

扩散波光谱学技术的应用概况

张文秀, 余世平, 管咏梅, 张敏, 胡丽霞, 聂鹤云, 朱卫丰*
(江西中医药大学 现代中药制剂教育部重点实验室, 南昌 330004)

[摘要] 扩散波光谱学(DWS)是由动态光散射技术发展而来的,该技术是将一束多重光射入含有分散相的物质中,光子经过不同的路程被散射回来,产生干涉,光谱信号表现为明暗相间的光斑,光斑的变换速度体现了物质中粒子的运动速度。DWS技术较多应用于研究高度浑浊不透明介质粒子的大小、结构及其之间的相互作用。近年来DWS技术主要应用在化工业中乳液成膜过程的分析和乳胶粒子成膜过程的作用机制研究,食品工业中食品凝胶的粘弹性、乳剂性食品中不同牛奶的稳定性测定、非乳剂性食品的微观流变学性质的表征,在医药中应用的文献报道较少,医药中主要用于表征血管中血液流量和血液的微循环情况、悬浮聚合物的粒度分析等。通过综述DWS技术的原理,在乳液成膜过程、食品凝胶、乳剂性食品和医药中的应用情况,展望其在医药研究方面的发展前景,为DWS技术在药物制剂研究方面的应用提供借鉴。

[关键词] 扩散波光谱学; 粒子运动; 动态光散射技术; 中成药

[中图分类号] R913;R284.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2016)02-0216-06

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.2016020216

[网络出版地址] <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20151210.1439.012.html>

[网络出版时间] 2015-12-10 14:39

Application Status of Diffusing Wave Spectroscopy Technique

ZHANG Wen-xiu, YU Shi-ping, GUAN Yong-mei, ZHANG Min, HU Li-xia, NIE He-yun, ZHU Wei-feng*
(Key Laboratory of Modern Preparation of Traditional Chinese Medicine (TCM),
Ministry of Education, Jiangxi University of TCM, Nanchang 330004, China)

[Abstract] Diffusing wave spectroscopy (DWS) is a kind of dynamic light scattering technology, it is a technology which lets multi-light beam into materials containing dispersed phase, and then photons through different distances are scattered and leads to interference, spectrum signal shows white light spot, transforming speed of spot reflects velocity of material particles. DWS technology applied in the high turbidity not more transparent medium particle size, structure and their interactions. In recent years, DWS technology is mainly used in chemical industry (emulsion film forming process analysis and mechanism research of latex particle film-forming process) and food industry (gel viscoelastic, stability determination of different milk in emulsion foods and rheological properties characterization of non-emulsion food), but application in medical literature reported less, it is mainly used for characterization of vascular blood flow and blood microcirculation, particle size analysis of suspension polymer in medicine. By investigating principle and application of DWS, this paper will prospect its development in medicine.

[Key words] diffusion wave spectroscopy; particle motion; dynamic light scattering technology; Chinese patent medicine

[收稿日期] 20150611(008)

[基金项目] 江西省自然科学基金项目(20122BAB205071);江西民族传统药现代科技与产业发展协同创新中心2014年度协同创新项目(JXXT201403015);江西省研究生创新专项(YC2014-S290)

[第一作者] 张文秀,在读硕士,从事中药外用制剂研究,Tel:15270028641,E-mail:474397009@qq.com

[通讯作者] *朱卫丰,博士,教授,从事中药外用制剂研究,Tel:0791-87118614,E-mail:zwf0322@126.com

传统动态光散射技术 (dynamic light scattering, DLS) 通过测量相位和光场涨落引起的光强变化来获得散射媒质的动态信息, 在物理化学、生物和材料科学等领域被广泛应用^[1-5]。传统的动态光散射技术仅适用于稀薄溶液, 利用单散射理论来获得散射粒子的扩散大小及分布等信息; 对于高浓度的散射媒质, 由于复散射的影响通常将经历了充分复散射的光近似为扩散光从而利用扩散波光谱学 (diffusing wave spectroscopy, DWS) 理论来定量分析其动态特性, 同时对介于单散射及扩散波之间的复散射区域目前尚无相应的理论解析。近年利用低相干干涉计测量高浓度散射媒质中颗粒的动态特性已成为研究热点, 如吴小云等^[6]利用低相干纤动态光散射法测量悬浮液中多分散颗粒粒径分布, 陈刚^[7]利用光散射法来测量颗粒系的尺寸和浓度, 夏辉等^[8]应用低相干动态光散射法测量悬浮液中的颗粒粒径分布。

