

文章编号 1672-6634 (2023)01-0093-06

DOI 10.19728/j.issn1672-6634.2022040016

D-核糖复方制剂辅助治疗新型冠状病毒肺炎的临床研究

肖爱爱¹, 汤惠茹², 姜雯³, 张宁¹, 韩军^{1,4}, 洪强⁵, 王正平^{1,4,6}

(1.聊城大学 生物制药研究院, 山东 聊城 252059; 2. 深圳乐土沃森精准医疗公司, 广东 深圳 518000; 3. 聊城市人民医院, 山东 聊城 252000; 4. 聊城高新生物技术有限公司, 山东 聊城 252000; 5. 华中科技大学 协和江北医院, 湖北 武汉 430000; 6. 海门品尚医药科技有限公司, 江苏 南通 226133)

摘要 目的:评价在遵照《新型冠状病毒肺炎诊疗方案-试行第五版》的常规治疗基础上,通过加用口服D-核糖复方制剂治疗新型冠状病毒肺炎(COVID-19)的临床疗效和患者的恢复情况。方法:采用前瞻性对照临床研究设计,纳入76例COVID-19患者,在进行常规治疗的同时,联合使用D-核糖复方制剂,以观察其对患者康复的促进作用。纳入的76例COVID-19患者中,常规治疗的8例为对照组,常规治疗联合D-核糖复方制剂的68例为治疗组。比较2组患者治疗7天后的体温、心率、血压、呼吸频率、血氧饱和度、疲乏程度和睡眠质量等基本指标改善情况,并评价治疗效果。结果:体温、心率、呼吸频率、血氧饱和度组间比较差异无统计学意义($p>0.05$);治疗第3天后,治疗组患者疲乏程度及睡眠质量较对照组发生显著改善($p<0.05$)。结论:采用D-核糖复方制剂联合常规治疗对COVID-19患者有一定的辅助治疗效果,表现在其能够明显地改善患者的疲乏程度、睡眠质量,提高临床疗效,达到使患者提前出院的目的。

关键词 COVID-19;D-核糖复方制剂;疲劳;睡眠质量

中图分类号 R459.3

文献标识码 A

开放科学(资源服务)标识码(OSID)



Clinical Study on Adjuvant Therapeutically Treatment on COVID-19 with Compounded D-ribose

XIAO Aiai¹, TANG Huiru², JIANG Wen³, ZHANG Ning¹,
HAN Jun^{1,4}, HONG Qiang⁵, WANG Zhengping^{1,4,6}

(1. Institute of BioPharmaceutical Research, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China; 2. Shenzhen Cheerland Watson Precision Medicine Co. Ltd., Shenzhen 518000, China; 3. Liaocheng People's Hospital, Liaocheng 252000, China; 4. Liaocheng High-tech Biotechnology Co., Ltd., Liaocheng 252000, China; 5. Huazhong University of Science and Technology Union Jiangbei hospital, Wuhan 430000, China; 6. Haimen Pharmaceutical Technology Co., Ltd., Nantong 226133, China)

Abstract Objective: To evaluate the clinical efficacy and recovery of Corona Virus Disease 2019 (COVID-19) treated with compounded D-ribose as adjuvant therapeutically treatment in addition to the routine treatment of COVID-19 based on 《The fifth trial edition of diagnosis and treatment of COVID-19》. Methods:

收稿日期:2022-04-16

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(82001286);山东省抗体制药协同创新中心(聊城大学)开放课题(CIC-AD1814, CIC-AD1839);校企合作项目(K20LD0901)资助

通信作者:王正平,女,汉族,博士,教授,研究方向:临床营养,E-mail:bioactiveschina@163.com;洪强,男,汉族,主任医师,研究方向:老年病、慢性病的综合管理及治疗,E-mail:3238912098@qq.com。

