

评估具抗疲劳功效之乳酸菌

陈雅君¹, 蔡侑珊¹, 林诗伟¹, 吴文歆², 陈炎炼¹, 陈劲初^{3,4,5*}

¹生物工程中心, 葡萄王生技股份有限公司, 台湾 桃园

²上海葡萄王企业有限公司, 上海

³国立台湾大学食品科技研究所, 台湾 台北

⁴实践大学食品营养与保健生技学系, 台湾 台北

⁵中原大学生物科技学系, 台湾 桃园

收稿日期: 2022年9月21日; 录用日期: 2022年11月4日; 发布日期: 2022年11月15日

摘要

本研究为评估葡萄王生技股份有限公司(Grape King Bio Ltd.)生产之乳酸菌于抗疲劳功效的效果。实验将35只雄性ICR品系小鼠,以随机方式分为7组(n = 5):空白对照组(Vehicle)、乳酸菌GKK1、乳酸菌GKK3、乳酸菌GKK4、乳酸菌GKEX,以及乳酸菌GKY5。连续喂食约40天不同乳酸菌菌株,并于试验第29至39天,分别进行前肢抓力、运动力竭分析、以及监测运动后血乳酸(lactate)、血尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)变化。结果显示,测试之乳酸菌菌株中,以植物乳杆菌(*Lactiplantibacillus plantarum*) GKK1和短乳酸杆菌(*Levilactobacillus brevis*) GKEX与Vehicle相比,具有显著提升前肢抓力、运动力竭时间,以及维持较低的运动后血乳酸和血尿素氮。此外,更具显著提升肝脏及肌肉中的肝糖。综观上述结果,植物乳酸杆菌*L. plantarum* GKK1与短乳酸杆菌*L. brevis* GKEX具有提升运动耐力及降低运动疲劳指标的潜力,可应用于运动促进相关的保健品开发。

关键词

益生菌, 体能表现, 抗疲劳, 血乳酸, 肝糖

Evaluation of Lactic Acid Bacteria with Anti-Fatigue Effects

Yajun Chen¹, Youshan Tsai¹, Shihwei Lin¹, Wenshin Wu², Yenlien Chen¹, Chinchu Chen^{3,4,5*}

¹Bioengineering Center, Grape King Bio Ltd., Taoyuan Taiwan

²Shanghai Grape King Enterprise Co. Ltd., Shanghai

³Institute of Food Science and Technology, National Taiwan University, Taipei Taiwan

⁴Department of Food Science, Nutrition, and Nutraceutical Biotechnology, Shih Chien University, Taipei Taiwan

⁵Bioscience Technology, Chung Yuan Christian University, Taoyuan Taiwan

*通讯作者。

文章引用: 陈雅君, 蔡侑珊, 林诗伟, 吴文歆, 陈炎炼, 陈劲初. 评估具抗疲劳功效之乳酸菌[J]. 食品与营养科学, 2022, 11(4): 322-331. DOI: 10.12677/hjfn.2022.114037

Abstract

This study was to evaluate the anti-fatigue effects of lactic acid bacteria (LAB) produced by Grape King Bio Ltd. In the experiment, 35 male ICR mice were randomly divided into 7 groups (n = 5): control (Vehicle), LAB GKJ1, GKK1, GKK3, GKK4, GKEX, and GKY5. Different LAB strains were continuously fed for about 40 days. The forelimb grip and the exercise exhaustion were analyzed, as well as the serum lactate and blood urea nitrogen (BUN) after exercise were monitored respectively during the 29th to 39th day of the experiment. The results showed that, among the tested LAB strains, *Lactiplantibacillus plantarum* GKK1 and *Levilactobacillus brevis* GKEX significantly improved the forelimb grip, time to exhaustion, and maintained lower serum lactate and BUN respectively after exercise when compared to the vehicle. In addition, they significantly increased the glycogen in the liver and muscles. From the above results, *L. plantarum* GKK1 and *L. brevis* GKEX have the potential to improve exercise endurance and reduce exercise fatigue indicators, which can be applied to the development of health care products related to exercise promotion.

Keywords

Probiotics, Physical Performance, Anti-Fatigue, Lactate, Glycogen

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

疲劳(fatigue)是一种生理信号,通常与组织损伤以及能源短缺有关,而疲劳感则为主观之感受,通常以「累」、「提不起劲」等被形容。疲劳或疲劳感是逐渐开始,与虚弱(weakness)不同,其可以通过休息来缓解[1]。运动上的疲劳是最常见也最容易被观测的,运动引起的肌肉疲劳最明显的征状为肌肉力量的下降,伴随一些生理数值的变化,像是血乳酸(lactate)的堆积、血氨(blood ammonia)浓度升高等[2]。当承受运动或其他类型的压力挑战后所发生的这些疲劳指标获改善,像是电解质(electrolyte)、能量补充剂(energy supplement)等的补充,生理上的疲累感也相对可较快得到恢复,达舒缓疲劳的功效。

