

西瓜汁作为一种潜在功能性饮料在缓解运动员肌肉酸痛中的作用

司景梅, 刘 静

(吕梁学院 体育系, 山西 吕梁 033000)

摘要: 通过实验, 探讨西瓜汁作为一种潜在功能性饮料在缓解运动员肌肉酸痛中的作用。用普通天然西瓜汁、高温处理的西瓜汁及作为对照的 L-瓜氨酸标准品, 利用人源肠 Caco-2 细胞单层模型, 对 L-瓜氨酸的转运过程进行体外研究。结果发现, L-瓜氨酸作为西瓜汁的成分且没有经过高温处理的条件下, 其生物利用度较高。在体内进行实验时, 给 7 名运动员分别提供普通天然西瓜汁、增强 L-瓜氨酸的西瓜汁和安慰剂。结果表明, 普通天然西瓜汁和增强 L-瓜氨酸的西瓜汁均具有缩短运动者运动后心率恢复时间及缓解运动后肌肉酸痛的功效; 普通西瓜汁饮料更具有生物药效, 更利于身体吸收。西瓜汁作为一种潜在功能性饮料有待开发应用。

关键词: 西瓜汁; 生物利用率; 运动员; 肌肉酸痛

中图分类号: G804.7

文献标志码: A

文章编号: 1008-3596 (2017) 01-0060-07

L-瓜氨酸是一种非蛋白氨基酸, 它仅仅被看作是鸟氨酸循环过程的中间产物。所以, L-瓜氨酸很少引起营养学界的兴趣。但是, 瓜氨酸能与人体内的酶产生化学反应, 转变成对人体循环和免疫系统有益的精氨酸, 精氨酸能促进生成 NO, 帮助放松血管。

研究发现, 天然食物中除了西瓜之外, 几乎都缺少 L-瓜氨酸^[1]。作为一种主要的自由基清除剂, L-瓜氨酸可以使野生西瓜抵挡因干旱导致的氧化应激。这些抗氧化特征, 加上产生 NO 的能力, 使其在应对以氧化应激和精氨酸利用率降低为特征的病理情况时 (如高血压、心力衰竭、动脉粥样硬化、镰刀型红细胞贫血症等^[2-4]) 成为一种首选物质。由于能够促进机体 NO 的合成增加以及骨骼肌中的葡萄糖转运水平的提高, 所以, 补充 L-瓜氨酸还有助于运动员运动能力的提高^[5]。研究发现, 补充瓜氨酸苹果酸可以提高

机体中对肌肉生长起重要作用的精氨酸和鸟氨酸的水平, 除此之外, 还可以影响生长激素的水平^[6]。例如, 给成年鼠饲喂 1 周富含 L-瓜氨酸 (每天 5 g/kg) 的食物后, 会引起大鼠骨骼肌肌肉蛋白质合成速率与蛋白质的增加^[7]; 富含 L-瓜氨酸的膳食还有助于平滑肌的放松^[8]。另据研究发现, 每天服用 8 g 瓜氨酸苹果酸能够增强运动员的无氧能力, 并且缓解运动员的肌肉酸痛; L-瓜氨酸也可以加快乳酸的清除, 提高身体活动能力^[9]。也就是说, L-瓜氨酸可以促进机体运动后恢复, 并能在此基础上继续进行更高强度的训练。

如今, 食品工业正在研究天然的功能性产品, 这些功能性产品的食物来源富含生物活性化合物, 可以作为药物产品的替代品。西瓜汁富含 L-瓜氨酸, 对于希望提高运动能力的运动员来说是一个极好选择。然而, 选择这种果汁的先决条

收稿日期: 2016-08-14

作者简介: 司景梅 (1986—), 女, 山西吕梁人, 助教, 硕士, 研究方向为体育教育训练学。

通讯作者: 刘 静 (1982—), 男, 山西吕梁人, 讲师, 硕士, 研究方向为体育教育训练学。

件应是 L-瓜氨酸作为果汁成分在经过加工处理后(比如加热)的生物利用度。可以利用人源结肠腺癌细胞系 Caco-2 细胞单层模型评定其生物利用度, 此方法已被用来检测多种营养素(药物)的生物利用度。