76 patients with COVID-19 were enrolled in a prospective controlled clinical study design. Besides the routine treatment, the patients were treated with compounded D-ribose to observe its promoting effect on the rehabilitation of the patients. Among the 76 patients with COVID-19, 8 patients only received routine treatment as the control group, and 68 patients received routine treatment combined with compounded D-ribose orally as the intervention group. The basic indexes such as body temperature, heart rate, blood pressure, respiratory rate, blood oxygen saturation, fatigue and sleep quality were compared between the two groups after 7 days of treatment, and the therapeutic effect was evaluated. Results: there was no significant difference in body temperature, heart rate, respiratory rate and blood oxygen saturation between the two groups ($p > 0.05$), but the fatigue and sleep quality in the intervention group were significantly better than those in the control group after 3 days of treatment ($p < 0.05$). Conclusion: The use of compounded D-ribose in addition to the routine treatment has a certain adjuvant therapeutic effect on patients with COVID-19, which can significantly improve the status of fatigue, sleep quality of patients as well as the clinical efficacy as shown by the early discharge of patients.

Key words COVID-19; D-ribose compound preparation; fatigue; sleep quality

1 引言

2020年初以来,新型冠状病毒肺炎(Corona Virus Disease 2019, COVID-19)疫情席卷全球,已成为世界上严重的突发公共卫生事件^[1]。迄今为止,COVID-19已衍生出阿尔法、贝塔、伽玛、德尔塔、奥密克戎、德尔塔克戎等多种变异病毒株。截至2022年4月8日,全球共报道COVID-19确诊患者496 605 338例,死亡6 195 539例,病死率达1.24%^[2]。COVID-19可分为轻型、普通型、重型和危重型,并以普通型较为常见^[3]。患者的普遍症状表现为发烧、咳嗽、肌肉酸疼并伴有疲劳、睡眠较差等^[4]。此外,一项研究显示,在住院期间患者具有高水平的肌钙蛋白(一种在心脏受伤时释放的蛋白质),并在出院两个月后,磁共振成像显示,仍有48%的患者患有某种心脏疾病,包括心脏病发作、心肌炎以及心脏缺血等问题^[5]。

D-核糖(D-Ribose)是自然界存在的一种五碳醛糖,它天然存在于所有生命细胞中,参与三磷酸腺苷(adenosine triphosphate, ATP)的合成,并在能量代谢中起重要作用^[6]。大量的研究和临床数据表明,合理地使用D-核糖及其复方产品,可以减轻由于过度运动和劳累造成的肌肉酸痛和僵硬、保护和改善心脏功能、促进体力恢复、提高运动成绩、抗疲劳、改善人体总体功能进而提高生活质量^[7-9]。此外,还有文献记载,D-核糖有改善肺功能的效果^[10]。因此,通过D-核糖营养干预辅助改善心肌功能在新型冠状病毒肺炎合并心肌损伤的治疗和愈后康复过程中,可能具有临床意义。本研究拟在新型冠状病毒肺炎患者中采用D-核糖复方制剂进行营养干预,通过研究其对疲乏程度和心肌损伤的作用变化,探讨该干预方式的临床应用价值。

2 资料与方法

2.1 研究对象

本研究选取了2020年初在武汉市蔡甸区协和江北医院确诊为新型冠状病毒肺炎住院患者(轻型/普通型),从入院开始到出院的治疗时间至少10~14日,所有研究对象知情、排除无法现场签字同意者、神志不清、昏迷以及各种原因导致无法配合研究者,剔除不符合纳入标准和拒绝参加的患者,最后共纳入76例患者,68例随机入组治疗组、其余8例入组对照组。其中治疗组男性35例,女性33例,年龄范围在14~89岁。

2.2 研究方法

2.2.1 纳入标准和排除标准。纳入标准:依据《新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案-试行第五版》标准,纳入确诊为新型冠状病毒感染并且临床分型为轻型/普通型住院患者。

2.2.2 干预方法。营养干预制剂:D-核糖复方制剂(7 g/袋,每袋中含有D-核糖2 g,复配菊粉等辅料)。D-

核糖复方制剂为在售的功能食品,严格按照国家质量标准生产且检验合格,主要作用是抗疲劳、提高缺氧耐受力。本品组方依据大量的实验数据,成分均为国家公布的安全食品成分或保健食品原料,其主要原料 D-核糖是淀粉发酵的产物,已经过美国食品药品监督管理局(Food and drug Administration, FDA)的一般认为安全(GRAS, generally recognized as safe)认证,也是中国食品添加剂 2760 目录上的批准产品。

