

三亚鹿回头海域珊瑚、石莼和碎石反射率光谱分析

陈永强^{1,2}, 陈 标³, 雷新明¹, 黄 晖^{1,2*}

1. 中国科学院热带海洋生物资源与生态重点实验室(LMB), 广东 广州 510301

2. 中国科学院海南热带海洋生物重点实验室, 海南 三亚 572000

3. 山东省济宁市第一人民医院, 山东 济宁 272111

摘 要 以南海三亚湾鹿回头海域八种常见造礁石珊瑚优势种的反射率光谱为代表, 用光谱仪测量它们和此海域常见底质石莼以及碎石的反射率光谱。通过反射率、导数光谱法研究了三亚鹿回头海域造礁石珊瑚、石莼和碎石的光谱差异。石莼于 561.4 nm 处出现反射率高达 48% 左右的显著波峰, 在 500~700 nm 波长范围和造礁石珊瑚反射率差异较大; 碎石反射率明显高于造礁石珊瑚反射率, 整体差异显著。导数分析结果表明造礁石珊瑚、石莼和碎石可区分波段为: 造礁石珊瑚与石莼主要为一阶导数在 485~487, 505~510, 515~529, 559~578, 587~593, 598~603 和 667~670 nm 等波段。二阶导数在 494.4~505.7, 524~534.5, 543.6~561.4 和 567.2~579.7 nm 波段。四阶导数在 515.8~430, 621~627.1, 628.8~635.6, 639.3~645, 661.8~669.8 和 678.4~682.4 nm 等波段。造礁石珊瑚与碎石一阶导数反射光谱, 主要为 400~413.7, 414~418, 484.8~486.9, 506~509.6, 514.5~528.9, 576.9~587.6 和 602.7~653.4 nm 波段。二阶导数主要为, 451.6~461.6, 564.5~570.7 和 677~685 nm。四阶导数主要为, 412.6~425.3, 459.8~467, 467.7~470.6, 535.6~540.8, 583.8~591.4, 654.4~659.8 和 670.8~680 nm 等波段。

关键词 三亚湾鹿回头; 造礁石珊瑚; 石莼; 碎石; 反射率光谱

中图分类号: O433.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2019)02-0500-06

引 言

珊瑚礁具有丰富的生物多样性和极高的生产力, 被誉为海底的“热带雨林”, 是地球上最重要的生态系统之一^[1]。由于气候变化、人类活动加剧、海水升温和海洋酸化等因素的影响, 珊瑚礁严重退化^[2-4]。我国珊瑚礁也受到影响, 退化严重^[5-8]。亟需记录和监测珊瑚礁退化, 但是由于其分布偏远常规方法难以实现大规模监测。遥感可以作为大面积、实时监测珊瑚礁的有效工具, 前提是全面了解珊瑚礁光谱反射率特征^[6-8]。故研究珊瑚礁底质反射率, 以光谱识别珊瑚礁不同底质, 为珊瑚礁遥感之理论基础, 具有重要意义。

国外学者研究发现, 通过珊瑚反射率光谱可以区分不同珊瑚礁底质^[8-11]。而不同的珊瑚含有的虫黄藻也不尽相同, 因而造成其所含色素的差异, 色素的差异导致反射率光谱的不同^[12-13]。分析不同的反射率光谱区分不同珊瑚礁底质是遥

感监测与管理珊瑚礁的基础。我国部分海域尤其是南海分布着大量的珊瑚礁, 是世界珊瑚礁的重要组成部分。然而, 我国珊瑚反射率相关研究仅最近几年才相继展开, 亟待进一步深入^[6-7]。更多代表性珊瑚及珊瑚礁常见底质反射率光谱的采集与分析, 具有重要的应用价值^[7]。

本工作主要集中在测量和分析三亚湾鹿回头海域八种常见造礁石珊瑚反射率光谱, 并以其平均值代表三亚湾鹿回头海域造礁石珊瑚与该海域常见的石莼和碎石反射率光谱进行比较, 分析它们的差异, 尝试识别健康造礁石珊瑚、石莼和碎石反射率光谱之间的区别, 寻找识别珊瑚和其不同底质的敏感波段。此外, 对所测不同底质反射率光谱进行一阶导数、二阶导数和四阶导数分析, 以确定健康造礁石珊瑚与石莼和碎石的区分波段。结果显示反射率光谱及其导数分析能够很好地区分我国海南三亚湾鹿回头海域造礁石珊瑚、石莼和碎石。

