

## 高光谱成像技术在中医证候客观诊断中的应用

李家星<sup>1,2</sup>, 吴红杰<sup>1</sup>, 李刚<sup>1</sup>, 林凌<sup>1\*</sup>

1. 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津大学, 天津 300072

2. 天津科技大学海洋科学与工程学院, 天津 300457

**摘要** 因高光谱成像技术具有灵敏度高、蕴含图谱信息丰富等特点,使其有望被作为突破口来解决中医证候诊断缺乏客观指标的困境。鉴于舌与证候之间存在复杂且模糊的映射关系,针对当前舌信息采集方式的局限性以及现有处理模式存在将混合信息割裂提取以致重要内涵丢失的缺陷,提出了一种新思路:采用高光谱技术进行舌象采集并将舌体交叠混合的图谱信息作为一个整体进行分析,结合多种线性与非线性数据挖掘算法以黑箱模式关联证候,提取特异性光谱指标群。并将所提取的光谱指标群综合临床的生理、生化及中医症征指标,从多角度分析病因病机的机理,找到一种证候客观诊断的新模式。

**关键词** 高光谱; 中医; 证候; 数据挖掘

**中图分类号:** O433.4; TP391 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)11-3072-04

### 引言

长期以来中医证候诊断缺乏有效的客观量化指标,难于被规范化和标准化,严重束缚中医学的传承与发展。舌象是观察体内功能变化的一个重要窗口<sup>[1]</sup>,是中医辨证的主要依据。应用现代技术对舌诊进行客观化是突破中医证候缺乏客观指标困境的关键点。而现有舌诊客观化研究途径<sup>[2,3]</sup>多运用计算机和数码技术进行信息采集并利用相关算法进行舌色、纹理等的提取与分析。此途径对光源色温、显色指数等有严格要求且提取到的信息非常有限,难于揭示舌象的本质特征,致使临床使用和推广都很困难。

具有高灵敏度及蕴含丰富信息的光谱成像技术在生物医学领域具有广泛的应用前景<sup>[4]</sup>。随着空间分辨率和光谱分辨率的不断提高以及波段范围的拓展,使其能够为精确、无创诊断疾病及病变机理分析提供客观参考依据。已有报道指出将高光谱成像技术以不同的方式应用于病变组织微观结构分析和肿瘤、癌症及皮肤水肿等疾病的活体诊断,并取得了显著成果<sup>[4-7]</sup>。而将高谱图用于中医舌诊则是一个全新的开始,李庆利等人将高谱图应用于中医舌诊,提取舌纹和舌色、舌苔的光谱曲线辅助疾病诊断,改善信息获取方式,取得了一定成果<sup>[8-11]</sup>。其不足之处为:将图像与光谱割裂开的提取方式丢失了隐含在丰富图谱的有用模式(如两者结合的交叉

项),也未能充分体现中医系统辨证的原则。鉴于舌与证候之间存在模糊映射关系,本文提出采用高光谱进行舌象采集以获取丰富的图谱信息,针对数据特点结合多种数据挖掘算法采用黑箱模式与证候的关联,提取特异性光谱指标群,并综合临床的生理、生化指标及中医症征从多角度诠释证候,为客观诊断提供依据。

### 1 高光谱技术应用于舌象信息采集

高光谱技术现已广泛用于遥感领域,较好地地质、农业、植被等方面进行有效鉴别<sup>[12-14]</sup>。高光谱成像即是空间中每个像元由成百上千相邻且互相重叠的窄波段光谱构成,从而形成具有极高的光谱分辨率和空间分辨率的“图像立方体”<sup>[14,15]</sup>。将这种光谱和图像相结合的方式应用于舌象的信息采集,不仅可以呈现同一舌象在不同波段下的表征,也可反应舌上某一点反应不同波长光的强度信息,如图1所示。

与传统数码技术采集到RGB舌象的方法相比,高光谱成像应用于舌象信息采集具有如下优势。

(1)降低对光源参数和采集方法的依赖性。多数传统方法对光源的色温、显色指数等参数测量条件要求十分苛刻,易产生颜色失真。光学原理表明物体的光谱反射率属于其自身的物理特性,不随外界照明条件的改变而改变。因而由高

收稿日期:2010-02-16,修订日期:2010-05-22

基金项目:国家自然科学基金项目(30973964)资助

作者简介:李家星,女,1979年生,天津大学精密仪器与光电子工程学院在读博士 e-mail:lillyjiaxing@126.com

\*通讯联系人 e-mail:linling@tju.edu.cn

光谱仪采集到的连续的反射光谱数据，可通过对其进行光源定标、预处理及归一化等方式获取反射率，排除了背景噪声以及由操作过程引入的不稳定因素带来的干扰等，克服了对光源参数、采集条件等限制，能够获取到更精准的信息。

