

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2021.01.007

芦笋提取物稳定性和缓解体力疲劳功能研究

郑立新^{1,2}, 蔡祥焜¹, 吴玉平¹, 贾迪¹, 董鹏¹, 田世民^{1*}

(1. 中国检验检疫科学研究院综合检测中心, 北京 100123;

2. 中检科(北京)测试技术有限公司, 北京 100176)

摘要: 研究芦笋提取物中功效成分的稳定性, 探讨芦笋提取物对小鼠缓解体力疲劳功能的影响。开展芦笋提取物3个月的加速破坏性试验, 测定0个月(放置前)、1个月、2个月、3个月的总皂苷、粗多糖、总黄酮的含量; 实验将ICR小鼠随机分为4组, 即阴性对照组和0.5、1.0、1.5 g/(kg·d)芦笋提取物剂量组, 灌胃给予30 d后, 分别测定小鼠负重游泳时间、正常状态下肝/肌糖原、运动后血清尿素氮、运动前后血乳酸以及血糖。结果表明: 芦笋提取物中总皂苷、粗多糖含量变化不大, 具有良好的稳定性。芦笋提取物能延长负重游泳时间, 增加肝糖原和肌糖原储存量, 降低血乳酸曲线下面积和血糖下降值, 有明显的抗运动疲劳作用, 其作用机制与增加机体糖原储备、加快乳酸代谢和血糖水平恢复有关。

关键词: 芦笋提取物; 稳定性; 小鼠; 缓解体力疲劳

Study on Anti-fatigue Function and Stability of Asparagus Extracts in Mice

ZHENG Li-xin^{1,2}, CAI Xiang-kun¹, WU Yu-ping¹, JIA Di¹, DONG Peng¹, TIAN Shi-min^{1*}

(1. Chinese Academy of Inspection and Quarantine Comprehensive Test Center, Beijing 100123, China;

2. CAIQTEST(Beijing) Co., Ltd., Beijing 100176, China)

Abstract: The study was aimed to understand the stability of functional components in asparagus extracts and to explore the anti-fatigue function of the extracts in mice. Accelerated destructive test was conducted for 3 months to determine the content of total saponins, polysaccharides, and total flavonoids at 0 months (before placement), 1 month, 2 months and 3 months. ICR mice were randomly divided into 4 groups, namely the negative control group and 3 dosage groups [0.5, 1.0, 1.5 g/(kg·d)]. After continual intragastric administration for 30 days, the time of weight-loading swimming, hepatic/muscle glycogen content under normal condition, serum urea after exercise, blood lactic acid/glucose before and after exercise were detected. Results showed that the extracts had good stability as the content of total saponins and polysaccharides in asparagus extracts had no significant changes. The asparagus extracts could extend the time of weight-loading swimming, increase the hepatic glycogen and muscle glycogen content and decrease the area under curve of the blood lactic acid and the blood glucose reduction. Thus, the asparagus extracts had obvious anti-fatigue function and the mechanisms were related to the increase of glycogen storage in the body, the acceleration of lactic acid metabolism and the recovery of blood glucose level.

Key words: asparagus extracts; stability; mice; anti-fatigue

引文格式:

郑立新, 蔡祥焜, 吴玉平, 等. 芦笋提取物稳定性和缓解体力疲劳功能研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(1):37-42.

ZHENG Lixin, CAI Xiangkun, WU Yuping, et al. Study on Anti-fatigue Function and Stability of Asparagus Extracts in Mice[J]. Food Research and Development, 2021, 42(1):37-42.

