

化妆品可视化功效评价技术的研究进展

蒋雁冰¹, 孙嘉玮², 谢文广¹, 刘琦², 杨洁¹, 元丰伟¹

(1. 山东花物堂生物科技有限公司, 山东济南, 250000)

2. 北京颐唯实检测技术有限公司, 北京, 100142)

DOI:10.61369/CDCST.2025030022

摘 要: 随着消费市场日趋成熟, 消费者对化妆品功效宣称的科学性与透明度提出更高要求。传统感官评价主观性强, 而可视化功效评价技术凭借客观、直观、数据量化优势, 在化妆品研发验证、消费者沟通、监管等方面发挥独特作用, 成为行业技术研究核心。传统感官评价易受主观影响, 而可视化功效评价技术凭借其客观性、直观性和数据量化优势, 在研发验证、消费者沟通及监管中展现独特优势, 成为化妆品行业技术研究的核心领域。文章系统梳理了二维成像、三维建模、双光子显微技术、拉曼光谱等前沿可视化评价技术, 深入剖析其技术原理、应用场景与实施要点, 为化妆品企业和科研机构提供科学、全面的功效评价方法选择与使用参考。

关键词: 化妆品; 可视化功效评价; 二维成像技术; 拉曼光谱

作者简介: 蒋雁冰, 研究生, 山东花物堂生物科技有限公司研究员。E-mail: 1040872844@qq.com。



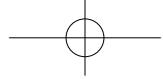
蒋雁冰

人类对“美”的追求不变, 随着时代与社会经济发展, 人们对美渴望更强, 这种对于美的追求促使国产护肤品产业发展迅速。与此同时, 随着信息技术的迅猛发展, 消费者获取产品详细信息的渠道也更加丰富, 他们对化妆品效果的期望值也随之提升, 在购买产品时除了会关注安全性, 还越来越重视功效的感知。《2024年中国化妆品市场功效宣称调研报告》显示^[1], 越来越多消费者认可“功效护肤”理念, 72%消费者认为化妆品功效非常重要, 65%消费者在选择化妆品时重视功效数据验证。这表明了随着“成分”科学护肤需求渐长, 消费者对化妆品功效要求更高且更理性, 他们期望产品能够满足其特定的皮肤需求, 包括延缓衰老、保湿、美白等, 他们通过这些具有科学证明的功效数据, 也更加愿意相信拥有科学数据支持的品牌。

化妆品功效评价通过多种方法对功效宣称进行测试, 分析和解释, 是给予功效宣称有力科学支持的一种手段^[2]。作为贯穿产品研发构思、配方优化直至上市全流程的核心环节, 其对保障产品质量与市场竞争力至关重要。2020年6月, 国务院发布《化妆品监督管理条例》(新条例), 自2021年1月1日起施行, 明确要求化妆品功效宣称需具备充分科学依据, 并鼓励企业加强研究与创新^[3]。目前, 依据《化妆品功效宣称评价规范》, 化妆品功效评价体系由人体功效评价试验、消费者使用测试、实验室试验和文献资料或研究数据构成。人体功效评价试验在实验室对化妆品功效宣称进行客观评价, 需在安全测试通过后开展。试验多选取面部、手臂内侧为测试区, 筛选志愿者,

将样品作用于皮肤后分析相关指标。消费者使用测试是在客观、科学的前提下, 对产品使用情形和功效宣称评价信息进行有效收集、整理、分析的过程。实验室试验是指实验室等具备特殊性的环境下, 按照所规定的方法与程序来开展的试验, 其主要涉及动物试验、体外试验等方面。然而, 传统评价方法逐渐暴露出局限性: 人体功效评价涉及伦理, 且存在个体差异; 消费者主观评分易受专家个体经验影响, 导致结果差异显著; 动物实验因伦理争议被多国立法禁止, 且实验结果与人体反应存在偏差; 体外模型虽成本较低, 但难以模拟皮肤复杂生理机制, 导致部分实验结果难以在人体试验中重现。

因此, 在法规监管趋严、消费者对功效可视化需求攀升, 以及传统评价方法存在局限性的多重驱动下, 以可视化技术为核心的新一代化妆品功效评价体系应运而生。该体系借助高精度成像与量化分析技术, 不仅能够满足消费者对直观功效展示的期待, 更有效弥合实验室数据与真实应用场景之间的差距, 为化妆品功效宣称提供更具说服力的科学依据。可视化功效评价是利用皮肤影像结合计算机图像学、图像处理、计算机视觉等技术, 将化妆品的使用效果以图片、视频等可被视觉感知的形式展示出来的一种评估手段。这种视觉化展示方式能更生动地突出产品价值, 给消费者带来强烈冲击, 更好地呈现化妆品功效。其核心特征在于将微观分子作用转化为可视化、可量化的皮肤表型变化, 兼具科学性与消费者可读性。化妆品可视化功效评价技术历经近四十年行业发展, 已逐步从支撑产品功效的辅助手段转化为如今打造产品核心竞争力的主要



