

研究报告

Research Reports

放牧干扰对典型草原植被光谱及蝗虫密度的影响

马景川^{1,2}, 黄训兵^{1,2}, 秦兴虎^{1,2}, 丁勇³,
王广君^{1,2}, 曹广春^{1,2}, 农向群^{1,2}, 张泽华^{1,2*}

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; 2. 农业部锡林郭勒草原有害生物科学观测实验站, 锡林浩特 026000; 3. 中国农业科学院草原研究所, 呼和浩特 010010)

摘要 为研究内蒙古典型草原不同放牧强度植被反射光谱与植被参数和蝗虫密度的关系, 使用地物波谱仪于 2015 年和 2016 年对 5 个放牧梯度, 共 20 hm² 样地进行调查研究。结果表明, 不同放牧强度植被地上总生物量与归一化植被指数(NDVI)关系为 $y=0.0348+0.0029x$ ($R^2=0.6455$, $P=0.0002$), 蝗虫密度与 NDVI 线性关系为 $y=-0.067+0.013x$ ($R^2=0.415$, $P=0.006$)。对其进行冗余分析(RDA)发现, 植被地上总生物量、植物高度、糙隐子草生物量是蝗虫数量和 NDVI 变化的主要影响因子, 其中植被地上总生物量是显著性影响因子($P=0.001$)。在不同放牧强度下蝗虫密度与草地 NDVI 显著相关($P<0.05$), 随 NDVI 增大而增多。本文研究结果为进一步开展放牧区蝗虫遥感监测和科学合理地利用草地资源奠定了基础。

关键词 高光谱遥感; NDVI; 放牧; 蝗虫

中图分类号: S 431.9 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2017.06.002

The effect of different grazing intensities on hyperspectral remote sensing and locust abundance in typical steppe

Ma Jingchuan^{1,2}, Huang Xunbing^{1,2}, Qin Xinghu^{1,2}, Ding Yong³,
Wang Guangjun^{1,2}, Cao Guangchun^{1,2}, Nong Xiangqun^{1,2}, Zhang Zehua^{1,2*}

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Scientific Observation and Experimental Station of Pests in Xilingol Rangeland, Ministry of Agriculture, Xilinhot 026000, China; 3. Institute of Grassland Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hohhot 010010, China)

Abstract To study the correlation between the normalized difference vegetation index (NDVI) of typical steppe and above-ground biomass and locust abundance in the Inner Mongolia grasslands with different grazing intensities, the reflectance spectra and above-ground biomass were measured by spectrometer in five different grazing treatments. The results indicated that the models of NDVI and above-ground biomass with different grazing intensities were correlated significantly: $y=0.0348+0.0029x$ ($R^2=0.6455$, $P=0.0002$), and locust abundance was $y=-0.067+0.013x$ ($R^2=0.415$, $P=0.006$). The effects of grazing intensities on the abundance of locust and plant parameters with NDVI were examined with redundancy analysis (RDA). The results showed that the above-ground biomass, plant height and *Cleistogenes squarrosa* biomass were the main factors of locust abundance and NDVI, among which the significant factors was above-ground biomass ($P=0.001$). There was a significant positive relationship between NDVI and the abundance of locust. Above all, we can provide a theoretical basis for remote sensing monitoring of locust plague in grazing regions, and scientific and rational use of grassland resources.

Key words hyperspectral remote sensing; NDVI; grazing; locust

收稿日期: 2017-02-21 修订日期: 2017-03-15

基金项目: 国家自然科学基金(31672485)