(2)高的光谱分辨率和空间分辨率能更全面地反映舌象信息。舌象的形成过程中，不仅包含着色、质、苔等的影响，还应更加具体的表现为舌微观结构、成分变化等引起的光学效果。传统 RGB 模式只能采集几个离散波段光强，反映舌部信息非常有限。而高光谱模式能充分利用全谱段近似连续的光谱数据和全方位的图像信息进行定性、定量及定位分析，

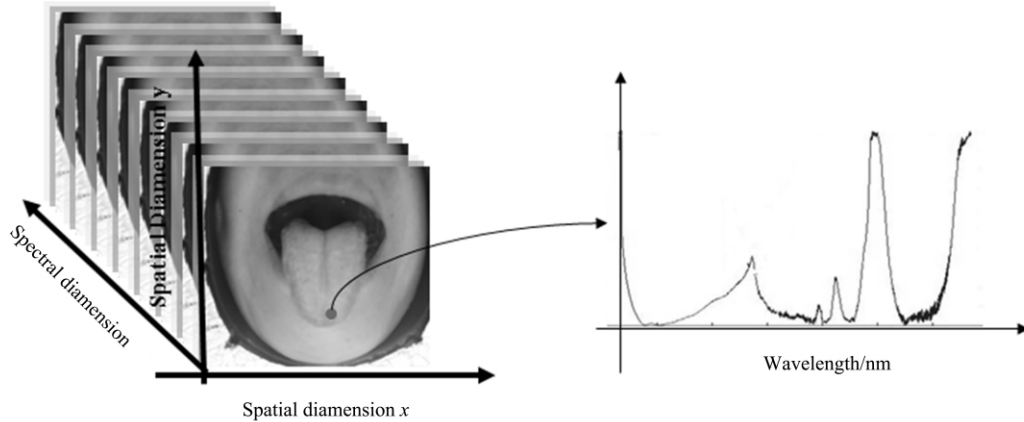


Fig 1 Hyperspectral image cube of the tongue

使得人眼无法感觉的，能够更加客观反映组织细胞生理病理变化的机理信息被充分暴露出来，从而突出了不同个体之间的非常细微的差别。避免了仅用色、纹、苔等依据人为经验定义的指标，为找到更全面评判证候的客观化指标提供依据。

(3)研究的光谱需从可见光范围延伸到近红外波段，生物组织红外波段的光谱特征主要体现在分子振动或分子转动，如此将更有可能揭示舌象变化的微观结构，对分析舌象变化与病证存在病理机理更有意义。

## 2 证候客观化度量的新模式

利用高光谱技术采集到海量的舌象信息，蕴含着除舌色、纹理以外等更多人眼无法识别的微变信息，这些微变信息极有可能属于某些能够更好的反映疾病和证候的特异性指标群。如何利用数据挖掘等方法寻找到特异性指标群是关键所在。

### 2.1 常规研究思路及主要问题

现有的提取舌部信息的方式多是机械地根据中医师经验对舌色、纹理等诊断指标进行提取，之后再依据这些指标，将病理、生理分析与病或证候进行关联，如图 2 所示。此研究模式虽然在技术层面(如提取精度)上取得一定的进步，但深受西医还原论影响，提取信息较为片面、局部，不能发现真实反映病证的有效且细微的根本病理机制。目前，几乎没有中医诊断仪器能够得到有关部门的批准和在临床上得到应用，即源于此。同时还在以下几个方面又有所体现：(1)由于研究力量(采集和处理方法上)有限，目前人类对自身及其病证的认识存在一定的模糊性，无法全面、综合的提取信息，如多数研究只分析舌色，少数分析了舌苔的特性，而在舌形、质地、纹理、动态及舌下络脉等方面的研究少之又少，如此导致很难发现与病证病理机制相关的特异性指标群，易陷入“局部极大化”。(2)由于舌质、舌苔、裂纹及紫斑等特征信息以交叠的方式覆盖于舌体，反应为成分、结构色及质地表象，而经验丰富的中医师融合整体信息决策辨证。现有的研究模式则将这些混合信息体割裂开提取，会导致重要内涵

