

基于无人机高光谱不同高度的地物快速识别研究

黄宇¹, 陈兴海¹, 刘业林¹, 黄智辉¹, 孙梅², 苏运城³ (1. 四川双利合谱科技有限公司, 四川成都 200063; 2. 北京工商大学计算机与信息工程学院, 北京 100048; 3. 北京卓立汉光仪器有限公司, 北京 101102)

摘要 [目的]探究不同高度下地物的光谱特征变化以及不同时期、不同高度下地物的有效快速识别方法。[方法]以2016年8月7日200 m 高空高光谱影像和2016年9月25日100、200、300 m 高空高光谱影像共4景影像为研究对象,研究不同高度下地物的高光谱特征变化以及不同时期、不同高度下地物的分类精度。[结果]不同高度下,植被的光谱反射率差异显著,随着高度的升高,植被特有的特征如“绿峰”降低、“红谷”升高、“红边位置”出现“红移”,在近红外范围内,光谱反射率降低;综合考虑人工参与程度、处理时间和分类精度等方面,基于ISODATA法可实现不同时期、不同高度下地物的快速识别研究。[结论]该研究结果为利用无人机高光谱遥感在其他领域的应用奠定了基础。
关键词 无人机遥感;高光谱;不同高度;地物识别;ISODATA
中图分类号 S127 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)11-0170-04

Fast Identification of Ground Objects Based on Different Heights of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Hyperspectrum
HUANG Yu, CHEN Xing-hai, LIU Ye-lin et al (Sichuan Dualix Spectral Image Technology Co., Ltd, Chengdu, Sichuan 200063)
Abstract [Objective] The aim was to study the changes of spectral characteristics of ground objects at different heights and the method of effective and rapid identification of ground objects at different altitudes and in different periods. [Method] Based on the 200 m altitude hyperspectral image on August 7, 2016 and 100 m, 200 m, 300 m altitude hyperspectral image on September 25, 2016, we studied the changes of spectral characteristics of ground objects at different heights and the classification accuracy of ground objects at different altitudes and in different periods. [Result] Under different heights, vegetation spectral reflectance of significant difference, as the height increases, the vegetation characteristic features such as ‘green peak’ reduce, ‘Red Valley’ elevated, ‘red edge’ appears ‘red shift’, in the near-infrared range, spectral reflectance decreased. Considering artificial participation, processing time and classification precision, and so on, we could know that based on ISODATA method could be realized rapid recognition of ground objects at different heights and different periods. [Conclusion] The results provide reference for the use of unmanned aerial vehicle (UAV) hyperspectral remote sensing application in other areas.
Key words UAV remote sensing; Hyperspectral; Different altitudes; Identification of ground objects; ISODATA

无人机(unmanned aerial vehicle, UAV),是一种通过无线遥控或规划航线飞行的无人驾驶飞机,它一般有动力系统、飞控系统、无线通讯遥控系统、有效载荷(武器、侦查设备)等部分组成^[1]。无人机与遥感技术的结合,即无人机遥感,克服了近地面小范围的作物遥感监测的极限,同时也克服了卫星影像受时间分辨率、空间分辨率的影响。无人机遥感以其全天时、实时化、高分辨率、灵活机动、高性价比等优势,在农业、生态环境、新农村建设规划、自然灾害监测、公共安全、水利、矿产资源勘探、测绘等国民经济及社会发展各个领域发挥着越来越重要的作用,成为继卫星遥感和有人通用航空遥感技术之后的新兴发展方向^[2]。

目前,国内外学者通过无人机遥感平台搭载各种传感器获取地面图像光谱信息,取得了较大的研究进展。如Sugiura等^[3]将成像传感器搭载在无人机上,获取小面积农田信息,划分出研究区域内的作物叶面积指数分布情况。李冰等^[4]利用低空无人机遥感监测冬小麦不同生长时期覆盖度的变化。Bryson等^[5]使用可见光低空拍摄无人机影像基于植被颜色及纹理对不同植被类型进行分类。Garcia-ruiz等^[6]使用无人机影像对植被黄龙病进行监测。Córcoles等^[7]利用旋翼无人机实现了洋葱郁闭度的无损测量,并建模分析了郁闭度与叶面积指数之间的关系。刘峰等^[8]设计构建基于无人直升机平台的低空遥感系统,对板栗生育期内植被覆盖度变