收稿日期: 2017-07-11, 修订日期: 2017-11-26

基金项目: 中国国家留学基金项目(201704910155), 国家自然科学基金青年基金项目(41306144, 41406186)资助

作者简介: 陈永强, 1982年生, 中国科学院热带海洋生物资源与生态重点实验室助理研究员 e-mail: yqchen@scsio.ac.cn

陈 标, 1987年生, 山东省济宁市第一人民医院博士研究生 e-mail: chen.28.happy@163.com

陈永强, 陈 标: 并列第一作者 * 通讯联系人 e-mail: huanghui@scsio.ac.cn

1 实验部分

1.1 样品处理

2014 年 4 月 15 日—16 日上午, 于海南三亚鹿回头附近海域(图 1), 采集该海域优势种健康造礁石珊瑚(枝状(风信子鹿角珊瑚 *Acropora hyacinthus*、疣状杯形珊瑚 *Pocilloporaverrucosa*、多孔鹿角珊瑚 *Acropora millepora* 和鹿角杯形珊瑚 *Pocilloporadamicornis*)、块状(十字牡丹珊瑚 *Pavona decussata*、澄黄滨珊瑚 *Porites lutea*、和秘密角蜂巢珊瑚 *Favites abdita*)和片状(盾形陀螺珊瑚 *Turbinaria Scleractinia*)、石莼 *Ulva* 和珊瑚碎石(*coral rubble*)样品。珊瑚样品大小在 6 cm 左右, 健康造礁石珊瑚、石莼暂养于岸基实验室珊瑚养殖缸, 缸内养殖条件充分模拟野外环境, 对其持续更换经过简单过滤的海水, 水温控制在 26 °C, 光线为实时太阳光。

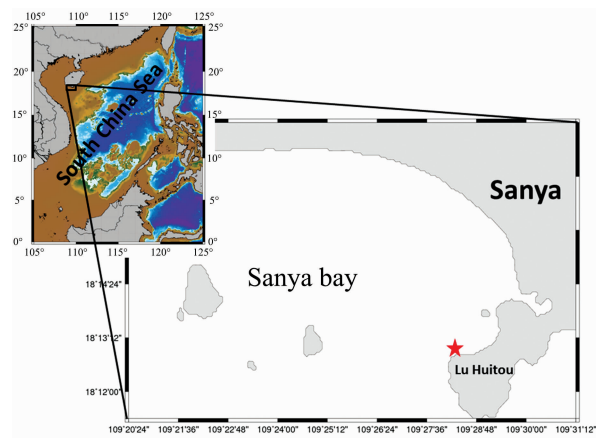


图 1 采样海域地图
红色五星代表采样区域

Fig. 1 The map of samplings area marked by red star

1.2 反射率光谱数据采集

待造礁石珊瑚样品于恒温养殖缸暂养 ≥ 4 h 生理状态基本稳定后, 测量其反射率光谱^[6-8]。采集条件为无云遮挡的晴朗天气^[7-8]; 使用美国海洋光学光谱仪(USB2000+), 其波段范围 200~850 nm, 分辨率 1.34 nm, 步长 0.6 nm, 视场角 25°。测量光谱时, 样品放于养殖缸内的平台上, 简单过滤过的恒温~26 °C 海水持续缓缓注入, 此举保证养殖缸内水温恒定; 多余海水从养殖缸缸壁上缘缓缓溢出, 保证养殖缸内水面无扰动波纹, 排除光线经过扰动的水表面折射进入到水体后发生的“汇聚现象”给反射率光谱测量带来的诸多问题; 养殖缸用黑色的尼龙布贴在四壁和底壁, 避免缸壁反射光影响实验结果^[7]。探头与样品间的距离设定为 5 cm, 尽量减少光谱仪探头与样品间海水吸收和散射对测量值的影响。每个样品测量重复 10 次取平均值。光源采用太阳光, 为了减少测量时间变化对光强度的影响, 每次测量前校正光谱仪^[6-7], 在保证所测数据质量的前提下, 尽可能地缩短每次测量所用的时间。本实验获得每种健康造礁石珊瑚、石莼和珊瑚碎石反射率光谱各 50 组, 其中所有造礁石珊瑚样品的