益生菌(probiotics)被定义为活的非病原性微生物,且给宿主(包括胃肠道)带来健康益处[3]。最初益生菌的益处被认为仅限于肠道微生物的平衡,现有大量证据表明益生菌可透过调节免疫功能,提升人体对于病原菌的抵抗力[4] [5]。目前最常用的益生菌菌株以乳酸菌(lactic acid bacteria, LAB)占大部份,过去研究 LAB 除了调节过敏、减缓肠道发炎,亦有抗氧化活性等[6] [7] [8]。近年更是兴起益生菌对运动表现影响的相关研究[9]。像是植物乳杆菌(*Lactiplantibacillus plantarum*) PL-02 的补充,在动物试验中被证实具提升肌肉量、运动表现,以及抗疲劳的效果[10] [11]。唾液乳杆菌(*Ligilactobacillus salivarius*) SA-03 的补充,在动物试验中发现具降低血氨、肌酸磷化酵素(creatine kinase)等疲劳指标,达增进运动耐力的效果[12]。

市场趋势上,也越来越多运动员以益生菌作为营养补充剂,以提高运动表现并减少运动后的疲劳感。因应不同益生菌菌株的功效性会有所不同,本实验由「葡萄王生技股份有限公司」所提供之乳酸菌,透过小鼠抗疲劳检测平台,针对乳酸菌介入后,评估具加速运动表现恢复或增强承受运动挑战能力之益菌。

2. 材料与方法

2.1. 菌株培养与制备

实验乳酸菌菌株共 6 株，由葡萄王生技股份有限公司(Grape King Bio Ltd., Taoyuan, Taiwan)提供，皆为可食用、可量化、安全的菌株。分别为：植物乳杆菌(*Lactiplantibacillus plantarum*) GKJ1、植物乳杆菌(*Lactiplantibacillus plantarum*) GKK1、戊糖片球菌(*Pediococcus pentosaceus*) GKK3、乳酸片球菌(*Pediococcus acidilactici*) GKK4、短乳酸杆菌(*Levilactobacillus brevis*) GKEX，以及鼠李糖杆菌(*Lactocaseibacillus rhamnosus*) GKY5。

实验菌株培养于 1 L 之 MRS 培养基(Difco, BD, USA)中，静置 37°C 培养 16 小时后，以 25°C、5000 rpm (Heraeus Megafuge 40R, Thermo Fisher Scientific Inc., USA)离心 10 分钟取得菌泥，混入 20%脱脂奶粉，再冷冻干燥而取得活菌菌粉。菌粉皆保存于 4°C，供后续动物实验使用。

2.2. 试验动物与饲养

本试验之实验动物自台湾乐斯科生物科技股份有限公司(BioLASCO Co., Ltd., Taiwan)购入 6 周龄 ICR 雄鼠 35 只，平均体重约 30 公克。动物饲育室温度控制 22°C ± 2°C，湿度控制 65% ± 5%，光照与黑暗各控制 12 小时(06:00~18:00 为光照期，18:00~06:00 为黑暗期)。

2.3. 动物实验设计

小鼠经两周适应期后，按体重大小 S 型排序方式分为 7 组，每组 5 只。分别为空白对照组(Vehicle)、乳酸菌 GKJ1 组、乳酸菌 GKK1 组、乳酸菌 GKK3 组、乳酸菌 GKK4 组、乳酸菌 GKEX 组，以及乳酸菌 GKY5 组。益生菌以 21 mg/kg b.w./day 之剂量连续 39 天管喂小鼠，空白对照组则以灭菌水代替之。每周测量小鼠体重变化，并于试验第 29 至 39 天内进行运动耐力、运动疲劳程度分析(图 1)。包含前肢抓力、游泳力竭测试、跑步力竭测试、运动后血乳酸与血尿素(blood urea nitrogen, BUN)浓度，及肝脏与肌肉之肝糖含量。

