

明日叶查尔酮对增强免疫力和抗运动性疲劳的效果

张建伟

(唐山师范学院体育系, 河北 唐山 063000)

摘要:目的: 研究明日叶查尔酮增强过度训练小鼠的免疫力及抗疲劳的能力。方法: 建立雄性ICR小鼠8周跑台的过度训练模型, 将模型小鼠分为4个免疫大组(共200只, 每组 $n=50$), 每个免疫大组又分为低、中、高3个剂量组(160、320、800 mg/kg)、过度训练组及阳性对照组(红景天西洋参胶囊200 mg/kg) ($n=10$), 各剂量组以不同剂量的明日叶查尔酮灌胃并分别与过度训练组和阳性对照组进行比较, 评价过度训练小鼠抗疲劳能力相关指标; 并通过体液免疫、细胞免疫、单核巨噬细胞功能和自然杀伤细胞水平评价其免疫能力。结果: 与过度训练组比较; 明日叶查尔酮中、高剂量组的肌、肝糖原含量显著升高 ($P<0.05$), 血尿素氮含量、血清乳酸脱氢酶活力、血清肌酸激酶含量显著降低 ($P<0.05$), 并与阳性对照组没有显著差异; 中、高剂量明日叶查尔酮能够提高自然杀伤细胞水平, 促进小鼠抗体形成细胞增殖, 促进脾淋巴细胞增殖转化。结论: 明日叶查尔酮具有较好缓解运动性疲劳、增强免疫力的作用。

关键词: 明日叶查尔酮; 过度训练; 免疫; 抗运动性疲劳

Immunoenhancing and Anti-Athletic Fatigue Effect of Ashitaba Chalcone

ZHANG Jianwei

(Department of Physical Education, Tangshan Normal University, Tangshan 063000, China)

Abstract: Objective: To investigate the effect of ashitaba chalcone on enhancing immune function and relieving fatigue in overtrained mice. Methods: A mouse model of overtraining was established using male ICR mice subjected to 8-week treadmill training. The overtrained mice were divided into four groups with five small groups of 10 animals each: low-dose (160 mg/kg), middle-dose (320 mg/kg), high-dose (800 mg/kg), model control and positive control (200 mg/kg of *Herba Rhodiolae*-American ginseng capsule) groups. Ashitaba chalcone was gavaged to the animals. The anti-fatigue effect of ashitaba chalcone in overtrained mice was investigated by measuring related parameters, and we also evaluated the effect on immune function in terms of humoral immune parameters, cellular immune parameters, monocyte/macrophage functions and natural killer cell activity. Results: Compared with the overtraining group, the contents of muscle glycogen and hepatic glycogen significantly increased in the middle- and high-dose groups ($P < 0.05$), and serum lactate dehydrogenase, creatine kinase and blood urea nitrogen decreased ($P < 0.05$). Ashitaba chalcone at the middle and high doses could promote the proliferation of antibody-producing cells, the activity of natural killer cells, and the proliferation and transformation of mouse spleen lymphocytes. Conclusion: Ashitaba chalcone effectively ameliorates exercise-induced fatigue and enhances immune function.

Key words: ashitaba chalcone; overtraining; immunity; anti-athletic fatigue

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201709032

中图分类号: TS201.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 09-0196-06

引文格式:

张建伟. 明日叶查尔酮对增强免疫力和抗运动性疲劳的效果[J]. 食品科学, 2017, 38(9): 196-201. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201709032. <http://www.spkx.net.cn>

ZHANG Jianwei. Immunoenhancing and anti-athletic fatigue effect of ashitaba chalcone[J]. Food Science, 2017, 38(9): 196-201. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201709032. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2016-03-15

基金项目: 唐山市应用基础研究计划项目(1413025B); 国家自然科学基金青年科学基金项目(31501586); 河北省自然科学基金资助项目(C2015209288)

作者简介: 张建伟(1978—), 男, 讲师, 硕士, 主要从事运动训练学与运动营养学研究。E-mail: 353451852@qq.com

明日叶是一种多年生草本植物。长期以来人们将其作为一种蔬菜食用。明日叶有多种功效,包括抗癌、抗氧化、降血糖、降血脂等。其中主要的功效物质是明日叶中的查尔酮。近年来,明日叶查尔酮的功效研究主要针对其抗肿瘤、降低血糖和血脂方面^[1-2]。

