

适用于吞咽困难的特定全营养医用食品的流变特性研究

李慧^{1,2}, 关键¹, 盛桂华³, 孙婉婷^{1,2}, 王赛^{1,2}, 王猛^{1,2}, 王鑫烁¹, 付鑫¹, 周泉城^{1,2}

(1. 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 山东淄博 255049) (2. 农产品功能化技术山东省高校重点实验室, 山东淄博 255049) (3. 山东理工大学生命科学院, 山东淄博 255049)

摘要: 本研究通过对所设计的特定全营养医用食品流变性、pH、渗透压等测定, 旨在揭示流动性、粘弹性和粘度的剪切时间依赖性、流变性指标的作用规律和调节机制。结果表明, 未经增稠的特定全营养医用食品是粘度很低的牛顿流体(粘度仅约为 0.01 Pa·s); 而黄原胶具有良好的增稠效果, 在黄原胶浓度仅为 0.50% 时, 特定全营养医用食品初始粘度可达 0.4 Pa·s, 具有方便可调粘度、剪切变稀性质以及良好的粘弹性, 流变性达到安全吞咽的食品流变性要求。黄原胶浓度为 1%~2.50% 时, 具有适用于吞咽困难患者安全食用的流变 pH 和渗透压。黄原胶可以用来调节针对吞咽困难患者的特定全营养医用食品食用流变性。本文为特定全营养医用食品流变性的调节及其机制提供了实验依据和理论指导。

关键词: 医用食品; 特定全营养; 流变性; 吞咽困难; 渗透压

文章编号: 1673-9078(2019)03-106-110

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.3.017

Rheological Properties of Specific Complete Nutrition Medical Foods for Dysphagia

LI Hui^{1,2}, GUAN Jian¹, SHENG Gui-hua³, SUN Wan-ting^{1,2}, WANG Sai^{1,2}, WANG Meng^{1,2}, WANG Xin-shuo¹, FU Xin¹, ZHOU Quan-cheng^{1,2}

(1. School of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

(2. Key Laboratory of Agricultural Products Functionalization Technology of Shandong Province, Zibo 255049, China)

(3. School of Life Sciences, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract: This study aimed to reveal the mode of action and regulatory mechanism of rheology indices such as flow properties, viscoelasticity and shearing time-dependent viscosity, through analyzing the rheological properties, pH value and osmotic pressure of the designed complete nutrition medical food. The results showed that the unthickened specific complete nutrition medical food was a Newtonian fluid with a very low viscosity (only 0.01 Pa·s); Xanthan gum possesses a good thickening effect. Its addition at 0.50% could make the specific complete nutrition medical food possess an initial viscosity of 0.4 Pa·s, which meets the requirements for a desirable viscoelasticity with easy-to-adjust and shear-thinning characteristics. Its addition at 1%~2.50% made the rheological pH value and osmotic pressure of the medical food safe for consumption by dysphagia patients. Therefore, xanthan gum can be applied to adjust the rheological properties of the specific complete nutrition medical food for dysphagia. This paper provides the experimental basis and theoretical guidance for the regulation and mechanism of the rheological properties of the specific complete nutrition medical food.

Key words: medical food; specific complete nutrition; rheological properties; dysphagia; osmotic pressure

吞咽困难指将固态或液态食物、唾液和药物等物

收稿日期: 2018-10-09

基金项目: 山东省重点研发计划(医用食品专项计划)(17YYSP033; 2018YYSP017); 淄博市校城融合发展计划项目(9001-117173); 山东省自然科学基金联合专项(R2016BL03)

作者简介: 李慧(1993-), 女, 在读硕士, 研究方向: 功能性食品加工及评价

通讯作者: 周泉城(1977-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 功能性食品

质从口腔至胃的吞咽和运送过程中存在困难, 患者会产生咽部、胸骨后或食管部位的梗阻停滞感觉, 可增加如营养不良、脱水和吸入性肺炎等并发症发生的风险^[1-3]。吞咽困难的临床主要表现为: 流涎、进食呛咳、咀嚼下降、无缘无故发汗、窒息, 并有吸入性肺炎、营养不良等并发症。适用于吞咽困难患者的食物要求: 密度均一、适度的粘性、不易松散、通过咽及食道时容易变形、不易在粘膜上残留, 并且兼顾食品的温度