反射率光谱取平均用以代表该海域健康造礁石珊瑚的反射率光谱。

1.3 数据处理

由于电磁波谱中 400~700 nm 的可见光波段具有较好的穿透水体能力, 特别是 475~495 nm 蓝光能够深入水下达 40 多米, 能够较好用于水下珊瑚礁遥感。因此, 选用 400~700 nm 可见光波段的反射率光谱进行分析。通过求平均值的方式确定不同造礁石珊瑚礁底质反射率光谱特征。通过反射率光谱求导数, 不仅能放大光谱间的差异^[8], 从混合的反射率光谱中分离出被覆盖住的弱的波峰, 同时还能保持多元组分光谱线性叠加性特征。四阶导数光谱法在提高检测灵敏度, 改善分辨率和加强抗干扰力等方面具有独特的优点^[8]。利用统计软件 Origin10 分别进行反射率光谱数据一阶导数、二阶导数和四阶导数分析, 根据反射率光谱导数之间的差异确定健康珊瑚、石莼和碎石光谱的敏感波段。

2 结果与讨论

2.1 反射率光谱

图 2 所示为健康造礁石珊瑚和石莼反射率光谱谱线对比, 造礁石珊瑚反射率光谱在(400~700 nm)范围内反射率光谱谱线较为平坦, 其值介于 5%~15% 之间。518, 577.6, 605.4 和 652 nm 处为波峰; 其特征为 605.4 nm 处为主峰, 577.6 和 652 nm 处为两肩; 669 nm 处为明显的波谷。石莼反射率光谱在 400~500 nm 之间略高于造礁石珊瑚, 500~700 nm 之间石莼与造礁石珊瑚反射率光谱差异较大, 其值明显高于与造礁石珊瑚反射率光谱; 于 561.4 nm 处出现波峰, 其反射率高达 48% 左右, 669~700 nm 之间反射率光谱急剧攀升至 80% 左右, 其余几处波峰相对不太明显。此外; 672.8 nm 处存在与造礁石珊瑚(669 nm)差异明显的波谷(图 2)。

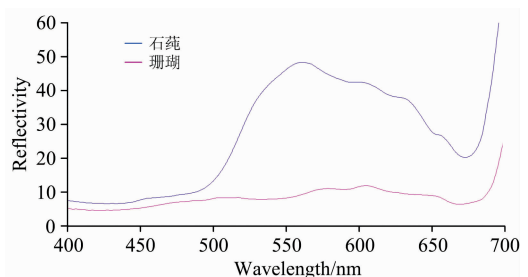


图 2 珊瑚和石莼反射率光谱

Fig. 2 Reflectance spectra of scleractinian coral and ulva

图 3 所示为健康造礁石珊瑚和碎石反射率光谱谱线之间的对比, 二者差异非常明显, 碎石光谱反射率始终明显高于造礁石珊瑚光谱反射率, 不存在谱线交叉。碎石反射率光谱由 400 nm 处的 23.5% 左右单调地升高至 700 nm 处的 56.6% 左右; 除了 656 nm 处存在一个不太明显的波峰外, 可见光范围内再无其他波峰; 669.4 nm 处存在一个不太显著的波谷, 与造礁石珊瑚的波谷基本对应。

