

运动饮料与口服补液盐对高温环境下大鼠新陈代谢的影响

Effects of sports drinks and oral rehydration salts on the metabolism of rats in high temperature environment

李明

LI Ming

(长沙民政职业技术学院, 湖南 长沙 410004)

(Changsha Social Work College, Changsha, Hunan 410004, China)

摘要: 比较了口服补液盐(Oral Rehydration Solutions, ORS)与运动饮料(Sports Drink Solutions, SDS)在高温运动过程中对试验大鼠新陈代谢的影响。试验结果显示: 两组试验中的血红蛋白水平显著升高, 出汗率和脱水率无显著差异, 血浆体积的变化显著, 血葡萄糖含量显著高于对照组。完成运动后, SDS中的脂肪氧化低于ORS。研究结果表明, 在高温运动过程中补充水分时, ORS和SDS的体液保留能力无显著差异, 表明在炎热环境中运动时摄入的液体量可能比饮料的内容物更为重要。运动饮料能更好地维持血糖水平, 在有限的CHO摄入量和较长的高强度工作时间的情况下, 如在持续运动或户外作业中, 运动饮料摄入为更优的选择。

关键词: 补水; 脱水; 热应力; 保水能力

Abstract: The effects of oral rehydration solutions (ORS) and sports drink solutions (SDS) on the hydration and metabolism of experimental rats during high temperature exercise were compared. The results showed that the hemoglobin level of the two groups increased significantly, and the sweating rate and dehydration rate had no significant difference. In the two treated groups, the change of plasma volume was significant difference, and the blood glucose content was significantly higher than that of the control group. After exercise, the fat oxidation in SDS was lower than that in ORS. However, no difference was found between groups of ORS and SDS in the capacity of body fluid retention when water was replenished during the high temperature exercise. This indicated that the amount of fluid ingested during

exercise in hot environment might be more important than the content of beverage. Sports drinks could maintain better blood glucose level. In the case of limited CHO intake during the long-time and high-intensity work, such as in continuous exercise or outdoor work, sports drink intake was a better choice. The results of the study will provide reasonable suggestions for the safety work and physical performance of athletes, military personnel and outdoor high-intensity workers.

Keywords: hydration; dehydration; thermal stress; water retention capacity

在长时间的高强度运动中汗液流失率较高, 因此维持体液和体温的平衡对保持运动人员的体能尤为重要, 如体液流失明显超过体液摄入, 则会对人体产生不利影响^[1-2]。为了克服环境和新陈代谢的热量积累并防止人体的核心温度^[3]升高, 必须通过出汗散失热量以调节温度。在运动员和某些特殊职业(如: 野外执勤的消防员或军事人员)之中, 出汗流失液体的数量主要受内在因素(遗传、体型和热适应状态等)和外在因素(环境温度/湿度、个人防护装备以及运动强度/持续时间等)的影响^[4-5]。现代医学研究数据^[6-8]表明, 在偏离正常值约3%~4%的脱水状态下, 血浆量将减少, 在人体高温时提高中风机率和降低心脏供血输出量(约13%), 对心血管系统正常运行造成威胁。脱水也会造成核心温度的增加。因此, 运动医学专家通常建议, 运动期间适量摄入液体以防止脱水^[9], 但也警告不要过量摄入, 以避免体重过度增加和增加患低钠血症的风险^[10-11]。

体液的体积和成分会影响胃及小肠的吸收速率, 从而进入细胞外空间以帮助维持血浆体积。已有研究^[12]证明摄入的液体中钠含量的增加会显著增强液体的滞留性。运动饮料(Sports Drink Solutions, SDS)和口服补液盐

基金项目: 湖南省社会科学成果评审委员会课题(编号: XSP20YBC125)