* 通信作者 E-mail: zhzhzhang@ippcaas.cn

人类对草地的干扰方式主要是放牧,放牧活动直接改变植被群落结构^[1-3],影响蝗虫密度^[4-5]。草地生产力是衡量草原合理利用的基础,植被覆盖度是衡量草地生产力的重要指标之一,高光谱遥感具有快速、大面积、无破坏、可重复、定量等特点,因此在植被监测方面有巨大的优势。目前使用遥感数据监测草地上生物量的模型在国内外已经有广泛研究^[6-10],Prabhakar 等利用高光谱遥感监测叶蝉对棉花叶片危害,发现两个叶蝉指数模型可以较好地监测病害的感染程度^[11]。乔红波等发现烟蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) 为害造成烟草光谱反射率下降,近红外波段反射率下降更为明显^[12]。黄建荣在对稻纵卷叶螟和褐飞虱为害水稻的光谱监测研究中建立了光谱反射率与虫害程度间的线性回归模型,以及利用径向基函数神经网络方法监测卷叶率和褐飞虱虫量的方法^[13]。赵凤杰等在锡林郭勒比较了两种草地类型(放牧区和禁牧区)生物量^[14]和不同密度短星翅蝗为害羊草后的高光谱植被指数模型^[15]。目前研究不同放牧强度光谱变化与植被生物量和蝗虫群落之间的关系还有待进一步开展,本文通过高光谱遥感数据的监测,建立草地高光谱与植被生物量和蝗虫群落之间的关系模型,为预测不同放牧强度对植被的危害和蝗虫发生提供依据,从而为科学合理地利用草地资源和维持畜牧业可持续发展提供支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于内蒙古锡林浩特市朝克乌拉苏木中国农业科学院草原研究所草原生态保护与可持续利用研究与示范基地(E116°32'08", N 44°15'24"),海拔 1 111~1 121 m。气候为典型大陆季风气候,区域年平均降雨量 350~450 mm,年平均温度 -0.1℃,1 月份最冷,平均温度 -22.0℃,极端温度 -41.1℃;7 月份温度最高,平均温度 18.3℃,极端温度 38.5℃,≥5℃的积温在 2 100~2 400℃。土壤为栗钙土,植被为典型草原类型(typical steppe),羊草 *Leymus chinensis*、克氏针茅 *Stipa krylovii* 和大针茅 *S. grandis* 在群落中占优势地位,糙隐子草 *Cleistogenes squarrosa*、冷蒿 *Artemisia frigida* 等多年生植物为常见种,一、二年生植物主要有灰绿藜 *Chenopodium glaucum*、猪毛菜 *Salsola collina* 等。

试验样地 2007—2014 年间禁牧,以割草利用为

主,植被长势良好,本试验于 2014 年开始,依据 Schönbach 的标准^[16],设置 5 个放牧强度,无放牧(non-grazing, CK):放牧压为 0;轻度放牧(light grazing, LG):每小区放养 4 只羊,放牧压为 170 SSU·d/(hm²·y);中度放牧(moderate grazing, MG):放养 8 只羊,放牧压为 340 SSU·d/(hm²·y);重度放牧(heavy grazing, HG):放养 12 只羊,放牧压为 510 SSU·d/(hm²·y);过度放牧(over grazing, OG):放养 16 只羊,放牧压为 680 SSU·d/(hm²·y)。其中 SSU 为标准样单位·d/(hm²·y)。每个放牧强度设置 3 个重复小区,每个放牧小区面积 1.33 hm²(东西长 125 m,南北长 110 m,两边夹角 78°)。2014 年 6 月 10 日开始放牧,持续放牧 90 d(试验期间家畜一直在放牧区内),试验动物为乌珠穆沁 2 龄羯羊,在高光谱遥感定量监测中作为条件变量,使不同放牧强度植被变化不同,从而影响高光谱监测的变化。每天取食 6 kg 鲜草,在轻度放牧消耗 1.14% 牧地面积植被,占小区总量 0.5%,中度放牧消耗 35.97% 牧地面积植被,占小区总重量 1.67%,重度放牧消耗 42.41% 牧地面积植被,占小区总重量 3.81%,过度放牧消耗 43.15% 牧地面积植被,占小区总重量 7.63%。

1.2 试验仪器

AvaSpec-2048×14×2 便携式双通道地物波谱仪。技术规格为,探测器:2 块 2 048×14 像素薄型背照式 CCD;积分时间:2.24 ms~10 min;数据采集速度:2.24 ms/次;光谱仪采样间隔:0.5 nm;光谱范围:200~1 160 nm;波长精度:±0.1 nm;光谱分辨率:2.4 nm;外形尺寸和重量:175 mm×110 mm×44 mm,720 g;工作温度:0~55℃。

1.3 调查方法

光谱调查方法:在每一个小区内采取随机取样法取 3 点,每点重复记录 5 个数据,求得平均值,最后使用平均值进行计算,试验在每年 7 月底进行。

光谱采集方法:在天气晴朗无云,10:30—14:30 时间段内采集,探头距地面高度 1.5 m,镜头垂直向下正对着植被。在调查时,每 30 min 使用黑、白板校正 1 次,镜头距白板 20 cm 左右,避免仪器支架及操作人员的阴影落在被测植被上。同时将每点测量植被照相,便于后续分析。