及色、香、味等^[4]。

特定全营养医学食品（简称特全医食）是给予特殊人群特定疾病状态下的营养支持与保障，涉及种类广、组分多、工艺复杂，质量安全直接影响到目标人群的健康安全^[5]。本文所设计的特全医食形态为粉状食品。粉剂具有贮藏、携带、食用方便，开启包装后，产品相对稳定，保质期较长等特点^[6]。从营养角度讲，配方食品可以提供碳水化合物、脂肪、蛋白质，满足吞咽患者对营养的需求，有助于患者改善临床症状，提高患者生活质量，降低住院费用。因此，适用于吞咽困难的特殊医学配方食品的研究极其重要，并具有重大的市场潜力。

流变性是流体食品最常考虑的指标。从安全吞咽角度来讲，适用于吞咽困难的特全医食经黄原胶增稠，减缓了食物流体吞咽的速度，降低了食品流入肺里的危险^[7]。食物流体的粘度是吞咽困难饮食护理中的关键参数，而以豌豆蛋白为主要原料的配方食品的粘度受温度变化十分明显^[8]，从分子学的角度来看，蛋白质溶液的热凝过程伴随着蛋白分子的变性、解缠、取向和交联等过程^[9]，本文通过蛋白质溶液粘度的变化来反应该过程变化规律，确定最佳的流变性。pH、渗透压关系到患者食用后是否出现肠胃不适腹泻等现象密切相关，而流变性与食用安全性密切相关。

综上，本文通过对建立的特全医食模型，从流变性、渗透压、pH 等角度分析，旨在探究黄原胶对吞咽困难患者特全医食的食用流变性效果的影响规律和机制，以期对该食品在吞咽困难患者临床护理方面提供理论数据和应用指导。

1 材料与方法

1.1 原料

豌豆蛋白，烟台双塔食品股份有限公司；羟甲基淀粉，上海爱纯生物科技有限公司；核桃油，南阳磨坊麻麻原生态食品有限公司；维生素（混合），郑州瑞普生物工程有限公司；矿物质（混合），郑州瑞普生物工程有限公司；氯化钠，郑州瑞普生物工程有限公司；磷酸二氢钾，郑州瑞普生物工程有限公司；黄原胶，上海鸿键食品配料有限公司。

1.2 主要仪器设备

天津司格瑞科技有限公司的渗透压摩尔浓度测试仪 SMC 30C；英国马尔文仪器公司流变仪 Malvern KINEXUS；PHS-25 雷磁 pH 计；梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司电子天平 AL-1D4。

1.3 试验方法

1.3.1 样品的准备

表 1 特定全营养医用配方食品的组成

Table 1 Composition of fully nutritious medical formula

原料	含量/%
豌豆蛋白	15.0
碳水化合物	79.1
核桃油	2.5
维生素（混合）	0.1
矿物质（混合）	3.3

适用于吞咽困难的特全医食组成按照 GB 29922-2013 设计，组成如表 1 所示，该产品主要用于糖尿病患者食用。黄原胶添加量试验：0%、0.50%、1.0%、1.50%、2.0%、2.50%、3.0%（黄原胶：特全医食，质量比），充分混匀，加纯水 22 mL，搅拌至完全溶解后，均质。

1.3.2 pH 测定

将配制的 7 种不同黄原胶浓度的营养制剂，用雷磁 PHS-25 pH 计测 pH。

1.3.3 渗透压测定

采用 SMC 30C 渗透压摩尔浓度测定仪，将少量待测营养制剂加入测定管中，将测温探头浸入试剂中心，降至仪器的冷却槽中，进行渗透压的测量。

1.3.4 粘度测试

采用 Kinexus 旋转流变仪对增稠营养制剂的流变学性质进行表征。实验夹具为直径 20 mm 的平行板，间距 0.5 mm。测试温度为 25 °C。为了使样品保持相同的初始状态，装样后使之平衡 5 min 后开始测试。每次测试均使用新的样品，并用轻质硅油封样以防止水分挥发。

样品时间依赖性实验中，在剪切率 50 s⁻¹ 时剪切 5 min，静置 1 min，再剪切 1 min，测试粘度随着时间的变化情况^[10]。稳态剪切粘度曲线测试中，采用控制剪切速率的测试模式（CR 模式），剪切速率由 0.1 s⁻¹ 升至 1000 s⁻¹ 记录样品的粘度随剪切速率的变化。