“武器”。21世纪初，以 VISIA 系列为代表的二维成像技术开启了科学验证的先河，并长期作为产品功效可视化的主要手段；2000–2010年，三维成像技术的突破，助力种族肤质研究与延缓衰老产品评估；2010年后，双光子荧光显微镜和高光谱成像技术用于抗老、美白机理研究；2020年以来，AI算法等掀起革命。在此期间，法规与消费需求共同驱动其发展。中国相关政策强化了可视化数据的合规地位，消费者对“科学背书”的需求促使品牌将可视化检测报告用于营销。如今，该技术贯穿产品研发全周期，解决传统评价的主观偏差问题，为功效宣称提供科学依据，推动产品研发从经验走向数据驱动。同时，可视化技术提升了消费者信任度，法规也推动行业走向科学验证。

本文针对目前行业内应用较为广泛的几种可视化技术，以各自独特的方式来揭示化妆品在皮肤上发挥的实际作用效果。

1. 常见的可视化评价方法

1.1 二维成像技术

二维成像技术是化妆品功效评价的基础手段，通过光学原理捕捉皮肤外观特征，通过成像技术采集使用化妆品前后的皮肤图像，直观展示皮肤在颜色、皱纹、毛孔等方面的变化情况，从而量化评估化妆品的功效，具有操作简便、直观可视的特点。这种方法避免了传统评价方法中主观性和不统一的问题，提供了更客观和科学的评价标准。

目前主流二维成像技术主要包含 VISIA 系列仪器、皮肤表面纹理分析系统 VisioScan VC20 plus、皮肤镜等。多用于肉眼可见、可观察的皮肤改善效果示例。该技术适用于品牌方快速验证“肉眼可见”效果（如抗皱、美白）。然而，其局限性（如无法解析真皮层变化）推动了三维成像、多光谱融合等新技术的迭代。

1.1.1 VISIA 皮肤检测仪

VISIA 皮肤分析技术最早是由宝洁公司开发，2001年其专利被授予美国 Canfield 公司，后者完善软件功能并结合数码照相技术推出 VISIA 皮肤检测仪^[4]。VISIA 配备 1200 万像素的专业相机，采用三种标准光源——标准光、UV 光、偏振光，能够对人体面部进行多维度的全面拍摄。在拍摄过程中，皮肤表面产生的镜面反射容易形成局部高光区域，干扰照片数据的准确性。而偏振光摄影技术借助偏光镜对进入相机的光线进行有效调控，成功消除了这一

干扰因素。此外，VISIA 内置的标准色块能够精准校准细微色差，其运用的虚影重叠技术，可确保同一受试者在不同时间节点拍摄时，面部位置保持高度一致，从而极大地保障了采集照片的重复性和可靠性^[5,6]。VISIA 最初广泛用于临床治疗，如今也逐渐成为化妆品功效评价中常用的图像分析仪器之一，在祛斑美白、延缓衰老、祛痘等功效评价中有着很好的应用。

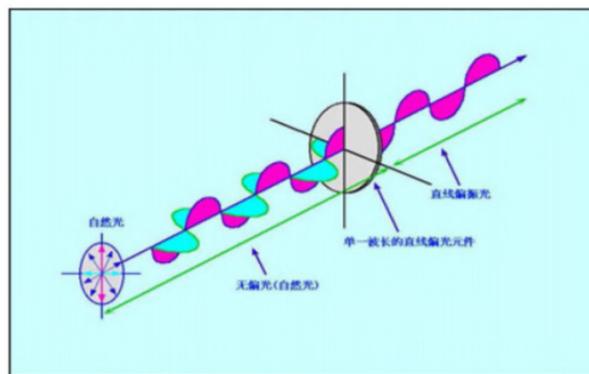
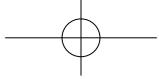


图1 偏振光调节原理图^[7]

色斑、紫外斑、黄褐斑及红色区域是影响肤色的关键因素，VISIA 对美白产品的评估主要围绕这四个维度展开。借助分析软件，评估结果以绝对数值、百分比数据、斑点数量统计及面部影像等形式直观呈现。通过对受试者使用化妆品前后的面部斑点进行定量分析，辅以图像对比，并综合考量黑红色素的变化情况，从多个角度对美白产品的功效进行可视化与量化评估，为产品的美白效果提供全面、直观且精准的评价依据^[8]。邓慧等人利用 VISIA-CR 面部成像仪，对 30 位志愿者进行美白化妆品使用效果的测试，经计算分析，得到使用样品前后的 ITA° 值、彩度 c*、校正后 L* 值，可以非常直观有效的评价化妆品的美白效果^[9]。赵小敏等人用 VISIA-CR 和 Photomax Pro 采集 39 名受试者全脸及脸部斑点照片，通过 Image-Pro Analyzer 7.0 软件分析使用含 2% 卤虫提取物面霜前后非斑区域 L* 值、斑点 L* 值和肤色均匀性等参数。结果表明，实验组美白淡斑效果显著优于对照组，证明图像分析可验证化妆品美白淡斑功效^[10]。在保湿抗衰方面，VISIA 可通过分析皱纹和纹理，对化妆品的保湿及抗衰老功效进行评估。皱纹与纹理的具体情况，能反映出皮肤的光滑度和饱满感。在健康的皮肤中，角质层的“峰”“谷”差异并不明显，这表明角质层的锁水保湿能力较强^[11]。周紫燕等人用 VISIA-CR 和 VISIA 对 30 名 25~45 岁女性进行测试，在使用含发酵组合物护肤品前及使用 14 天、28 天后采集面