治疗组的患者在接受常规诊疗方案《新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案-试行第五版》的基础上,加用 D-核糖复方制剂辅助治疗,使用方法:剂量-每日 3 次,每次 2 袋;饭后或饭中温水冲服,或搅拌于稀饭、豆浆、牛奶中,禁空腹食用。在患者住院期间全程营养干预,记录干预前后研究指标和不良反应发生情况。

2.2.3 临床监测指标。主要从以下几个方面评价 D-核糖复方制剂对新型冠状病毒轻型/普通型临床分型患者营养干预之后的效果:(1) 问卷调查:通过问卷调查获得临床患者的一般资料数据。(2) 记录每天的心率、血压、呼吸频率、体温、血氧饱和度等基本指标的检测结果。(3) 血清学指标:在干预前和干预后对患者进行全血细胞计数、肌酐(Creatinine, Cr)、谷草转氨酶(Aspartate aminotransferase, AST)、谷丙转氨酶(Alanine aminotransferase, ALT)的检测。(4) 保证提供每日的其他常规检测数据。(5) 每日查房内容至少包括疲劳、胸闷、气短、肌肉酸痛、睡眠、体力状况等的询问;睡眠质量按“差、尚可、好、极好”四级,每级症状评分为 0~3 分,疲乏程度按“正常、轻度、中度、重度”四级,每级症状评分为 0~3 分,并做好记录。

2.2.4 统计分析。采用 SPSS 22 统计学软件进行统计学分析,将连续测量符合正态分布的数值用 Mean $\pm$ SD 表示,两组间比较采用独立样本 T 检验。 $p<0.05$ 为差异有统计学意义。

3 结果

3.1 患者治疗前后基本指标比较

患者治疗 7 d 后体温、心率、呼吸、血氧饱和度各基本指标均在正常范围内,并且各指标组间比较差异无统计学意义($p>0.05$),详见表 1。治疗前,两组患者心率分别为 88.00 ± 11.31 和 85.41 ± 7.76 次/min,略高于理想的心率($55\sim 70$ 次/min);治疗后,两组患者的心率均逐渐趋向于恢复至理想状态。两组患者体温均由低烧(大于 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$)降至 $36.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下;血氧饱和度略有提升,说明依据《新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案-试行第五版》的治疗效果非常明显。

表 1 患者治疗 7 d 前后基本指标比较

项目	正常参考值	对照组		治疗组	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
体温/ $^{\circ}\text{C}$	36~37	37.28 ± 0.32	36.43 ± 0.16	37.00 ± 0.67	36.45 ± 0.17
心率/(次 $\cdot\text{min}^{-1}$)	60~100	88.00 ± 11.31	76.63 ± 11.17	85.41 ± 7.76	75.72 ± 6.21
呼吸/(次 $\cdot\text{min}^{-1}$)	12~20	22.25 ± 1.28	20.13 ± 0.35	19.85 ± 1.22	19.37 ± 1.01
血氧饱和度(%)	95~98	97.00 ± 1.51	98.75 ± 0.46	97.65 ± 1.02	98.56 ± 0.56

3.2 患者治疗前后血常规比较

患者在确诊前后的血常规无明显差异($p>0.05$),治疗 7 d 前后血常规各基本指标均在正常范围内。详见表 2。

表 2 患者治疗 7 d 前后血常规比较

血常规指标	正常参考值	对照组		治疗组	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
红细胞($\times 10^{12}/\text{L}$)	3.5~5.0	3.55 ± 0.36	3.71 ± 0.38	4.43 ± 0.59	4.52 ± 0.48
白细胞($\times 10^9/\text{L}$)	4.0~10.0	6.35 ± 1.53	6.14 ± 1.16	4.65 ± 1.58	5.39 ± 1.56
血小板($\times 10^9/\text{L}$)	150~300	189.88 ± 11.96	203.75 ± 11.88	199.79 ± 65.01	212.97 ± 55.63

