doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.09.017

基于 NDVI 与 EVI 的作物长势监测研究

白燕英1 高聚林2 张宝林3

(1.内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院,呼和浩特 010018; 2.内蒙古农业大学农学院,呼和浩特 010019;3.内蒙古师范大学化学与环境科学学院,呼和浩特 010018)

摘要:基于 2015 年大气校正后的时间序列 Landsat8 影像,研究了归一化植被指数 NDVI 与增强型植被指数 EVI 随 植被覆盖度增加的变化规律,定量分析了二者监测低、中、高植被覆盖的差异,比较分析了 NDVI 和 EVI 分布频率曲 线差异及时间序列曲线差异。结果表明:地表刚出现植被时,NDVI 和 EVI 的增加速度最快,随着地表植被覆盖度 的增加,NDVI 与 EVI 的增加速度减缓。低植被覆盖下 NDVI 的增加速度大于 EVI,中等植被覆盖下 NDVI 和 EVI 的 增加速度接近,高植被覆盖下 NDVI 的增加速度小于 EVI,不同植被覆盖下的 NDVI 值始终大于 EVI 值。NDVI 和 EVI 分布频率曲线能描述不同植被覆盖度像元数量和随时间的变化。NDVI 和 EVI 时间序列曲线能清晰反映一种 作物的长势变化规律及不同作物在同一时期的长势差异。在作物生长初期或低植被覆盖下,NDVI、EVI 都偏高估 计植被覆盖度,NDVI 估计值略高于 EVI 的估计值。在作物生育中期或中等植被覆盖下,二者对植被描述能力相 似。在作物生育高峰期或高植被覆盖下,监测作物长势变化 EVI 比 NDVI 更敏感。综上所述,监测作物时可根据作 物生育期植被覆盖度变化特点合理选取 NDVI 和 EVI 植被指数,也可同时选用 NDVI 和 EVI 两种植被指数互为补充。 关键词:作物长势; Landsat8; 归一化植被指数;增强型植被指数;植被覆盖度 **中图分类号**: S127 文献标识码:A 文章编号:1000-1298(2019)09-0153-09

Monitoring of Crops Growth Based on NDVI and EVI

BAI Yanying¹ GAO Julin² ZHANG Baolin³

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China
 2. Agricultural College, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, China
 3. College of Chemistry and Environmental Science, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010018, China)

Abstract: Based on time series Landsat8 images of atmospheric collected in 2015, the change rules of normalized vegetation index (NDVI) and enhanced vegetation index (EVI) with the increase of vegetation coverage were studied. Their monitoring vegetation cover differences were analyzed quantitatively. The differences of NDVI and EVI distribution frequency curves and the differences of NDVI and EVI time series curves were analyzed. The results showed that NDVI and EVI were increased most rapidly when vegetation appeared on the surface, and with the increase of surface vegetation coverage, the increase rate of NDVI and EVI slowed a descending trend. NDVI with low vegetation coverage was increased faster than EVI, NDVI with medium vegetation coverage was close to EVI, and NDVI with high vegetation coverage was increased lower than EVI. Under different vegetation coverages, NDVI value was always greater than EVI value. NDVI and EVI distribution frequency curves can describe the number of pixels of different vegetation coverage and the change with time. NDVI and EVI time series curves can clearly reflect the growth change rule of a crop and the growth difference of different crops in the same period. The following conclusions were drawn: in the early stage of crops growth or under low vegetation coverage, NDVI and EVI overestimated vegetation coverage, and estimated value of NDVI was slightly higher than that of EVI's. Their ability to describe vegetation was similar in the middle growth stage or in the middle vegetation coverage. EVI was more sensitive than NDVI to monitor crops growth

收稿日期: 2019-03-14 修回日期: 2019-06-25

基金项目:国家自然科学基金项目(51769023)、华北黄土高原地区作物栽培科学观测实验站项目(25204120)和国家重点研发计划项目 (2018 YFD0300403)

作者简介: 白燕英(1980—), 女, 副教授, 博士, 主要从事农业遥感研究, E-mail: baiyanying80@163. com

通信作者:高聚林(1964-),男,教授,博士生导师,主要从事作物生理生态及决策系统研究,E-mail: nmgaojulin@163.com

during crops growth peak or under high vegetation coverage. To sum up, NDVI and EVI may be reasonably selected according to the change characteristics of vegetation coverage during crops growth period, and NDVI and EVI may also be used to supplement each other.

Key words: crop growth; Landsat8; normalized vegetation index; enhanced vegetation index; vegetation coverage

0 引言

植被是陆地最重要的生态系统,它覆盖了地球 大部分陆地表面并强烈地影响地球的生态环境^[1]。 研究区域尺度植被的时空动态变化具有重要科学和 应用价值。遥感影像由于其覆盖面积广,能频繁获 取地表信息,已被广泛应用于区域尺度植被覆盖变 化的动态监测研究^[2]。植被指数是遥感领域中用 来表征地表植被覆盖的简单有效度量参数^[3],被广 泛应用于植被类型监测^[4-7]、长势监测^[8]、植被覆盖 度监测^[9-12],及生物量估算^[13]、作物估产^[14]等研究。