部图像，分析皱纹和纹理。结果显示，该护肤品能显著减少皱纹总面积，细化毛孔、紧致肌肤，在抗衰方面效果明显，且安全性良好^[12]。

1.1.2 皮肤镜

皮肤镜借助特殊介质降低反射光、提升皮肤透光性，实现光学放大效果，能让使用者在体外观测到肉眼难以察觉的皮肤表面下多种组织结构的轮廓与色彩。在临床医学领域，它应用广泛，比如用于皮肤病诊断和评估面部激光手术效果等。皮肤镜能采集皮肤照片，经专业图像软件处理，分析皮肤颜色变化，以此评估化妆品的美白功效。其优点在于可分析局部颜色均匀化程度，有效减小实验误差^[13]。尚华等人利用皮肤镜对60例肝郁脾虚型黄褐斑患者治疗效果评估。治疗组用祛斑颗粒、对照组用维生素C和E，均外用美白散。结果显示治疗组总有效率76.67%，高于对照组的40.00%，且两组治疗后皮损及相关指标均改善，治疗组更显著^[14]。皮肤镜也被用来进行毛发特征的观察与定量分析的研究，在临床具有重要意义。孟如松等人用皮肤镜对58例雄激素性脱发患者进行测试，在0周、4周、8周和12周采集头部靶目标区微观图像，测量终毛根数和终毛数密度等。结果显示，实验组有效率84.37%，对照组86.36%，两组各周参数与0周相比变化显著，产品均有较好疗效，且无不良反应^[15]。

1.1.3 表面纹理分析系统

皮肤表面纹理测试系统，如 VisioScan VC20 plus，是一种用于评估皮肤表面纹理的仪器，广泛应用于皮肤科、化妆品和药品的研发中。该系统通过一个特殊的探头内具有紫外光源的皮肤图像 CCD 测试系统在皮肤表面进行测试，从而得到皮肤的活性状态图像。袁道欢等人用皮肤表面纹理分析系统 VisioScan VC20 plus，对26名志愿者经胶带撕拉产生轻微皮损的前臂内侧皮肤进行测试，在涂抹含不同甘油含量的样品前和2h后采集数据。结果显示，样品A和B均能改善皮肤平滑度，且添加5%甘油的样品B效果更优^[16]。毛亦予使用皮肤表面纹理分析系统 VisioScan VC20 plus，在人体试验 II 中对30名面部有明显皱纹、皮肤粗糙松垮的受试者，于使用家用多效微电流美容仪前及使用1周、2周后采集面部图像。结果显示，使用美容仪后，受试者皮肤纹理 R5 值显著下降，面部平整度得到改善^[17]。对于皮肤纹理参数和消费者对保湿效果满意度关系的研究发现，使用产品后皮肤纹理参数降低即产品能够淡化皮肤纹理，消费者对产品保湿效果满意度则越高，感觉

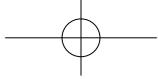
产品越保湿。李文昭等人对此用 VisioScan VC 20 plus 测量皮肤纹理参数，析探讨市场上保湿护肤品的保湿性和皮肤纹理的相关性^[18]。

1.2 三维成像技术

三维成像技术基于光学与计算机算法实现对皮肤的精确分析，其原理是通过多角度光源照射皮肤，利用高分辨率相机采集图像，再借助特征匹配与三角测量等算法，计算皮肤表面各点三维坐标，最终构建出立体模型。目前，该技术已延伸出可视化 3D 面部色彩成像系统、三维身体成像模拟、三维皮肤成像技术等细分方向，广泛应用于各类化妆品功效评价场景。在抗皱产品评价中，它能精准测量皱纹深度、长度和密度变化，直观呈现产品对皱纹的改善效果；针对保湿类化妆品，可通过分析皮肤表面粗糙度、纹理变化，量化水分保持能力；而在美白产品功效评估时，三维成像可对使用前后皮肤色斑、色素沉着的三维形态差异，为美白效果提供客观数据支撑。该技术优势显著，以非侵入方式获取数据，既不损伤皮肤，又能保障受试者安全；其测量结果精准客观，有效减少人为误差，还可实现多次重复测量，动态追踪皮肤变化。品牌半亩花田与北京工商大学联合进行中国年轻女性身体色沉特征研究时运用到三维身体成像模拟技术，通过光学、激光或深度传感器捕捉身体表面形态，结合算法生成高精度三维模型，能够量化分析体型、皮肤状态（如色沉、橘皮组织）等指标，最终得出中国年轻女性身体色沉图谱^[19]。三维皮肤成像技术通过多角度的光学捕捉，生成皮肤表面的三维模型。该技术能够详细记录和分析皮肤表面的细微变化，如皱纹、纹理、色斑、毛孔大小和眼袋体积等。Derma TOP Visio - 3D 皮肤成像系统采用条纹光投影技术，通过头部、耳部传感器一次定位和面部激光二次定位，由照相机摄取图像，经三维成像系统和计算机处理，获取皮肤纹理皱纹参数、毛孔个数等数据。该系统快速、稳定、精确、可靠。Jegasothy 等人用 Derma TOP 皮肤快速光学成像系统，对33名平均45.2岁女性使用新型纳米透明质酸样品的效果研究8周。分析三维皮肤图像发现，使用样品后皱纹深度降低率达40%，皮肤粗糙度显著下降，表明该纳米透明质酸是有效抗皱原料^[20]。