基金项目: 中国检验检疫科学研究院院所基金项目(2017JK049)

作者简介: 郑立新(1980—), 女(汉), 高级工程师, 硕士研究生, 研究方向: 食品/保健食品安全及功能。

* 通信作者: 田世民(1964—), 男(汉), 研究员, 研究方向: 食品/保健食品安全及功能。

长时间过度运动或高强度运动会产生运动性疲劳,导致机体机能和工作效率下降,长期疲劳还会导致内分泌紊乱、免疫力下降,继而出现器质性疾病,影响健康。疲劳产生的同时还会出现能量物质、激素水平、代谢调节酶类、抗氧化系统酶类、代谢产物等内环境的变化^[1]。目前,疲劳产生机制主要包括能量耗竭、代谢产物堆积、离子代谢紊乱、保护性抑制、氧自由基损伤-脂质过氧化学说^[2-4]。近些年,国内外学者开展了大量的食源性抗疲劳活性成分的相关研究工作,表明通过补充含有氨基酸类、多糖类、维生素、多酚、生物碱、类胡萝卜素以及皂苷类等天然活性成分的食源性物质,可有效延缓疲劳的发生和促进体力恢复^[5-6],因此,开发具有抗疲劳功能的保健食品,对于促进人体健康具有积极意义。芦笋(*Asparagus officinalis* L.)是天门冬科天门冬属多年生草本植物石刁柏的幼苗,含有丰富的芦笋多糖、黄酮类化合物、维生素、蛋白质和甾体皂苷等物质,芦笋中提取的皂苷、粗多糖、黄酮类等活性成分,具有抗癌抗肿瘤、免疫调节、抗氧化、降血糖、血脂等多方面的药理作用^[7-9],作为药食两用的名贵蔬菜,具有很高的营养保健价值。芦笋及相关产品在抗疲劳研究方面已有报道^[8-12],由于采用芦笋产地、植株部位不同,终产物的功效成分组分不同,导致报道中活性成分不确定或不尽统一,因此,需要将功效成分定量与功能评价结合研究。本试验在测定芦笋提取物中功效成分和稳定性,参考保健食品的抗疲劳功能评价方法,给予小鼠芦笋提取物 30 d 后,在测定小鼠负重游泳时间、肝糖原和肌糖原、血清尿素氮、血乳酸的基础上,增加了小鼠运动前后血糖指标的检测,探讨芦笋提取物抗疲劳效果,以期芦笋提取物类的保健食品开发和利用提供实践依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料

芦笋提取物黄褐色粉末状固体(生产批号 CS17-DF-009):秦皇岛长胜营养健康科技有限公司。

无特定病原体(specific pathogen free, SPF)级健康雄性 ICR 小鼠[生产许可证号:SCXK(京)2016-0006] 192 只,体重 18 g~22 g;北京维通利华实验动物技术有限公司。小鼠饲养在 SPF 级动物房中[使用许可证号:SYXK(京)2018-0007],食水自由摄入,动物房温度 20 ℃~26 ℃,湿度 40%~70%,光照为 12 h 明 12 h 暗;维持鼠料[生产许可证号:SCXK(京)2015-0015];斯贝福(北京)生物技术有限公司。

1.1.2 试剂

肝/肌糖原测定试剂盒(蒽酮法)(批号:20180615):南京建成生物工程研究所;血清尿素氮试剂盒(批号:170831)、RANDOX 多项血清复合质控(批号:1225UN):中生北控生物科技有限公司;乳酸检测芯片(批号:CL1807)、破膜液(批号:H17368E)、系统液(批号:S17053)、乳酸标准溶液(批号:M18025):德国 EKF 诊断公司。

1.1.3 仪器与设备

TBA-120FR 全自动血生化分析仪:日本东芝(TOSHIBA)公司;BIOSEN C-line 15 葡萄糖/乳酸分析仪:德国 EKF 诊断公司;HH-S 数显恒温游泳箱:金坛市华龙实验仪器厂;U-3900 紫外分光光度计:日本日立集团;Synergy H1M 酶标仪:美国伯腾仪器有限公司;3K15 冷冻离心机:美国 Sigma 公司;0.8 mm 焊锡丝:上海向智电子有限公司;PC2810 计时器:深圳天福电子有限公司;10 μL 采血管:德国 EKF 诊断公司;5 mL、1 mL 和 200 μL 加样器:德国 eppendorf 公司;10 mL 移液管、尖底 15 mL 离心管、平底 96 孔细胞培养板:美国 corning 公司。

