

# 复配粗提物对氧化应激型视力损伤的保护

刘焱杰<sup>1</sup>, 王彪<sup>2</sup>, 朱巧梅<sup>1</sup>, 李丽维<sup>3</sup>, 王玥<sup>3</sup>, 周王谊<sup>3</sup>, 徐阎<sup>3</sup>, 徐咏全<sup>3</sup>, 王浩<sup>1\*</sup>

(1. 天津科技大学食品科学与工程学院, 天津 300457; 2. 天津科技大学化工学院, 天津 300457;  
3. 天士力研究院, 天津 300410)

**摘要: 目的** 探讨 4 种复配粗提物对眼睛的保护作用。**方法** 对小鼠连续干预 8 周后强光造模, 进行小鼠视网膜电图(electroretinogram, ERG)和视网膜光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)检测, 并采集视网膜进行基因表达测定。**结果** ERG 结果显示, 与模型组比较, 粗提物干预组 a 波振幅和明场 b 波振幅均升高( $P < 0.05$ )。OCT 结果显示, 与模型组比较, 小鼠视网膜外核层(outer nuclear layer, ONL)萎缩现象均得到了不同程度的改善。肿瘤坏死因子(tumor necrosis factor- $\alpha$ , TNF- $\alpha$ )和白介素-1 $\beta$  (interleukin-1 $\beta$ , IL-1 $\beta$ )基因的表达结果显示, 复配粗提物均可抑制视网膜 TNF- $\alpha$  和 IL-1 $\beta$  基因的表达。**结论** 复配粗提物可能对炎症相关的视疲劳具有缓解作用。

**关键词:** 熟地黄; 枸杞子; 菊花; 铁皮石斛; 复配; 抗氧化

## Protection of compound crude extracts against oxidative stress induced visual impairment

LIU Yao-Jie<sup>1</sup>, WANG Biao<sup>2</sup>, ZHU Qiao-Mei<sup>1</sup>, LI Li-Wei<sup>3</sup>, WANG Yue<sup>3</sup>, ZHOU Wang-Yi<sup>3</sup>,  
XU Yan<sup>3</sup>, XU Yong-Quan<sup>3</sup>, WANG Hao<sup>1\*</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China; 2. College of Chemical Engineering and Materials Science, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;  
3. Tasly Academy, Tianjin 300410, China)

**ABSTRACT: Objective** To investigate the protective effect of 4 kinds of compound crude extracts on eyes. **Methods** After 8 weeks of continuous intervention, the mice were modeled by strong light, then detected the electroretinogram (ERG) and optical coherence tomography (OCT) of the retina, and collected the retina for gene expression determination. **Results** The ERG results showed that compared with the model group, both the a-wave amplitude and bright field b-wave amplitude of the crude extract intervention group increased ( $P < 0.05$ ). The OCT results showed that compared with the model group, the atrophy of the outer nuclear layer (ONL) of mouse's retina had been improved in varying degrees. The results of TNF- $\alpha$  and IL-1 $\beta$  gene expression showed that the compound crude extract could inhibit the expression of TNF- $\alpha$  and IL-1 $\beta$  gene in the retina. **Conclusion** The compound crude extract may alleviate inflammation related visual fatigue.

**KEY WORDS:** prepared *Rehmannia* root; *Fructus lycii*; *Chrysanthemum*; *Dendrobium candidum*; compound; antioxidant

\*通讯作者: 王浩, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为功能因子活性分离。E-mail: wanghao@tust.edu.cn

\*Corresponding author: WANG Hao, Associate Professor, Tianjin University of Science and Technology, 29 the Thirteenth Street, Economic and Technological Development Zone, Binhai New Area, Tianjin 300457, China. E-mail: wanghao@tust.edu.cn

## 1 引言

枸杞子(*Fructus lycii*)、菊花(*Chrysanthemum*)、熟地黄(prepared *Rehmannia* root)、铁皮石斛(*Dendrobium candidum*)在我国有非常悠久的历史<sup>[1-4]</sup>。刘雨萌等<sup>[5]</sup>研究发现,枸杞子具有保护视力的作用。蔡琳等<sup>[6]</sup>研究发现,菊花具有消炎去火、明目保肝的效果。熟地黄属玄参科植物,周国威等<sup>[7]</sup>研究发现,熟地黄具有抗炎、抗氧化和调节细胞增殖的能力。除此以外,肖开心等<sup>[8,9]</sup>研究发现,铁皮石斛具有免疫调节、抗疲劳和抗氧化等作用,是一种药食同源性原材料。