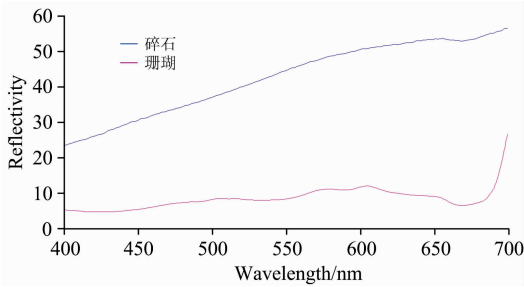


图 3 造礁石珊瑚和碎石反射率光谱

Fig. 3 Reflectance spectra of scleractinian coral and coral rubble

图 4 所示为造礁石珊瑚、石莼和碎石反射率光谱谱线之间的对比,三者差异非常明显,造礁石珊瑚反射率光谱整体相对较低,起伏相对平缓;石莼反射率光谱部分波段相对较低,起伏较大,存在明显的波峰和波谷;碎石反射率光谱相对简单,为一单调上升斜线,波峰和波谷均不明显。石莼和碎石光谱反射率始终高于造礁石珊瑚光谱反射率。石莼反射率光谱部分波段高于碎石反射率光谱,存在光谱交叉。如图 4 所示,可见光波段内(400~700 nm)造礁石珊瑚反射率整体上小于 10%;石莼反射率起伏剧烈,由 400 nm 处的 7% 震荡升高至 700 nm 处的 80% 左右;碎石反射率相对非常单调处于 23.5%~56.5% 之间。

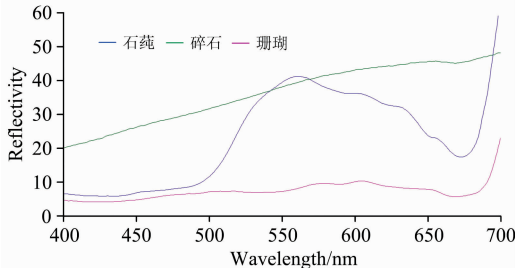


图 4 造礁石珊瑚、石莼和碎石反射率光谱

Fig. 4 Reflectance spectra of scleractinian coral, ulva and coral rubble

2.3 反射率光谱导数分析

反射率光谱的一阶导数结果显示,可见光范围内造礁石珊瑚反射率光谱导数与石莼反射率光谱的导数存在 7 个信号相反的波段,即 485~487, 505~510, 515~529, 559~578, 587~593, 598~603 和 667~670 nm 波段,造礁石珊瑚与石莼反射率光谱导数信号相反,这能够将造礁石珊瑚和石莼很好地区分开;其中以 515~529 和 559~578 nm 波段间隔较宽易于分辨。其他波段,一阶导数值符号相同,不能用以识别造礁石珊瑚和石莼(图 5)。

可见光范围内造礁石珊瑚反射率光谱导数与碎石反射率光谱的导数存在 7 个信号相反的波段,即 400~413.7, 414~418, 484.8~486.9, 506~509.6, 514.5~528.9, 576.9~587.6 和 602.7~653.4 nm 波段范围内,造礁石珊瑚与碎石反射率光谱导数信号相反,这能够将造礁石珊瑚和碎石很好地区分开;其中较宽波段为 400~413.7, 514.5~

528.9, 576.9~587.6 和 602.7~653.4 nm。其他的波段,造礁石珊瑚和碎石一阶导数值符号相同,不能识别区分(图 6)。

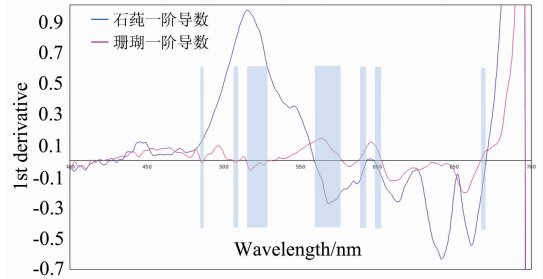


图 5 珊瑚和石莼反射率光谱一阶导数

Fig. 5 First-order derivatives of scleractinian coral and ulva reflectances

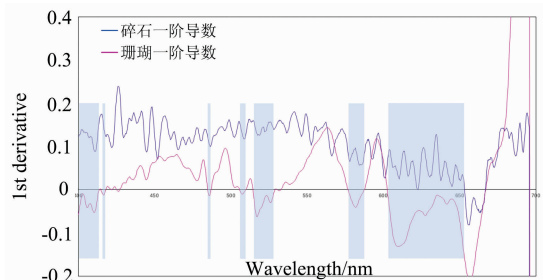


图 6 造礁石珊瑚和碎石反射率光谱一阶导数

Fig. 6 First-order derivatives of scleractinian coral and coral rubble reflectances