化情况实施了监测。高林等^[9]以多旋翼无人机为平台同步搭载高清数码相机和多光谱传感器组成的无人机农情监测系统对研究大豆叶面积指数反演,取得了较高的精度。然而,国内外大部分学者利用无人机遥感平台运用于作物的农情监测、矿产资源探测等领域较多^[10-12],然而很少有人利用无人机平台搭载成像高光谱传感器研究不同高度下同一地物光谱反射率的变化以及不同高度下不同时期地物的快速识别。为此,笔者利用无人机搭载成像高光谱仪,分析了不同高度下地物的光谱反射率差异,并进行了不同高度不同时期地物的快速精准识别,以期利用无人机高光谱遥感在其他领域的应用奠定基础。

- 1 材料与方法**
- 1.1 研究区域** 野外试验分别于2016年8月7日和9月25日在北京市通州区马驹桥镇某农田开展。
- 1.2 方法**
- 1.2.1 数据采集。**采用大疆无人机 M600 Pro,在无人机遥感平台上搭载四川双利合谱科技有限公司自主研发的成像光谱仪 GaiaSky-mini,该无人机遥感平台采用的是无人机悬置空中,成像光谱仪内置推扫获取地面图像,其主要参数见表1。8月7日仅飞行了200 m 高度,地面范围约80 m × 80 m;9月25日飞行了100、200、300 m 3个不同高度,地面范围分别约为40 m × 40 m、80 m × 80 m、120 m × 120 m,无人机遥感平台的实景如图1所示。
- 1.2.2 数据的预处理与分析。**无人机高光谱图像的预处理在四川双利合谱科技有限公司自主研发的SpecView软件中

进行,包括镜像变换^[13]、黑白帧校准^[14-15](如公式 1 所示)。

表 1 GaiaSky-mini 机载成像高光谱仪系统参数
Table 1 GaiaSky-mini high airborne imaging spectrometer system parameters

序号 No.	项目 Item	参数 Parameters
1	光谱扫描范围(nm)	400~1 000
2	光谱分辨率(nm)	4.0±0.5
3	成像镜头(mm)	23
4	光谱通道数	520
5	全幅像素	1 392×1 040
6	传感器	CCD Sony ICX285
7	重量(kg)	约 1.0



图 1 无人机遥感平台实景
Fig. 1 UAV remote sensing platform picture

高光谱图像噪声去除采用最小噪声分离变换(Minimum Noise Fraction Rotation, MNF Rotation)^[16-18],图像的感兴趣区域提取、图像分类方法均在 ENVI/IDL 5.3 上完成。

$$R_{ref} = \frac{DN_{raw} - DN_{raw}}{DN_{white} - DN_{dark}} \tag{1}$$

式中, R_{ref} 是校正过的图像; DN_{raw} 是原始图像; DN_{white} 为白板校正图像; DN_{dark} 是黑板校正图像。

1.2.3 分类方法与分类精度评价。高光谱遥感图像分类是高光谱遥感图像分析和应用的重要内容,根据是否使用类别的先验知识,可分为监督分类和非监督分类,常用的监督分类方法有最小距离分类法、马氏距离分类法、最大似然分类法、光谱匹配法和神经网络法等,非监督分类常用的方法有 K-Means 和 ISODATA 法^[19]。该研究运用监督分类方法中的马氏距离分类法、最大似然分类法、神经网络法以及非监督分类的 ISODATA 法,比较这 4 种分类方法在不同高度下不同时期的无人机高光谱影像中地物的分类识别精度,利用总体分类精度和 Kappa 系数对分类精度进行评价^[20]。