作者简介: 李明(1984—), 男, 长沙民政职业技术学院讲师, 硕士。
E-mail: 272362422@qq.com

收稿日期: 2019-12-29

(Oral Rehydration Solutions, ORS)中的钠不仅会增强液体滞留性,还能够增加风味,刺激饮用更多的液体;而如果钠浓度过高($>50\text{ mmol/L}$)则会降低口感,并可能引起饮用者胃肠不适。ORS在医学上通常用于治疗水分和电解质流失,以防治与急性腹泻病相关的疾病^[13]。世界卫生组织此前开发了一种 ORS^[14],以帮助从急性腹泻病中恢复($\text{Na}^+ 75\text{ mmol/L}$, $\text{Cl}^- 65\text{ mmol/L}$, $\text{K}^+ 20\text{ mmol/L}$, 柠檬酸盐 10 mmol/L , 葡萄糖 75 mmol/L)。SDS 通常用在运动过程中因出汗而造成水分和电解质流失,并包含碳水化合物(CHO),以保持长时间的运动状态,通常包含约 60 g/L 碳水化合物(CHO), $20\sim 30\text{ mmol/L Na}^+$ 和 $2\sim 5\text{ mmol/L K}^+$ ^[15]。因此,这些饮料被设计为在不同情况下解决水分和电解质流失的问题。

直到最近,研究者才开始尝试在补水程度方面直接比较不同配方饮料的影响。例如,在一项研究^[16]中,尽管受试者保持了正常的水合状态,但 ORS 和牛奶导致尿量最少,因此保留的水分最多。食品行业已经提出了补充体液饮料的组成取决于液体流失的机制(汗、尿、呼吸或腹泻/呕吐等因素)^[17]。但是,目前尚无研究直接比较运动期间 ORS 和 SDS 的作用,特别是缺乏用于比较在高温运动中摄入 ORS 和 SDS 的有效性数据。在严苛的高强运动条件下(例如高环境温度、个人防护装备以及由于高能量需求),人体内水分的周转量高达 $7\sim 9\text{ L/d}$ ^[18],因此需要适当补充含钠和 CHO 的液体,确保安全和持续的运动表现。研究拟比较两种市售饮料,即口服补液盐($5.45\%\text{ Na}^+$, $3.4\%\text{ 碳水化合物}$)和运动饮料($11.4\%\text{ Na}^+$, $5.9\%\text{ 碳水化合物}$)在高温环境下对试验大鼠的补水性能和新陈代谢的影响,旨在为运动员、军事人员和户外高强度工作人员的安全工作和体能表现提供合理建议。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

健康成年大鼠:8~10 周龄,体重 $280\sim 300\text{ g}$,上海西普尔动物实验有限公司;
运动饮料:百事可乐公司;
口服补液盐:佳益运动口服液(MT-201),得益运动健身有限责任公司;
毛细血管刺血针:医用,德卢斯TM,印度 GA 公司;

血红蛋白便携式光度计:Siemens ADVIA 2120i 型,双波长 570 nm 和 880 nm ,德国西门子公司;

离心机:OZY-YT-2 型,奥林巴斯生物分析有限公司。

1.2 试验设计

所有的试验对象($n=10$)在试验气候控制室完成了 2 个时长为 90 min 的运动试验($39\text{ }^\circ\text{C}$, 30%),每次运动试验中,受试者摄入单次同等剂量的 SDS 或 ORS(成分见表 1)。在运动的第 45 min ,对每个受试者进行流体推注,随后受试者休息 10 min ,在此期间记录其体重。在此过程中用消防员防护服材料包覆试验大鼠。在 90 min 的试验中,每 15 min 收集一次心率(Heart Rate, HR)和感知劳累等级(Rating of Perceived Exertion, RPE)数据。在 45 min (运动中)和 90 min (运动后)之前的 3 min 内,获得稳态的稳定气体。记录受试者的呼吸测量通气吸入体积、氧气体积和二氧化碳体积,以估计底物利用率^[19]。在试验完成后的 120 min ,做相同测量并取平均值。

1.3 血液分析

使用 2.3 mm (18 号)的刺血针从试验对象的手指处收集血液样品, $12\ 000\times g$ 离心 6 min ,立即测量血细胞比容及血红蛋白,并使用血红蛋白便携式光度计进行分析^[20],通过评估血细胞比容和血红蛋白计算血浆体积,并校正血药浓度,分析血糖浓度。