视疲劳是一种眼部综合症,眼组织氧化应激诱导的炎症是导致视疲劳发生的重要内因之一<sup>[10]</sup>。唐琼<sup>[11]</sup>研究发现,视疲劳主要表现为眼痒干涩,畏光流泪等症状,自由基诱发的炎症因子和脂质过氧化物是视疲劳发生的病理基础。Kumar 等<sup>[12,13]</sup>研究发现,过强的光照可引起体内自由基含量显著上升,造成人体眼球组织受损并伴随视力的下降。Wang 等<sup>[14]</sup>研究发现,强光可引起视网膜内肿瘤坏死因子(tumor necrosis factor- $\alpha$ , TNF- $\alpha$ )和白介素-1 $\beta$  (interleukin, IL-1 $\beta$ )促炎基因的表达,并引发一些视网膜疾病。

为探讨复配粗提物对眼睛的保护作用,本文采用 4 种复配粗提物为原料,以 C57BL/6J 小鼠为实验动物,经强光照射后,通过对小鼠眼球视网膜电图(electroretinogram, ERG)、视网膜光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)和视网膜组织基因表达的测定,探讨其对炎症相关的视疲劳的缓解作用。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料与试剂

基础饲料、实验小鼠[斯贝福(北京)生物技术有限公司]。

水合氯醛(AR>99%)(上海麦克林生化科技有限公司);复方托吡卡胺滴眼液[参天制药(中国)有限公司];氧氟沙星眼膏(沈阳兴齐眼药股份有限公司)。

LS120d-II型 LED 灯(深圳市爱图仕影像器材有限公司);U-3900 型紫外分光光度计(日本 HITACHI 公司)。实时荧光定量 PCR(qRT-PCR)试剂盒、cDNA 合成试剂盒[自天根生化科技(北京)有限公司];My Cycler 聚合酶链式反应仪(polymerase chain reaction, PCR)、MyiQ2 实时荧光定量 PCR 仪(美国 Bio-Rad 公司)。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 提取物来源

称取熟地黄、枸杞子、菊花、铁皮石斛(均符合 2015 版《中华人民共和国药典》标准)4 种药材,其中熟地黄和枸杞子分别采用水提醇沉的方法[水煎 3 次,将提取液合

并浓缩后加入乙醇进行醇沉(含醇量为 80%),将醇沉后沉淀干燥],分别得到熟地黄的提取物和枸杞子的提取物。采用水提的方法处理菊花和铁皮石斛(水煎 3 次,将提取液合并浓缩干燥即得),分别得到菊花的提取物和铁皮石斛的提取物。(每克熟地黄提取物、枸杞子提取物、菊花提取物、铁皮石斛提取物分别相当于熟地黄生药材 3.14 g、枸杞子生药材 3.488 g、菊花生药材 4.255 g、铁皮石斛生药材 4.384 g)。

#### 2.2.2 实验动物

健康雄性 C57BL/6J 小鼠,6 周龄,(18 $\pm$ 1) g,来自于斯贝福(北京)生物技术有限公司,许可证号为 SCXK(京)2016-0002,饲养于实验动物中心(23 $\pm$ 2) °C,相对湿度 55%至 75%)。小鼠被置于白色塑料笼中,每笼 4 只,每组 3 笼。动物房从早上 7 点至晚上 7 点给予正常光照,其余时间无光照,并且为动物提供充足的食物和水。本研究的所有实验程序均按照天津科技大学动物实验伦理委员会批准的方案进行。

#### 2.2.3 动物分组及光损伤模型制备

实验动物被分成正常对照组(normal, NOR)、光损伤模型组(model, MOD)、熟地黄+枸杞子组(S+G)、熟地黄+菊花组(S+J)、熟地黄+铁皮石斛组(S+T)和枸杞子+菊花+熟地黄组(GJS),每组 12 只。实验期间采用灌胃方式进行给药,根据预实验结果确定给药剂量(表 1),连续给药 8 周。