1.2 方法

1.2.1 稳定性试验

参照保健食品在注册检验时在 37 ℃、75%的恒温恒湿条件下进行 3 个月的加速破坏性试验的方法,将样品放在温度为 37 ℃~40 ℃,湿度为(75±5)%的恒温恒湿培养箱中 0 个月(放置前)、1 个月、2 个月、3 个月进行加速试验后,检测总皂苷、粗多糖、总黄酮含量,以考察芦笋提取物在保质期内有效成分的稳定性。粗多糖按白鸿的苯酚-硫酸分光光度法测定^[13]。总皂苷测定:用水饱和正丁醇提取净化之后,依次加入 5%香草醛冰醋酸溶液 200 μL、高氯酸溶液 800 μL,盖塞后混匀,70 ℃水浴 15 min,取出后于冰水中冷却 5 min,加入 5 mL 冰醋酸混匀,移入比色皿中,于 535 nm 波长下测定吸光度。总黄酮依据保健食品检验与评价技术规范(2003 版)的第四章总黄酮测定方法^[14]。

1.2.2 芦笋提取物抗疲劳功能研究

1.2.2.1 实验动物分组、剂量设定、灌胃给样

小鼠适应 3 d 后,取健康雄性 ICR 小鼠,将动物随机分为 4 大组(负重游泳、肝/肌糖原、血清尿素氮、血乳酸和血糖测定组),每大组 48 只,再按体质量随机分为去离子水阴性对照组和低、中、高 3 个剂量组[0.5、1.0、1.5 g/(kg·d)芦笋提取物组],每组 12 只。分别称取 0.5、1.0、1.5 g 芦笋提取物,用去离子水定容至 20 mL,充分溶解混匀后备用,去离子水对照组用去离子水,

均按 20 mL/(kg·d), 给予灌胃, 每日 1 次, 连续给样 30 d, 每周根据体重调整灌胃量。

1.2.2.2 指标测定方法

在末次给予样品 30 min 后, 参考保健食品缓解体力疲劳功能评价方法测定各项生理指标^[14]。负重游泳: 将尾根部负荷 5% 体重铅皮的小鼠置于水温 25 °C 游泳箱中游泳, 小鼠负重游泳时间为小鼠入水至力竭而沉入水中并持续 8 s 不能浮出水面的时间。肝糖原和肌糖原测定: 在正常状态下, 颈椎脱臼处死小鼠, 解剖取肝脏和腓肠肌, 生理盐水清洗, 滤纸吸干后, 严格按照南京建成试剂盒操作说明书测定肝糖原和肌糖原含量。高尿素模型小鼠血清尿素氮 (urea nitrogen, UREA) 测定: 小鼠在温度为 30 °C 的水中不负重游泳 90 min, 休息 60 min 后, 小鼠拔眼球采全血约 1 mL (不加抗凝剂), 置 4 °C 冰箱约 60 min, 血凝固后 3 000 r/min 离心 15 min, 取血清, 全自动血生化仪测定尿素氮。血乳酸和血糖测定: 小鼠不负重温度 30 °C 的水中游泳 10 min 后停止, 分别于游泳前、游泳后 0 min 和游泳后 20 min, 眼眶静脉丛采全血 10 μL 加入检测试剂中, 混匀后上机测定血乳酸和血糖。

血乳酸曲线下面积 = $1/2 \times (\text{游泳前血乳酸值} + \text{游泳后 0 min 的血乳酸值}) \times 10 + 1/2 \times (\text{游泳后 0 min 的血乳酸值} + \text{游泳后 20 min 的血乳酸值}) \times 20$

血糖下降值 = 游泳前血糖值 - 游泳后 20 min 血糖值

1.2.2.3 统计分析

采用 SPSS19.0 进行统计分析, 统计结果以均数 ± 标准差表示, 组间比较采用单因素方差分析, $P < 0.05$ 为显著差异, 有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 芦笋提取物中 3 种功效成分稳定性研究

芦笋提取物中总皂苷、粗多糖、总黄酮的稳定性试验结果见表 1。

表 1 芦笋提取物中总皂苷、粗多糖、总黄酮的稳定性试验结果

Table 1 Stability test results of total saponins, crude polysaccharides and total flavones in asparagus extracts

