

夜光遥感技术在灯光渔业上的应用

黄微^{1,2}, 于杰^{2*}, 李永振³, 陈国宝²

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部南海渔业资源环境科学观测实验站, 广东省渔业生态环境重点实验室, 广东广州 510300; 2. 大连海洋大学海洋科技与环境学院, 辽宁大连 116023; 3. 农业部南海区渔政局, 广东广州 510080)

摘要 对夜光遥感在渔业中的研究进展进行了回顾, 概述了夜光遥感应用于渔业研究中的理论和方法, 包括夜光遥感数据特点、渔业灯光提取方法、渔业信息拟合及应用, 重点介绍了 DMSP-OLS 数据和 VIIRS/DNB 数据及其优缺点, 渔业灯光识别及渔船信息提取, 以及夜光数据在灯光渔业中的应用, 为夜光遥感数据应用于灯光渔业的相关研究提供参考。

关键词 夜光遥感; 灯光渔业; 渔船

中图分类号 S972.9 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)16-0020-04

Application of Luminous Remote Sensing Technology in Light Falling-net Fishery

HUANG Wei^{1,2}, YU Jie², LI Yong-zhen³ et al (1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources & Environments, Ministry of Agriculture, Guangdong Provincial Key Lab. of Fishery Ecology and Environment, Guangzhou, Guangdong 510300; 2. College of Marine Science and Environment, Dalian Ocean University, Dalian, Liaoning 116023; 3. Regional Bureau of South China Sea Fishery Management, Ministry of Agriculture, Guangzhou, Guangdong 510080)

Abstract This paper reviewed the researching progress of applying luminous remote sensing to fishery, and briefly outlined the theory and method of applying luminous remote sensing to fishery research, included the characteristics of luminous remote sensing data, extraction method of light-fishing vessels, fishery information application, and focused on DMSP-OLS data and VIIRS / DNB data (the advantages and disadvantages), recognition and information detected methods of light-fishing vessels, the application and research status of luminous remote sensing data in light falling-net fishery. This summary will provided a reference for researching of applying luminous remote sensing data to light falling-net fishing

Key words Luminous remote sensing; Light falling-net fishery; Fishing vessels

夜间, 卫星接收到的可见光辐射信息主要来自人类活动灯光, 陆地上的灯光以城市照明和工业照明为主, 海面上的灯光主要是渔船灯光、商船灯光和钻井平台照明等。与其他光源(如城市灯光和海上天然气平台)位置长时间保持不变不同, 渔船和商船灯光随着船只航行, 其在空间和时间上是变化的, 船只照明灯光通常是移动且短暂的, 在晴空条件下, 单个渔船灯光在遥感影像中以单个照明点出现, 但通常情况下, 作业渔船会以船队形式结伴出行, 作业时会保持一定距离, 形成松散的灯光密集区, 商船灯光一般孤立存在, 可见渔船灯光影像特征与其他类型灯光差异显著, 易于识别^[1]。

灯光渔业是根据某些鱼类的趋光习性, 在夜间使用集鱼灯将鱼群诱集到光照区进行捕捞的作业方式。早期, 人们在夜间进行捕捞作业时发现, 某些鱼类经常在灯下聚集, 逐渐发展为有目的地利用灯光诱集鱼群^[2]。随着科技进步, 新光源的应用和渔具渔法的改进创新, 灯光渔业技术水平大大提高, 已成为高效的捕鱼方式^[3]。大型鱿钓船一般在船上安装 100~150 套灯具^[4], 小型船一般安装 30~50 套集鱼灯^[5]。渔船的数量与作业强度一定程度上反映了作业海域的资源特点。卫星搭载的可见光和近红外探测器可以捕捉到夜晚海

面上的渔船灯光。早在 20 世纪 70 年代, Croft^[6] 利用夜间灯光遥感技术对使用大功率照明设备进行集鱼、诱鱼的灯光渔船进行监测。

夜间灯光遥感影像通过作业渔船灯光确定渔船位置及作业强度, 实现渔船的空间分布和作业强度的可视化, 用于分析海洋渔场时空分布及变化, 以及灯光渔业与海洋环境响应关系; 另外, 它不受区域限制, 可以作为渔业管理和信息系统的有效数据来源, 有助于实现跨区域作业海域渔业监督与管理。Liu 等^[7] 发现渔民报告渔船数量总少于夜光监测的渔船数量, 进一步表明夜光数据可更全面地描述捕鱼活动。笔者综述了夜光遥感技术在灯光渔业上的应用, 为深入开展海洋灯光渔业研究提供有效手段。

