究的重点,并列入国家自然科学基金委员会的专项研究内容(<http://www.nsfc.gov.cn/publish/portal0/tab38/info39978.htm>)。而在生态需水研究中,基于 NDVI 变化研究是理解时间序列上不同植被类型生态需水量的主要方式之一(田庆久等, 1998; Zhao *et al.*, 2007; 李登科等, 2008; 席海洋等, 2013)。NDVI 是指近红外波段与可见光红波段数值之差与这两个波段数值之和的比值,是植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子,与植被的分布密度呈线性相关(Marchetti *et al.*, 2015)。但是 NDVI 在应用中存在着一个很大缺陷,就是对土壤背景的变化较为敏感(李文梅等, 2010)。当农作物地上部分密度不大,不能形成对地面全覆盖时,测得的光谱信息不仅是作物本身的光谱信息,还包含了部分下垫面的反射光,所测得的反射光谱是两者的叠合信息。因此可以推断,在干旱绿洲区由于覆膜种植导致农作物生长初期地表反射光谱特征发生了极大的变化,进一步研究不同覆膜裸露面积对农作物反射光谱的影响成为农作物早期生长状况遥感监

测的必由之路。

据此,本文拟对不同覆膜类型以及覆膜裸露面积对早期农作物 NDVI 的影响是否存在差异,覆膜裸露面积对早期农作物 NDVI 二者的关系是什么展开研究,以期解释覆膜种植对生长初期农作物 NDVI 的影响机制,为内陆干旱区绿洲农业生态需水和作物产量之间的权衡关系认知提供补充。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区选择在中国科学院临泽内陆河流域综合研究站,行政区划隶属甘肃省临泽县。地理坐标 39°21'N, 100°07'E, 海拔 1367 m。该区属大陆干旱气候,多年平均降水 117 mm,年蒸发量 2390 mm,年均气温 7.6 °C,最高气温 39.1 °C,最低气温 -27 °C, ≥10 °C 的年积温为 3088 °C,无霜期 105 d,年均风速 3.2 m·s⁻¹,大于 8 级的大风日数年均 15 d,主风向为西北风,风沙活动主要集中在 3—5 月。地带性土壤为灰棕漠土,绿洲农业依赖黑河水资源灌溉,在长期的耕种和熟化下,形成绿洲潮土和灌漠土,并有大片的盐碱化土壤和风沙土分布。研究区所处的绿洲,主要栽培的农作物有玉米、春小麦、棉花等,其中玉米种植面积超过 90%。在绿洲外围的荒漠区,主要植物种有梭梭(*Halaxylon ammodendron*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)和红砂(*Reaumuria soongorica*)等旱生型灌木和小灌木。

1.2 地被类型选择

在覆膜类型上选择目前农业种植中广泛采用的黑膜和透明膜二种材料,进行反射光谱测定,与裸地的反射光谱进行比较。针对绿洲农业种植结构特点,选择种植面积占绝对优势的玉米为测定对象,实验期间玉米已经出膜,生长处于三叶期阶段,田间土壤湿度一致,可忽略土壤湿度对植被 NDVI 的影响。测定植株高度、叶片数、叶片大小和基径基本相同。所以,整个实验分成 3 个平行组,分别为裸地种植(对照)、覆黑膜种植和覆透明膜种植。通过比较分析不同覆膜方式对生长初期农作物 NDVI 的影响。

1.3 植物反射光谱的测定

植物光谱反射测定用美国生产的 ASD 手持便携式光谱仪(FieldSpec HandHeld),有效测定波长范围为 325 ~ 1075 nm,视场角为 25°(岳喜元等, 2014)。在选定不同处理的玉米标准株后,分别在

观测植株上方架设光谱仪测定架,控制探头垂直向下,保持探头距离地面高度为 66.7 cm,对应地面辐射范围为直径 30 cm 的圆。在测定时为防止传感器响应系统漂移和太阳入射角变化产生的误差,每隔十分钟用白板校正一次 (Hofmann *et al.*, 1998; 傅克忭等, 1999)。植物反射光谱测定日期为 2015 年 5 月 10—12 日,具体测定时间为每天的 10:00—14:30,天气晴朗无云,风力较弱。在测定中,每次对每个标准株进行 5 次重复测定,求平均值。

