

亚麻籽对运动训练大鼠睾酮及相关激素含量 和抗运动疲劳能力的影响

文婧¹, 冀颐之², 谢飞^{2*}

(1. 北京联合大学 体育教学部, 北京 100101; 2. 北京联合大学 生物化学工程学院, 北京 100023)

[摘要] **目的:**研究亚麻籽对运动训练大鼠睾酮及相关激素含量和抗疲劳能力的影响。**方法:**以大强度耐力训练大鼠为模型,55只42d龄雄性SPF级Wistar大鼠为对象,以数字随机分组法分为5组:静止组(C组)、运动组(M组)、运动+亚麻籽(FM I组(FM I组)),运动+亚麻籽II组(FM II组),运动+亚麻籽III组(FM III组),各组均为10只。每天 ig 1次,亚麻籽剂量分别为 $0.75, 1.5, 4.5 g \cdot kg^{-1}$, ig 体积为 $5 mL \cdot kg^{-1}$,C,M组 ig 等量生理盐水。力竭游泳训练42d后,分别测定各组大鼠体重、力竭游泳时间和血清睾酮等相关生化指标。**结果:**体重M组 $< C$ 组($P < 0.05$);FM各组体重均 $> M$ 组($P < 0.05$),且FM组间无显著差异。力竭游泳时间,M组与C组无明显差异;FM各组明显长于M组($P < 0.01$)。血清睾酮水平,M组低于C组($P < 0.01$);FM各组均高于M组($P < 0.01$),分别为 $(4.83 \pm 1.15), (4.93 \pm 1.13), (5.11 \pm 1.12) nmol \cdot L^{-1}$,且组间无显著差异。血清皮质酮水平,C,M,FM各组间无显著差异。血清睾酮与皮质酮比值变化与睾酮变化较为一致。血清促黄体生成素、促卵泡激素水平,C组高于M组,但无显著差异;FM各组高于M组($P < 0.05$),且FM各组组间无显著差异。**结论:**补充亚麻籽可以纠正由于运动导致的下丘脑-垂体-性腺轴功能的紊乱,有效预防血清睾酮水平的降低,进而增强抗疲劳能力。

[关键词] 亚麻籽; 睾酮; 皮质酮; 促黄体生成素; 促卵泡激素; 抗疲劳

[中图分类号] R285.5 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2015)12-0099-05

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.2015120099

Effects of Flaxseed on Testosterone Content, Correlated Hormones Content and Exercise Capacity in Rats Receiving Exercise Training WEN Jing¹, JI Yi-zhi², XIE Fei^{2*} (1. School of Physical Education, Beijing Union University, Beijing 100101, China; 2. Biochemical Engineering College of Beijing Union University, Beijing 100023, China)

[Abstract] **Objective:** To study the effects of flaxseed on the content of testosterone, correlated hormones and anti-fatigue ability of rats after exercise. **Method:** By using the model of high-intensity endurance training, 55 6-week-old male Wistar rats were randomly divided into 5 groups, with 10 in each group (5 rats which did not meet the requirement were removed): control group (C group), motion group (M group), exercise + ig low-dose flaxseed group (FM I group), exercise + ig middle-dose flaxseed group (FM II group), and exercise + ig high-dose flaxseed group (FM III group). Gavage was performed using professional device once a day. The rats in flaxseed groups were gavaged with $0.75, 1.5, 4.5 g \cdot kg^{-1}$ with ig volume of $5 mL \cdot kg^{-1}$. The rats in C and M groups were given saline of same volume. After 42 days of exhaustive swimming training, body weight, swimming time and serum testosterone and other biochemical markers were measured. **Result:** Body weight of the rats in M groups was lower than that in C group ($P < 0.05$), and in all doses of flaxseed groups was higher than in M group ($P < 0.05$) which did not show any differences between flaxseed groups. Swimming time in all doses of flaxseed groups was longer than in M group ($P < 0.01$), and there were dose-response. Serum testosterone in M group was lower than C group ($P < 0.01$), in the same time, serum testosterone was higher in all doses of flaxseed groups than M group [FM I (4.83 ± 1.15) $nmol \cdot L^{-1}$, FM II (4.93 ± 1.13) $nmol \cdot L^{-1}$, FM III (5.11 ± 1.12) $nmol \cdot L^{-1}$,

[收稿日期] 20141217(022)

[基金项目] 北京市优秀人才培养项目(2012D005022000007)