归一化植被指数 NDVI 已经成为监测植被覆盖 情况和生长状况的最佳遥感指数^[2],但基于 NIR 和 Red 比值的 NDVI 算式是以其易饱和为代价来减少 大气的影响,主要表现在对大气干扰的处理有限,在 低植被覆盖区易受土壤背景和植被冠层的影响而偏 高,而在植被高覆盖区则容易饱和^[15-19]。植被指数 饱和是指在密集植被区,当植被越来越茂密时,植被 指数不再随生物量的增加而增长的现象^[19]。增强 型植被指数 EVI 采用"抗大气植被指数"和"土壤调 节植被指数"削弱了气溶胶和土壤背景的影响,并 克服了植被饱和现象,能敏感地监测稀疏植被和茂 密植 被生长与衰落状况,可以弥补 NDVI 的不 足^[20-23]。

然而关于植被指数 NDVI 与 EVI 的差异研究主 要基于 MODIS 和 NOAA/AVHRR 等数据产品,该数 据时间分辨率高,空间分辨率低,适用于大中尺度区 域的研究。基于中高分辨率影像的 NDVI 和 EVI 监 测植被差异的研究鲜见报道,对二者定量化监测植 被的比较研究更少。本文基于 2015 年大气校正后 的 Landsat8 影像,辅以 Landsat7 影像,以像元为基本 计算单元,定量分析 NDVI 和 EVI 随植被覆盖度增 加的变化规律及二者关系比较;分析低、中、高植被 覆盖度下,NDVI 与 EVI 对作物长势变化的监测效 果及其差异性,为作物类型及长势监测选取适宜的 植被指数提供科学依据。

1 研究区概况及数据处理

1.1 研究区概况

土默特右旗位于内蒙古包头市东南部,北倚阴

山山脉,南邻黄河,本文以土默特右旗阴山山脉以南 的平原区为研究区,地理位置范围110°13'~ 111°8′E,40°14'~40°39′N,面积1667.5 km² (图1)。研究区属于典型温带大陆性气候,降水量 少,蒸发量大,年平均降水量357.6 mm,年平均蒸发 量1947.86 mm;主要依赖黄河水灌溉,土地平坦,水 源充足,适宜多种农作物种植。



1.2 遥感影像数据及处理

选用 Landsat8 OLI 影像,辅以 Landsat7 ETM +影 像为遥感数据源,共筛选出 2015 年研究区云量较少 的覆盖作物生育期的 12 景影像(表 1),影像尺寸 178 km×178 km,多光谱、全色波段空间分辨率分别 为 30、15 m。过境周期 16 d,研究区所在行列号为 127-32,过境时间为北京时间 11:18 左右。影像数 据预处理主要包括辐射定标、大气校正、图像裁剪、 去云处理和对 ETM +的去条带处理。选取 6S 模型 对影像进行大气校正,采用 SPLINE 线性插值法进 行去云和去条带处理。

1.3 研究区作物物候

土默特右旗主要种植小麦、玉米、豆类、马铃薯 等粮食作物和葵花、西葫芦、西瓜、甜菜及蔬菜等经 济作物。2015年小麦、玉米、葵花和西葫芦种植面 积约占农作物总种植面积的89.2%,其中玉米种植 面积最大,约占总播种面积的70%。2015年 Landsat8影像过境时间对应的主要作物生育期如 下:①4月28日小麦处于苗期。②5月30日小麦处 于拔节期,玉米和西葫芦处于苗期。③6月15日小 麦处于生育高峰期(孕穗期),玉米处于拔节期,西 葫芦处于初花期。④7月1日小麦开始乳熟,长势

表 1 2015 年 Landsat 遥感影像 Tab.1 Landsat images of study area in 2015

序号	传感器	过境日期	云量/%
1	OLI	2015 - 04 - 28	8.63
2	OLI	2015 - 05 - 14	0.98
3	ETM +	2015 - 05 - 22	1.02
4	OLI	2015 - 05 - 30	2.49
5	OLI	2015 - 06 - 15	2.53
6	OLI	2015 - 07 - 01	0.04
7	ETM +	2015 - 07 - 25	2.08
8	OLI	2015 - 08 - 02	17.79
9	ETM +	2015 - 08 - 26	1.87
10	OLI	2015 - 09 - 03	0.74
11	OLI	2015 - 09 - 19	0
12	OLI	2015 - 10 - 05	0

开始衰减,玉米进入大喇叭口期,西葫芦进入生育高 峰期(结果期),葵花处于苗期。⑤7月25日小麦已 经全部收割,玉米处于生育高峰期(抽雄期),西葫 芦果实逐渐成熟,长势开始衰落,葵花处于拔节期。 ⑥8月2日玉米进入灌浆期,长势开始衰落。西葫 芦果实开始成熟,葵花进入生育高峰期(开花期)。 ⑦8月26日玉米进入乳熟期,西葫芦已经收获,葵 花正值生育高峰期(开花期),长势茂密。⑧9月3 日玉米开始成熟,葵花进入成熟期,长势开始衰落。 ⑨9月19日玉米和葵花都进入收获期。整个生育 期内林地和荒草地从4月28日到8月2日长势一 直呈现逐渐增加趋势,从8月2日到10月5日呈逐 渐下降趋势。