反射率光谱二阶导数分析结果表明:(400~700 nm)范围内造礁石珊瑚与石莼主要可区分波段为,401.6~404.9, 414.4~418.7, 423.8~428, 439~442.6, 444.7~452.3, 462~469.8, 479.8~484, 494.4~505.7, 510.3~513.5, 515.6~521.7, 524~534.5, 536.3~541.5, 543.6~561.4, 567.2~579.7, 607.4~610.8, 625.1~634.2, 642.7~650.4 和 655~659.4 nm 等,在这些波段内造礁石珊瑚与石莼反射率光谱信号相反,能够很好地区分造礁石珊瑚与石莼;其中以 494.4~505.7, 524~534.5, 543.6~561.4 和 567.2~579.7 nm 波段较宽。其它波段范围内,造礁石珊瑚与石莼反射率光谱二阶导数值符号相同,难以区分(图 7)。

可见光范围内造礁石珊瑚与碎石反射率光谱二阶导数可区分波段主要是:414~418.7, 419.8~428.9, 432.5~436.8, 446.5~450.1, 451.6~461.6, 464.1~467.7, 470.9~479.8, 491.6~493.3, 494.4~496.5, 500.4~503.6, 521.6~526.8, 529.3~536.6, 539.4~544.3, 547.6~550.9, 564.5~570.7, 559.3~561.4, 576.9~579.3, 580~583.5, 587.9~591.4, 599.2~602.3, 611.9~614.9, 617~620.3, 621.4~624.8, 625.8~628.8, 632.9~634.2, 636.6~639.6, 640~643, 643.3~646, 657.8~661.4, 668.4~670.8, 677~685 和 688~690 nm 等波段,造礁石珊瑚与碎石反射率光谱信号相反,能够很好地区分;其

中较宽波段为 419.8 ~ 428.9, 451.6 ~ 461.6, 470.9 ~ 479.8, 529.3 ~ 536.6, 564.5 ~ 570.7, 657.8 ~ 661.4 和 677 ~ 685 nm 等。其他波段范围内,造礁石珊瑚与碎石反射率光谱二阶导数符号相同,难以区分(图 8)。

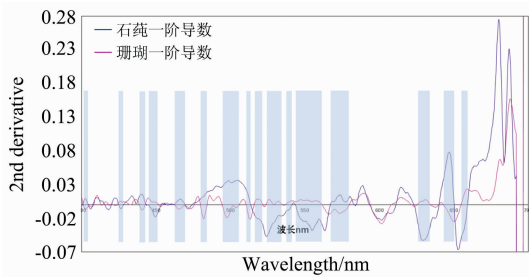


图 7 珊瑚和石莼反射率光谱二阶导数

Fig. 7 Second-order derivatives of scleractinian coral and *ulva* reflectances

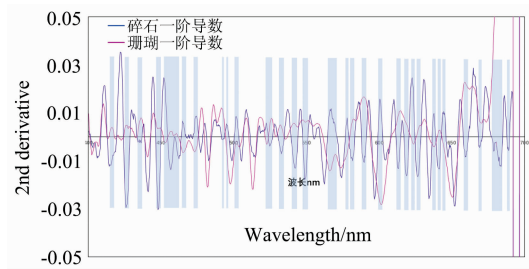


图 8 造礁石珊瑚和碎石反射率二阶导数

Fig. 8 Second-order derivatives of scleractinian coral and coral rubble reflectances

反射率光谱四阶导数结果表明,在 401.3 ~ 403.1, 415.8 ~ 430, 431.4 ~ 442.9, 447.3 ~ 550.9, 457.7 ~ 468, 475.9 ~ 480.2, 484.8 ~ 486.9, 490.1 ~ 495.8, 501.5 ~ 506.4, 511.4 ~ 516.6, 520.8 ~ 522.6, 524.4 ~ 527.9, 530.7 ~ 533.5, 540.8 ~ 546, 561 ~ 563.8, 567.6 ~ 575.5, 577.9 ~ 581.7, 621 ~ 627.1, 628.8 ~ 635.6, 639.3 ~ 645, 661.8 ~ 669.8 和 678.4 ~ 682.4 nm 等波段范围内,造礁石珊瑚与石莼反射率光谱四阶导数信号相反,能够很好地区分造礁石珊瑚与石莼;其中以 515.8 ~ 430, 621 ~ 627.1, 628.8 ~ 635.6, 639.3 ~ 645, 661.8 ~ 669.8 和 678.4 ~ 682.4 nm 等波段较宽。其他波段,造礁石珊瑚与石莼反射率光谱四阶导数值符号相同,不能区分(图 9)。