DWS 技术是由传统动态光散射技术发展而来的, 在扩散波光谱试验中, 光线被多次散射, 这样可以精确探测到颗粒的位移, 由此可以分析出复合流体的特性。近年来, DWS 技术的应用越来越多, 如监测乳液涂膜成膜过程, 测量食品凝胶、牛奶和其他乳剂性食品的流变学性质及其内部微观结构, 在医药中用于观察血液中红细胞的移动速度, 悬浮液聚合物的粒度分析等。虽然 DWS 技术在化工行业和食品行业中应用较成熟, 但在医药业中应用的文献报道较少。本文对 DWS 的技术原理及其在乳液成膜过程、食品凝胶、乳剂性食品和医药中的应用进行综合分析, 以期为该技术在药物制剂研究方面的应用提供借鉴。

1 DWS 技术的原理

DWS 有背散射模式和向前散射模式^[9], 这 2 种模式的主要区别是收集信息的位置不同, 即检测器所在的位置不同, 见图 1。背散射模式的主要优点为实验装置简单, 对样品池无特殊要求。不需要穿透整个样品, 对光源没有要求, 背散射一般用于测量较慢的动力学, 对凝胶十分有用, 所以在凝胶的研究中一般采用背散射模式。向前散射模式光需要透过整个样品池, 所以需要强光源, 其优势为只要测得光子传播平均自由程就可以获得体系的相关函数信息, 测量样品物理参数发生变化过程中粒径的变化, 获得体系中粒子与周围粒子开始发生相互作用时体系有序性的信息。

DWS 作为动态光散射技术的重要进展之一, 将光子的多重散射行为简化, 认为光在具有多重散射

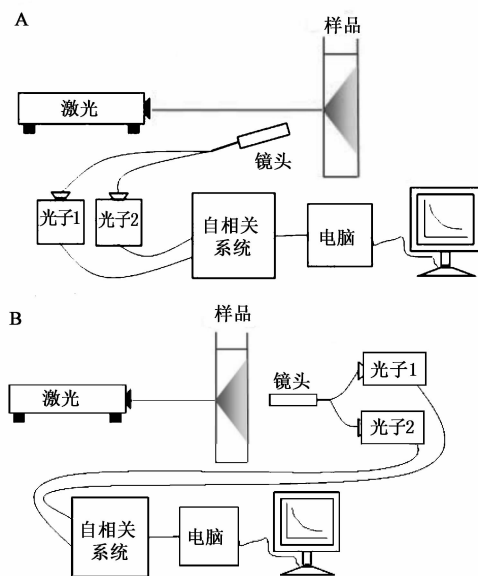


图 1 背散射模式 (A) 和向前散射模式 (B) 工作流程

Fig. 1 Work flow of diffusing wave spectroscopy with back scattering mode (A) and forward scattering mode (B)

的体系中以类似扩散的方式传播, 从而成功地实现了对具有高散射粒子浓度的体系表征。通过统计体系中经过多次散射的光场相关函数随时间的涨落, 可推定体系的散射体浓度、粒子均方根位移等随时间的变化, 从而获得反应体系内颗粒间相互作用的动力学信息^[10]。可应用于检测粒子的动力学特性、软物质具有的特殊流变学特性等, 实时检测软物质的动力学过程。

2 在化工中的应用概况

2.1 丙烯酸酯类乳液涂膜的成膜过程分析

动态干燥仪是一款将散斑干涉成像技术应用于涂膜的 DWS 研究的仪器。涂膜的开放时间是指从乳液成膜性能的一个至关重要的参数, 它是指从乳液被涂布到基材开始到湿膜形成, 乳液在涂膜表面呈不能自由流动状态所经历的时间^[11]。开放时间的长短会直接影响涂膜干燥以后的表现形态。应用动态干燥仪对丙烯酸酯类乳液涂膜的成膜过程进行分析, 将涂料用涂布器涂布在基材上, 同时开始信号采集。张胜文等^[11]运用动态干燥仪得到乳液型水性涂料的成膜过程曲线, 横坐标是时间, 纵坐标是波动频率。根据乳液成膜的基本理论, 曲线可划分为 4 个阶段, 分别为浓缩、排列、成膜、膜内部微结构调整阶段。通过曲线的横坐标可看出 4 个阶段中每个阶段所用时间的长短。浓缩阶段的波动频率 > 1 Hz, 此阶段持续时间较短, 经过浓缩后进入排列阶段, 此阶