2 植被指数

对绿色植物强吸收的可见光红波段和对绿色植物高反射的近红外波段对同一植被的光谱响应截然相反,二者形成明显的反差,这种反差随着叶冠结构、植被覆盖度而变化。红色和近红外波段的反差是对植物量很敏感的度量,常用这两个波段反射率的比值、差分、线性组合等多种组合构建各种植被指数来增强或揭示隐含的植物信息^[24]。常见植被指数有比值植被指数 RVI、差值植被指数 DVI、绿度植被指数 GVI、归一化植被指数 NDVI、抗大气植被指数 ARVI、土壤调节植被指数 SAVI、增强型植被指数 EVI等。目前应用最为广泛的是归一化植被指数 NDVI,其计算公式为

$$NDVI = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{red}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{red}}}$$
(1)
式中 ρ_{NIR} ——近红外波段反射率
 ρ_{red} ——红波段反射率

为了克服 NDVI 指数存在的缺陷, 文献 [24] 引

人了背景调节参数 L 和大气修正参数 C₁、C₂,同时 减少背景和大气噪声的影响,建立了增强型植被指 数 EVI,其计算公式为

$$EVI = \frac{2.5(\rho_{\rm NIR} - \rho_{\rm red})}{L + \rho_{\rm NIR} + C_1 \rho_{\rm red} - C_2 \rho_{\rm blue}}$$
(2)

式中	$ ho_{ m blue}$ ——蓝波段反射率
	L土壤调节参数,取1
	C ₁ ——大气修正红光校正参数,取6.0
	C2——大气修正蓝光校正参数,取7.5

土壤的红波段反射率 ρ_{red} 与近红外波段反射率 ρ_{NIR} 接近,随着地表植被覆盖度的增加,其红波段反射率 $\rho_{red}减小,而近红外反射率 \rho_{NIR}大幅度增加,植 被覆盖度越高,红光反射 <math>\rho_{red}越小,近红外反射 \rho_{NIR}$ 越大,因此比值植被指数 ρ_{NIR}/ρ_{red} 能灵敏指示绿色 植物生物量^[19,24]。当植被越来越茂密,红波段反射 率 ρ_{red} 越小,近红外波段反射率 ρ_{NIR} 越高,导致 ρ_{NIR}/ρ_{red} 快速增长^[19]。

3 植被指数关系分析

3.1 NDVI 与 EVI 与 $\rho_{\text{NIR}}/\rho_{\text{red}}$ 关系分析

通过分析植被指数 NDVI 和 EVI 随 $\rho_{\text{NIR}}/\rho_{\text{red}}$ 的 变化规律,揭示二者随植被覆盖度增加的变化规律 及差异。土壤的 $\rho_{\text{NIR}}/\rho_{\text{red}}$ 接近 1,随着地表开始出现 植被, $\rho_{\text{NIR}}/\rho_{\text{red}}$ 开始逐渐增加,当地表的光谱特征开 始表现为植被光谱特征时, $\rho_{\text{NIR}}/\rho_{\text{red}}$ 达到 2^[25]。

将 ENVI 软件计算得到的 NDVI 和 EVI 图像以 像元为单位输出文本格式,每个像元输出一个 $X \ Y$ 坐标及植被指数。用 Matlab 软件读入文本数据,绘 制 NDVI、EVI 与 ρ_{NIR} / ρ_{red} 关系图,见图 2a;绘制 ρ_{NIR} / ρ_{red} 与 NDVI 增量、EVI 拟合曲线增量关系图,见 图 2b。

图 2a 表明 NDVI 随着 ρ_{NIR}/ρ_{red} 的增加而增加, 这是由式(1)本身决定的。EVI 引入调节土壤背景 参数和大气修正参数,随着 ρ_{NIR}/ρ_{red} 的增加呈幂函 数趋势增加,图中用其拟合曲线说明其变化情况。 当地表为裸土, ρ_{NIR}/ρ_{red} 为1时,NDVI 与 EVI 均为 0;当地表刚出现植被时,NDVI 和 EVI 的增加速度 最快,当 ρ_{NIR}/ρ_{red} 达到2时,NDVI 升到0.333,EVI 升到0.234,NDVI 的增加速度明显大于 EVI 的增加 速度。图 2b 表明随着 ρ_{NIR}/ρ_{red} 的增加,NDVI 和 EVI 持续增加,但增加值逐渐减小,当 ρ_{NIR}/ρ_{red} 达到10以 后,NDVI 与 EVI 增加极为缓慢。从地表开始出现 植被到植被长势茂密,NDVI 的增加幅度一直高于 EVI 的增加幅度,这是植被无论在生长初期还是生 育高峰期 NDVI 值都高于 EVI 值的根本原因。



Fig. 2 Relationship between $\rho_{\rm NIR}/\rho_{\rm red}$ and VI(Remote sensing image on July 1, 2015)

3.2 NDVI、EVI 与植被覆盖度关系分析

采用二分模型法计算植被覆盖度,计算公式为

$$f_{\rm eNDV1} = \frac{NDVI - NDVI_{\rm soil}}{NDVI_{\rm veg} - NDVI_{\rm soil}} \times 100\%$$
(3)

$$f_{\rm cEVI} = \frac{EVI - EVI_{\rm soil}}{EVI_{\rm veg} - EVI_{\rm soil}} \times 100\%$$
(4)