2 结果与分析

2.1 同一研究区域不同高度下光谱曲线的差异分析 图 2 为 9 月 25 日,天气为晴,基于无人机获取的 3 个不同高度的高光谱图像的 RGB 真彩色合成图(RGB 分别代表 640、550、460 nm 的波段),光谱曲线分别为同一研究区域,100、200、300m 3 个高度的光谱曲线差异。以植被为研究对象,分析

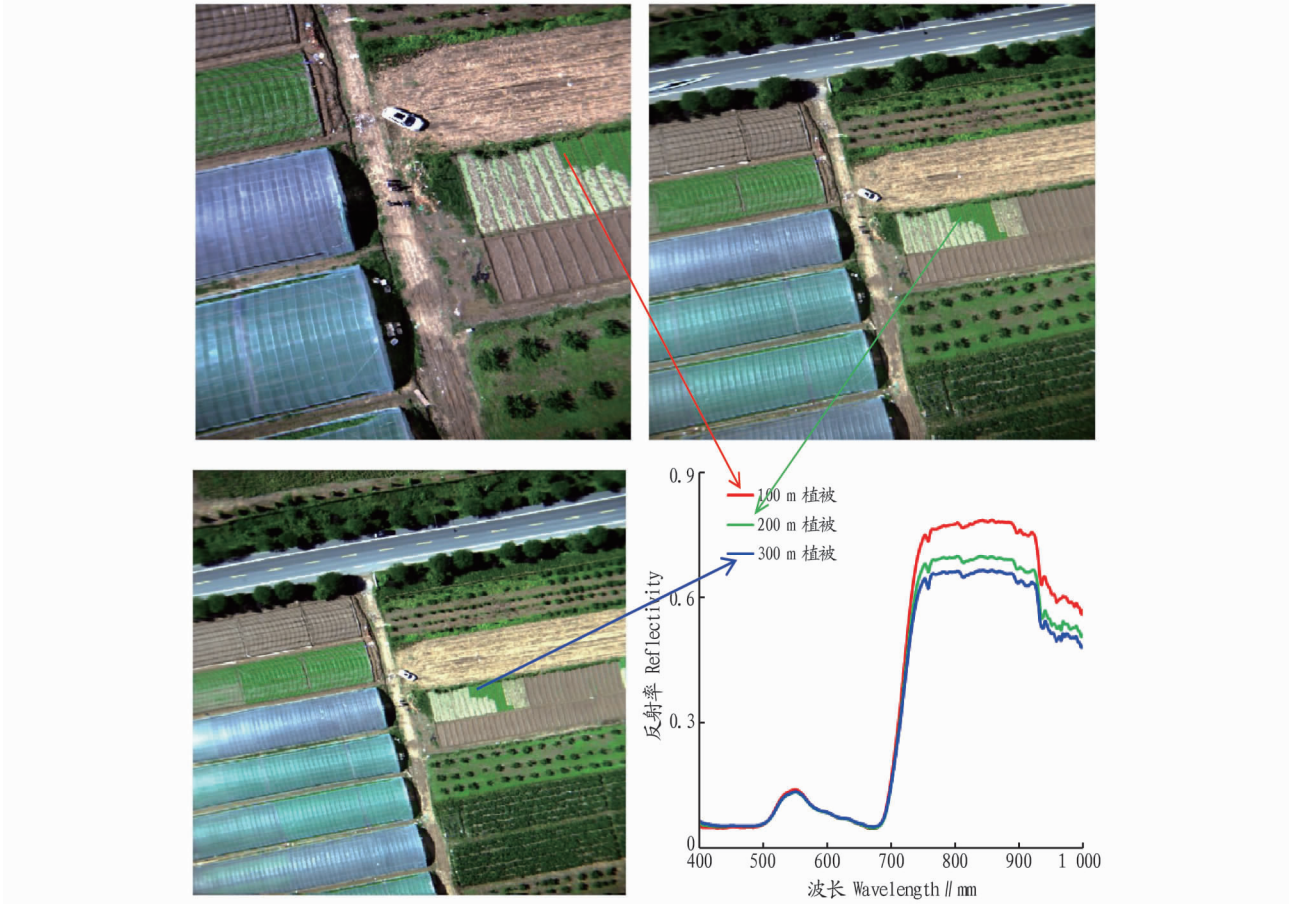


图 2 同一研究区域不同高度下光谱曲线
Fig. 2 The spectral curve at different heights in the same study area