检测时间	总皂苷 (以菝葜皂苷计)/ (g/100 g)	粗多糖 (以葡萄糖计)/ (mg/100 g)	总黄酮 (以芦丁计)/ (mg/100 g)
0 个月	0.79±0.03	(2.9±0.07)×10 ⁴	25±0.71
1 个月	0.74±0.01	(2.9±0.00)×10 ⁴	23±0.00
2 个月	0.74±0.03	(2.8±0.00)×10 ⁴	20±0.71
3 个月	0.74±0.01	(2.7±0.07)×10 ⁴	20±0.71

结果表明, 该芦笋提取物中功效成分含量依次为粗多糖 > 总皂苷 > 总黄酮, 总黄酮含量极低, 为 25 mg/100 g。

经过 3 个月的加速破坏性试验后, 总皂苷、粗多糖稳定性良好, 总黄酮含量下降比率为 20.0%, 稳定性稍差。总皂苷、粗多糖、总黄酮的衰减率分别为 6.3%、6.9%、20.0%。在研究中, 可将总皂苷和粗多糖作为芦笋提取物的主要标志性成分。

2.2 芦笋提取物抗疲劳功能研究

2.2.1 小鼠的一般情况观察

整个实验中, 阴性对照组与 3 个剂量组的小鼠被毛有光泽、眼有神, 未见饮食、精神和行为活动的异常, 研究结束时, 各组小鼠的末期体重和体重增长值, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 说明芦笋提取物对小鼠无不良影响。

2.2.2 芦笋提取物对小鼠负重游泳时间的影响

运动耐力的下降是疲劳最直接的表现, 负重游泳时间的长短可作为判断机体疲劳程度的客观指标^[15]。芦笋提取物对小鼠负重游泳时间的影响见表 2。

表 2 芦笋提取物对小鼠负重游泳时间的影响

Table 2 Effect of asparagus extracts on the time of weight-loading swimming in mice

剂量/[g/(kg·d)]	动物数/只	末期体重/g	负重质量/g	游泳时间/s
0	12	38.23±3.31	1.91±0.17	264.8±86.7
0.5	12	38.32±2.44	1.91±0.12	313.9±76.2
1.0	12	38.57±2.54	1.93±0.13	339.9±81.6*
1.5	12	37.62±2.76	1.88±0.14	355.8±62.8*

注: 与阴性对照组比较, * 表示 $P < 0.05$, 差异显著。

小鼠负荷 5% 体重铅皮游泳至力竭时间, 与阴性对照组比较, 1.0、1.5 g/(kg·d) 剂量组小鼠负重游泳时间显著增加, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 以 1.5 g/(kg·d) 剂量组效果最佳。

2.2.3 芦笋提取物对小鼠肝糖原、肌糖原含量的影响

肌糖原、肝糖原和血糖组成机体的糖储备, 其大小与运动能力呈正相关^[16-17]。肝糖原是血糖的贮存库, 需要时可释放入血, 以维持血糖的正常水平, 保证生命活动及运动能力, 肝糖原贮备对维持长时间运动血糖浓度起重要作用。肌糖原氧化分解为肌肉的舒缩活动提供能量并提高运动时的输出功率, 是运动中获得好成绩的物质基础, 肌糖原降低与运动性疲劳和运动性损伤的发生有密切关系^[18]。芦笋提取物对小鼠肝糖原、肌糖原含量的影响见表 3。

在正常状态下, 3 个剂量组小鼠肝糖原含量显著增加, 差异有统计学意义 [0.5、1.5 g/(kg·d) 剂量组均 $P < 0.05$, 1.0 g/(kg·d) 剂量组 $P < 0.01$]; 1.0、1.5 g/(kg·d) 剂量组小鼠肌糖原含量显著增加, 差异有统计学意义

表3 芦笋提取物对小鼠肝糖原、肌糖原含量的影响

Table 3 Effect of asparagus extracts on hepatic and muscular glycogen level in mice