给药结束后对小鼠进行强光照射,造模过程中无外界光源干扰。光强为(9000 $\pm$ 500) Lux,每天照射 4 h,连续照射 7 d,每次光照前对小鼠眼球进行涂抹眼药处理。采用垂直方式进行强光照射,保证温度维持在(23 $\pm$ 2) °C,避免温度升高造成小鼠眼球光热损伤的可能。照射期间保证小鼠的正常进食与饮水。

表 1 实验给药剂量  
Table 1 Experimental dose

| 分组  | 剂量/(mg/kg bw) |     |     |      |
|-----|---------------|-----|-----|------|
|     | 熟地黄           | 枸杞子 | 菊花  | 铁皮石斛 |
| S+G | 450           | 460 |     |      |
| S+J | 450           |     | 380 |      |
| S+T | 450           |     |     | 30   |
| GJS | 450           | 460 | 380 |      |

#### 2.2.4 体重及摄食量记录

体重及摄食量自给药开始后进行记录,其体重每周称量一次,共计 8 周,摄食量每天测量一次并记录。

#### 2.2.5 视网膜电图检测

小鼠在检查前进行避光处理 12 h。配制 5%的水合氯

醛溶液, 采用 0.01 mL/g 体重的剂量对小鼠进行腹腔注射, 麻醉后用 0.1 mg/mL 硫酸阿托品滴眼液进行散瞳处理。整个实验过程在红光下进行, 记录视网膜电图, 记录电极为角膜环形电极, 参考电极接近眼的面部皮肤, 接地电极接尾部。实验结束后对小鼠眼球表面涂抹氧氟沙星眼膏, 防止眼球长时间干燥引起小鼠眼球脱水。

2.2.6 光学相干断层扫描

整个实验过程在红光条件下进行。小鼠麻醉后进行散瞳处理。将麻醉好的小鼠放置于固定架上进行固定, 将小鼠眼球与透光镜进行充分接触, 眼球位置摆正后通过光学相干断层扫描仪对小鼠视网膜厚度进行测量。每只小鼠在实验结束后进行涂抹眼膏处理, 防止长时间干燥引起小鼠眼球脱水。

2.2.7 实时荧光定量(quantitative real-time PCR)

使用 Trizol 提取视网膜组织中的总 RNA, 反转录得 cDNA, 并于 -80 °C 保存。SYBR Green 试剂盒检测基因表达水平, 以 3-磷酸甘油醛脱氢酶 (glyceraldehydes-3-phosphate dehydrogenase, GAPDH) 为内参基因, 引物设计如表 2 所示。反转录及实时荧光定量 PCR 程序参照试剂盒具体说明进行。

2.3 统计学分析

本实验统计方法采用 SPSS 22.0 软件进行统计学处理, 结果以  $X \pm SD$  表示,  $P < 0.05$  表示具有统计学差异。

3 结果与分析

3.1 体重

各组小鼠体重自开始给药时进行记录。如图 1 所示, 初始体重结果显示, S+G、S+J、S+T、GJS 组与 MOD 组比较没有统计学差异 ( $P > 0.05$ )。至实验末期(图 2), 各组小鼠体重无明显差异 ( $P > 0.05$ ), 提示各受试物不影响小鼠的体重增长。(表中上标字母表示显著性, 若任意两组字母不同, 说明两组之间具有统计学差异 ( $P < 0.05$ ))。