1.3 双光子荧光显微镜成像技术

双光子激发荧光和二次谐波原理的双光子荧光显微镜 (Two-photon fluorescence microscopy, TPM) 是近年来生物成像领域最重要的发明之一。20世纪90年代以来，双光



子显微成像技术成为应用最为广泛的活体动物成像技术手段，在生物科学和医学领域均有广泛应用。人表皮细胞内外的成分会呈现特定的内源性双光子激发荧光和二次谐波生成信号，从而能够对表皮和真皮层的3D结构进行非侵入式可视化^[21]。这项技术具有许多独特的优点，如激光穿透深度增强、光漂白毒性小和组织光损伤减少等。由于其优异的穿透能力和光学切片能力，TPM是目前在完整组织或活体动物体内以亚细胞分辨率对细胞和器官结构和功能活性进行实时、无创、在体监测强有力的工具，已被广泛应用于生物学和医学等各种领域^[22]。因为其拥有亚细胞级分辨率与出色的成像深度，特别适用于皮肤等较厚组织的观察。皮肤中角蛋白、NADH、黑色素、弹性纤维等众多结构成分，均含有内源性荧光团，无需染色，借助双光子激发就能呈现清晰影像；胶原蛋白还可激发产生二次谐波（Second Harmonic Generation, SHG）信号，借此可分辨真皮内弹性纤维与胶原纤维的空间排布。融合荧光寿命测量与成像（Fluorescence Lifetime Imaging Microscopy, FLIM），以像素级颜色编码呈现荧光寿命图像，揭示荧光分子空间分布。将双光子显微镜与FLIM等技术联用，能在荧光强度的基础上，获取更丰富的生物信息。

目前该项技术也在化妆品功效评价领域有了较为成熟的应用，主要集中在皮肤老化、色素沉着、炎症反应等方面的研究。在皮肤老化进程中，真皮层会发生结构性改变。在双光子显微镜下，弹性纤维能产生自发荧光（Autofluorescence, AF），胶原纤维可激发产生SHG信号，将二者叠加能够直观展现这两种结构纤维随年龄的演变。基于此，Lin等学者提出真皮二次谐波产生至自发荧光老化指数（Second Harmonic Generation to Autofluorescence Aging Index of Dermis, SAAID）（ $SAAID = (SHG - AF) / (SHG + AF)$ ），通过计算真皮SHG信号与AF信号强度变化比例，以此反映皮肤衰老进程。研究表明，随着年龄增长，自发荧光信号逐渐增强，SHG信号则持续减弱，SAAID与年龄呈负相关，且女性SAAID下降更为迅速^[23]。基于相同的原理，该技术还能用于皮肤内部黑色素含量和分布的可视化分析，从而精确评估美白祛斑产品使用后的实际功效。苏宁等研究者依据820 nm激发光下图像呈现的荧光强度对黑色素进行定量分析，结果显示基底层的黑色素荧光信号强度显著高于颗粒层^[24]。Qiu等人应用该技术对黑色素进行三维定量分析，结果发现局部应用白芍根提取物和芍药苷后表皮层黑色素含量均显著降低，且抑制作用与酪

氨酸酶抑制剂4-丁基间苯二酚效果相近^[25]。虽然双光子显微镜在较厚组织成像领域具备一定优势，但由于光散射效应的制约以及激光功率的限制，其在扫描深度和空间分辨率方面依然存在局限性。为了解决这些问题，学者从硬件改良，联合聚焦调制、图像扫描等新型成像技术，以提升图像质量和组织穿透深度。

1.4 拉曼光谱技术

拉曼效应即拉曼散射，指光波在散射后出现频率改变的物理现象，该效应于1928年由印度物理学家Raman首先报道^[26]。拉曼光谱技术（Raman Spectroscopy）利用光和物质相互作用产生的散射光谱，能够提供关于分子振动和化学键的信息（如图2）。这使得该技术在检测皮肤表面和内部的化学成分变化方面非常有效^[27]。

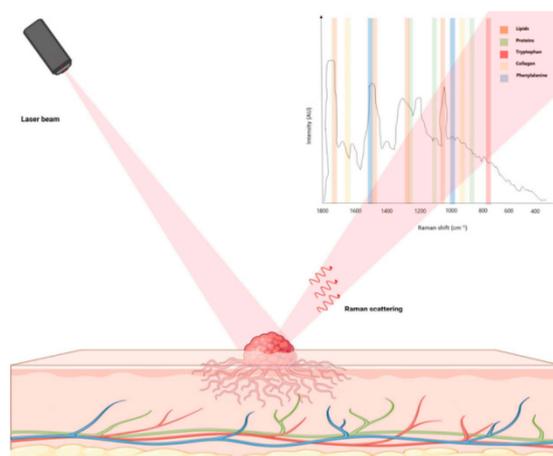


图2 拉曼光谱原理示意图^[27]