剂量/[g/(kg·d)]	动物数/只	肝糖原/(mg/g)	肌糖原/(mg/g)
0	12	32.70±5.49	2.47±0.48
0.5	12	44.76±13.10*	2.92±0.46
1.0	12	46.92±11.01**	3.97±0.66**
1.5	12	44.58±8.08*	3.06±0.31*

注:与阴性对照组比较,*表示 $P<0.05$,差异显著;**表示 $P<0.01$,差异极显著。

[1.0 g/(kg·d) $P<0.01$, 1.5 g/(kg·d) $P<0.05$], 1.0、1.5 g/(kg·d)无剂量效应关系,均以中剂量效果最佳。

2.2.4 芦笋提取物对高尿素模型小鼠血清尿素氮水平的影响

血尿素氮是蛋白质的代谢产物,激烈运动时,蛋白质和氨基酸的分解代谢加强,导致尿素氮含量升高,对于评价机体在体力负荷时的承受能力是一个非常灵敏的指标^[14]。

芦笋提取物对小鼠血清尿素氮水平的影响见表4。

表4 芦笋提取物对小鼠血清尿素氮水平的影响

Table 4 Effect of asparagus extracts on serum urea level in mice

剂量/[g/(kg·d)]	动物数/只	尿素氮/(mmol/L)
0	12	9.55±1.48
0.5	12	9.46±1.28
1.0	12	8.76±0.81
1.5	12	8.90±1.02

不负重游泳 90 min 建立高尿素模型,休息 60 min 后,与阴性对照组比较,3个剂量组血清尿素氮含量略有降低,但差异均无统计学意义($P>0.05$)。

2.2.5 芦笋提取物对运动前后小鼠血乳酸、血糖水平的影响

血乳酸是与疲劳相关的重要的生化指标,长时间大强度运动,由于组织缺血、缺氧,造成组织细胞产生大量乳酸,肌肉中 pH 值随着乳酸浓度上升而下降,使磷酸果糖激酶的活性受抑制,机体能量代谢水平降低,致使运动能力下降^[9],随着乳酸的积累也开始了乳酸的自然清除,乳酸积累的程度取决于乳酸产生和清除的速度,乳酸是否能及时消除就十分重要^[20]。芦笋提取物对小鼠血乳酸水平及血乳酸曲线下面积的影响见表5。

在游泳前、游泳后 0 min、游泳后 20 min 分别检测

表5 芦笋提取物对小鼠血乳酸水平及血乳酸曲线下面积的影响

Table 5 Effect of asparagus extracts on blood lactic acid and area under curve of the blood lactic acid in mice

剂量/[g/(kg·d)]	动物数/只	游泳前/(mmol/L)	游泳后 0 min/(mmol/L)	游泳后 20 min/(mmol/L)	血乳酸曲线下面积/(mmol/L)
0	12	1.69±0.35	5.36±1.42	2.96±0.66	118.48±26.12
0.5	12	1.81±0.37	4.64±0.92	2.47±0.73	100.46±17.71
1.0	12	2.04±0.59	4.41±1.06	2.35±0.75	99.94±18.95
1.5	12	1.98±0.49	4.14±0.58*	2.67±0.42	98.69±11.30*

注:与阴性对照组比较,*表示 $P<0.05$ 。

血乳酸含量,与阴性对照组比较,仅 1.5 g/(kg·d)剂量组在游泳后 0 min 血乳酸值显著降低($P<0.05$);3个剂量组的血乳酸曲线下面积均降低,但仅 1.5 g/(kg·d)剂量组差异有统计学意义($P<0.05$)。

随着运动强度、运动时间的增加,血糖耗竭,这时肌糖原、肝糖原分解,补充葡萄糖,体内各组织细胞活动所需的能量大部分来自葡萄糖,所以血糖必须保持一定的水平才能维持体内各器官和组织的需要^[21]。芦笋提取物对运动前、后小鼠血糖水平的影响见表6。