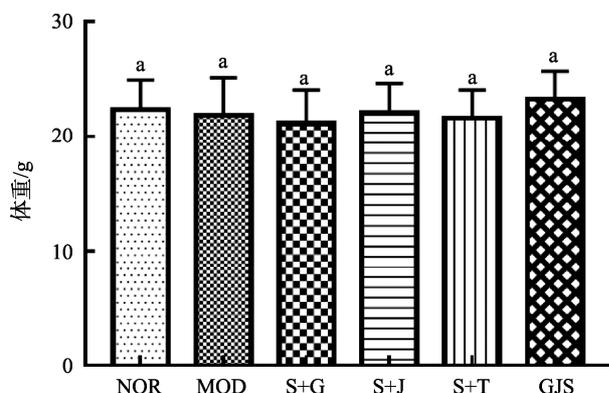
3.2 视网膜电图结果分析

ERG 实验结果如表 3 所示, ERG 的振幅越高, 说明小鼠眼球对光的反应越敏感<sup>[15]</sup>。0.01 a 波的结果表明, 正常组小鼠振幅为  $(35.28 \pm 3.24) \mu V$ , 与正常组小鼠比较, 模型组小鼠的振幅降低了 42.21%, 说明光照造模成功。S+G、S+J、S+T、GJS 组小鼠 0.01 a 波振幅明显高于模型组小鼠 ( $P < 0.05$ ), 升高率分别为 35.26%、40.02%、38.16%、48.31%, 且 GJS 组小鼠视网膜 0.01 a 波振幅优于两两复配组。

3.0 a 波的结果表明, 正常组小鼠振幅为  $(62.38 \pm 5.28) \mu V$ , 与正常组小鼠比较, 模型组小鼠的振幅降低了 46.18%。S+G、S+J、S+T、GJS 组可显著提高模型组小鼠 3.0 a 波振幅 ( $P < 0.05$ ), 升高率分别为 36.67%、43.70%、40.69%、49.60%, 且 GJS 组小鼠视网膜 0.01 a 波振幅优于两两复配组。

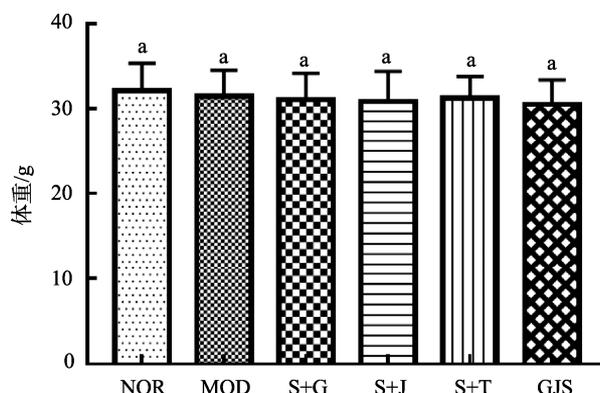
表 2 视网膜组织中与炎症相关基因及其上下游引物序列  
Table 2 Primer sequences of genes related to inflammation and in the retina

| 基因            | 上游引物                  | 下游引物                   |
|---------------|-----------------------|------------------------|
| TNF- $\alpha$ | CACAAGATGCTGGGACAGTGA | TCCTTGATGGTGGTGCATGA   |
| IL-1 $\beta$  | TGCCACCTTTTGACAGTGATG | AAGGTCCACGGGAAAGACAC   |
| GADPH         | CGGCCGCATCTTCTTGTG    | CCGACCTTCACCATTTGTCTAC |



注: 上标字母相同表示组间无统计学差异 ( $P > 0.05$ )。

图 1 初始体重 (n=12)  
Fig.1 Initial weight (n=12)



注: 上标字母相同表示组间无统计学差异 ( $P > 0.05$ )。

图 2 最终体重 (n=12)  
Fig.2 Final weight (n=12)

明适应 b 波的结果表示, 正常组小鼠振幅为 (75.31±6.74)  $\mu\text{V}$ , 与正常组小鼠比较, 模型组小鼠的振幅降低了 56.79%。与模型组比较, S+G、S+J、S+T 和 GJS 组小鼠的振幅均显著升高 ( $P < 0.05$ ), 升高率分别为 37.00%、46.31%、48.34% 和 63.52%, 且 GJS 组小鼠视网膜 0.01 a 波振幅优于两两复配组。