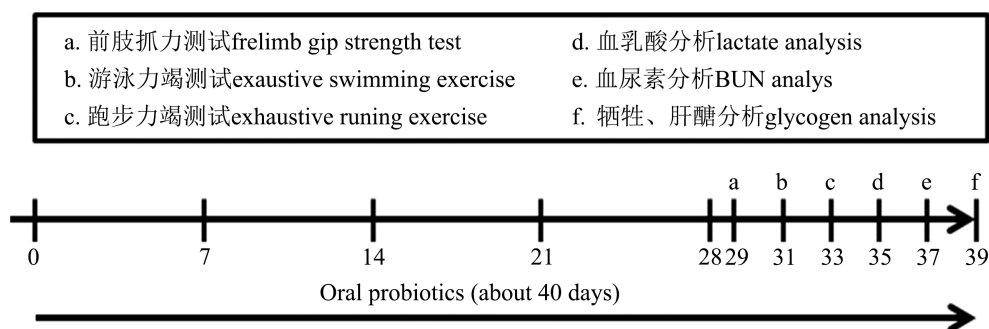


Figure 1. Study design
图 1. 实验设计

2.4. 前肢抓力(Forelimb Grip Strength)试验

传统的前肢握力测试是评估啮齿动物骨骼肌功能的一种方式[13]。为研究补充乳酸菌后对于肌力是否具有提升之效果，于第 29 天喂食乳酸菌后 30 分钟进行前肢抓力测试(forelimb grip strength)。其将小鼠前肢放置于动物抓力测试仪(Grip Strength Meter, Model-RX-5; Ailoh Engineering, Nagoya, Japan)之测量杆(直径 2 mm，长度 7.5 cm)上，当小鼠抓紧杆子后，以手拉动小鼠尾部使仪器测量小鼠抓力变化过程中的最

大抓力，以公克(g)表示之。

2.5. 负重游泳力竭试验(Exhaustive Swimming Exercise)

试验前一周先让小鼠进行游泳适应。于第 31 天采小鼠体重 5% 的铅片绑于小鼠尾巴上进行负重游泳力竭试验。小鼠游泳前禁食 12 小时，并于喂食乳酸菌后 30 分钟，将小鼠放入水缸(直径 28 cm、水深 25 cm、水温 27 温 cm 水)中，强迫试验动物进行游泳运动。在整个实验过程中应使试验动物四肢保持运动，如果试验动物漂浮在水面四肢不动，可用搅拌棒在其附近搅动。记录试验动物头部完全没入水中持续 8 秒不浮出水面为止的时间，为负重游泳运动之力竭时间。

2.6. 跑步力竭试验(Exhaustive Running Exercise)

于试验第 33 天进行跑步运动力竭试验。测验时，每只小鼠一个轨道，并于轨道末端设置电击区，强迫试验动物进行跑步运动，跑步机的条件参考过去文献[14]，起始速度为 10 m/min、坡度为 5%，5 分钟后每分钟增加 2 m/min 的速度直到小鼠落入电击区超过 5 秒无法继续向前，则判定为力竭，并纪录开始跑步至力竭之时间。

2.7. 运动后之血液生化分析

本试验以检测血乳酸和 BUN 做为评估运动后的疲劳指标。采血后离心之血清样品以血液自动分析仪(Hitachi 7060, Hitachi, Tokyo, Japan)进行检验。采血时间与状态分别如下：

2.7.1. 血乳酸分析

于试验第 35 天喂食乳酸菌后 30 分钟进行不负重水中(温度 $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$)游泳 10 分钟后停止。分别在游泳前、游泳后，以及游泳后休息 20 分钟后采血 0.2 mL，共采三个时间点血液作为血乳酸分析。

2.7.2. 血尿素氮分析

于试验第 37 天喂食乳酸菌后 30 分钟采血 0.2 mL 为运动前之血尿素氮浓度纪录，接着将老鼠放入水中(温度 $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$)进行不负重游泳 90 分钟，再使之休息 60 分钟后采血，进行运动后且休息后之血尿素氮浓度分析。

2.8. 肝脏与肌肉之肝醣含量分析

于试验第 39 天末次喂食乳酸菌后 30 分钟将所有动物进行牺牲。采集小鼠肝脏与后肢小腿肌肉，并以生理盐水清洗后，拭干称重，并加入 5 倍体积(w/v)的组织均质液，使用组织均质机 Bullet Blender (Next Advance, Cambridge, MA, USA)将不同组织进行均质化。均质后的样品于 4 装至、12,000 心管离心 15 分钟，取上层萃取液以市售 ELISA Kit 进行肝醣含量分析。另以市售肝醣(Glycogen Sigma)标准品进行检量线之制作，藉以计算不同组别动物肝脏与肌肉组织中肝醣储存量之情形。

2.9. 统计分析

所有数值以平均值 \pm 标准误差(Mean \pm S.E.M.)表示，每组小鼠数量皆为 5 只。采用 Microsoft Excel 2010 进行独立样本 *t* 检定比较 Vehicle 与测试样品组之差异，并以 $p < 0.05$ 代表具有统计上之意义。

3. 结果

表 1 为试验期间小鼠的体重变化，试验开始前各组体重无明显差异，实验期间各组体重皆稳定持续增加，试验结束体重亦无组间差异，故本试验所使用 6 种不同乳酸菌不会对动物造成副作用而影响其生长。