植被调查方法:在每小区随机取 5 点 1 m×1 m,目测植被盖度,卷尺测量植被高度,统计植株数量,将每种植物地面 1 cm 以上剪下放入信封带回,烘干称重。

昆虫调查方法:每小区采用对角线扫网法,网口直径 38 cm,每条线 100 复网,每小区共 200 复网,采集后放入自封袋带回实验室放入冰箱冷冻处理后,进行统计计数。

1.4 分析方法

植被指数计算:将田间统计数据使用光谱仪自带数据软件 Viewer 的分析模块(NDVI. mod)对反射光谱进行分析。归一化植被指数 NDVI 是植被光谱的红光吸收谷和近红外反射峰数值之差和这两个波段的数值之和的比值。其计算公式如下^[17]:

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})}$$

式中: ρ_{NIR} 为近红外波段的反射率, ρ_{RED} 为红光波段的反射率。

植被覆盖度的计算:放牧后土壤裸露,归一化植被指数 NDVI 理论上应该接近 0,但由于受众多因素的影响,NDVI 的变化范围一般在 -0.1~0.2 之间^[18],无放牧小区植被高覆盖度的 NDVI 也会改变。因此,在实际应用中,利用像元二分模型^[18-22]植被覆盖度,即

$$f = \frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})}$$

式中,NDVI 为调查样点的归一化植被指数; $NDVI_{max}$ 和 $NDVI_{min}$ 分别为研究区内 NDVI 的最大和最小值。

运用 SAS 8.0 Duncan 氏新复极差法多重比较对 NDVI 进行方差分析($\alpha=0.05$),并用 Origin 8 做图,采用 CANOCO 4.5 对 NDVI、植被环境因子和蝗虫密度进行冗余分析(RDA)。

2 结果与分析

2.1 典型草原不同放牧强度对 NDVI 的影响

研究表明,在所调查样地中植被指数 NDVI 在无放牧与轻度放牧之间没有显著性差异;在中度放牧与无放牧之间有显著性差异($P<0.05$);2015 年当放牧强度达到重度时,NDVI 显著低于中度放牧($P<0.05$);2016 年当放牧达到中度及以上时,NDVI 显著降低($P<0.05$)。连续两年的植被高光谱监测说明轻度放牧对 NDVI 没有影响,持续中度以上放牧显著影响 NDVI($P<0.05$)(图 1)。

2.2 不同放牧强度 NDVI 与植被总生物量和蝗虫密度的关系

2015 年各小区生物量与 NDVI 的相关性分析

结果表明,放牧草地生物量和 NDVI 为显著线性正相关关系, $y=0.0348+0.0029x$ ($R^2=0.6455$, $P<0.0002$)(图 2a)。

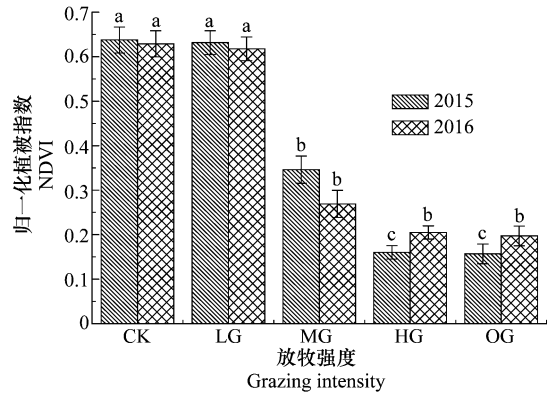


图 1 不同放牧强度 2015 和 2016 年植被指数 NDVI 值
Fig. 1 Analyses of vegetation indices NDVI with different grazing intensities

不同放牧强度下的蝗虫密度与植被光谱间的相关性分析结果表明,蝗虫密度与 NDVI 呈显著正相关($P<0.05$)。其中 2015 年蝗虫数量和 NDVI 一次相关的关系模型(图 2b)为 $y=-0.067+0.013x$, $R^2=0.415$, $P=0.006$,为显著正相关。