[第一作者] 文婧, 硕士, 讲师, 从事体育教育训练学, Tel:13366397063, E-mail:ldtwenj@buu.edu.cn

[通讯作者] * 谢飞, 硕士, 讲师, 从事天然产物开发与应用, Tel:13522303921, E-mail:xf720124@163.com

$P < 0.01$]. The serum corticosterone levels in each group showed no significant differences. Changes in the ratio of serum testosterone/corticosterone were more consistent with testosterone changes among the groups. There were no differences in luteinizing hormone and follicle-stimulating hormone between C group and M group. But luteinizing hormone in all doses of flaxseed groups was higher than in M group ($P < 0.05$). In mean time, follicle-stimulating hormone in all doses of flaxseed groups was higher than in M group ($P < 0.05$). There were no differences in both luteinizing hormone and follicle-stimulating hormone between groups in all doses of flaxseed groups. **Conclusion:** The supplement of flaxseed can alleviate the hypothalamus-pituitary-gonad axis function disorder caused by exercise through multiple targets and multiple ways. Finally, flaxseed can prevent the decrease of serum testosterone after high-intensity exercise and improve anti-fatigue ability.

[Key words] flaxseed; testosterone; corticosterone; luteinizing hormone; follicle-stimulating hormone; anti-fatigue

亚麻籽是亚麻科、亚麻属的一年生或多年生草本植物亚麻的种子。味甘、性平;归肝、胃、大肠经^[1]。为药食同源之品,始载于《本草图经》。《中国药典》将其作为常用中药收载。亚麻籽中含有大量有益身体健康的物质,在降血压、调节血脂、降低胆固醇、防治心脑血管疾病、糖尿病、促进生长等方面均有重要作用。睾酮(testosterone, T)由男性的睾丸或女性的卵巢分泌,与运动能力密切相关。一系列的研究表明:适当剂量的补充天然产物可以有效的延缓因长时间、大强度运动训练导致的运动性血睾酮低下,进而保证机体肌肉蛋白质的合成,肌肉对葡萄糖的吸收以及肌糖元的合成与贮备,提升肌肉力量,缓解运动性疲劳的发生与发展,进而提高运动能力^[2-9]。如何科学有效地保障及提高运动员血睾酮水平,预防运动性低血睾酮现象的出现已成为国内外体育界专家学者研究的热点问题。本文以大强度耐力训练大鼠为模型,研究补充亚麻籽对机体抗运动疲劳能力的影响,旨在为其在运动营养领域的应用提供理论依据。

1 材料

1.1 药物 亚麻籽(flaxseed or linseed),产地内蒙古,北京同仁堂购得,批号140513021,并经高占友高级工程师(天津中瑞药业有限公司)鉴定。称取亚麻籽100 g粉碎(用粉碎机粉碎不过筛)后加蒸馏水500 mL,浸泡2 h,煮20 min后过滤。药渣加蒸馏水500 mL再煮15 min,过滤。合并2次滤液,浓缩至生药质量浓度 $4 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 存放备用。

1.2 试剂盒 睾酮、皮质酮(corticosterone, C),促黄体生成素(luteinizing hormone, LH)和促卵泡刺激素(follicle-stimulating hormone, FSH)试剂盒(天津九鼎医学生物工程技术有限公司提供,批号20140913)。

1.3 动物 SPF级雄性Wistar大鼠55只,42 d龄,平均体重(195.2 ± 12.3) g,北京大学医学部实验动物科学部提供,合格证号SCXK(京)2006-0008;北京体育大学动物饲养室饲养。

1.4 仪器 Phermo MK3型全自动酶标仪(芬兰雷勃公司),Avnti J-26 \times PI型高速冷冻离心机(美国Beckman Coulter公司),DKB-600B型电热恒温水箱(上海益恒实验仪器有限公司),UV7502 pcs型紫外-可见分光光度计(上海欣茂仪器有限公司)。

2 方法

2.1 动物分组 适应性饲养实验大鼠4 d后,进行为期3 d的 $20 \text{ min} \cdot \text{d}^{-1}$ 运动量的筛选^[2-8],淘汰5只不适应游泳训练的大鼠,将剩余大鼠以数字随机分组法分为5组:静止组(C组)、运动组(M组)、运动+亚麻籽I组(FM I组),运动+亚麻籽II组(FM II组),运动+亚麻籽III组(FM III组),每组10只。各组每天自由摄食饮水,并每日ig给药1次。FM各组剂量分别为 $0.75, 1.5, 4.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,相当于成人推荐剂量的5, 10, 30倍^[2-8]。ig体积为 $5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$, C, M 2组ig等量生理盐水。