同一研究区域不同高度下光谱曲线的差异。以 1 个具体的植被象元为例,不同高度下植被光谱反射率差异显著,随着高度的升高,植被特有的特征“绿峰”降低、“红谷”升高、“红边位置”出现“红移”。且在 400 ~ 510 nm 光谱反射率随无人机飞行高度的升高而升高;在近红外范围内,光谱反射率随无人机飞行高度的升高而降低,这是因为随着高度升高,空间分辨率降低,图像中 1 个像元代表地面的范围加大,出现混合像元的概率增加。由此可见,随着无人机高度的升高,混合像元中土壤所占比例增加,从而造成“绿峰”降低、“红谷”升高,红边位置发生了“红移”等现象。



图 3 8 月 7 日不同作物与土壤的光谱反射率曲线

Fig. 3 The spectral reflectance curves of different crops and soil on August 7

图 4 为 9 月 25 日天气为晴,利用无人机获取的近地面 300 m 高度的高光谱图像及不同地物的光谱反射率曲线。植物、土壤、公路、大棚植物等地物光谱曲线差异显著。在 400 ~ 920 nm 区域公路的光谱反射率曲线保持较平稳的趋

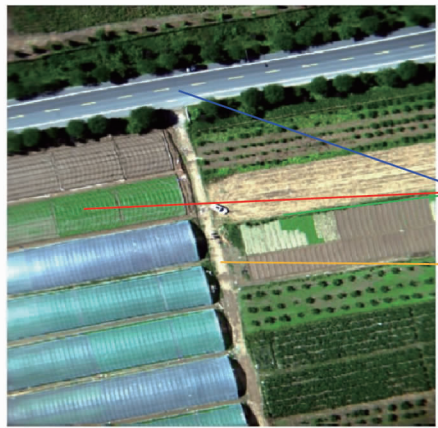
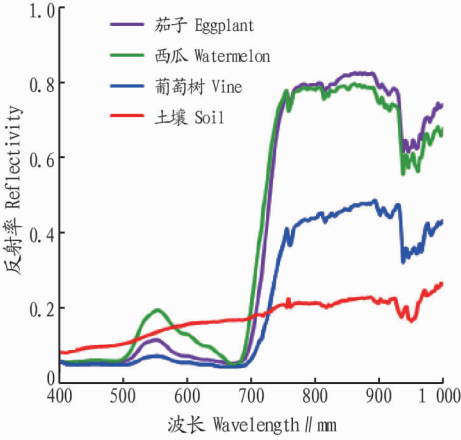


图 4 9 月 25 日不同地物的光谱反射率曲线

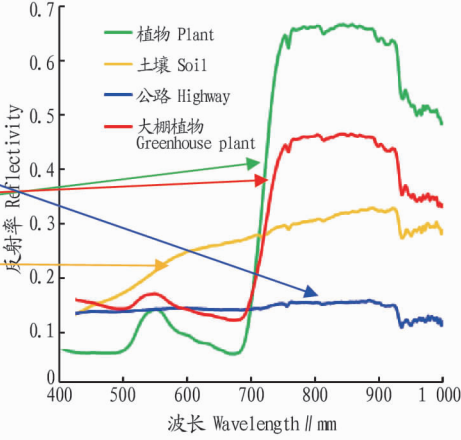
Fig. 4 The spectral reflectance curves of different ground objects on September 25

2.3 不同地物的快速识别分类研究 分别运用马氏距离法、最大似然法、神经网络、ISODATA(K - Means 分类效果不佳,在此不列举)4 种分类方法对 8 月 7 日的 200 m 高光谱图像和 9 月 25 日的 300 m 高光谱图像进行分类研究。完成分类之后,使用目视判读的方法从图像上选取不同地物各 1 000 像元计算混淆矩阵进行验证。结合验证数据,采用混淆矩阵