运动员作为一个特殊人群,长期的高强度运动训练和比赛很容易产生运动疲劳^[3]。运动性疲劳是人体运动过程中出现的生理现象,是机体的一种氧化应激反应和警报性信号,引起运动能力下降、机体免疫力下降,疲劳的程度也能体现人体机能的生化变化。自从第五届国际运动生物化学会议1982年明确提出运动性疲劳的概念,科研人员对增加机体抗氧化能力、增强免疫力、延缓运动性疲劳方面的研究逐渐增多。如何增强运动员机体免疫力、延缓运动性疲劳的发生一直是运动医学领域重点关注的问题之一^[3-4]。

鉴于明日叶查尔酮具有极强的抗氧化能力,本实验采用雄性ICR小鼠过度训练运动模型,研究明日叶查尔酮对过度训练小鼠增强免疫力、抗疲劳的效果。

1 材料与方法

1.1 动物、材料与试剂

雄性ICR小鼠由北京维通利华实验动物技术有限公司提供,5周龄,体质量(22.8 ± 2.1) g。

明日叶查尔酮 海南兰地高新科技有限公司;
红景天西洋参胶囊 广州赛健生物科技有限公司;
血清睾酮试剂盒、血清皮质酮测定试剂盒、肌/肝糖原测定试剂盒、绵羊红细胞(sheep red blood cells, SRBC)、Hank's液(pH 7.2~7.4)、RPMI1640培养液、小牛血、伴刀豆蛋白A(concanavalin A, Con A)、3-巯丙基三甲氧基甲硅烷(3-mercaptopropyl trimethoxysilane, PMS)、3-(4,5-二甲基吡啶-2-基)-5-(3-羧基甲氧基苯基)-2-(4-磺苯基)-2H-四唑(3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-5-(3-carboxymethoxyphenyl)-2-(4-sulfophenyl)-2H-tetrazolium, MTS) 南京建成生物工程研究所;叶绿素蛋白-CD₃⁺淋巴细胞(chlorophyll protein-CD₃⁺, Percp-CD₃⁺)、荧光素异硫氰酸-CD₄⁺淋巴细胞(fluorescein isothiocyanate-CD₄⁺, FITC-CD₄⁺)、藻红蛋白-CD₈⁺淋巴细胞(phycoerythrin-CD₈⁺, PE-CD₈⁺) 美国R&D公司。

1.2 仪器与设备

动物跑台 淮北正华生物仪器设备有限公司;
FACSCalibur流式细胞仪 美国BD公司;DL-CG2N超净工作台 北京东联哈尔仪器公司;HW.SY11-KP3恒温水浴锅 北京市长风仪器仪表公司;5418R冷冻高速离心机 德国Eppendorf公司;FRIM可见分光光度计 法国Secomam公司;MCO-15AC CO₂培养箱 日本三洋公司;

IX71倒置显微镜 日本Olympus公司;HBS-1096酶标仪 上海精密仪器仪表有限公司;FSH-2型匀浆机 江苏省金坛市环宇科学仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 明日叶查尔酮灌胃液的配制

明日叶查尔酮与蒸馏水按照一定比例混合,得到质量浓度为40、80、200 mg/mL的灌胃液,备用。

1.3.2 模型制备、分组及运动训练方案

雄性ICR小鼠普通饲料喂养1周后,随机分为4个免疫大组(免疫组1~4)。每个免疫组各有过度训练组、阳性对照组和明日叶查尔酮低、中、高剂量组,每小组10只小鼠,每大组50只小鼠,共200只。

运动模型:在顾明^[5]的运动模型基础上,结合动物实际行为表现,建立适合本研究的动物模型。方案:8周跑台训练,跑台坡度1°。先进行1周的适应性训练10 m/min持续30 min。之后正式训练,每周训练6 d,休息1 d,每次从10 m/min开始,每5 min速率增加5 m/min,直至45 m/min结束训练。观察并记录动物的一般表现(毛色、活动、摄食量、死亡率等)及训练情况(跑步速度、动作协调性、精神疲倦情况、是否腹卧位、垂头、刺激后有无反应),训练过程中观察小鼠精神状态、饮食、睡眠等情况。

过度训练组:以运动模型为依据每天进行相应训练,每天补充同剂量的蒸馏水。

阳性对照组:以运动模型为依据每天进行相应训练,并给以红景天西洋参胶囊。红景天西洋参胶囊用蒸馏水配制成50 mg/mL的溶液,按说明书推荐用量经折算后的小鼠用量为200 mg/kg(以体质量计,下同)进行灌胃。每天运动前1 h进行灌胃,每只小鼠每天灌胃1次,每次4 mL/kg。