表6 芦笋提取物对运动前、后小鼠血糖水平的影响

Table 6 Effect of asparagus extracts on blood glucose in mice

剂量/[g/(kg·d)]	动物数/只	游泳前/(mmol/L)	游泳后 0 min/(mmol/L)	游泳后 20 min/(mmol/L)	血糖下降值/(mmol/L)
0	12	9.89±1.12	8.71±1.27	7.26±0.69	2.63±0.83
0.5	12	9.52±0.74	8.80±0.69	7.61±0.87	1.91±0.65*
1.0	12	9.62±0.74	8.86±0.79	8.13±1.12*	1.50±0.80**
1.5	12	9.88±0.63	9.00±0.68	7.96±0.61*	1.93±0.65*

注:与阴性对照组比较,*表示 $P<0.05$,**表示 $P<0.01$ 。

本研究结果表明,与阴性对照组比较,各剂量游泳前、游泳后 0 min 血糖值,差异无统计学意义($P>0.05$);1.0、1.5 g/(kg·d)剂量组小鼠在游泳后 20 min 血糖值升高,差异有统计学意义($P<0.05$),3个剂量组血糖下降值均减少,差异有统计学意义[0.5、1.5 g/(kg·d)剂量组 $P<0.05$, 1.0 g/(kg·d)剂量组 $P<0.01$]。提示该受试物有促进组织对糖原的利用,加快血糖水平恢复的作用。

3 结论

近些年来,国内外学者开展了许多食源性抗疲劳活性成分的相关研究,为新型抗疲劳产品研究与开发提供参考^[6,22],本研究可补充抗疲劳的食源性活性成分目录。本试验芦笋提取物的主要活性成分为总皂苷和粗多糖,其中总皂苷含量为 0.79 g/100 g,3个月恒温恒

湿加速试验衰减率为6.3%,粗多糖为 2.9×10^4 mg/100 g, 3个月恒温恒湿加速试验衰减率为6.9%。表明总皂苷和粗多糖稳定性良好,可用于保健食品中芦笋提取物的质量控制。

能量物质的消耗、代谢产物的堆积是产生疲劳的重要原因,采用引起疲劳的某些生化变化为指标,观察疲劳的出现及发展的过程,是研究运动性疲劳最有效的方法^[2,23],而要评价受试物是否有抗疲劳的作用,采用与疲劳产生机制有关的生物化学指标才能得到可靠的结果^[24],糖原、血清尿素氮及血乳酸含量的变化最具有代表性,通常也作为检测疲劳的生化指标^[25-28],而血糖与各组织糖代谢关系密切,是中枢神经系统的唯一能源,血糖水平除了反映糖代谢水平外,还可反映中枢神经系统的疲劳状况,已被运动医学家用于评价运动员的训练水平,近些年来也被用在保健食品抗疲劳的研究工作中^[29]。研究结果表明,补充芦笋提取物能促进小鼠肝糖原和肌糖原能源物质的积累,延缓疲劳的发生,降低血乳酸曲线下面积,与文献报道一致^[9-10,12]。芦笋提取物能够增加肌糖原和肝糖原储备,在运动中维持较高血糖水平,延长运动时间,推测其机制是通过增加肝脏谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活力,清除运动产生自由基^[12],增加乳酸脱氢酶活力,从而降低体内血乳酸水平,延缓疲劳的发生并加速其消除^[9,30];未发现芦笋提取物对血清尿素氮有影响,与田颖刚等的报道一致^[12]。当糖原被大量消耗时,机体活动能力降低,从而导致全身性疲劳的发生,糖原贮备的提高有利于机体耐力速度的提高,并减少蛋白质和含氮化合物的分解代谢,本研究结果也印证了这点。本次研究中还发现芦笋提取物可以提高游泳后小鼠血糖水平,减少血糖下降值,在运动中能够维持较高的血糖水平,从而延缓疲劳发生,而此种血糖测定的实验方法可用于抗疲劳功能研究。综上所述,0.5 g/(kg·d)~1.5 g/(kg·d)芦笋提取物对于小鼠有抗疲劳效果,以1.5 g/(kg·d)剂量抗疲劳效果最好,也证实了可通过多种途径缓解体力疲劳,对小鼠的一般健康情况和体质量并无影响,是理想的营养补充剂。因此,有针对性地补充芦笋提取物来减缓体力疲劳的发生是解决运动性疲劳的有效途径之一,但应用到人群试食的功效仍需进一步研究。