化妆品的经皮渗透是指化妆品中的功能性成分作用于皮肤表面或者进入表皮或真皮，并在该部位积聚和发挥作用的过程^[28]。人体皮肤角质层在多数区域厚度仅10~30μm，这层结构严重制约着活性成分穿透角质层抵达给药部位。当前，传统的制剂透皮测试方法无法直观呈现或实时追踪药物及活性成分在皮肤内的渗透过程。而拉曼光谱技术作为一种原位无损分析手段，能够实时捕捉药物在皮肤内的分布信息，为活性成分经皮渗透研究提供可视化分析解决方案，因此其在化妆品功效评价领域具有重要的可视化作用。图3为785nm激发波长下检测得出的皮肤中磷脂酰胆碱拉曼光谱图^[29]。拉曼光谱结合共聚焦技术，还可实现原位在体分析。目前，已经有很多研究证实了拉曼技术在透皮吸收领域的运用。刘娟等人使用拉曼技术探究了面霜使用时长对美白成分β-熊果苷皮肤渗透性的影响。研究发现，在0~50μm测试深度范围内，受试者使用面霜15分钟和1小时后，β-熊果苷在角质层的渗透量

随时间递增,证实该成分具备在表皮层发挥美白功效的条件^[30]。Zhang 等人对甘油在皮肤内的渗透过程展开研究。实验采用氘化甘油(glycerol-d5),利用其特有的光谱特征峰,有效区分外源甘油与皮肤内源化合物。研究结果表明,甘油在渗透3小时后,深度约达10 μm ,这一数据与甘油发挥保湿作用所需的渗透深度相契合^[31]。Mohammed Essendoubi 等人采用离体人类皮肤样本,运用激光共聚焦拉曼光谱技术,并结合多元曲线分辨-偏最小二乘法(MCR-ALS)算法,对视黄醇在皮肤内的渗透过程进行监测^[32]。目前激光共聚焦拉曼光谱法是一种新颖的手段用于研究化妆品中成分的经皮渗透情况。张宇等人基于该技术,采用皮肤成分分析仪结合多元线性回归分析方法,建立了皮肤中防晒剂深度分布及经皮渗透量的实时、在体测试方法^[33]。此外,拉曼光谱作为一种新型的无创光学检测手段,具有原位、无创、实时、高时间和空间分辨率等优势,不仅可以解决护肤品活性成分的渗透评价、促渗体系的评价,还能在活性成分筛选、配方优化及产品开发等环节提供了技术支撑。在基于拉曼光谱技术的分析结果上,可以快速比较不同活性物促渗效果,从而筛选出活性物最有渗透体系,从而对化妆品配方进行快速优化。

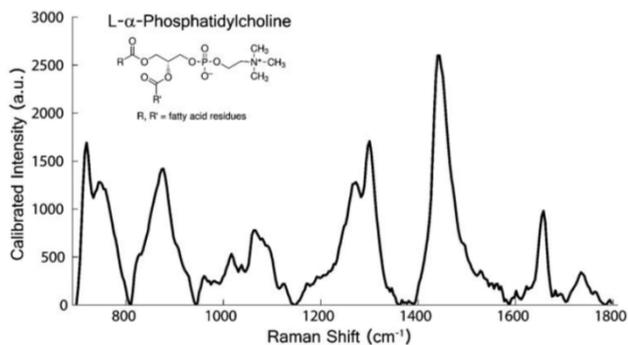


图3 皮肤磷脂酰胆碱拉曼光谱图^[29]

1.5 高光谱成像技术

高光谱成像(Hyperspectral Imaging, HSI)技术由20世纪70年代的多光谱遥感成像技术发展而来^[34],是指利用光谱仪对成像对象在紫外(UV)、可见光(VIS)、红外、甚至中红外波段的光谱范围内的谱线(数十或数百条)进行连续扫描成像,收集每个像素处的光谱信息,生成空间和光谱信息的三维数据集。高光谱图像也可以被认为是一个立方体,其中x和y坐标代表图像的二维空间维度(像素),z坐标代表窄波段(图4)。利用HSI对组织进行检测时,光能够穿透生物组织一定的厚度(图5)^[35]。HSI已广泛应用于考古与艺术保护、植被和水资源调控、食品质量安全控制、犯罪现场检测、法医鉴定等。近年来,随着

高光谱相机的发展,图像分析方法和计算能力的提高,且其能提供客观和稳定的皮肤评估,使其在化妆品领域得以应用^[36]。

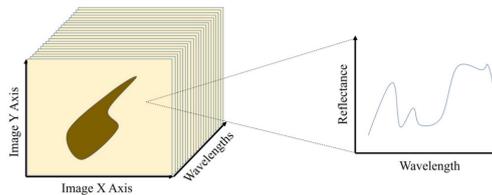
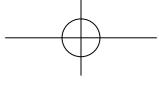