1.4 液体平衡

从运动前,运动中和试验后裸鼠体重的变化计算脱水百分比。出汗率根据试验前,运动中和试验后裸鼠体重的变化计算得出,并针对尿液排泄,消耗的液体和呼吸失水进行了校正。

脂肪和 CHO 的氧化是通过间接量热法,从气体交换确定,使用式(1)、(2)^[4,13]根据 V_{O_2} 和 V_{CO_2} 确定底物利用率,蛋白质的氧化忽略不计:

$$R_{\text{CHO}} = 4.21V_{\text{CO}_2} + 2.962V_{\text{O}_2}, \tag{1}$$

$$R_{\text{F}} = 1.695V_{\text{O}_2} + 1.701V_{\text{CO}_2}, \tag{2}$$

式中:

R_{CHO} ——CHO 氧化率, g/min ;

R_{F} ——脂肪氧化率, g/min ;

V_{O_2} ——氧气体积, mL ;

V_{CO_2} ——二氧化碳体积, mL 。

表 1 SDS 和 ORS 的液体成分
Table 1 Liquid composition of SDS and ORS

体液	渗透压/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	钠/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	钾/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	柠檬酸盐/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	镁/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	锌/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	碳水化合物/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	热量/ ($\text{kJ} \cdot \text{L}^{-1}$)
SDS	355	458	125	N/A	0	0	59	236
ORS	235	1 330	780	160	166	6	33	135

1.5 统计方法

使用 SPSS 的 (2×3) 方差分析 (ANOVA) 分析因变量, 包括液体平衡 (出汗率和脱水率), 以及尿量, 血浆体积和底物利用率, 在前面描述的点时使用双因子 ANOVA (2×2) 进行了分析, 统计显著度设定为 $P < 0.050$ 。所有数据均报告为平均值 $\pm$ 标准差。

2 结果与分析

2.1 对脱水率和出汗率的影响

由图 1 可以看出, 在无液体摄入的情况下, 运动前到运动中, 试验中的脱水率没有显著差异 ($P = 0.790$); 然而, 在摄入相当于出汗量 150% ($P < 0.001$) 的体液后, 试验中至试验后测量的脱水率显著降低。SDS 和 ORS 的出汗率数据的结果表明, 从运动前到试验后 (运动前: 1.018 ± 0.006 和 1.023 ± 0.006 , $P = 0.140$), SDS 和 ORS 的尿比重无显著差异; 运动前和试验后 SDS 和 ORS 的尿量也没有统计学差异 [分别为 (111 ± 176), (71 ± 57) mL; $P = 0.500$]。这些数据表明, 在补充足够多的水分 (超过 150% 的汗液流失) 条件下, ORS 和 SDS 在运动中保持补

水的能力相似。测试结果显示红细胞压积、血红蛋白、尿比重或在 2 h 试验中的尿液中没有差异。试验对象在摄入液体后, 从运动中期 (45 min) 到试验后 (90 min) 的脱水率和出汗率均无明显差异。

2.2 对血糖数据的影响比较

由图 2 可以看出, 从运动后到试验后的血红蛋白水平显著升高, 表明在运动中至运动后摄入 SDS 和 ORS, 血红蛋白水平均显著升高 ($P = 0.002$), 红细胞水平没有受到时间 ($P = 0.550$)、液体注入 ($P = 0.430$) 及其相互作用 ($P = 0.740$) 的影响。血浆容量的变化表明, 时间 ($P = 0.010$) 和液体注入 ($P = 0.010$) 对其产生显著影响。随着时间的推移, HR 显著增加 ($P < 0.001$), 但 SDS 和 ORS 没有差异 ($P = 0.850$)。运动前后的 RPE 显著增加 ($P = 0.002$), 但 SDS 和 ORS 之间无差异 ($P = 0.210$)。然而, 从图 3 可知, 与运动后 15 min 和 30 min 的 ORS 相比, SDS 组静息时的 RPE 显著降低 ($P = 0.015$) 见图 2(b), 说明时间 ($P = 0.001$) 和其液体的作用 ($P = 0.013$) 对血糖都有显著影响。