3.3 患者治疗前后血清指标比较

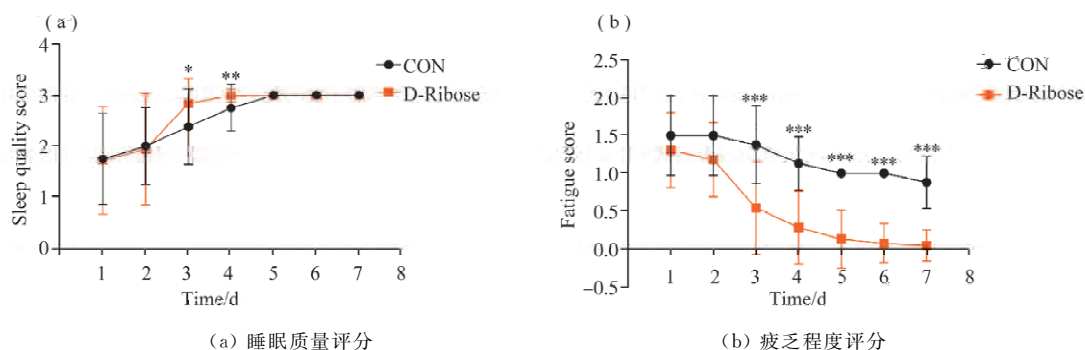
患者治疗 7 d 前后 AST、ALT、Cr 指标均在正常范围内。详见表 3。

表 3 患者治疗 7 d 前后血清指标比较

血清生化指标	正常参考值	对照组		治疗组	
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后
AST/(U·L ⁻¹)	15~40	35.57±6.83	35.71±7.06	31.52±15.13	31.81±6.03
ALT/(U·L ⁻¹)	9~50	41.71±12.55	39.71±7.95	26.45±13.79	27.30±6.95
Cr/(μmol·L ⁻¹)	64~104	73.50±10.52	75.25±7.05	70.13±14.95	73.30±10.65

3.4 患者治疗前后临床症状的比较

如图 1 所示,治疗前,2 组患者睡眠质量、疲乏程度评分均较差,并且无统计学意义($p>0.05$)。随着治疗的进行,两组患者睡眠质量、疲乏程度评分均逐渐变好并趋于稳定。与对照组相比,D-核糖治疗组患者睡眠质量、疲乏程度评分均于第 3 天发生显著性改善($p<0.05$),而对照组患者睡眠质量评分至治疗第 4 天发生显著性改善;对照组患者疲乏程度评分缓慢改善,直至治疗的第 7 天发生显著性改善($p<0.05$)。



注:Con:对照组;D-Ribose:D-核糖治疗组。*表示各组之间差异显著, $p<0.01$;***表示各组之间差异显著, $p<0.001$ 。

图 1 患者治疗睡眠质量、疲乏程度评分变化情况

3.5 不良反应

D-核糖复方制剂联合常规治疗期间,由于 D-核糖本身具有较强的吸水性,不良反应主要为初期的一过性轻度腹泻,在服用过程中治疗组第一天轻微腹泻(稀便次数每日 2~3 次)比例为 10.3%(7/68),第二天为 8.8%(6/68),之后的服用时间内无腹泻症状发生。

4 讨论

已有研究表明,患者营养状况是重症肺炎并发症发生率和住院病死率升高的独立预测因素之一^[11,12],添加功能性营养素的营养治疗不仅可以给重症肺炎病人提供能量及组织代谢所需的营养底物,还可通过各种营养素的药理作用提高患者的综合免疫能力及其他功能^[13]。因此,本研究通过在基础的营养治疗过程中添加 D-核糖复方制剂的方法来探究其对 COVID-19 患者的辅助治疗效果。