本研究的目的是测定标准合成的 L-瓜氨酸或普通天然西瓜汁(经高温消毒处理或未经高温消毒处理)中的 L-瓜氨酸在体外的生物利用度。并用最大摄氧量功率自行车实验确定西瓜汁在体内实验中对运动者运动表现的潜在影响作用。

1 研究材料、实验对象和方法

1.1 材料

1.1.1 细胞

Caco-2 细胞株(HTB-37), 购自于美国 ATCC (American Type culture collection, 马纳萨斯, 弗吉尼亚, 美国), 储存在冷冻液氮细胞培养物中。

1.1.2 药品及主要试剂

非必需氨基酸(NEAA); 胎牛血清; 抗生素溶液。丙酮酸钠胰蛋白酶溶液 EDTA; 含有 Ca^{2+} 不含 Mg^{2+} 的 Hanks 盐(SBSS); 不含石炭酸红的 Hanks 盐; 标准 L-瓜氨酸。

1.2 实验对象

北京体育大学运动训练专业的本科男大学生 7 名。平均年龄 22.7 ± 0.8 岁; 平均体重 68.9 ± 3.8 kg; 平均身高 170.8 ± 3.6 cm; 平均体重指数 24.0 ± 0.6 。实验前对所有实验对象详细介绍本研究的目的是方法, 并签署志愿者协议。实验前完成有关个人心血管病史的问卷调查; 肺功能和静息血压检测; 测定基线心电图和安静状态下的肺活量。这些测定数据作为被试的纳入标准。本研究的 7 个研究对象测试参数正常, 均符合纳入标准。这些研究对象近期内无服用影响运动表现的药物或受过影响运动表现的伤病。

1.3 方法

1.3.1 西瓜汁的制备

10 个大的无籽西瓜, 运送到实验室后, 用 100 mg/L 的次氯酸钠清洗, 并用吸水纸擦干后在 10°C 条件下保存。浆液化果肉, 分为普通天然西瓜汁(未经任何处理, NW) 和经高温处理的西瓜汁(在 80°C 下加热消毒 40 s 后立在冰上

冷却至 8°C , PW), 然后转移到无菌容器中, 4°C 条件下储存, 直至实验(2 天后)。西瓜汁加热消毒的温度和时间要确保使其尽可能保持原有的番茄红素、抗氧化剂、酚类化合物的含量以及色泽。

1.3.2 细胞培养

从液氮罐中取出 Caco-2 细胞, 将其放入水浴锅中, 在 37°C 条件下加速解冻。将细胞转移到一个 25 cm^2 、含有细胞培养基(达尔伯克改良伊格格培养基)的烧瓶中, 并在温度为 37°C 、 CO_2 浓度为 5%、相对湿度为 95% 的条件下培养 21 天, 直到细胞达到最高分化水平。黏附在烧瓶上的细胞生长到覆盖烧瓶表面, 形成单层细胞。培养基每 2—3 天更换一次。当细胞融合后, 进行胰蛋白酶消化与细胞悬浮液稀释。在细胞培养基中将细胞稀释, 浓度为 5×10^5 个/ cm^2 。

1.3.3 Caco-2 细胞中 L-瓜氨酸的吸收速度, 表观渗透率

通过比较瓜氨酸起始的量和最终的量(细胞转运后)来计算其吸收量, 以瓜氨酸每秒钟通过聚碳酸酯板的量(ng)来表示吸收速度。

Caco-2 单细胞层的通透系数用下面的公式来计算:

$$P_{\text{app}} (\text{cm/s}) = dQ/dt \times 1/ACo$$

P_{app} 表示表观通透系数 (cm/s), dQ/dt 代表 L-瓜氨酸的转运速率 ($\mu\text{g/s}$), A 是单细胞层生长表面积 (cm^2), Co 是顶端 L-瓜氨酸的起始浓度 ($\mu\text{g/ml}$)。

1.3.4 实验室功率自行车递增负荷实验

根据功率自行车递增负荷实验的特点, 在初始负荷不变的情况下, 方案特征由每级递增强度和递增频率两个因素决定, 结合国内外相关文献, 设计双因素双水平实验方案如下: 起始负荷 100 W, 递增强度 50 W, 递增频率 1 min。递增负荷实验在北京体育大学心肺机能实验室进行。测试前三天进行高糖饮食 ($9-10\text{ g/kg}$), 测试进行前 24 h 要求被试不能进行剧烈的身体运动、饮酒和饮用含有刺激剂的饮料。被试在运动前 1 h 随机分配并饮用西瓜汁饮品。实验分 3 次进行, 每次试验之间间隔 5 天。即第一次 7 名均饮用 EW 进行试验, 间隔 5 天后再进行 NW 试验, 以此类推。每次重复检测都在监督下完成。