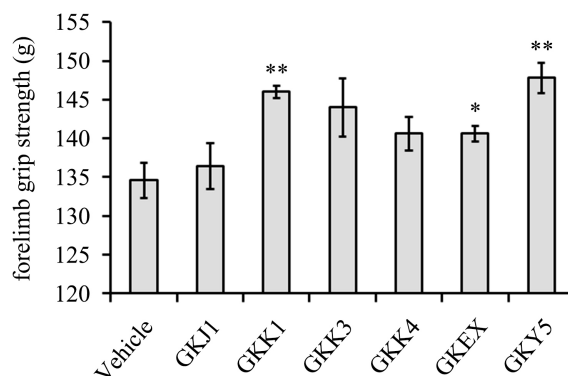
Table 1. Mice body weight changes (g) during the experiment**表 1.** 实验期间各组小鼠体重变化情形

Group	Day 0 (g)	Day 14 (g)	Day 28 (g)	Day 39 (g)
Vehicle	27.02 ± 0.47	34.04 ± 0.68	36.14 ± 0.58	37.19 ± 0.70
GKJ1	27.50 ± 0.44	34.32 ± 1.00	36.78 ± 1.53	37.67 ± 1.61
GKK1	27.12 ± 0.39	34.02 ± 0.49	36.15 ± 0.63	37.35 ± 0.73
GKK3	27.00 ± 0.16	34.21 ± 0.82	35.97 ± 1.08	36.70 ± 1.24
GKK4	27.28 ± 0.28	34.76 ± 0.45	36.83 ± 0.34	37.55 ± 0.33
GKEX	27.26 ± 0.27	34.01 ± 1.51	36.53 ± 1.59	37.36 ± 1.54
GKY5	27.00 ± 0.47	34.42 ± 1.39	36.87 ± 1.49	37.79 ± 1.47

Values were expressed as mean ± S.E.M. and analyzed by *t*-test (*n* = 5).

3.1. 不同菌株对小鼠前肢抓力之影响

为了比较不同菌株对于提升肌力之效益,于实验介入第 4 周后进行前肢抓力测试。结果如图 2 所示。补充乳酸菌的组别,除 GKJ1 组外,前肢抓力数值(g)皆有比 Vehicle 组高的趋势。其中又以菌株 *L. plantarum* GKK1、*L. rhamnosus* GKY5、以及 *L. brevis* GKEX 较果较佳,与 Vehicle 组相比具统计上显著差异,说明这些菌株有助于提升小鼠前肢抓力。



¹Values were expressed as mean ± S.E.M. and analyzed by *t*-test (*n* = 5); ²Symbols indicate significance when compared to the vehicle (**p* < 0.05; ***p* < 0.01).

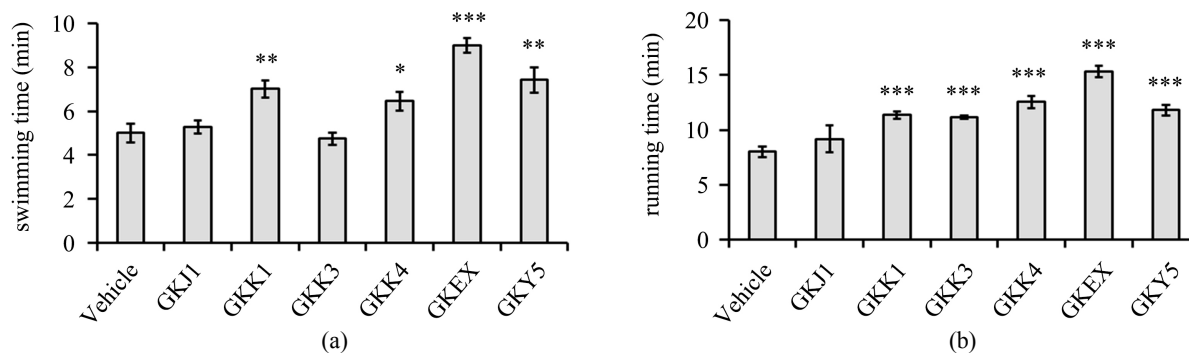
Figure 2. Comparison the effect of different strains on forelimb grip strength

图 2. 比较不同菌株对于提升前肢抓力表现

3.2. 不同菌株对小鼠运动耐力之表现

游泳力竭运动表现的结果,如图 3(a)所示。Vehicle 组在负重游泳约 5 分钟左右达到力竭,无法继续泳动,而补充菌株 *L. brevis* GKEX、*L. plantarum* GKK1、*L. rhamnosus* GKY5, 以及 *P. acidilactici* GKK4, 可分别观察到其游泳力竭时间增加,说明这些菌株的补充可提升运动耐力。

跑步肌力竭测试结果如图 3(b)所示。除 GKJ1 组外,与 Vehicle 相比,连续补充测试之菌株皆有助于提升跑步力竭的时间,增加小鼠的运动耐力表现。



¹Values were expressed as mean \pm S.E.M. and analyzed by *t*-test ($n = 5$); ²Symbols indicate significance when compared to the vehicle (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$).