表 3 视网膜电生理振幅  
Table 3 ERG amplitude of retina in each group

| 分组  | 0.01 a/ $\mu\text{V}$    | 3.0 a/ $\mu\text{V}$     | 明适应 b 波                 |
|-----|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| NOR | 35.28±3.24 <sup>a</sup>  | 62.38±5.28 <sup>a</sup>  | 75.31±6.74 <sup>a</sup> |
| MOD | 20.39±2.54 <sup>d</sup>  | 33.57±2.22 <sup>d</sup>  | 32.54±2.79 <sup>d</sup> |
| S+G | 27.58±2.58 <sup>c</sup>  | 45.88±3.68 <sup>c</sup>  | 44.58±4.79 <sup>c</sup> |
| S+J | 28.55±2.85 <sup>bc</sup> | 48.24±4.57 <sup>bc</sup> | 47.61±3.22 <sup>c</sup> |
| S+T | 28.17±2.64 <sup>bc</sup> | 47.23±4.25 <sup>bc</sup> | 48.27±4.62 <sup>c</sup> |
| GJS | 30.24±2.81 <sup>b</sup>  | 50.22±4.69 <sup>b</sup>  | 53.21±4.86 <sup>b</sup> |

注: 上标字母相同表示组间无统计学差异 ( $P > 0.05$ ), 上标字母不同表示组间有统计学差异 ( $P < 0.05$ )。

### 3.3 OCT 结果分析

光学相干断层扫描法是利用眼内不同组织对光的反射性的不同, 分析出不同组织的结构及其厚度的一种方法<sup>[16]</sup>。测定结果如表 4 所示, 正常组 ONL 层厚度为 (63.21±5.21)  $\mu\text{m}$ , 与正常组比较, 模型组小鼠降低 17.20%, 具有统计学差异 ( $P < 0.05$ )。与模型组比较, S+G、S+J、S+T、GJS 组小鼠 ONL 层厚度均显著增加 ( $P < 0.05$ ), 增加率分别为 8.67%、7.89%、8.43%、12.11%, 且 GJS 组小鼠视网膜 ONL 层厚度优于两两复配组。

表 4 视网膜 ONL 层厚度比较  
Table 4 Comparison of retinal ONL thickness

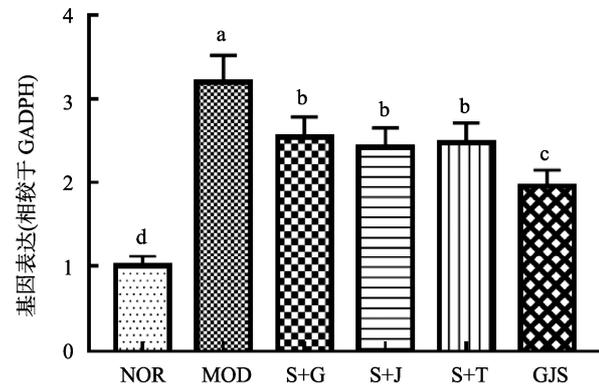
| 分组  | 数量 | ONL 厚度/ $\mu\text{m}$   |
|-----|----|-------------------------|
| NOR | 12 | 63.21±5.21 <sup>a</sup> |
| MOD | 12 | 52.34±4.57 <sup>c</sup> |
| S+G | 12 | 56.88±5.13 <sup>b</sup> |
| S+J | 12 | 56.47±4.87 <sup>b</sup> |
| S+T | 12 | 56.75±5.21 <sup>b</sup> |
| GJS | 12 | 58.68±4.71 <sup>b</sup> |

注: 上标字母相同表示组间无统计学差异 ( $P > 0.05$ ), 上标字母不同表示组间有统计学差异 ( $P < 0.05$ )。

### 3.4 复配粗提物对视网膜中促炎基因表达水平的影响

炎症相关细胞因子的表达与视网膜光氧化损伤有关。

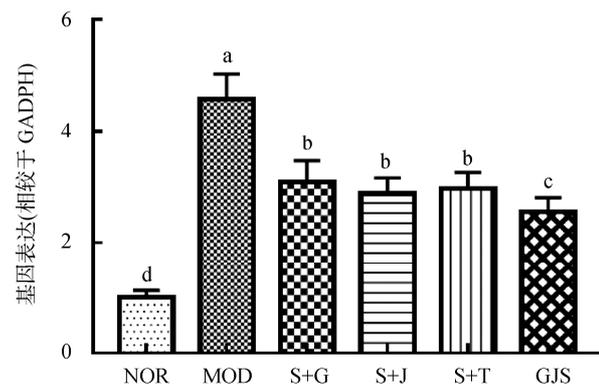
由图 3 和图 4 可知, 模型组 TNF- $\alpha$  和 IL-1 $\beta$  mRNA 相对表达量均显著高于对照组; 与模型组相比, 各复配粗提物均可不同程度抑制 TNF- $\alpha$  和 IL-1 $\beta$  的表达 ( $P < 0.05$ ), 且 GJS 组的抑制作用优于两两复配组。