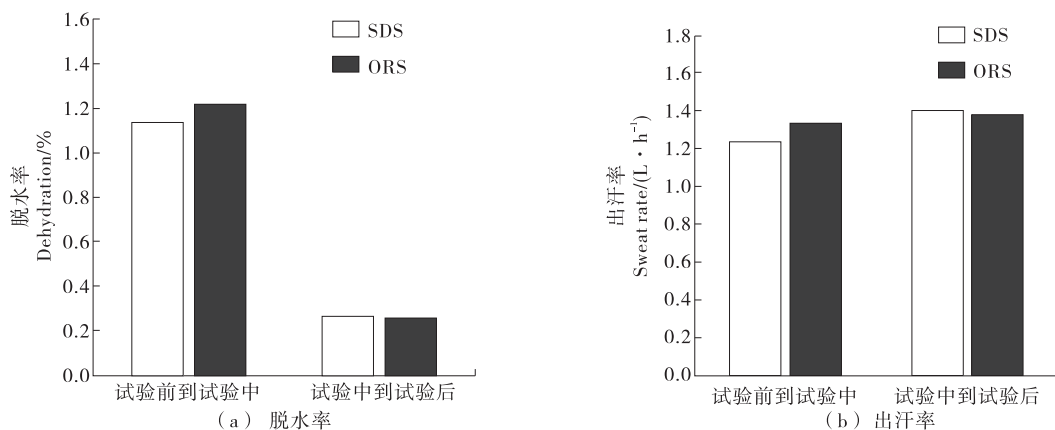


图 1 脱水率及出汗率的测试结果

Figure 1 Test results of dehydration rate and sweating rate

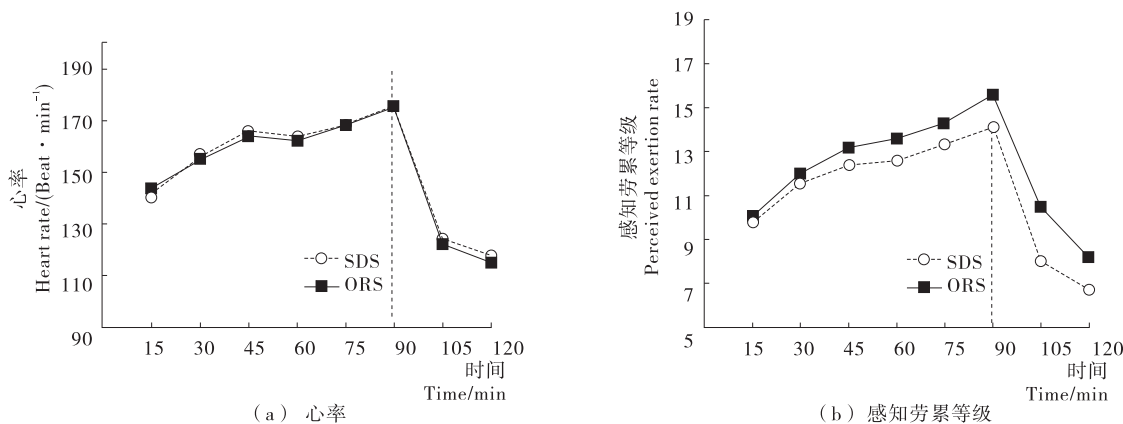


图 2 90 min 的运动和 30 min 休息期的心率和感知劳累等级

Figure 2 Heart rate and rating of perceived exertion through 90 min of exercise and 30 min of rest