Wang 等^[4]回顾性分析 2020 年 1 月 1 日至 28 日在武汉大学中南医院 138 例确诊新型冠状病毒感染的肺炎住院患者的临床特征,结果发现患者的常见症状包括发烧(136 [98.6%]),疲劳(96 [69.6%])和肌肉酸痛(48 [34.8%])。同时,研究描述了 80 名患者(58%)延长了凝血酶原时间和 55 名患者(39.9%)的乳酸脱氢酶升高。这种乳酸脱氢酶升高现象在许多发热症状不明显、血氧饱和度正常的患者中也有出现,同时伴有胸闷、呼吸困难等症状,心率在 90~120 次/min 之间,甚至高达 160 次/min。这些症状提示新冠病毒感染者,不仅可发展为肺炎,还可能伴随进展性心肌炎。心肌炎的发生,有时滞后于肺炎的发生,出现在患者病毒转阴后的康复过程中,易被忽视,可能是影响患者康复、甚至导致死亡的潜在风险。此外,在英国一项对 148 名新冠重症患者进行的心脏磁共振成像研究表明这些患者在住院期间都具有高水平的肌钙蛋白(一种在心脏受伤时释放的蛋白质)。并且在出院两个月后,磁共振成像显示,仍有 48% 的患者患有心脏病发作、心肌炎以及心脏缺血等心脏疾病问题。值得注意的是,在心脏病发作或心脏缺血的患者中,三分之二过去并没有冠心病病史^[5]。以上研究表明,新冠病毒具有一定的心脏毒性。

一项双向性队列研究评估了 COVID-19 患者的长期结局^[14]。该研究纳入了 2020 年 1 月 7 日至 5 月 29 日在金银潭医院出院的确诊 COVID-19 的 1 733 例患者。该研究通过康复出院后 6 个月的随访研究发现, 76%(1 265/1 655)的患者报告仍有至少一个症状, 最常见的症状是疲劳或肌肉无力(1 038/1 655[63%])和睡眠困难(437/1 655[26%])。研究发现, 疲乏、睡眠障碍会降低人体免疫力、增加患病风险, 进而影响人体对 COVID-19 的预防和治疗^[15]。此外, 有研究显示, 失眠、睡眠中断和日常倦怠不仅会增加医护人员 COVID-19 感染风险, 还会加重 COVID-19 感染程度, 并导致更长的恢复期^[16]。

D-核糖(D-Ribose)是自然界存在的一种五碳醛糖, 它天然存在于所有生命细胞中, 参与 ATP 的合成, 并在能量代谢中起重要作用^[6]。Omran 等^[17]设计了一项前瞻性、双盲、随机和交叉实验, 评估口服 D-核糖对 15 例慢性冠心病和充血性心力衰竭患者心脏血流动力学和生活质量的影响。该研究首次报道了口服 D-核糖可以改善慢性冠心病和充血性心力衰竭患者的心脏舒张功能, 改善患者生活质量。此外, 我们先前的研究表明补充 D-核糖可以通过抑制氧化应激、改善能量代谢、抑制细胞死亡等改善阿霉素诱导的心脏毒性^[18]。丁岩等^[19]研究发现 D-核糖通过提高小鼠腓肠肌中 ATP 含量, 明显延长小鼠游泳时间, 具有一定的抗疲劳作用。张振刚等^[9]研究证实, 补充 D-核糖通过降低机体氧化应激, 显著提高机体内肝糖原、肌糖原、血糖含量, 进而显著增加小鼠负重游泳时间, 提高机体抗疲劳作用。袁保辉等^[20]研究急性和慢性两种疲劳模型, 发现在急性疲劳模型小鼠中, D-核糖具有明显的抗疲劳作用; 在慢性疲劳模型小鼠中, D-核糖没有表现出明显的抗疲劳作用; 而 D-核糖复方在两种疲劳模型中均可显著延长小鼠游泳时间, 具有良好的抗疲劳效果。