1 夜光遥感传感器

目前, 夜光遥感传感器(或平台)有美国国防部的气象卫星(defense meteorological satellite program/operational linescan system, DMSP/OLS)、国家极轨运行环境系统卫星(national polar-orbiting operational environmental satellite system preparatory project/visible infrared imaging radiometer suite, NPP/VIIRS)、科学应用卫星(satélite de aplicaciones científicas-C, SAC-C/HSTC; satélite de aplicaciones científicas-D/high sensitivity camera, SAC-D/HSC)、地球远程观测系统卫星(earth remote observation system-B, EROS-B), 其中, SAC-C/HSTC、SAC-D/HSC 和 EROS-B 数据不对普通用户开放, DMSP/OLS 和 NPP/VIIRS 已应用于科学研究中。夜光遥感对地观测平台的基本参数见表 1。

1.1 DMSP-OLS DMSP 在约 830 km 高度的太阳同步轨道上运行, 扫描条带宽度为 3 000 km, 隶属于美国国防部极轨

基金项目 公益性行业(农业)科研专项(201403008); 国家重点基础研究计划(973 计划)项目(2014CB441500); 南海海洋捕捞生产结构调查项目(2009—2018); 中国水产科学研究院基本科研业务费资助项目(2018HY-ZD02); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2015TS22); 深圳市科技计划项目(JSGG20141015154342147)。

作者简介 黄微(1988—), 女, 辽宁建昌人, 硕士研究生, 研究方向: 海洋渔业和渔业遥感应用。* 通讯作者, 副研究员, 博士, 从事海洋渔业和渔业遥感应用研究。

收稿日期 2018-03-22; **修回日期** 2018-03-28

卫星项目, 1971 年开始运行,由空军太空与导弹系统中心负责管理。1972—1992 年数据以胶卷方式保存在科罗拉多大学国家冰雪数据中心,1992 年以后的数据以电子存档方式保存在国家地球物理资料中心(National Geophysical Data Center,NGDC)。OLS 线性扫描业务系统是 DMSP 卫星的主要遥感器之一,于 1992 年解密,可用于商业和科学研究。

OLS 起初是为观测气象资料而设计,主要用于探测月光照射下的云,由于其具有很强的光电放大能力,逐渐被应用于探测城镇灯光、极光、闪电、渔火、火灾等。共设有 2 个波段,可见光-近红外(VNIR)波段波谱为 0.4~1.0 μm,光谱分

辨率为 6 bit,灰度值为 0~63;热红外(TIR)波段(10~13 μm)光谱分辨率为 8 bit,灰度值为 0~255。VNIR 有 2 套探测器,白天使用光学望远镜镜头,夜间使用光学倍增管。光学倍增管的入瞳单位波长辐亮度下限为 $10^{-9} \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$,星下垂直精度 2.7 km。

DMSP/OLS 夜间灯光数据产品主要包括稳定灯光数据、辐射标定夜间灯光强度数据、非辐射标定夜间灯光强度数据 3 种产品。该数据产品具有获取容易、能够探测低强度灯光、不受光线阴影影响等优点。

表 1 夜光遥感对地观测平台的基本参数^[8]

观测平台 Observation platform	传感器 Sensor	空间分辨率 Spatial resolution//m	国家 Countries	已有存档 影像年份 Year	数据可获取性 Data availability
Defense meteorological satellite program(DMSP) 系列卫星	Operational linescan system(OLS)	2 700	美国	1992 年至今	年平均影像可以免费下载,月平均和每日影像需要订购
Suomi national polar-orbiting partnership(NPP) 卫星	Visible infrared ima- ging radiometer suite (VIIRS)	740	美国	2011 年至今	月平均影像和每日影像可以免费下载
Satélite de aplicaciones Cientificas- C(SAC-C) 卫星	High sensitivity tech- nological camera (HSTC)	200~300	阿根廷	2001 年至今	数据不对普通用户开放
Satélite de aplicaciones Cientificas-D(SAC-D) 卫星	High sensitivity cam- era(HSC)	200	阿根廷	2012 年至今	数据不对普通用户开放
Earth remote observation system- B(EROS-B) 卫星	全色波段传感器	0.7	以色列	2013 年至今	需要商业订购