实验步骤:

(1) 将上述递增负荷实验方案输入计算机。将功率自行车与计算机连接好, 调试到可正常使用状态。

(2) 录入运动员的基本信息, 如姓名、年龄、身高、体重。佩戴 POLAR 表, 测定安静心率, 采取指端血用于测定安静状态下血乳酸。

(3) 调整功率车高度到适合运动员使用。运动员热身 15 min, 负荷强度为 1.5 W/kg。

(4) 热身结束后, 待心率恢复到安静水平, 开始试验。要求运动员按照功率车输出的负荷, 以不低于 60 转/min 的蹬踏频率尽全力骑行, 直至力竭时停止试验, 试验期间一直鼓励运动员尽力坚持。

(5) 实验结束后即刻、12 h、24 h、36 h、48 h 分别采集指端血样测试乳酸。

西瓜汁饮料: ①普通天然西瓜汁 (NW); ②增强 L-瓜氨酸的西瓜汁 (等量普通天然西瓜汁中再加入 4.83 g 的 L-瓜氨酸, EW); ③安慰剂对照组 (蔷薇果、木槿、博士茶、苹果浆、天然香料、草莓片等水果味植物浸渍液)。安慰剂对照样品与西瓜汁颜色上相似, 糖浓度相当。各处理成分见表 1。为了尽量减少任何预期对结果造成的影响, 参与者对不同的处理结果的潜在作用不知情。

表 1 L-瓜氨酸的含量和理化特性 ($\bar{x} \pm SD$)

成分	NW	EW	安慰剂
糖含量/%	5.80±0.03	5.80±0.00	5.80±0.06
浓度/(g/mL)	1.03±0.00	1.03±0.01	1.02±0.01
光度	28.01±0.10	24.20±0.09	21.85±0.02
色相	37.42±0.03	37.21±0.04	34.47±0.06
色度	15.94±0.01	16.75±0.09	11.04±0.00
瓜氨酸/(g/L)	2.33±0.13	12.33±0.18	

注: 糖含量为葡萄糖、果糖与蔗糖的总量; 光度 (CIE L *); 色相 ($\tan^{-1}(b^*/a^*)$); 色度 ($(a^*)^2 + (b^*)^2$)。

用 Borg 表估算主观体力感觉等级。并在运动结束后 24 h 和 48 h, 根据如下所述从 1—5 等级范围报告自己的肌肉酸痛情况: 没有酸胀感 (1), 对立即训练没有影响的微弱酸胀感 (2), 对立即训练有微弱影响的中等酸痛感 (3), 对立即训练具有不利影响的高度酸痛感 (4), 对立即

训练可能造成运动损伤的极度酸痛感 (5)。

2 统计分析

用 Shapiro-Wilk 正态检验确定体内实验获得的数据的分布, 使用非参数检验来进行统计分析。使用弗里德曼方差分析比较体外实验中获得的数据。统计分析使用 spss15.0 统计软件包, 数据用平均值±标准差表示。统计显著性为 $P < 0.05$ 。

3 结果

3.1 L-瓜氨酸在 Caco-2 细胞中的吸收率

与标准 L-瓜氨酸相比, 普通天然西瓜汁与经过高温消毒处理的西瓜汁中 L-瓜氨酸在 4 min 时吸收率均较高, 普通天然西瓜汁中 L-瓜氨酸的吸收率最高, 且在 8 min 时, 表现出更高的吸收率, 差异具有非常显著性; 随着时间的延长, 标准 L-瓜氨酸、普通天然西瓜汁与经过高温消毒的西瓜汁中 L-瓜氨酸的吸收率均降低 (表 2)。

表 2 Caco-2 细胞模型对 L-瓜氨酸的吸收率 ($\bar{x} \pm SD$)