式中 f_{eNDVI}——NDVI 值计算的植被覆盖度 f_{eEVI}——EVI 值计算的植被覆盖度 NDVI_{soil}——裸土的 NDVI 值 EVI_{soil}——裸土的 EVI 值 NDVI_{veg}——植被的 NDVI 值 EVI_{veg}——植被的 EVI 值

3.2.1 纯裸土和纯植被的植被指数的确定

2015年5月14日遥感影像的裸土像元较多, 用于确定纯裸土像元的 NDVI和 EVI值比较理想。 经过统计分析,像元分布频率高于1%裸土的 NDVI 值范围为0.08~0.15,EVI值范围为0.06~0.1,该 范围的裸土像元数分别占总裸土总像元数的 72.3%和62.4%。裸土的 NDVI和 EVI值主要受土 壤背景明暗程度的影响,土壤背景越暗,NDVI和 EVI越高,土壤背景越亮,NDVI和 EVI 值主要受土 取纯裸土像元 NDVI值为0.15,EVI值取0.1。2015 年7月1日遥感影像高植被覆盖像元较多,用于确 定纯植被像元的 NDVI和 EVI值比较理想,因此根 据图 2a确定纯植被像元,选取 NDVI和 EVI的饱和 值作为纯植被像元的 NDVI值和 EVI值,分别为 0.95和0.7。

3.2.2 植被覆盖度的计算

将研究区植被覆盖度分为4个等级:低植被覆 盖(0 < $f_c \leq 30\%$)、中低植被覆盖(30% < $f_c \leq 50\%$)、中高植被覆盖(50% < $f_c \leq 80\%$)、高植被覆 盖(80% < $f_c \leq 100\%$)。根据式(3)和式(4)分别计 算植被覆盖度,见表2,结果表明相同 $\rho_{\rm NIR}/\rho_{\rm red}$ 对应 的 $f_{\rm eNDVI}$ 和 $f_{\rm eEVI}$ 接近, $f_{\rm eNDVI}$ 略高于 $f_{\rm eEVI}$,但二者差值不 超过 8%。

经过统计分析,低植被覆盖地表 NDVI 和 EVI

表 2 植被指数对应的植被覆盖度

Tab. 2	Vegetation	coverage	corresponding	to	VI

$ ho_{ m NIR}/ ho_{ m red}$	NDVI	$f_{ m cNDVI}/\%$	EVI	$f_{ m cEVI}$ / %
1	0		0.002	
2	0.333	21.6	0.234	22.4
3	0.500	41.2	0.339	39.9
4	0.600	52.9	0.402	50.4
5	0.667	60.8	0.446	57.6
6	0.714	66.4	0.478	63.0
7	0.750	70.6	0.503	67.2
8	0.778	73.9	0.524	70.6
9	0.800	76.5	0.541	73.5
10	0.818	78.6	0.555	75.9
11	0.833	80.4	0.568	77.9
12	0.846	81.9	0.579	79.8
13	0.857	83.2	0.588	81.4
14	0.867	84.3	0. 597	82.8
15	0.875	85.3	0.605	84.1
16	0.882	86.2	0.612	85.3
17	0.889	86.9	0.618	86.3
18	0.895	87.6	0.624	87.3
19	0.900	88.2	0.629	88.2
20	0.905	88.8	0.634	89.0

值范围分别为 0 ~ 0.4 和 0 ~ 0.3, 中低植被覆盖地表 NDVI 和 EVI 值范围分别为 0.4 ~ 0.55 和 0.3 ~ 0.4, 中高植被覆盖度地表的 NDVI 和 EVI 值范围分别为 0.55 ~ 0.8 和 0.4 ~ 0.6, 高植被覆盖地表的 NDVI 和 EVI 值范围分别为 0.8 ~ 1.0 和 0.6 ~ 1.0。

NDVI和EVI的计算方法决定了NDVI始终高于EVI,二者差值随植被长势的增加而增加,当植被覆盖度达到30%时,NDVI与EVI的差值为0.1,植被覆盖度达到50%时,NDVI与EVI的差值达到0.2,植被覆盖度达到80%时,NDVI与EVI的差值 增加到0.27,植被覆盖度达到100%时,NDVI与EVI的差值减小到0.26。

3.3 NDVI与EVI 散点图及拟合曲线关系分析

根据 NDVI 与 EVI 散点图,分析研究区作物生 育前期(5月30日)、生育高峰期(7月1日)及生育 末期(9月19日)3个时期的 NDVI 和 EVI 关系,见 图 3。图 3 表明 3 个时期的散点图分布规律基本一 致,呈正比例散点图分布,且主要分布在1:1直线上 方,说明绝大部分像元的 NDVI 值均高于 EVI 值。 3 个时期的散点图分布略有区别,作物生育前期 (5月30日),高植被覆盖地表少,因此在高值区的 散点少。7月1日的高植被覆盖地表较多,植被指 数较高,高值区的散点多而密集。9月19日很多作 物已经开始收获,植被长势明显枯萎,在高值区的散 点明显减少。