明日叶查尔酮低、中、高剂量组:以运动模型为依据每天进行相应训练,并给以明日叶查尔酮溶液(质量浓度为40、80、200 mg/mL的灌胃液)。每天运动前1 h进行灌胃,每只小鼠每天灌胃1次,每次为4 mL/kg,折算剂量为160、320、800 mg/kg。

1.3.3 指标测定

动物末次运动训练后,禁食12 h,小鼠眼球取血,血液离心得血清,备用;脱颈处死取小鼠肝脏和腿部肌肉迅速用锡纸包裹投入液氮冷冻, -80 °C保存,进行血清睾酮、血清皮质醇、肌糖原、肝糖原、血尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)、血清肌酸激酶(creatine kinase, CK)含量和血清乳酸脱氢酶(lactic dehydrogenase, LDH)活力测定^[6-10]。以上指标分别按照试剂盒说明进行操作。

各免疫组分别进行以下免疫功能测定。免疫组1:迟发性变态反应(delayed type hypersensitivity, DTH)、血

清溶血素抗体数、抗体形成细胞数 (antibody forming cells, PFC) 实验; 免疫组2: 腹腔巨噬细胞吞噬功能实验; 免疫组3: 碳廓清实验; 免疫组4: Con A诱导小鼠脾淋巴细胞转化实验、自然杀伤 (nature killer, NK) 细胞水平测定。

1.3.4 免疫功能结果判定

依据2003版《保健食品检验与评价技术规范》^[11] 增强免疫力功效的判定标准进行。在对免疫功能的评价中, 体液免疫、细胞免疫、单核巨噬细胞吞噬功能和NK细胞活性4个方面中有两个方面结果阳性, 即可判定该受试物具有增强免疫力的作用。而前3方面各包含两个实验, 其中只要有一个实验或任何一个实验的两个剂量组结果为阳性, 就判定该方面的实验结果为阳性。对于NK细胞活性实验, 只要有一个剂量组为阳性, 就判定NK细胞活性实验结果为阳性。

1.4 统计分析

采用SPSS 15.0软件进行统计分析, 明日叶查尔酮不同剂量组分别与过度训练组和阳性对照组比较, $P < 0.05$ 具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 实验小鼠一般表现

在整个实验过程中, 阳性对照组小鼠体毛有光泽, 活泼。过度训练组小鼠及明日叶查尔酮各剂量组小鼠在第2周以后毛发稀疏且蓬乱无光泽、精神萎靡、嗜睡。第4周时, 明日叶查尔酮中、高剂量组小鼠精神状态恢复, 体毛比较洁净, 较为活泼。整个实验过程中各组小鼠没有出现死亡情况。

2.2 血清睾酮及血清皮质酮含量变化

表1 小鼠血清睾酮及血清皮质酮水平 ($n=40$)

Table 1 The levels of serum testosterone and corticosterone in mice ($n=40$)		
组别	血清睾酮含量	血清皮质酮含量
过度训练组	$2.69 \pm 1.79^{\Delta}$	$679.67 \pm 243.52^{\Delta}$
阳性对照组	4.33 ± 1.21	357.68 ± 175.35
明日叶查尔酮低剂量组	$2.99 \pm 1.98^{\Delta}$	$520.35 \pm 198.87^{\Delta}$
明日叶查尔酮中剂量组	$4.48 \pm 1.99^{*}$	$347.54 \pm 179.46^{*}$
明日叶查尔酮高剂量组	$4.71 \pm 2.40^{*}$	$361.09 \pm 181.49^{*}$

注: *. 与过度训练组比较差异显著 ($P < 0.05$); Δ . 与阳性对照组比较差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

由表1可知, 与过度训练组比较, 明日叶查尔酮中、高剂量组小鼠血清睾酮含量显著升高 ($P < 0.05$), 血清皮质酮含量显著下降 ($P < 0.05$); 与阳性对照组比较, 明日叶查尔酮低剂量组小鼠血清睾酮含量显著降低 ($P < 0.05$), 血清皮质酮含量显著升高 ($P < 0.05$)。

2.3 明日叶查尔酮对抗疲劳效果的影响

2.3.1 明日叶查尔酮对肝糖原和肌糖原含量的影响

表2 明日叶查尔酮对小鼠肝糖原和肌糖原含量的影响 ($n=40$)