吸收率/%	4 min	8 min	15 min
Control	11.02±2.31	9.07±1.15	10.51±1.78
NW	16.73±3.85**	17.98±3.08**	12.52±1.90&&
PW	13.82±2.05	8.92±1.07	7.59±1.02

注: 与对照组相比, *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$; 与 PW 相比, &: $P < 0.05$, &&: $P < 0.01$; Control (L-瓜氨酸+水); NW (天然未消毒西瓜汁); PW (消毒的西瓜汁)。

3.2 Caco-2 细胞对 L-瓜氨酸的吸收速度

普通天然西瓜汁以及经过高温消毒处理的西瓜汁中 L-瓜氨酸吸收速度在 4 min、8 min、15 min 时均高于作为标准对照的 L-瓜氨酸, 差异具有非常显著性; 普通天然西瓜汁中的 L-瓜氨酸在三个时间点的吸收速度均高于经过高温处理的西瓜汁, 差异具有非常显著性 (表 3)。

表 3 Caco-2 细胞对 L-瓜氨酸的吸收速度 ($\bar{x} \pm SD$)

吸收速度/(ng/s)	4 min	8 min	15 min
Control	17.92±3.87	7.28±1.43	4.98±1.65
NW	28.13±4.12**&&&	17.14±2.17**&&	6.31±2.10**&&
PW	24.91±3.77**	8.25±2.74**	3.01±1.22**

注: 与对照组相比, *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$; 与 PW 相比, &: $P < 0.05$, &&: $P < 0.01$; Control (L-瓜氨酸+水); NW (天然未消毒西瓜汁); PW (消毒的西瓜汁)。

3.3 L-瓜氨酸在 Caco-2 细胞中的渗透性

表 4 L-瓜氨酸在 Caco-2 细胞中的渗透性 ($\bar{x} \pm SD$)

通透率/ (cm/s $\times 1000$)	4 min	8 min	15 min
Control	7 \pm 2.1	3.7 \pm 1.1	1.9 \pm 0.6
NW	10 \pm 3.2**&&	6.9 \pm 2.2**&&	2 \pm 0.69&&
PW	8.9 \pm 2.6**	3.5 \pm 1.2	0.9 \pm 0.25**

注: 与对照组相比, *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$; 与 PW 相比, &: $P < 0.05$, &&: $P < 0.01$; Control (L-瓜氨酸+水); NW (天然未消毒西瓜汁); PW (消毒的西瓜汁)。

4 min、8 min 时, 普通天然西瓜汁和经过高温消毒处理的西瓜汁中 L-瓜氨酸在 Caco-2 细胞中的渗透性高于标准对照的 L-瓜氨酸, 差异具有非常显著性; 4 min、8 min、15 min 时, 普通天然西瓜汁中 L-瓜氨酸在 Caco-2 细胞中的透

透性均高于经过高温处理的西瓜汁中 L-瓜氨酸, 差异具有非常显著性; 但随着时间的延长, L-瓜氨酸在 Caco-2 细胞中的渗透性均显著降低(表 4)。

3.4 运动开始时、运动结束后及恢复期 1 min、3 min 的心率

在整个测试过程中, 摄入普通天然西瓜汁、增强 L-瓜氨酸的西瓜汁与安慰剂的测试者心率变化相似, 可见测试者心率变化与饮料类型无关。最初平均心率为 106 次/min, 运动期间增加到了 170 次/min。恢复 1 min 和 3 min 后, 心率降到了 148 次/min 和 138 次/min。尽管没有观察到显著性差异, 但摄入天然西瓜汁和增强 L-瓜氨酸的西瓜汁后, 心率具有较快下降的趋势。

表 5 运动开始时、运动结束后及恢复期 1 min、3 min 的心率 ($\bar{x} \pm SD$) 次/min

心率	运动开始	运动结束	恢复期 1 min	恢复期 3 min
NW	102 \pm 11	164 \pm 21	143 \pm 25	131 \pm 17
EW	106 \pm 14	171 \pm 24	144 \pm 23	136 \pm 19
安慰剂	110 \pm 18	175 \pm 27	157 \pm 20	147 \pm 28

3.5 试验结束后 24 h、48 h 运动员主观体力感觉和肌肉酸痛感

运动后, 无论是摄入普通天然西瓜汁、增强 L-瓜氨酸的西瓜汁还是安慰剂, 研究对象的主观体力感觉等级均在 18.75 和 19.33 之间, 差异不具有显著性(表 6)。