段局部浓度波动较大,曲线出现快速大幅度的波动,持续时间 < 15 min,之后进入成膜阶段,聚合物分子链逐渐相互扩散,形成均一的膜,这一阶段持续时间约 15 min,最后进入膜内部微结构调整阶段,这一时间相当漫长,可能伴随涂膜的使用过程。乳液成膜是一个复杂的过程,通过比较第一阶段所经历的时间,可以对影响开放时间的主要因素做出分析。深入研究对涂膜开放时间产生影响的几种因素,如固含量、涂膜厚度、助剂种类与用量等。通过控制影响因素,有助于形成平整均一的涂膜。

2.2 二丙二醇丁醚(DPNB)在乳液成膜过程的作用机制研究 乳液涂料的漆膜形成过程,需要经过粒子无规则运动粒子相互排列、粒子紧密堆积、粒子边界融合并最终成膜共 4 个阶段^[12]。采用 DWS 全程在线监控乳胶粒子的成膜过程,获取乳胶粒子在成膜过程中多级动态光散射的自相关函数,经过散斑干涉成像技术处理,建立乳胶粒子在成膜过程中运动方式变化与时间的关系,结合原子力显微镜对漆膜形貌的表征结果,研究在成膜助剂的作用下乳胶粒子成膜过程的基本规律。穆元春等^[12]运用商用 DWS 成膜仪得到乳液膜的散斑图像波动频率与成膜时间的关系图,结果显示乳胶粒子成膜可分为 4 个阶段,分别为粒子无规则运动阶段、排列阶段、堆积阶段、细微调整阶段。运用 DWS 技术监测膜助剂 DPNB 加入量分别为 0%, 3%, 5%, 9% 时乳胶粒子成膜过程的变化,结果显示 DPNB 在粒子相互排列阶段就开始起作用,随着 DPNB 的增加,关系图由多峰变为双峰,最后呈单峰,得出膜助剂的最佳使用量 7% ~ 8%。对于乳胶粒子而言,成膜的关键在于乳胶粒子之间毛细管力与抗变形力的相对大小。商用 DWS 成膜仪对胶粒子的成膜过程进行全程在线监控,得到成膜助剂的最佳配比,满足漆膜所需的要求。

3 在食品中的应用概况

3.1 在食品凝胶过程中的应用 Alexander 等^[13]运用 DWS 技术详细研究了酸化热脱脂牛奶、脱脂牛奶和加入琼脂的酸化牛奶 3 种不同凝胶系统的流变学性质。通过 DWS 技术在完全非侵入的情况下测量 3 种凝胶系统的粘弹性,结果发现加入了琼脂的酸化牛奶具有最弱的凝胶体系。运用 DWS 技术可以精确测量出凝胶系统的凝固时间,监测凝胶结构的变化。通过 DWS 技术监测到酪蛋白的含量会显著影响凝胶系统的形成和稳定。Eliot 等^[14]研究体温附近酪蛋白酸钠热可逆凝胶的流变学性质。pH

在 5.3 ~ 6.8, 温度从 25 °C 上升到 65 °C,另一组温度从 25 °C 上升到 37 °C 再下降到 25 °C,以 Controlled-stress 流变仪测量随着温度的变化凝胶存储模量和损耗模量的变化及体温附近凝胶流变学性质的变化。从 25 °C 上升到 65 °C,随着温度的上升,凝胶在 34 ~ 38 °C 时存储模量从 0.1 Pa 上升到了 1 000 Pa,38 °C 之后几乎无变化。温度从 25 °C 上升到 37 °C 再下降到 25 °C,其存储模量先上升后下降然后恢复到原来的水平,说明其凝胶是可逆的。综合得出凝胶在 > 38 °C 后内部结构发生了改变,性质不再可逆。运用流变仪测量不同 pH 和钙离子浓度对热可逆凝胶稳定性的影响。酪蛋白酸钠乳液通过调整 pH 和钙离子浓度可改变乳液的稳定性。运用 DWS 光谱学技术研究在体温附近对凝胶流变学性质的影响因素进行考察^[14]。此模型可为分析食品乳液、凝胶内部的结构变化和流变学性质提供参考。