Table 2 Effect of ashitaba chalcone on the contents of liver glycogen and muscle glycogen in mice ($n=40$)		
组别	肝糖原含量	肌糖原含量
过度训练组	$10.54 \pm 2.11^{\Delta}$	$1.01 \pm 0.02^{\Delta}$
阳性对照组	13.52 ± 2.72	1.52 ± 0.07
明日叶查尔酮低剂量组	$11.11 \pm 1.24^{\Delta}$	$1.12 \pm 0.11^{\Delta}$
明日叶查尔酮中剂量组	$13.08 \pm 1.09^{*}$	$1.43 \pm 0.16^{*}$
明日叶查尔酮高剂量组	$14.11 \pm 1.21^{*}$	$1.58 \pm 0.05^{*}$

由表2可知, 与过度训练组比较, 明日叶查尔酮中、高剂量组小鼠的肝糖原和肌糖原含量都有显著升高 ($P < 0.05$); 与阳性对照组比较, 明日叶查尔酮低剂量组肌、肝糖原含量显著下降 ($P < 0.05$)。

2.3.2 明日叶查尔酮对BUN含量、LDH活性、CK含量的影响

表3 明日叶查尔酮对小鼠BUN、CK含量和LDH活力的影响 ($n=40$)

Table 3 Effect of ashitaba chalcone on the concentration of urea nitrogen, lactic dehydrogenase activity and creatine kinase activity in serum and liver homogenate of mice ($n=40$)

组别	BUN含量/ (mmol/L)	LDH活力/ (U/L)	CK含量/ (mmol/L)
过度训练组	$16.89 \pm 4.79^{\Delta}$	$4543.19 \pm 517.65^{\Delta}$	$496.38 \pm 154.04^{\Delta}$
阳性对照组	11.11 ± 3.42	4197.65 ± 493.47	327.65 ± 110.42
明日叶查尔酮低剂量组	$15.52 \pm 2.48^{\Delta\Delta}$	$4496.36 \pm 458.46^{\Delta}$	$468.79 \pm 109.76^{\Delta}$
明日叶查尔酮中剂量组	$12.11 \pm 2.04^{*}$	$4136.41 \pm 397.68^{*}$	$361.12 \pm 111.23^{*}$
明日叶查尔酮高剂量组	$11.44 \pm 0.98^{*}$	$4009.48 \pm 122.76^{*}$	$327.19 \pm 111.82^{*}$

注: Δ , $\Delta\Delta$. 与阳性对照组比较差异极显著 ($P < 0.01$)。

由表3可知, 与过度训练组比较, 明日叶查尔酮中、高剂量组小鼠的BUN、CK含量, LDH活力显著降低 ($P < 0.05$); 与阳性对照组比较, 明日叶查尔酮低剂量组LDH活力、CK含量显著升高 ($P < 0.05$), BUN含量极显著升高 ($P < 0.01$)。

2.4 明日叶查尔酮对小鼠体液免疫的影响

表4 明日叶查尔酮对小鼠抗体形成细胞数量和溶血素抗体积数的影响 ($n=10$)

Table 4 Effect of different doses of ashitaba chalcone on antibody-producing cell measurement and hemolysin measurement in mice ($n=10$)

组别	溶血空斑数/ (个/ 10^6 个脾细胞)	抗体积数
过度训练组	1420.00 ± 41.20	74.43 ± 11.32
阳性对照组	1820.00 ± 40.12	89.91 ± 31.24
明日叶查尔酮低剂量组	$1560.00 \pm 38.21^{\Delta}$	$73.65 \pm 29.54^{\Delta}$
明日叶查尔酮中剂量组	$1650.00 \pm 38.47^{*}$	$79.51 \pm 26.41^{\Delta}$
明日叶查尔酮高剂量组	$1890.00 \pm 350.50^{**}$	$88.56 \pm 54.16^{*}$

注: **. 与过度训练组比较差异极显著 ($P < 0.01$)。下同。

由表4可知, 与过度训练组比较, 明日叶查尔酮中、高剂量组小鼠抗体形成细胞数量显著升高 ($P < 0.05$),

$P<0.01$)；而与阳性对照组比较，明日叶查尔酮低剂量组小鼠抗体形成细胞显著降低 ($P<0.05$)，根据免疫功能判定标准，明日叶查尔酮的小鼠抗体形成细胞数实验结果阳性。