表 6 运动试验 24 h、48 h 后运动员主观体力感觉和肌肉酸痛感 ($\bar{x} \pm SD$)

PE-MS	PE	MS24 h	MS48 h
NW	19.04 \pm 2.12	1.2 \pm 0.1**	0.83 \pm 0.01
EW	18.75 \pm 2.09	1.0 \pm 0.3**	0.90 \pm 0.02
安慰剂	19.33 \pm 2.21	1.7 \pm 0.4	1.0 \pm 0.04

注: PE: 主观体力感觉; MS: 肌肉酸痛; 与安慰剂组相比, *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$ 。

在运动后 24 h, 摄入安慰剂的实验对象肌

肉组织明显更酸痛。然而, 摄入普通天然西瓜汁和增强 L-瓜氨酸的西瓜汁的实验对象之间的差异无统计学意义。48 h 后, 即使是摄入安慰剂的实验对象, 肌肉酸痛度也降到了 1, 与摄入普通天然西瓜汁和增强 L-瓜氨酸的西瓜汁的实验对象相比, 差异无统计学意义。

3.6 运动结束后即刻、12 h、24 h、36 h、48 h 的血乳酸浓度

运动结束后即刻, 不同组别之间血乳酸浓度差异无统计学意义。12 h、24 h 后, 与安慰剂组相比较, 普通天然西瓜汁组与增强 L-瓜氨酸的西瓜汁组血乳酸浓度显著降低, 差异具有非常显著性; 36 h、48 h 后, 不同组之间血液乳酸浓度差异无统计学意义(表 7)。

表 7 运动后即刻、12 h、24 h、36 h、48 h 的血乳酸浓度 ($\bar{x} \pm SD$) mmol/L

血乳酸浓度	运动后即刻	运动后 12 h	运动后 24 h	运动后 36 h	运动后 48 h
NW	14.43 \pm 2.72	3.97 \pm 2.31**	1.19 \pm 3.75**	0.91 \pm 0.18	0.55 \pm 0.17
EW	14.85 \pm 2.23	3.01 \pm 2.18**	1.78 \pm 3.43**	0.83 \pm 0.16	0.61 \pm 0.11
安慰剂	15.91 \pm 2.53	5.92 \pm 2.55	4.35 \pm 4.19	1.27 \pm 0.13	0.64 \pm 0.14

注: 与安慰剂组相比, *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$; 与 EW 相比, &: $P < 0.05$, &&: $P < 0.01$ 。

4 分析讨论

研究表明,加工处理和生物利用率之间的关系依赖于生物活性物质和食物基质^[10]。加热处理(90 °C/30 s)显著降低不同饮料中维生素E和类胡萝卜素的生物有效性;加热处理可以使氨基酸(如L-瓜氨酸)与食物基质中已有的其他化合物(如糖)发生反应,从而形成难以利用的衍生物,最常见的例子是生成美拉德反应产物,降低了吸收率^[11]。据报道,赖氨酸中也有类似的反应,当一种食物或饲料经加热处理后,已有的赖氨酸会形成营养上无法利用的衍生物^[12-13]。研究发现,野生豌豆从110 °C加热到165 °C时可获得的赖氨酸量下降了73%^[14]。

本研究结果发现,普通天然西瓜汁中的L-瓜氨酸和作为标准对照的L-瓜氨酸在最初的4 min吸收率最高;普通天然西瓜汁中的L-瓜氨酸吸收率高于作为标准对照的L-瓜氨酸和经过高温处理的西瓜汁中的L-瓜氨酸。表明与纯标准的L-瓜氨酸(药理配方)相比,西瓜汁是L-瓜氨酸生物有效度和转运的一种更适宜的载体;高温(80 °C/40 s)处理降低了相同食物基质中L-瓜氨酸的吸收速率。

生物有效性研究中需要了解的一个重要参数是化合物的吸收速度,较快的吸收速度避免了与其他化合物的竞争,增加了有关功能性化合物的有益效应。本研究结果表明,普通天然西瓜汁吸收速率大于对照或高温处理的西瓜汁的吸收速率。但随着时间的延长,吸收速率逐渐降低,15 min时吸收速率最低;与高温处理后的西瓜汁和对照对比,普通天然的西瓜汁中瓜氨酸表现出较高的细胞渗透性。这表明L-瓜氨酸作为普通天然西瓜汁基质的成分在经高温处理后生物有效性下降,普通天然西瓜汁中L-瓜氨酸的生物有效较高。