2.2 训练及测试方案 静止组不进行任何运动。其他组进行负重游泳运动,均采用 $100 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ 的玻璃泳槽作为大鼠游泳训练装置,水深50 cm,水温(31 ± 2) $^\circ\text{C}$ 。训练42 d,第1周不负重,第2周负2%体重,第3周负4%体重,第4~6周负5%体重,每次游泳训练至力竭^[2-8]。处死前的最后1次为无负重力竭游泳训练,记录力竭时的游泳时间。大鼠力竭运动能力以大鼠开始游泳至力竭所用时间为指标。力竭标准以大鼠下沉后10 s不露出水面为度^[2-8]。

2.3 指标测定 实验大鼠末次训练24 h后称重,乙醚适度麻醉,颈总动脉处取5 mL全血测定血清睾

酮、皮质醇、促黄体生成素、促卵泡刺激素含量。加入柠檬酸钠溶液抗凝,37 ℃ 水浴 30 min 后,4 ℃ 3 000 r·min⁻¹离心 10 min,分离制备血清^[2-8]。各项指标均采用酶联免疫吸附法并严格按照试剂盒说明书进行测定。

2.4 数据统计 采用 SPSS 13.0 软件进行数据处理,数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,多组间比较采用方差分析,

$P < 0.05$ 为有统计学意义。

3 结果

3.1 对大鼠体重及运动能力的影响 体重方面,运动组显著 $<$ 静止组 ($P < 0.05$),FM 各组 $>$ 运动组 ($P < 0.05$)。运动能力方面,运动组与静止组无明显差异。FM 各组力竭游泳时间明显长于运动组 ($P < 0.01$)。见表 1。

表 1 亚麻籽对大鼠体重及运动能力的影响 ($\bar{x} \pm s, n = 10$)

Table 1 Effect of flaxseed on rats' body weight and exercise capacity ($\bar{x} \pm s, n = 10$)

组别	剂量 /g·kg ⁻¹	训练前体重 /g	训练后体重 /g	力竭游泳时间 /min
静止	-	195.15 ± 12.32	420.65 ± 12.14	82.32 ± 14.21
运动	-	194.54 ± 12.73	363.45 ± 12.17 ¹⁾	73.05 ± 14.07
运动 + 亚麻籽	0.75	195.19 ± 11.89	401.16 ± 12.21 ³⁾	105.21 ± 13.79 ⁴⁾
	1.5	195.49 ± 12.04	403.43 ± 12.69 ³⁾	109.25 ± 13.57 ⁴⁾
	4.5	195.26 ± 12.49	409.32 ± 12.35 ³⁾	113.31 ± 13.06 ⁴⁾

注:与静止组比较¹⁾ $P < 0.05$,²⁾ $P < 0.01$;与运动组比较³⁾ $P < 0.05$,⁴⁾ $P < 0.01$ (表 2 同)。

3.2 对大鼠血清睾酮、皮质酮、促黄体生成素、促卵泡刺激素的影响 血清睾酮水平,运动组显著低于静止组 ($P < 0.01$);FM 各组高于运动组 ($P < 0.01$)。血清皮质酮水平,运动组与静止组及 FM 各

组间无显著性差异。各组间血清睾酮/皮质酮变化与睾酮变化较为一致。血清促黄体生成素、促卵泡刺激素水平,静止组高于运动组,但无显著差异;FM 各组高于运动组 ($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 运动及亚麻籽对大鼠血清睾酮、皮质酮、促黄体生成素、促卵泡刺激素水平的影响 ($\bar{x} \pm s, n = 10$)

Table 2 Effect of exercise and flaxseed on rats' testosterone, corticosterone, luteinizing hormone and follicle-stimulating hormone ($\bar{x} \pm s, n = 10$)