注: 上标字母相同表示组间无统计学差异 ( $P > 0.05$ ), 上标字母不同表示组间有统计学差异 ( $P < 0.05$ )。

图 3 复配粗提物对 TNF- $\alpha$  表达的影响 ( $n=12$ )

Fig. 3 Effect of compound crude extracts on the expression of TNF- $\alpha$  ( $n=12$ )



注: 上标字母相同表示组间无统计学差异 ( $P > 0.05$ ), 上标字母不同表示组间有统计学差异 ( $P < 0.05$ )。

图 4 复配粗提物对 IL-1 $\beta$  表达的影响 ( $n=12$ )

Fig. 4 Effects of compound crude extracts on the expression of IL-1 $\beta$  ( $n=12$ )

## 4 结论与讨论

水提醇沉的方法是提取中药活性成分的一个常用方法, 可以将枸杞子和熟地黄中的活性成分进行有效提取。水提醇沉而法得到的枸杞子提取物和熟地黄提取物成分比较复杂, 一般认为其中起主要作用的成分为粗多糖和一些多酚类等抗氧化物质<sup>[17]</sup>。张兆旺等<sup>[18]</sup>对水提醇沉的工艺研究发现, 提取有效成分受醇沉中乙醇含量的影响较大。当醇沉时, 乙醇含量达到 50%~60% 时, 可以使淀粉发生沉淀, 当含醇含量达到 75% 以上时, 除鞣质等成份外, 全部淀粉、多糖、蛋白质和无机盐类被沉淀下来。水提法是提取某些有效成分的基

本方法之一, 由于其成本较低, 经常被应用于片剂或丸剂的制备。与水提醇沉的方法一样, 水提法得到的粗提物中除多糖和多酚类物质外, 还包括一些蛋白质、黏液质等成分<sup>[19]</sup>。

视网膜是眼球的重要组成部分, 大多数视力疾病的发生都与视网膜的功能和形态异常有关。视网膜是一个多层细胞结构, 小胶质细胞穿梭现象是视网膜出现病变的重要表征。有研究发现, 在正常情况下, 小胶质细胞主要存在于外核层(outer nuclear layer, OPL), 但长时间的强光刺激后, 小胶质细胞开始逐渐向(outer nuclear layer, ONL)层迁移, 可能与两层之间的细胞膜屏障被破坏有关, 并伴有视网膜萎缩的情况发生<sup>[20]</sup>。这与我们的 OCT 实验结果是相互印证的。通过 OCT 和 ERG 实验我们发现, 与正常组小鼠视网膜相比, 接受强光刺激的小鼠视网膜 ONL 层出现了明显萎缩, 并且视网膜电图中 a 波和 b 波振幅明显降低。与模型组小鼠相比, 复配粗提物干预组的小鼠视网膜得到了明显恢复。

TNF- $\alpha$  和 IL-1 $\beta$  是两种促炎因子, 在组织中含量越高, 说明该组织病变越严重<sup>[21]</sup>。通过对促炎基因 TNF- $\alpha$  和 IL-1 $\beta$  基因表达发现, 复配粗提物对 TNF- $\alpha$  和 IL-1 $\beta$  基因的表达均有抑制作用。综合 ERG 数据及 OCT 成像检测, 与模型组比较, 复配粗提物干预均可对视网膜损伤起到保护作用, 并且 GJS 组的保护效果优于两两复配组。综上, 复配粗提物摄入能够增强机体的抗氧化作用, 可在后续研究中对复配粗提物中的功能成分进一步进行分离, 以期对复配中药材视疲劳类保护产品的开发提供科学依据。