1.4 覆膜面积的控制

覆膜面积的控制主要是通过人为逐渐添加土块的方式来改变覆膜面积大小。覆膜面积的测定采用数码照相机拍照,以光谱仪探头距地面距离 (66.7 cm) 为拍摄高度,将 30 cm 的样圈套于玉米标准株,使样圈圆心与玉米植株中心重合,数码相机镜头垂直样圈拍照。然后利用 ArcGIS 中的再分类模块 (Reclassify) 分别将土块、玉米植株、薄膜进行分类,求出覆膜的面积。

1.5 光谱数据处理与植被指数提取

对光谱数据的处理,采用 ASD 地物光谱仪软件系统中的 ViewSpec Pro version 6.0 软件。首先对所测光谱进行筛选,剔除其中的无效记录。其次,针对区域植被遥感研究多采用 Landsat 和 MODIS 数据的现状 (范文义等, 2004), 分别计算与其 NDVI 一致的反射光谱波长的反射率。其中, Landsat TM 为 620~690 nm (波段 3, Red)、760~960 nm (波段 4, NIR); MODIS 为 620~670 nm (波段 1, Red)、841~876 nm (波段 2, NIR)。每一波段的数据整合采用积分,最后将数据导出到 Excel 中,根据公式 $NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red})$ 计算 NDVI。

2 结果与分析

2.1 不同地被类型反射光谱比较

2.1.1 总体特征 由图 1 可以看出,裸地、黑膜和透明膜的反射光谱曲线变化趋势在波长小于 910 nm 时基本一致,但变化幅度存在差异;在波长大于 910 nm 时,黑膜和透明膜的反射光谱曲线呈现波动,而裸地反射光谱曲线呈现下降趋势,在波长 1035 nm 处,裸地的光谱反射率下降到 0。从反射率的变化特征来看,透明膜在波长 760 nm 处进入高反射区,黑膜在 607 nm 进入高反射区,黑膜的高反射区反射率较低。裸地的光谱曲线存在两个明显的光谱分区,在 731 nm 处进入高反射区,在 917 nm 处出现了衰减区。从反射率的变化幅度来看,裸地的反射率在 0~20.58%,透明膜的反射率在 15.20%~40.92%,黑膜的反射率在 5.14%~27.32%。在 325~1035 nm 波段波长范围内,透明膜覆盖光谱反射率平均值为 25.95%,黑膜的光谱反射率平均值为 13.76%,裸地的光谱反射率平均值为 13.91%。

2.1.2 红外和近红外波段特征 从与常用遥感 NDVI 数据相同波段的变化来看,在 Landsat NDVI 波段 (TM3 和 TM4) 和 MODIS NDVI 波段 (MODIS1 和 MODIS2) 的波长范围内,光谱反射率差别较大 (表 1),透明膜、黑膜和裸地的光谱反射率平均值总体特征是透明膜>裸地>黑膜。在 MODIS1 波段波长范围内,透明膜、裸地和黑膜的光谱反射率平均值分别为 23.11%、15.30% 和 14.78%,透明膜的光谱反射率明显高于裸地和黑膜的光谱反射率,黑膜和裸地的光谱反射率相差不大。在 MODIS2 波段波长范围内,透明膜、裸地和黑膜的光谱反射率平均值分别

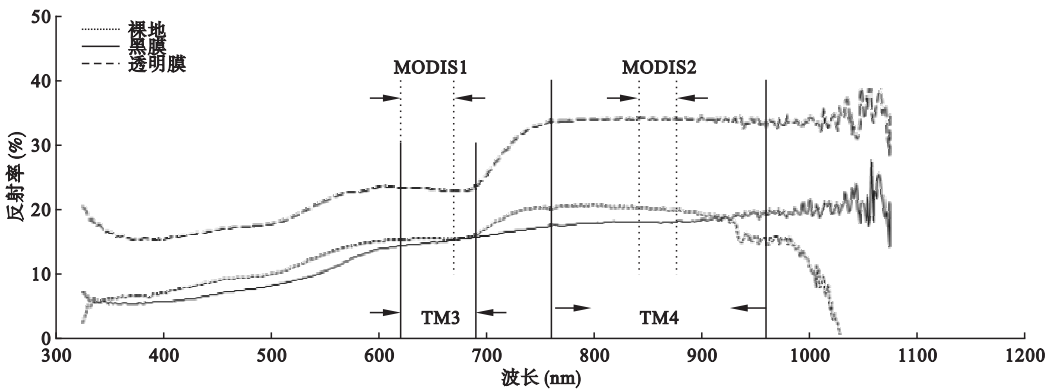


图 1 裸地、黑膜和透明膜的光谱曲线

Fig.1 The spectral reflectance curves of bare land, black film and transparent film