参考文献:

- [1] 闫东旭,于晶.运动性疲劳的研究进展[J].当代体育科技,2019,9(11):14-15.
- [2] 吴良文,陈宁.运动性疲劳的机制与大豆多肽对其调控的研究进展[J].食品科学,2019,40(17):302-308.
- [3] 白海军,李志江.牛磺酸-水解大豆蛋白复合体系对运动性疲劳大鼠的影响[J/OL].食品科学[2020-08-31].<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200831.1010.024.html>.
- [4] CARROLL T J, TAYLOR J L, GANDEVIA S C. Recovery of central and peripheral neuromuscular fatigue after exercise[J]. Journal of Applied Physiology, 2017, 122(5): 1068-1076.
- [5] 刘源源,刘军,邹宇晓,等.抗疲劳功能食品检测评价研究进展及新思路[J].食品研究与开发,2016,37(2):209-213.
- [6] 陈慧,马璇,曹丽行,等.抗运动疲劳机制及食源性活性成分研究进展[J/OL].食品科学[2019-10-12].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20191012.0939.004.html>.
- [7] QingbinGuo, NifeiWang, Huanhuan Liu, et al. The bioactive compounds and biological functions of *Asparagus officinalis* L. -A review[J/OL]. Journal of Functional Foods[2019-12-18].<https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103727>.
- [8] 詹姿女,徐向红,朱卫丰,等.芦笋的化学成分及生物活性研究[J].江西中医药,2011,42(2):46-49.
- [9] 冯翠萍,程红艳,刘喜文,等.芦笋皮对小鼠抗疲劳作用的实验研究[J].营养学报,2003,25(3):330-332.
- [10] 吴细丕.芦笋对小鼠的抗疲劳作用[J].北京实验动物科学,1993,10(1):28-30.
- [11] 吴细丕,杜俊声,钱林法,等.芦笋升白口服液对小鼠的抗疲劳作用[J].河南中医药学刊,1994,9(3):8-10.
- [12] 田颖刚,牛俊卿,谢明勇,等.芦笋提取物抗疲劳及耐缺氧活性研究[J].食品工业科技,2013,34(13):325-329.
- [13] 白鸿.保健食品功效成分检测方法[M].北京:中国中医药出版社,2011:73-76.
- [14] 卫生部.《保健食品检验与评价技术规范》(2003年版)[EB/OL].(2017-12-05)[2020-09-22].<https://max.book118.com/html/2017/1205/142820113.shtml>.
- [15] 杨道宁,李丽.运动性疲劳动物模型制备的研究进展[J].沈阳体育学院学报,2011,30(3):80-89.
- [16] 鲍蕾蕾,陈海飞,卞俊,等.复方灵芝孢子精油软胶囊抗疲劳耐缺氧能力研究[J].中国实验方剂学杂志,2014,20(14):130-133.
- [17] 胡炜,池爱平.淫羊藿多糖对运动小鼠糖代谢的影响[J].职业与健康,2015,31(19):2637-2639.
- [18] SPACCAROTELLA K J, ANDZEL W D. Building a beverage for recovery from endurance activity: a review[J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 2011, 25(11): 3198-3204.
- [19] 张燕,丁建国,赵光.运动性疲劳的机制研究与进展[J].中国临床康复,2006,10(44):133-136.
- [20] 朱广超.沙苑子对运动训练大鼠糖代谢、血清尿素氮和血乳酸含量的影响[J].西北大学学报(自然科学版),2010,40(4):655-658.
- [21] 蔚兵.不同运动情况下补糖对小鼠肌糖原的影响[J].山东体育科技,2006,28(1):23-24.
- [22] 董碧莲,蔡延渠,吕莉,等.中药多糖增强免疫、抗疲劳作用的研究进展[J].中成药,2019,41(5):1119-1124.