## 参考文献

- [1] 吴蓓丽, 吴月国, 赵铮蓉, 等. 铁皮石斛免疫调节作用及相关活性成分多糖的研究进展[J]. 中草药, 2019, 50(21): 5373-5379.  
Wu BL, Wu YG, Zhao ZR, *et al.* Advances in immunoregulatory effects and bioactive compounds of polysaccharides from *Dendrobium officinale* [J]. Chin Tradit Herbal Drugs, 2019, 50(21): 5373-5379.
- [2] 陈思琦, 李佳欣, 吴鑫宇, 等. 熟地黄的药理学研究进展[J]. 化学工程师, 2019, 33(11): 46-50.  
Chen SQ, Li JX, Wu XY, *et al.* Advances in pharmacology of Prepared *Rehmannia Root* [J]. Chem Eng, 2019, 33(11): 46-50.
- [3] 宋颜君, 许利嘉, 缪剑华, 等. 野菊花的研究进展[J/OL]. 中国现代中药, 1-12[2020-05-29]. <https://doi.org/10.13313/j.issn.1673-4890.20190722006>.  
Song YJ, Xu LJ, Miao JH, *et al.* Research progress in *Chrysanthemum indicum* [J/OL]. Mod Chin Med, 1-12 [2020-05-29]. <https://doi.org/10.13313/j.issn.1673-4890.20190722006>.
- [4] 刘海霞. 枸杞子水提物调节氧化应激通路实现抗疲劳、抗糖尿病作用的活性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019.  
Liu HX. Study on the anti-fatigue and anti-diabetes effects of *Lycium Barbarum* L. water Extracts by regulating oxidative stress pathway [D]. Changchun: Jilin University, 2019.
- [5] 刘雨萌. 枸杞子多糖的降血糖和抗疲劳活性评价及片剂制备研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.  
Liu YM. Study on activities of antidiabetics and anti-fatigue of *Lycium*

- barbarum* and dablets preparation [D]. Changchun: Jilin University, 2016.
- [6] 蔡琳, 付田田. 菊花的药理临床应用探讨[J]. 黑龙江科学, 2020, 11(8): 26-27.  
Cai L, Fu TT. Investigation of pharmacology and clinical application of chrysanthemum [J]. Heilongjiang Sci, 2020, 11(8): 26-27.
- [7] 周国威, 夏天卫, 文志, 等. 熟地黄治疗痹证的中医认识及药理学研究进展[J]. 中医药导报, 2019, 25(20): 125-128.  
Zhou GW, Xia TW, Wen Z, *et al.* Advances in traditional Chinese medicine and pharmacology of prepared *Rehmannia root* [J]. Guid J Tradit Chin Med Pharm, 2019, 25(20): 125-128.
- [8] 肖开心, 朱滢嘉, 陈瑞, 等. 铁皮石斛药理作用研究进展[J]. 河南中医, 2020, 40(5): 788-792.  
Xiao KX, Zhu YJ, Chen R, *et al.* Progress in pharmacological action of *Dendrobium officinale* [J]. Henan Tradit Chin Med, 2020, 40(5): 788-792.
- [9] 张珊珊, 童薇, 胡婕伦, 等. 铁皮石斛多糖不同分级组分对小鼠免疫调节及肠道健康的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(12): 14-21.  
Zhang SS, Tong W, Hu JL, *et al.* Immunomodulation of polysaccharide fractions from *Dendrobium officinale* and their effects on colon health of mice [J]. Chin J Food, 2019, 19(12): 14-21.
- [10] 朱卉, 段国方, 王艳丽. 视疲劳患者血清 NO、SOD、MDA 水平检测结果分析[J]. 实用医药杂志, 2013, 30(6): 516-517.  
Zhu H, Duan GF, Wang YL. Analysis of serum NO, SOD, and MDA levels in patients with visual fatigue [J]. Prac J Med Pharm, 2013, 30(6): 516-517.
- [11] 唐琼. 缓解视疲劳功能性饮料的研发及其功效评价[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.  
Tang Q. The development of a functional beverage of alleviating visual fatigue and evaluation on its efficacy [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.
- [12] Kumar RN, George BP, Chandran R, *et al.* The influence of light on reactive oxygen species and NF- $\kappa$ B in disease progression [J]. Antioxidants (Basel, Switzerland), 2019, 8(12): 640.
- [13] 王志玲, 魏莹莹, 贾杨雪, 等. 视疲劳患者近视力受损的发生率及影响因素[J]. 国际眼科杂志, 2019, 19(10): 1800-1804.  
Wang ZL, Wei YY, Jia YX, *et al.* Incidence and risk factors of near vision impairment in patients with asthenopia [J]. Int J Ophth, 2019, 19(10): 1800-1804.
- [14] Wang Y, Zhao L, Wang C, *et al.* Protective effect of quercetin and chlorogenic acid, two polyphenols widely present in edible plant varieties, on visible light-induced retinal degeneration *in vivo* [J]. J Funct Funct Food, 2017, 33: 103-111.
- [15] 刘克高, 白凤阁, 陈长喜, 等. 根据 ERG 分类的视锥细胞营养不良患者外层视网膜结构特征[J]. 眼科, 2019, 28(5): 359-363.  
Liu KG, Bai FG, Chen CX, *et al.* Characteristics of outer retinal structure in cone dystrophy based ERG [J]. Ophthalmol, 2019, 28(5): 359-363.
- [16] 阮建祥. OCT 测量正常人视网膜后极部平均厚度和黄斑区分层体积的影响因素研究[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2018.  
Ruan JX. Study on the influence factors of the retinal average thickness of the posterior pole and the volume of the macular intraretinal layers in normal subjects measured by OCT [D]. Hefei: Anhui Medical University, 2018.
- [17] 王永涛, 顾瑞萍, 于华楠, 等. 枸杞子及其提取物在眼科中的应用及机理探讨研究[J]. 中临床临床, 2018, 10(34): 23-25.