高植被覆盖区随着植被覆盖度的增加, NDVI 的增

像元数比值即 NDVI(EVI)值的分布频率,植被指数 对应的分布频率越高,表明该植被指数对应的像

元数越多,植被指数对应的分布频率越低,表明该 植被指数对应的像元数越少。作物不同生育时期

遥感影像的 NDVI 和 EVI 分布频率曲线见图 4 和

不同 NDVI(EVI) 值对应的像元数与研究区总

加速度低于 EVI 增加速度。

3.4 NDVI 与 EVI 分布频率比较





EVI与 NDVI 散点图的拟合曲线形式为二次函数,根据拟合曲线斜率将 EVI与 NDVI 散点图的拟合曲线分为3 段,EVI为0~0.3、0.3~0.6、0.6~ 1.0。拟合曲线在 EVI小于0.3范围内斜率大于1:1直线,说明低植被覆盖下随着植被覆盖度的增加, NDVI增加速度高于 EVI值增加速度。拟合曲线在 EVI为0.3~0.6范围内斜率接近1:1直线,说明在 中等植被覆盖区随着植被覆盖度的增加,NDVI增 加速度与 EVI的增加速度基本一致。拟合曲线在 EVI为0.6~1.0范围内斜率小于1:1直线,说明在



图 5。



图 4 表明不同时期的 NDVI(EVI)分布频率曲 线差异较大,5 月 30 日 NDVI 和 EVI 分布频率曲线 在低值区呈尖峰状,说明 NDVI 和 EVI 的分布比较 集中,表明此时地表大部分为裸土和低植被覆盖。 6 月 15 日曲线峰值明显下降且右移,但曲线峰值对 应的植被指数仍属于低植被覆盖范围,说明地表仍 以低植被覆盖为主,但地表的植被覆盖明显增加。 从 7 月 1 日开始,曲线明显下移且分布范围扩大,表 明高植被覆盖地表明显增加,此时大部分作物处于 生育高峰期,长势茂密。9月3日分布频率曲线从 右侧收缩,表明长势茂盛的作物开始衰落,植被指数 下降。9月19日分布曲线从右侧继续收缩,右侧峰 值左移,说明作物长势继续衰落,植被指数继续下 降。

比较不同时期的 NDVI(EVI)分布频率曲线目 的在于比较不同时期地表植被覆盖度的变化,结果 表明:不同时期 NDVI(EVI)分布频率曲线对比能明 显反映地表植被覆盖度的变化。



Fig. 5 Comparison of NDVI and EVI distribution frequency curves in the same time period

图 5 表明同一时期 NDVI 与 EVI 分布频率曲线 形状相似,由于 NDVI 值域范围宽为 0 ~ 0.95, EVI 值域范围窄为 0 ~ 0.7,因此 EVI 频率曲线分布比 NDVI 频率曲线分布集中。由于同一像元 NDVI 值 高于 EVI,且随着地表覆盖度的增加,NDVI 与 EVI 的差值逐渐增加,在图上表现为 EVI 曲线较 NDVI 曲线左移,随着植被覆盖度的增加,左移距离明显增 加。NDVI 与 EVI 分布曲线差异表现在:6月15日 NDVI 曲线峰值明显低于 EVI 曲线峰值,9月3日和 9月19日 NDVI 曲线左侧峰值略低于 EVI 曲线左侧 峰值,说明 NDVI 对地表开始生长植被反映敏感,估 计值偏高,因此刚出现植被的地表像元 NDVI 值增 加较 EVI 快,分布范围较 EVI 广,导致 NDVI 峰值低 于 EVI 峰值。

比较同一时期 NDVI 与 EVI 分布频率曲线的目的在于揭示 NDVI 和 EVI 指示研究区地物不同植被覆盖度的分布结果。分析结果表明:同一时期的 NDVI 与 EVI 的频率分布曲线形状相似,说明 NDVI 和 EVI 描述不同植被覆盖度分布的结果基本一致。

3.5 作物 NDVI 与 EVI 时序曲线比较

3.5.1 同一作物 NDVI 与 EVI 时序曲线比较

在不同时相 NDVI 图像和 EVI 图像上提取作物 采样点的 NDVI 值和 EVI 值,构建作物时间序列 NDVI 曲线和 EVI 曲线,见图 6。图 6表明每种作物 的 NDVI 时序曲线和 EVI 时序曲线趋势基本一致, 都能清晰反映作物的生长和衰落变化。作物的 EVI 曲线始终低于 NDVI 曲线,二者差值随长势增加而 增大,随长势衰落减小。在作物生长初期或中低植 被覆盖下,两种曲线变化趋势一致,对植被描述能力 相似。

在高植被覆盖下,两种曲线描述作物生长或衰 落有所差异。主要表现在作物继续生长时,NDVI 增长趋势不如 EVI 增长趋势明显,如玉米从7月1 日大喇叭口期到7月25日抽雄期,小麦从5月22 日拔节期到6月15日孕穗期。高植被覆盖作物开 始成熟时 NDVI 呈继续增加趋势而 EVI 则呈下降趋 势,如玉米从7月25日抽雄期到8月2日灌浆期, 小麦从6月15日孕穗期到7月1日乳熟期。说明



Fig. 6 Comparison of the same crop NDVI and EVI time series curves

由于 NDVI 的饱和性,高植被覆盖度作物继续生长时,NDVI 增加不如 EVI 增加明显;高植被覆盖作物 衰落时,EVI 呈现下降趋势而 NDVI 表现为继续增加。