由表4还可知，与过度训练组比较，明日叶查尔酮高剂量组小鼠抗体形成细胞显著升高 ($P<0.05$)；而与阳性对照组比较，明日叶查尔酮低、中剂量组小鼠抗体形成细胞数显著降低 ($P<0.05$)，根据免疫功能判定标准，明日叶查尔酮的小鼠血清溶血素抗体形成细胞数实验结果为阴性。

2.5 明日叶查尔酮对小鼠细胞免疫的影响

表5 明日叶查尔酮对小鼠脾淋巴细胞转化和迟发型变态反应的影响 ($n=10$)

Table 5 Effect of different doses of ashitaba chalcone on spleen lymphocyte transformation and delayed type hypersensitivity in mice ($n=10$)

组别	淋巴细胞增殖能力	左、右耳质量差值/mg
过度训练组	0.08 ± 0.02	8.36 ± 1.44
阳性对照组	0.15 ± 0.05	6.24 ± 1.24
明日叶查尔酮低剂量组	$0.12 \pm 0.02^*$	$8.41 \pm 1.08^\Delta$
明日叶查尔酮中剂量组	$0.13 \pm 0.04^*$	$8.22 \pm 1.65^\Delta$
明日叶查尔酮高剂量组	$0.16 \pm 0.07^{**}$	$8.31 \pm 2.08^\Delta$

注：淋巴细胞增殖能力用 OD 值表征。

由表5可知，与过度训练组比较，明日叶查尔酮低、中、高剂量组小鼠淋巴细胞转化能力显著升高 ($P<0.05$, $P<0.01$)，根据免疫功能判定标准，明日叶查尔酮的小鼠脾淋巴细胞转化能力实验结果阳性。

由表5还可知，与过度训练组相比，明日叶查尔酮各剂量组左、右耳质量差值没有显著变化；与阳性对照组相比，明日叶查尔酮低、中、高剂量组相应指标显著升高 ($P<0.05$)，根据免疫功能判定标准，明日叶查尔酮的小鼠迟发型变态反应实验结果阴性。

2.6 明日叶查尔酮对小鼠NK细胞水平的影响

表6 明日叶查尔酮对小鼠NK细胞水平的影响 ($n=10$)
Table 6 Effect of different doses of ashitaba chalcone on NK cell activity in mice ($n=10$)

组别	NK细胞水平/%
过度训练组	25.25 ± 4.64
阳性对照组	29.99 ± 4.39
明日叶查尔酮低剂量组	$24.99 \pm 4.39^\Delta$
明日叶查尔酮中剂量组	$28.99 \pm 4.39^*$
明日叶查尔酮高剂量组	$29.14 \pm 6.98^*$

由表6可知，与过度训练组比较，明日叶查尔酮中、高剂量组的NK细胞水平显著升高 ($P<0.05$)；与阳性对照组比较，明日叶查尔酮低剂量组NK细胞水平显著降低 ($P<0.05$)，根据免疫功能判定标准，明日叶查尔酮的小鼠NK细胞水平测定实验结果阳性。

2.7 明日叶查尔酮对小鼠单核巨噬细胞吞噬功能的影响

表7 明日叶查尔酮对小鼠单核巨噬细胞碳廓清和腹腔巨噬细胞吞噬鸡红细胞的影响 ($n=10$)

Table 7 Effect of different doses of ashitaba chalcone on mouse monocyte macrophage carbon clearance and peritoneal macrophage phagocytosis ($n=10$)

组别	单核巨噬细胞吞噬指数	吞噬鸡红细胞能力	
		吞噬率/%	吞噬指数
过度训练组	5.25 ± 1.45	17.25 ± 5.45	0.22 ± 0.12
阳性对照组	6.23 ± 1.66	24.43 ± 4.98	0.45 ± 0.11
明日叶查尔酮低剂量组	$5.09 \pm 1.21^\Delta$	$18.33 \pm 3.87^\Delta$	$0.21 \pm 0.12^\Delta$
明日叶查尔酮中剂量组	$5.31 \pm 1.28^\Delta$	$19.19 \pm 4.62^\Delta$	$0.23 \pm 0.11^\Delta$
明日叶查尔酮高剂量组	$6.31 \pm 1.39^*$	$25.31 \pm 7.36^*$	$0.44 \pm 0.09^*$