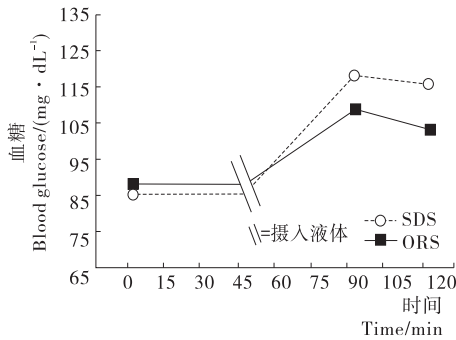


图3 运动前(0 min)、运动后(90 min)和试验后(120 min)采集的血糖数据

Figure 3 Blood glucose data collected before exercise (0 min), after exercise (90 min) and after test (120 min)

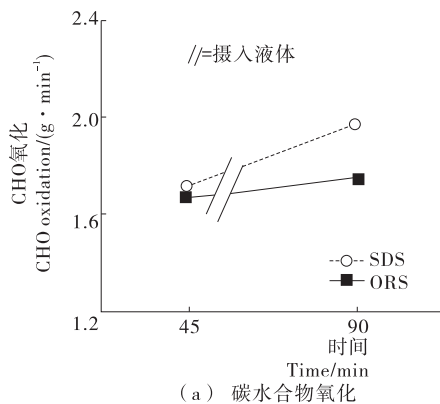
对图3试验后的结果进一步分析表明,SDS患者的血糖升高幅度大于对照组,与试验后口服补液盐相比,SDS的血糖升高幅度更大($P=0.019$)。在运动后和试验后休息30 min会改变血浆容量,可能是由于受试者在这段时间内没有摄入液体,肌肉收缩和体位变化(直立到坐

姿)影响了血浆容量^[21-22],试验后的分析表明,ORS和SDS只在运动后时间点有显著差异($P=0.003$),而不是试验结束后($P=0.070$),其原因可能是运动后SDS试验期间血浆体积膨胀。

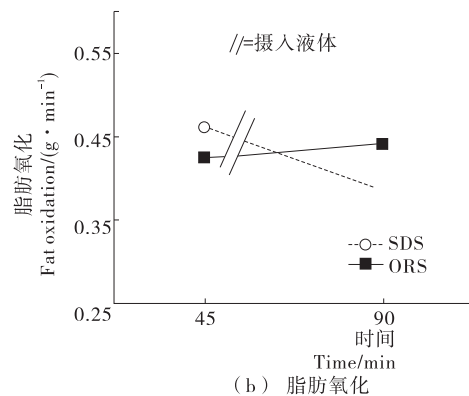
由图3可知,随着时间的推移,SDS和ORS运动后CHO氧化显著增加($P=0.013$)。脂肪氧化有显著相互作用($P=0.040$)。分析试验后的结果发现,与SDS相比,ORS运动后脂肪氧化显著增加($P=0.049$)。随着时间的推移,CHO氧化升高,从锻炼前到运动后ORS和SDS的血糖浓度增加。在运动后的30 min休息期,接受SDS注射的受试者试验后的血糖较高;同时,RPE也显示出差异,摄入CHO,如SDS极有可能提高职业运动员或高强度户外工作者的体能表现。

2.3 对新陈代谢的影响比较

由图4可以看出,在新陈代谢方面,两种饮料改变了底物利用率。SDS和ORS增加了CHO氧化,与ORS(3.4%,约46 g)相比,SDS具有更大的CHO含量(5.9%,约80 g);脂肪氧化在摄入SDS后显著降低。在连续运动中,CHO的摄入可减轻脂肪氧化的增加。



(a) 碳水化合物氧化



(b) 脂肪氧化

图4 液体摄入前(45 min)和摄入后(90 min)从呼吸道气体交换收集的碳水化合物氧化和脂肪氧化

Figure 4 Carbohydrate oxidation and fat oxidation collected from gas exchange before liquid intake (45 min) and after liquid intake (90 min)

在高温下运动时,另一个需要考虑的因素是汗液流失引起的钠的变化。由于遗传因素、饮食、体重和适应环境能力等因素的影响,汗液中钠的浓度变化很大。在试验中,预测120 min试验的钠损失为2.14 g。ORS和SDS分别能够提供的钠含量为1.94,0.67 g。另外,液体中的钠含量也会影响适口性,适合的钠含量能够增加风味,刺激饮用更多的液体;而如果钠的浓度过高(>50 mmol/L)则会降低口感,并可能引起饮用者的胃肠不适。