表 1 不同地被类型的反射率状况 (%, 平均值±标准差)
Table 1 The reflectivity of different soil mulching (mean±standard)

地被类型	TM3	TM4	MODIS1	MODIS2
裸地	15.35±0.12 a	19.24±1.69 a	15.30±0.06 a	20.01±0.14 a
黑膜	14.96±0.37 b	18.20±0.51 b	14.78±0.25 b	18.01±0.06 b
透明膜	23.05±0.22 c	33.84±0.28 c	23.11±0.20 c	33.95±0.12 c

同一列不同小写字母表示在 0.05 水平上有显著差异。

为 33.95%、20.01% 和 18.01%,透明膜的光谱反射率明显高于裸地和黑膜的光谱反射率,黑膜和裸地的光谱反射率差距明显。在 TM3 波段波长范围内,透明膜、裸地和黑膜的光谱反射率平均值依次为 23.05%、15.35% 和 14.96%,在 TM4 波段波长范围内,波长在 760~921 nm 范围内,裸地的光谱反射率高于黑膜,而在 921~960 nm 范围内,裸地的光谱反

射率低于黑膜,透明膜、裸地和黑膜的光谱反射率平均值分别为 33.84%、19.24%和 18.20%。

此外,从玉米生长初期阶段的 Landsat 和MODIS NDVI 波段的比较来看(表 2),在 TM 数据中,TM3 波段和 TM4 波段覆透明膜玉米地的光谱反射率明显高于未覆膜和覆黑膜的玉米地反射率,其中,未覆膜玉米地的光谱反射率最低。同时,利用 TM 波段计算的 NDVI 值也存在很大的差别,其中覆透明膜玉米地 NDVI 最高,为 0.658,而覆黑膜玉米地 NDVI 最小,为 0.413。

在 MODIS 数据中,MODIS1 波段,覆透明膜玉米地光谱反射率最高,未覆膜玉米地光谱反射率最低。在 MODIS2 波段,覆黑膜玉米地的光谱反射率最高,未覆膜玉米地光谱反射率最低。利用MODIS数据

表 2 不同玉米覆膜类型的反射率与 NDVI (平均值±标准差)
Table 2 The reflectivity and NDVI of different soil mulching in maize early growth (mean±standard)

覆膜类型	TM3	TM4	MODIS1	MODIS2	TM NDVI	MODIS NDVI
未覆膜	15.26±0.13 a	13.31±1.90 a	15.32±0.11 a	14.02±0.18 a	0.427 a	0.144 a
覆黑膜	15.56±0.13 b	19.58±1.66 b	15.50±0.05 b	30.69±0.13 b	0.413 b	0.135 b
覆透明膜	18.07±0.20 c	30.67±0.17 c	18.10±0.18 c	20.32±0.09 c	0.658 c	0.266 c