1.2 NPP/VIIRS 2010 年 2 月,NOAA 和 NASA 共同组建的联合极地卫星系统(JPSS)接替了美国新一代极轨运行环境卫星系统预备卫星计划(national polar-orbiting operational environmen-tal satellite system preparatory project,NPP)的大部分工作,并以美国气象卫星之父的名字 Suomi 命名。Suomi NPP 的第一颗卫星于 2011 年 10 月从范登堡空军基地由 Delta-II 火箭发射升空。卫星上共搭载了 5 种载荷,其中可见光红外辐射仪(VIIRS)作为最重要的载荷,汲取了当代业务和科研观测系统中最好的技术,尤其是继承发展了美国国防气象卫星计划(DMSP)线性扫描业务系统(OLS)的微光探测能力^[9]。

NPP VIIRS 的扫描带宽为 3 000 km,采集夜间影像是 DNB(day night band)波段,DN 光谱通带带宽 500~900 nm,光谱中心波长 700 nm,空间分辨率可以维持近恒定的0.742 km,波段数据经辐射校正后可以得到辐射亮度,DNB 辐射敏感值在日光条件下为 $10^{-2} \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$,在新月时为 $10^{-10} \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr})$ 。

DNB 与其他波段共用光学设备和扫描装置的聚焦平面阵列,可以精确地获知各波段像元的相对定位,经订正后可以定量进行辐射测量,并与其他光谱波段比较和融合。DNB 在轨时的阴影期和光照期都可以探测地物和大气可见光辐射。DNB 将探测辐射能量的变化区分为 7 个量级,同时以 3 种模式(低辐射场景模式、中辐射场景模式和高辐射场景模式)进行探测。它采用动态调整增益的方法,即高增益(对应于低辐射场景)、中增益(对应于中辐射场景)和低增益

(对应于高辐射场景)。DNB 信息处理器将 3 种模式所测得的数据进行高精度的数字化处理,确保辐射产品的高分辨率,然后再对 3 种数据进行选择,为每个像元选择 3 种增益模式中感光效果最好且未达到饱和的值。数据均一化后的图像看起来像在均匀的光照条件下形成,这样在不同光照条件下都能得到优质的图像。总体而言,DNB 与其他通道共用光学和扫描装置,并采用相同精度的订正方法。采用采样合并、像元累积的方法使空间分辨率提高且分辨率较均匀。可选择动态增益技术使卫星在不同光照条件下都能得到优质图像^[10]。

2 渔业灯光识别与提取

2.1 渔业灯光识别方法 灯光渔船诱鱼灯是夜光遥感影像上高度敏感的点光源,在生产作业时灯光呈连片、大面积分布的特征。在夜间遥感影像上,黑暗的海洋和集鱼灯照亮区域之间对比显著,灯光区像素灰阶高于背景,一般认为梯度高值对应灯光区边缘,阈值法可以简单有效地从背景中区分出灯光。依据夜光遥感数据空间分辨率、渔船大小和作业船距估算,单个渔船诱鱼灯灯光影响的像元数量一般为 1~4 个,而灯光辐射影响的像元个数与灯光强度和海面状况有关,阈值选择会直接影响识别效果。阈值法又分为固定阈值和自适应阈值,Sezgin 等^[11]总结出 6 种阈值方法,分别是基于直方图、聚类、熵、目标属性、空间与局部法。

固定阈值分割法是目前较通用的目标识别方法,Waluda 等^[12-13]认为夜间遥感得到的灯光辐射来自船舶灯光和海洋

表面反射的灯光 2 部分,采用 DMSP-OLS 可见光波段 $DN \geq 30$ (即最亮的 50%) 像元作为船舶灯光像元, Saitoh 等^[14] 使用 $DN \geq 46.8$ 来检测太平洋上的渔船。Elvidge 等^[15] 根据近海灯光渔船在 NPP/VIIRS 夜光遥感影像上的辐射特征,提出了基于峰值检测和固定阈值分割的近海灯光渔船识别方法,但对于集鱼灯功率较大的远洋灯光渔船,其集鱼灯所处像元的邻近像元亦可能被大功率集鱼灯照亮而具有较高的辐射值导致误判。固定阈值分割主要依靠专家经验,具有一定的随机性和局限性。

在信息论中,熵是对随机变量不确定性的度量,如果将数字图像的像素辐射值看做一组随机变量,图像的熵即是测量辐射级分布随机性的一种特征参数^[16]。在图像分割的过程中,越靠近目标与背景的边界,其分类的不确定性(熵)越大,最大熵阈值分割正是基于以上假设,即在分割过程中,应尽量使目标与背景的熵值之和达到最大^[17-18]。采用最大熵法对 NPP/VIIRS 夜光遥感影像进行自适应阈值分割,避免了固定阈值分割的主观性及不稳定性,从而有效提高图像阈值分割的效果和自适应性。