3.2 在乳剂性食品中的应用

3.2.1 在牛奶中的应用 Hemar 等^[15]利用 DWS 技术探测酪蛋白胶束对牛奶体系稳定性的影响,监测酪蛋白颗粒在不同牛奶中的差异及其对牛奶体系稳定性的影响。精确测量牛奶的凝固时间,比较脱脂牛奶、普通牛奶和浓缩 4 倍的牛奶的变质时间。Alexander 等^[16]使用 DWS 直接观察牛奶这个混合系统中乳清蛋白、酪蛋白胶束和变质牛奶中乳清蛋白、酪蛋白胶束的差异,牛奶体系中各流变学性质的变化。同时用传统光散射技术测量稀释的牛奶和变质牛奶中乳清蛋白、酪蛋白胶束的差异。通过 DWS 技术观察所得出的结果与用传统光散射所测出的结果相符合。说明 DWS 技术可在不需对样品进行稀释,准确地测量其流变学性质,比较不同样品性质的差异。

3.2.2 在其他乳剂性食品中的应用 乳剂和胶体分散体是食品中常见的剂型,水包油型的乳剂经常容易出现油滴聚集的现象。乳剂和胶体分散体系常加入多糖以增加水包油型乳剂的聚合能力、改善食品的质感和口感。Gancz 等^[17]认为研究不同油、多糖对乳剂和胶体分散体的影响非常有意义。然而大多数对乳剂和胶体分散体的评价仅停留在用外观观察或者稀释观察,并没有深入的研究其内部结构。DWS 技术可以在样品未稀释、以一种非侵入性的方式观察样品的微观结构的变化。Gancz 等^[18]应用 DWS 的反向散射模式观察酪蛋白胶束对食品乳剂稳定性的影响,发现随着酪蛋白胶束体积分数的增加,食品乳剂的稳定性增加。此外还可以证明 DWS

技术可用于在没有外力侵入的情况下监测粒子的增长。同时期, Hemar 等^[19]通过研究食品乳剂中油滴的动态变化得出乳剂絮凝、沉淀的规律与酪蛋白酸钠加入量的关系, 证明运用 DWS 技术可以在不受外界干扰的情况下分析出食品乳状液的絮凝机制, 但是还不能进行详细的量化分析。

Eliot 等^[20]研究酪蛋白酸钠乳剂在不同 pH 和温度下弛豫时间的差异。通过 DWS 测量食品乳液的流变学性质, 对粘弹性和弛豫时间等流变学性质进行关联性分析, 精确获取食品乳剂的凝胶点。研究得出稳定乳液的最佳 pH 5.2, 最佳酪蛋白胶束质量分数 0.02% ~ 0.03%, 最佳温度 30 ℃。Benichou 等^[21]使用 DWS 研究胞外多糖对食品乳剂稳定性的影响, 通过监测乳液中液滴的运动计算不同乳液稳定性的差异。Pinder 等^[22]研究左旋糖酐对食品乳剂的影响, 通过 DWS 和激光显微镜监测不同乳剂的流变学性质, 发现乳剂的流变学性质及其稳定性与加入左旋糖酐的量有一定关系。Blijdenstein 等^[23]通过改变加入蔗糖用量研究乳剂絮凝的动力学性质, 结果表明蔗糖的加入可改变乳剂的黏度和乳剂中小液滴之间的相互作用。Nishinari 等^[24]研究在高 pH 时食品乳液中蛋白质结构的变化, 运用 DWS 技术研究乳液的微观流变学性质, 乳剂在絮凝、沉淀时其微观流变学性质的变化。