组别	剂量 /g·kg ⁻¹	睾酮 /nmol·L ⁻¹	皮质酮 /nmol·L ⁻¹	睾酮/皮质酮 /×10 ⁻²	促黄体生成素 /U·L ⁻¹	促卵泡刺激素 /U·L ⁻¹
静止	-	5.17 ± 1.26	101.41 ± 15.65	5.42 ± 2.08	1.12 ± 0.21	7.37 ± 0.77
运动	-	3.53 ± 1.24 ²⁾	104.91 ± 15.66	3.62 ± 1.72 ²⁾	1.10 ± 0.33	6.55 ± 1.41
运动 + 亚麻籽	0.75	4.83 ± 1.15 ⁴⁾	103.22 ± 15.36	4.95 ± 1.85 ⁴⁾	1.17 ± 0.23 ³⁾	8.37 ± 1.09 ³⁾
	1.5	4.93 ± 1.13 ⁴⁾	102.45 ± 15.13	5.09 ± 1.85 ⁴⁾	1.23 ± 0.22 ³⁾	9.03 ± 1.13 ³⁾
	4.5	5.11 ± 1.12 ⁴⁾	101.89 ± 15.08	5.29 ± 1.89 ⁴⁾	1.27 ± 0.21 ³⁾	9.41 ± 1.10 ³⁾

4 讨论

4.1 运动及亚麻籽对大鼠体重及抗运动疲劳的影响 体重的变化可以直接有效地反映训练安排的合理性、机体对训练的适应状况以及训练过程对机体生长发育的影响。对于衡量机体的生长发育及健康状况具有重要意义。力竭运动时间是评价机体抗运动疲劳能力的直接指标。实验结果表明在训练过程中,由于训练周期长、训练强度大,大鼠体内能量物质大量消耗,营养供应失衡,机体代谢紊乱,出现急性疲劳,运动耐久性降低,久之则会造成过度训练,进而影响运动能力。而实验大鼠在补充亚麻籽后明

显地减缓了体重下降程度,说明其具有促进肌肉生长、健壮体格的作用。同时发现干预组力竭游泳时间较运动对照组明显延长,说明补充亚麻籽可以有效地提高大鼠的抗运动疲劳能力。其可能机制为:一是亚麻籽中蛋白质含量较高。尽管因产地、品种不同,蛋白质含量会有所不同,但均在 10% ~ 30% 左右。并且亚麻籽蛋白中含有 18 种氨基酸,除赖氨酸含量较低外,其他氨基酸含量均较高。有研究表明:补充外源性氨基酸可以为机体在长时间、大强度的运动中的能源供应与支持提供保障,同时可以纠正营养供应失衡,改善细胞免疫功能,调整机体代谢

紊乱^[10]。同时,蛋白质在运动时的消耗较慢,引起疲劳的主要原因为血浆和肌细胞内液中的氨基酸被利用,目前知道利用最多的是谷氨酰胺、亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸等^[11]。①亚麻籽中具有高支链氨基酸(branched chain amino acid,BCAA):缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸,低芳香族氨基酸(aromatic amino acid,AAA)和较高的 Fischer 比率(BCAA/AAA)的蛋白质,其中支链氨基酸对缓解运动疲劳具有一定的作用^[12-13]。②亚麻籽还是一种极好的赖氨酸、谷氨酰胺和组氨酸的来源,作为机体补充外源性氨基酸的来源,且已有研究表明这 3 种氨基酸对人体的免疫功能具有很强的促进作用^[14]。③亚麻籽蛋白中的半胱氨酸、蛋氨酸能提高人体内的抗氧化水平,调节血清中脂代谢相关酶活性,可以在通过神经内分泌途径促进雄性动物生长的同时提高抗疲劳能力。二是亚麻籽中脂质含量较高,且富含不饱和脂肪酸:其饱和脂肪酸比重仅为 9%~11%,而不饱和脂肪酸比重高达 80% 以上(油酸 13%~29%,亚油酸 15%~30%,亚麻酸 40%~60%)。其中 α -亚麻酸(α -linoleic acid,ALA)占亚麻籽中亚麻酸含量的 51% 以上。美国 FDA 研究证明:缺乏 α -亚麻酸将导致儿童营养不均衡,不能有效吸收,直接导致厌食,发育缓慢,免疫力低下等 30 多种症状和疾病。同时有研究表明,口服不饱和脂肪酸可以有效地提高疲劳运动后雄激素的活性,对促进生长和疲劳的消除具有生理意义^[15]。亚麻籽中丰富的 α -亚麻酸在改善大强度训练造成的生长发育缓慢的同时可以促进运动疲劳的消除,进而提高运动能力。三是亚麻籽中含有丰富的木脂素,亚麻籽木脂素和/或其代谢产物可以通过与下丘脑及肌细胞中的 ER β 充分结合,发挥雌激素样作用,从而提高大鼠血清中睾酮含量。进而通过促进成肌细胞与肌原纤维的融合,使骨骼肌表现出肥大型生长;促进肌肉中蛋白质的合成,抑制其分解代谢,保证充足的能量供应;提高肌肉对葡萄糖的吸收和肌糖元的合成与贮备,缓解运动性疲劳的发生与发展,提高运动能力^[16]。四是亚麻籽中含有丰富的维生素 E。维生素 E 作为一种较强的抗氧化剂,具有清除自由基的功效,可缓解和减少运动中自由基对抗氧化酶的损伤,减缓疲劳出现,进而提高运动能力。五是亚麻籽中含有丰富的锌。一方面锌可影响骨骼肌蛋白质和 DNA 的合成进而影响骨骼肌的生长和质量以及能量代谢、酸碱平衡等。另一方面锌还可通过锌酶系统影响睾丸间质细胞产生和分泌雄激素,进而提高机体抗运动疲劳能