远洋灯光渔船集鱼灯功率大,集鱼灯照亮的周边海域经常会被误判为渔船信息,通过寻找邻近“亮点”像元中的局部辐射峰值像元,滤除因被大功率集鱼灯照亮从而亦具有高辐射亮度的非灯光渔船像元,提高远洋灯光渔船识别的准确度^[19]。

2.2 灯光渔船信息提取 夜光遥感数据可以提供渔船位置、分布范围及灯光强度等信息,进一步结合其他渔业数据如渔船数量、功率以及捕捞努力量等,通过建立辐射强度(或像素数量)与渔船数据间的关系函数,获取灯光渔业生产情况,用于灯光渔业生产管理^[6,7,14-15,19]。

Waluda 等^[20]通过 ARGOS 系统的卫星追踪获得了渔船的分布数据,并与 DMSP-OLS 得到的渔船位置进行比较,对灯光面积和渔船数量进行回归分析(表 2),秘鲁沿海得到单船灯光面积为 $1.0 \sim 7.0 \text{ km}^2$,平均为 3.9 km^2 ;秘鲁专属经济区外观察到 11 次渔业活动,单船灯光面积为 $2.5 \sim 5.0 \text{ km}^2$,平均为 4.0 km^2 。

Saitoh 等^[14]分析了 2003—2009 年北海道东北部 4 个渔港太平洋秋刀鱼渔船生产记录数据和 DMSP/OLS 夜光遥感影像的相关性,得出渔船数量与灯光像元数量呈对数关系,夜光遥感影像估算得到渔船数量与渔获量呈线性关系(表 2)。Maxwell 等^[21]将 1992—2000 年南加利福尼亚海岸夜光遥感数据与鱿鱼船航空观测数据相结合,得出灯光像元数量与鱿鱼船数量之间的关系(表 2)。Hara 等^[22]得出太平洋秋刀鱼渔船集鱼灯功率和 DMSP/OLS 灯光像元亮度值的线性关系(表 2)。

Saitoh 等^[14]研究发现日落前受日光闪烁影响,渔船数量估算偏高,而 20:00 到午夜是渔船透集鱿鱼的高峰期,选择此时间段估算渔船数量更为精确,另外还发现根据 Stelzenmüller 等^[23]的渔船密度(每个作业区每天出现的渔船数量)定义,当渔船间距超过 2.5 km 时,灯光影像提取的渔船数量与单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE)

成反比。

表 2 灯光渔船信息提取关系式

Table 2 Information extraction relational expression of light falling-net fishery vessels

学者 Scholars	关系式(N_e : 渔船数量, N_p : 灯光像元数, Y :光功率, DN :亮度值) Relation	海域 Sea area	时间 Time
Saitoh 等	$N_e = 48.446 \ln N_p - 156.9$	太平洋	2010
Hara 等	$Y = 12.612 \times DN + 9.366$	日本海	2004
Maxwell 等	$\lg_{10}(N_p + 1) = 1.25 \times \lg_{10}(N_e + 1)$	加利福尼亚	2004
Waluda 等	$N_e = 2.467 + 0.03 N_p$	秘鲁	2004

3 夜光数据在灯光渔业上的应用

3.1 灯光渔船作业渔场时空分布 渔场一般是指海洋经济鱼类或其他海产经济动物较集中,并可以利用捕捞工具进行生产,具有开发利用价值的一定面积海域^[24]。在夜光遥感影像上,灯光像元位置显示渔船位置,灯光辐射强度可以反映渔船的数量及作业强度。Elvidge 等^[25]利用 DMSP-OLS 夜光遥感数据研究了全球灯光渔船活动,结果表明,在日本周边、泰国湾、泰国湾、安达曼海沿岸、菲律宾、沿阿根廷海域大陆架海域都有大量渔船作业,在秘鲁北部、非洲南部、南加利福尼亚南部以及新西兰附近的水域发现了较小的渔船群。