2.2 机载影像中不同地物的光谱曲线差异分析 图 3 为 8 月 7 日天气为晴,利用无人机获取的近地面 200 m 高度的高光谱图像及不同作物与土壤的光谱反射率曲线。土壤的光谱曲线与 3 种作物的光谱曲线差异显著,在 400 ~ 515 和 580 ~ 690 nm 区域,土壤的光谱反射率高于 3 种作物的光谱反射率。在可见光区域,茄子苗、西瓜苗、葡萄树 3 种作物的光谱反射率差异也较为显著,其中西瓜苗的光谱反射率最高,其次是茄子苗,最后是葡萄树;在近红外区域,西瓜苗和茄子苗的光谱反射率十分相近。总体而言,茄子苗的光谱反射率最高,其次是西瓜苗,最后是葡萄树。



势,土壤的光谱反射率在该范围内呈上升趋势;在 400 ~ 700 nm 区域,大棚植物的光谱反射率高于裸露植物,而在 700 ~ 1000 nm 区域,则是裸露植物的光谱反射率高于大棚植物。



的方法对 4 类方法进行精度评价。由表 2 和表 3 可知,神经网络法的分类精度最高,其次是马氏距离分类法,再次是 ISODATA 法,最低的最大似然分类法。但从处理时间来看,神经网络的处理时间较长,分别为 35.14 和 38.26 min,其次是最大似然分类法,分别为 15.61 和 16.75 min,再次是马氏距离法,分别是 12.54 和 14.55 min,处理时间最短的是 ISO-

DATA 法,处理时间分别为 3.64 和 3.97 min。

表 2 8 月 7 日的 200 m 高光谱图像分类精度评价
Table 2 The 200 m hyperspectral image classification accuracy evaluation on August 7

分类方法 Classification method	总体分类精度 Overall classification accuracy // %	Kappa 系数 Kappa coefficient	处理时间 Treatment time // min
马氏距离 Mahalanobis distance	92.67	0.915	12.54
最大似然法 Maximum likelihood method	86.65	0.844	15.61
神经网络法 Neural network method	98.56	0.982	35.14
ISODATA	89.41	0.887	3.64

表 3 9 月 25 日的 300 m 高光谱图像分类精度评价
Table 3 The 300 m hyperspectral image classification accuracy evaluation on September 25

分类方法 Classification method	总体分类精度 Overall classification accuracy // %	Kappa 系数 Kappa coefficient	处理时间 Treatment time // min
马氏距离 Mahalanobis distance	94.07	0.922	14.55
最大似然法 Maximum likelihood method	89.45	0.863	16.75
神经网络法 Neural network method	98.76	0.984	38.26
ISODATA	90.53	0.891	3.97

4 种分类方法的原理各不同,从人工参与程度、处理效率和分类精度等方面进行比较分析可知,ISODATA 法的分类精度虽然低于神经网络和马氏距离法,但是不需要太多的人工参与,处理效率却大大提高,且分类精度高于最大似然分类法。因此,它同时具备了监督分类的高精度和非监督分类的低时间的特点,在无人机低空遥感研究中,能够以较低的工作成本快速获取高精度的地物识别。图 5 和图 6 分别为 8 月 7 日 200 m 和 9 月 25 日 300 m 高光谱图像基于 ISODATA 法的分类效果图。由图 5 可知,少量的杂草被错分为葡萄树、西瓜苗、茄子苗,但是从大的区域来看,葡萄树、西瓜苗、茄子苗的像素并未存在错分和漏分现象。由图 6 可知,少量的土壤,可能是沙土,被错分为大棚或公路斑马线,其他地物不存在错分和漏分现象。总体而言,ISODATA 法可实现无人机高光谱遥感对地面地物的快速有效的识别。