力和运动能力。

4.2 运动及亚麻籽对大鼠血清睾酮及相关激素的影响 睾酮作为重要的同化激素,不仅对正常雄性发育、分化及功能维持具有重要作用,而且与运动员肌肉力量的增长、疲劳的消除有着密切的关系^[17]。运动医学界一直将睾酮作为评定运动员机能状态和运动能力的重要指标,而长期的过度训练导致的运动性低血睾酮极易造成运动员体能低下,进而影响运动能力的正常发挥^[18]。但有研究表明,大量使用外源性雄激素会对身体造成极大的危害,甚至危及生命^[19]。而皮质酮作为体内主要的异化激素。大强度运动后,由于下丘脑促肾上腺皮质激素释放激素(CRH)分泌活动加强,引起腺垂体释放促肾上腺皮质激素(ACTH)增加,导致血清皮质酮升高,加大肌肉组织的蛋白分解,进而降低运动能力。在正常情况下睾酮/皮质酮比值相对恒定,但在长期连续大运动量的训练后,会导致比值下降,有研究表明睾酮/皮质酮比值减少 30% 以上即可表示训练过度^[20]。实验结果表明连续 6 周的递增负荷的力竭游泳训练使得大鼠训练过度。血清睾酮水平下降($P < 0.01$),皮质酮水平呈上升趋势,促黄体生成素、促卵泡刺激素水平呈下降趋势;其机制可能为:(1)长时间、大强度运动引起下丘脑分泌 CRH 增加,并作用于腺垂体,引起腺垂体释放 ACTH,导致肾上腺皮质分泌肾上腺皮质激素量增多,肾上腺皮质激素持续增加抑制多种激素分泌并诱导 leydig 细胞凋亡,导致睾酮水平下降。(2)长时间、大强度力竭运动引起肌肉组织对睾酮的消耗增加,导致睾酮水平下降。(3)长时间、大强度力竭运动使得睾丸自身调节功能及 HPG 轴受到抑制,LH 对 GnRH 的应答能力受抑,使得 LH 不能在低血清 T 时出现反馈性增加。而大鼠补充亚麻籽后通过调整睾酮及相关激素的水平,有效地缓解了长时间力竭运动对机体的影响。其机制可能为:(1)亚麻籽中的多种活性成分可以通过有效地保护睾丸的腺体结构,保证其正常分泌睾酮,抑制皮质酮的大量释放。①亚麻籽中含有大量 α -亚麻酸,一方面可以通过改变生物膜中部分膜结合酶的活性,保护膜结构。另一方面可以经肠道直接吸收,直接成为细胞膜的结构物质。②亚麻籽富含的木脂素类化合物^[21]可以通过抑制运动时机体的脂质过氧化反应,抑制自由基的增加,增加抗氧化能力,阻止集体炎症反应的发生与发展,进而保护膜结构。(2)木脂素可以通过作用于下丘脑-垂体-性腺轴,提升内源性激素水平及其

受体在相应靶组织中的表达,特别是提高血清睾酮水平及雄激素受体表达量。(3)芳香化酶作为雌激素合成过程中的限速酶,其活性的变化,可以引起血清性激素水平的改变。木脂素可以通过抑制芳香化酶的活性,抑制睾酮向雌二醇的转化,从而维持睾酮水平^[16]。(4)补充亚麻籽可以通过有效延缓和纠正长期过度训练导致的运动性低血睾酮,抑制皮质酮的释放,提高 LH, FSH 水平。

大鼠通过补充亚麻籽可以有效地缓解机体因长时间、大强度运动导致的睾酮及相关激素的变化;促进蛋白质合成,减少氨基酸和蛋白质的分解,提高机体糖原的储备,增强抗疲劳能力,进而提高运动能力。具有多靶点、多途径的显著特点。

[参考文献]

[1] 林凤英,林志光,邱国亮,等. 亚麻籽的功能成分及应用研究进展[J]. 食品工业,2014,35(2):220-223.