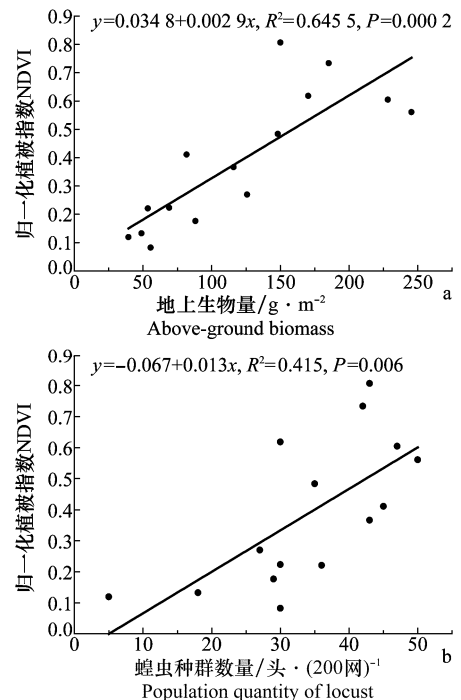


图 2 不同放牧强度 NDVI 与植被总生物量和蝗虫密度的关系
Fig. 2 Relationships between NDVI and plant biomass and locust density with different grazing intensities

2.3 不同放牧强度 NDVI 与植物生物量和蝗虫数量冗余分析

对植物、蝗虫数量和 NDVI 之间关系进行冗余分析。结果表明,第一典范轴和所有典范轴的蒙特卡罗检验均呈显著差异($F=4.023, P=0.036$),因此 RDA 排序结果是可靠的(表 1)。

第一典范轴和第二典范轴分别解释了植物数据变量的 73.4%和 17.6%。在轴 1 中反映了植被环境因子中的植被总生物量(Bio)、植物高度(Hei)、糙隐子草生物量(Csq)、禾本科生物量(Gra)的变化趋势,从右到左均为增加趋势,这 4 个因子与轴 1 的相关系数分别为 0.810 2、0.805 4、0.753 0、0.712 4。在轴 2 中反映了植被环境因子中的植被总盖度的变化趋势,从上到下植被盖度呈增加趋势,与轴 2 的相关系数为 0.539 1(图 3)(表 2)。同时可以看出,蝗虫与植被高度(Hei)、植被总生物量(Bio)、NDVI、糙隐子草生物量(Csq)呈正相关关系;NDVI 与羊草生物量(Lch)、植被总生物量(Bio)和植被总盖度(Cov)呈正相关关系(图 4)。因此,植被总生物量(Bio)、植物高

度(Hei)、糙隐子草生物量(Csq)是蝗虫数量和 NDVI 变化的主要影响因子,其中植被总生物量对蝗虫数量和 NDVI 响应有显著性解释($P=0.001$)(表 3)。

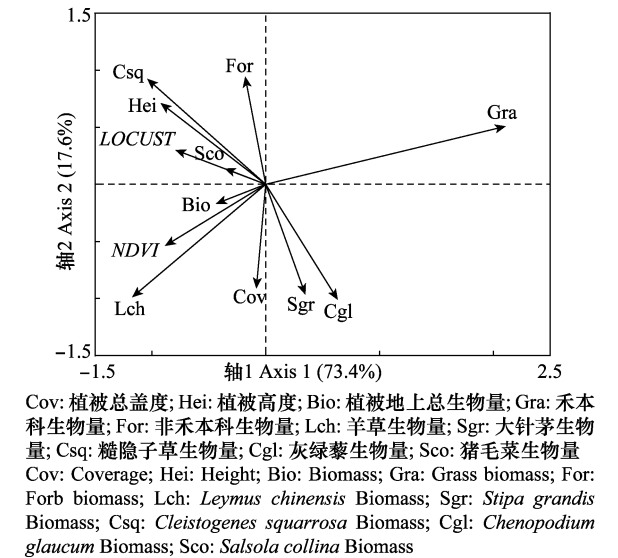


图 3 NDVI、植被因子和蝗虫数量 RDA 排序图
Fig. 3 RDA ordination of NDVI with plant biomass factors and locust abundance

表 1 NDVI 与植物环境因子和蝗虫的 RDA 分析结果

参数 Parameters	轴 1 Axis 1	轴 2 Axis 2	轴 3 Axis 3	轴 4 Axis 4	F 值 F value	显著水平 P value
特征值 Eigenvalues	0.734	0.176	0.078	0.013	4.023	0.036
物种环境相关性 Species-environment correlations	0.984	0.852	0.000	0.000		
物种数据变量累计百分比 Cumulative percentage variance of species data	73.4	91.0	98.7	100.0		
物种环境关系变量累计百分比 Cumulative percentage variance of species-environment relationship	80.7	100.0	0.0	0.0		