同一列不同小写字母表示在 0.05 水平上有显著差异。

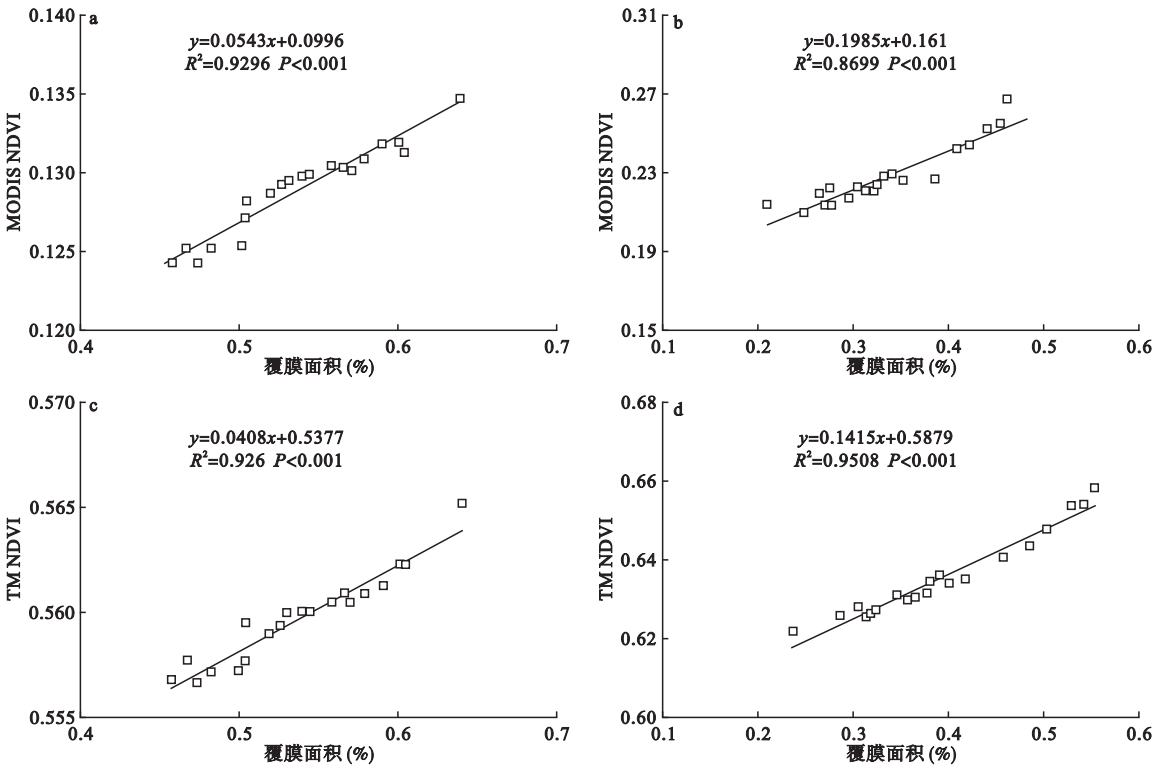


图 2 NDVI 与覆膜率的关系

Fig.2 The relationships between NDVI and the rate of film mulching area

a 代表黑膜面积与 MODIS NDVI 的关系;b 代表透明膜面积与 MODIS NDVI 的关系,c 代表黑膜面积与 TM NDVI 的关系,d 代表透明膜面积与 TM NDVI 的关系。

波段计算的 NDVI 值也存在很大的差别,其中覆透明膜玉米 NDVI 最高,比未覆膜玉米地 NDVI 高 0.122,而覆黑膜玉米地 NDVI 比未覆膜玉米地 NDVI 少 0.009。在不同的波段,玉米、覆黑膜的玉米与覆透明膜的玉米三者之间光谱反射率在 0.05 水平上有显著差异,表明覆膜对植物的反射率和 NDVI 会产生显著影响。

2.2 覆膜率与 NDVI 的关系

从图 2a、b 可以看出,在 MODIS NDVI 与黑膜覆盖率之间的关系呈正相关关系($P<0.001$),斜率为 0.0543;MODIS NDVI 与透明膜覆盖率之间的关系也成正相关关系($P<0.001$),但斜率大于黑膜覆盖,为 0.1985。透明膜覆盖度与 NDVI 线性趋势回归斜率大于黑膜覆盖度,说明透明膜覆盖较黑膜覆盖与玉米地的 NDVI 关系较为密切。

从 TM NDVI 与黑膜覆盖率之间的关系来看(图 2c、d),NDVI 与覆盖率之间呈正相关($P<0.001$),斜率为 0.0408;TM NDVI 与透明膜覆盖率之间的关系也为正相关($P<0.001$),斜率为 0.1415。这表明无论是黑膜覆盖还是透明膜覆盖,NDVI 都是随着覆盖率增大而不断增大,NDVI 与覆膜率之间存在正相关关系。与 MODIS 数据一致,透明膜覆盖度与 NDVI 的线性趋势回归斜率大于黑膜覆盖度,说明透明膜覆盖较黑膜覆盖与玉米地的 NDVI 关系较为密切。

3 讨 论

植被反射光谱受到多种因素的影响(万余庆等,2001;王鹏龙等,2013),其中植被盖度、植物含水率与土壤背景等是主要影响因素(戴小华等,2004;王焕炯等,2010;曹巍等,2013;Marchetti *et al.*, 2015)。本文中,从玉米覆膜种植早期地面反射光谱研究结果来看,地表在总体特征上反射光谱受到了影响。其中对区域植被遥感监测中普遍采用的 Landsat 和 MODIS 数据而言,依据近红外波段与可见光红波段计算的 NDVI 受到的影响较大。这一结果与 Levin 等(2007)在农业景观区遥感监测覆膜种植结果一致。产生这一结果的主要原因与覆膜种植直接导致地表非均质化、改变了地表反射特性和间接促进(或抑制)农田杂草生长密切相关(Colby *et al.*, 1998;范燕敏等,2006)。