果胶是一种天然的食品添加剂, 在食品上可作胶凝剂、增稠剂、稳定剂、悬浮剂、乳化剂、增香增效剂等, 在食品乳剂当中应用的较多。Gancz 等^[25]通过 DWS 研究食品乳剂 pH 在 3.5 ~ 7.0 时果胶浓度的变化。超声波光谱和 DWS 相结合得出不同果胶浓度的乳剂其微观结构的变化。不同果胶浓度对食品乳剂外观没有影响, 但会影响粒子的空间排列。果胶浓度较高时, 乳剂的表面水化层和电荷分布的变化较小, 因为加入果胶可延迟粒子的聚集, 增加乳剂的稳定性。在低 pH 时, 乳液具有与油滴非常相似的流体系统, 果胶分子附在乳液液滴的表面, 乳液的稳定性与果胶浓度成正相关。在中性 pH 时, 通过 DWS 测试可清楚地描述果胶分子与油滴之间的交互作用, 当果胶浓度升高时油滴表面添加的多糖结构增加, 加速乳液的絮凝。Liu 等^[26]使用 DWS 研究不同多糖对食品乳剂的影响, 大豆可溶性多糖常作为酸性饮料的稳定剂, 运用 DWS 研究大豆可溶性多糖与乳制品蛋白质间的关系。大豆可溶性多糖、果胶这 2 种多糖虽然电荷、相对分子质量大小相似, 但其在乳剂中的稳定效果是截然不同的。在中性

pH 时, 高浓度果胶会导致乳液加速絮凝, 但使用大豆可溶性多糖进行酸化后可推迟或者阻止乳剂的聚合。

4 在番茄酱中的应用

番茄酱是一种受大家欢迎的食品, 黏度是评价番茄酱流动性好坏的一个重要指标, 番茄酱中果胶浓度对其黏度的影响较大。但通过传统的方式测量其黏度需要对番茄酱施加外力, 破坏其内部结构。Vercet 等^[27]运用 DWS 技术比较热超声处理和常规加热处理后番茄酱流变学性质的变化, 结果发现热超声处理的番茄酱具有更大的黏度、更高的存储模量和损耗模量, 性质更加稳定。

5 在医药中的应用概况

Meglinski 等^[28]运用 DWS 技术在无损皮肤的情况下观察血液中红细胞的移动速率和其结构的变化, 表征血管中血液流量和血液的微循环情况。该技术还可用于表征皮肤血液微循环、评估烧伤的程度、诊断动脉粥样硬化疾病等。Yodh 等^[29]运用 DWS 技术监测聚合物微球悬浮液、血液红细胞等内部结构随时间的变化, 表征其内部结构和动力学特征。Galvan-Miyoshi 等^[30]研究 DWS 技术在麦克斯韦流体中的应用, 运用 DWS 技术测量胶体溶液、水杨酸钠溶液的损耗模量和存储模量, 测定不同胶体溶液的黏度。结果表明与传统的机械流变仪所测的半固体的流变学性质所得结果相符合。光子相关光谱法只适用于粒径 < 500 nm 的乳液的粒径分析, Navabpour 等^[31]用 DWS 技术对粒度在 90 ~ 1 300 nm 的悬浮液聚合物进行粒度分析, 得出了聚合物乳液体积分数和粒度之间的相关性。Palmer 等^[32]运用 DWS 技术研究交联结构的短时弛豫动力学和聚合物的网络结构信息, 并表征其粘弹性等流变学性质, 监测半固体物质中粒子运动速度和运动形式随时间的变化情况。

6 应用展望

流变学性质是表征中药半固体制剂处方工艺设计和质量稳定性的重要指标。中药半固体制剂的流变学性质包括黏性、弹性、硬度、粘弹性、屈服性、触变性等。通过黏性可表征并剖析样品的物理、化学性质及其结构。通过流变学参数表征出中药半固体制剂的稳定性、可挤出性、涂展性、滞留性、控释性、灌装性等。本课题前期主要通过 DWS 技术表征中药乳膏的流变学性质, 比较不同处方的中药乳膏稳定性、可挤出性、涂展性等, 为筛选较好的中药乳膏处方奠定基础。DWS 还可在光学微流变学中应用,