表 2 植被环境因子与 RDA 排序相关系数表

植被参数 Vegetation parameter	轴 1 Axis 1	轴 2 Axis 2
植被总盖度 Total coverage	0.641 8	0.539 1
植被高度 Height	0.805 4	0.282 6
植被总生物量 Total biomass	0.810 2	0.282 5
总禾本科生物量 Grass biomass	0.712 4	0.371 5
非禾本科生物量 Forb biomass	0.621 2	0.132 2
羊草生物量 Lch	0.678 7	0.331 6
大针茅生物量 Sgr	0.302 3	0.406 0
糙隐子草生物量 Csq	0.753 0	0.258 6
灰绿藜生物量 Cgl	0.667 1	0.162 2
猪毛菜生物量 Sco	0.613 5	0.023 6

表 3 植被环境因子的前向选择分析和蒙特卡罗检验分析

植被参数 Vegetation parameter	条件影响 Conditional effect	F 值 F value	显著水平 P value
植被总盖度 Total coverage	0.06	2.06	0.160
植被高度 Height	0.02	0.45	0.609
植被总生物量 Total biomass	0.52	13.90	0.001
总禾本科生物量 Grass biomass	0.07	2.69	0.123
非禾本科生物量 Forb biomass	0.01	0.28	0.714
羊草生物量 Lch	0.04	2.06	0.153
大针茅生物量 Sgr	0.01	0.53	0.537
糙隐子草生物量 Csq	0.07	3.05	0.076
灰绿藜生物量 Cgl	0.04	2.72	0.104
猪毛菜生物量 Sco	0.08	2.32	0.138

3 讨论

放牧干扰作为复杂的方式影响植被群落结构,会引起植物群落的植被覆盖度、生物量、种类等的变化^[23-25],可以通过归一化植被指数 NDVI 反映放牧对植被的影响^[26]。本研究通过连续两年观测发现,轻度放牧与无放牧强度相比,NDVI 没有显著性差异,在 2015 年中度放牧与轻度放牧及中度以上放牧强度 NDVI 有显著性差异,但是在 2016 年中度放牧压力及以上 NDVI 间没有显著差异,说明长期重度放牧导致植被覆盖度下降。

随着放牧强度的增加,植被地上总生物量呈下降趋势,因为长期围栏轻度放牧羊群的践踏和选择性取食,导致植被环境斑块化^[27-28],中度及中度以上放牧压力小区因食物资源相对缺乏,羊群取食不加选择,小区整体植被空间分布均匀,使所有植物生物量下降甚至一些不耐受植物种类消失。本研究归一化植被指数 NDVI 与植被地上总生物量呈显著正相关关系,与他人研究放牧草场的植被指数 NDVI 的生物量模型趋势一致^[8, 15]。

在进行蝗虫调查监测时,大多是调查植被和蝗虫之间的关系,蝗虫数量与植被生物量、盖度和高度相关^[29-30],但是随着遥感和光谱技术的发展,对蝗虫的监测已经逐渐进入仪器监测的阶段^[26]。本试验 RDA 排序结果中对植物资源与蝗虫数量之间的相关分析,发现第一典范轴主要反映的是植被总生物量和植被高度,蝗虫密度与 NDVI、植被总生物量、植被高度、糙隐子草生物量有一定相关性;NDVI 与羊草生物量、植被总盖度、植被总生物量有一定相关性。以往研究也表明,植物结构对昆虫有重要影响,尤其是植物高度。同时植物为蝗虫提供食物资源,体现了上行效应^[31]。

放牧影响草原蝗虫食物质量,减少食物的有效性,同时改变微环境^[32-34]。本文通过研究放牧后植被光谱监测环境变化,进行蝗虫数量和光谱的相关分析,为进一步开展放牧区蝗灾遥感监测,科学合理地利用草地资源和维持畜牧业可持续发展奠定了基础。

参考文献

[1] 焦树英,韩国栋,李永强,等. 不同载畜率对荒漠草原群落结

构和功能群生产力的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(3): 564 - 571.