在西南大西洋, Waluda 等^[26]对 1999 年捕捞季节时间序列 DMSP-OLS 夜光遥感数据研究发现,1 月,捕捞船队主要出现在福克兰群岛北部海域,2 月,沿着大陆架坡折向南延伸,进入阿根廷专属经济区和福克兰群岛保护区西部,4 月初,捕捞集中出现在福克兰群岛北部 3 处接近陆架坡折的海域,4 月 24 日到达其分布的西南点($52^\circ\text{S}, 61^\circ\text{W}$),在福克兰群岛的水域继续捕捞,6 月初,捕捞船队进入阿根廷专属经济区和公海,6 月 17 日马岛的渔业结束后,船只继续在 48°S 以北的阿根廷和公海水域作业,主要分布在公海($45^\circ \sim 47^\circ\text{S}$)陆架边缘部分,在整个捕捞季节都存在大量的渔业活动。Waluda 等^[27]对 13 年的 DMSP-OLS 夜光遥感数据研究得到西南太平洋渔业分布年际变化,包括捕捞努力量大小及变化,渔船的空间范围等。

Kim 等^[28]分析 1993—2000 年 DMSP-OLS 夜光遥感数据发现,冬季(1—3 月),渔船灯光仅在韩国津岛海峡附近出现,春季(4—6 月),灯光渔船向北移动,分布范围明显大于冬季,夏季(7—9 月),在韩国东南海岸的乌隆岛附近形成了渔场中心,10 月的渔船南北分布范围大于其他月份,并根据渔船分布范围和数量指出 9—12 月是鱿鱼捕捞的主要季节。

在南加利福尼亚湾, Maxwell 等^[21]根据 DMSP-OLS 数据发现鱿钓渔船从 10 月开始由圣罗莎和圣克鲁斯群岛的北岸向南岸转移。Susanto^[29]对 VIIRS/DNB 夜光遥感数据研究得出,万丹板底兰的灯光渔业主要在 8—11 月,渔场分布从拉达湾、莱松角、苏木尔区、大叻湾直至巴拿马海峡,11 月捕捞船数量明显减少,并绘制 2014 年 8—11 月灯光渔业

渔场图。

3.2 灯光渔业与海洋环境关系 鱼类对海洋环境因素的适应性和局限性决定了鱼类的洄游、分布和移动。研究它们之间的关系实际上就是研究其适应性和局限性。鱼类的外界环境包括非生物性和生物性 2 方面。非生物性因素指不同性质的水体、水的各种理化因子以及人类活动所引起的各种非生物环境条件,包括温度、光照、海流、底形、底质和气象等。生物因素是指栖居在一起包括鱼类本身的各种动植物,它们多数是鱼类的食物,有的以鱼类为食,包括饵料生物、种间关系等。通过研究这些外界环境因子对鱼类行为的影响规律,既可以为渔况分析、渔场探索和渔情预报等提供技术支撑,同时也为渔具、渔法的改进提供基础和依据^[22]。

通过分析夜光遥感信息可以得到渔业活动发生的时间、位置及空间变化信息,结合海洋环境和气象资料,可以了解渔业活动对海洋环境要素、动力过程以及各气象要素的响应。Cho 等^[30]研究发现船队大多位于冷暖流交界处的冷水一边。Kiyofuji 等^[31]根据 DMSP/OLS 得出的鱿钓分布将日本海分为 7 个区域,这些区域与一些海洋学特征相对应(如:位于 40°N 的极地锋面,对马暖流和暖涡),成为日本鱿鱼迁徙研究的重要途径。Waluda 等^[32]从夜光遥感影像上发现,秘鲁渔场灯光渔船作业位置与上升流存在相关性。Maxwell 等^[20]用由夜光数据获得的渔船灯光作为捕捞努力量的指标,发现捕捞努力量和单位捕捞努力量渔获量在 1997—1998 年厄尔尼诺期间显著下降,之后增加。Susanto^[29]发现 11 月 VIIRS/DNB 影像上灯光渔船数量减少,并从近海向深海移动,认为这一现象与巽他海峡风引起板底兰海域大浪有关,指出 8—11 月季风对水团产生影响,引起海表营养盐的变化,影响灯光渔业的目标鱼类,从而导致渔场变化。

3.3 渔业管理上的应用 夜光遥感可以提供全球各海域的灯光渔业信息,不受区域限制,有助于实现跨区域作业海域渔业监督与管理,可为全球海洋渔业管理提供有效数据来源。Straka 等^[1]利用 VIIRS/DNB 夜光遥感数据研究了我国东海特定海域捕捞的季节变化和作业频率,结果显示休渔期间渔船灯光几乎消失,从侧面反映休渔的实施效果。Cozzolino 等^[34]将 VIIRS/DNB 夜光遥感数据应用于专属经济区外国渔船识别方面,通过比较本国渔船和外国渔船的灯光强度,达到区分本国渔船和外国渔船的目的。Ito 等^[34]对比了日本和韩国在达成共同渔区渔业协议前后的夜光遥感图像,发现渔业协议有效控制了该地区渔船的作业分布。