本研究比较了 COVID-19 患者治疗前后体温、心率、血压、呼吸频率、血氧饱和度等基本指标和睡眠质量、疲乏程度等基本症状的变化情况, 结果显示治疗前后患者各基本指标正常; 治疗前, 2 组患者睡眠质量、疲乏程度评分均较差, 并且无统计学意义($p>0.05$)。随着治疗的进行, 两组患者睡眠质量、疲乏程度评分均逐渐变好并趋于稳定。与对照组相比, D-核糖复方制剂患者睡眠质量、疲乏程度评分均于第 3 天发生显著性改善($p<0.01$), 改善时间均优于对照组两天, 且疲乏程度评分连续多天优于对照组。说明采用 D-核糖复方制剂联合常规治疗对 COVID-19 患者有较好疗效, 能够明显改善患者疲乏程度、睡眠质量, 提高临床疗效, 促进机体恢复。这与 Teitelbaum 等^[21]通过给予纤维肌痛或慢性疲劳综合征患者服用 D-核糖, 并在给予 D-核糖前后分别对所有患者进行问卷调查(包括离散的视觉模拟评分以及整体评估)发现 D-核糖能显著提高患者的能量水平和睡眠质量, 使头脑更加清醒, 减轻患者疼痛感和临床症状相一致。以上研究结果表明, D-核糖复方制剂对 COVID-19 患者有较好的辅助治疗效果, 能够明显改善患者疲乏程度、睡眠质量, 提高临床疗效, 促进机体恢复。

鉴于 2020 年初 COVID-19 疫情的特殊性、紧急性和医疗资源的缺乏, 本试验设计方面可能存在一定的局限, 采用足量的、单纯常规治疗的患者作为对照难以实现, 因此本研究对照组仅有 8 例, 研究结论可能尚需进一步的验证。

参 考 文 献

- [1] 王彬, 高伟, 李政. 新型冠状病毒药物的研究进展[J]. 聊城大学学报(自然科学版), 2020, 33(5): 104-110.
- [2] WORLDOMETER. COVID-19 Coronavirus Pandemic [EB/OL]. (2022-04-08)[2022-04-15]. <https://www.worldometers.info/coronavirus/>.
- [3] 新型冠状病毒肺炎诊疗方案(试行第八版)[J]. 中华临床感染病杂志, 2020, 13(5): 321-328.
- [4] WANG D, HU B, HU C, et al. Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in wuhan, china[J]. Jama, 2020, 323(11): 1061-1069.
- [5] KOTACHA T, KNIGHT D S, RAZVI Y, et al. Patterns of myocardial injury in recovered troponin-positive COVID-19 patients assessed by cardiovascular magnetic resonance[J]. European Heart Journal, 2021, 42(19): 1866-1878.
- [6] 柏建新, 邓崇亮. D-核糖[J]. 中国食品添加剂, 1999 (3): 60-63.
- [7] 袁保辉, 丁琪, 刘桂芹, 等. D-核糖的生理功能及其应用[J]. 中国生化药物杂志, 2016, 36(5): 210-212.
- [8] 王正平. 一种新型能量饮料添加剂—D-核糖支持骨骼肌的健康和功能之机理浅释(之一)[J]. 食品工业科技, 2008(4): 26-28.

- [9] 张振刚,王峰. 有氧运动联合补充 D-核糖对小鼠抗疲劳和抗氧化的作用[J]. 食品工业科技, 2022, 43(2): 368-375.
- [10] 圣塞尔,麦卡特. D-核糖用于改善心肺功能的用途: CN201510527242.0 [P]. 2016-01-13.
- [11] 曹义,高莉,高翔,等. 老年重症肺炎患者肠内外营养治疗的疗效观察[J]. 中国现代药物应用, 2016, 10(1): 75-76.
- [12] 刘永福,郑以山. 老年重症肺炎病人营养支持治疗的疗效观察[J]. 肠外与肠内营养, 2017, 24(2): 98-100.
- [13] BERGER M M, MECHANICK J I. Continuing controversy in the intensive care unit: why tight glycemic control, nutrition support, and nutritional pharmacology are each necessary therapeutic considerations[J]. Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care, 2010, 13(2): 167-169.
- [14] HUANG C, HUANG L, WANG Y, et al. 6-month consequences of COVID-19 in patients discharged from hospital: a cohort study[J]. Lancet, 2021, 397(10270): 220-232.
- [15] 陈丹,倪明珠,杨建强,等. 新型冠状病毒肺炎患者和援鄂医护人员睡眠状况调查及睡眠障碍干预研究[J]. 世界睡眠医学杂志, 2020, 7(5): 753-757.
- [16] KIM H, HEGDE S, LAFIURA C, et al. COVID-19 illness in relation to sleep and burnout[J]. BMJ Nutrition, Prevention & Health, 2021, 4(1): 132-139.
- [17] OMRAN H, ILLIEN S, MACCARTER D, et al. D-Ribose improves diastolic function and quality of life in congestive heart failure patients: a prospective feasibility study[J]. European Journal of Heart Failure, 2003, 5(5): 615-619.
- [18] 肖爱爱,王雪艳,温敏,等. D-核糖对阿霉素诱导心脏毒性的保护作用及机制研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(13): 359-366.
- [19] 丁岩,吴丹,贾占红,等. D-核糖对疲劳小鼠骨骼肌组织内高能磷酸物质代谢的影响[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2013, 15(9): 1916-1920.
- [20] 袁保辉,刘桂芹,刘敏,等. 复方 D-核糖对小鼠抗疲劳作用的研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(22): 349-353.
- [21] TEITELBAUM J E, JOHNSON C, ST CYR J. The use of D-ribose in chronic fatigue syndrome and fibromyalgia: a pilot study[J]. Journal of Alternative and Complementary Medicine, 2006, 12(9): 857-862.