图4 二维图像上的高光谱成像



图5 高光谱皮肤成分检测示例图

由于生物组织结构的不均一性,光在各个方向发生散射,而血红蛋白、色素和水会吸收不同波长的光,因此,不同组织或器官的反射光谱取决于自身的生物化学和组织学特性,基于此可以实现皮肤成分的定量检测。可以通过基于发色团的光吸收来描绘和区分皮肤特征。血红蛋白和黑色素是皮肤中的主要光吸收剂,且含氧和脱氧血红蛋白在可见光波长窗口上表现出不同的吸收曲线,因此血液中的氧和血红蛋白含量通常用作皮肤组织美容和临床评估的生物标志物。何等人通过使用快照高光谱成像证明皮肤特征可以用发色团引起的光吸收来描述,用于皮肤形态特征分析和皮肤活动实时监测。他们认为高光谱成像有望成为一种强大的皮肤评估工具,具有定性可视化和潜在皮肤特征定量分析的能力,可用于化妆品和临床皮肤病学的应用^[37]。Saurabh Vyas 等人同样根据高光谱特征估计生理皮肤参数^[38]。高光谱成像技术也被应用于评估皮肤衰老。Mihaela Antonina Calin 等人使用了高光谱成像技术分析皮肤纹理特征对波长以及人类参与者不同参数(年龄和性别)的依赖性,以更准确地定量评估衰老过程^[39]。A Nkengne 等人使用了一种新的偏振高光谱成像系统,用于可重复和可再现的体内皮肤黑色素、总血红蛋白和血氧饱和度,同时检测到由于应用抗黑眼圈化妆品而导致的眼部黑色素减少^[40]。Héloïse Vergnaud 等人使用高光谱成像系统使用全脸高光谱成像系统测量了410名19~68岁健康女性的下唇自然色。根据嘴唇色度参数,采用分层升序分类



法确定分组, 并采用两种策略确定最佳统计分析方法, 以保持嘴唇颜色的多样性^[41]。此外, 也有学者使用多光谱成像对长效粉底进行定量美容评价, 在10名健康志愿者的皮肤上涂抹了口碑良好的长效粉底。从涂抹粉底后到6小时内, 每隔2小时用对他们的皮肤进行一次测量。粉底的涂抹状态通过反射率的标准偏差进行量化^[42]。

2. 场景化和真实世界测试

在化妆品行业蓬勃发展且竞争愈发激烈的当下, 新《条例》为其明确了发展方向。随着行业不断前行, 化妆品功效评价技术也在持续革新, 高灵敏度、高稳定性的信息收集技术, 先进的图像处理技术, 精准的数据统计方法, 以及新材料、大数据和人工智能技术的可视化应用, 构成了未来化妆品功效评价技术的发展趋势, 其中可视化功效评价成为核心走向。

场景化测试和真实世界场景测试, 作为可视化功效评价的创新模式, 正引领着行业变革。场景化测试突破传统实验室测试的局限, 模拟高温高湿、低温低湿、冷热交替、日晒等多种现实环境, 关注产品在日常生活中的实际表现, 评估其耐受性和持续时间。某个品牌的一款身体乳, 通过模拟日晒场景并结合真人实测, 直观展现了产品对晒后皮肤炎症和色素沉着的改善效果, 让消费者能清晰看到产品功效。真实世界研究则在消费者实际使用场景下开展测试, 将产品效果与消费者反馈紧密相连。针对不同类型产品, 选择特定人群和场景进行测试, 像防晒霜测试选取户外通勤、军训、骑行、海滩度假等人群参与相关户外活动, 保湿产品在秋冬季节组织户外出游、滑冰、滑雪等活动进行测试。某品牌护盾防晒霜就借助军训实测, 利用军训时高温、长时间日晒的严苛条件, 精准反映产品真实防护效果, 为产品品质和性能评估提供有力支撑, 让消费者切实感受到产品的功效。可视化功效评价借助先进技术, 将化妆品使用前后肌肤的质地、色泽变化以及特定问题改善状况清晰呈现, 帮助消费者深入理解产品价值, 增强购买信心, 有助于消费者选择更适合自己的产品。从行业角度看, 它也激励化妆品企业加大技术创新投入, 推动整个行业朝着健康、有序、高质量方向发展, 为市场提供更多优质产品。

虽然目前可视化功效评价面临设备成本高、个体皮肤差异导致难以统一评价标准等问题, 但随着科技发展, 未来有望构建完善的标准体系, 涵盖技术参数、评价指标等方面, 解决数据不互通、设备质量参差不齐的状况, 推动