的丢失。

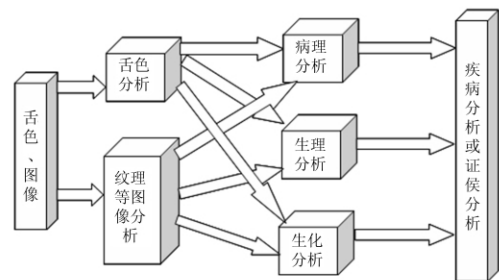


Fig 2 Conventional research methods of tongue diagnosis

### 2.2 改进的指标提取模式

中医遵循“系统、辩证”的理论基础，通过临床症状达到决策辩证、分析病机病因的目的。而作为承载病变信息的客体之一——舌，与病机病因之间存在复杂和模糊的映射关系，如图 3 所示。并且各种舌特征信息交叠混合为一个整体，若单纯的提取舌色、纹理和光谱等信息则不能真实准确的反应证候本质。

基于上述前提，将高光谱仪采集到的海量数据作为一个整体，采用黑箱式或盲源分析模式，结合多种数据挖掘和盲源分离的方法，直接提取多组表征证候特异性的光谱指标群(舌色、纹理等指标只是这些特异性指标群的子集)，先搁置对临床指征与病机病因之间的复杂映射分析，目标直指指标群与证候的映射关系。一旦确定指标群的正确性，再将指标群与中医临床症状及西医生理、生化等指标进行关联，分析病证与光谱特征之间的病理机理联系，从而找到一个客观度

量证候的不依赖医师主观判定的标准模型,为中医辨证提供客观依据,实现思路如图 4 所示。具体分析如下。

(1) 特异性光谱指标群的挖掘。以系统论的角度考虑该任务,其输入是反映舌的海量高光谱数据,输出是中医证候;根据中医几千年的临床经验,输入与输出应该存在必然联系(物理机制),而两者之间关系存在一定模糊性,虽有些经验指标(色、纹等),但受环境和主观的影响较大。而提取的特异性光谱指标集是整体输入的子集,中医师感官所得诊断指标应是该集合的子集。其各元素应是以复杂的网络关系及不同的贡献度关联着输出,如图 3 所示。

实施步骤如下:首先,分析待处理数据的特点和任务的性质。采集到的高光谱数据本身存在的重叠信息,有很强的

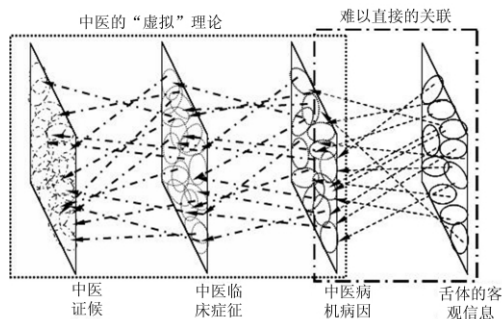


Fig 3 Complex and ambiguous mapping between tongue and syndrome

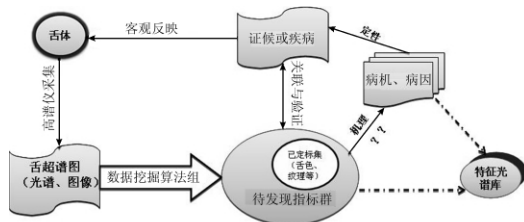


Fig 4 Improved research methods to explore the objective indicator groups

相关性和多重共线性<sup>[16]</sup>;作为舌体的客观表征,会因个体差异产生随机变化,且因人体是一个复杂的巨系统,舌象受不同病机、病因及环境等因素影响,使得数据存在非平稳的随机性;测量中杂散光的影响以及证候本身高维高阶性<sup>[17]</sup>都导致光谱数据与证候之间存在非线性;同时数据的处理是建立在缺乏一定先验知识的前提下去揭示客观规律。故而,需要对数据进行关联、分类和聚类分析。其次,采用合理的数据处理方法。对具有海量的、不完全的、模糊的、有噪声的、随机的、非线性特征的光谱数据,需要借助信息论、数理统计及数据挖掘等技术,综合多种线性和非线性的方法(如偏最小二乘法、粗集理论,神经网络,支持向量机等)进行有效降维和半监督学习,分析各光谱数据间及其对证候的相关性和权重,以信息论和统计学的理论构造目标函数确定算法阈值,提取特异性光谱指标集,而后通过双盲验证,建立预测模型修正阈值,优化特异性光谱指标集,从而完善判定标准,并将此应用于临床验证,增强模型的鲁棒性。