- Wang YT, Jie RP, Yu HN, *et al.* An analysis of application mechanism of *Fructus Lycii* and its extract in ophthalmology [J]. *Clin J Chin Med*, 2018, 10(34): 23–25.
- [18] 张兆旺, 孙秀梅. 中药水提醇沉淀法应用中注意的问题[J]. *山东中医学院学报*, 1995, (6): 421–422.
- Zhang ZW, Sun XM. Problems to be noticed in the application of water extraction and alcohol precipitation of traditional Chinese medicine [J]. *J Shandong Univ TCM*, 1995, (6): 421–422.
- [19] 杨朝君, 严培, 罗禹, 等. 响应面法优化黄精叶多糖水提工艺[J]. *四川大学学报(自然科学版)*, 2020, 57(4): 791–796.
- Yang CJ, Yan P, Luo Y, *et al.* Optimization of water extraction process for polysaccharides from leaves of *polygonatum* by response surface methodology [J]. *J Sichuan Univ Technol (Nat Sci Ed)*, 2020, 57(4): 791–796.
- [20] 赵亚飞, 唐勇, 高婷, 等. 小檗碱抗小鼠视网膜光损伤及 P2X4 受体调节作用研究[J]. *中国中医眼科杂志*, 2018, 28(1): 12–16.
- Zhao YF, Tang N, Gao T, *et al.* Effect of berberine on mice with light-induced retinal damage and its mechanism involving P2X4 receptor mediation [J]. *Chin J Chin Ophth*, 2018, 28(1): 12–16.
- [21] 刘国荣, 郭东风, 许磊, 等. 中脑星形胶质细胞源性神经营养因子通过

降低 TNF- $\alpha$  和 IL-1 $\beta$  保护脓毒症心肌损伤大鼠[J]. *解剖学研究*, 2020, 42(3): 204–208.

Liu GR, Guo DF, Xu L, *et al.* MANF protects rats with sepsis myocardial injury by reducing TNF- $\alpha$  and IL-1 $\beta$  secretion [J]. *Anat Res*, 2020, 42(3): 204–208.

(责任编辑: 王 欣)

## 作者简介



刘焱杰, 硕士研究生, 主要研究方向为食品添加剂与功能配料。

E-mail: 2421247809@qq.com



王 浩, 副教授, 主要研究方向为功能因子活性分离。

E-mail: wanghao@tust.edu.cn