Figure 3. The effect of the different strains on exercise endurance: (a) force swimming exercise (min); (b) force running exercise (min)

图 3. 不同菌株对于运动耐力之表现: (a) 游泳力竭试验(min); (b) 跑步力竭试验(min)

3.3. 不同菌株对于运动前后与运动休息后之血乳酸变化

由表 2 结果可以得知, 在游泳前各组的血乳酸浓度皆无显著差异($p > 0.05$)。单次不负重游泳 10 分钟后, 各组之乳酸浓度皆有上升的情形, 而补充乳酸菌之组别皆可维持显著较低的血乳酸。其中与 Vehicle 相比, 依序以菌株 *P. pentosaceus* GKK3 ($p < 0.001$)、*L. rhamnosus* GKY5 ($p < 0.01$)、*L. brevis* GKEX ($p < 0.01$)、*L. plantarum* GKK1 ($p < 0.01$)、*P. acidilactici* GKK4 ($p < 0.05$)以及 *L. plantarum* GKJ1 ($p < 0.05$)的血乳酸浓度上升程度较小。在此, 根据游泳前(A)与游泳 10 分钟后(B)这两个时间点的血乳酸浓度, 可计算出乳酸升高比值(rate of lactate production):

$$\text{游泳10分钟后之血乳酸值(B)/游泳前之血乳酸值(A)} \quad (1)$$

以乳酸升高比值(B/A)来看, 与 Vehicle 相比, 补充菌株 *P. pentosaceus* GKK3、*L. brevis* GKEX、*L. plantarum* GKK1、*L. rhamnosus* GKY5 及 *P. acidilactici* GKK4 的组别, 其乳酸升高比值具显著减少, 说明上述试验菌株具有提升运动耐力的潜力。其中又以菌株 GKK3、GKEX 及 GKK1 的乳酸升高比值降低效果最为显著($p < 0.01$)。

Table 2. The effects of the different strains on the changes of lactate after short-time exercise

表 2. 比较不同菌株对于短时间运动后乳酸变化情形

Group	Before swimming (mmol/L) (A)	After swimming (mmol/L) (B)	After a 20-min rest (mmol/L) (C)	Rate of lactate production (B/A)	Rate of lactate clearance (B-C)/B
Vehicle	3.33 \pm 0.16	6.23 \pm 0.20	5.56 \pm 0.13	1.88 \pm 0.10	0.10 \pm 0.04
GKJ1	3.45 \pm 0.14	5.72 \pm 0.09*	5.10 \pm 0.11*	1.67 \pm 0.08	0.11 \pm 0.03
GKK1	3.62 \pm 0.15	5.21 \pm 0.10**	4.46 \pm 0.17***	1.45 \pm 0.05**	0.14 \pm 0.04
GKK3	3.75 \pm 0.15	4.85 \pm 0.09***	4.12 \pm 0.33**	1.30 \pm 0.07**	0.15 \pm 0.06
GKK4	3.34 \pm 0.17	5.03 \pm 0.43*	4.20 \pm 0.31**	1.51 \pm 0.11*	0.16 \pm 0.05
GKEX	3.65 \pm 0.08	5.10 \pm 0.27**	3.94 \pm 0.31**	1.39 \pm 0.04**	0.23 \pm 0.04 [#]
GKY5	3.67 \pm 0.22	4.91 \pm 0.25**	4.15 \pm 0.18***	1.37 \pm 0.14*	0.15 \pm 0.04

¹Values were expressed as mean \pm S.E.M. and analyzed by *t*-test ($n = 5$); ²Symbols indicate significance when compared to the vehicle (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; [#] $p = 0.05$).

此外,分析游泳 10 分钟后再休息 20 分钟之血乳酸浓度结果显示(C), 各组之乳酸浓度皆有下降的情形。其中,依序以菌株、*L. rhamnosus* GKY5 ($p < 0.001$)、*L. plantarum* GKK1 ($p < 0.001$)、*L. brevis* GKEX ($p < 0.01$)、*P. pentosaceus* GKK3 ($p < 0.01$)、*P. acidilactici* GKK4 ($p < 0.01$)以及 *L. plantarum* GKJ1 ($p < 0.05$)与 Vehicle 相比,能在运动休息后维持较低的血乳酸浓度。以游泳 10 分钟(B)及休息 20 分钟后(C)这两个时间点的血乳酸浓度,可以计算出乳酸消除比值(rate of lactate clearance):

$$\left[\text{运动后之血乳酸值(B)} - \text{运动后休息后之血乳酸值(C)} \right] / \text{运动后之血乳酸值(B)} \quad (2)$$

从乳酸消除比值来看,试验菌株之乳酸消除比皆略高于 Vehicle 组,即便没有达到统计上的差异。仅有补充 *L. brevis* GKEX 的组别,其乳酸消除比值比 Vehicle 组显著提升约 2.3 倍($p = 0.05$),说明菌株 *L. brevis* GKEX 在相同运动时间内能快速恢复身体血乳酸平衡,较能减缓疲劳的效果。