1.3.5 流变性质测定

温度扫描测试中，采用 Kinexus 旋转流变仪对温粘关系进行表征，实验夹具为直径 20 mm 的平行板，间距 1 mm。25 °C 平衡 2 min，在 25~95 °C 温度范以 4 °C/min 的速率加热至 95 °C，测试粘度随着温度的变化情况。

1.3.6 数据统计分析

每个操作 3 次平行。利用 SPSS 24.0 软件对数据进行差异显著性分析；Origin 2017 软件作图。

2 结果与讨论

2.1 pH 调节研究

不同黄原胶浓度特全医食的 pH 如图 1 所示, 随黄原胶浓度增加, pH 减小, 但下降幅度无显著差别。在黄原胶浓度为 1.0%~1.50% 时, pH 下降幅度最小。特全医食 pH 在 6.2~6.8 之间, 低于 7, 属于酸性食品, 适合人食用。这是因为配方食品的蛋白质分子表面存在离子化侧链, 蛋白质带净电荷^[11]。黄原胶添加浓度对特全医食的 pH 影响不显著。pH 适宜, 维生素、矿物质更易溶解, 易被人体吸收, 冲调性也被人体接收。因此, 所选黄原胶浓度调节的特全医食 pH 适宜食用。

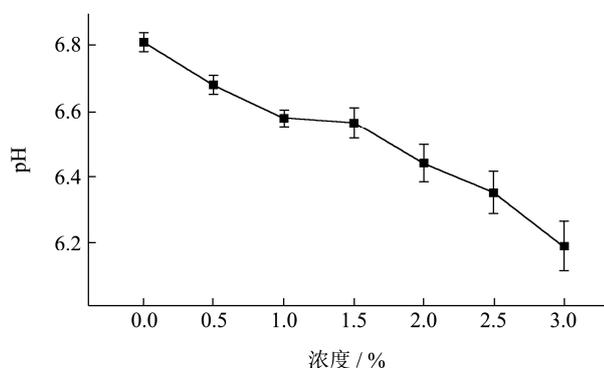


图 1 黄原胶对特全医食 pH 的影响

Fig.1 Effects of xanthan gum concentration on pH

2.2 渗透压调节研究

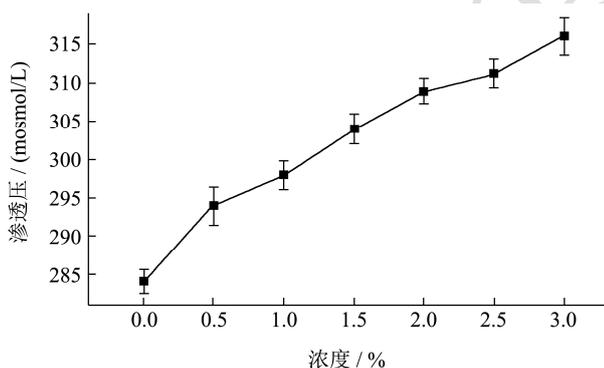


图 2 不同黄原胶浓度下试剂的渗透压

Fig.2 Osmotic pressure of reagents at different xanthan gum concentrations

在体温 37 °C 时, 正常人血浆渗透浓度在 300 mmol/L 左右, 医学上规定渗透压浓度在 280~320 mmol/L 范围为等渗, 低于或高于此浓度范围分别称为低渗溶液和高渗溶液。低渗会导致低渗综合征, 有肌力减退、肌阵挛和神经反射异常等体征; 高渗会导致高渗综合征, 轻则导致口渴、乏力、意识障碍, 严重则会导致颅内压降低、脑血管扩张等^[12]。研究结果表

明, 特全医食的渗透压随浓度增大而上升, 这是因为特全医食中黄原胶对溶液具有明显的增稠效果^[13]。0%~3% 黄原胶浓度的特全医食均属于等渗溶液, 对人体有益, 符合食品安全食用的渗透压范围, 不会对人体造成损伤。因此, 本研究选用黄原胶浓度范围配制的特全医食渗透压具有良好的食用安全流动性。

2.3 粘度调节研究

吞咽困难治疗用途的流体还需具有稳定的粘度, 以满足患者安全吞咽的需求^[14]。黄原胶作为增稠剂, 虽在吞咽困难饮食护理中被广泛应用, 然而, 其增稠的流体所具有的触变性, 使其粘度在配置后容易随时间等因素发生明显的变化, 从而难以保证其食用达到设定值, 进而造成食用者吞咽存在安全隐患^[14]。因此, 本研究开展黄原胶对特全医食增稠效果, 随时间和剪切速率变化规律的研究具有重要意义。