复配乳化剂HLB值对壳聚糖精油复合膜物理和结构性能的影响

孟文博, 连欢, 赵翰卿, 彭勇*

(山东农业大学 食品科学与工程学院, 山东 泰安 271000)

摘要:通过复配吐温 and 司盘获得不同亲水亲油平衡(hydrophile lipophilic balance, HLB)值的复配乳化剂, 探究乳化剂 HLB 值对壳聚糖精油复合膜的物理和结构性能的影响。结果表明, HLB 值在 9~15 之间, 单独乳化剂与精油体积比 1:5 和 1:10 均可获得较小的精油粒径。乳化剂加入壳聚糖精油复合膜中, 随着乳化剂 HLB 值的升高, 膜乳液的粒度逐渐减小。与加入精油的对照膜相比, 乳化剂的添加可以提高膜的 L^* 值, 降低膜的厚度、膨胀度和水溶性, 但乳化剂 HLB 值对膜的抗拉强度和断裂伸长率影响较小。在乳化剂 HLB 值 11~15 之间时, 可获得较高的 DPPH 自由基清除率。从扫描电镜结果来看, 乳化剂能显著降低复合膜中精油的粒径。综合来看, HLB 值为 13 时, 能获得性能较好的复合膜。

关键词:复配乳化剂; 亲水亲油平衡(hydrophile lipophilic balance, HLB)值; 壳聚糖膜; 植物精油; 物理性能

Effect of Compound Emulsifier HLB Value on Physical and Structural Properties of Chitosan-Essential Oil Composite Films

MENG Wen-bo, LIAN Huan, ZHAO Han-qing, PENG Yong*

(College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271000, Shandong, China)

Abstract: The complex emulsifiers with different HLB values were obtained by compounding Tween and Span. The effects of emulsifier HLB on the physical and structural properties of chitosan oil composite film were investigated. The results showed that a smaller particle size was obtained by the proportion of 1:5 and 1:10 between the single emulsifier and essential oil when HLB value was from 9 to 15. When the emulsifier was added into the chitosan essential oil composite film solution, the particle size of the film solution gradually decreased with the increase of the HLB value. Moreover, compared with the control film, the L^* value of the film increased with the addition of emulsifier, the thickness, swelling and water solubility of film were reduced. But the effect of the emulsifier HLB value on the tensile strength and elongation at break of the film was little. Higher DPPH free radical scavenging rates were obtained with the HLB values from 11 to 15. From the results of scanning

作者简介:孟文博(1992—),男(汉),在读研究生,研究方向:果蔬采后保鲜及全降解包装膜。

* 通信作者:彭勇(1980—),男(汉),讲师,博士。

- [23] 钟达财, 徐加泉, 罗雪婷, 等. 运动性疲劳生化监测方法的研究进展[J]. 东华理工大学学报(社会科学版), 2019, 38(3): 269-274.
- [24] 郭新明, 吴丽君, 向欢. 间歇性大强度运动前后人体血清代谢组学特征[J]. 中国运动医学杂志, 2019(9): 755-761.
- [25] 顿耀山, 石月, 彭晓庐, 等. 中药运动营养补剂作用机制的研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(15): 415-423.
- [26] 向超宗, 杨小庆. 杏鲍菇多糖抗运动性疲劳机制[J]. 中国食用菌, 2020, 39(3): 37-40.
- [27] 张雅莉, 黄晓旭, 蔡美琴. 枸杞多糖缓解小鼠体力疲劳作用研究及机制探讨[J]. 营养学报, 2015, 37(6): 616-618.
- [28] 王丽敏, 舒适, 杨娟. 楮实多糖对小鼠抗疲劳作用的研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(22): 25-28.
- [29] 文镜, 陈文, 金宗镡. 用血糖动态变化评价抗疲劳功能食品可行性的研究[J]. 食品科学, 1997, 18(11): 6-10.
- [30] 崔云前, 袭祥雨, 周长生. 芦笋营养价值及新型加工技术的研究[J]. 食品科技, 2020, 45(7): 88-92.

加工编辑:冯娜

收稿日期:2020-02-27