4 小结

夜光遥感技术通过探测器的光放大能力可以识别海面上微弱的渔船灯光,在太平洋灯光渔业特别是鱿钓渔业中得到了应用,可以获取渔场位置、渔船数量、渔船作业迁移特征等信息,这些信息可以帮助科学家在全球范围内确定过度捕捞区,并满足管理部门进行远洋灯光渔船日常监测的需求,为进一步评估远洋灯光渔业捕捞努力量、远洋灯光渔业信息化管理以及打击非法、未申报和无管制的捕捞活动提供技术支持。

参考文献

- [1] STRAKA W C III, SEAMAN C J, BAUGH K, et al. Utilization of the suomi national polar-orbiting partnership (NPP) visible infrared imaging radiometer suite (VIIRS) day/night band for arctic ship tracking and fisheries management[J]. Remote sensing, 2015, 7(1): 971–989.
- [2] 佚名. 综述光诱渔业[J]. 水产科技情报, 1973(8): 21–23.
- [3] 张明德. 光诱鱿鱼敷网作业渔具渔法及其发展探讨[J]. 海洋渔业, 1997(2): 74–78.
- [4] RODHOUSE P G, ELVIDGE C D, TRATHAN P N. Remote sensing of the global light-fishing fleet: An analysis of interactions with oceanography, other fisheries and predators[J]. Advances in marine biology, 2001, 39(1): 261–278.
- [5] 王伟杰. LED 水上鱿钓集鱼灯应用研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
- [6] CROFT T A. Nighttime images of the earth from space[J]. Scientific American, 1978, 239(1): 86–98.
- [7] LIU Y, SAITOH S I, HIRAWAKE T, et al. Detection of Squid and Pacific Saury fishing vessels around Japan using VIIRS Day/Night Band image[J]. Proceedings of the Asia-Pacific advanced network, 2015, 39: 28–39.
- [8] 李德仁, 李熙. 论夜光遥感数据挖掘[J]. 测绘学报, 2015, 44(6): 591–601.
- [9] LEE T E, MILLER S D, TURK F J, et al. The NPOESS VIIRS day/night visible sensor[J]. Bulletin of the American meteorological society, 2006, 87(2): 191–199.
- [10] 胡晓华, 刘松涛, 潘振东, 等. 星载微光探测仪器的发展及其数据应用[J]. 中国光学, 2015, 8(3): 350–359.
- [11] SEZGIN M, SANKUR B. Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation[J]. Journal of electronic imaging, 2004, 13(1): 146–148.
- [12] WALUDA C M, YAMASHIRO C, ELVIDGE C D, et al. Quantifying light-fishing for *Dosidicus gigas* in the eastern Pacific using satellite remote sensing[J]. Remote sensing of environment, 2004, 91(2): 129–133.
- [13] WALUDA C M, GRIFFITHS H J, RODHOUSE P G. Remotely sensed spatial dynamics of the *Illex argentinus* fishery, Southwest Atlantic[J]. Fisheries research, 2008, 91(2/3): 196–202.
- [14] SAITOH S I, FUKAYA A, SAITOH K, et al. Estimation of number of pacific saury fishing vessels using night-time visible images[C]// ISPRS Commission VIII. Kyoto, Japan: ISPRS, 2010: 1013–1016.
- [15] ELVIDGE C D, ZHIZHIN M, BAUGH K, et al. Automatic boat identification system for VIIRS low light imaging data[J]. Remote sensing, 2015, 7(3): 3020–3036.
- [16] 吴谨, 李娟, 刘成云, 等. 基于最大熵的灰度阈值选取方法[J]. 武汉科技大学学报(自然科学版), 2004, 27(1): 58–60.
- [17] 张晓东, 毛罕平, 左志宇, 等. 基于多光谱视觉技术的油菜水分胁迫诊断[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 152–157.
- [18] 田有文, 程怡, 王小奇, 等. 基于高光谱成像的苹果虫害检测特征向量的选取[J]. 农业工程学报, 2014, 30(12): 132–139.
- [19] 郭刚刚, 樊伟, 薛嘉伦, 等. 基于 NPP/VIIRS 夜光遥感影像的作业灯光围网渔船识别[J]. 农业工程学报, 2017, 33(10): 245–251.
- [20] WALUDA C M, YAMASHIRO C, ELVIDGE C D, et al. Quantifying light-fishing for *Dosidicus gigas* in the eastern Pacific using satellite remote sensing[J]. Remote sensing of environment, 2004, 91(2): 129–133.
- [21] MAXWELL M R, HENRY A, ELVIDGE C D. Fishery dynamics of the California market squid (*Loligo opalescens*), as measured by satellite remote sensing[J]. Fishery bulletin, 2004, 102(4): 661–670.
- [22] HARA M, OKADA S, ICHIZUKA M, et al. Monitoring of fishing lights intensity for squid fishing vessels by means of DMSP/OLS nightlight imagery[J]. Journal of advanced marine science & technology society, 2004, 9(2): 99–108.
- [23] STELZENMÜLLER V, MAYNOU F, BERNARD G, et al. Spatial assessment of fishing effort around European marine reserves: Implications for successful fisheries management[J]. Marine pollution bulletin, 2008, 56(12): 2018–2026.
- [24] 陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 北京: 海洋出版社, 2014.
- [25] ELVIDGE C D, IMHOFF M, BAUGH K E, et al. Night-time lights of the world, 1994–1995[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2001, 56(2): 81–99.
- [26] WALUDA C M, TRATHAN P N, ELVIDGE C D, et al. Throwing light on straddling stocks of *Illex argentinus*: Assessing fishing intensity with satellite imagery[J]. Canadian journal of fisheries & aquatic sciences, 2010, 59(4): 592–596.