3 结论与讨论

该研究基于无人机平台搭载成像高光谱相机,分别获取了 2 个时间段不同高度的高光谱图像,分析了不同高度同一地物光谱曲线的差异和基于不同高度下不同分类方法的分类精度评价。结果表明,随着无人机高度的升高,混合像元中土壤所占比例增加,从而造成“绿峰”降低、“红谷”升高,红边位置发生了“红移”等现象,该研究结果与地面光谱仪 ASD 的研究结果一致^[21-22]。ISODATA 法的分类精度虽然不及神经网络和马氏距离分类法,但是在综合考虑人工参与程度、处理效率和分类精度时可知,ISODATA 法对于快速实现地物的识别效果最佳,研究结果为利用无人机高光谱遥感进行军事伪装快速识别、海洋油污面积估测、灾害损失评估等领域具有重大意义。

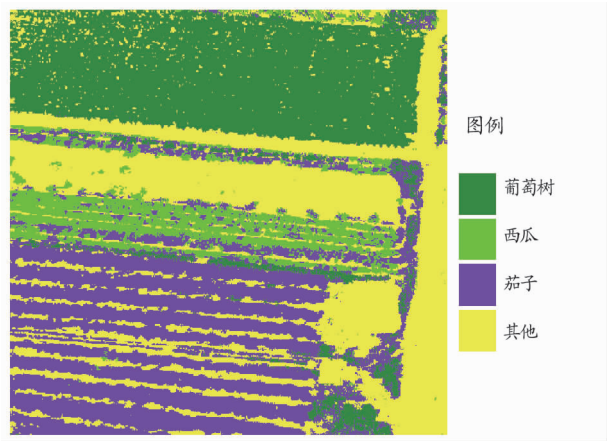


图 5 8 月 7 日 200 m 高光谱图像基于 ISODATA 法的分类效果
Fig. 5 The classification rendering of 200 m hyperspectral image based on ISODATA method on August 7

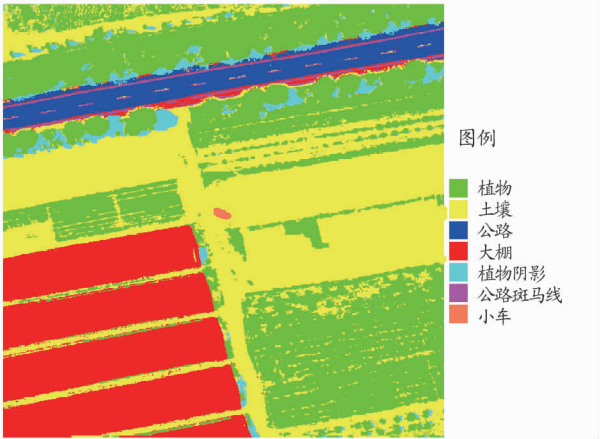


图 6 9 月 25 日 300 m 高光谱图像基于 ISODATA 法的分类效果
Fig. 6 The classification rendering of 300 m hyperspectral image based on ISODATA method on September 25

参考文献

[1] 邹湘伏,何清华,贺继林. 无人机发展现状及相关技术[J]. 飞航导弹, 2006(10):9-14.

[2] 周清波. 国内外农情遥感现状与发展趋势[J]. 中国农业资源与区划, 2004,25(5):9-14.

[3] SUGIURA R,NOGUCHI N,ISHII K. Remote-sensing technology for vegetation monitoring using an unmanned helicopter[J]. Biosystems engineering,2005,90(4):369-379.

[4] 李冰,刘谿源,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.

[5] BRYSON M,REID A,RAMOS F,et al. Airborne vision-based mapping and classification of large farmland environments[J]. Journal of field robotics, 2010,27(5):632-655.

[6] GARCIA-RUIZ F,SANKARAN S,MAJA J M,et al. Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees[J]. Computers and electronics in agriculture,2013,91:106-115.

[7] C  R  COLES J I,ORTEGA J F,HERNÁNDEZ D,et al. Estimation of leaf area index in onion (*Allium cepa* L.) using an unmanned aerial vehicle [J]. Biosystems engineering,2013,115(1):31-42.

[8] 刘峰,刘素红,向阳. 园地植被覆盖度的无人机遥感监测研究[J]. 农业机械学报,2014,45(11):250-257.

[9] 高林,杨贵军,王宝山,等. 基于无人机遥感影像的大豆叶面积指数反演研究[J]. 中国生态农业学报,2015,23(7):868-876.