剧烈运动后局部肌肉疼痛是一种常见现象,尤其是在不经常锻炼的人身上更易发生,其主要原因是:在剧烈运动时肌肉糖酵解加强,乳酸生成速度加快,导致肌肉和血液乳酸浓度快速增加,肌肉和血液pH值迅速下降^[15]。研究表明,补充瓜氨酸可以缓解疲劳,刺激肝内尿素生成,促进肾对碳酸氢盐的重吸

收^[16]。这些代谢过程对酸中毒和氨的毒害有保护作用,说明了瓜氨酸苹果酸酯的抗疲劳特性;另据研究发现,摄取瓜氨酸苹果酸酯,运动期间ATP氧化产生速率增加34%,运动后磷酸肌酸的恢复速率增加20%^[17];补充瓜氨酸可以延长游泳运动到极限的时间,而且这种影响效应包括抑制血氨的积累;补充氨基酸可以提高运动表现,并且可以实现疲劳的尽快恢复^[18];健康老鼠饮食中添加瓜氨酸苹果酸酯具有增加机能的效应,且肌肉收缩效率提高^[19]。也就是说,对于进行高强度运动的个体来说,补充瓜氨酸是非常有用的。

本研究结果发现,在运动后24 h,较西瓜汁组,安慰剂组肌肉组织明显更酸痛。然而,普通天然西瓜汁和加强L-瓜氨酸的西瓜汁之间并无差别,表明1.17g的L-瓜氨酸是帮助研究对象减缓肌肉酸疼的足够氨基酸。

本研究并没有发现不同饮料摄入对运动员踏车转速和主观体力感觉产生显著的影响,但摄入普通天然西瓜汁和加强L-瓜氨酸的西瓜汁后,运动员在运动后恢复期1 min和3 min时,心率具有较快的下降趋势。表明西瓜汁中的L-瓜氨酸可以缩短运动员的体力恢复时间。

综上,本研究证明了西瓜汁中富含的天然L-瓜氨酸的可能“功能”。本研究表明:当L-瓜氨酸存在于天然基质中(如未经处理的普通天然西瓜汁)时,具有较高的生物有效性,有助于缓解肌肉酸痛。未来的研究应当关注瓜氨酸在缓解肌肉酸痛时所需要的最低浓度以及瓜氨酸的其他健康益处(比如缓解压力、提高运动能力以及预防心血管疾病等方面)。这种氨基酸可以西瓜汁的形式提供或者从西瓜中提取富含瓜氨酸的产品。在食品工业研发新的天然的功能性产品代替医药工业合成的化合物的过程中,水果和蔬菜中的功能性化合物的含量起着关键的作用。

5 结语

西瓜汁具有缩短运动者运动后心率恢复时间以及缓解肌肉酸痛的功能;普通西瓜汁饮料更具有生物药效,更利于身体吸收;西瓜汁作为一种潜在功能性饮料有待进一步开发应用。

参考文献:

- [1] Tarazona-Díaz M P, Viegas J, Moldao-Martins M, et al. Bio-active compounds from flesh and by-product of Spanish fresh-cut watermelons cultivar [J]. *J Sci Food Agric*, 2011, 91(5):805-812.
- [2] Ikeda Y, Young L H, Scalia R, et al. Cardioprotective effects of citrulline in ischemia/reperfusion injury via a non-nitric oxide-mediated mechanism [J]. *Methods & Findings in Experimental & Clinical Pharmacology*, 2000, 22(7):563-571.
- [3] Romero M J, Platt D H, Caldwell R B, et al. Therapeutic use of citrulline in cardiovascular disease [J]. *Cardiovascular Drug Reviews*, 2006, 24(3):275-290.
- [4] Figueroa A, Sanchez-Gonzalez M A, Perkins-Veazie P M, et al. Effects of watermelon supplementation on aortic blood pressure and wave reflection in individuals with prehypertension: a pilot study [J]. *American Journal of Hypertension*, 2011, 24(1):40-44.
- [5] Sureda A, Córdova A, Ferrer M D, et al. Citrulline-malate influence over branched chain amino acid utilization during exercise [J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2010, 110(2):341-351.
- [6] Osowska S, Duchemann T, Walrand S, et al. Citrulline modulates muscle protein metabolism in old malnourished rats [J]. *Ajp Endocrinology & Metabolism*, 2006, 291(3):E582-E586.
- [7] Jayaprakasha G K, Murthy K N C, Patil B S. Rapid HPLC-UV method for quantification of l-citrulline in watermelon and its potential role on smooth muscle relaxation markers [J]. *Food Chemistry*, 2011, 127(1):240-248.
- [8] Pérezguisado J, Jakeman P M. Citrulline malate enhances athletic anaerobic performance and relieves muscle soreness [J]. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 2010, 24(5):1215-1222.
- [9] Rachel B, John M L, Guoyao W. Nutrition and enhanced sports nutrition and health [M]. Salt Lake City: ACADEMIC PRESS, 2013:439-446.
- [10] Aherne S A, Daly T, Jiwan M A, et al. Bioavailability of β -carotene isomers from raw and cooked carrots using an in vitro digestion model coupled with a human intestinal Caco-2 cell model [J]. *Food Research International*, 2010, 43(5):1449-1454.
- [11] Cilla A, Alegría A, Ancos De B, et al. Bioaccessibility of tocopherols, carotenoids, and ascorbic acid from milk- and soy-based fruit beverages; influence of food matrix and processing [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2012, 60(29):7282-7290.
- [12] Rutherford S M, And P J M, Osch L V. Digestible reactive lysine in processed feedstuffs: application of a new bioassay [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1997, 45(4):1189-1194.
- [13] Erbersdobler H F, Hupe A. Determination of lysine damage and calculation of lysine bio-availability in several processed food [J]. *Zeitschrift Für Ernährungswissenschaft*, 1991, 30(1):46-49.
- [14] Van Barneveld R J, Batterham E S, Norton B W. The effect of heat on amino acids for growing pigs [J]. *British Journal of Nutrition*, 1994, 72(2):243-256.
- [15] 武宝爱, 王人卫, 内藤祐子. 补醋对力竭运动后血乳酸、血氨、血气等指标的影响 [J]. *武汉体育学院学报*, 2007, 41(11):48-52.
- [16] Callis A, Magnan de B B, Serrano J J, et al. Activity of citrulline malate on acid-base balance and blood ammonia and amino acid levels. Study in the animal and in man [J]. *Arzneimittel-Forschung*, 1991, 41(6):660-663.
- [17] Bendahan D, Mattei J, Ghattas B, et al. Citrulline/malate promotes aerobic energy production in human exercising muscle [J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2002, 36(4):282-289.
- [18] Takeda T K, Machida M, Kohara A, et al. Effects of citrulline supplementation on fatigue and exercise performance in mice [J]. *Journal of Nutritional Science & Vitaminology*, 2011, 57(3):246-250.
- [19] Guanidine B, Le Fur Y, Cozened P J, et al. Citrulline malate supplementation increases muscle efficiency in rat skeletal muscle [J]. *Pharmacia*, 2011, 667(3):100-104.

The Role of Watermelon Juice as a Potential Functional Drink in Athletes' Muscle Soreness Relief

SI Jing-mei, LIU Jing

(Department of Physical Education, Lvliang University, Lvliang 033000, China)

Abstract: This study investigates the role of watermelon juice as a potential functional drink in relieving athletes' muscle soreness by experiment. Human intestinal Caco-2 cell monolayer model is applied to make an in vitro study about the operation process of L-corralline using common natural watermelon juice, pasteurized watermelon juice and a standard of L-corralline as control sample. The results show that bioavailability of L-corralline as ingredient of watermelon without pasteurization is greater. In the in vivo experiment, seven athletes are supplied with natural watermelon juice, L-corralline enriched watermelon juice, and placebo. The results show that both natural watermelon juice and L-corralline enriched watermelon juice watermelon juices have the function of reducing the recovery duration of heart rate and relieve muscle soreness after exercise. Natural watermelon juice has bigger biological effect, and it is easier to absorb. Watermelon juice as a potential functional drink could be valuable in future development and application.

Key words: watermelon juice; bioavailability; athletes; muscle soreness