43.3~62.4 个,单株粒数 76.1~128.4 粒,单株粒重 13.6~27.5 g,百粒重为 20.5~24.2 g。在 4 个参试品种中华春 8 号产量最高,产量构成因素的有效荚数、单株粒数、单株粒重、百粒重也明显比其他品种高。

表 4 不同大豆品种主要农艺性状比较

Table 4 Comparison of the major agronomic characters of different soybean varieties

品种名称 Variety name	株高 Plant height cm	主茎节数 Main stalk pitch number 个	有效分枝 Effective branches 个	底荚高度 Bottom pods height cm	有效荚数 Effective pod number 个	单株粒数 Grain number per plant 粒	单株粒重 Grain weight per plant g	百粒重 100-grain weight g
华春 2 号 Huachun 2(CK)	52.4	10.2	4.3	6.8	43.3	76.1	13.6	21.5
华春 6 号 Huachun 6	42.9	13.5	5.6	6.9	55.6	113.8	22.1	20.5
华春 8 号 Huachun 8	38.8	12.7	6.6	7.8	62.4	128.4	27.5	24.2
泉豆 5 号 Quandou 5	53.2	12.1	4.4	8.4	60.6	122.9	23.5	21.0

2.5 不同大豆品种蛋白质和脂肪含量比较 利用近红外谷物分析仪快速测量大豆品种的品质含量,4 个国家审定大豆品种蛋白质含量较高,其中华春 6 号和泉豆 5 号分别为 47.5%和 47.2%;华春 2 号脂肪含量较高,为 21.8%(表 5)。

表 5 不同大豆品种蛋白质和脂肪含量比较

Table 5 Comparison of the major protein and fact cotnents of differ-ent soybean varieties

%

品种名称 Variety name	蛋白质 Protein content	脂肪 Fat content	蛋脂总和 Total protein and fat
华春 2 号 Huachun 2(CK)	45.4±0.1	21.8±0.1	67.3±0.1
华春 6 号 Huachun 6	47.5±0.4	19.1±0.1	66.6±0.3
华春 8 号 Huachun 8	45.1±0.3	20.0±0.2	65.1±0.4
泉豆 5 号 Quandou 5	47.2±0.2	19.3±0.2	66.5±0.4

注:表中数据为平均值±标准误。
Note:Data in the table were average ± standard error

3 小结

4 个国家审定春大豆品种在肇庆春播种植都能正常成熟,且能获得高产,都适合在肇庆市区区域春播种植。其中华春 8 号产量最高,平均产量为 3 643.5 kg/hm²,蛋白质含量 45.1%,脂肪含量 20.0%,且百粒重较大。华春 6 号和泉豆 5 号的产量与对照品种华春 2 号相当,这 2 个品种蛋白质含量较高,分别为 47.4%和 47.2%;另外,4 个参试品种的蛋白质和脂肪总和含量在 65.0%以上。