3 结论

比较了两种市售饮料:口服补液盐(ORS)和运动饮料(SDS)在运动过程中对试验对象的补水和新陈代谢的

影响。结果表明,出汗率和脱水率无明显差异,血红蛋白水平显著升高,血液的葡萄糖含量显著高于对照组。说明在运动过程中补充水分时,ORS和SDS的体液保留能力无明显差异,在运动时摄入的液体量可能比饮料的内容物更为重要。此外,两种饮料都能提高血糖含量,但运动饮料在试验结束时能更好地维持血糖水平。说明在有限的CHO摄入量和较长的高强度工作时间的情况下,如在持续运动或户外作业中,SDS摄入为更优的选择。试验在前人^[5,11]对配方饮料的补水作用研究的基础上,进一步提供了在高温运动中摄入口服补液盐和运动饮料的有效数据,这有助于相关行业从业人员根据具体情况(如环境、适应、对象的能量消耗和体型),合理调整液体摄入

量和补充液的内容物含量,未来研究的重点将继续探究并优化保持人体的体液平衡的关键参数,保障运动员、军事人员和户外高强度工作人员的安全,进一步提高体能。

参考文献

- [1] 钱远宇,刘杰,王鑫鑫,等.不同口服补液方法预防运动性横纹肌溶解症的对比研究[J].军医进修学院学报,2011(11):31-33.
 - [2] 郭强斌,苗苗,黄玉山,等.低氧训练中糖—电解质饮料补充对机体水平衡及运动能力的影响[J].体育学刊,2008(3):113-117.
 - [3] 王清兰,张梅岭.口服补液盐的临床应用与动物试验研究[J].畜牧兽医学报,1991,22(2):140-143.
 - [4] 郭强.运动饮料与运动能力相关关系的研究[J].体育科技文献通报,2011(8):134-135,137.
 - [5] 朱海龙,尹清.普通外科手术患者早期口服补液与延迟口服补液的比较研究[J].中国社区医师,2016(15):106-107.
 - [6] 肖军秀,王娟.运动饮料的研究进展[J].食品研究与开发,2019(4):154-163.
 - [7] 付蕾.补充不同组成成分运动饮料对耐力运动体液平衡指标的影响[D].上海:上海体育学院,2016:55-71.
 - [8] 黄敏,郑建仙,董庆亮,等.葛根复合固体饮料保护化学性肝损伤的研究[J].食品与机械,2017,33(2):152-161.
 - [9] 陈敏雄.运动饮料对人体运动能力的影响[J].体育研究与教育,2002,17(4):64-65.
 - [10] 杨则宜.运动饮料:人类健康新资源[J].食品与机械,2004,20(5):6-11.
 - [11] 黄兴,吴昊,姚婉婉.高温高湿环境中运动前补液方法及效果研究[J].湖北体育科技,2016(1):67-73.
 - [12] 张猛.富含牛奶蛋白的饮料对女性运动后能量摄入的影响[J].基因组学与应用生物学,2019(4):95-106.
 - [13] 张山佳.茶饮料对体育运动员运动功能的影响研究[J].福建茶叶,2017,39(6):33-34.
 - [14] 刘远鹏,张春丽,秦颖.运动饮料:水分、糖和电解质的补充及吸收[J].饮料工业,2006(6):17-22.
 - [15] 尚承林.运动饮料对运动能力的影响与作用[J].粮食流通技术,2016,11(21):5-7.
 - [16] 刘璐瑶,彭貽海.有氧运动中保持体液和电解质平衡的策略[J].山东体育学院学报,2016(1):73-75.
 - [17] 魏冰,张云龙,王文莹,等.运动饮料对运动人体代谢和运动能力的作用[J].中国食品学报,2007,7(3):37-42.
 - [18] 姚毓才,李可基,陈吉棣,等.复合功效成分运动饮料的人体试食效果及评价方法探讨[J].体育科学,2006,22(5):96-98.
 - [19] 林朝霞,陈园.运动饮料对体育运动功能的影响[J].食品安全质量检测学报,2019(8):2300-2303.
 - [20] 赵文双,额尔敦,马誉友,等.绿健运动饮料对运动员某些生理指标的影响[J].解放军医药杂志,2007,19(1):43-46.