化妆品可视化功效评价稳健发展, 更好地满足消费者需求和期望, 在化妆品市场发挥更大价值。

参考文献

- [1] 市场监管总局发展研究中心. 2024年中国化妆品市场功效宣称调研报告 [EB/OL]. (2024-05)[2025-05] https://health.cn.cn/jkiryw/20240514/t20240514_526704429.shtml.
- [2] Ma Xue, Song Yanqing, Pan Yao, et al. Efficacy evaluation of cosmetics (XII): application of cutaneous biological test in efficacy evaluation of cosmetics [J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2020, 50 (1): 14-19.
- [3] 薛婉婷, 李丽, 董银卯, 等. 美白功效评价现状及发展趋势 [J]. 日用化学工业, 2021, 51(09): 890-896.
- [4] 尹月焯, 周兆清, 王楠, 等. Visia皮肤分析仪在化妆品功效评价中的应用 [C]// 中国香料香精化妆品工业协会. 第十一届中国化妆品学术研讨会论文集. 北京工商大学, 2016: 2-6.
- [5] Yang Cuixia, Li Qin, Hou Wenjie. Objective evaluation of combination treatment using bipolar radiofrequency based intense pulsed light, infrared light and diode laser in Chinese photoaged skin [J]. Chinese Journal of Aesthetic Medicine, 2014, 23(18): 1541-1545.
- [6] Yin Yuexuan, Zhou Zhaoqing, Wang Nan, et al. Skin color evaluation method and its application in cosmetic efficacy evaluation [J]. Beijing Daily Chemical, 2016(3): 11-14.
- [7] 尹月焯, 周兆清, 王楠, 等. 皮肤颜色评价方法及其在化妆品人体功效评价中的应用 [J]. 北京日化, 2016(3): 11-14.
- [8] 温竹, 黄正梅, 高艳玲. VISIA全脸分析与黑红色素测定相结合评价化妆品的美白功效 [J]. 日用化学工业, 2009, 32(04): 23-26.
- [9] 邓慧, 丛琳, 刘翠翠, 等. 美白类化妆品的功效及其相关评价的应用 [J]. 广东化工, 2018, 45(06): 73-74.
- [10] Zhao Xiaomin, Zhao Yunshan, Qu Xin. Application of quantitative image analysis on clinical efficacy evaluation of cosmetics [J]. Detergent & Cosmetics, 2016, 39(1): 29-33.
- [11] Denise Dicario, Rose Sparacio, Lieve Declercq. Calculation of apparent age by linear combination of facial skin parameters: a predictive tool to evaluate the efficacy of cosmetic treatments and to assess the predisposition to accelerated aging [J]. Biogerontology, 2009(10): 757-772.
- [12] 周紫燕, 郭苗, 周正, 等. 一款含发酵组合物的护肤品抗衰功效评价研究 [J]. 日用化学工业, 2021, 44(7): 5.
- [13] 张红燕, 王鹏, 郭若曦, 等. 化妆品美白功效人体评价试验方法 [J]. 日用化学工业, 2021, 44(11): 52-54+56.
- [14] 尚华, 罗志合, 杨燕, 等. 祛斑颗粒治疗肝郁脾虚型黄褐斑60例的临床效果及皮肤镜评价 [J]. 宁夏医学杂志, 2022, 44(12): 1157-1160.
- [15] 孟如松, 蔡瑞康, 赵广, 等. 皮肤镜图像分析技术在育发类产品的功效评价研究 [J]. CT理论与应用研究, 2010, 19(01): 71-76.
- [16] 袁道欢, 林霖, 蔡晓君, 等. 不同含量甘油对护肤品修护效果的比较 [J]. 广东化工, 2025, 52(2): 73-75.
- [17] 毛亦予. 一款美容仪器的功效宣称及其评价方法研究 [J]. 日用化学工业, 2025, 48(01): 66-69.
- [18] 李文昭, 蒋晴, 唐礼荣. 化妆品保湿与皮肤纹理的相关性研究 [J]. 日用化学工业, 2022, 45(1): 5.
- [19] HAN Y, ZHANG Y, LI B, et al. Young Chinese female body skin pigmentation map: A pilot study [J]. Skin Research and Technology,