由表7可知，与过度训练组比较，明日叶查尔酮高剂量组小鼠吞噬指数显著升高 ($P<0.05$)；与阳性对照组比较，明日叶查尔酮低、中剂量组吞噬指数显著降低 ($P<0.05$)，根据免疫功能判定标准，明日叶查尔酮作用的小鼠巨噬细胞碳廓清测定实验结果阴性。

由表7还可知，与过度训练组比较，明日叶查尔酮高剂量组的腹腔巨噬细胞对鸡红细胞的吞噬率和吞噬指数都显著升高 ($P<0.05$)；与阳性对照组比较，明日叶查尔酮低、中剂量组相应指标显著降低 ($P<0.05$)，根据免疫功能判定标准，明日叶查尔酮的小鼠腹腔巨噬细胞吞噬鸡红细胞能力的实验结果阴性。

3 讨论

运动性疲劳是运动员经常遇到的一个问题。伴随着运动性疲劳的发生，将出现一系列影响运动员身体健康的问题，甚至导致运动能力的急剧下降。其中，免疫力下降问题尤为突出。例如，运动员经常受到上呼吸道感染、单核细胞增多症的困扰^[12]。这些疾病都与机体免疫力低下有直接关系^[13-14]。因此，运动性疲劳与机体免疫力下降常常相伴而生，成为运动医学界的难题。西药副作用大，又面临运动员兴奋剂检测的问题。因此，科学家试图从药食两用的植物性食物中寻找能延缓运动员疲劳产生，预防和改善运动员免疫功能的功能性食品。明日叶是传统的药食两用植物^[2]，早在李时珍的《本草纲目》中就有记载。为了充分挖掘其功效，本研究通过建立过度训练的动物模型全面分析了明日叶中主要功效物质查尔酮对机体疲劳及免疫功能的影响。

参考文献[5]并根据预实验情况，本实验建立了小鼠过度训练模型。通过测定血清睾酮、血清皮质酮含量可以判断过度训练模型建立是否成功^[15-16]。经测定，与阳性对照组比较，过度训练模型小鼠的血清皮质酮含量显著增高，血清睾酮含量显著降低，而小鼠在过度训练后出现明显精神萎靡、睡眠障碍、食欲不振等症状。一系

列指标都表明,本研究建立的过度训练动物模型是成功的。为了更加客观、准确地反映明日叶查尔酮抗疲劳、增加免疫力的能力,在本实验中以药效明确的抗疲劳、增加免疫力的药物作为阳性对照。

CK是骨骼肌中重要的代谢酶。正常情况下肌细胞膜结构完整,CK不会透过细胞膜^[17-18]。当身体状况改变,比如运动时,就有可能使CK通过肌细胞膜进入血液,导致血液中的CK含量升高。尿素氮是蛋白质和氨基酸等含氮物质的代谢产物^[19-20]。运动训练使机体内的蛋白质代谢水平处于高位,尿素氮明显增加。因此,尿素氮常被作为反映运动量、身体机能和机体对训练负荷承受能力的指标。LDH在催化糖代谢的丙酮酸和乳酸间的相互转变中起重要作用。剧烈运动后,血液及组织中乳酸的大量产生使人体感到疲劳。通过测定LDH活力可以评定乳酸生成量,从而反映机体对运动负荷的适应程度^[21]。本实验结果中,与阳性对照组比较,过度训练组小鼠血清CK、BUN含量,LDH活力显著升高,说明过度训练对机体产生了极大影响,而补充一定剂量明日叶查尔酮后,相应指标显著降低,与阳性对照组比较没有显著差异。研究表明,中、高剂量组明日叶查尔酮能够起到抗疲劳的作用。糖原是肌肉活动中能量的主要来源,大强度运动使糖原耗竭,肌糖原消耗的同时,为了维持血糖水平,肝糖原储备量随之减少^[22-24]。因此糖原含量能够说明疲劳发生的快慢或程度^[25-26]。从实验结果可知,过度训练组和明日叶查尔酮低剂量组的肌糖原和肝糖原含量显著低于阳性对照组,而明日叶查尔酮中、高剂量组与阳性对照组比较没有显著差异。研究表明,中、高剂量组明日叶查尔酮可以通过增加糖原储备给机体提供更多能量,以达到抗疲劳目的,对延缓疲劳的产生具有良好的保健作用。