[2] 崔笑梅,曹建民,周海涛. 蒺藜对运动训练大鼠睾酮含量、物质代谢及抗运动疲劳能力的影响[J]. 中国实验方剂学杂志,2014,20(3):157-161.

[3] 邓艳香,曹建民,周海涛,等. 蛇床子对运动训练大鼠睾酮含量、物质代谢及抗运动疲劳能力的影响[J]. 中国实验方剂学杂志,2013,19(21):262-266.

[4] 郭伟,周海涛. 柞蚕雄蛾油对运动训练大鼠睾酮含量、物质代谢及抗运动疲劳能力的影响[J]. 中国实验方剂学杂志,2013,19(19):266-270.

[5] 郭伟,曹建民,周海涛. 锁阳对运动训练大鼠睾酮含量、物质代谢及抗运动疲劳能力的影响[J]. 天然产物研究与开发,2014,26(1):27-32.

[6] 周海涛,曹建民,林强,等. 淫羊藿对运动训练大鼠睾酮含量、物质代谢及抗运动疲劳能力的影响[J]. 中国药学杂志,2013,48(1):25-27.

[7] 周海涛,曹建民,林强,等. 菟丝子对运动训练大鼠睾酮含量、物质代谢及抗运动疲劳能力的影响[J]. 天然产物研究与开发,2013,25(4):455-459,465.

[8] 周海涛,曹建民,林强,等. 红景天对运动训练大鼠睾

酮含量、物质代谢及抗运动疲劳能力的影响[J]. 天然产物研究与开发,2013,24(12):1808-1812,1836.

[9] 赖学鸿. 牛蒡子对运动大鼠糖代谢、血睾酮及运动能力的实验研究[J]. 重庆医科大学学报,2010,35(3):375-377.

[10] 古松,李丽,李健阳,等. 运动训练中特殊氨基酸的补充[J]. 北京体育大学学报,2005,4(4):499-502.

[11] 冯炜权. 运动疲劳及过度训练的生化诊断-运动生物化学动态之三[J]. 北京体育大学学报,2000,23(4):498-502.

[12] Blomstrand E. Amino acids and central fatigue [J]. Amino Acids,2001,20(1):25-34.

[13] 刘建红,周志宏,黄金丽,等. 补充支链氨基酸对划船运动员不同负荷运动后血丙氨酸、葡萄糖及乳酸的影响[J]. 中国运动医学杂志,2005,24(2):132-136.

[14] 李莹,李进华. 运动、营养和免疫功能-宏量营养素和氨基酸[J]. 沈阳体育学院学报,2013,32(4):82-86.

[15] 胡慧,张勇,陆一帆,等. 70% VO_2 max 疲劳运动和口服不饱和脂肪酸对血清雄激素的影响[J]. 中国运动医学杂志,2002,21(1):30-33.

[16] 周炜. 亚麻籽木脂素对动物消化代谢和生长的影响及机制探讨[D]. 南京:南京农业大学,2008.

[17] 张瑞雪. 柞蚕雄蛾油对肾阴虚小鼠抗氧化能力的研究[D]. 沈阳:沈阳体育学院,2010.

[18] 衣雪洁,常波,张庆荣. 运动性低血睾酮发生机理的研究[J]. 北京体育大学学报,2006,29(4):477-480.

[19] Kimball S R, Malley J P, Anthony J C, et al. Assessment of biomarkers of protein anabolism in skeletal muscle during the life span of the rat; sarcopenia despite elevated protein synthesis [J]. Am J Physiol Endocrinol Metab, 2004, 287(4):E772-780.

[20] 冯连世,冯美云,冯炜权. 优秀运动员身体机能评定方法[M]. 北京:人民体育出版社,2003:45-48.

[21] Wang L Q. Mammalian phytoestrogens: enterodiol and enterolactone [J] J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci,2002,777(1/2):289-309.

[责任编辑 聂淑琴]