- [2] 殷国梅,王明莹,梁宇. 不同放牧强度下草地植被的群落特征研究[J]. 内蒙古农业科技, 2012(6): 26 - 27.
- [3] 刘颖,王德利,王旭,等. 放牧强度对羊草草地植被特征的影响[J]. 草业学报, 2002, 11(2): 22 - 28.
- [4] Zhu Hui, Wang Deli, Guo Qinfeng, et al. Interactive effects of large herbivores and plant diversity on insect abundance in a meadow steppe in China [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2015, 212: 245 - 252.
- [5] O'Neill K M, Olson B E, Wallander R, et al. Effects of live-stock grazing on grasshopper abundance on a native rangeland in Montana [J]. Environmental Entomology, 2010, 39(3): 775 - 786.
- [6] Schimel D S, Parton W J, Braswell B H. Continental scale variability in ecosystem processes: models, data, and the role of disturbance [J]. Ecological Monographs, 1997, 67(2): 251 - 271.
- [7] 辛晓平,张保辉,李刚,等. 1982 - 2003 年中国草地生物量时空格局变化研究[J]. 自然资源学报, 2009, 24(9): 1582 - 1592.
- [8] 刘先华,陈佐忠,秋山侃,等. 定居放牧方式下归一化植被指数 (NDVI) 的空间变化特征[J]. 植物生态学报, 2000, 24(6): 662 - 666.
- [9] 段敏杰. 放牧干扰下藏北紫花针茅高寒草地生物量遥感监测 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [10] 包刚,包玉海,覃志豪,等. 高光谱植被覆盖度遥感估算研究 [J]. 自然资源学报, 2013, 28(7): 1243 - 1254.
- [11] Prabhakar M, Prasad Y G, Thirupathi M, et al. Use of ground based hyperspectral remote sensing for detection of stress in cotton caused by leafhopper (Hemiptera: Cicadellidae) [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 79(2): 189 - 198.
- [12] 乔红波,蒋金炜,程登发,等. 烟蚜为害特征的高光谱比较 [J]. 昆虫知识, 2007, 44(1): 57 - 61.
- [13] 黄建荣. 稻纵卷叶螟和褐飞虱为害水稻的光谱监测 [D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [14] 赵凤杰,吴惠惠,刘朝阳,等. 高光谱遥感在锡林浩特 2 种草地类型生产力监测中的应用[J]. 草地学报, 2013, 21(6): 1059 - 1064.
- [15] 赵凤杰,王正浩,王慧萍,等. 不同密度短星翅蝗危害后羊草的高光谱变化及对产草量的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(3): 195 - 203.
- [16] Schönbach P, Wan Hongwei, Gierus M, et al. Grassland responses to grazing: effects of grazing intensity and management system in an Inner Mongolian steppe ecosystem [J]. Plant and Soil, 2011, 340(1/2): 103 - 115.
- [17] 黄春燕,王登伟,黄鼎程,等. 基于高光谱植被指数的加工番茄生长状况监测研究[J]. 遥感信息, 2012, 27(5): 26 - 30.
- [18] Carlson T N, Ripley D A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index [J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 62(3): 241 - 252.
- [19] 陈晋,陈云浩,何春阳,等. 基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用[J]. 遥感学报, 2001, 5(6): 416 - 422.

(下转 28 页)