3.4. 不同菌株对于运动休息后之血尿素氮浓度之影响

各组小鼠运动前之血尿素氮浓度并无组间差异(表 3),在单次 90 分钟不负重游泳运动后且休息 60 分钟之血尿素氮浓度皆成增加的趋势。与 Vehicle 组相比,补充各乳酸菌菌株 *L. brevis* GKEX ($p < 0.01$)、*P. pentosaceus* GKK3 ($p < 0.01$)、*L. rhamnosus* GKY5 ($p < 0.05$)以及 *P. acidilactici* GKK4 ($p < 0.05$),其运动后且相同休息时间下的血尿素氮浓度明显较低,说明这些菌株的补充有助于体力快速的恢复。

Table 3. Comparison of different strains in changes of the BUN level at 60 minutes rest after long-term exercise challenge

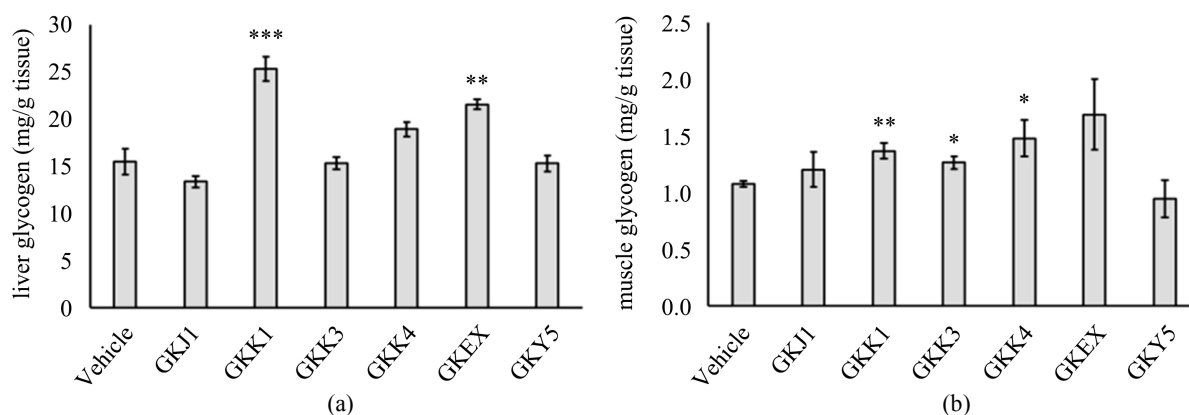
表 3. 比较不同菌株对于长时间运动挑战后休息 60 分钟血中尿素氮变化情形

Group	Before swimming (mg/dL)	After a 60 min rest (mg/dL)
Vehicle	22.08 ± 0.33	35.58 ± 1.24
GKJ1	22.22 ± 0.66	35.16 ± 0.87
GKK1	22.02 ± 0.34	32.68 ± 0.59
GKK3	21.92 ± 0.20	31.16 ± 0.43**
GKK4	22.64 ± 0.88	32.12 ± 0.43*
GKEX	22.12 ± 0.17	29.38 ± 0.52**
GKY5	21.98 ± 0.26	31.56 ± 0.47*

¹Values were expressed as mean ± S.E.M. and analyzed by *t*-test ($n = 5$); ²Symbols indicate significance when compared to the vehicle (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$).

3.5. 不同菌株对于肝脏及肌肉组织中肝糖含量之影响

为了了解补充不同菌株是否具有增加体内组织中重要能量储存物质肝糖之含量,于实验最后一次喂食结束 30 分钟之后,将小鼠予以牺牲。取肝脏与腿部肌肉组织进行肝糖含量之分析。在肝脏部位肝糖(liver glycogen)含量的结果如图 4(a)所示,以乳酸菌菌株 *L. plantarum* GKK1 ($p < 0.001$)和 *L. brevis* GKEX ($p < 0.01$)组之肝脏肝糖含量显著高于 Vehicle 组,说明此两株菌株有助于能量的储存。肌肉部位肝糖(muscle glycogen)含量的结果如图 4(b)结果所示,与 Vehicle 组相比,补充菌株 *L. plantarum* GKK1 ($p < 0.01$)、*P. pentosaceus* GKK3 ($p < 0.05$)以及 *P. acidilactici* GKK4 ($p < 0.05$)显著提升肌肉部位肝糖含量,说明这些试验菌株有助于肌肉能量的利用。



¹Values were expressed as mean \pm S.E.M. and analyzed by *t*-test ($n = 5$); ²Symbols indicate significance when compared to the vehicle (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$).