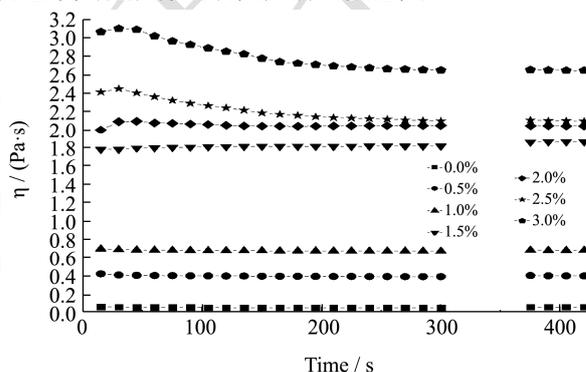


图 3 不同黄原胶浓度下特全医食粘度随时间的变化

Fig.3 Viscosity of medical foods with different concentrations of xanthan gum over time

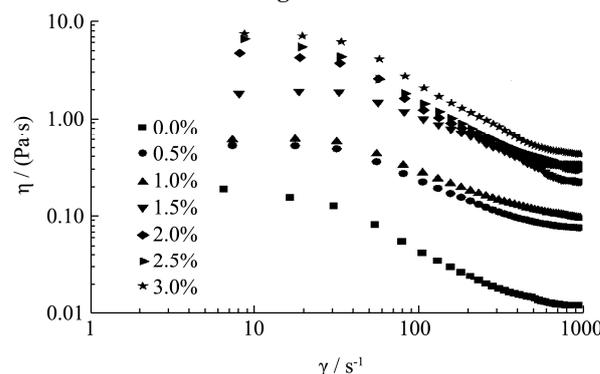


图 4 不同黄原胶浓度下特全医食粘度随剪切速率的变化

Fig.4 Viscosity of medical foods with different xanthan gum concentration with shear rate

本研究采用了间歇恒剪切速率的方法^[15]来表征流体在剪切发生、停顿和恢复时, 粘度随时间的变化。该研究结果亦可反映流体是否具有触变性^[16]。图 3 为不同黄原胶浓度下特全医食粘度随时间的变化。未添加黄原胶的食品粘度仅 0.02 Pa·s, 这种低粘度牛顿流

体的特全医食不适合吞咽困难患者直接食用。这是因为流动快、喉咽经留时间短的流体,会使咽部无充足时间协调吞咽相关的肌肉完成流体的安全传送,很可能导致食物经气管吸入肺部而造成严重后果^[17]。相反,添加黄原胶的特全医食粘度显著提高,而且具有粘度稳定的特征。随着黄原胶添加量增加,特全医食粘度也相应增加,其中黄原胶浓度1%增加到1.50%,2.50%增加到3%时,粘度增加具有显著性差别。不同黄原胶浓度的特全医食粘度,随时间变化没有显著性变化,具有优良的粘度冲调性,这对吞咽困难患者来说至关重要,保证了食用期间流动性的粘度安全性。黄原胶浓度不同时,食品粘度变化趋势随时间变化略有差别。黄原胶浓度升高达2%以上的时候,粘度出现短暂上升,上升幅度随黄原胶浓度增加而增加,然后随时间下降,黄原胶浓度越高,下降幅度越大。其中实验所选黄原胶添加量均能保证患者食用时避免食物低粘度造成危险,具有食用安全性的流动性,而且还可根据自身情况,通过调节黄原胶浓度,实现满足不同吞咽困难患者对粘度和口感的多方面要求。与这方面研究与文献^[14]结果一致。

图4为不同黄原胶浓度下特全医食粘度随剪切速率的变化,在较低的剪切速率下水溶液流动曲线呈现出明显的牛顿平台,粘度降低迅速,而在较高的剪切速率下粘度降低缓慢,呈现出剪切变稀的性质。这种假塑性行为的产生是由于特全医食中蛋白分子在高剪切力作用下逐渐开始朝着流动方向取向,取向完成后,蛋白分子与水分子之间的摩擦阻力下降^[18]。同时,具有作为增稠剂的黄原胶在剪切环境下逐渐解缠结并随着剪切方向取向所致。这与文献报道一致^[15]。这种具有剪切变稀性质的特全医食,能够降低吸入肺里的危险^[19,20],提高了特全医食的流变安全性。