现有的机械流变仪测量半固体物质的流变学性质是通过施加外力破坏物质结构进行的,但 DWS-microrheology 对软材料、乳液和胶体的测量时可以做到零侵入性,在不破坏物质内部结构的条件下精确地测量物质微小的流变学性质的变化。DWS 技术为研究人员提供了一个简单方法用于分析复杂物质的结构和性质变化,且该技术所需样品量少、无需预处理、对样品的破坏少、不需稀释即可测量,为新产品的开发研究节省了时间,说明开发 DWS 技术在中药凝胶剂、乳剂、乳膏、膜控释药等制剂中的应用是非常有前景的,如测量不同中药凝胶剂的凝胶点,不同中药乳剂的粒径分析,中药乳膏的黏性模量、弹性模量等流变学性质测定,膜控释药制剂中膜成型过程的监控和膜成型影响因素的分析。虽然 DWS 技术的应用还处于初级阶段,暂时在食品乳剂、凝胶体系中应用较多,这种方法能够在微观结构水平上探测食品胶体、乳液等的动力学不稳定过程的变化,测量半固体制剂流变学性质。随着理论和仪器的进步,DWS 将会是一个重要的研究半固体制剂微观结构及其微观流变学性质的工具。

[参考文献]

[1] 刘慧娟, 嵯莉, 韩毓旺. 扩散光谱的原理和应用[J]. 激光杂志, 2007, 28(2): 3-5.

[2] 邓勇, 骆清铭, 鲁强. 双层散射介质的单次后向散射光谱分析[J]. 光学学报, 2006, 26(4): 595-599.

[3] 尚玉峰, 蒋达娅, 肖井华, 等. 动态光散射实验[J]. 物理实验, 2004, 24(10): 9-11.

[4] 吴丽萍, 冷小京, 孙雁, 等. 动态光散射和透射电镜法研究 pH 和 NaCl 对丝胶蛋白微观结构的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(5): 1391-1395.

[5] Popescu G, Dogariu A. Optical path-length spectroscopy of wave propagation in random media [J]. Opt Lett, 1999, 24(7): 442-444.

[6] 吴小云, 侯学顺, 钟诚, 等. 利用低相干光纤动态光散射法测量浓悬浮液中多分散颗粒粒径分布[J]. 光散射学报, 2013, 25(3): 243-249.

[7] 陈刚. 光散射法测量颗粒尺寸和浓度的实验研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2007.

[8] 夏辉, 肖元元, 林旭, 等. 应用低相干动态光散射法测量悬浮液中的颗粒粒径分布[J]. 光散射学报, 2010, 22(3): 211-215.

[9] Pine D L, Waltz D A, Chaikin P M, et al. Diffusing-wave spectroscopy [J]. Phys Rev Lett, 1988, 60(12): 1134-1137.

[10] Alexander M, Dalgleish D G. Interactions between

denatured milk serum proteins and casein micelles studied by diffusing wave spectroscopy [J]. Langmuir, 2005, 21(24): 11380-11386.

[11] 张胜文, 邱藤, 棒艳芸, 等. 乳液涂膜开放时间的扩散波光谱研究[J]. 涂料工业, 2010, 40(1): 12-15.

[12] 穆元春, 李晓晨, 邱藤, 等. 成膜助剂对核壳结构胶乳粒子成膜过程的影响[J]. 北京化工大学学报: 自然科学版, 2011, 38(3): 44-49.

[13] Alexander M, Piska I, Dalgleish D G. Investigation of particle dynamics in gels involving casein micelles: A diffusing wave spectroscopy and rheology approach [J]. Food Hydrocolloid, 2008, 22(6): 1124-1134.

[14] Eliot C, Dickinson E. Thermoreversible gelation of caseinate-stabilized emulsions at around body temperature [J]. Int Dairy J, 2003, 13(8): 679-684.

[15] Hemar Y, Singh H, Horne D S. Determination of early stages of rennet-induced aggregation of casein micelles by diffusing wave spectroscopy and rheological measurements [J]. Curr Appl Phys, 2004, 4(2/4): 362-365.

[16] Alexander M, Dalgleish D G. Application of transmission diffusing wave spectroscopy to the study of gelation of milk by acidification and rennet [J]. Colloid Surface B, 2004, 38(1/2): 83-90.

[17] Gancz K, Alexander M, Corredig M. *In situ* study of flocculation of whey protein-stabilized emulsions caused by addition of high methoxyl pectin [J]. Food Hydrocoll, 2006, 20(2/3): 293-298.

[18] Gancz K, Alexander M, Corredig M. Interactions of high methoxyl pectin with whey proteins at oil/water interfaces [J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(6): 2236-2241.

[19] Hemar Y, Pinder D N, Hunter R J, et al. Monitoring of flocculation and creaming of sodium-caseinate-stabilized emulsions using diffusing-wave spectroscopy [J]. J Colloid Interface Sci, 2003, 264(2): 502-508.