Figure 4. The effect of the different strains on glycogen level: (a) liver; (b) muscle

图 4. 比较不同菌株之肝糖含量: (a) 肝脏; (b) 肌肉

4. 讨论

益生菌对运动员具有潜在益处, 包括提升蛋白质中氨基酸等关键营养物质的吸收、避免因训练负荷过大、心理压力、睡眠不佳、或在极端环境中而增加呼吸道与肠胃道感染的风险等[15][16]。虽大多研究早期着重于运动员免疫与肠胃道间的关系, 近期研究显示补充益生菌可改善运动时的表现与运动后的恢复情形[17]。因此, 本试验采用小鼠动物模式来评估数株乳酸菌是否具有提升运动表现与抗疲劳的效果。试验设计共 39 天的总实验流程, 在连续补充乳酸菌后, 针对运动挑战的强度与时间, 由低强度至高强度、由短时间至长时间, 采血进行各项运动能力与疲劳相关的生化指标分析。

Table 4. Summary of the test results of lactic acid bacteria strains in anti-fatigue animal models

表 4. 总结抗疲劳动物模型中测试的乳酸菌菌株试验结果

Tests/Strains	GKJ1	GKK1	GKK3	GKK4	GKEX	GKY5
前肢抓力 forelimb grip strength		↑↑↑			↑	↑↑
游泳力竭 force swimming test		↑↑		↑	↑↑↑	↑↑
跑步力竭 force running test		↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑
乳酸升高比值 rate of lactate production		↓↓	↓↓	↓	↓↓	↓
乳酸消除比值 Rate of lactate clearance					↑	
血尿素氮浓度 BUN level			↓↓	↓	↓↓	↓
肝脏肝糖 liver glycogen		↑↑↑			↑↑	
肌肉肝糖 muscle glycogen		↑↑	↑	↑		

↑ or ↓ indicate significance when compared to the vehicle.

补充菌株 *L. plantarum* GKK1 组之小鼠在肝脏肝糖分析结果中显著比 Vehicle 组高约 1.6 倍, 在肌肉肝糖分析结果中显著比 Vehicle 组高约 1.3 倍(图 4)。因肝脏肝糖可以分解成葡萄糖, 并释放到血液, 供给肌肉以及其他器官, 负责维持稳定的血糖浓度, 是提供身体能量的重要来源[18], 因此初步推测菌株

L. plantarum GKK1 可协助参与身体能量的储存与运用。补充菌株 *L. brevis* GKEX 在短时间运动后的乳酸升高比值较 Vehicle 组显著降低约 0.7 倍, 在短时间运动后且休息后的乳酸消除比值较 Vehicle 组显著提升约 2.3 倍(表 2)。由于乳酸的堆积会干扰神经冲动的传导、肌肉的收缩和肌肉收缩的能量, 因而产生疲劳, 又乳酸的生成与清除与有氧代谢能力有关[19], 因此初步推测菌株 *L. brevis* GKEX 具有提升身体的代谢能力。

综合评估所有运动疲劳指标之结果显示于表 4, 以菌株 *L. plantarum* GKK1 与 *L. brevis* GKEX 在各运动表现中有较好的效果, 后续可开发机能性乳酸菌 *L. plantarum* GKK1 或 *L. brevis* GKEX 针对提升运动表现与抗疲劳的保健补充品。

5. 结论

本实验证实, 持续补充乳酸菌 *L. plantarum* GKK1 与 *L. brevis* GKEX 有助于提升运动耐力及降低运动疲劳指标。此外, 亦可提升肝脏及肌肉中的肝糖含量。经动物实验结果明确显示, 菌株 *L. plantarum* GKK1 与 *L. brevis* GKEX 有促进运动表现提升与抗疲劳的效果适合发展全年龄者的运动保健素材。