(2) 分析病证与光谱特征之间的病理机理联系。度量中医证候不能仅局限于舌部信息,这有背中医理念,需综合全面的思考问题。因此需将提取的特异性光谱指标群与临床生理、生化等信息相关联。以中医理论为指导综合中医临床症征,建立证候诊断的客观参照系;从多角度分析病因病机的机理,建立特征光谱库,使其成为一种标准化检测分析手段,增强证候诊断的可操作性。

### 3 结论

采用高光谱数据结合多种数据挖掘算法提取舌部特异性指标群并将其作为客观判定依据应用于中医症候诊断及作为未来客观化标准的重要依据,是中医诊断客观化研究之路上的重要创新,其一改以往只偏重局部认知的方式,立足中医“系统、辨证”的原理,充分结合现代科学技术,探索了一种切实可行的中医诊断客观化新模式。

### 参 考 文 献

- [1] ZHU Qing-wen, NIU Xin, YANG Xue-zhi, et al(朱庆文, 牛欣, 杨学智, 等). Journal of Beijing University of Traditional Chinese Medicine(北京中医药大学学报), 2007, 30(6): 384.
- [2] Jiang Lijun, Xu Wang, Chen Jianfeng. 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Proceedings, 2008, S1-3: 1833.
- [3] Gao Zhong, Po Laiman, Jiang Wu, et al. Third International IEEE Conference on Signal-Image Technologies and Internet-Based System, 2007, 12: 849.
- [4] Vo-Dinh T, Stokes D L, Wabuyele, M B, et al. IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, 2004, 23(5): 40.
- [5] Erives H, Targhetta N B. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2009, 58(3): 631.
- [6] Martin M E, Wabuyele M B, Chen K, et al. Annals of Biomedical Engineering, 2006, 34(6): 1061.
- [7] Stamatias G N, Southall M, Kollias N. Journal of Investigative Dermatolgy, 2006, 126(8): 1753.
- [8] LI Qing-li, XUE Yong-qi, WANG Jian-yu, et al(李庆利, 薛永祺, 王建宇, 等). Journal of Infrared and Millimeter Waves(红外与毫米波学报), 2006, 25(6): 465.
- [9] LI Qing-li, XUE Yong-qi, LIU Zhi, et al(李庆利, 薛永祺, 刘治, 等). Opto-Electronic Engineering(光电工程), 2007, 34(4): 60.
- [10] Li Qingli, Liu Zhi. Computerized Medical Imaging and Graphics, 2009, 33(3): 217.
- [11] LI Qing-li, XUE Yong-qi, WANG Jian-yu, et al(李庆利, 薛永祺, 王建宇, 等). Journal of Biomedical Engineering(生物医学工程学报), 2008, 25(2): 368.

- [12] Goetz A F H, Rowan L C. *Science*, 1981, 221: 781.
- [13] Ellis R J, Scott P W. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 93(1-2): 118.
- [14] Lucas Kelly L, Carter Gregory A. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(10): 3908.
- [15] Goetz Alexander F H. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113: S5.
- [16] Nguyen H T, Lee B W. *European Journal of Agronomy*, 2006, 24(4): 349.
- [17] LI Shao(李 梢). *Journal of Beijing University of Traditional Chinese Medicine(北京中医药大学学报)*, 2003, 26 (3): 1.

## Application of Hyperspectral Imaging Technology to Objective Diagnosis of TCM Syndrome

LI Jia-xing<sup>1,2</sup>, WU Hong-jie<sup>1</sup>, LI Gang<sup>1</sup>, LIN Ling<sup>1\*</sup>

1. State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments, Tianjin University, Tianjin 300072, China

2. College of Marine Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China

**Abstract** Hyperspectral imaging technology is expected as a breakthrough to resolve the lack of objective indicators on the diagnosis of TCM syndrome because of its high sensitivity and including abundant information of the images and spectra. In view of fuzzy and complicated mappings between tongue and syndrome, aiming at the defects of the acquisition methods of tongue information and its processing mode which extracts the features by fragmenting the integrative information, a new idea is proposed that the specific spectral indices pool be extracted after acquiring the hyperspectral data cube of tongue by hyperspectral imaging technology and associating it as a whole because of the overlapping mixing of these characteristic information with syndrome in black-box mode by means of intergration of various linear and nonlinear data mining algorithms. The mechanisms of etiological factor and pathogenesis are analyzed from all angles by synthesis of specific spectral indices pool, clinical physiological and biochemical indicators and TCM indicators. Then a new mode of objective diagnosis for syndromes can be found.

**Keywords** Hyperspectral; TCM; Syndrome; Data mining

(Received Feb. 16, 2010; accepted May 22, 2010)

\* Corresponding author