[20] Eliot C, Horne D S, Dickinson E. Understanding temperature-sensitive caseinate emulsions: new information from diffusing wave spectroscopy [J]. Food Hydrocolloid, 2005, 19(2): 279-287.

[21] Benichou A, Aserin A, Garti N. Protein-polysaccharide interactions for stabilization of food emulsions [J]. J Disper Sci Technol, 2002, 23(1/3): 93-123.

[22] Pinder D N, Swanson A J, Hebraud P. Micro-rheological investigation of dextran solutions using diffusing wave spectroscopy [J]. Food Hydrocolloid, 2006, 20(2/3): 240-244.

[23] Blijdenstein T B J, Zoet F D, van Vliet T, et al. Dextran-

- induced depletion flocculation in oil-in-water emulsions in the presence of sucrose[J]. Food Hydrocolloid, 2004, 18(5):857-863.
- [24] Nishinari K, Zhang H, Ikeda S. Hydrocolloid gels of polysaccharides and proteins[J]. Curr Opin Colloid In, 2000, 5(3/4):195-201.
- [25] Gancz K, Alexander M, Corredig M. Interactions of high methoxyl pectin with whey proteins at oil/water interfaces [J]. J Agr Food Chem, 2005, 53 (6): 2236-2241.
- [26] Liu J, Corredig M, Alexander M. A diffusing wave spectroscopy study of the dynamics of interactions between high methoxyl pectin and sodium caseinate emulsions during acidification [J]. Colloid Surface B, 2007, 59(2):164-170.
- [27] Vereet A, Sanchez C, Burgos J, et al. The effects of manothermosonication on tomato pectic enzymes and tomato paste rheological properties [J]. J Food Eng, 2002, 53(3):273-278.
- [28] Meglinski I, Tuchin V V. Diffusing wave spectroscopy: application for blood diagnostics [M]. New York: Springer, 2013:149-166.
- [29] Yodh A G, Kaplan P D, Pine D J. Pulsed diffusing-wave spectroscopy in dense colloids [M]. New York: Plenum Press, 1991:307-314.
- [30] Galvan-Miyoshi J, Delgado J, Castillo R. Diffusing wave spectroscopy in maxwellian fluids[J]. Eur Phys J E Soft Matter, 2008, 26(4):369-377.
- [31] Navabpour P, Rega C, Lloyd C J. Influence of concentration on the particle size analysis of polymer latexes using diffusing-wave spectroscopy [J]. Colloid Polym Sci, 2005, 283(9):1025-1032.
- [32] Palmer A, Xu J Y, Wirtz D. High-frequency viscoelasticity of cross linked actin filament networks measured by diffusing wave spectroscopy[J]. Rheologica Acta, 1998, 37(2):97-106.

[责任编辑 刘德文]

《中国实验方剂学杂志》入选“2015—2016 RCCSE 中国核心学术期刊”

由武汉大学中国科学评价研究中心(RCCSE)、武汉大学图书馆、中国科教评价网(www.nseac.com)共同研制的第4版《RCCSE 中国学术期刊评价研究报告——权威、核心学术期刊排行榜(2015—2016)》已于2015年1月13日公布,《中国实验方剂学杂志》被评定为“RCCSE 中国核心学术期刊(A)”,在参评的112本中医学与中药学类期刊中综合排名第15名。

本次学术期刊评价在重点突出期刊学术影响力的同时,也注重了对期刊网络传播效率和期刊即时反应速率的考察,主要评价指标有:总被引频次、2年影响因子、即年指标、基金论文比、Web 即年下载率、二次文献转载量(或国外重要数据库收录情况)和专家定性评价。参评期刊共6201种,排名前5%的“RCCSE 中国权威学术期刊”(A⁺)316种,排名前5%~20%的“RCCSE 中国核心学术期刊”(A)和排名前20%~30%的“RCCSE 中国核心学术期刊(扩展版)”(A⁻)共1572种,准核心的学术期刊1848种(B⁺),一般期刊1828(B)种,较差期刊637种(C)。

“RCCSE 中国核心学术期刊”是继“中文核心期刊(北大)”和“中国科技核心期刊”之后国内推出的又一核心期刊评价体系。