参考文献

- [1] Persson, P.B. and Bondke, P.A. (2016) Fatigue. *Acta Physiologica*, **218**, 3-4. <https://doi.org/10.1111/apha.12756>
- [2] Harris, R.T. and Dudley, G.A. (1985) Exercise Alters the Distribution of Ammonia and Lactate in Blood. *Journal of Applied Physiology*, **66**, 313-317. <https://doi.org/10.1152/jap.1989.66.1.313>
- [3] deVrese, M. and Schrezenmeir, J. (2008) Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, **111**, 1-66. https://doi.org/10.1007/10_2008_097
- [4] Borchers, A.T., Selmi, C., Meyers, F.J., Keen, C.L. and Gershwin, M.E. (2009) Probiotics and Immunity. *Journal of Gastroenterology*, **44**, 26-46. <https://doi.org/10.1007/s00535-008-2296-0>
- [5] Fuller, R. (1989) Probiotics in Man and Animals. *Journal of Applied Bacteriology*, **66**, 365-378. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1989.tb05105.x>
- [6] 林静雯, 蔡侑珊, 林诗伟, 吴文歆, 陈炎炼, 陈劲初. 评估 13 种复合型益生菌在调节过敏中的有效性[J]. *生物医学*, 2022, 12(2): 85-96.
- [7] Lombardo, L. (2008) New Insights into Lactobacillus and Functional Intestinal Disorders. *Minerva Gastroenterologica e Dietologica*, **54**, 287-293.
- [8] Ge, Q., Yang, B., Liu, R., Jiang, D., Yu, H., Wu M. and Zhang, W. (2021) Antioxidant Activity of *Lactobacillus plantarum* NJAU-01 in an Animal Model of Aging. *BMC Microbiology*, **21**, Article No. 182. <https://doi.org/10.1186/s12866-021-02248-5>
- [9] Coqueiro, A.Y., de Oliveira Garcia, A.B., Rogero, M.M. and Tirapegui, J. (2017) Probiotic Supplementation in Sports and Physical Exercise: Does It Present Any Ergogenic Effect? *Nutrition and Health*, **23**, 239-249. <https://doi.org/10.1177/0260106017721000>
- [10] Lee, M.C., Hsu, Y.J., Ho, H.H., Kuo, Y.W., Lin, W.Y., Tsai, S.Y., Chen, W.L., Lin, C.L. and Huang, C.C. (2021) Effectiveness of Human-Origin *Lactobacillus plantarum* PL-02 in Improving Muscle Mass, Exercise Performance and Anti-Fatigue. *Scientific Reports*, **11**, Article No. 19469. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98958-x>
- [11] Yeh, W.L., Hsu, Y.J., Ho, C.S., Ho, H.H., Kuo, Y.W., Tsai, S.Y., Huang, C.C. and Lee, M.C. (2022) *Lactobacillus plantarum* PL-02 Supplementation Combined with Resistance Training Improved Muscle Mass, Force, and Exercise Performance in Mice. *Frontiers in Nutrition*, **9**, Article ID: 896503. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.896503>
- [12] Lee, M.C., Hsu, Y.J., Ho, H.H., Hsieh, S.H., Kuo, Y.W., Sung, H.C. and Huang, C.C. (2020) *Lactobacillus salivarius* Subspecies *salicinius* SA-03 is a New Probiotic Capable of Enhancing Exercise Performance and Decreasing Fatigue. *Microorganisms*, **8**, Article No. 545. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8040545>
- [13] Takeshita, H., Yamamoto, K., Nozato, S., Inagaki, T., Tsuchimochi, H., Shirai, M., Yamamoto, R., Imaizumi, Y., Hongyo, K., Yokoyama, S., Takeda, M., Oguro, R., Takami, Y., Itoh, N., Takeya, Y., Sugimoto, K., Fukada, S. and Rakugi, H. (2017) Modified Forelimb Grip Strength Test Detects Aging-Associated Physiological Decline in Skeletal Muscle Function in Male Mice. *Scientific Reports*, **7**, Article No. 42323. <https://doi.org/10.1038/srep42323>
- [14] Veskoukis, A.S., Kyparos, A., Paschalis, V. and Nikolaidis, M.G. (2018) A Novel Swimming Performance Test in Rats.

Chinese Journal of Physiology, **61**, 144-151. <https://doi.org/10.4077/CJP.2018.BAG548>

- [15] Jäger, R., Mohr, A.E., Carpenter, K.C., Kerksick, C.M., Purpura, M., Moussa, A., Townsend, J.R., Lamprecht, M., West, N.P., Black, K., Gleeson, M., Pyne, D.B., Wells, S.D., Arent, S.M., Smith-Ryan, A.E., Kreider, R.B., Campbell, B.I., Bannock, L., Scheiman, J., Wissent, C.J., Pane, M., Kalman, D.S., Pugh, J.N., TerHaar, J.A. and Antonio, J. (2019) International Society of Sports Nutrition Position Stand: Probiotics. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, **16**, Article No. 62. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0329-0>
- [16] Pugh, J.N., Sparks, A.S., Doran, D.A., Fleming, S.C., Langan-Evans, C., Kirk, B., Fearn, R., Morton, J.P. and Close, G.L. (2019) Four Weeks of Probiotic Supplementation Reduces GI Symptoms during a Marathon Race. *European Journal of Applied Physiology*, **119**, 1491-1501. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04136-3>
- [17] Huang, W.C., Lee, M.C., Lee, C.C., Ng, K.S., Hsu, Y.J., Tsai, T.Y., Young, S.L., Lin, J.S. and Huang, C.C. (2019) Effect of *Lactobacillus plantarum* TWK10 on Exercise Physiological Adaptation, Performance, and Body Composition in Healthy Humans. *Nutrients*, **11**, Article No. 2836. <https://doi.org/10.3390/nu11112836>
- [18] Brooks, G.A. (1987) Amino Acid and Protein Metabolism during Exercise and Recovery. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **19**, S150-S156. <https://doi.org/10.1249/00005768-198710001-00009>
- [19] Sahlin, K. (1986) Muscle Fatigue and Lactic Acid Accumulation. *Acta Physiologica Scandinavica*, **556**, 83-91.