四阶导数分析结果表明,在 401.6 ~ 404.6, 412.6 ~ 425.3, 425.6 ~ 428.9, 430.3 ~ 433.2, 446.2 ~ 450.5, 451.2 ~ 458, 459.8 ~ 467, 467.7 ~ 470.6, 470.9 ~ 478, 486.9 ~ 489.4, 490.5 ~ 493, 517 ~ 519.1, 520.9 ~ 523, 524.4 ~ 526.1, 527.5 ~ 530, 530.7 ~ 534.2, 535.6 ~ 540.8, 560.3 ~ 564.1, 564.8 ~ 568.3, 576.2 ~ 579.3, 583.8 ~ 591.4, 595.5 ~ 603.3, 608.1 ~ 611.5, 617 ~ 620.7, 621.7 ~ 624.8, 632.9 ~ 635.2, 535.9 ~ 638, 640 ~ 642.3, 654.4 ~ 659.8, 670.8 ~ 680, 684.7 ~ 686.4 和 687 ~ 688.7 nm 等波段范围内,造礁石珊瑚与石莼反射率光谱四阶导数信号相

反,能够很好地区分造礁石珊瑚与石莼;其中以 412.6 ~ 425.3, 459.8 ~ 467, 467.7 ~ 470.6, 535.6 ~ 540.8, 583.8 ~ 591.4, 654.4 ~ 659.8 和 670.8 ~ 680 nm 等波段较宽。其他波段,造礁石珊瑚与碎石反射率光谱四阶导数值符号相同,难以进行区分(图 10)。

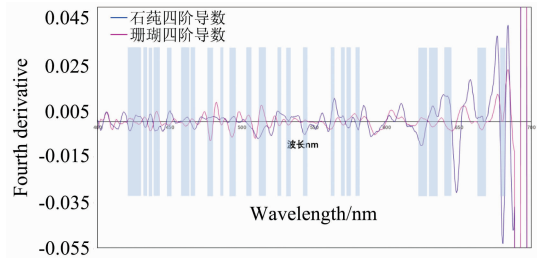


图 9 造礁石珊瑚和石莼反射率光谱四阶导数

Fig. 9 Fourth-order derivatives of scleractinian coral and *ulva* reflectances

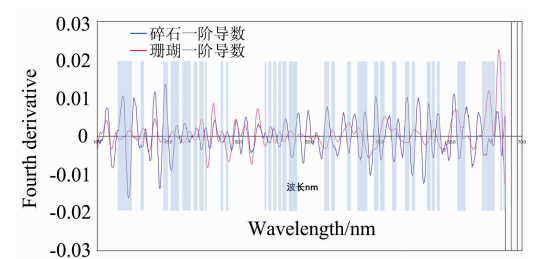


图 10 造礁石珊瑚和碎石反射率光谱四阶导数

Fig. 10 Fourth-order derivatives of scleractinian coral and coral rubble reflectances

3 结 论

造礁石珊瑚反射率光谱在 518, 577.6, 605.4 和 652 nm 处为波峰;605.4 nm 处为主峰,577.6 和 652 nm 处为两肩;669 nm 处为明显的波谷。石莼反射率光谱在 561.4 nm 处出现高达 48% 的特征波峰;此后,669 ~ 700 nm 之间反射率光谱急剧攀升至 80% 左右;此外 672.8 nm 处存在与造礁石珊瑚 669 nm 差异明显的波谷。碎石反射率光谱由 400 nm 处的 23.5% 左右接近线性地升高至 700 nm 处的 56.6% 左右;656 nm 处存在一个不太明显的波峰;669.4 nm 处存在一个不太显著的波谷。400 ~ 500 nm 之间石莼反射率光谱略高于造礁石珊瑚,500 ~ 700 nm 之间石莼与造礁石珊瑚反射率光谱明显高于与造礁石珊瑚反射率。碎石反射率光谱整体明显高于造礁石珊瑚,且其波峰波谷相对较不明显。