NK细胞是一类大颗粒淋巴细胞,它具有直接杀伤靶细胞的作用。现已证实,NK细胞不仅在机体的细胞免疫中占重要作用,而且在运动过程中免疫系统的机能变化中占重要位置。在长时间耐力性训练后NK细胞浓度持续下降^[27]。本实验结果表明,中、高剂量明日叶查尔酮可以显著增加过度训练小鼠NK细胞水平,提高机体免疫力。抗体形成细胞检测实验的原理为,绵羊红细胞免疫的小鼠脾细胞悬液与一定量绵羊红细胞混合,经补体参与,使分泌抗体的脾细胞周围的绵羊红细胞溶解,形成肉眼可见的空斑^[28]。溶血空斑数可反映抗体形成细胞数。抗体形成细胞数通常作为反映体液免疫情况的指标。当机体进行大强度运动产生运动疲劳时,通常抗体形成细胞数减少,造成免疫力降低。本实验结果表明,中、高剂量明日叶查尔酮可以显著提高过度训练小鼠抗体形成细胞数,说明明日叶查尔酮可以通过增加抗体形成细胞数增强机体免疫。脾脏是体内的最大外周免

疫器官,是T、B淋巴细胞定居及接受抗原刺激进而产生免疫应答的重要场所,在机体的免疫防御、免疫调节、免疫修复及免疫监视等多环节都发挥着重要的作用^[29]。本实验结果表明,中、高剂量明日叶查尔酮能够显著促进过度训练小鼠脾淋巴细胞成熟、转化,进而提高机体细胞免疫能力。在免疫功能的评价中,根据已有的规范标准^[6],本实验进行了体液免疫、细胞免疫、单核巨噬细胞功能和NK细胞活性4个方面的评定。其中,体液免疫、细胞免疫、NK细胞活性的实验结果均为阳性。因此,可以判定明日叶查尔酮确实能够改善过度训练小鼠的免疫功能。

4 结 论

明日叶查尔酮能够通过增加机体糖原储备,抵抗和延缓疲劳产生,通过增加NK细胞水平、提高抗体形成细胞数量和脾脏淋巴细胞转化能力来增强机体的免疫能力,而且其功效与已有的具备明确改善机体免疫力和抗疲劳药效的药物相类似。因此,本研究为充分利用明日叶,将明日叶查尔酮开发为增强机体免疫力、抗疲劳的运动营养补剂提供了参考。

参考文献:

- [1] 赵阳. 明日叶查尔酮对2型糖尿病大鼠葡萄糖转运体表达的影响[D]. 青岛: 青岛大学, 2013: 14.
- [2] 王庆平, 曹卿, 钟进义, 等. 明日叶查尔酮对2型糖尿病大鼠胰岛胰岛素受体表达的影响[J]. 中国食物与营养, 2013, 19(1): 69-72. DOI:10.3969/j.issn.1006-9577.2013.01.018.
- [3] 矫玮. 剧烈运动对机体免疫功能的影响以及检测与调节方法的研究[M]. 北京: 北京体育大学出版社, 2003: 135-138.
- [4] 张建伟, 刘海燕, 张森. 茶多酚对大强度耐力运动小鼠免疫功能的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(11): 367-369.
- [5] 顾明. 过度训练对大鼠肠道黏膜形态结构的影响及谷氨酰胺、大豆多肽的干预作用[D]. 扬州: 扬州大学, 2008: 27; 44-46.
- [6] 杨杰, 张玲莉, 陈炳霖, 等. 艾灸肾俞穴对男子散打运动员血清睾酮和免疫球蛋白的影响[J]. 上海体育学院学报, 2014, 38(5): 61-64. DOI:10.3969/j.issn.1000-5498.2014.05.012.
- [7] 翁锡全, 林洁如, 徐国琴, 等. 枸杞汁对男性大学生递增负荷运动期间血睾酮及皮质醇水平的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2016, 35(4): 344-348. DOI:10.16038/j.1000-6710.2016.04.006.
- [8] 张裕中, 王银晖, 陈晓光, 等. 游泳运动和自拟芦醇对II型糖尿病大鼠肝糖原及肝脏GLUT2的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2014, 33(2): 135-140. DOI:10.16038/j.1000-6710.2014.02.010.
- [9] 郭洋琴. 高压氧抗大鼠运动性疲劳的效应及机制研究[D]. 南昌: 江西科技师范学院, 2012: 32-35.
- [10] 陈婷, 李绪稳. 运动对机体血清中乳酸脱氢酶活性的影响[J]. 体育世界, 2015(4): 142. DOI:10.16730/j.cnki.61-1019/g8.2015.04.001.
- [11] 卫生部. 保健食品检验与评价技术规范[M]. 2003: 12-14.
- [12] FUJIWARA S, MATSUDA G, IMADOME K I. Humanized mouse models of Epstein-barr virus infection and associated diseases[J]. Pathogens, 2013, 2(1): 153-176. DOI:10.3390/pathogens1010153.