- 2024, 30(1): e13567.
- [20] Jegasothy SM, Zabolotniaia V, Bielfeldt S. Efficacy of a New Topical Nano-hyaluronic Acid in Humans.[J].*Clin Aesthet Dermatol*. 2014 Mar;7(3):27-9.
- [21] 薛婉婷, 李丽, 董银卯, 等. 美白功效评价现状及发展趋势 [J]. *日用化学工业*, 2021.
- [22] 韩洋, 李承旭, 崔勇. 基于双光子激发荧光和二次谐波原理的显微成像技术在皮肤科中的应用 [J]. *皮肤科学通报*, 2023, 40(04): 410-418.
- [23] Lin S J, Ruci- Wu, Tan H Y, et al. Evaluating cutaneous photoaging by use of multiphoton fluorescence and second-harmonic generation microscopy[J]. *Optics Letters*, 2005, 30(17):2275-7.
- [24] Su Ning, Liu Hongmei, Hu Nan, et al. In vivo exploring study of melanin content and distribution in human skin based on multiphoton tomography[J]. *Flavour Fragrance Cosmetics*, 2020(1): 71-74.
- [25] Qiu J, Chen M, Liu J, et al. The skin depigmenting potential of *Paeonia lactiflora* root extract and Paeoniflorin: in vitro evaluation using reconstructed pigmented human epidermis[J]. *International Journal of Cosmetic Science*, 2016:444-451.
- [26] Meng Ru. Study on the skin penetration of chemical sunscreen agents based on confocal Raman imaging technology [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2021.
- [27] DELRUE C, SPEECKAERT R, OYAERT M, et al. From Vibrations to Visions: Raman Spectroscopy's Impact on Skin Cancer Diagnostics[J]. *Journal of Clinical Medicine*, 2023, 12(23).
- [28] Lin Jie, He Congfeng, Dong Yinmao. Transdermal absorption mechanism of functional components in cosmetics [J]. *China Surfactant Detergent & Cosmetics*, 2009, 39(4): 275-278.
- [29] PENCE I, MAHADEVAN-JANSEN A. Clinical instrumentation and applications of Raman spectroscopy[J]. *Chem Soc Rev*, 2016, 45(7): 1958-1979.
- [30] 刘娟, 贾雪婷, 杨丽, 等. 应用共聚焦拉曼光谱法对烟酰胺在人体皮肤角质层渗透性的研究 [J]. *日用化学工业*, 2021, 051(002):104-108.
- [31] ZHANG S L, CASPERS P J, PUPPELS G J. In vivo confocal Raman microspectroscopy of the skin: effect of skin care products on molecular concentration depth-profiles [J]. *Microscopy and Microanalysis*, 2005, 11(S2): 790-791.
- [32] Essendoubi M, Alsamad F, Noel P, et al. Combining raman imaging and MCR-ALS analysis for monitoring retinol permeation in human skin [J]. *Skin Res Technol*, 2021: 1-10.
- [33] 谢宇, 张少峰, 杨武成, 等. 激光共聚焦拉曼光谱法测定防晒剂经皮渗透作用及其应用研究 [J]. *日用化学工业 (中英文)*, 2024, 54(9):1133-1139.
- [34] Wolfe W L. Introduction to imaging spectrometers [J]. *Optics & Photonics News*, 1997, 9(9).
- [35] COURTENAY L A, GONZÁLEZ-AGUILERA D, LAGÜELA S, et al. Hyperspectral imaging and robust statistics in non-melanoma skin cancer analysis[J]. *Biomed Opt Express*, 2021, 12(8): 5107-5127.
- [36] 刘立新, 李梦珠, 赵志刚, 等. 高光谱成像技术在生物医学中的应用进展 [J]. *中国激光*, 2018, 45(2):10.
- [37] He Q, Wang R K. Analysis of skin morphological features and real-time monitoring using snapshot hyperspectral imaging[J]. *Biomedical Optics Express*, 2019, 10(11):5625.
- [38] Vyas S, Banerjee A, Burlina P. Estimating physiological skin parameters from hyperspectral signatures[J]. *Journal of Biomedical Optics*, 2013, 18(5):57008.
- [39] Calin M A, Parasca S V, Calin M R, et al. An Analysis of Human Dorsal Hand Skin Texture Using Hyperspectral Imaging Technique for Assessing the Skin Aging Process[J]. *Applied Spectroscopy*, 2017, 71(3):391.
- [40] Nkengne A, Robic J, Seroul P, et al. SpectraCam: A new polarized hyperspectral imaging system for repeatable and reproducible in vivo skin quantification of melanin, total hemoglobin, and oxygen saturation[J]. *Skin Research and Technology*, 2018, 24(1).
- [41] Héloise Vergnaud, Zoé Charton, Blumenthal D, et al. Lip color diversity: An intricate study[J]. *Skin Res Technol*, 2025, 30(2):e13583
- [42] Nagaoka T, Kimura Y. Quantitative cosmetic evaluation of long-lasting foundation using multispectral imaging[J]. *Skin research and technology: official journal of International Society for Bioengineering and the Skin (ISBS) [and] International Society for Digital Imaging of Skin (ISDIS) [and] International Society for Skin Imaging (ISSI)*, 2019, 25(3):318-324.

Research Progress in Visualisation Technology for Evaluating the Efficacy of Cosmetics

Jiang Yan-bing¹, Sun Jiang-wei², Xie Wen-guang¹, Liu Qi², Yang Jie¹, Qi Feng-wei¹

(1. Shandong Huawutang Biotechnology Co., Ltd, Shandong Jinan, 250000

2. Beijing EWISH Testing Technology Co., Ltd., Beijing, 100142)

Abstract : As the consumer market becomes increasingly mature, consumers are demanding greater scientific rigor and transparency in cosmetic efficacy claims. Traditional sensory evaluations are prone to subjective bias, whereas visual efficacy evaluation technologies, with their objectivity, intuitiveness, and data quantification advantages, demonstrate unique strengths in R&D validation, consumer communication, and regulatory compliance, making them a core area of technical research in the cosmetics industry. This paper systematically reviews cutting-edge visualisation evaluation technologies such as two-dimensional imaging, three-dimensional modelling, two-photon microscopy, and Raman spectroscopy, providing an in-depth analysis of their technical principles, application scenarios, and implementation key points. It offers cosmetic companies and research institutions scientific and comprehensive guidance on selecting and applying efficacy evaluation methods.

Keywords : cosmetics; visual efficacy evaluation; two-dimensional imaging technology; Raman spectroscopy