(责任编辑:刘庆松)

(上接第 92 页)

- [35] LU X, WANG P, LIU K, et al. Encapsulating nanoparticulate Sb/MoO_x into porous carbon nanofibers via electrospinning for efficient lithium storage[J]. Chemical Engineering Journal, 2018, 336(7): 1-9.
- [36] WU D, SHEN R, YANG R, et al. Mixed molybdenum oxides with superior performances as an advanced anode material for lithium-ion batteries[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 1-9.
- [37] YANG L C, SUN W, ZHONG Z W, et al. Hierarchical MoO₂/N-doped carbon heteronanowires with high rate and improved long-term performance for lithium-ion batteries[J]. Journal of Power Sources, 2016, 306(10): 78-84.
- [38] LIU B, ZHAO X, XIAO Y, et al. High-surface-area F-doped amorphous MoO_x with high-performance lithium storage properties[J]. Journal of Materials Chemistry A, 2014, 2(10): 3338-3343.
- [39] LIN Z, HUANG J. Hierarchical nanostructures derived from cellulose for lithium-ion batteries[J]. Dalton Transactions, 2019, 48(38): 14221-14232.
- [40] WANG M S, ZHANG J, ZHANG L Z, et al. Graphene-like vanadium oxygen hydrate (VoH) nanosheets intercalated and exfoliated by polyaniline (PAND) for aqueous zinc-ion batteries (Zibs)[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2020, 12(28): 31564-31574.
- [41] ZHANG H H, HE H N, LUAN J Y, et al. Adjusting the yolk-shell structure of carbon spheres to boost the capacitive K⁺ storage ability [J]. Journal of Materials Chemistry A, 2018, 6(46): 23318-23325.
- [42] KIM H S, COOK J B, LIN H, et al. Oxygen vacancies enhance pseudocapacitive charge storage properties of MoO_{3-x} [J]. Nature Materials, 2017, 16(4): 454-460.
- [43] WANG M S, WANG G L, WANG S, et al. In situ catalytic growth 3d multi-layers graphene sheets coated nano-silicon anode for high performance lithium-ion batteries[J]. Chemical Engineering Journal, 2019, 356(8): 895-903.
- [44] HE P, YAN M Y, LIAO X B, et al. Reversible V³⁺/V⁵⁺ double redox in lithium vanadium oxide cathode for zinc storage[J]. Energy Storage Materials, 2020, 29(8): 113-120.
- [45] 冯小明,黄先威,谭卓. 聚吡咯/石墨复合对电极在染料敏化太阳能电池中的应用研究[J]. 化学学报, 2011, 69(6): 653-660.
- [46] CHEN Z Z, HOU J G, ZHOU J, et al. Carbon shell coated hollow NiCoSe_x composite as high-performance anode for lithium storage[J]. Rare Metals, 2021, 40: 3185-3194.

(责任编辑:蒲锡鹏)