- doptera: Noctuidae) adults [J]. Journal of Thermal Biology, 2010, 35(2): 59–69.
- [41] Reddy G V P, Shi Peijian, Hui Cang, et al. 2015. The seesaw effect of winter temperature change on the recruitment of cotton bollworms *Helicoverpa armigera* through mismatched phenology [J]. Ecology and Evolution, 2015, 5(23): 5652–5661.
- [42] Fang Ouyang, Hui Cang, Men Xinyuan, et al. Early eclosion of overwintering cotton bollworm moths from warming temperature accentuates yield loss in wheat [J]. Agricultural, Ecosystems and Environment, 2016, 217: 89–98.
- [43] Feng Hongqiang, Gould F, Huang Yunxin, et al. Modeling the population dynamics of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) over a wide area in northern China [J]. Ecological Modelling, 2010, 211(15): 1819–1830.
- [44] Ge Feng, Chen Fajun, Parajulee M N, et al. Quantification of diapausing fourth generation and suicidal fifth generation cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, in cotton and corn in northern China [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2005, 116(1): 1–7.
- [45] Mironidis, G K, Stamopoulos D C, Savopoulou-Soultani M. Overwintering survival and spring emergence of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Northern Greece [J]. Environmental Entomology, 2010, 39(4): 1068–1084.
- [46] Ravi K C, Mohan K S, Manjunath T M, et al. Relative abundance of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) on different host crops in India and the role of these crops as natural refuge for *Bacillus thuringiensis* cotton [J]. Environmental Entomology, 2009, 34(1): 59–69.
- [47] 张娟, 马吉宏, 徐养诚, 等. 从卵巢发育特点揭示新疆地区棉铃虫迁飞习性[J]. 生态学杂志, 2013, 32(6): 1428–1432.
- [48] Morton R, Tuart L D, Wardhaugh K G. The analysis and standardization of light-trap catches of *Heliothis armigera* (Hübner) and *H. punctiger* Wallengren (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Bulletin of Entomological Research, 1981, 71(2): 207–225.
- [49] Oertel A, Zalucki M P, Maelzer D A, et al. Size of the first spring generation of *Helicoverpa punctigera* (Wallengren) (Lepidoptera: Noctuidae) and winter rain in central Australia [J]. Australia Journal of Entomology, 1999, 38: 99–103.
- (责任编辑: 田 喆)
- ~~~~~
- (上接 10 页)
- [20] Zribi M, Le Hegarat-Masclé S, Taconet O, et al. Derivation of wild vegetation cover density in semi-arid regions: ERS2/SAR evaluation [J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(6): 1335–1352.
- [21] Leprieux C, Verstraete M M, Pinty B. Evaluation of the performance of various vegetation indices to retrieve vegetation cover from AVHRR data [J]. Remote Sensing Reviews, 1994, 10(4): 265–284.
- [22] 李苗苗, 吴炳方, 颜长珍, 等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学, 2004, 26(4): 153–159.
- [23] 任佳, 卫媛, 吕世杰, 等. 不同放牧时间对荒漠草原群落地下生物量的影响[J]. 畜牧与饲料科学, 2016, 37(10): 32–35.
- [24] Cease A J, Elser J J, Ford C F, et al. Heavy livestock grazing promotes locust outbreaks by lowering plant nitrogen content [J]. Science, 2012, 335(6067): 467–469.
- [25] 刘建军, 浦野忠朗, 鞠子茂, 等. 放牧对草原生态系统地下生产力及生物量的影响[J]. 西北植物学报, 2005, 25(1): 88–93.
- [26] Ma Jianwen, Han Xiuzhen, Hasibagan, et al. Monitoring East Asian migratory locust plagues using remote sensing data and field investigations [J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(3): 629–634.
- [27] Tews J, Brose U, Grimm V, et al. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures [J]. Journal of Biogeography, 2004, 31(1): 79–92.
- [28] van Klink R, van der Plas F, van Noordwijk C G E, et al. Effects of large herbivores on grassland arthropod diversity [J]. Biological Reviews, 2015, 90(2): 347–366.
- [29] Hao Shuguang, Wang Shiping, Cease A, et al. Landscape level patterns of grasshopper communities in Inner Mongolia: interactive effects of livestock grazing and a precipitation gradient [J]. Landscape Ecology, 2015, 30(9): 1657–1668.
- [30] Jonas J L, Joern A. Grasshopper (Orthoptera: Acrididae) communities respond to fire, bison grazing and weather in North American tallgrass prairie: a long-term study [J]. Oecologia, 2007, 153(3): 699–711.
- [31] 朱慧, 彭媛媛, 王德利. 植物对昆虫多样性的影响[J]. 生态学杂志, 2008, 27(12): 2215–2221.
- [32] O'Neill K M, Olson B E, Rolston M G, et al. Effects of livestock grazing on rangeland grasshopper (Orthoptera: Acrididae) abundance [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2003, 97(1): 51–64.
- [33] Joern A. Disturbance by fire frequency and Bison grazing modulate grasshopper assemblages in Tallgrass Prairie [J]. Ecology, 2005, 86(4): 861–873.
- [34] Newbold T A, Stapp P, Levensailor K E, et al. Community responses of arthropods to a range of traditional and manipulated grazing in shortgrass steppe [J]. Environmental Entomology, 2014, 43(3): 556–568.
- (责任编辑: 田 喆)