[10] 田振坤,傅莺莺,刘素红,等. 基于无人机低空遥感的农作物快速分类方法[J]. 农业工程学报,2013,29(7):109-116.

约,多是接受国外定牌加工。国内条斑紫菜企业缺乏自主创新品牌的意识,也间接导致产品质量管理的意识和能力不足,不利于条斑紫菜产业的自主创新发展。

4 破解出口条斑紫菜质量瓶颈的建议

4.1 强化源头管理,推动紫菜养殖业发展 营造企业参与风险管理良好氛围,进一步增强企业质量主体责任意识。加强对紫菜原藻的验收,确保加工用原藻全部来自备案养殖基地,降低产品安全风险;二次紫菜加工企业应加严对原料、半成品和成品的微生物、重金属(如铅、镉等)、农药残留(如扑草净等)检验,从多方面入手确保产品符合出口国质量安全要求。强对紫菜养殖户的技术指导,积极引导养殖户科学合理养殖紫菜,重视环境污染带给沿海紫菜养殖业的冲击^[7],加大对重污染企业的治理力度,加强对化工企业污染物排放的监管,有效地减少环境污染给紫菜养殖带来的阻力。

4.2 深化技术性贸易措施工作 结合条斑紫菜产品特点,对潜在风险进行科学评估,提高风险应对针对性和有效性。虽然紫菜国际标准尚未正式通过实施,但应加强跟进紫菜国际标准制定工作^[8-9],及时掌握当前国际和亚洲紫菜生产、贸易、消费、标准制定等动态和国外通报情况,分析国外关注检测项目及要求,及时发布官方预警信息,与企业、行业协会加强沟通交流,做好对策研究。

4.3 完善条斑紫菜质量管理体系,提升质量管理水平 探索在条斑紫菜养殖和初加工企业实施良好农业规范(GAP)体系^[10],建立从养殖到出口的全程质量控制体系,进一步完善条斑紫菜养殖、生产体系和管理制度,并与国际上农产品生产标准体系接轨,规范紫菜养殖生产经营活动,进而提升我国条斑紫菜的质量效益和国际市场竞争力。

4.4 加强条斑紫菜质量安全评价的基础研究 对条斑紫菜原藻和干条斑紫菜成品中的铅、镉、扑草净、砷等污染物进行安全性评估,重点加强条斑紫菜对重金属的吸收、富集机理研究以及上述污染物的毒理性研究,正确评价紫菜中镉和扑草净的使用安全性^[11-12],从而为确定海藻中镉和扑草净的安全限量提供科学依据。重点对日本和韩国的紫菜样品加以分析与研究,对过去遭遇的和将来可能出现的类似的技术壁垒问题提供科学依据和技术储备^[13]。

4.5 推进紫菜产业的集约化经营和品牌化战略 形成紫菜

产业规模,发挥地区整体竞争优势,是推进紫菜产业发展重要途径^[14]。要改变当前紫菜生产、加工企业规模过小、个体竞争力相对较弱现状,产业化经营是现实选择。要根据紫菜市场需求和资源优势,以市场为导向,以优质紫菜生产加工为核心,以“公司+基地+专业市场”为主要组织形式,实现产业资源有效集聚。充分发挥龙头企业、知名品牌的示范、带动效应,重点扶持技术含量与附加值高、有市场潜力和竞争优势的紫菜龙头企业。

5 结语

我国条斑紫菜在全球紫菜贸易中面对日、韩竞争的压力和挑战仍将长期存在,各国技术性贸易措施的应用也将对我国的优势产业造成重重阻力。将先进质量管理体系引入到条斑紫菜原藻养殖及干条斑紫菜加工过程的管理,强化对养殖区域的监测、产品加工、储存等环节的质量安全控制,以提升质量效益破解上述挑战和阻力,推动我国条斑紫菜产业的健康持续发展。

参考文献

[1] 李博.我国条斑紫菜产业发展要因及对策分析:以江苏省南通市条斑紫菜产业发展为例[J].沈阳农业大学学报(社会科学版),2015,17(4):412-415.