结果显示,覆盖透明膜与未覆盖裸地二者之间存在明显差异。在波长 760 nm 处,透明膜出现了较

高的反射区,而裸地高反射区不明显;透明膜的光谱反射曲线没有出现衰减区,而裸地在波长 917 nm 出现了明显的衰减区。在整体上,透明膜的光谱反射率明显高于裸地的光谱反射率。产生这种结果的原因主要是地膜具有很好的光通透性和保湿性,会使膜下水分不断积累,在改善覆膜作物生长环境的同时,也对膜下杂草生长产生了一定的促进作用(范燕敏等,2006)。这一结果导致覆盖透明膜的农田反射光谱特征有明显的增强趋势(图 1)。从与 NDVI 对应波段的 Landsat 和 MODIS 数据来看,覆透明膜的作物比未覆膜作物的光谱反射率高,NDVI 值也较未覆膜的作物高(表 2)。其中,MODIS 波段计算的 NDVI 比裸地增加了 0.122;Landsat 波段计算的 NDVI 比裸地增加了 0.231。从透明膜覆膜面积对 NDVI 的影响来看,随覆膜裸露面积增大,地表的 NDVI 逐渐增大,二者之间存在显著的正相关(图 2b、d)。导致这种结果的原因是透明膜的抑制土壤水分蒸发作用,不仅有利于农作物生长,同时对田间杂草生长也具有促进作用。这一结果与李生秀等(2010)对覆膜种植对棉花生长影响研究一文中的结果相一致。

从黑膜覆盖与未覆盖裸地的比较来看,在总体上覆黑膜的农田反射光谱曲线与裸地基本一致,在波长小于 917 nm 时,黑膜覆盖略低于裸地的光谱反射率;当波长大于 917 nm 时,黑膜光谱反射率逐渐高于裸地的光谱反射率。产生这一结果的主要原因在于,黑膜覆盖直接改变了膜下土壤光照环境,抑制了膜下杂草生长,减少了杂草背景对农作物 NDVI 的影响(王海慧,2005;李生秀等,2010)。从与 NDVI 相一致的 Landsat 和 MODIS 波段来看,覆黑膜的作物比未覆膜的作物的光谱反射率低 0.143%,NDVI 值也较未覆膜的作物低(表 2)。从 MODIS 波段计算的 NDVI 与裸地的比较来看,减小了 0.009;Landsat 波段减小了 0.014。产生这一结果的原因与黑膜的光吸收特点有关,高分子可降解塑料膜的研究表明,黑色塑料膜能更多的吸收光辐射,进而改变地表反射率促进自身分解(Francois *et al.*, 2015)。

从黑膜覆盖面积与 NDVI 的关系来看,随黑膜覆盖面积逐渐增大,作物的 NDVI 逐渐变大,覆膜率与 NDVI 之间存在正相关关系。与透明膜覆盖相比较,二者的线性趋势回归斜率小于透明膜覆盖面积与 NDVI 线性趋势回归斜率。说明在农作物早期生长中,透明膜覆盖比黑膜覆盖对 NDVI 识别的影响大。

4 结 论

透明膜和黑膜覆盖与裸地之间的光谱反射曲线存在明显差异,不同覆膜类型以及覆膜裸露面积对早期农作物 NDVI 的影响显著。从农作物早期光谱反射率平均值来看,透明膜覆盖 (25.9%) > 裸地 (13.9%) > 黑膜覆盖 (13.7%)。覆膜种植对作物初期基于 NDVI 的遥感监测存在极大的影响,在透明膜覆盖中,MODIS 波段计算的 NDVI 比裸地增加了 0.122, Landsat 波段计算的 NDVI 比裸地增加了 0.231。在黑膜覆盖中,从 MODIS 波段计算的 NDVI 比裸地减小了 0.009; Landsat 波段减小了 0.014。透明膜覆盖比黑膜覆盖对作物 NDVI 的影响更为密切。