NDVI 时序曲线在作物长势明显增加或衰落时 呈突增或突降趋势, EVI 曲线变化较 NDVI 曲线平 缓,主要因为 NDVI 仅与 $\rho_{\text{NIR}}/\rho_{\text{red}}$ 有关,当植被长势 变化明显时,其 $\rho_{\text{NIR}}/\rho_{\text{red}}$ 变化明显导致 NDVI 突增或 突减。EVI由于引入调节土壤背景参数和大气修正参数,计算结果较为稳定,不会因为 ρ_{NIR}/ρ_{red} 的较大变化而呈突增或突降。

3.5.2 不同作物间 NDVI 及 EVI 时序曲线比较

分别将上述研究的 6 种植被(作物)典型采样 点的 NDVI、EVI 时序曲线放在一起分析其差异,比 较结果见图 7。





图 7 表明不同植被(作物)NDVI 和 EVI 时序曲 线的差异规律基本一致,都能清晰反映植被(作物) 在生育期内随长势变化的规律和不同植被(作物) 在同一时期的长势差异。

两条时序曲线的明显差异表现在植被(作物) 从6月15日到7月1日的变化趋势,小麦的NDVI 曲线表现为增加趋势,EVI曲线显示为降低趋势,原 因在于6月15日小麦处于生育高峰期孕穗期,由营 养生长变为生殖生长,此时长势最旺盛,此后开始逐 渐乳熟,长势逐渐衰落。7月1日玉米、西葫芦、小 麦和林地的NDVI值接近,难以区分,但它们的EVI 值差异明显,西葫芦最高,玉米和林地接近,小麦略 低。上述现象表明NDVI由于其易饱和性对高植被 覆盖作物长势变化反应不敏感,而EVI对高植被覆 盖作物长势变化反应敏感。

4 讨论

(1)图 2 植被指数与 ρ_{NIR}/ρ_{red}关系和图 3b EVI 与 NDVI 散点图都显示植被茂盛期 7 月 7 日 NDVI 的取值范围在 0 ~ 0.95, EVI 的取值范围在 0 ~ 0.95, 但图 5 频率分布曲线显示 7 月 1 日植被生育 高峰期 EVI 超过 0.7 的像元分布频率接近 0, 达到 0.7 的像元分布频率为 0.02%, 大于 0.7 的像元数 共有 4 684 个像元, 累积值仅占研究区面积 0.25%, 因 此 EVI 最大值取 0.7。NDVI 超过 0.95 的像元分布频 率接近 0, NDVI 最大值取 0.95。

(2)在植被生长初期或低植被覆盖下,NDVI和 EVI 增加都很快,NDVI 的增加速度明显高于 EVI 的 增加速度,导致作物生长初期 NDVI 和 EVI 都过高 地估计植被覆盖度,NDVI估计值略高于 EVI的估 计值。在植被生育中期或中等植被覆盖下,NDVI 和 EVI随植被长势增加速度接近,对植被描述能力 相似。在植被生育高峰期或高植被覆盖下,EVI的 增加速度高于 NDVI,植被继续生长或开始衰落时, NDVI 值变化不如 EVI 变化明显,甚至有的情况下 当植被开始衰落时,EVI 值显示下降,NDVI 值仍显 示增加,说明 NDVI 由于其公式决定的高植被覆盖 下易饱和性,不能敏感监测植被长势变化,而 EVI 则能敏感监测高植被覆盖植被长势变化。

5 结论

(1)定量分析了 NDVI 与 EVI 随植被覆盖度变 化关系。地表刚出现植被时,NDVI 和 EVI 的增加 速度最快,随着地表植被覆盖度的增加,NDVI 与 EVI 的增加速度减缓,高植被覆盖时,二者增加速度 极为缓慢。NDVI 和 EVI 的公式决定了 NDVI 始终 高于 EVI,二者差值随植被长势的增加而增加,当植 被覆盖度达到 30% 时,NDVI 与 EVI 的差值为 0.1, 植被覆盖度达到 50% 时,NDVI 与 EVI 的差值达到 0.2,植被覆盖度达到 80% 时,NDVI 与 EVI 的差值 增加到 0.27,植被覆盖度达到 100% 时,NDVI 与 EVI 的差值减小到 0.26。

(2)量化了低、中、高植被覆盖度下 NDVI 和 EVI 的取值范围。低植被覆盖地表 NDVI 和 EVI 值 范围分别为0~0.4 和0~0.3,中低植被覆盖地表 的 NDVI 和 EVI 值范围分别为0.4~0.55 和0.3~ 0.4,中高植被覆盖地表的 NDVI 和 EVI 值范围分别 为 0.55~0.8 和 0.4~0.6,高植被覆盖地表的 NDVI和 EVI 值范围分别为 0.8~1.0 和 0.6~1.0。

(3)比较不同时期的 NDVI(EVI)分布频率曲线 目的在于比较不同时期地表植被覆盖度的变化,结 果表明:不同时期 NDVI(EVI)分布频率曲线对比能 明显反映地表植被覆盖度的变化。比较同一时期 NDVI 与 EVI 分布频率曲线的目的在于揭示 NDVI 和 EVI 指示研究区地物不同植被覆盖度的分布结 果。分析结果表明:同一时期的 NDVI 与 EVI 的频 率分布曲线形状相似,说明 NDVI 和 EVI 描述不同 植被覆盖度分布的结果基本一致。