 - [21] 胡森,侯经元,周国勇,等.口服补液对40%血容量失血大鼠组织灌流、脏器功能及存活率的影响[J].中华创伤杂志,2010,26(5):460-462.
 - [22] 张糯东,梅合介.等渗饮料的功能及发展现状[J].包装与食品机械,2016,34(3):62-65.
-
- (上接第 109 页)
- [12] YE H T S, CHUANG H L, HUANG W C, et al. *Astragalus membranaceus* improves exercise performance and ameliorates exercise-induced fatigue in trained mice[J]. Molecules, 2014, 19(3): 2793-2807.
 - [13] 于建斌,尹光文,何秋波,等.参芪片辅助治疗复发性生殖器疱疹的临床疗效及其免疫调节作用[J].中国中西医结合杂志,2001,21(11):831-833.
 - [14] 张海玉,朴惠顺,金在久,等.参芪合剂对环磷酰胺所致免疫抑制小鼠免疫和抗氧化功能的影响[J].吉林大学学报:医学版,2009,35(5):857-860.
 - [15] 李世芬,环飞,胡奇,等.参茸杞酒安全性评价及对小鼠免疫功能影响[J].食品科技,2019,44(9):77-81.
 - [16] 孙杰,胡奇,李世芬,等.番茄红素的安全性评价及对小鼠免疫功能的影响[J].食品科学,2015,36(9):170-175.
 - [17] 范治云,谭会萍,李志坤,等.三七参芪胶囊安全性评价及缓解体力疲劳功能的研究[J].食品研究与开发,2018,39(19):180-184.
 - [18] 肖云峰,李文妍,马睿婷,等.和辉胶囊的毒理学安全性评价[J].现代食品科技,2018,34(6):274-281.
 - [19] 秦珩,李世芬,胡奇,等.梅花鹿茸血冻干粉的安全性评价及缓解体力疲劳功能研究[J].食品与机械,2019,35(8):161-166.
-
- (上接第 125 页)
- [10] 李金娜.温度结合低压静电场对灵武长枣贮藏保鲜效果的研究[D].银川:宁夏大学,2019:29-30.
 - [11] 李海波,谢超,梁端萍,等.基于低压静电场技术(LVEF)协同低温对舟山杨梅保鲜过程中品质的影响[J].食品工业科技,2020,41(7):265-270.
 - [12] 马琳.壳寡糖复合其他保鲜剂对杏果贮藏品质的影响[D].北京:中国农业大学,2015:49.
 - [13] 张培书,何伍金,马关雪,等.“红阳”猕猴桃采后存放过程中的品质变化[J].北方园艺,2019(17):108-117.
 - [14] 朱新卫.精胺、亚精胺对杏果采后品质及生理效应的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2014:27-28.
 - [15] 王志华,王文辉,佟伟,等.1-MCP结合降温方法对鸭梨采后生理和果心褐变的影响[J].果树学报,2011,28(3):513-517.
 - [16] NGUYEN T B T, KETSA S, DOORN W G V. Relationship between browning and the activities of polyphenoloxidase and phenylalanine ammonia lyase in banana peel during low temperature storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 30(2):187-193.
 - [17] 张继明,张新,李喜宏,等.灵武长枣简约冷链物流中蓄冷保温关键参数研究[J].食品工业,2018,39(1):132-135.
 - [18] 姜云斌,佟伟,王文辉,等.1-MCP处理对歇马杏采后保鲜效果的影响[J].辽宁农业科学,2009(2):10-13.