2.4 流变性质调节研究

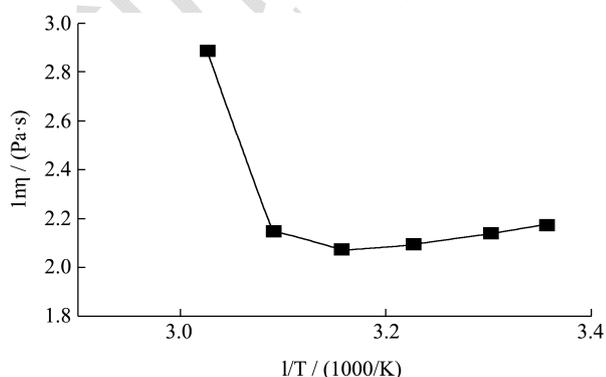


图5 1 Hz 下特全医食的粘度与温度变化的关系

Fig.5 Relationship between viscosity and temperature change of medical food at 1 Hz

溶剂的粘度是由流体分子相互之间的内摩擦作用而产生,粘度越大,内摩擦力越大,表现为流动性越差^[21]。

由图5,不同于高分子材料粘度随温度变化的单一性,配方食品冲剂的粘度随温度的变化趋势并不是始终如一。低温下时,随温度的升高,粘度下降,主要因为温度的升高增加了溶液分子的动能,溶液分子运动加快,同时溶液的体积也因为升温而膨胀,使得溶液分子距离加大,相互吸引力减弱,高温下时,食品已经凝胶,导致粘度增加。当剪切速率恒定时,以65℃为分界点,1nη和1/T具有非常好的直线关系,说明此时可以用阿伦尼乌斯方程来表示特全医食凝胶前后粘度与温度的关系:

$$\eta = Ae^{\frac{-E}{R T}}$$

式中: E: 粘流活化能, J/mol; E 温度一定时为常量; R: 气体常数, J/(mol·k), R = 8.32 J/(mol·k); T: 绝对温度, K。

随着剪切速率的增加,低温下和高温下的粘流活化能均下降,表明随着剪切速率的增加粘度对温度的依赖性也开始下降,这是由于当剪切速率较小时,蛋白质分子相互之间存在较多的缠结点,分子间结合紧密,而剪切速率较大时,由于高剪切力的作用,原本存在于蛋白质分子间的大量缠结点被破坏,温度一定时,低剪切速率下其缠结点被破坏更多,因此表现为高剪切速率下时粘度对温度的依赖性大于低剪切速率下时;同时,高温下其粘流活化能远大于低温下,表现为粘度对温度的依赖性较为明显,主要是因为高温营养制剂发生凝胶化反应,本研究食品中蛋白质分子间交联,分子间缠结点迅速增多,其相互间作用力增大,导致粘度迅速增加。因黄原胶增稠,具有可调节的粘度、明显的剪切变稀性质和良好的粘弹性,且具有时间冲调流变安全性,满足吞咽困难患者的食用安全需求。同时,特全医食 pH 稳定在 6.2~6.8,渗透压稳定在 280~320 mmol/L,保证了食品的营养和流变安全性,避免了患者食用后出现腹泻等症状。但特全医食的粘度随温度的变化不同于高分子材料粘度随温度变化的单一性,在 65℃附近发生凝胶化反应,所以需要注意特全医食的食用温度。