(4) 通过比较几种作物 NDVI 与 EVI 时间序列

曲线发现,NDVI 时序曲线在作物长势明显增加或 衰落时呈突增或突降趋势,EVI 由于引入调节土壤 背景参数和大气修正参数,计算结果较为稳定,不会 因为ρ_{NIR}/ρ_{red}的较大变化而呈突增或突降,更符合 作物生长发育特点。在作物生长初期或低植被覆盖 下,NDVI、EVI 都过高估计植被覆盖度,NDVI 估计 值略高于 EVI 的估计值。在作物与生育中期或中 等植被覆盖下,对作物描述能力相似。在作物生育 高峰期或高植被覆盖下,监测作物长势变化 EVI 比 NDVI 更敏感。

参考文献

[1] 王鹏新,WANG Zhengming,龚健雅,等.基于植被指数和土地表面温度的干旱监测模型[J].地球科学进展,2003,18(8): 527-533.

WANG Pengxin, WANG Zhengming, GONG Jianya, et al. Advances in drought monitoring by using remotely sensed normalized difference vegetation index and land surface temperature products [J]. Advances in Earth Science, 2003, 18(8):527 - 533. (in Chinese)

[2] 林玉英,胡喜生,邱荣祖,等. 基于 Landsat 影像的 NDVI 对植被与影响因子交互耦合的响应[J/OL]. 农业机械学报, 2018,49(10):212-219.

LIN Yuying, HU Xisheng, QIU Rongzu, et al. Responses Landsat-based NDVI to the interaction of vegetation and influencing factors [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(10): 212 - 219. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no = 20181024&flag = 1. DOI: 10.6041/j.issn. 1000-1298.2018.10.024. (in Chinese)

- [3] 杨嘉,郭妮,黄蕾诺,等.西北地区 MODIS NDVI 指数饱和问题分析[J].高原气象,2008,27(4):896-903. YANG Jia, GUO Ni, HUANG Leinuo, et al. Analyses on MODIS - NDVI index saturation in northwest China [J]. Plateau Meteorology,2008,27(4):896-903. (in Chinese)
- [4] 黄健熙,侯矞焯,武洪峰,等.基于时间序列 MODIS 的农作物类型空间制图方法[J/OL].农业机械学报,2017,48(10): 142-147.

HUANG Jianxi, HOU Yuzhuo, WU Hongfeng, et al. Crop type mapping method based on times-series MODIS data in Heilongjiang Province[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(10):142 - 147. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no = 20171017&flag = 1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017. 10.017. (in Chinese)

- [5] GUSSO A, ARVOR D, DUCATI J R, et al. Assessing the MODIS crop detection algorithm for soybean crop area mapping and Expansion in the Mato Grosso State, Brazil [J]. The Scientific World Journal, 2014, 2014(1):1-9.
- [6] DAMIEN A, MILTON J, DUBREUIL V, et al. Classification of MODIS EVI time series for crop mapping in the state of Mato Grosso, Brazil[J]. International Journal of Remote Sensing, 2011, 32(22):7847-7871.
- [7] 申健,常庆瑞,李粉玲,等.基于时序 NDVI 的关中地区冬小麦种植信息遥感提取[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(3): 215-220.

SHEN Jian, CHANG Qingrui, LI Fenling, et al. Extraction of winter wheat information based on time-series NDVI in Guanzhong area[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(3):215 - 220. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract. aspx? file_no = 20170327&flag = 1. DOI: 10. 6041/j. issn. 1000-1298. 2017. 03. 027. (in Chinese)

- [8] 侯学会,隋学艳,姚慧敏,等.基于物候信息的山东省冬小麦长势遥感监测[J].国土资源遥感,2018,30(2):171-177.
 HOU Xuehui, SUI Xueyan, YAO Huimin, et al. Study of the growth condition of winter wheat Shandong Province based on penology[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2018, 30(2):171-177. (in Chinese)
- [9] 胡玉福,蒋双龙,刘宇,等. 基于 RS 的安宁河上游植被覆盖时空变化研究[J/OL]. 农业机械学报,2014,45(5):205-215. HU Yufu, JIANG Shuanglong, LIU Yu, et al. Temporal and spatial variation coverage on upper Anning river based on RS[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(5):205-215. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no = 20140532&flag = 1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.05.032. (in Chinese)
- [10] 毛志春,宋宇,李蒙蒙. 基于 MODIS 反演数据的河套地区荒漠化研究[J].北京大学学报(自然科学版),2015,51(6): 1102-1110.
 MAO Zhishun SONC Yu LI Manamang Pasagraph of the description in Hotes Area based on MODIS inversion data [L]

MAO Zhichun, SONG Yu, LI Mengmeng. Research of the desertification in Hetao Area based on MODIS inversion data [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2015, 51(6):1102 - 1110. (in Chinese)

[11] 张圣微,张睿,刘廷玺,等.锡林郭勒草原植被覆盖度时空动态与影响因素分析[J/OL].农业机械学报,2017,48(3):253-260.

ZHANG Shengwei, ZHANG Rui, LIU Tingxi, et al. Dynamics of fractional vegetation cover and its influence factors in Xilingol steppe[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(3):253 - 260. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no = 20170332&flag = 1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.03.032. (in Chinese)

[12] 牛亚晓,张立元,韩文霆,等.基于无人机遥感与植被指数的冬小麦覆盖度提取方法[J/OL].农业机械学报,2018, 49(4):212-221.