[2] 姜桥,周德庆,孟宪军,等.我国食用海藻加工利用的现状 & 问题[J].食品与发酵工业,2005,31(5):68-72.

[3] 林增善.我国紫菜养殖现状及进展[J].现代渔业信息,1986(6):13-17,19.

[4] 张盼盼,杨锐,吴小凯.江苏条斑紫菜产业现状调研[J].宁波大学学报(理工版),2014,27(1):18-22.

[5] 宋迁红,赵永锋.我国条斑紫菜栽培业的发展现状:访江苏省海洋水产研究所[J].科学养鱼,2003(9):8-9.

[6] 曾呈奎,张峻甫.我国的紫菜与紫菜养殖[J].生物学通报,1956(3):29-33.

[7] 邵飞,费岚,吴海龙,等.环境因子及藻体密度对条斑紫菜生长与氮磷去除效率的影响[J].生态学报,2014,34(21):6164-6171.

[8] 王联珠,殷邦忠,戴卫平,等.紫菜国际标准制定对我国紫菜产业的影响[J].渔业科学进展,2013,34(6):143-148.

[9] 李晓川.我国紫菜产业发展、标准状况及安全性评价[J].中国渔业质量与标准,2011,1(3):9-12.

[10] DA CRUZ A G, CENCI S A, MAIA M C A. Good agricultural practices in a Brazilian produce plant[J]. Food control, 2006, 17(10): 781-788.

[11] 常秀莲,王文华,冯咏梅,等.不同海藻吸附重金属镉离子的研究[J].离子交换与吸附,2002,18(5):432-439.

[12] 陈小霞,吴振强,梁世中.藻类对微量元素的生物富集及其机理探讨[J].食品与发酵工业,1999,25(4):56-60.

[13] 张美如,陆勤勤,许广平.条斑紫菜产业现状及其健康发展的思考[J].中国水产,2012(11):15-19.

[14] 顾汉忠,施锋.南通市条斑紫菜产业发展的现状和途径[J].海洋开发与 管理,2008,25(S1):84-86.

(上接第 173 页)

[11] 王利民,刘佳,杨玲波,等.基于无人机影像的农情遥感监测应用[J].农业工程学报,2013,29(18):136-145.

[12] 阙媛媛.无人机遥感在某铁矿矿区资源监测中的应用[D].阜新:辽宁工程技术大学,2008.

[13] 赛恒吉雅.数字图像镜像变换方法的实现[J].科技传播,2010,18(9):143,142.

[14] 张东彦.基于高光谱成像技术的作物叶绿素信息诊断机理及方法研究[D].杭州:浙江大学,2012.

[15] 刘建贵,吴长山,张兵,等. PHI 成像光谱图像反射率转换[J].遥感学报,1999,3(4):290-294.

[16] NUMATA I, ROBERTS D A, CHADWICK O A, et al. Evaluation of hyperspectral data for pasture estimate in the Brazilian Amazon using field and imaging spectrometers[J]. Remote sensing of environment, 2008, 112: 1569-1583.

[17] PETROPOULOS G P, ARVANITIS K, SIGRIMIS N. Hyperion hyperspec-

tral imagery analysis combined with machine learning classifier for land use/cover mapping[J]. Expert systems with applications, 2012, 39(3): 3800-3809.

[18] WANG J J, ZHANG Y, BUSSINK C. Unsupervised multiple endmember spectral mixture analysis-based detection of opium poppy fields from an EO-1 Hyperion image in Helmand, Afghanistan[J]. The science of the total environment, 2014, 476/477: 1-6.

[19] 梅安新,彭望碌,秦其明,等.遥感导论[M].北京:高等教育出版社,2005.

[20] 赵英时.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2003.

[21] 褚旭.不同覆盖度条件下水稻叶层氮素营养的高光谱监测研究[D].南京:南京农业大学,2013.

[22] YAO X, REN H, CAO Z, et al. Detecting leaf nitrogen content in wheat with canopy hyperspectrum under different soil backgrounds[J]. International journal of applied earth observation and geoinformation, 2014, 32: 114-124.