造礁石珊瑚与石莼反射率光谱一阶导数主要可区分波段为 404 ~ 425, 456 ~ 466, 513 ~ 532, 563 ~ 568 nm 和 661 ~ 667 nm 波段,其反射率光谱信号相反区域能够很好地区分造礁石珊瑚与石莼。

造礁石珊瑚与石莼反射率光谱二阶导数主要可区分波段为 408 ~ 420, 542 ~ 556, 563 ~ 573, 615 ~ 634 和 685 ~ 693 nm 等波段;

造礁石珊瑚与石莼反射率光谱四阶导数主要可区分波段

为 402~418, 466~472, 478~481, 617~622 和 685~690 nm 波段。

造礁石珊瑚与碎石反射率光谱一阶导数主要可区分波段为 400~413.7, 414~418, 484.8~486.9, 506~509.6, 514.5~528.9, 576.9~587.6 和 602.7~653.4 nm 波段, 这些波段范围内造礁石珊瑚与碎石反射率光谱信号相反能够很好地区分造礁石珊瑚和碎石。

造礁石珊瑚与碎石反射率光谱二阶导数主要可区分波段

为 419.8~428.9, 451.6~461.6, 470.9~479.8, 529.3~536.6, 564.5~570.7, 657.8~661.4 和 677~685 nm 等波段;

造礁石珊瑚与碎石反射率光谱四阶导数主要可区分波段为 412.6~425.3, 459.8~467, 467.7~470.6, 535.6~540.8, 583.8~591.4, 654.4~659.8 和 670.8~680 nm 波段。

References

- [1] Liu Gang, Scott F Heron, C Mark Eakin, et al. *Remote Sens.*, 2014, 6(11): 11579.
- [2] Hughes T P, Huang Hui, Young M A. *Conservation Biology*, 2012, 27(2): 261.
- [3] Hedley J D, Roelfsema C M, Phinn S R, et al. *Remote Sensing*, 2012, 4(1): 271.
- [4] Torres-Pérez J L, Guild L S, Armstrong R A, et al. *PLOS One* 2015, 10(11): e0143709.
- [5] CHEN Biao, HUANG Hui, CHEN Yong-qiang, et al(陈 标, 黄 晖, 陈永强, 等). *Ocean Development and Management(海洋开发与管理)*, 2013, (Suppl.): 89.
- [6] CHEN Biao, HUANG Hui, CHEN Yong-qiang, et al(陈 标, 黄 晖, 陈永强, 等). *Ecological Science(生态科学)*, 2014, 33(6): 1080.
- [7] CHEN Biao, CHEN Yong-qiang, HUANG Hui, et al(陈 标, 陈永强, 黄 晖, 等). *Journal of Tropical Oceanography(热带海洋学报)*, 2015, 34(1): 71.
- [8] La Ode Muhammad Yasir Haya, Masahiko Fujii. *Journal of Oceanography*, 2017, 73:623(doi: 10.1007/s10872-017-0422-4).
- [9] Sridhar P N, Ali M M, Rao M V, et al. *Current Science*, 2012, 102(1): 114.
- [10] Tristan Petit, Touria Bajjouk, Pascal Mouquet, et al. *Remote Sensing of Environment*, 2017, (190): 348.
- [11] Tamir Caras, John Hedley, Arnon Karnieli. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2017, (63): 68.
- [12] Leiper I, Phinn S, Dekker A G. *International Journal of Remote Sensing*, 2012, 33(12): 3946.
- [13] Hamylton S. *International Journal of Geographical Information Science*, 2012, 26(11): 2161.

Reflectance Analysis of Scleractinian Coral, *Ulva* and Coral Rubble in Luhuitou Sanya Bay

CHEN Yong-qiang^{1,2}, CHEN Biao³, LEI Xin-ming¹, HUANG Hui^{1,2*}

1. Key Laboratory of Tropical Marine Bio-Resources and Ecology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China
2. National Experiment Station of Tropical Marine Biology, Sanya 572000, China
3. Ji'ning No. 1 People's Hospital, Ji'ning 272111, China