NIU Yaxiao,ZHANG Liyuan,HAN Wenting, et al. Fractional vegetation cover extraction method of winter wheat based on UAV remote sensing and vegetation index [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49 (4): 212 - 221. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no = 20180424&flag = 1. DOI: 10. 6041/j. issn. 1000-1298.2018.04.024. (in Chinese)

[13] 张雅,尹小君,王伟强,等. 基于 Landsat 8 OLI 遥感影像的天山北坡草地地上生物量估算[J]. 遥感技术与应用,2017, 32(6):1012-1021.
 ZHANG Ya,YIN Xiaojun,WANG Weiqiang, et al. Estimation of grassland aboveground biomass using Landsat 8 OLI satellite

image in the northern hillside of Tianshan mountain [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2017, 32(6):1012 - 1021. (in Chinese)

- [14] 黄健熙,罗倩,刘晓暄,等. 基于时间序列 MODIS NDVI 的冬小麦产量预测方法[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(2):295-301.
 HUANG Jianxi,LUO Qian,LIU Xiaoxuan, et al. Winter wheat yield forecasting based on time series of MODIS NDVI[J/OL].
 Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(2):295-301. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no = 20160239&flag = 1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.02.039.(in Chinese)
- [15] 郭妮. 植被指数及其研究进展[J]. 干旱气象,2003,21(4):71-75.
 GUO Ni. Vegetation index and its advances[J]. Arid Meteorology,2003,21(4):71-75. (in Chinese)
- [16] 王正兴,刘闯,HUETE A. 植被指数研究进展从 AVHRR NDVI 到 MODIS EVI [J]. 生态学报,2003,23(5):979 987.
 WANG Zhengxing, LIU Chuang, HUETE A. From AVHRR NDVI to MODIS EVI: advances in vegetation index research
 [J]. Acta Ecologica Sinica,2003,23(5):979 987. (in Chinese)
- [17] 王正兴,刘闯,陈文波,等. MODIS 增强型植被指数 EVI 与 NDVI 初步比较 [J]. 武汉大学学报(信息科学版),2006, 31(5):407-410.

WANG Zhengxing, LIU Chuang, CHEN Wenbo, et al. Preliminary comparison of MODIS NDVI and MODIS EVI in Eastern Asia [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2006, 31(5):407-410. (in Chinese)

- [18] 李红军,郑力,雷玉萍,等. 基于 EOS/MODIS 数据的 NDVI 与 EVI 比较研究[J]. 地理科学进展,2007,26(1):26-32.
 LI Hongjun, ZHENG Li, LEI Yuping, et al. Comparison of NDVI and EVI based on EOS/MODIS data [J]. Progress in Geography,2007,26(1):26-32. (in Chinese)
- [19] 李文梅,谭志豪,李文娟,等. MODIS NDVI 与 MODIS EVI 的比较分析[J]. 遥感信息,2010(6):73-78.
 LI Wenmei, TAN Zhihao, LI Wenjuan, et al. Comparison and analysis of MODIS NDVI and MODIS EVI [J]. Remote Sensing Information,2010(6):73-78. (in Chinese)
- [20] 左丽君,张增祥,董婷婷,等. MODIS/NDVI 和 MODIS/EVI 在耕地信息提取中的应用及对比分析[J]. 农业工程学报, 2008,24(3):167-172.
 ZUO Lijun, ZHANG Zengxiang, DONG Tingting, et al. Application of MODIS/NDVI and MODIS/EVI to extracting the

information of cultivated land and comparison analysis [J]. Transactions of the CSAE,2008,24(3):167 - 172. (in Chinese)

[21] 朱林富,谢世友,杨华,等.基于 MODIS-EVI 的重庆植被覆盖时空分异特征研究[J].生态学报,2018,38(19):6992-7002.

ZHU Linfu, XIE Shiyou, YANG Hua, et al. Study on the spatial-temporal variability of vegetation coverage based on MODIS – EVI in Chongqing [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(19):6992 – 7002. (in Chinese)

 [22] 米兆荣,张耀生,赵新全,等. NDVI和 EVI在高寒草地牧草鲜质量估算和植被动态监测中的比较[J].草业科学,2010, 27(6):13-19.(in Chinese)
 MI Zhaorong,ZHANG Yaosheng,ZHAO Xinquan, et al. Comparison NDVI with EVI in the herbage fresh weight estimation and

vegetation dynamics for alpine grassland [J]. Pratacultural Science, 2010, 27(6):13-19. (in Chinese)

[23] 廖靖,覃先林,周汝良.利用2种植被指数监测中国6种典型森林生长期的比较研究[J].西南林业大学学报,2014, 33(3):57-61.

LIAO Jing, QIN Xianlin, ZHOU Ruliang. Comparative analysis of the growing season of typical forest using two vegetation indices [J]. Journal of Southwest Forestry, 2014, 33(3):57-61. (in Chinese)

- [24] LIU H Q, HUETE A R. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise [J]. IEEE Tansactions on Geoscience & Remote Sensing, 1995,33(2):457-465.
- [25] 赵英时.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2009.