参考文献

- 曹 巍, 邵全琴, 喻小勇, 等. 2013. 内蒙古小同利用力式温性草原植被光谱特征分析. 草业科学, **21**(2): 243–252.
- 戴小华, 余世孝. 2004. 遥感技术支持下的植被生产力与生物量研究进展. 生态学杂志, **23**(4): 92–98.
- 范文义, 杜华强, 刘 哲. 2004. 科尔沁沙地地物光谱数据分析. 东北林业大学学报, **32**(2): 45–48.
- 范燕敏, 武红旗, 靳瑰丽. 2006. 新疆草地类型高光谱特征分析. 草业科学, **23**(6): 15–18.
- 傅克付, 曾宪模, 任敬萍, 等. 1999. 由现场离水辐射亮度估算黄海透明度几种方法的比较. 黄渤海海洋, **17**(2): 19–23.
- 李登科, 郭 钊. 2008. 陕西 MODIS/NDVI 的区域分布和季节变化. 中国沙漠, **28**(1): 108–112.
- 李生秀, 张占琴, 魏建军. 2010. 不同覆膜方式对棉花生长的影响. 新疆农业科学, **47**(6): 1218–1223.
- 李文梅, 覃志豪, 李文娟, 等. 2010. MODIS NDVI 与 MODIS EVI 的比较分析. 遥感信息, (6): 73–78.
- 沙先丽. 2012. 地膜农田遥感信息提取及覆膜地表温度反演 (硕士学位论文). 杭州: 浙江大学.
- 田庆久, 闵祥军. 1998. 植被指数研究进展. 地球科学进展, **13**(4): 327–333.
- 万余庆, 阎永忠, 张凤丽. 2001. 延河流域植物光谱特征分析. 国土资源遥感, **49**(3): 15–20.
- 王 频. 1998. 残膜污染治理的对策和措施. 农业工程学报, **9**(3): 185–188.
- 王海慧. 2005. 农膜的偏振反射特征研究 (硕士学位论文). 长春: 东北师范大学.
- 王鹏龙, 张建明, 张春梅, 等. 2013. 腾格里沙漠典型植物含水率与地物光谱的关系分析. 中国沙漠, **33**(3): 737–742.
- 席海洋, 冯 起, 司建华, 等. 2013. 黑河下游绿洲 NDVI 对地下水位变化的响应研究. 中国沙漠, **33**(2): 574–582.
- 岳喜元, 常学礼, 刘良旭, 等. 2014. 科尔沁沙地几种固沙植物光谱生物量模型构建与分析. 中国沙漠, **34**(6): 1496–2503.
- 曾红远, 熊 路, 吴佳宝, 等. 2012. 农作物覆膜栽培研究进展. 湖南农业科学, **11**(3): 32–34.
- 赵 阳. 2014. 基于时间效应的新疆覆膜土地空间格局及其动态变化遥感研究 (硕士学位论文). 乌鲁木齐: 新疆师范大学.
- Colby JD, Keating PL. 1998. Land cover classification using Landsat TM imagery in the tropical islands: The influence of anisotropic reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, **19**: 1479–1500.
- Francois T, Lluís M, Hélène A, *et al.* 2015. Performance and environmental impact of biodegradable polymers as agricultural mulching films. *Chemosphere*, **144**: 433–439.
- Hofmann EE, Lascara CM. 1998. Overview of interdisciplinary modelling for marine ecosystems// Brink KH, Robinson AR, Eds. *The Sea*. New York: John Wiley & Sons Inc, **10**: 507–540.
- Levin N, Lugassi R, Ramon U, *et al.* 2007. Remote sensing as a tool for monitoring plasticulture in agricultural landscapes. *Remote Sensing*, **28**: 183–202.
- Li ZG, Tian CY, Zhang RH, *et al.* 2015. Plastic mulching with drip irrigation increases soil carbon stocks of natrargid soils in arid areas of northwestern China. *Catena*, **133**: 179–185.
- Marchetti ZY, Minotti PG, Ramonell CG, *et al.* 2015. NDVI patterns as indicator of morphodynamic activity in the middle Paraná river floodplain. *Geomorphology*, **253**: 146–158.
- Pietro P, Alfonso T, Rocco LC. 2011. Analysis of plasticulture landscapes in southern Italy through remote sensing and solid modeling techniques. *Landscape and Urban Planning*, **100**: 45–56.
- Zhao WZ, Chang XL, He Z, *et al.* 2007. Study on vegetation ecological water requirement in Ejina Oasis. *Science in China Series D: Earth Sciences*, **50**: 121–129.
- Zhao WZ, Niu ZR, Chang XL, *et al.* 2010. Water consumption in artificial desert oasis based on net primary productivity. *Science China Earth Sciences*, **53**: 1358–1364.

作者简介 孟庆兰,女,1990年生,硕士研究生,主要从事土地利用变化与景观生态研究。E-mail: qinglan_meng@126.com

责任编辑 李凤芹