参考文献

[1] CAO Y C,LI S G,WANG Z L,et al.Identification of major quantitative trait

loci for seed oil content in soybeans by combining linkage and genome-wide association mapping[J].Frontiers in plant science,2017,8:1-10.
[2] 陈怀珠,杨守臻,孙祖东,等.高油春大豆新品种桂春豆 106 的选育及栽培技术[J].大豆科学,2017,36(4):651-653.
[3] 林海峰,李清华,刘金文,等.春大豆新品种 莆豆 11 的选育[J].福建农业科技,2017,48(5):29-32.
[4] NICHOLS D M,GLOVER K D,CARLSON S R,et al. Fine mapping of a seed protein QTL on soybean linkage group I and its correlated effects on agronomic traits[J].Crop Sci,2006,46(2):834-839.
[5] HURBURGH C R JR.Long-term soybean composition patterns and their effect on processing[J].Journal of the American oil chemists society,1994,71(12):1425-1427.
[6] CAI Z D,CHENG Y B,MA Z W,et al.Fine mapping of QTLs for individual and total isoflavone content in soybean (*Glycine max* L.) using a high density genetic map[J].Theoretical and applied genetics,2018,131(3):555-568.
[7] 周新安,年海,杨文钰,等.南方间套作大豆生产发展的现状与对策(1)[J].大豆科技,2010(3):1-2.
[8] 曾巧英,黄莹,敖俊华,等.施肥水平对甘蔗/大豆间作体系中植株生长及养分积累的影响[J].广东农业科学,2013(10):54-57.
[9] 敖俊华,江永,周文灵,等.甘蔗/大豆间作模式的生产力分析[J].广东农业科学,2014(3):29-32.
[10] 韦民政,熊军,唐秀桦,等.木薯与大豆间套种模式研究与效益分析[J].广东农业科学,2015,42(3):11-14.
[11] 匡石滋,张金妹,田世尧,等.香蕉与大豆间作效应研究[J].广东农业科学,2011,38(7):63-65.
[12] 黎健龙,涂攀峰,陈娜,等.茶树与大豆间作效应分析[J].中国农业科学,2008,41(7):2040-2047.
[13] 程艳波,曹亚琴,宋恩亮,等.春大豆品种华春 2 号秋季繁种试验研究[J].广东农业科学,2012,39(3):28-29.
[14] 李彬.大豆新品种华春 6 号高产栽培技术[J].作物研究,2010,24(1):45,51.
[15] 肖慧,巫世芬,谢辉,等.大豆新品种华春 6 号高产栽培技术[J].现代园艺,2014(7):40-41.

(上接第 23 页)

[27] WALUDA C M,GRIFFITHS H J,RODHOUSE P G.Remote sensed spatial dynamics of the *Illex argentinus* fishery, Southwest Atlantic[J].Fisheries Research,2008,91(2):196-202.
[28] KIM S W,CHO K D,KIM Y S,et al.Distribution of fishing boats at night in the East Sea derived from DMSP/OLS imagery[J/OL].(2005-10)[2018-01-20].https://www.researchgate.net/publication/290144650_Distribution_of_Fishing_Boats_at_Night_in_the_East_Sea_Derived_from_DMSPOLS_Imagery.DOI: 10.5657/kfas.2005.38.5.323.
[29] SUSANTO A.Pemetaan daerah perikanan lampu (*light fishing*) menggunakan data *viirs day-night* band di perairan Pandeglang Provinsi Banten [J].Depik,2015,4(2):69-78.
[30] CHO K,ITO R,SHIMODA H,et al.Technical note and cover Fishing fleet lights and sea surface temperature distribution observed by DMSP/OLS sensor[J].International journal of remote sensing,1999,20(1):3-9.

[31] KIYOFUJI H,SAITOH S I.Use of nighttime visible images to detect Japanese common squid *Todarodes pacificus* fishing areas and potential migration routes in the Sea of Japan [J].Marine ecology progress,2004,276(1):173-186.
[32] WALUDA C M,RODHOUSE P G K.Dosidicus gigas fishing grounds in the eastern pacific as revealed by satellite imagery of the light-fishing fleet[J].Phuket marine biological center research bulletin,2005,66:321-328.
[33] COZZOLINO E,LASTA C A.Use of VIIRS DNB satellite images to detect jigger ships involved in the *Illex argentinus*, fishery [J].Remote sensing applications society & environment,2016,4:167-178.
[34] ITO R,CHO K,SHIMODA H,et al.Evaluating the impact of Japan/South Korea Fishery Agreement from night time DMSP/OLS images [J].Japanese conference on remote sensing,1999,27(3):219-229.