- [13] 华岩, 邓武装, 王春亮, 等. 牡蛎多糖对力竭运动小鼠免疫球蛋白、T淋巴细胞亚群、自然杀伤细胞、自然杀伤T淋巴细胞的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2014, 29(6): 571-573. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2014.06.016.
- [14] 袁红, 张淑芳, 贾绍辉, 等. 黄芪生物活性及其在保健食品中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(15): 330-334. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201415065.
- [15] 李秀娟, 秦旻. 我国女子足球运动员赛前机能综合评价系统的构建研究[J]. 天津体育学院学报, 2014, 29(4): 365-368. DOI:10.3969/j.issn.1005-0000.2014.04.018.
- [16] 张志成, 池建, 李兵. 我国优秀男子龙舟运动员身体机能评价模型的建立[J]. 北京体育大学学报, 2014, 37(3): 128-132.
- [17] 崔玉鹏, 杨则宜. 血清CK活性变化与运动导致的骨骼肌损伤[J]. 中国运动医学杂志, 2004, 23(3): 343-346. DOI:10.3969/j.issn.1000-6710.2004.03.029.
- [18] JEMNI M, SANDS W A, FRIEMEL F. Effect of active and passive recovery on blood lactate and performance during simulated competition in high level gymnasts[J]. Canadian Journal of Applied Physiology/revue Canadienne de Physiologie Appliquee, 2003, 28(2): 240-56. DOI:10.1139/h03-019.
- [19] 王强, 龙洁, 李贵杰, 等. 南瓜皮粗多糖对小鼠抗疲劳功效研究[J]. 食品科学, 2014, 35(13): 254-257. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201413050.
- [20] 李莉, 赵效国, 马龙, 等. 黑加仑提取物抗疲劳作用的动物实验研究[J]. 营养学报, 2008, 30(5): 499-501. DOI:10.3321/j.issn:0512-7955.2008.05.019.
- [21] WANG S Y, CAMP M J, EHLENFELDT M K. Antioxidant capacity and α -glucosidase inhibitory activity in peel and flesh of blueberry (*Vaccinium* spp.) cultivars[J]. Food Chemistry, 2012, 132(4): 1759-1768. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.11.134.
- [22] 朴美子, 郭芳言, 王莹. 蛹虫草黄豆浆发酵饮料对小鼠免疫及降血脂功能的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(1): 42-47.
- [23] 康连虎, 卞宝国, 李吕木, 等. 发酵小麦制酒精残渣中寡肽的抗氧化及免疫活性[J]. 食品科学, 2015, 37(3): 44-54. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201605032.
- [24] MIKAMI N, MATSUSHITA H, KATOT, et al. Calcitonin gene-related peptide is an important regulator of cutaneous immunity: effect on dendritic cell and T cell functions[J]. Journal of Immunology, 2011, 186(12): 6886-6893. DOI:10.4049/jimmunol.1100028.
- [25] TAKENAKA N, YASUDA N, NIHATA Y, et al. Role of the guanine nucleotide exchange factor in Akt2-mediated plasma membrane translocation of GLUT4 in insulin-stimulated skeletal muscle[J]. Cell Signal, 2014, 26(11): 2460-2469. DOI:10.1016/j.cellsig.2014.07002.
- [26] 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.
- [27] 李琦, 梅其柄, 张明杰, 等. 一组生物活性多糖对人NK细胞免疫活性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(1): 315-318.
- [28] 蒋蕊, 考书娟, 徐小娟, 等. 槲皮素对免疫低下小鼠体液免疫功能的影响[J]. 青岛农业大学学报, 2011, 28(2): 118-120. DOI:10.3969/J.ISSN.1674-148X.2011.02.010.
- [29] 徐寅. 保留脾脏的胰体尾切除术后并发症的早期观察与护理[J]. 实用临床医药杂志:护理版, 2008, 4(1): 72-73; 75. DOI:10.3969/j.issn.1672-2353.2008.02.03.