Abstract Reflectance spectra of eight common scleractinian coral species were chosen to represent the reflectance of corals in the sea area of Luhuitou Sanya Bay in the north-western South China Sea (SCS). Reflectance spectra of these scleractinian corals, *ulva* and coral rubble were measured using a fiber spectrometer. Then spectral reflectance analysis and derivative spectroscopy were used to study the difference in the reflectance spectrum between reef building scleractinian coral, *ulva* and coral rubble in this sea area. The results showed that reflectance peak of *ulva* appeared at 561.4 nm, and its value was as high as 48%; reflectance difference of *ulva* and scleractinian coral was very significant in 500~700 nm; reflectance of coral rubble was significantly higher than that of coral reflectance spectrum with significant differences. Derivative analysis results showed that the distinguishable bands of scleractinian coral, *ulva* and coral rubble were as follows: scleractinian coral and *ulva*, first order derivatives are mainly in 485~487, 505~510, 515~529, 559~578, 587~593, 598~603 and 667~670 nm bands. The second order derivatives are mainly in 494.4~505.7, 524~534.5, 543.6~561.4 and 567.2~579.7 nm bands. The fourth order derivatives are mainly in 515.8~430, 621~627.1, 628.8~635.6, 639.3~645, 661.8~669.8, and 678.4~682.4 nm. First order derivatives of scleractinian coral and coral rubble are mainly in 400~413.7, 414~418, 484.8~486.9, 506~509.6, 514.5~528.9, 576.9~587.6 and 602.7~653.4 nm bands. The second order derivatives are mainly in 451.6~461.6, 564.5~570.7 and 677~

685 nm. The fourth order derivatives are mainly in 412.6~425.3, 459.8~467, 467.7~470.6, 535.6~540.8, 583.8~591.4, 654.4~659.8 and 670.8~680 nm bands.

Keywords Lu Huitou Sanya Bay; Scleractinian coral; *Ulva*; Coral rubble; Reflectance spectrum

(Received Jul. 11, 2017; accepted Nov. 26, 2017)

CHEN Yong-qiang and CHEN Biao: joint first authors

* Corresponding author

欢迎投稿

欢迎订阅

欢迎刊登广告

《光谱学与光谱分析》2019年征订启事

国内邮发代码: 82-68

国外发行代码: M905

《光谱学与光谱分析》1981年创刊,国内统一刊号:CN 11-2200/O4,国际标准刊号:ISSN 1000-0593, CODEN 码: GYGFED, 国内外公开发刊,大 16 开本,332 页,月刊;是中国科协主管,中国光学学会主办,钢铁研究总院、中国科学院物理研究所、北京大学、清华大学共同承办的学术性刊物。北京大学出版社出版,每期售价 95 元,全年 1140 元。刊登主要内容:激光光谱测量、红外、拉曼、紫外、可见光谱、发射光谱、吸收光谱、X 射线荧光光谱、激光显微光谱、光谱化学分析、国内外光谱化学分析领域内的最新研究成果、开创性研究论文、学科发展前沿和最新进展、综合评述、研究简报、问题讨论、书刊评述。

《光谱学与光谱分析》适用于冶金、地质、机械、环境保护、国防、天文、医药、农林、化学化工、商检等各个领域的科学研究单位、高等院校、制造厂家、从事光谱学与光谱分析的研究人员、高校有关专业的师生、管理干部。

《光谱学与光谱分析》为我国首批自然科学核心期刊,中国科协优秀科技期刊,中国科协择优支持基础性、高科技学术期刊,中国科技论文统计源刊,“中国科学引文数据库”,“中国物理文摘”,“中国学术期刊文摘”,同时被国内外的 CSCD, SCI, AA, CA, Ei, AJ, MEDLINE, Scopus 等文献机构收录。根据国家科技部信息研究所发布信息,中国科技期刊物理类影响因子及引文量《光谱学与光谱分析》都居前几位。欢迎国内外厂商在《光谱学与光谱分析》发布广告(广告经营许可证:京海工商广登字 20170260 号)。

《光谱学与光谱分析》的主编为高松院士。

欢迎新老客户到全国各地邮局订阅,若有漏订者可直接与《光谱学与光谱分析》期刊社联系。

联系地址:北京市海淀区学院南路 76 号(南院),

《光谱学与光谱分析》期刊社

邮政编码:100081

联系电话:010-62181070, 62182998

电子信箱: chngpxygpfx@vip.sina.com

修改稿专用邮箱: gp2008@vip.sina.com

网 址: <http://www.gpxygpfx.com>