本研究对设计的特全医食 pH、渗透压和流变性等指标进行研究,对吞咽困难患者临床护理方面提供理论数据和应用指导,为设计开发相关的特殊医学用途配方食品提供了参考。

参考文献

- [1] 张明.脑卒中后吞咽困难的治疗[D].济南:山东大学,2017

- ZHANG Ming. Treatment of dysphagia after stroke [D]. Jinan: Shandong University, 2017
- [2] Ishihara S, Nakauma M, Funami T, et al. Swallowing profiles of food polysaccharide gels in relation to bolus rheology [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 1016-1024
- [3] Moret-Tatay A, Rodríguez-García J, Martí-Bonmatí E, et al. Commercial thickeners used by patients with dysphagia: rheological and structural behavior in different food matrices [J]. Food Hydrocolloids, 2015, 51: 318-326
- [4] 仲子轩. 球麻痹患者吞咽困难的护理干预探讨[J]. 实用临床医药杂志, 2011, 15(18): 107
- ZHONG Zi-xuan. Discussion on nursing intervention of dysphagia in patients with ball paralysis [J]. Journal of Clinical Medicine in Practice, 2011, 15(18): 107
- [5] 邱斌, 徐同成, 刘丽娜, 等. 我国特殊医学用途配方食品产业现状[J]. 中国食物与营养, 2015, 21(2): 32-33
- QIU Bin, XU Tong-cheng, LIU Li-na, et al. Current status of formula food industry for special medical uses in China [J]. Chinese Journal of Food and Nutrition, 2015, 21(2): 32-33
- [6] 彭艳梅, 覃元清, 龚年春, 等. 糖尿病专用型特殊医学用途配方食品的研制[J]. 食品科学技术学报, 2017, 35(1): 17-20
- PENG Yan-mei, TAN Yuan-qing, GONG Nian-chun, et al. Research of foods for special medical purposes to diabetic patients [J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 35(1): 17-20
- [7] Mackley M R, Tock C, Anthony R, et al. The rheology and processing behavior of starch and gum-based dysphagia thickeners [J]. Journal of Rheology, 2013, 57(6): 1533
- [8] 彭伟伟. 热处理对豌豆蛋白乳化性质及界面吸附行为的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2016
- PENG Wei-wei. Effect of heat treatment on emulsification properties and interfacial adsorption behavior of pea protein [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016
- [9] 桂萍, 罗永康, 冯力更. 加热温度对混合肉肌原纤维蛋白质结构的影响[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(5): 93-101
- GUI Ping, LUO Yong-kang, FENG Li-geng. Effect of heating temperature on protein structure of mixed muscle myofibrils [J]. Journal of China Agricultural University, 2018, 23(5): 93-101
- [10] Okamoto N, Tomioka K, Saeki K, et al. Relationship between swallowing problems and tooth loss in community-dwelling independent elderly adults: The fujiwara-kyo study [J]. Journal of the American Geriatrics Society, 2012, 60(5): 849-853
- [11] 周建琴, 周定晖, 邵勇军, 等. 离子交换树脂吸附蛋白质的研究[C]//全国化学工程与生物化工年会. 2006
- ZHOU Jian-qin, ZHOU Ding-hui, SHAO Yong-jun, et al. Study on Protein Adsorption by Ion Exchange Resin [C]// National Chemical Engineering and Biochemical Industry Annual Meeting. 2006
- [12] 侯彩霞, 石正国, 王连群. 人血白蛋白渗透压摩尔浓度控制方法的研究[J]. 山东化工, 2014, 43(2): 13-15
- HOU Cai-xia, SHI Zheng-guo, WANG Lian-qun. Study on the control method of oxygen albumin osmotic pressure molar concentration [J]. Shandong Chemical, 2014, 43(2): 13-15
- [13] 罗志刚, 杨连生. 黄原胶及其增效作用[J]. 食品科技, 2002, 3: 39-41
- LUO Zhi-gang, YANG Lian-sheng. Xanthan gum and its synergistic effect [J]. Food Science and Technology, 2002, 3: 39-41
- [14] 位元元, 张洪斌. 透明质酸多糖增稠的适用于吞咽困难的肠内营养制剂及其流变学性质[J]. 食品科学, 2018, 10(5): 1-11
- WEI Yuan-yuan, ZHANG Hong-bin. Intestinal nutrient preparation for rheumatoid difficulty and its rheological properties thickened by hyaluronic acid polysaccharide [J]. Food Science, 2018, 10(5): 1-11
- [15] Dewar R J, Joyce M J. The thixotropic and rheopectic behavior of maize starch and maltodextrin thickeners used in dysphagia therapy [J]. Carbohydrate Polymers, 2006, 65(3): 296-305
- [16] Hanson B, O'Leary M T, Smith C H. The effect of saliva on the viscosity of thickened drinks [J]. Dysphagia, 2012, 27(1): 10-19
- [17] H D Belitz, W Grosch, P Schieberle. 食品化学: 第3版[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008
- H D Belitz, W Grosch, P Schieberle. Food Chemistry: Third Revised Edition [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2008
- [18] Nishinari K, Takemasa M, Su L, et al. Effect of shear thinning on aspiration - toward making solutions for judging the risk of aspiration [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(7): 1737-1743
- [19] Mackley M R, Tock C, Anthony R, et al. The rheology and processing behavior of starch and gum-based dysphagia thickeners [J]. Journal of Rheology, 2013, 57(6): 1533
- [20] Reimers-Neils L, Logemann J, Larson C. Viscosity effects on EMG activity in normal swallow [J]. Dysphagia, 1994, 9(2): 101-106

现代食品科技